

44-81

3. Салимов

3. Салимов
Кимёвий
технологиянинг
асосий
жараёнлари
ва қурилмалари

I



„ЎЗБЕКИСТОН“

60 706

З. САЛИМОВ

КИМЁВИЙ ТЕХНОЛОГИЯНИНГ АСОСИЙ ЖАРАЁНЛАРИ ВА ҚУРИЛМАЛАРИ

I ТОМ

Ўзбекистон Республикаси Олий ва ўрта махсус таълим вазирлиги олий ўқув юртларининг «Кимёвий технология» ихтисослиги бўйича таълим оладиган студентлари учун дарслик сифатида тавсия этган



ТОШКЕНТ
«ЎЗБЕКИСТОН»
1994

Таърифчилар:

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

Мухаррир Баҳром Акбаров

Салимов З.

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

ISBN 5-640-01336

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

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

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

33.11я73

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. Олмалик ва Самарқанд кимё корхоналарида комплекс ўғит ҳисобланган аммофос, Навоий электрохимия заводида турли пестицидлар, Фарғона «Азот» ишлаб чиқариш бирлашмасида хлорат магнийли дефолиант ишлаб чиқарилмоқда.

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

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

Республикаларда дастлаб, 1933 йили Кимё институти ташкил этилди. Кимё институти лабораториялари асосида кейинчалик 6 та илмий-тадқиқот марказлари — Усимлик моддалари кимёси, Пахта целлюлозаси кимёси ва технологияси, Урта Осиё нефтни қайта ишлаш саноати (кейинчалик кимёвий технология ва каталитик 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 ортиқ фан докторлари, 1800 дан ортиқ 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 юр்தларидаги 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, етук кимёгар олимларнинг етишиб чиққанлигини эътироф этилиши, деб айтиш мумкин. Ушбу съездда 27 та чет эл давлатларидан 2 мингдан ортиқ олимлар ва мутахассислар қатнашди.

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

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

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

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

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

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

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

— кимёвий информатика.

Республикамиз кимёгарлари ва мутахассислари олдида ҳали ўз ечимини кутаётган улкан муаммолар турибди. Бу муаммолар жумласига кам тарқалган ва ноёб кимёвий элементларни маъданлардан ажратиб олишнинг самарали усулларини яратиш, саноат ва қишлоқ ҳўжалиги чиқиндиларини қайта ишлаш натижасида халқ ҳўжалиги 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 окова 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 қабиларни киритиш мумкин.

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

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

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

«Жараёнлар ва қурилмалар» фани бўйича биринчи маротаба ўзбек тилида дарслик 1987 йили нашр қилинди (З. Салимов, И. Тўйчиев. Химиявий технология процесслари ва аппаратлари. Тошкент, «Ўқитувчи»). Ҳозирги вақтга келиб ушбу фан соҳасида бир қатор янгилликлар юз берди. Ана шу янгилликлар 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 алмашилиш 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 Ҳалқаро бирликлар системасида бажарилди.

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

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

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

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

1.1-§. «ЖАРАЁНЛАР ВА ҚУРИЛМАЛАР» ФАНИНИНГ МАЗМУНИ

Кимёвий технология фанининг асосий мақсади — табиий ва сунъий ҳомашёларнинг энг тежамли ва *экологик жиҳатдан тоза* кимё усуллари ёрдамида қайта ишлаб, керакли материаллар ҳамд 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 ўллар билан олиб бориш, уларни бошқариш муаммоларини ўрганади.

Кимё саноати корхоналарида турли технологик жараёнлар амалга оширилади. Бу жараёнлар давомида ҳомашё ва материалларнинг ички тузилиши, таркиби, агрегат ҳолатлар ўзгаради. Кимёвий технологик жараёнлар кимёвий реакцияларда ташқари турли физик-кимёвий жараёнлардан иборат. Бунда 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-бўёқ полимер ва синтетик материаллар ва ҳоказо) ишлаб чиқариш технологияси умумий қонуниятлар билан ифодаланган бир типдаг физик ва физик-кимёвий жараёнлардан иборат бўлади. Б технологик жараёнлар турли ишлаб чиқаришларда ишлат 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 қўп ишлатиладиган ҳайдаш жараёнини қўрамиз. Ҳайдаш жараёнидан кислород ишлаб чиқаришда, суюқ ҳавони ажратишда нитрат кислота ишлаб чиқаришда, сув ва нитрат кислотани ажратишда, синтетик каучук ишлаб чиқаришда, мураккаб органи

махсулотларни 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 буг 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, иқтисод каби фанларнинг фундаментал қонунлари асос қилиб олинади. «Жараёнлар ва қурилмалар» курси кимё саноатининг турли тармоқларида ишлатиладиган ва ташқи қўринишидан ҳар хил бўлган жараёнлар ва қурилмаларнинг ўхшашликларини аниқлашга асосланади.

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

«Кимёвий технология жараёнлари ва қурилмалари» фанининг охириги йиллардаги ютуқлари назарий ва амалий вазифаларни ҳал этишда замонавий ҳисоблаш машиналаридан кенг фойдаланиш билан 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, озик-овқат, нефтни қайта ишлаш ва шу каби бир қатор саноат тармоқлари учун инженер-технолог кадрлар тайёрлашда катта аҳамиятга эга. Бу фан асосида тегишли жараёнларни ҳисоблаш, таҳлил қилиш, уларнинг энг мақбул катталикларини топиш, керакли қурилмаларни лойиҳалаш ва уларни ҳисоблаш мумкин. Ушбу курс машина

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

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

«Жараёнлар ва қурилмалар» фанининг келиб чиқиш тарихи кимё саноатининг ривожланиши билан боғлиқ. Кимё саноати XVIII асрнинг охири ва XIX асрнинг бошларида пайдо бўла бошлади ва қисқа давр ичида ривожланган мамлакатларда халқ 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 юрғларида 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 қўламда илмий-тадқиқот ишлари муваффақиятли олиб борилмоқда. Кафедра ходимлари томонидан чангларни тозалаш, пневмотранспорт, абсорблаш, адсорблаш, экстракцлаш ва қуриштириш жараёнларини турли усуллар билан (пульсацион ва вибрацион тебранишлар, ўзгарувчан электромагнит майдони, ҳаракатчан насадкалар, мавҳум қайнаш ҳолати, каттик фаза қатламининг геометрик шаклини ўзгартириш ёрдамида) жадаллаштиришнинг назарий ва амалий асослари яратилди, сочилувчан каттик 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, мавҳум қайнаш қатламли скрубберлар ва абсорберлар эса «Навоийазот» ишлаб чиқариш бирлашмасида, Ўзбекистон қийин суюқланувчи ва ўтга чидамли металллар комбинатида кенг ишлатилмоқда.

1.3-§. АСОСИЙ ЖАРАЁНЛАРНИНГ ТУРЛАРИ

Кимё ва 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. Иссиқлик алмашилиш жараёнлари;
4. Модда алмашилиш жараёнлари;
5. Кимёвий жараёнлар.

Механик жараёнлар қаттиқ материалларни механик куч таъсирида қайта ишлаш билан боглик. 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, фильтрлаш, чўктириш) билан боглик жараёнлар гидромеханик жараёнларни ташкил этади. Бундай жараёнларнинг тезлиги гидромеханика қонунлари билан аниқланади. Гидромеханик жараёнларнинг ҳаракатлантирувчи кучи — гидростатик ва гидродинамик босимдир.

Иссиқлик алмашилиш жараёни — температуралар фарқи мавжуд бўлганда бир (температураси юқори) жисмдан иккинчи (температураси паст) жисмга иссиқликнинг ўтишидир. Бу гуруҳга иситиш, совитиш, буглатиш, конденслаш ва сунъий совуқ ҳосил қилиш жараёнлари қиради. Жараённинг тезлиги гидродинамик режимга боглик 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, суюқликларни хайдаш, экстракклаш, кристаллаш, қуриштиш жараёнлари киради. Жараёнларнинг тезлиги фазаларнинг гидродинамик ҳаракатига боғлиқ бўлиб, модда ўтказиш қонуниятлари билан ифодаланади. Модда алмашилиш жараёнларининг ҳаракатлантирувчи кучи фазалардаги концентрацияларнинг фарқи билан белгиланади.

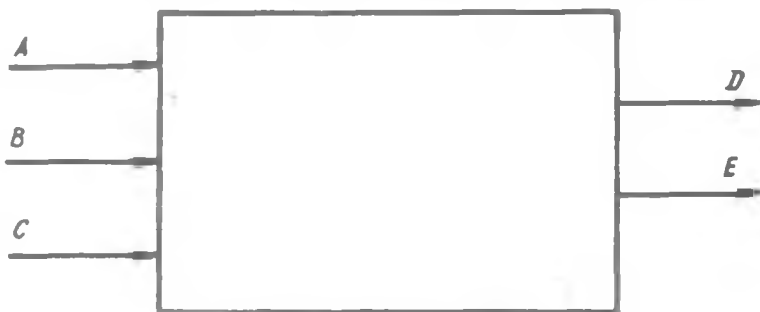
Кимёвий жараёнлар моддаларнинг ўзаро таъсири натижасида янги бирикмаларнинг ҳосил бўлишидир. Кимёвий реакцияларда иссиқлик ва модда алмашилиш жараёнлари ҳам содир бўлади. Бу гуруҳдаги жараёнларнинг тезлиги кимёвий кинетика қонуниятлари билан ифодаланади. Реакциялар тезлиги, айниқса, саноат миқёсида,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

Кимё саноатидаги технология жараёнлари даврий ва узлуксиз равишда ўтказилади. Жараёнлар вақт давомида параметрларнинг ўзгаришига қараб тургун ва тургунмас бўлади. Тезлик, концентрация, температура каби параметрлар вақт давомида ўзгарса, жараён *тургунмас*, аксинча, агар бу параметрлар ўзгармаса жараён *тургун* дейилади. Кимё ва озиқ-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 бермокда. Бу қурилмага жараёнда қатнашаётган А, В ва С компонентлар киритилмокда. Ушбу



1.1- расм. Моддий баланс схемаси

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

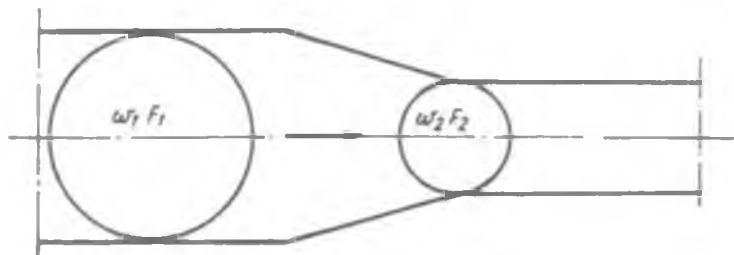
$$m_A + m_B + m_C = m_D + m_E \quad (1.1)$$

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

(1.1) тенглама моддий балансни ифодалайди.

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

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

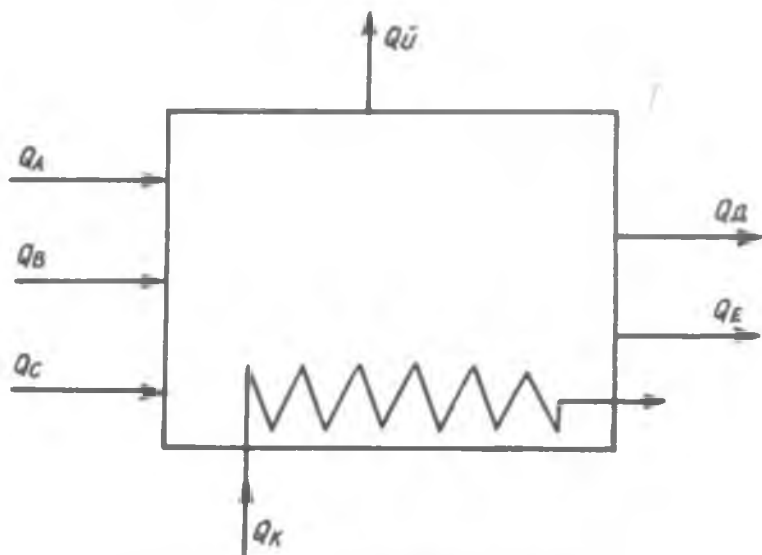


1.2- расм. Ҳаракатдаги системалар учун оқимнинг узлуксизлиги.

Қурилмага киритилаётган ёки ундан чиқаётган модда ўзида маълум миқдорда энергия сақлайди. Қурилмага ташқаридан қўшимча энергия (масалан, электр токи ёрдамида киздириш) 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 — А, В, С компонентлари билан қурилмага кирган иссиқлик миқдори; Q_D , Q_E — Д ва Е компонентлари орқали қурилмадан чиққан иссиқлик миқдори; Q_K — қурилмага ташқаридан киритилган қўшимча иссиқлик миқдори; Q_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 қаторига бир жинсли системалар (газ, суюқлик) киради, уларнинг ҳамма қисмларида босим ва температура бир хил қийматга эга бўлади. Системани мувозанатдан чиқариш учун ташқаридан бирор куч таъсир этиши керак (масалан, механик куч ёки иссиқлик таъсири).

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

*Ле-Шателье 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 Φ — фазалар сони; S — эркинлик даражаси сони; K — системадаги компонентлар сони.

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

Системанинг ҳолати унинг бир катор муҳим параметрлари бирлиги орқали ифодаланади. Бундай параметрлар каторига *босим, температура, концентрация, солиштира 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, юқори қисмида поршен бўлган ёпик идишни кўриб чиқамиз. Сувнинг устки қисмидан поршенгача бўлган ораликда 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 каторига спиртнинг температураси, босими ва концентрацияси киради. Демак ушбу 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 алмашилиш)нинг асосини материал оқимлар ўртасидаги модда ёки энергия алмашинуви ташкил этади. Ушбу жараёнларнинг негизи гидродинамика ва термодинамика қонунларига асосланади. Жараёнларни таҳлил қилишда аввал модда ва энергиянинг сақланиш қонунларига асосан материал ва энергетик оқимларнинг микдори аниқланади, сўнгра ҳаракатлантирувчи куч топилади.

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

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

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

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

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

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

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

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

бу ерда M — ўтказилган модда миқдори; F — модда алмашиниш юзаси; R_3 — модда ўтказишга бўлган қаршилиқ; $K_3 = \frac{1}{R_3}$ — модда ўтказиш коэффициент; 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 коэффициент, филтрловчи муҳитнинг ўтказувчанлиги).

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

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

Кинетик тенгламаларни таҳлил қилиш технология жараёнларини тезлаштиришнинг умумий қонуниятини кўрсатиб беради: жараённинг тезлигини ошириш учун ҳаракатлантирувчи кучнинг қийматини кўпайтириш ёки қаршилиқни 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 турига, жараёнда қатнашаётган массаларнинг агрегат ҳолатига 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 ҳажмига 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 (пульсация ва вибрация) тебранишлар, мавҳум қайнаш принципи, электромагнит майдон таъсирларидан фойдаланиш;

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

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

Қурилма техника хавфсизлиги талабларига жавоб бериши ва уни бошқариш қулай бўлиши керак. У авария ва мустаҳкамлик запасига эга бўлиб, сақловчи клапан ва автоматик тўхтатиш ускуналари билан таъминланган, ҳаракатдаги қисмлари эса 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 қобиляти 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 асбоблари 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 куйидаги талабларга жавоб бериши керак:

диаметр, мм ...	4380	3900	3840	4000	3800	3220
ўзунлик, 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 куйидаги факторлар ҳисобга олиниши керак: материалнинг механик хоссалари — чидамлилиқ чегараси, нисбий узайиши, каттиқлик ва ҳоказо; тайёрлаш технологиясининг қулайлиги (масалан, пайвандлаш мумкинлиги); емирилишга кимёвий барқарорлиги; иссиқлик ўтказувчанлиқ ва бошқалар.

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

10 балли шкала бўйича металлларнинг коррозия тезлиги коррозиянинг металлнинг ичига кириб боришн ифодаланиб,

11-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
	3	0,005 дан 0,01 гача
Барқарорлик	4	0,01 дан 0,005 гача
	5	0,005 дан 0,1 гача
Пасайган барқарорлик	6	0,1 дан 0,5 гача
	7	0,5 дан 1,0 гача
Кам барқарорлик	8	1 дан 5 гача
	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:

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

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

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

Коррозияга барқарор ва танқис бўлган пўлатни тежашнинг

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

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

Юқори чидамликка эга бўлган, шарсимон графитли чўянлар (В4) — самарали конструкция материалларининг биридир. В4 навли чўян (ГОСТ 7293—79) юқори технологик, механик ва ишлатилиш хоссасига эга. Юқори температура (500—600°С гача) ва коррозияга учрайдиган муҳит билан ишлайдиган қурилмаларнинг деталларини тайёрлашда махсус легирилган 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 муҳитда температура ва иссиқлик алмашилишининг катта тезлик билан ўзгариши ва шу каби факторлар қурилмаларнинг айрим деталларини тайёрлашда, титан, тантал, цирконий ва ниобий каби металллардан фойдаланиш кераклигини тақозо этади.

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

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

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

тарқалиб йўқоладиган иссиқлик миқдорини минимумга келтириш учун қурилмаларнинг 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 огирлик, қовушоклик 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 тугилади, 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 тугидираётган 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 катталики 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-жадвал. 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>	рад
Ясси бурчак	радиан	
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
Солиштирама иссиқлик си- гим (иссиқлик сигим)	жоуль тақсим килограмм — кельвин	Ж/(кг·К)
Иссиқлик бериш (иссиқлик узатиш)	ватт тақсим метр квадрат-кельвин	Вт/(м ² ·К)
коэффициенти		
Иссиқлик ўтказувчанлик	ватт 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 қиймати 10 сонига қўпайтириб 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
$0,01=10^{-2}$	санти	c	с
$0,001=10^{-3}$	милли	m	м
$0,00001=10^{-6}$	микро	μ	мк
$0,00000001=10^{-9}$	нано	n	н
$0,00000000001=10^{-12}$	пико	p	п
$0,0000000000001=10^{-15}$	фемто	f	Ф
$0,000000000000001=10^{-18}$	атто	a	а

1.4-жадвал. Бирликлар ўртасидаги нисбатлар

Қағалаги номи	СИ бирлиги	СИ бирлигига ўтказиш коэффициентлари
Ўзунлик	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	$1\ \text{П} (\text{пуаз}) = 0,1\ \text{Па·с}$ $1\ \text{сП} = 10^{-3}\ \text{Па·с}$ $1\ \text{кгк·с/м}^2 = 9,81\ \text{Па·с}$
Кинематик қовушоқлик	$\text{м}^2/\text{с}$	$1\ \text{ст} (\text{стокс}) = 10^{-4}\ \text{м}^2/\text{с}$
Босим	Па	$1\ \text{дин/см}^2 = 0,1\ \text{Па} = 1\ \text{ат}$ $1\ \text{кгк/м}^2 = 9,81 \cdot 10^4\ \text{Па} = 735\ \text{мм сим.устуни}$ $1\ \text{мм сим.устуни} = 10\ \text{м сув устуни}$ $1\ \text{кгк/м}^2 = 9,81\ \text{Па}$ $1\ \text{атм} = 1,033\ \text{кгк/м}^2 = 1,01 \cdot 10^5\ \text{Па} = 760\ \text{мм сим.уст.} = 10,33\ \text{м сув уст.}$
Қувват	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 ³ /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 ³ = 1,163 Н/м ³ 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	Ж/(м ² ·К) Вт/(м ² ·С)	1 эрг/г·К = 10 ⁻⁴ ж/(кг·К) 1 ккал/(м ² ·соат·°С) = 1,163 Вт/(м ² ·К)
Иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти	Вт/(м·К) Вт/(м·С)	1 ккал/(м·соат·°С) = 1,163 Вт/(м·К)
Айланиш частотаси	Гц	1 с ⁻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 муҳитлар физик-техникавий қатталиқларининг қийматлари (зичлик, солиштира огирлик, қовушқоқлик, 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 бирлиқлар 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 ҳолида берилади ёки эмпирик тенгламалар ёрдамида топилади.

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

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

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

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

Солиштирма огирлик. Ҳажм бирлигидаги модданинг огирлиги солиштирма огирлик деб аталади ва γ билан белгиланади:

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

бу ерда G — суюқлик огирлиги, Н. СИ га биноан солиштирма огирлик Н/м³ да ўлчанади. Масса билан огирлик ўзаро қуйидагича боғланган:

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

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

Массанинг микдорини (1.10) тенгликка қўйсақ, зичлик билан солиштирма огирликнинг ўзаро боғланиш нисбати келиб чиқади:

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

Зичликка тескари бўлган катталиқ солиштирма 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 катламлари оралигидаги 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:

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

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

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

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

Температура ортиши билан суюқликнинг қовушоклиги камай-ди, газларда эса ортади. Суюқликнинг қовушоклиги газнинг қовушоклигига нисбатан бир неча марта каттадир. Масалан, 20°C да сувнинг қовушоклиги тахминан $0,001 \text{ Па}\cdot\text{с}$, глицеринники $1,5 \text{ Па}\cdot\text{с}$, ҳавоники эса $0,00002 \text{ Па}\cdot\text{с}$ га тенг.

Ньютоннинг ички ишқаланиш қонунига бўйсунадиган суюқ-ликлар *ньютон суюқликлари* дейилади. Коллоид эритмалар, мойли бўёқлар, смолалар, паст температурада ишлатиладиган сурков мойлари ньютон суюқликларига қирмайди.

Иссиқлик ўтказувчанлик. Температура градиенти таъсирида бир-бирига тегиб турган кичик заррачаларнинг тартибсиз ҳарака-ти 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 коэффициенти; 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 темпера-тура, босим ва модданинг турига боғлиқ. Турли жисмлар учун λ нинг қиймати справочникларда берилган бўлади. Газ, суюқлик ва каттик моддаларнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентла-ри (λ , $\text{Вт}/\text{м}\cdot\text{К}$) қуйидаги чегарада ўзгаради:

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

Солиштирма иссиқлик сизими. Бу параметр модданинг ўзида иссиқлик энергиясини тутиш қобилиятини кўрсатади. *Солиштирма иссиқлик сизими* деганда модданинг масса бирлиги температураси-ни бир градусга кўтариш учун зарур бўлган иссиқлик миқдори тушунилади. Солиштирма иссиқлик сизими қуйидаги тенглама орқали топилади:

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

бу ерда Q — жисмни иситиш учун сарф бўлган иссиқлик миқдори; m — жисм массаси; Δt — жараёнинг охири ва бошланғич температуралари оралигидаги фарк. СИ да солиштирма иссиқлик сигими $J/kg \cdot K$ бирлигида ўлчанади.

Газ, буг, суюқлик ва қаттиқ жисмларнинг солиштирма иссиқлик сигими одатда тажриба натижалари орқали топилади. Газларнинг солиштирма иссиқлик сигими тахминан $1 \cdot 10^3 J/kg \cdot K$, сувники $4 \cdot 10^3$, металларики эса $(0,2 \div 1) \cdot 10^3 J/kg \cdot K$ 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 , m^2/s) куйидаги нисбат орқали аниқланилади:

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

бу ерда λ — иссиқлик ўтказувчанлик коэффиценти; c — солиштирма иссиқлик сигими; 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 қовушоклик, иссиқлик ўтказувчанлик ва температура ўтказувчанлик ўртасида қандай фарк бор?
- 1.7. Физик катталиклар миқдорларини ифодалаш учун қандай ўлчов системаларидан фойдаланилади? Халқаро бирликлар системасининг афзалликлари нимада?

2-БОБ. ЖАРАЁНЛАР ВА ҚУРИЛМАЛАРНИ МОДЕЛЛАШТИРИШ АСОСЛАРИ

2.1-§. ЎХШАШЛИК 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 синаб қурилади. 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 ўхшашлик 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 ўхшашлик назарияси ёрдамида, уларни қайта ишлаш орқали эришиш мумкин.

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

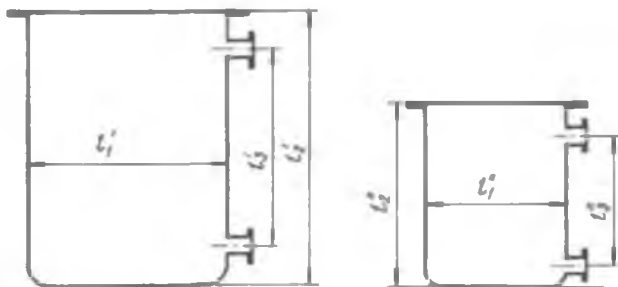
2.2-§. ЎХШАШЛИК ТЕОРЕМАЛАРИ

Ўхшашлик 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:

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

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



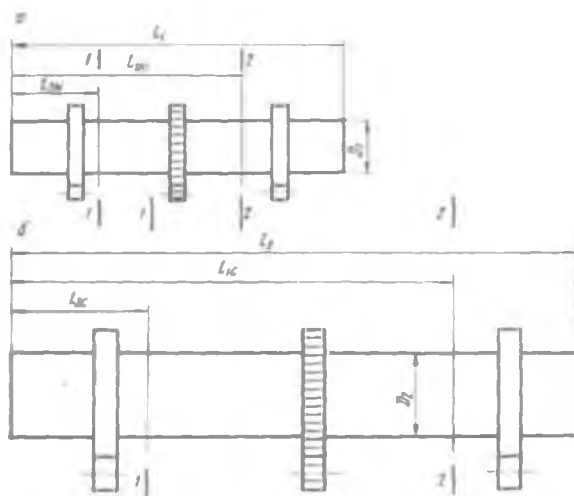
2.1-расм. Геометрик ўхшаш идишлар.

2.2-расмда саноатда ишлатиладиган барабанли қуритгич (б) ва унинг модели (а) кўрсатилган. Агар барабанли қуритгич ва унинг модели геометрик ўхшаш бўлса, у ҳолда $L_2 = K_1 L_1$ ва $D_2 = K_2 D_1$ 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: $l_{1M} = K_1 l_{1C}$ ва $l_{2M} = K_1 l_{2C}$.

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:

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

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 — вақт бирликлари доимийлиги.



2.2- расм. Барабанли қуритгичларнинг геометрик ўхшашлиги:

а — модель, б — саноат қурилмаси

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

$$\frac{\mu_1}{\mu_2} = \frac{\mu_2}{\mu_3} = \frac{\mu_3}{\mu_4} = \dots = \frac{\mu_n}{\mu_{n+1}} = \alpha_p = \text{const}, \quad (2.3)$$

бу ерда $\mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4, \dots, \mu_n, \mu_{n+1}$ — биринчи ва иккинчи система хоссаларининг вақт бирлигида ўзгариши; α_p — физик катталик доимийлиги.

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

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

Ўхшашлик назарияси учта теоремага асосланиди. 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:

$$Ne = \frac{f_1}{m\omega}, \quad (2.4)$$

бу ерда f — куч, m — заррачанинг массаси, t — 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 тенгличилар* деб юритилади.

Учинчи теорема М. В. Кирпичев ва А. А. Гухман томонидан аниқланган. Бу теорема тажриба асосида олинган ҳисоблаш усулларида амалда фойдаланиш мумкинлигини кўрсатади. Бу теоремага асосан, сон жихатдан тенг аниқловчи мезонларга эга бўлган ҳодисалар 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, текширилатган жараённи характерлайдиган физик катталиклардан тузилади. Бу мезонлар олимлар номлари билан юритилади. Ўхшашлик мезонлари асосан учта гуруҳга бўлинади:

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

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

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

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

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

Эйлер мезони:

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

бу ерда ΔP — суюқлик оқимидаги босимнинг йўқолиши, Па.

Бу мезон ўхшаш оқимлардаги суюқликнинг гидростатик

босими ва инерция кучлари орасидаги ўзаро боғланишни ва
тубаларда суюқлик ҳаракат қилганда ўлчамсиз босимнинг
йўқолишини ифодалайди.

Фруд мезони:

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

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

Фруд мезони оғирлик кучи таъсирини характерлайди ва ўхшаш
оқимлардаги инерция кучининг оғирлик кучига нисбатини ифода-
лайди.

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:

$$Ho = \frac{\omega t}{l}, \quad (2.11)$$

бу ерда t — вақт, s .

Гомохрон мезон ўхшаш оқимлардаги ҳаракатнинг турғунмас-
лигини 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 суюқликнинг зичлиги,
 kg/m^3 .

Архимед мезон 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 қиради.

Нуссельт мезони:

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

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

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

Фурье мезони:

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

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 миқдорлар ўртасидаги нисбатини характерлайди.

Прандтл мезони:

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

бу ерда ν — суюқлик ёки газнинг иссиқлик сизими, $\text{Ж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$.

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 — каттик жисмнинг характерли ўлчами, м; λ_k — каттик жисмнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициентини, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$

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

Грасгоф мезони:

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

бу ерда β суюқликнинг ҳажм бўйича кенгайиш коэффициентини, $1/\text{К}$; Δt — каттик 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 нисбатни белгилайди.

Кутателадзе мезони:

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

бу ерда r — фаза ўзгариш иссиқлиги (масалан, буғнинг конденсланиш вақтида ажралган иссиқлик миқдори), $\text{Ж}/\text{кг}$; c —

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

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

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

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

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

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

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

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

бу ерда β — модда бериш коэффициент, $м/с$; D — диффузия коэффициенти, $м^2/с$; D_k — каттик жисмдаги диффузия коэффициенти, $м^2/с$.

Нуссельт мезони ўхшаш системалардаги фазалар чегарасида модда бериш жараёнининг тезлигини ифодалайди. Чет эл адабиётларида кўпинча Нуссельт мезони ўрнига Шервуд мезони ишлатилади. Прандтл мезони окимнинг 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 қаршиликларнинг нисбатини белгилайди. Пекле мезони ўхшаш системаларда конвектив ва молекуляр диффузиялар ёрдамида ўтказилган моддалар миқдорининг нисбатини белгилайди.

Жараёнларни ўрганишда геометрик ўхшашлик мезонларидан ҳам фойдаланилади. Бундай мезонлар (ёки симплекслар) қурилмалар энг муҳим ўлчамларининг нисбатлари 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 критериал тенгламалар олинади. Ўхшашлик мезонлари ва критериал 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 критериал тенгламалар олинади. Ўхшашлик назариясидан ўрганилаётган жараённи ифодалайдиган дифференциал тенглама олиш имконияти бўлгандагина фойдаланиш мумкин. Аммо айрим шароитларда ўта мураккаб жараёнларни ўрганиш оқибатида дифференциал тенгламалар тузиш имконияти бўлмайди. Бунда жараённи ўрганиб, тегишли критериал тенгламалар олиш учун ўлчамларни таҳлил қилиш усулидан фойдаланилади. Ўлчамларни таҳлил қилиш усулидан фойдаланиш куйидаги 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 , қовушқоқлиги μ ва тезлиги w таъсир этиши маълум бўлган, яъни:

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

Ушбу тенгламани куйидагича ёзиш ҳам мумкин:

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

бу ерда c — доимий киймат.

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

$$[\Delta P] = \left[\frac{H}{m^3} \right] = \left[\frac{кг \cdot м / с^2}{m^3} \right] = \left[\frac{кг}{m \cdot с^2} \right] = [ML^{-1}T^{-2}];$$

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

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

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

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

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

(2.27) тенгламани қуйидагича ёзиш мумкин:

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

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

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

Бир хил катталикларни ўзаро бирлаштирамиз, у ҳолда:

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

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

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

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

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

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

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

ёки

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

(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:

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

(2.35) — критериял 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 текшириладиган жараёнларни олиб бориш шароити бирмунча ўзгартирилади: температура ва босим пасайтирилади, иш муҳитлари алмаштирилади. Аммо жараённинг физик моҳияти ўзгартирилмайди. Шундай қилиб, ўхшашлик назариясининг услублари кимёвий технология жараёнларининг ўлчамларини ўзгартириш ва уларни моделлаштириш ишига асос бўлиб хизмат қилади.

Моделлаштириш — мавжуд ёки ташкил қилиниши лозим бўлган объект (оригинал)нинг шундай ўрганиш усули бўлиб, бунда асл объект ўрнига унинг ўрнини босиш мумкин бўлган бошқа объект — модел ўрганилади, олинган натижалар эса оригинални ҳисоблашда фойдаланилади. Моделлаштиришнинг асосий мақсади моделда ўлчаб олинган параметрлар асосида ишлаб чиқариш шароитидаги оригиналда юз бериш 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 синов натижалари асосида оригиналнинг параметрлари ҳисобланилади;

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

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

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

Физик моделлаштиришнинг мазмуни шундан ибратки, модел оригинал билан бир хил табиатга эга бўлади ва унинг хусусиятларини қайтаради. Масалан, саноат печида металлдан тайёрланган катта вални қизитиш жараёни (оригинал) ўрнига лаборатория шаронтида (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 ошишини 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 маъноси 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 ходисаларни тўғри тадқиқ қилиш учун чегара шартларининг ўхшашлигини таъминлаш талаб қилинади.

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

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

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

Умуман олганда моделлаштириш қуйидаги тартибда олиб борилади:

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

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

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

4) олинган натижалар асосида шундай модел тайёрланадики, унинг иш ҳажми саноат қурилмасининг иш ҳажмига геометрик ўхшаш бўлиши керак, модел масштабини танлашда қурилманинг ўлчамлари ва иш унумдорлиги шундай ҳисобга олинади 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 иратган олимлар ҳақида нималар биласиз?
- 2.2. Гидромеханик, иссиқлик, диффузион ўхшашлик мезонлари мазмунини тушунириб 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 тушунириб беринг.
- 2.5. Математик ва физик моделлаштиришнинг асосий мақсади нимадан иборат? Моделлаштиришни қайси тартибда олиб бориш мақсадга мувофиқ бўлади?

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 печиде металлдан тайёрланган катта вални қизитиш жараёни (оригинал) ўрнига лаборатория шаронтида (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 жараёнини ҳисоблашда ва уни ташкил этишда фойдаланилади.

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

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

Моделлаштиришнинг хоҳлаган усулини қўллашда ҳам бир хил маъноли 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 маъноси шундан ибратки, модел ва оригиналдаги жараёнларда физик катталикларнинг ўхшашлиги маълум бир вақт моментида (яъни жараён бошланишидан маълум вақт ўтгандан сўнг) юз беради;

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

г) бошланғич 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 «погонали» моделлаштириш усулидан фойдаланилади. Энг аввал жуда кичик моделлар (микромоделлар) тузилади. Бундай микромоделларни лаборато-

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

рия столи устига жойлаштириш мумкин. Олинган натижалар асосида 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 камаяди.

Умуман олганда моделлаштириш қуйидаги тартибда олиб борилади:

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

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

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

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

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

Юқоридаги шартларни тула 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

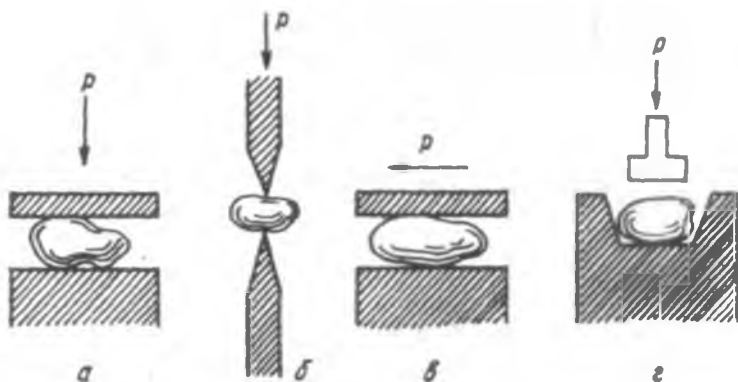
Кимёвий технологияда механик жараёнлар алоҳида аҳамиятга эга. Механик жараёнларнинг тезлиги қаттиқ жисм механикаси қонунлари билан ифодаланади. Бундай жараёнлар материалларга механик куч таъсир қилишига асосланади. Механик жараёнлар (майдалаш, синфларга ажратиш, саралаш, аралаштириш, эзиш, донаторлаш,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

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

Қаттиқ материалларни майдалаш жараёни шартли равишда икки турга бўлинади: а) янчиш, яъни материални майда бўлақларга бўлиш (йирик, ўртача ва майда); б) майдалаш (юпқа ва ўта юпқа). 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, юпқа 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) ериш, в) ейилиш, г) тарба.

3.1- жа д в а л Майдалаш жараёнининг синфларга бўлиниши

Майдалаш тури	Булакнинг ўртача ўлчами, мм		Майдаланиш даражаси
	майдаланишгача	майдалангандан сўнг	
Йирик янчиш	1500—300	300—100	2—6
Ўртача янчиш	300—100	50—10	5—10
Майда янчиш	50—10	10—2	10—50
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 — киррасининг узунлиги олинади. Нотўғри геометрик шаклга эга бўлган бўлакнинг ўртача қиймати куйидагича 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:

$$d_f = \frac{d_{\max} + d_{\min}}{2} \quad (3.3)$$

Аралашмадаги бўлакнинг ўртача характерли ўлчами қуйидагича ҳисобланади:

$$d = \frac{d_{f1}a_1 + d_{f2}a_2 + \dots + d_{fn}a_n}{a_1 + a_2 + \dots + a_n} \quad (3.4)$$

бу ерда d_{f1}, d_{f2}, d_{fn} — ҳар бир фракциядаги бўлакнинг ўртача ўлчами; $a_1, a_2, \dots, a_n$ — ҳар бир фракция таркиби, массавий %.

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

3.2-§. МАЙДАЛАШНИНГ АСОСИЙ ҚОНУНЛАРИ

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

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

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

бу ерда k — мутаносиблик коэффициент, каттик жисм ҳажмий бирлигини деформация қилиш учун сарф бўлган иш; 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, қаттиқ 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 орқали топилади.

$$A = A_z + A_{ю} = k\Delta V + \sigma\Delta F \quad (3.7)$$

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

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

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

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

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

бу ерда σ_1 — мутаносиблик коэффиценти.

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

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

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

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

(3.8) — (3.10) тенгламалар ёрдамида майдалаш жараёни учун сарфланган ишнинг абсолют миқдорини аниқлаш мумкин эмас, чунки мутаносиблик коэффицентлари (k_1 , 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 қуввати N_2 , материалнинг майдаланиш даражаси d_{62}/d_{m2} ва ишлаб чиқаришга жорий қилинаётган бошқа тегирмоннинг иш унуми Q_1 , майдаланиш даражаси d_{61}/d_{m1} бўлса, у ҳолатда охириги тегирмоннинг сарф қиладиган қуввати N_1 Риттингер гипотезасига асосан қуйидаги тенглама билан топилади:

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

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

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

3.3-§. МАЙДАЛАШ МАШИНАЛАРИНИНГ ПРИНЦИПАЛ ЧИЗМАЛАРИ

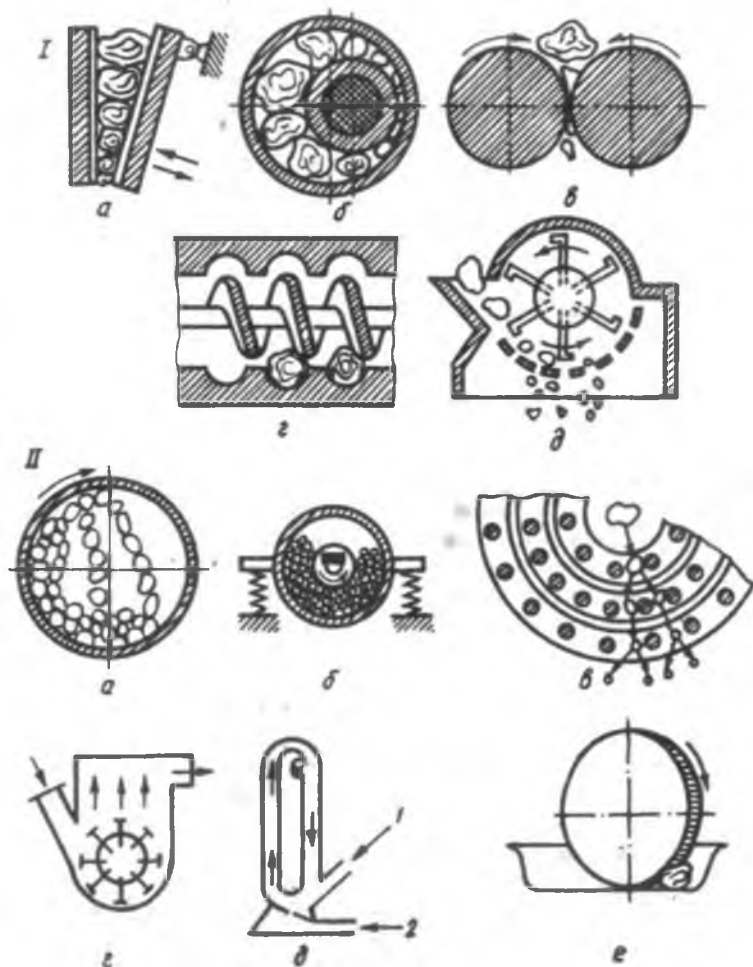
Саноатда қаттиқ жисмларни майдалаш мақсадида турли машина ва тегирмонлар ишлатилади.

Йирик янчиш учун ясси қисмли ва конусли машинадан фойдаланилади. бундай машиналар ёрдамида бўлақларнинг ўлчами 1500 мм дан кам бўлмаган материал майдаланиб, ҳосил бўлган бўлақларнинг 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 қочма ва қия конусли янчиш машиналари ишлатилади.

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

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



3.2- расм. Майдалаш машиналарининг принципаал чизмалари:

I — янчиш машиналари: а — ясси қисм; б — конусли; в — валли; г — шнелли; д — болгали;
II — тегирмонлар: а — шарли; б — вибрацион шарли; в — дезинтегратор; г — аэродастали;
д — пурковчи; е — глдиравли; 1 — материал; 2 — ҳаво.

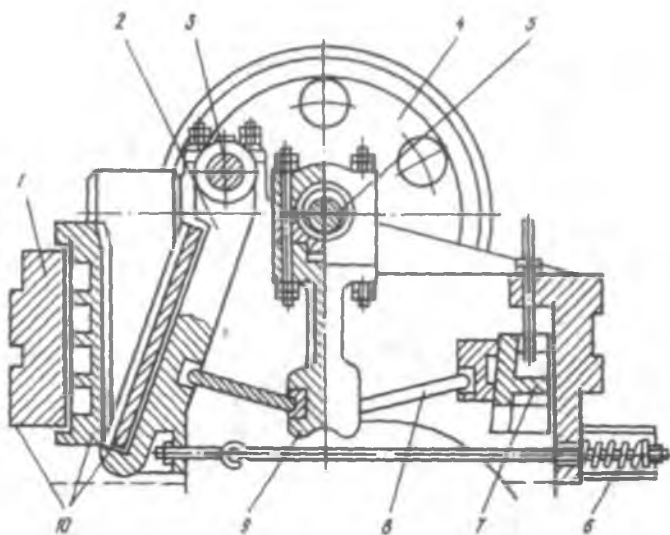
ал бир-бирига карама-қарши йўналган валлар оралигида эзилади. Агар валлар бир хил тезликка эга бўлса материалнинг ейилиши ҳам юз беради. Шнекли янчиш машиналарида материал кесиш ва қисман ейилиш жараёнида майдаланишга учрайди. Болғали янчигида каттик жисм болғаларнинг зарбаси ва ейилиш таъсирида майдаланади.

Шарли тегирмонлар материални асосан юпка ва ўта юпка майдалаш учун ишлатилади. Бундай машиналар айланувчи ёки вибрация қилинадиган барабандан иборат бўлиб, уларнинг ичига майдаланиши лозим бўлган материал юборилади; материал доналари ўзаро тўкнашиб, зарба ва ишқаланиш кучи асосида майдаланиб кетади. 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 каттик 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 кўзгалмас (1) ва кўзгалувчан (2) ясси қисмлар бажаради. Бу қисмларнинг усти емирилишга бардошли марганецли пўлатдан қилинган тарам-тарамли плиталар билан қопланган. Ушбу пўлат плиталар ясси қисмларни ейилишдан ҳимоя қилади. Кўзгалувчан ясси қисм юқори томондан ўқ (3) га осиб қўйилган бўлиб, тебранма ҳаракат қилиши мумкин. Кўзгалувчан ясси қисм (2), вал (5), эксцентриклар шатун (9) ва тиргович плиталар ёрдамида тебранма ҳаракат қилади. Кўзгалмас ва кўзгалувчан ясси қисмлар пастки томонидаги тор тиркишнинг кенглиги (яъни машинадан чиқаётган майдаланган заррачаларнинг ўлчами) дастаклар (7) ёрдамида созланади.

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



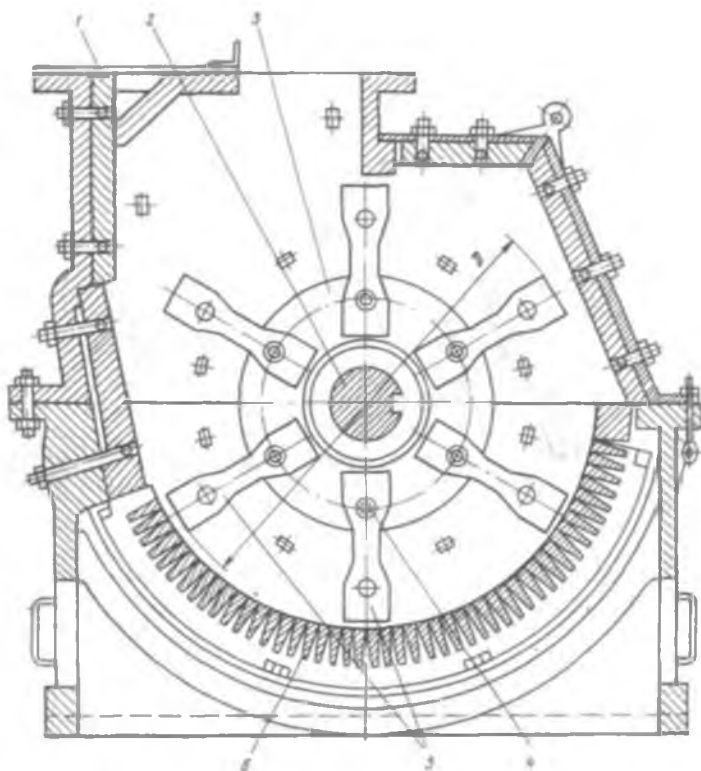
3.3- расм. Ясси қисмли янчиш машинаси.

1 — қўзғалмас юза, 2 — қўзғалувчан юза, 3 — қўзғалувчан юза илмоғининг ўқи, 4 — маховик, 5 — вал, 6 — тортиқчи пружина, 7 — соzлайдиган дастаклар, 8 — тирговичли плиталар, 9 — эксцентрик шатуи, 10 — марганецли пўлатдан қилинган плиталар.

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

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



3.4-расм. Болгали янчиш машинаси:

1 — қобик, 2 — вал, 3 — диски, 4 — палешлар, 5 — болгарлар, 6 — колосинили 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 янчигчининг иш органлари тезда ейилиб кетади, роторини эса даврий равишда мувозанатда сақлаб туриш зарур бўлади.

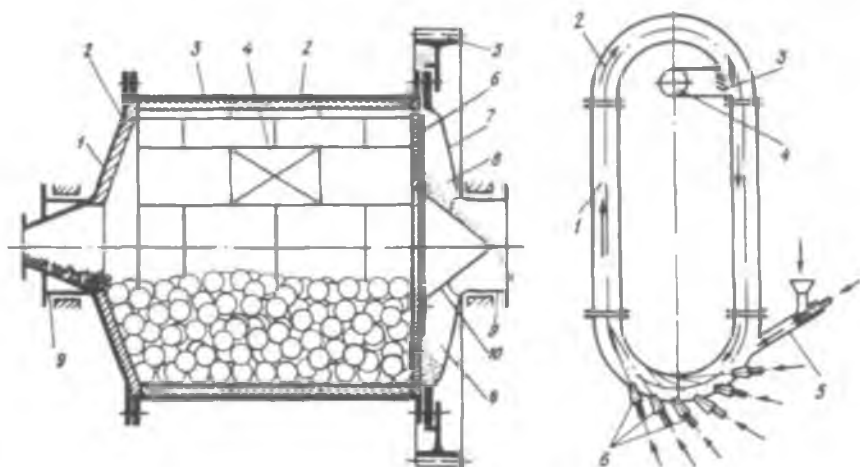
Шарли тегирмон. Шарли тегирмон майдаловчи жисмлар (металл ёки кварцдан тайёрланган шарлар) билан қисман тўлдирилган барабандан иборат. Барабаннинг айланиши пайтида ишқаланиш кучи таъсирида шарлар барабан билан бирга ҳаракат қилиб, маълум баландликка кўтарилгандан сўнг эркин тушиб, материални зарба кучи 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 катта цилиндрсимон барабандан иборат. Барабан ичи бўш цапфалар (9) ёрдамида айланма ҳаракат қилади. Қўқоқларнинг биттаси бутун қўндаланг кесими бўйича диафрагмали панжара (6) билан тўсилган бўлади. Диафрагмали панжара материалнинг катта бўлақларини ва шарларни ушлаб қолиш учун хизмат қилади. Майдаланган материал диафрагманинг тор тирқишлари орқали ўтиб, радиал қирралар (8) ёрдамида йўналтирувчи конус (10) га тукилади, сўнгра ичи бўш цапфа орқали машинадан ташқарига чиқарилади.

Юлқа майдалаш учун мосланган тегирмонлар диаметри 25 дан то 150 мм гача бўлган пўлат шарлар билан тахминан ярмигача тўлдирилган бўлади. Тегирмондаги майдалаш жараёни қуруқ ва ҳўл усул ёрдамида олиб борилади. Ҳўл усулдан фойдаланилганда ҳисил бўлган сўстения 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 димий майдаланиш даражасига эришилади; муҳтакамлик ва хавфсизликни 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 — қўқоқлар; 2 — зирли плиталар; 3 — барабан қобиги; 4 — люк; 5 — ҳаракатлантирувчи гилдира; 6 — диафрагмали панжара; 8 — радиал қирралар; 9 — ичи бўш цапфа; 10 — йўналтирувчи конус

3.6-расм. Пурковчи тегирмон:

1 — чегараланган труба; 2 — юқориги тирсан; 3 — қиссимон тўсиқли панжара; 4 — майдаланган маҳсулотни чиқарувчи труба; 5 — материал берувчи инжектор; 6 — сиқилган ҳаво бериб турувчи асосий пайдалар

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

3.5- §. МАЙДАЛАШ МАШИНАЛАРИНИ ҲИСОБЛАШ

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

Валли, ясси юзали ва конусли янчиш машиналари. Валларнинг юзаси текис ва тарам-тарам бўлган 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 тиркиш, 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:

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

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

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

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

Майдаланган материал чиқадиган тирқишнинг бошқа қийматлари учун янчиш машинасининг иш унумдорлиги (V_a , $\text{м}^3/\text{с}$) қуйидаги 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, $\text{м}^3/\text{с}$; Δa — майдаланган материал чиқадиган тирқиш кенглигининг ўзгариши, мм; K_t — материалнинг толқон бўлиш қобилиятини белгиловчи коэффициент.

Материалнинг толқон бўлиш қобилиятини характерловчи коэффициент майдалаш қурилмасининг тадқиқот қилинаётган материал бўйича олинган солиштира иш унумдорлиги (q_a) ни ушбу қурилманинг эталон материал бўйича эришилган солиштира иш унумдорлиги (q_e)га нисбати билан ифодаланади:

$$K_t = \frac{q_a}{q_e} \quad (3.15)$$

Майдалаш қурилмасининг солиштира иш унумдорлиги қуйидагича топилади.

$$q_e = \frac{m}{V_e t} \quad (3.16)$$

бу ерда m — материал массаси, кг; V_e — майдалаш қурилмаси ҳажми, м^3 ; t — майдаланган материал заррачаси ўлчамини маълум бир қийматга эришгунча кетган жараённинг давомлилиги, с.

K_t нинг сон қиймати материалнинг гурига боғлиқ бўлиб, қуйидагича 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 қуйидаги тенглама ёрдамида аниқланади (N , Вт):

$$N = \frac{3(K_t \sigma_c)^2 G}{2E_{p_a}} (i - 1), \quad (3.17)$$

бу ерда K_0 — материал бўлагининг пишиқлилиқ коэффициенти; σ_c — материалнинг сиқилишдаги пишиқлилиқ 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 ($N_{\text{дв}}$, Вт) тенглама билан топилади:

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

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 $D_{\text{мах}}$ га кўра танлаб олинади.

Материалнинг майдаланиш даражаси қуйидаги тенглама ёрдамида аниқланади:

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

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

Идеал болганинг массаси идеал ва реал болғалар эркин осилган ўққа нисбатан олинган инерция моментларининг тенглигига 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: $a \geq 2d_{\text{мах}}$. Сўнгра олинган натижа асосида a нинг қиймати қуйидаги катордан 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:

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

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

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

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

бу ерда n — роторнинг айланиш частотаси, с^{-1} ; z_p — ротордаги болгаларнинг бўйлама кесими бўйича каторлар 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 ($F_{\text{св}}$ 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 $d_{\text{ном}}$ — $R(d_{\text{ном}}) = 0,05$ шартига жавоб берадиган заррачанинг номинал ўлчами, м.

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

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

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

Тегирмон танлашда электр двигателнинг қуввати қуйидагича топилади:

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

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

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

бу ерда φ — барабанининг тўлдириш коэффициенти; R — барабанининг 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 ($d_{\text{б.макс}}$) бузиш учун керак бўлган энергияга тенглик шартига кўра қуйидаги ифода билан аниқланади:

$$d_{\text{ш}} = \sqrt[3]{\frac{180^2}{\rho_{\text{ш}} \pi E \omega_{\text{ш}}^2}} d_{\text{б.макс}}, \quad (3.28)$$

бу ерда $\rho_{\text{ш}}$ — шар материалынинг 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:

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

бу ерда $R_{\text{к}}$ — барабанга солинган шарлар қатламининг энг кичик радиуси, м; g — эркин тушиш тезланиши ($g = 9,81$ м/с²); n — барабанининг айланиш частотаси, с⁻¹.

Ҳисоблаш натижаларига асосланиб, керакли шарнинг стандарт диаметри топилади. Бундай мақсад учун стандарт шар диаметрининг қуйидаги каторидан 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:

$$N_{\text{дв}} = \frac{K_N \rho_{\text{тш}} R^{2,5} L_{\text{д}}}{60 \eta_{\text{ш}}} \quad (3.30)$$

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

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

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

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

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

ТАКРОРЛАШ ВА МУСТАҚИЛ ИШЛАШ УЧУН САВОЛЛАР

- 3.1. Нима учун саноатда қаттиқ жисм заррачалари майдаланади? Майдалаш диффузия жараёнига қандай таъсир кўрсатади?
- 3.2. Майдалаш жараёни қандай принципларга асосан синфларга бўлинади? Бу жараёнинг 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 қисмли ва бўлғали 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 донаторлаш жараёнларининг назарий асослари. Эзиш ва донаторлашга мосланган машиналарнинг ишлаш принципларида қандай умумийлик бор?
- 3.12. Қаттиқ материалларни узатувчи транспорт элементларининг турлари. Транспорт қурilmаларининг иш унумдорлиги ва энергия сарфини қайси тенгламалар ёрдамида ҳисоблаш мумкин?

4-БОБ. ТЕХНИКА ГИДРАВЛИКА АСОСЛАРИ

4.1-§. УМУМИЙ ТУШУНЧАЛАР

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

Гидромеханика — суюқликнинг мувозанати ва ҳаракатини ҳамда суюқлик билан унга тўла ёки қисман чўктирилган жисм ўртасидаги ўзаро таъсирини ўрганувчи фан. Саноат қурилмаларида олиб бориладиган иссиқлик ва модда алмашилиш жараёнларининг тезлиги қўпинча 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 қаттиқ ҳолат ўртасидаги оралик ўринни эгаллайди.

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

Суюқлик ва газлар қуйидаги хоссалари билан бир-бирига ўхшайди: 1) суюқликлар худди газлар каби маълум шаклга эга эмас, унинг физик хоссалари барча йўналишда бир хил, яъни изотропдир; 2) газларнинг қовушқонлиги 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 суюқликлар *идеал суюқлик* деб айтилади. Аслида эса ҳар қандай суюқлик босим ёки температура таъсирида ўз ҳажмини ўзгартиради. Ҳар қандай суюқликда ички ишқаланиш кучи ва ковушоклик бўлади. Демак, ҳақиқатда табиатда идеал суюқлик бўлмайди, яъни *барча суюқликлар ҳақиқий суюқликдир*. Аммо баъзи суюқликларнинг ковушоклиги 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 конунларини ўрганишни осонлаштиради. Эластик суюқликларнинг ҳажми температура ва босим таъсирида кескин ўзгаради.

Гидродинамикани *ўрганиш масалалари уч турга* бўлинади: ички, ташки ва аралаш. Суюқлик ёки газларнинг труба ва каналлар бўйича ҳаракати гидродинамиканинг ички вазифасини, қаттиқ заррачаларнинг газ ёки суюқ муҳитдаги ҳаракати ташки 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 нг 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:

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

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

Элементар юзанинг қиймати нолга яқинлаштирилган ҳолатдаги кучнинг юзага нисбати берилган нуктадаги 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 нукталарида бир хил, чунки бу куч ҳаммавақт нормал бўйича йўналган бўлади. Бундан кўринадики, босимнинг қатталиги 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); $\text{дин}/\text{см}^2$; бар; симоб устуни; сув устуни ва ҳоказо. $1 \text{ кгк}/\text{см}^2$ га тенг бўлган босим техник атмосфера деб аталади. 10^5 паскальга тенг бўлган босим бир барни ташкил этади.

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

$1 \text{ ат}=1 \text{ кгк}/\text{см}^2=10^4 \text{ кгк}/\text{м}^2=9,81 \cdot 10^4 \text{ Па}=735 \text{ мм сим. уст.}=10^4 \text{ мм сув уст.}$

$1 \text{ атм}=1,033 \text{ кгк}/\text{см}^2=1,033 \cdot 10^4 \text{ кгк}/\text{м}^2=1,033 \cdot 10^5 \text{ Па}=760 \text{ мм сим. уст.}=1,033 \cdot 10^4 \text{ мм сув уст.}$

Паскаль ва бошқа бирликлар ўртасида яна қуйидаги нисбат бор:

$1 \text{ дин}/\text{см}^2=0,1 \text{ Па}$; $1 \text{ бар}=10^5 \text{ Па}$; $1 \text{ мм сув уст.}=9,81 \text{ Па}$;
 $1 \text{ мм сим. уст.}=133,3 \text{ Па}$.

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.

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

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

Манометрик босим техник атмосфера билан ўлчаниб, ортикча 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-§. СУЮҚЛИК МУВОЗАНАТ ҲОЛАТИНИНГ ЭЙЛЕР ДИФФЕРЕНЦИАЛ ТЕНГЛАМАСИ

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

Параллелепипеднинг ҳажмини dv , унинг x , y ва z координаталар ўқига параллел йўналган қирраларини dx , dy ва dz билан белгилаймиз. Параллелепипедга 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 боғлиқ:

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

Статиканинг асосий қондасига мувофиқ тинч ҳолатда турган кичкина ҳажмга таъсир қилаётган барча кучларнинг координаталар ўқларига нисбатан олинган проекцияларининг йигиндиси нолга тенг, акс ҳолда суюқлик ҳаракатда бўлар эди.

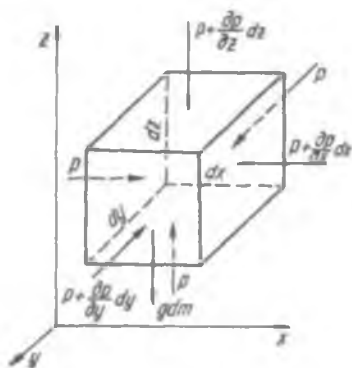
Кучлар йигиндисини z ўққа нисбатан проекциялаймиз. Огирлик кучи z ўққа параллел ва унга қарама-қарши томонга йўналган, шунинг учун бу куч z ўққа манфий (—) ишора билан проекцияланади:

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

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 нуқтадаги 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

(юқориги) 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 шarti куйидаги тенгламалар системаси билан ифодаланади:

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

Бу тенгламалар системаси Эйлернинг суюқлик мувозанат

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

4.4-§. ГИДРОСТАТИКАНИНГ АСОСИЙ ТЕНГЛАМАСИ

(4.7) тенгламалар системасидан кўриниб турибдики, тинч турган суюқликнинг исталган нуктасидаги босимнинг x ва y ўқлар бўйича ўзгариши нолга тенг бўлиб, босим вертикал z ўқ бўйича ўзгаради. Шунинг учун $\frac{\partial P}{\partial z}$ хусусий ҳосила 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 суюқликларнинг зичлиги ўзгармас бўлгани учун

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

Бу тенгламани интеграллаймиз, у ҳолда:

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

Бу тенглама гидростатиканинг асосий тенгламаси дейилади.

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

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

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

P_0 — тинч турган суюқлик сиртига таъсир қилаётган атмосфера босими.

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

4.5-§. НЬЮТОН ВА НОНЬЮТОН СУЮҚЛИКЛАР

Ҳамма газлар ва кичик молекуляр массага эга кўпчилик суюқликларнинг умумлашган механик хоссаларини *Ньютоннинг ишқаланиш қонуни* (4.17) орқали ифодалаш мумкин. Бундай суюқликлар ньютон *суюқликлари* деб юритилади. Берилган температура ва босимдан ньютон суюқликларининг қовушоқлиги ўзгармас қийматга эга бўлади.

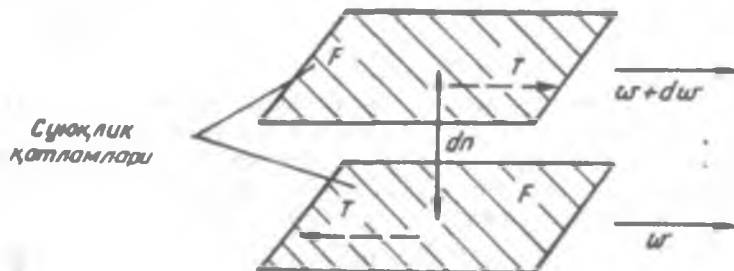
Аммо баъзи суюқликлар (полимерларнинг эритмаси, бўёқ, целлюлоза, паста, суспензиялар ва ҳоказо) анча мураккаб қовушоқлик хоссаларига эга, бундай суюқликлар (яъни *ноньютон суюқликлар*)нинг хоссаларини Ньютон қонуни ёрдамида ифодалаш мумкин эмас. Ноньютон суюқликларда қовушоқлик ҳолат параметрларидан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

Ньютоннинг ишқаланиш қонуни (4.17) 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-расм. Қовушоқликнинг аниқлаш

(4.2- расм) юзаси F га нормал ўтказиш пайтида унинг йўналишини тезлик камроқ томонга қараб олинса, у ҳолда тезлик градиентининг қиймати доимо манфий бўлади. Бундай ҳолатда (4.11) тенглама қуйидагича 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. $\tau = -\mu \frac{dw}{dn}$ богликлигини график шаклда

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

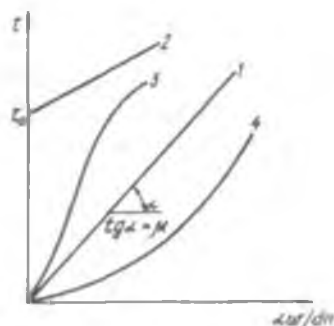
Ньютон суюқликлар учун τ билан $\frac{dw}{dn}$ ўртасидаги богликлик тўғри чизикни ташкил этади (1- чизик). Бу чизик қиялик бурчагининг тангенсига тенг бўлади: $\operatorname{tg} \alpha = \mu$.

Бингам ёки пластик суюқликлар каторига суспензиялар, хўл кум, лой, пасталар қиради. Силжиш кучланиши кичик қийматга эга бўлганда бундай суюқликлар оқмайди (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 қуйидагича ёзилади:

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

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

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



4.3- расм. Оқиш эгри чизиклари. Суюқликлар:

1 — ньютон, 2 — бингам, 3 — мавҳум пластик, 4 — дилатант

Мавхумпластик ва дилатант суюқликлар туюладиган қовушоқлик (μ_s) билан характерланади:

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

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

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

4.6-§. СУЮҚЛИКНИНГ ТЕЗЛИГИ ВА САРФИ

Суюқ мухитнинг 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 боглик бўлса — у ҳолда ҳаракат *нотурғун* бўлади. Турғун ҳаракат учун $w = f(x, y, z)$ нотурғун ҳаракат учун эса $w = f(x, y, z, t)$, бу ерда w — тезлик; x, y, z — координата ўқлари; t — вақт.

Трубада оқаётган суюқликнинг тезлиги трубанинг деворларига яқинлашган сари камаяди, чунки суюқлик ҳаракати ишқаланиш кучи туфайли секинлашади ва суюқлик заррачалари деворга ёпишиб, кўзгалмас 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 кўндаланг кесимига нисбати *ўртача тезлик* (w , м/с) дейилади:

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

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

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

Бу тенглик *секундли сарф тенгламаси* дейилади.

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

$$M = V\rho = wS\rho, \quad (4.15)$$

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

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

4.7-§. Оқимнинг узлуксизлиги

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

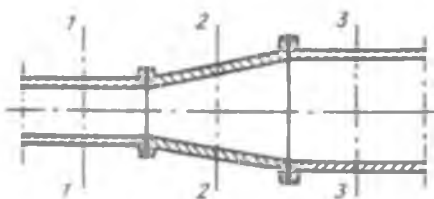
$$w_1 S_1 \rho_1 = w_2 S_2 \rho_2 = w_3 S_3 \rho_3 \quad (4.16)$$

ёки

$$M_1 = M_2 = M_3.$$

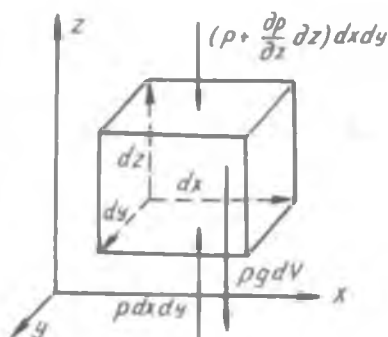
бу ерда $M = Sw\rho$ — суюқликнинг массавий сарфи, кг/с.

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



4.4-рasm. Узлуксизлик тенгламасини аниқлаш.

4.5-рasm. Ҳаракатдаги суюқликнинг Эйлер тенгламасини аниқлаш.



$= \text{const}$), шунинг учун вақтнинг исталган моментида 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- рasm).

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

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

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

$$dm = \rho dx dy dz$$

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

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

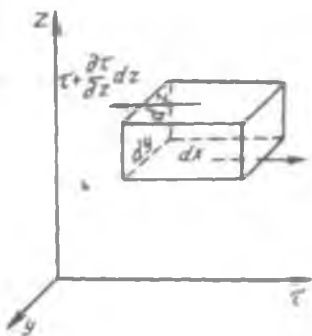
Қисқартиришлардан сўнг қуйидаги тенгламалар системасига эга бўламиз:

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

Бу тенгламалар тургун оқимлар учун идеал суюқликлар ҳаракатини ифодаловчи *Эйлернинг дифференциал тенгламаси*дир. Бу тенгламалар системасини интеграллаш натижасида *Бернулли тенгламаси*ни келтириб чиқариш мумкин.

4.9-§. СУЮҚЛИК ҲАРАКАТИНИНГ НАВЬЕ-СТОКС ДИФФЕРЕНЦИАЛ ТЕНГЛАМАСИ

Қовушқоқликка эга ҳақиқий суюқликлар ҳаракатида оқим заррачаларига огирлик 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- рисм. 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. $\frac{\partial \tau}{\partial z}$ ҳосиласи параллелепипед-

нинг пастки қиррасида жойлашган нуқталардаги кучланиш уринмасининг z ўқи бўйича ўзгаришини ифодалайди. $\frac{\partial \tau}{\partial z} dz$ эса ушбу куч-

ланишни параллелепипед қиррасининг бутун узунлиги dz бўйлаб ўзгаришини билдиради.

Тенг таъсир этувчи ишқаланиш кучларининг x ўққа проекцияси:

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

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 ўқида 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 йигиндис *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 ўқида 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 суюкликнинг элементар ҳажмига таъсир қилувчи ҳамма кучлар (огирлик, 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 йигиндиси динамиканинг асосий принципларига асосан, элементар ҳажмидаги суюклик массаси ($\rho dx dy dz$) ни координата ўқларига туширилган тезланиш проекциялари кўпайтмасига тенг бўлиши керак. Шу сабабдан, тенг таъсир этувчи куч проекциясини массанинг тезланиш проекциясига кўпайтмасига тенглаб, сўнгга $dx dy dz$ га қискартириб, қуйидаги ифодаларга эришамиз:

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

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

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

4.10-§. ОКИМНИНГ МАТЕРИАЛ ВА ЭНЕРГЕТИК БАЛАНСЛАРИ

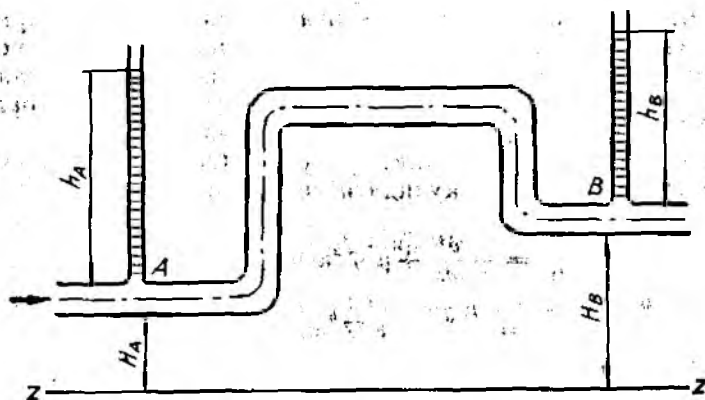
Материал баланси. Суюкликнинг тургун оқимларида материал баланси сарф тенгламалари (4.14), (4.15) билан, ўзгарувчан кесимли трубопроводлар учун эса оқимнинг узлуксизлиги тенгла-маси (4.16) ёрдамида аниқланади.

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

пайтидаги энергиянинг сакланиш конунига асосан изотермик окимнинг тўла энергияси (E) кинетик ва потенциал энергиялар (E_k ва E_p) нинг йигиндисига тенг:

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

Окимнинг 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 окимнинг параметрлари орқали ифодалаймиз:

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

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

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

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

Энергиянинг сакланиш конунига кўра идеал сиқилмайдиган изотермик суюқлик окими учун:

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

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

Бернулли тенгламасининг қуйдаги кўринишда ёзилиши кенг ишлатилади:

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

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

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

$\frac{w^2}{2g}$ — тезлик (динамик) босими. Агар геометрик босим берилган нуктадаги суюклик 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_v , $\frac{p}{\rho g}$ ни h_c ва $\frac{w^2}{2g}$ ни эса h_g билан белгиласак, унда:

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

Бернулли тенгламасига биноан, идеал суюкликларнинг 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 суюкликларда ички ишқаланиш кучи мавжуд бўлгани сабабли, суюклик трубаларда оқаётганда бир қисм босим бу кучни енгиши учун сарф бўлади. Бундай шароитда Бернулли тенгламаси қуйдагича ёзилади:

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{w_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{w_2^2}{2g} + h_u \quad (4.28)$$

ёки

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

бу ерда h_u — ишқаланиш кучини енгиш учун сарфланган босим.

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

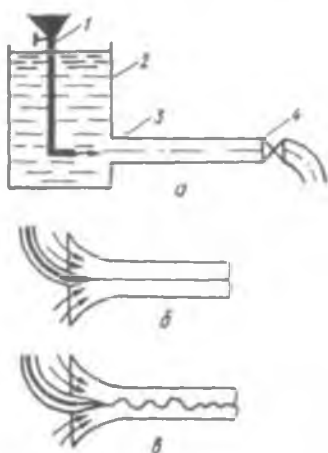
$$h_r = 0 \quad \text{ва} \quad h_c + h_g + h_u = H. \quad (4.30)$$

Бернулли тенгламасидан фойдаланиб, умумий гидродинамик босим, суюқликларнинг тезлиги, сарф микдорини 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 юбориладиган найча, 2 — суюқлик тўладирилган идиш, 3 — суюқлик оқадиган труба, 4 — суюқлик ҳаракатини ростлаб тураччи 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 қизиқ 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 уқорма 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 чизиқли ўлчами (думалоқ кесимли трубопровод учун унинг диаметри), м; ρ — суюқликнинг зичлиги, кг/м³; μ — қовушоқликнинг динамик коэффициент, Па·с; ν — қовушоқликнинг кинематик коэффициент, м²/с.

Ушбу ўлчамсиз комплекс *Рейнольдс мезони* дейилади.

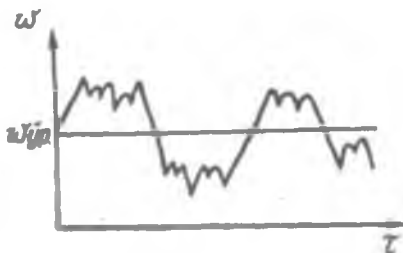
Рейнольдс мезони ҳаракат режимини аниқлаш билан бирга оқим ҳаракатидаги қовушоқлик ва инерция кучларининг ўзаро нисбатини ҳам аниқлайди. Суюқликларнинг ҳаракат режими Рейнольдс мезонининг критик қиймати $Re_{кр}$ билан аниқланади.

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.

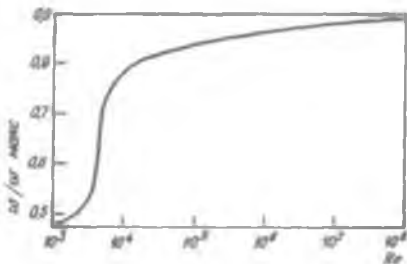
Суюқликлар ҳаракатини думалоқ кесим юзали трубалардан ташқари ҳар хил каналларда аниқлаш учун Re мезонидаги диаметр ўрнига эквивалент диаметр катталиги ишлатилади. У ҳолда

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

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



4.9-рasm. Оқим тезликларининг пульсацияси ($\omega_0 = \omega \pm \Delta\omega$).



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

Диаметри d га тенг бўлган думалок кесим юзали труба учун $d_0 = d$. Агар каналнинг кесим юзаси томонлари a ва b га тенг бўлган тўртбурчаклик бўлса, у ҳолда:

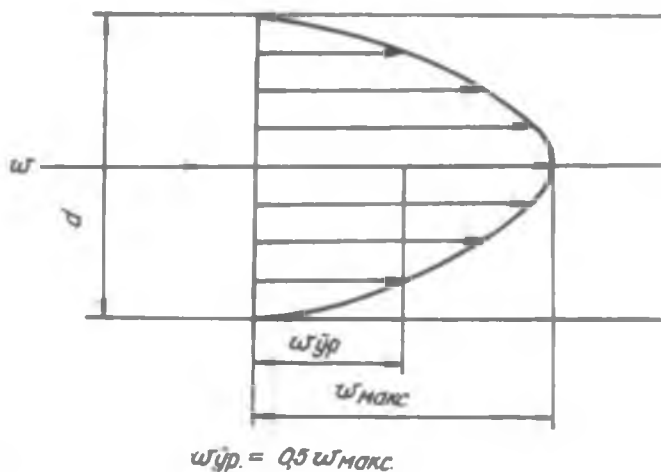
$$d_0 = \frac{4S}{\pi} = \frac{4ab}{2a+2b} = \frac{2ab}{a+b}. \quad (4.33)$$

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

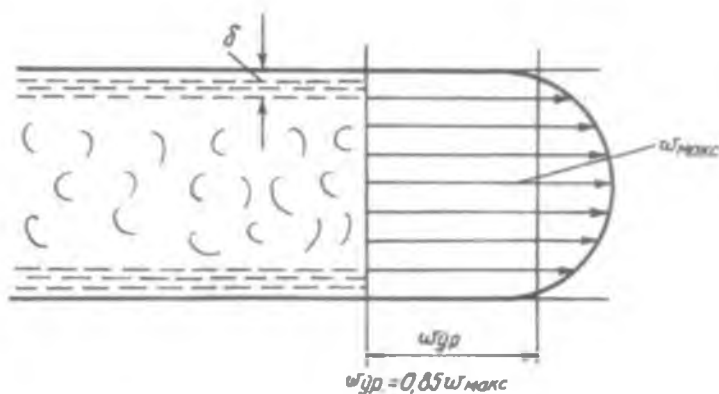
Оқимнинг турбулентлик даражаси пульсация тезлигининг (яъни пульсацияларнинг) жадаллиги билан белгиланади. Пульсациянинг жадаллиги ҳақиқий оний тезликнинг ўртача тезликка нисбатан вақт давомида ўзгариши билан ифодаланади (4.9- расм). Ушбу тезлик ўзгаришини координата ўқлари йўналиши бўйича тақсимлаш мумкин:

$$w_x, \Delta w_y \text{ ва } \Delta w_z.$$

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



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



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

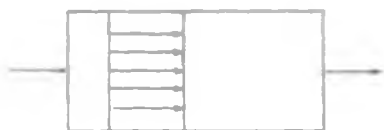
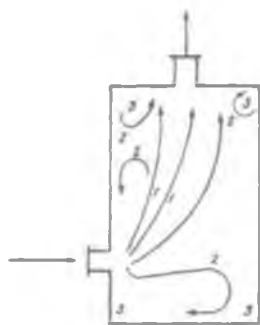
Оқимдаги ўртача ва энг юқори тезликларнинг нисбати суюқликнинг ҳаракат режимига (яъни Рейнольдс мезонининг сон қиймати) боғлиқлиги тажриба йўли билан исботланган. Re нинг маълум қиймати бўйича Никурадзе графиги (4.10- расм) ёрдамида $\omega_{гр} / \omega_{макс}$ аниқланади, сўнгра трубопроводнинг ўқи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

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

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

4.12- §. СУЮҚЛИК ОҚИМИНИНГ ТУЗИЛИШИ

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



4.14- расм. Идеал сиқиб чиқариш қурилмасининг чизмаси.

4.13- расм. Ичи 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 қиляётган 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 ($w_{\text{гр}} = 0,5w_{\text{макс}}$). 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: $w_{\text{гр}} = (0,8 \div 0,9) w_{\text{макс}}$. 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 миқдорининг вақт давомида ўзгаришига қараб, айрим заррачаларнинг қурилмада бўлиш вақти аниқланади. Индикатор сифатида бўёқ, туз эритмаси, радиоактив препарат ва бошқа моддалар ишлатиланди. 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.

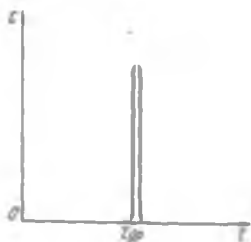
Суюқлик оқимининг тузилишини аниқлаш учун икки хил физик моделлардан фойдаланилади:

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

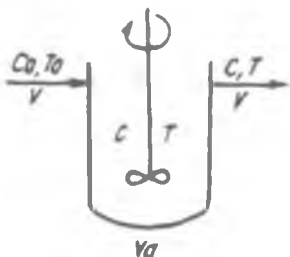
Идеал сиқиб чиқариш модели. Қурилманинг ичидаги суюқлик заррачалари ўзаро параллел ва бир хил тезлик билан ҳаракат қилади. Бундай ҳолатда заррачалар оқимнинг асосий массасидан ўтиб ҳам кетмайди, орқада ҳам қолмайди. Оқим худди қаттиқ поршенга ўхшаб ҳаракат қилади. Поршенли ҳаракатга эга бўлган қурилмаларни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

$$\tau_{\text{ср}} = \frac{l}{w} = \frac{l \cdot S}{w \cdot S} = \frac{V_a}{V}, \quad (4.34)$$

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



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



4.16- расм. Идеал аралаштириш қурилмасининг чизмаси.

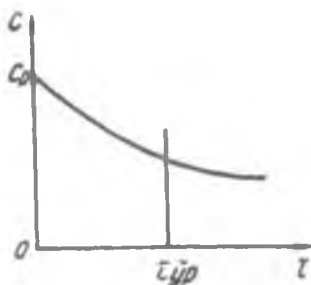
4.15- расмда идеал сиқиб чиқариш қурилмасининг жавоб бериш эгри чизиги кўрсатилган. Қурилмага кираётган оқимга индикатор қўшилган моментдан бошлаб ($\tau=0$), то $\tau=\tau_{\text{ср}}$ бўлгунча қурилмадан чиқаётган оқимнинг таркибида индикатор бўлмайди. $\tau=\tau_{\text{ср}}$ моментда индикаторнинг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

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

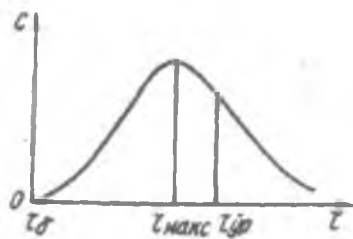
Идеал аралаштириш модели. Ушбу моделга кўра, қурилмага кираётган заррачаларнинг қурилмада мавжуд бўлган заррачалар билан бир онда тўла аралашishi рўй беради (4.16- расм). Агар қурилмага узлуксиз кираётган оқимга маълум миқдорда бўёк M_0 қўшилса, у ҳолда ушбу индикатор қурилмадаги ҳамма суюқликни тўлиқ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

$$C_0 = \frac{M_0}{V_0} \quad (4.35)$$

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 τ_{op} оралиғида қурилмадан чиқиб кетади. Индикаторнинг қолган қисмини қурилмадан тўла чиқариш учун назарий жиҳатдан олганда чексиз вақт талаб қилинади ($\tau \rightarrow \infty$).



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



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

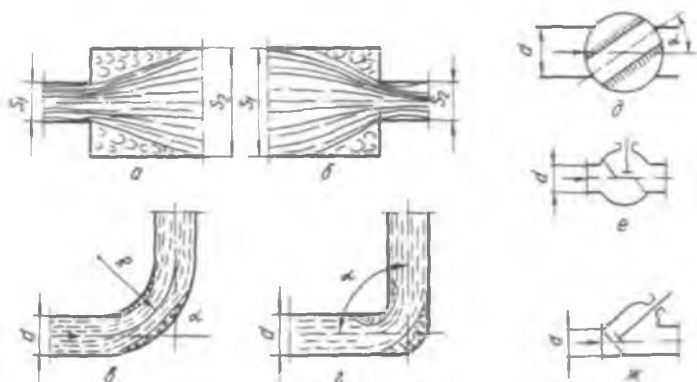
Идеал аралаштирувчи қурилмаларга ишлаш принципи бўйича жадал ишлайдиган аралаштиргичи бўлган идиш ва мавҳум қайнаш катламли қурилма мисол бўла олади.

Қўлчилик 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 оралиғида қурилмадан чиқиши эҳтимолга яқин.

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

4.13- §. ГИДРАВЛИК ҚАРШИЛИКЛАР

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



4.19- расм. Маҳаллий қаршиликлар:

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

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

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

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

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

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

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

Гидравлик жиҳатдан силлиқ трубалар учун Re нинг қиймати $1 \cdot 10^3$ дан 10^4 гача бўлганда ишқаланиш коэффициентини *Блазиус тенгламаси* орқали аниқлаш мумкин:

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

Турбулент оқимда ишқаланиш коэффициентининг катталиги режимга ҳамда трубадаги гадир-будурлигига боғлиқ. Трубадаги 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) трубадаги эквивалент диаметрига (d_e) нисбати *нисбий гадир-будурлик* дейилади ва e билан ифодаланади:

$$e = \frac{\Delta}{d_e} \quad (4.39)$$

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

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

Маҳаллий қаршиликлардаги 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 қаршилик коэффициентини (4.2-жадвалга қараган) унинг қиймати тажриба йўли билан аниқланади.

4.2- жа д ы а л. Маҳаллий қаршилик коэффициентлари

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

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

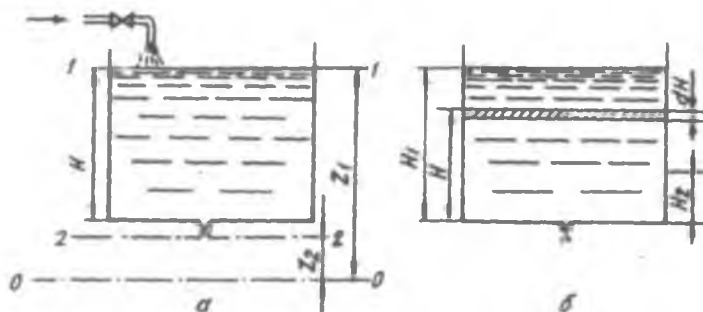
$$\Delta P = \left(\lambda \frac{l}{d_s} + \sum \zeta_{\text{мех}} \right) \frac{\rho w^2}{2} \quad (4.42)$$

4.14- §. СУЮҚЛИКЛАРНИНГ ТЕШИКЛАР ОРҚАЛИ ОҚИБ ЧИҚИШИ

Идишдаги суюқликнинг пастки юпка девордаги думалок 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 $w_1 = 0$, бундан ташқари, $z_1 - z_2 = H$, у ҳолда:

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

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

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

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

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

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

Тезлик ва оқимнинг сиқилиш коэффициентларининг кўпайтмаси *сарф 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, тешик шакли ва оқим тезлигига боғлиқ. Ҳажмий сарф миқдори:

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

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

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

$$dV = V_1 d\tau = \alpha S_0 \sqrt{2gH} d\tau,$$

бу ерда S_0 — идиш тубидаги тешикнинг кўндаланг кесими.

Вакт бирлигида идишдаги суюқлик баландлиги dH га ўзгаради ва бунда идишдаги суюқлик микдори қуйидаги микдорга камаяди:

$$dV = -S dH,$$

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

Ўзлуксизлик тенгламасига асосан оқиб тушган суюқликлар микдорини бир-бирига тенглаштираемиз:

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

бундан

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

Суюқликнинг оқиб тушиш вақтини аниқлаш учун бу ифодани интеграллаймиз:

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

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

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 микдорга 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 КАТЛАМДАГИ ҲАРАКАТИ

Қўпчилик кимёвий-технология жараёнларида суюқлик ва газлар сочилувчан донасимон материаллар катлампидан 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 *қўп ўлчамли қатлам* дейилади. Бу жараёнларда суюқлик ва газлар донасимон материалларнинг орасидан ва каналлардан ўтади. Донасимон материалларнинг қатлами гидравлик қаршилик, солиштирама юза, заррачалар

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

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

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

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

Катлам учун Рейнольдс мезони:

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

бу ерда ω_0 — суюқликнинг мавҳум тезлиги.

Мавҳум тезлик суюқлик ҳажмий сарфини катламнинг қўндаланг кесими юзасига бўлган нисбатига тенг: $\omega_0 = \frac{V}{F}$

Катлам каналидаги суюқликнинг ҳақиқий тезлиги:

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

бу ерда ϵ — катламдаги бўш ҳажмнинг улуши.

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

$$\epsilon = \frac{V - V_3}{V} = \frac{V_b}{V}. \quad (4.49)$$

бу ерда V — донасимон катлам ҳажми; V_3 — катламдаги заррачалар эгаллаган ҳажм; V_b — катламдаги бўш ҳажм.

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

$$f_s = \frac{6(1-\epsilon)}{d_s}, \quad (4.50)$$

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

бу ерда d — заррачаларнинг диаметри, м.

Каналларнинг узунлиги катлам 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:

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

Ламинар оқим учун қатламнинг қаршилиқ коэффициенти:

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

Бундай ҳолатда:

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

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

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

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

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

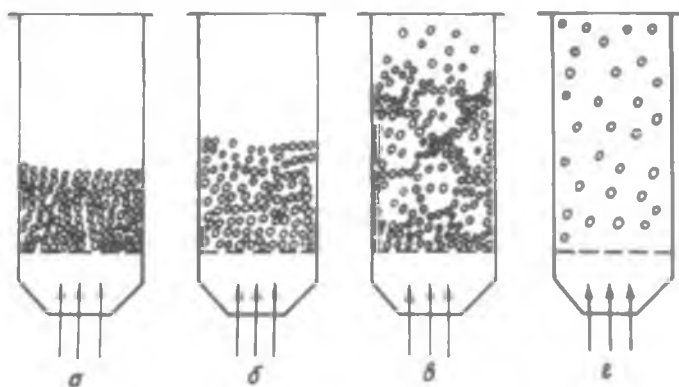
$$\psi = \frac{f_w}{f_3} \quad (4.57)$$

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

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

4.16-§. МАВҲУМ ҚАЙНАШ

Ҳозирги вақтда каттик донатор материалларнинг мавҳум қайнаш ҳолати саноатнинг турли тармоқларида, жумладан бир қатор кимёвий-технология жараёнлари (адсорблаш ва десорблаш, қуритиш, каттик материалларни эритиш ва экстракляш, иссиқлик алмашилиш ва ҳоказо) да истикболли усул сифатида кенг қўлланилмокда. Бу усул каттик заррачалар билан мухит (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 домчаларнинг оқими билан чиқиб кетиши

Бундай шароитда жараёнининг энг муҳим катталиклари (температура ва концентрация) нинг барабарлашиши 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 түр устига жойлаштиради. Агар түр орқали пастдан юқорига қаратиб кичик тезлик билан газ ёки суюқлик оқими юборилса, материал қатлами ўзгармай қолади (4.21- расм, а). Газ оқими тезлигини аста-секин қўпайтириб 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 кенгайди, заррачалар ҳаракатининг тезлиги ортади, бунда гидродинамик мувозанат бузилмайди. Бундай шароитда қатлам мавҳум қайнаш ҳолатини эгаллайди, яъни қатлам ҳудди қайнаётгандек бўлиб кўринади (4.21- расм, б, в).

Мавҳум қайнаш ҳолатида материал заррачаларининг огирлиги G нинг қурилма кўндаланг қесими 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 каттик материал доначалари газ оқими билан бирга чиқиб кетади (4.21- расм, з). Каттик 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 каттик материал заррачалари бутун қатлам баландлиги бўйича бир хил тарқалган бўлади. Амалий жихатдан бундай мавҳум қайнаш жараёни томчили суюқлик (масалан, сув) ёрдамида амалга оширилиши мумкин. Турли жинсли мавҳум қайнаш асосан каттик модда заррачалари юза оқими ёрдамида мавҳум қайнаш ҳолатига келтирилганда юз беради. Бунда биринчи ва иккинчи критик тезликлар ораллигида каттик модда заррачалари қатлам бўйлаб ҳар хил тарқалган бўлади.

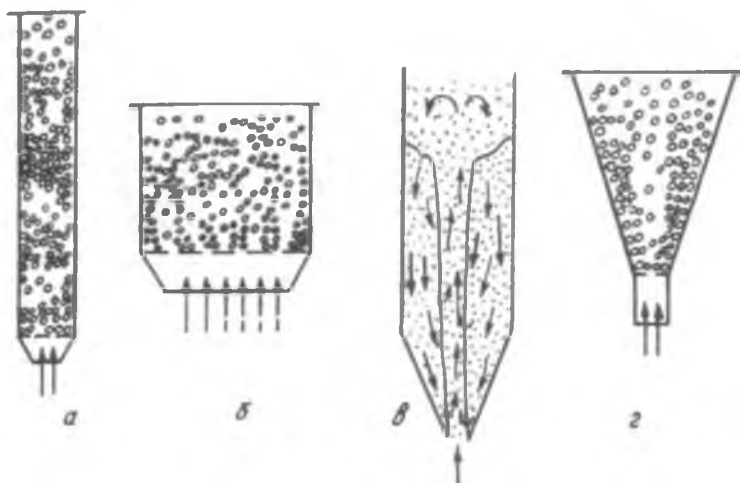
Турли жинсли қатламнинг ҳосил бўлиш даражаси заррачаларнинг юзаси ва шаклига, каттик материал заррачалари ва ҳаракатдаги оқим зичликларининг нисбатига, заррачаларнинг диаметрига, оқимнинг тезлигига, газ тарқатувчи турнинг хилига боғлиқ.

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

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

Нам каттик 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, каттик материалларнинг асосий массаси ўзгармай қолаверади. Конуссимон ва конусцилиндрсимон қурилмаларда канал ҳосил қилувчи қатлам фавворали қатламга айланади (4.22- расм, в, з). Бундай шароитда газ ёки суюқлик оқими асосан қурилманинг ўқи бўйлаб каттик заррачалар билан бирга ҳаракат қилади ва фаввора каби уларни юқорига отади. Сўнгра каттик 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:

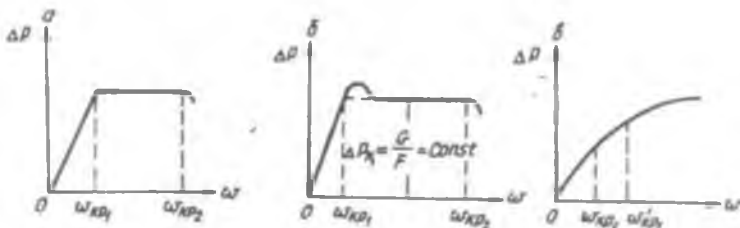
а) поршеньли қайнаш қатлами, б) каналли қайнаш қатлами; в, г) фонтансимон қайнаш қатлами

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

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

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

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



4.23- расм. Мавҳум қайнаш эгри чизиклари:

а) идеал ҳолат учун, б) ҳақиқий бир улчили заррачалар аралашмаси учун, в) кўп ўлчамли заррачалар аралашмаси учун

бу ерда $\rho_{\text{кз}}$ — каттик заррачаларнинг зичлиги, кг/м^3 ; ρ — мухитнинг зичлиги, кг/м^3 ; ϵ — қатламдаги бўш ҳажининг 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* тенгламасидан фойдаланиш энг қулайдир:

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

бу ерда

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

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

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

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

(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 каттик заррачаларнинг сикилган 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 бўшлиқнинг улуши; ϵ_0 — ўзгармас қатламдаги заррачалар орасидаги бўшлиқнинг улуши; H_0 — ўзгармас қатлам баландлиги, м .

Мавҳум қайнаш жараёни мавҳум қайнаш сони K_w билан характерланади:

$$K_w = \frac{w^2}{w_{\text{кр}}^2} \quad (4.64)$$

бу ерда w — курилманинг тула кесимига нисбатан олинган иш тезлиги, м/с; $w_{кр1}$ — мавхум қайнаш қатламининг ҳосил бўлиш критик тезлиги, м/с.

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

Заррачаларнинг қатламда ўртача бўлиш вақти:

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

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

Қаттик заррачаларнинг суюқлик ёки газ оқими билан курилмадан чиқиш тезлигини w , деб оламиз. Бундай шароитда қатламнинг кенгайиш даражаси энг катта қийматга эга бўлади, яъни $\epsilon=1$. Тахминий ҳисоблашлар ($w_1 = w_{кр2}$) учун (4.61) тенгламадаги ϵ нинг қийматини бирга тенг деб олиб, қуйидаги тенгламага эришамиз:

$$Re_c = \frac{Ar}{18 + 0.61 \sqrt{Ar}} \quad (4.66)$$

бу ерда

$$Re_c = \frac{w_c d_p}{\mu}$$

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

Тошкент кимё-технология институти «Жараёнлар ва курилмалар» кафедрасида олиб борилган тадқиқотлар шуни кўрсатдики, донасимон толали материаллар (масалан, пахта чигити) нинг мавхум қайнаш қатлами узига 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 $w_{кр1}$ нинг қиймати чигитнинг тола ушлашлигига боғлиқ эканлиги тасдиқланади. Бундан ташқари чигит қатлами учун $\epsilon_0=0.43 \pm 0.55$ маълум бўлди, ваҳоланки кўпчилик сочилувчан материаллар учун $\epsilon_0=0.38 \pm 0.42$ (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
$d, \text{мм}$	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 булган 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 $w_{кр1}$) нинг қиймати шакл коэффициентига ва заррачанинг тола ушлашлигига боглиқ экан. Шу сабабдан донасимон толали материалларнинг ушбу хоссалари заррачанинг тола ушлашлик даражасини белгиловчи коэффициент 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 ташки юзасидаги толанинг миқдори, %.

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

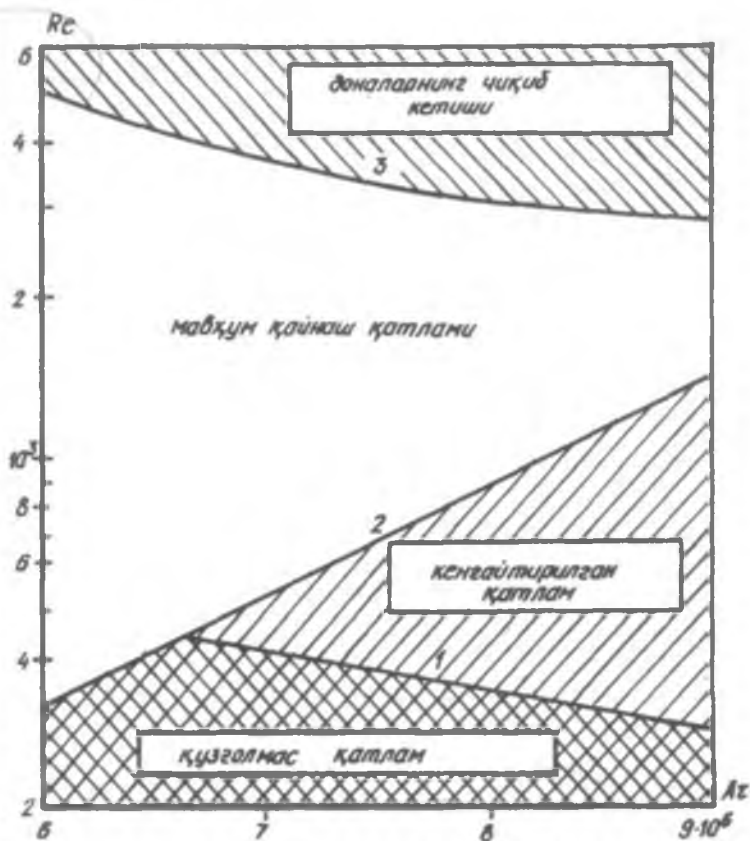
$$Re_{кр} = \eta \frac{Ar}{1400 + 5,22 \sqrt{Ar}} \quad (4.68)$$

(4.68) ифода Тодес тенгласининг ўзгарган кўриниши ҳисобланади.

Донасимон-толали материалларнинг қурилмадан чиқиб кетиш ҳолатига тўғри келган тезлик (яъни иккинчи критик тезлик) $w_{кр2}$ 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 — то'лали материаллар мавҳум қайнаш ҳолатининг чегаралари:

1 — қўзғалмас ва кенгайтирилган қатламлар ўртасидаги чегара; 2 — мавҳум қайнаш қатламининг пастки чегараси; 3 — мавҳум қайнаш қатлами ва эвралчаларнинг қатламдан чиқиб кетиш ҳолати ўртасидаги чегара

4.24- расмдан кўриниб турибдики, мавҳум қайнашнинг критик ҳолатгача бўлган зонасида ($K_w < 1$) фақат донасимон-то'лали 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 матери-алларнинг мавҳум қайнаш ҳолатида бўла олиш чегаралари аниқланди. Қўзгалмас ва кенгайтирилган катламлар ўртасидаги чегара чизиги (4.70) тенглама ёрдамида, мавҳум қайнаш ҳолатининг пастки чегараси (4.65) тенглама орқали, заррача-ларнинг қурилмадан газ оқими билан чиқиб кетиш ҳолати эса (4.69) тенглама билан ҳисобланиши мумкин. Демак, донасимон-толали материаллар учун мавҳум қайнаш ҳолат 2 ва 3- чегара чизиклари оралигида мавжуд бўлади. Бў 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 ўлчанади?
- 4.3. Суюқликнинг мувозанат ҳолатини қайси дифференциал тенглама билан ифодалаш мумкин? Гидростатиканинг асосий тенгламаси қандай кўринишга эга?
- 4.4. Ньютон ва ноньютон суюқликларнинг асосий хусусиятлари. Ноньютон суюқ-ликлар неча турга бўлинади?
- 4.5. Оқимнинг узлуксизлиги. Суюқликнинг тезлиги ва сарфини қайси тенглама-лар ёрдамида ҳисоблаш мумкин?
- 4.6. Суюқлик ҳаракатининг Эйлер ва Навье-Стокс дифференциал тенгламаларни ўртасида қандай фарқ бор?
- 4.7. Идеал ва ҳақиқий суюқликлар учун Бернулли тенгламаларни.
- 4.8. Суюқликларнинг ҳаракат режимлари. Рейнольдс мезонининг критик қий-мати. Тезликларнинг труба қўндаланг кесими бўйича тақсимланиши.
- 4.9. Суюқлик оқимининг тузилиши. Оқимнинг физик моделлари.
- 4.10. Гидравлик қаршиликлар. Ишқаланиш коэффициентининг қийматини қайси тенгламалар ёрдамида ҳисоблаш мумкин?
- 4.11. Суюқликнинг тешиқлар орқали оқиб чиқишини ифодаладиган асосий тенг-ламалар.
- 4.12. Суюқликнинг донасимон қатламдаги ҳаракати. Қатламнинг гидравлик қар-шилигини қайси тартибда ҳисоблаш мумкин?
- 4.13. Мавҳум қайнаш ҳолатининг асосий хусусиятлари. Биринчи ва иккинчи кри-тик тезликлар қайси тенгламалар ёрдамида аниқланади?
- 4.14. Донасимон-толали материалларнинг гидродинамикаси. Бундай қатламдан газ оқими ўтганда 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 оқим-нинг муқобил тезлигини аниқлаш.
- 4.17. Суюқликнинг плёнкали ҳаракатининг кимёвий технологияда ишлатилиши. Плёнканинг қалинлигини қандай қилиб аниқлаш мумкин?

5.1-§. УМУМИЙ ТУШУНЧАЛАР

Кимё саноатининг барча тармоқларида суюқликлар, газлар, буғлар, пластик ва сочилувчан материаллар трубопроводлар ёрдамида узатилади. Суюқлик ва газларни узатиш учун гидравлик машиналар ишлатилади. Механик ишни оқимнинг энергиясига айлантирувчи қуролма *гидравлик машина* деб юритилади.

Гидравлик машинанинг энергияси оқимга тезлик беришдан ташқари узатиш йўлидаги қаршиликларни енгилш 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 ҳажмни ёпиқ камерадан итариб чиқаришга асосланган. Ҳажмий насослар жумласига поршенли, плунжерли, диафрагмали, тишли, пластина-ли ва винтсимон насослар киради.

Саноатда суюқликларни сиқилган газ (ёки ҳаво) ёрдамида узатиш учун эрлифтлар ва монтежюлар ҳам ишлатилади.

Трубаларнинг бошланғич ва охириги нуқталаридаги босимлар фарқи трубалардан суюқликнинг оқиши учун ҳаракатлантирувчи куч ҳисобланади. Насос электродвигателдан 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) *вентиляторлар* ($P_2/P_1 < 1,1$) — кўп миқдордаги 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 паррақли бўлади.

Ҳажмий компрессорларда газ босими унинг ҳажмини мажбурий камайтириш ҳисобига кўнаяди. Ҳажмий компрессорлар жумласига поршенли, ротацион ва винтли компрессорлар киради.

Паррақли компрессорларда газ босими компрессорнинг гилди-раклари айланганида вужудга келадиган инерция кучлари таъсирида кўнаяди. Улар *трубокомпрессорлар* ҳам дейи-лади.

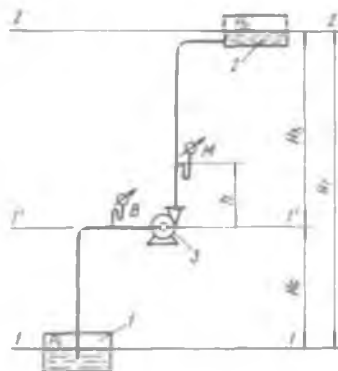
Насослар, вентиляторлар, газодувкалар, компрессорлар ва вакуум насослардан фойдаланиш бир қатор катталиклар билан характерланади: иш унумдорлиги (Q м³/с); босим (H , м суюқлик устуни); истеъмол қиладиган қувват (N , кВт).

5.2-§. НАСОС БОСИМИ ВА СЎРИШ БАЛАНДЛИГИ

Умумий босим. Суюқликни пастки идишдан (5.1-расм) сўриш ва ҳайдаш трубалари орқали ҳайдаш учун 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 — суюқлик сўриб олинаётган идишдаги босим; P_2 — юкорида жойлашган идишдаги босим; P_c , P_x — суюқликнинг насосга киришидаги ва чиқишидаги босими; H_c — сўриш баландлиги; H_x — ҳайдаш баландлиги; H — суюқликнинг геометрик кўтарилиш баландлиги; h — вакуумметр ва манометр ўрнатилган нукталар орасидаги вертикал масофа.



5.1-расм. Насоснинг умумий босимини аниқлаш:

1 — суюқлик ҳайдашдаги резервуар;
2 — суюқлик 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 хайдаш 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 хайдаш трубаларидаги суюқлик тезлиги; h_c, h_x — сўриш ва хайдаш трубаларидаги гидравлик қаршиликларни енгиш учун кетган босим миқдори.

Сўриш ва хайдаш 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:

$$H = \frac{P_c - P_k}{\rho g}, \quad (5.3)$$

(5.1) ва (5.2) тенгламалардан айирмалар фарқини аниқласак:

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + \frac{w_c^2 - w_k^2}{2g} + H_c + H_x + h_c + h_x. \quad (5.4)$$

Бунда $w_c = w_k$, чунки хайдаш ва сўриш трубаларининг диаметри бир хил. $h_u = h_c + h_x$ трубанинг умумий гидравлик қаршилиги. Бундан ташқари, 5.1-расмдан: $H_c + H_x + H_r$. Бу ҳолда (5.4) тенгламани қуйидагича ёзиш мумкин:

$$H = H_r + \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + h_p. \quad (5.5)$$

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:

$$H = H_r + h_p. \quad (5.6)$$

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

$$H = \frac{P_2 - P_1}{\rho g} + h_v. \quad (5.7)$$

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 суюқлик устуни метр ҳисобида) кўрсатишларининг йиғиндиси билан бу асбоблар уланган нуқталар орасидаги вертикал масофанинг (h) йиғиндисига тенг.

Сўриш баландлиги. Пастки идишдаги суюқликнинг эркин сиртига (5.1- расм) атмосфера босими P_0 таъсир этади. Суюқлик сўриш трубаси орқали баландликка кўтарилиб, насоснинг иш камерасини тўлдириши учун бу камерада сийракланиш (яъни вакуум) вужудга келтириш керак. Бунда иш камерасига қолдик абсолют босим $P_c < P_0$ таъсир этади. Босимлар фарқи ($P_0 - P_c$) ҳосил бўлганлиги сабабли суюқлик устунининг метрларда ифодаланган босими $(P_0 - P_c)/\rho g$ ҳосил бўлади. Бу босимнинг бир қисми суюқликни сўриш трубасида H баландликка кўтариш учун, қолган қисми эса суюқликнинг трубада w тезлик билан ҳаракатланишига ёки тезлик босимини ҳосил қилиш учун ва сўрилаётган суюқлик йўлида учрайдиган барча қаршиликларни енгилшга 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 суюқликнинг қайнаб кетишини ҳисобга олган ҳолда (у доим сўрилиши учун) сўрилиш трубаларидаги босим шу температурадаги суюқликнинг тўйинган буг босими P_t дан юқори бўлиши керак. Бунда насоснинг нормал ишлаши учун тенглама қуйидагича ёзилади:

$$\frac{P_x}{\rho g} = \frac{P_0}{\rho g} - \left(H_c + \frac{w^2}{2g} + h_c \right) \geq \frac{P_t}{\rho g}$$

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 суюқликнинг тўйинган буг босими ҳам ортиб, у қайнаш температурасида ташқи атмосфера босимига тенглашади, бу вақтда сўриш баландлиги нолга тенг бўлади. Шунинг учун қовушоклиги юқори ва иссиқ суюқликларни

узатаётганда насос қабул қилувчи идишга нисбатан пастрок ўрнатилиши зарур.

Насослар сўриш баландлигининг узатилаётган сув температураси билан боғлиқлиги 5.1- жадвалда берилган.

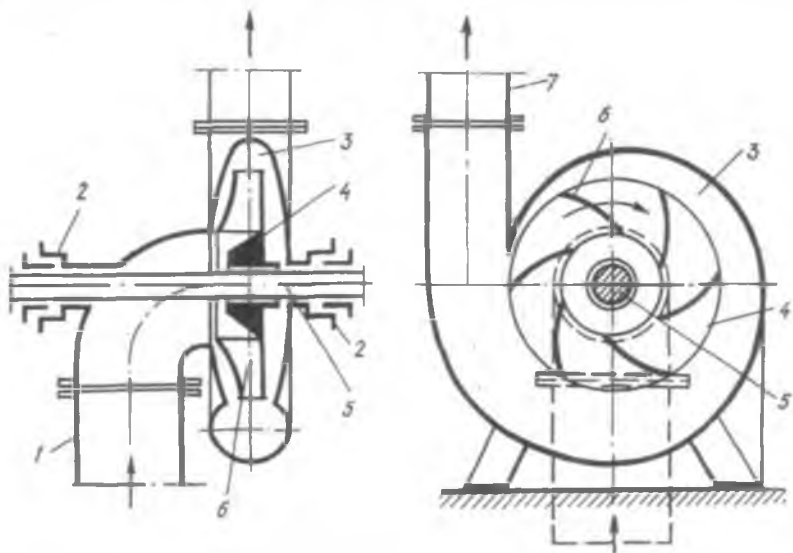
5.1- ж а д в а л. Сўриш баландлигининг ўзгариши

Сувнинг температураси, °C	10	20	30	40	50	60	65
Сўриш баландлиги, м	6	5	4	3	2	1	0

Худди шунингдек, сўриш баландлигини ҳисоблашда гидравлик ва маҳаллий қаршиликларни енгиш учун кетган сарфлардан ташқари, марказдан қочма насосларда кавитация ҳодисаси, поршенли насосларда эса инерцион куч таъсирида бўладиган босим йўқолишлари инобатга олинади лозим.

5.3- §. МАРКАЗДАН ҚОЧМА НАСОСЛАР

Ишлаш принципи. Марказдан қочма насосларда спиралсимон қобик ичида парракли иш гилдирак жойлашган бўлади. Иш гилдиракнинг айланишида марказдан қочма куч ҳосил бўлади. Бу куч таъсирида суюқликнинг сўрилиши ва уни ҳайдаш бир меъёрда узлуксиз боради. 5.2- расмда марказдан қочма насос схемаси кўрсатилган. Сўриш трубази орқали таъминловчи идишдан кўтарилган суюқлик иш гилдиракнинг марказий қисмига киради.



5.2- расм. Марказдан қочма насос:

1 — сўриш патрубкиси, 2 — сальник, 3 — қобик, 4 — иш гилдираги, 5 — иш гилдирагининг кураклари, 6 — ҳайдаш патрубкиси

Сўнгра иш гилдирагининг кураклари орасидан ўтиб, насос камерасига тушади. Бу ерда марказдан қочма куч таъсирида ҳосил бўлган босим суюқликни ҳайдаш трубасига сиқиб чиқаради. Бунда иш гилдирагига кириш олдида сийракланиш вужудга келади. Кураклар орасидаги каналлардан суюқлик бир текисда ҳайдаш трубасига берилиши ва суюқлик тезлигини аста-секин камайтириб, суюқлик босимини ошириш учун қўзғалмас қобик спиралсимон шаклда тайёрланади. Суюқликнинг ҳайдаш трубасида маълум микдордаги 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 микдоринн 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 микдорларгача аста-секин ортиб боради. Ҳозирги кунда ишлатилаётган кўп босқичли насосларнинг босими 20 мПа гача боради.

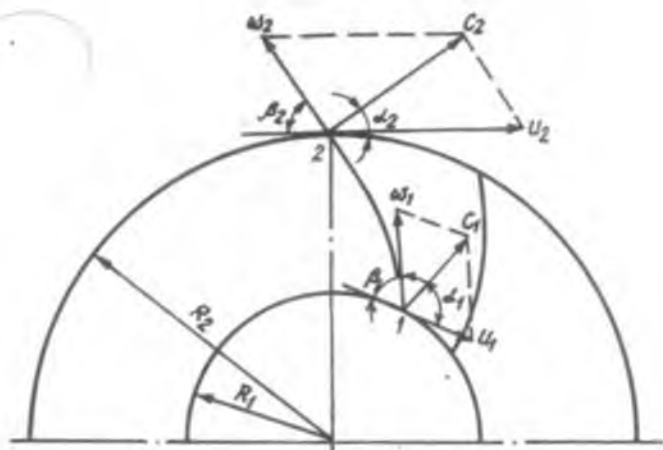
Марказдан қочма насосларнинг вали ҳам горизонтал ҳам вертикал жойлашган бўлиши мумкин.

Марказдан қочма насосларнинг характеристикалари. Иш гилдирагининг парраклари ёрдамида ҳосил бўлган назарий босим H_0 (метр ҳисобида) Бернулли тенгламасига асосан қуйидаги тенглама билан ифодланади.

$$H_0 = \frac{(U_2 C_2 \sin \alpha_2 - U_1 C_1 \sin \alpha_1)}{g} \quad (5.11)$$

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 $\cos 90^\circ=0$:

$$H_0 = \frac{U_2 C_2 \cos \alpha_2}{g} \quad (5.12)$$

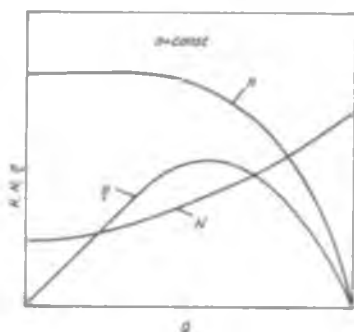
Насос гилдирагининг ичидаги гидравлик қаршиликни енгиш учун ва эгри чизиқли каналда суюқлик оқимчалари траекторияларининг ҳар хил бўлишлиги сабабли, ҳақиқий босим назарий босимга нисбатан доимо кам бўлади:

$$H = H_0 \eta_r \eta_u \quad (5.13)$$

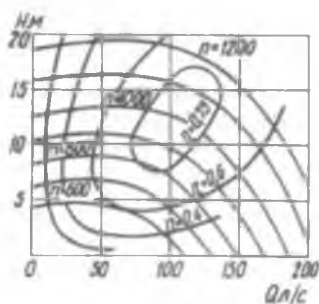
бу ерда η_r — насоснинг тузилиши ва ўлчамларига боғлиқ бўлган гидравлик фойдали иш коэффициенти ($\eta_r=0,7 \div 0,9$); η_u — парракларнинг сонига боғлиқ бўлган коэффициент ($\eta_u=0,56 \div 0,84$), ўрта ҳисобда $\eta_u=0,8$)

Гидравлик фойдали иш коэффициенти ва назарий босимнинг қиймати парракларнинг қиялик бурчаги β_2 ва унинг шаклига ҳам боғлиқ бўлади (5.3- расм). Орқа томонга эгилган ($\beta_2 < 90^\circ$) парракларнинг 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 кочма насоснинг иш характеристикаси.



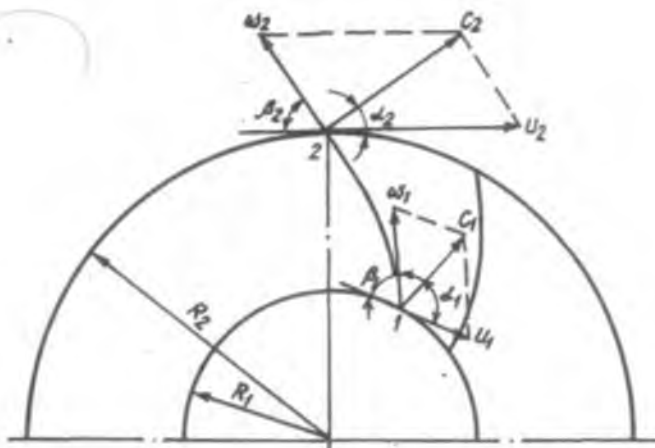
5.5- расм. Марказдан кочма насоснинг универсал характеристикаси.

насосларнинг характеристикалари деб юритилади (5.4- расм). Бундай график боглиқликлар марказдан кочма насосларни текшириш пайтида тузилади. Бунда ҳайдаш линиясидаги задвигканинг очилиши ҳар хил қилиб олинади. Задвигжа берк бўлганда (яъни $Q=0$) насос оладиган минимал қувват унинг салт ишлашига мос келади. Бундай шароитда фойдали иш коэффициенти ҳам $\eta=0$ бўлади, чунки насос суюқликни узатишга онд 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 задвигкани очиш билан кўпайтирсак, насоснинг босими камайиб, насос оладиган қувват ортиб боради ва фойдали иш коэффициенти максимал қийматга эга бўлади. Бу ҳол шуни кўрсатадики, айланиш гилдирагининг тезлиги ўзгармас бўлганда, насоснинг характеристикасидан фойдаланиб энергиядан энг тежамли фойдаланиш режимини топиш мумкин.

Насоснинг турли режимда ишлаш қобилиятини универсал характеристикадан аниқлаш қулай. Иш гилдирагининг айланиш сони (n айл/мин) ҳар хил бўлганда босим (H , м), фойдали иш коэффициенти (η , %) ва иш унумдорлиги (Q , м³/с) ўртасидаги боглиқлик *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. Сўнгга бу характеристикаларда бирор фойдали иш коэффициентиға тегишли нуқталарни ажратамиз (5.5- расмдан кўринадики, битта фикнинг қиймати учун иккита босим миқдори тўғри келади). Бу нуқталарни туташ чизик билан бирлаштирамиз. Шу ишни бир қанча фик ($\eta_1, \eta_2, \eta_3, \dots$) лар учун такрорлаб, бир қанча туташ чизиклар оламиз. Бу чизиклар билан чегараланган соҳада фик чизикдаги қийматдан кичик бўлмайди. 0—85 % чизиги берилган айланиш сонларида максимал фик га тўғри келади.



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 $\cos 90^\circ = 0$:

$$H_6 = \frac{U_2 C_2 \cos \alpha_2}{g} \quad (5.12)$$

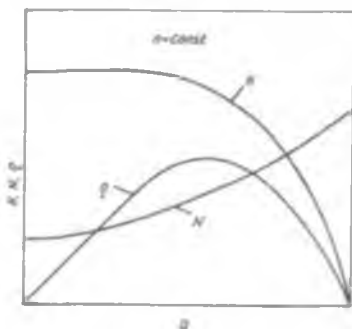
Насос гилдирагининг ичидаги гидравлик қаршиликни енгши учун ва эгри чизикли каналда суюқлик оқимчалари траекторияларининг ҳар хил бўлишлиги сабабли, ҳақиқий босим назарий босимга нисбатан доимо кам бўлади:

$$H = H_0 \eta_r \eta_u, \quad (5.13)$$

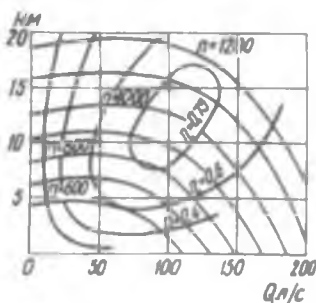
бу ерда η_r — насоснинг тузилиши ва ўлчамларига боғлиқ бўлган гидравлик фойдали иш коэффициенти ($\eta_r = 0,7 \div 0,9$); η_u — парракларнинг сонига боғлиқ бўлган коэффициент ($\eta_u = 0,56 \div 0,84$), ўрта ҳисобда $\eta_u = 0,8$)

Гидравлик фойдали иш коэффициенти ва назарий босимнинг қиймати парракларнинг қиялик бурчаги β_2 ва унинг шаклига ҳам боғлиқ бўлади (5.3- расм). Орқа томонга эгилган ($\beta_2 < 90^\circ$) парракларнинг 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 шаронгда 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 коэффициенти 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 коэффициенти (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 коэффициентиға тегишли нукталарни ажратамиз (5.5- расмдан кўринадики, битта фикнинг қиймати учун иккита босим микдори тўғри келади). Бу нукталарни туташ чизик билан бирлаштирамиз. Шу ишни бир канча фик ($\eta_1, \eta_2, \eta_3, \dots$) лар учун такрорлаб, бир канча туташ чизиклар оламиз. Бу чизиклар билан чегараланган соҳада фик чизикдаги қийматдан кичик бўлмайди. 0—85 % чизиги берилган айланиш сонларида максимал фик га тўғри келади.

Универсал характеристикадан фойдаланиб, насоснинг (максимал фик га тегишли) ишлаш чегарасини топиш ва унинг ишлаши учун энг қулай режим танлаш мумкин. Насосларнинг характеристикалари тегишли каталогларда келтирилади.

Насос двигателининг истеъмол қиладиган қуввати (N , кВт) қуйидаги тенглама билан аниқланади:

$$N = \frac{Q\rho gH}{10^3\eta} \quad (5.14)$$

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 коэффициенти.

Насос қурилмасини ўрнатиш учун зарур бўлган қувватни аниқлашда қувватнинг запаси коэффициенти ҳисобга олинади:

$$N_{\text{зпн}} = \beta N. \quad (5.15)$$

бу ерда β — қувватнинг запас коэффициенти.

Қувватнинг запас коэффициенти 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 коэффициенти	2—1,5	1,5—1,2	1,2—1,15	1,1

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

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (5.16)$$

Суюқликнинг тегишли H_1 ва H_2 босимлари айланишлар частотасининг квадратлари нисбатига пропорционал:

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \quad (5.17)$$

Насос истеъмол қиладиган қувват N суюқлик сарфи Q нинг суюқлик босими H га қўпайтмасига пропорционал бўлганлиги сабабли, филдиракнинг бир минутдаги айланишлар частотаси турлича бўлгандаги насоснинг оладиган қуввати N_1 ва N_2 бир минутдаги айланишлар частотасининг кублари нисбатига пропорционал бўлади

$$\frac{N_1}{N_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 \quad (5.18)$$

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

Кавитация ҳодисаси. Насос гилдирагининг тез айланишида ва 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 бўшлиқ ҳосил бўлади, насос қаттиқ силкинади ва тақиллаб ишлайди. Насос кавитация режимида кўпроқ ишласа у тезда бузилади. Шунинг учун температураси юқори бўлган суюқликларни узатаётганда бу ҳодиса қўшимча кавитацион коэффициент билан ҳисобга олиниши керак.

Кавитация оқибатида насоснинг иш унумдорлиги, босими ва фойдали иш коэффициенти камаёди. 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:

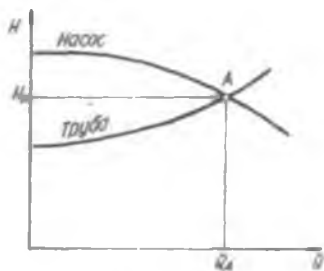
$$h_{\text{кав}} = 0,00125(Qn^2)^{0,67}. \quad (5.19)$$

(5.19) тенгламадан кўриниб турибдики, кавитацион коэффициентнинг қиймати насоснинг иш унумдорлиги ва айланиш частотасининг сонига боглиқ экан.

Насоснинг иш нуктаси. Насосни танлашда суюқлик узатилаётган трубаларнинг ёки система тармоқларининг характеристикалари эътиборга олинади. Трубкаларнинг характеристикаси суюқлик сарфи билан унинг трубаларидаги ҳаракати учун керак бўладиган босим орасидаги богланишни ифодалайди.

Насос ва трубанинг ўзаро богланиш характеристикаси 5.6-расмда кўрсатилган. Иккала характеристиканинг кесишган нуктаси А насоснинг иш нуктаси дейилади. Бу нуктада 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 нуктаси насос характеристикасининг графигида ўнг томонга сурилади. Танланган насоснинг иш нуктаси талаб қилинадиган унумдорлик ва босимга мос бўлиши зарур.

5.6-расмдан маълумки, берилган труба учун насоснинг иш унумдорлиги Q_A ва босими эса H_A га тенг бўлади. Агар Q_A нинг қиймати оши-



5.6-расм. Насос ва трубанинг ўзаро богланиш характеристикаси.

рилса трубанинг гидравлик қаршилиги кўпайиб кетади ва натижада Q нинг миқдори камаёди.

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 трубада ўрнатилган задвижка ёрдамида ўзгартирилади. Марказдан қочма насослар ўзини ўзи бошқариш қобилиятига эга, яъни ҳайдаш трубадаги 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 мақсадга мувофиқ бўлади. Камчилиги: насосни ишлатиш учун олдидан иш гилдиракларини 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 узоқ вақт ишлатиш мумкин; 2) суюқлик узлуксиз ва бир меъёрга 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 трубадаги силжитувчи механизм ёрдамида ўзгартириш мумкин. Ана шу афзалликлар сабабли марказдан қочма насослар халқ ҳўжалигининг барча тармоқларида ишлатилади.

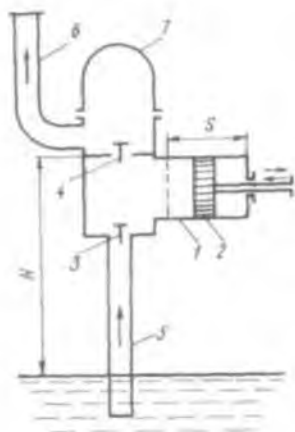
5.4-§. ПОРШЕНЛИ НАСОСЛАР

Ишлаш принципи. Поршенли насосларда суюқлик ҳайдаш трубада илгарилама-қайтма ҳаракат қилувчи механизмлар орқали узатилади. Поршенли насослар воситасида ҳар қандай қовушокликдаги суюқликларни узатиш мумкин. Поршенли насослардан оз миқдордаги суюқликларни юқори босимда узатишда ва суюқлик сарфи ўзгармас бўлиб, босим кескин ўзгарадиган ҳолларда фойдаланиш қулай. Бу насосларда поршень насос қобигида горизонтал ва вертикал ҳолатда жойлашган бўлиши мумкин. Ишлаш принципига кўра поршенли насослар оддий, икки босқичли ва кўп босқичли бўлади.

Поршень суюқликни фақат олд томони билан сиқиб чиқарадиган насос *оддий* — *бир томонлама ишлайдиган насос* дейилади.

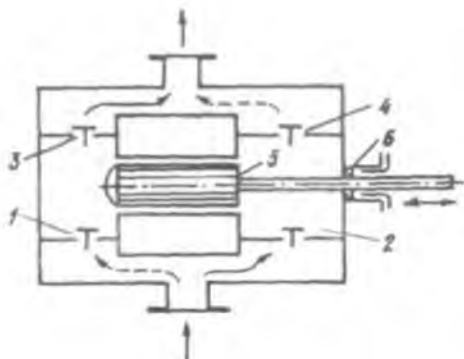
Агар насос цилиндрида поршеннинг иккала томонида жойлашган иш камераси бўлса ва поршень улардан суюқликни кетма-кет сиқиб чиқарса, бундай насос икки босқичли ёки икки томонлама ишлайдиган насос дейилади.

Оддий поршенли насоснинг ишлаш принципини кўриб чиқамиз (5.7- расм). Насос поршени сўриш жараёнида ўнг томонга ҳаракат қилганда иш камерасининг ҳажми катталашади. Ундаги босим эса



5.7- расм. Поршенли насос.

1 — цилиндр, 2 — поршень; 3 — сўриш клапани; 4 — ҳайдаш клапани; 5 — сўриш трубаси; 6 — ҳайдаш трубаси, 7 — давло қалпоқчаси



5.8- расм. Икки томонлама ишлайдиган плунжерли насос:

1, 2 — сўрувчи клапанлар, 3, 4 — узатувчи клапан лар; 5 — плунжер, 6 — сальник

камаяди ва атмосфера босимидан кичик бўлиб қолади. Пастки резервуардаги (насос суюкликни сўриб оладиган бассейндаги) суюкликнинг эркин сирти атмосфера босими P таъсирида бўлади. Атмосфера босими билан пасайтирилган босим P_0 орасидаги фарк таъсирида цилиндрнинг иш камерасида сийракланиш вужудга келади ва суюклик резервуардан сўриш трубаси бўйлаб цилиндрга кўтарилади ҳамда сўриш клапанини очиб, насоснинг иш камераси бўшлигини тўлдиради. Поршен ўнг чекка ҳолатни эгаллагач, суюклик иш камерасини тўлдиради ва сўриш клапанини беркитади. Поршеннинг чандан ўнгга томон тескари ҳаракатида поршен ва иш камераси бўшлигини тўлдирувчи суюкликка босим беради ва уни ҳайдаш клапани орқали узатиш трубасига чиқариб беради.

Суюкликнинг ҳаракат тезлиги ва босимларнинг пульсацияланишини тенглаштириш ҳамда суюкликнинг сўриш ва ҳайдаш трубаларида бир меъёردа текис оқишини таъминлаш учун насосга махсус қурилма (ҳаво қалпоқчалари) ўрнатилади.

5.6- расмда икки томонлама ишлайдиган горизонтал плунжерли насоснинг схемаси кўрсатилган. Бундай насос цилиндрнинг иккала томонида тегишлича сўриш ҳамда ҳайдаш клапанлари бўлган иккита мустақил иш камераси бор. Плунжер ўнг томонга қараб ҳаракатланганида суюклик клапан орқали чап камерага сўрилади. Бир вақтнинг ўзида плунжер иккинчи ўнг камерада суюкликни клапан орқали сиқиб чиқаради. Плунжер чап томонга қараб ҳаракатланганида ўнг камерада сўрилиш, чап камерада эса ҳайдалиш жараёнлари юз беради.

Поршенли насосларда цилиндр орасидан суюклик 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 силлик бўлиши шарт эмас. Плунжерли насослар ёрдамида ифлосланган ва ковушоқлиги кўп бўлган суюқликларни узатиш учун ва юкори босимлар хосил 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 миқдори *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:

$$Q = F \cdot S n, \quad (5.20)$$

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 хақиқий иш унумдорлиги Q_x назарий иш унумдорликка нисбатан кам бўлади. Оддий бир босқичли поршенли насос учун:

$$Q_x = \eta_0 FS n, \quad (5.22)$$

бу ерда η_0 — узатиш коэффициент.

Узатиш коэффициент суюқликнинг насосдан клапанлар ва бошқа зичмас жойлар орқали сизиб чиқишини, шунингдек, камерага ҳайдалаётган суюқлик билан ҳаво ўтиб, унинг тўлдири-

лишини камайтиришни ҳисобга олади. Бу коэффициентнинг киймати ўрта ҳисобда $0,8 \div 0,9$ оралигида ўзгаради.

Икки босқичли поршенли насос учун:

$$Q_1 = 2\eta_0 F S n. \quad (5.23)$$

Қўп босқичли насослар учун:

$$Q_1 = i\eta_0 F S n. \quad (5.24)$$

Агар валнинг айланиш частотаси айл/мин бўйича берилган бўлса, у ҳолда:

$$Q_1 = 60i\eta_0 F S n. \quad (5.25)$$

Поршенли насослар куйидаги афзалликларга эга: иш унумдорлиги юзага чиқаётган босимга боғлиқ эмас; юқори босимда ишлаши мумкин; оз миқдордаги суюқликларни катта босим билан узатиш имконияти бор; фойдали иш коэффициенти юқори ($0,6 \div 0,9$).

Шу билан бирга поршенли насослар айрим камчиликларга ҳам эга: конструкцияси қўпол ва қўп жойни эгаллайди. Поршеннинг илгариларга қайтма ҳаракати сабабли огир фундамент талаб қилади; ремонт талаб қилувчи бир неча клапанларнинг бўлишлиги; сўриш ва узатиш жараёнлари бир меъёрга бормайди.

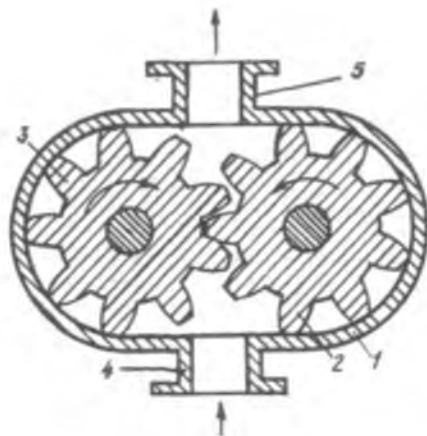
5.5-§. БОШҚА ТУРДАГИ НАСОСЛАР

Ишлаб чиқаришда суюқликларни узатиш учун марказдан қочма ва поршенли насослардан ташқари махсус насослар ҳам ишлатилади. Махсус насослар қовушоклиги юқори бўлган, жуда ифлосланган, чуқур қудукдаги суюқликларни узатиш учун қўлланилади. Махсус насослар сифатида роторли (тишли, пластинали, винтли), уқурмали, оқимли, пропеллерли насослар, эрлифтлар ва монтежюлар ишлатилади.

Қовушоклиги жуда юқори, ифлосланган ва узатилиши қийин бўлган суюқликларни узатиш учун роторли насослардан фойдаланилади. Бу насосларда суюқлик айланувчи механизмлар ҳаракати воситасида узатилади. Роторли насослар поршенли насослардан клапан ва ҳаво қалпоқчаларининг йўқлиги билан фарқланади.

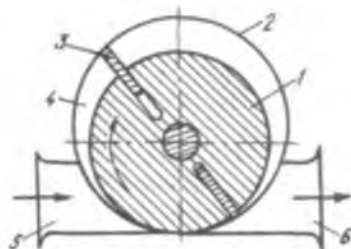
Тишли (шестерняли) насослар. Саноатда кўпинча тишли насослар ишлатилади. Насос қобигида ўзаро илашган ҳолатдаги узлуксиз айланиб турувчи шестернялар жуфти жойлашган (5.9-расм). Шестернялар айланганида бир шестернянинг ҳар қайси тиши илашган ҳолатдан чиқиб, иккинчи шестернянинг чуқурчасидаги тегишли ҳажми бўшатади. Йигич 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 чуқурчаларини тўлдирган



5.9- расм. Шестерняли насос:

1 — қобик; 2, 3 — бир-бирига илашган тишли шестернялар; 4 — сўрувчи патрубк; 5 — ҳайдаш патрубкиси.



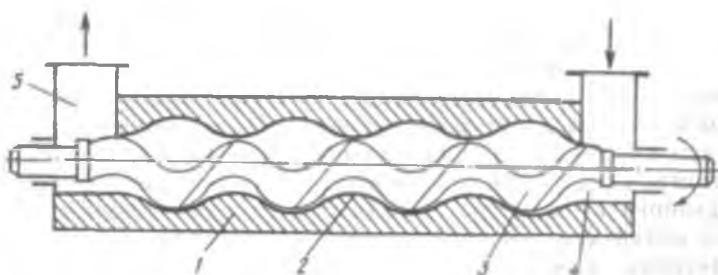
5.10- расм. Пластинакли насос:

1 — ротор; 2 — қобик; 3 — пластиналар; 4 — бўшлиқ; 5 — сўрувчи патрубк; 6 — узатувчи патрубк

суюқлик сиқиб чиқарилади ва ҳайдаш 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.

Пластинакли насослар. Бу насосларнинг ҳам ишлаш принципи поршенли насослар каби иш бўшлиғи ҳажмининг камайишига асосланган. Бу насос катта цилиндрдан иборат бўлиб, унинг кенглиги бўйича эксцентрик равишда ротор жойлашган (5.10- расм). Цилиндрнинг ичидаги қобикга тўғри бурчакли пластиналар ўрнатилган. Роторнинг айланиши натижасида бу пластиналар марказдан қочма куч таъсирида цилиндрнинг ички юзасига маҳкам зичланиб, ўроксимон иш бўшлигини қобик ва ротор орасидаги камераларга ажратиб туради.

Пластиналар сўрувчи патрубкдан насоснинг вертикал ўқиға томон ҳаракатланганда ҳар бир камеранинг ҳажми кенгаяди, натижада камерада сийракланиш ҳосил бўлиб, сўриш патрубкиси орқали суюқлик сўрилади. Пластиналар вертикал ўқдан ротор йўналиши бўйича айланма ҳаракат қилганда камераларнинг ҳажми кичиклашади ва суюқлик насосдан сиқиб чиқарилиб, узатиш трубасига берилади. Ротор айланиши натижасида пластиналар вертикал ўққа томон ҳаракатланганда жараён яна такрорланади. Пластинакли роторли насослар тоза ҳолдаги, қовушоклиги юқори бўлган суюқликларни узатиш учун ишлатилади.



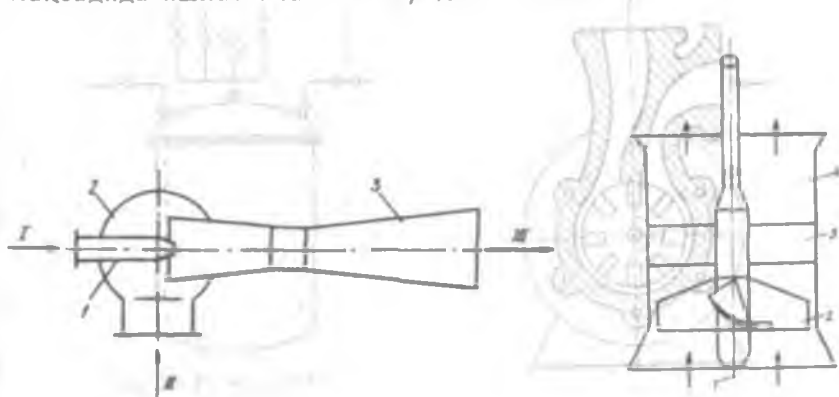
5.11- расм. Винтли насос:

1- кобия, 2- цилиндр, 3- винт, 4- сўриш бўшлиги, 5 — ҳайдаш патрубкиси.

Винтли насослар. Бу насослар шестерняли насослар сингари ишлайди. Суюклик сўриш соҳасидан винт ўйикларининг ўлчамлари ўртасидаги ораликка киради ва винтларнинг айланиш ўқи йўналиши бўйича ҳайдаш соҳасига ўтади (5.11- расм). Винтли насос суюкликни бир меъёрда узатади. Насоснинг вали бевосита двигателнинг валига бириктирилади.

Ўзатилаётган суюклик микдорини ошириш учун икки ва уч винтли насослар ишлатилади. Бу насослар ҳам қовушоклиги юқори бўлган суюкликларни узатиш учун ишлатилади.

Ингичка оқимли насослар. Бундай насосларда суюкликларни узатиш учун иш мухити сифатида — суюкликлар, газ ва буг ишлатилади. Ингичка оқимли насослардан ўзатилаётган суюкликларни газ, буг ва конденсат билан аралашиб кетиши мумкин бўлган ҳолатлардагина фойдаланилади. Ушбу насослар суюкликларни ҳайдаш учун ишлатилса *инжектор*, уларни сўриб олиш мақсадида ишлатилса *эжектор* деб аталади.



5.12- расм. Ингичка оқимли насос:

1 — сопло, 2 — иш ва ўзатилаётган суюкликларни аралаштириш камераси, 3 — ҳайдаш трубаси; I — иш суюклик оқими, II — ўзатилаётган суюклик оқими; III — аралашма

5.13- расм. Пропеллерли насос:

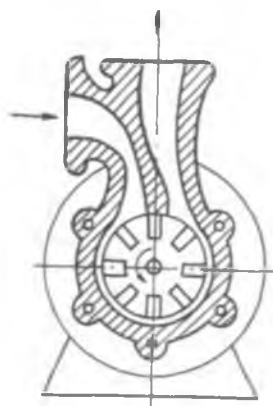
1 — вал, 2 — куракчалар, 3 — йўналтирувчи диск, 4 — ҳайдаш патрубкиси

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.

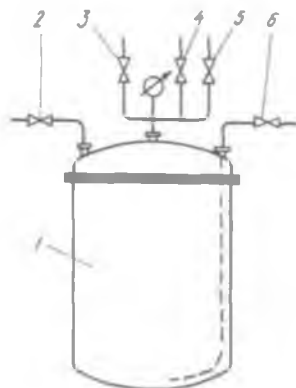
Ингичка оқимли насосларнинг тузилиши содда, уларда ҳаракатланувчи деталларнинг йўқлиги билан бошқа насослардан фарк қилади. Бундай насосларнинг фикс юқори эмас (0,3), улар тез ишдан чиқади, шу сабабли қиммат турадиган насосларни ишлатиш номақбул бўлган жойларда улардан фойдаланилади.

Пропеллерли насослар. Бу насослар кам босимли кўп микдордаги суюқликларни узатиш учун ишлатилади. Пропеллерли насослар кўпинча буглатиш қурilmаларида суюқликларни циркуляция қилиш учун қўлланилади. Бу насосларнинг иш ғилдираклари пропеллер парралари шаклидаги бир неча винтсимон куракчалардан иборат (5.13- расм). Бу насосларни баъзан ўқли насослар ҳам дейилади, чунки суюқлик иш ғилдирагидаги винтсимон куракчалари билан қамраб олиниб, ғилдирак 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, фикс марказдан қочма насосларнинг фикс ига нисбатан бирмунча юқори. Бундай насослар ифлосланган суюқликларни ҳам узата олади.



5.14- расм. Уюрмали насос.



5.15- расм. Монтеж:

1 — идиш; 2 — суюқлик кирадиган кран; 3 — сиқилган газ бериладиган кран; 4 — атмосфера билан боғланидиган кран; 5 — вакуум билан боғланувчи кран; 6 — узатиш труба-сининг 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 қопқок ёрдамида зич ёпилган бўлиб (5.15-расм), қопқокка учта патрубкка ўрнатилади. Бу патрубккалар ёрдамида монтежюга узатилаётган суюқлик, сиқилган ҳаво берилади. Учинчи патрубкка эса монтежю ичидаги узатувчи труба билан бириктирилади.

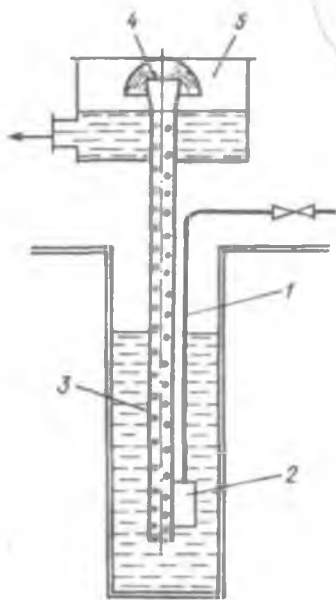
Монтежюга суюқлик труба орқали краннинг очик ҳолатида атмосфера босими остида берилса, ҳаво крани очик бўлиши керак. Агар монтежюга суюқлик вакуум остида берилса, бунда монтежюдаги вакуум крани очик бўлиши керак. Монтежю суюқлик билан тўлдирилгандан кейин, суюқлик тушаётган ҳамда ҳаво ва вакуум линиялари билан уланган кранлар беркитилади. Суюқликни узатиш учун монтежюга кран орқали сиқилган ҳаво берилади ва унинг босими манометр орқали кузатиб турилади. Сиқилган ҳаво босими таъсирида суюқлик оралик ҳайдаш трубаси орқали юқорига кўтарилиб, очик кран орқали узатилади. Монтежюдаги суюқликни узатиб бўлгандан кейин сиқилган ҳаво берувчи ва узатувчи кранлар беркитилиб, ҳаво крани очилади ва жараён тақорланади.

Агар узатилаётган суюқликнинг буги ҳаво билан портловчан, алангаланувчан аралашма ҳосил қилса, бунда сиқилган ҳаво ўрнига инерт газлар ишлатилади.

Монтежю кўпинча суюқликни филтёр қурилмаларга узатиш учун ишлатилади, чунки суюқлик бир хил меъёрга 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 — даво ёки аз берилган
труба; 2 — газ тақсимлагич;
3 — кўтариш трубаси; 4 — томчи
ушлагич. 5 — суюклик йиғилган
ган идиш

нинг ишлаши туташ идишларнинг ишлаш принципига асосланган. Эрлифт кўтариш трубасидан, сикилган ҳаво берувчи труба ва аралаштиргичдан иборат (5.16- расм). Труба орқали берилган сикилган ҳаво аралаштиргичда суюклик билан аралашиб, ҳосил бўлган суюклик ва ҳаво аралашмасининг солиштира огирлиги идиш ичидаги суюкликка нисбатан паст бўлгани учун, кўтариш трубасида юқорига қараб кўтарилади.

Суюклик ва ҳаво аралашмаси кўтариш трубасидан чиқаётганда ажраткичга урилиб, ҳаво ажралиб чиқиб кетади ва суюклик йиғичга тушади.

Эрлифтлар ҳар хил суюкликларни, шу жумладан, кислота, ишқорларни юқорига кўтариш учун ишлатилади. Эрлифтларнинг тузилиши оддий, ортиқча механизми ва ҳаракатланувчи қисмлари йўқ. Бундан ташқари, эрлифтлар юқори температурада ҳам ишлайверади.

Эрлифтларнинг фик кичик ($\eta = 0,25 \div 0,35$), унумдорлиги кам, сикилган ҳаво бериш учун ортиқча 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:

$$\left(P + \frac{a}{v^2}\right)(v - b) = RT, \quad (5.26)$$

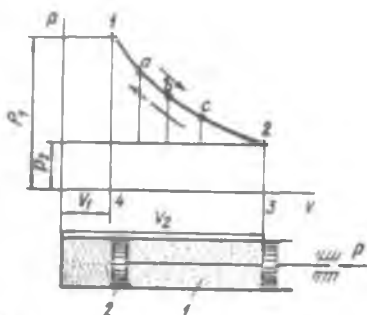
бу ерда: P — газ босими, Па, v — газнинг солиштира ҳажми, м³/кг; R — 8310/М — газларнинг универсал константаси, ж (кг, К); M — газнинг моляр массаси, кг кмоль; T — температура, К.

a ва b коэффициентларнинг миқдори махсус қўлланмаларда берилмаса, у критик температура $T_{кр}$, критик босим $P_{кр}$ орқали қуйидагича топилади:

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

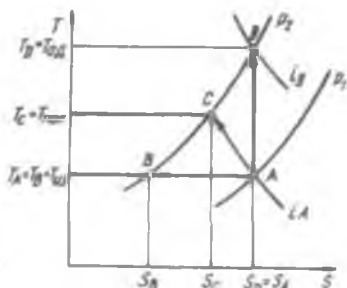
Газ ҳолатининг вақтнинг ҳар қайси пайтида ўзгариши PV диаграммада узлуксиз келадиган кетма-кет нуқталар билан ифодаланади, бу нуқталар босим ва ҳажмнинг вақтнинг тегишли моментларидаги ўртача қийматларини кўрсатади (5.17- расм). Бу нуқталарни бирлаштирувчи эгри чизик газнинг жараён бошланишидаги ва охиридаги мувозанат ҳолатини аниқ ифодалайди. Эгри чизикнинг кўриниши жараённинг характерига боғлиқ. Бундай эгри чизик *термодинамик жараён эгри чизиги* 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 сарфланса *адиабатик жараён* дейилади.



5.17- расм. Газ ҳолатининг $P - V$ диаграммаси:

1 — цилиндр, 2 — поршень



5.18- расм. Газларни сиқиш жараёнининг $T - S$ диаграммаси.

Изотермик жараёнда иссиқлик ажратиб олингани учун, газнинг ва жараённинг температураси ўзгармас бўлади. Адиабатик жараёнда ташқи муҳит билан иссиқлик алмашинумайди. Ҳақиқатда эса сиқиш вақтида ажралган иссиқликнинг бир қисми ташқи муҳитга тарқалади ва қолган қисми газни иситишга сарфланади. Газ политропик жараёнда сиқилади.

Газларни компрессорларда сиқиш жараёнларида бажарилган солиштирма ишнинг миқдори $T - S$ диаграмма орқали аниқланади. $T - S$ диаграммада ўзгармас босим ва температурага тўғри келган қийматлар горизонтал чизиклар билан тасвирланган (5.18- расм). Диаграммада ордината ўқига абсолют температура ва абсцисса ўқига энтропиянинг қийматлари қўйилади.

Газни босимнинг P_1 дан P_2 гача ўзгаришидаги изотермик сиқиш жараёни $T - S$ диаграммада AB чизиги 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:

$$q_{из} = L_{из} = T_A = T_B (S_A - S_B). \quad (5.27)$$

Адиабатик сиқиш жараёнида газ билан атроф-муҳит орасида иссиқлик алмашинмайди, яъни $dQ=0$, $dS=0$. Бу жараёнда газ температураси кўтарилиб, АД вертикал чизиқ билан ифодаланади. 1 кг газни P_1 дан P_2 гача адиабатик сиқиш пайтида ажралиб чиққан иссиқлик миқдори солиштирма ишнинг қийматига тенг бўлиб, диаграмма ёрдамида қуйидагича топилади:

$$q_{ад} = L_{ад} = C_p(T_2 - T_1) \quad (5.28)$$

Политропик жараёндаги газ P_1 босимдан P_2 гача сиқилганда $T-S$ диаграммада АС чизиқ билан ифодаланади. Бунда солиштирма ишнинг миқдори политропик жараёнида 1 кг газни сиқишда ажралиб чиққан иссиқлик миқдорига тенг бўлади:

$$q_{пол} = L_{пол} = (S_A - S_c) \frac{T_A + T_c}{2} + C_p(T_c - T_A). \quad (5.29)$$

Агар босимнинг охирги қиймати P_2 маълум бўлса, сиқиш жараёнидаги солиштирма ишнинг миқдорини аналитик усул билан ҳам аниқлаш мумкин. Бундай шароитда:

$$\text{изотермик сиқиш учун } L_{из} = P_1 v_1 \ln \frac{P_2}{P_1} \quad (5.30)$$

$$\text{адиабатик сиқиш учун } L_{ад} = \frac{R}{R-1} P_1 v_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{R-1}{R}} - 1 \right] \quad (5.31)$$

$$\text{политропик сиқиш учун } L_{пол} = \frac{m}{m-1} P_1 v_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{m-1}{m}} - 1 \right] \quad (5.32)$$

(5.30) — (5.32) тенгламаларда: P_1 ва P_2 — газнинг дастлабки ва охирги босими, Па; v_1 — 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 сизими, ж/кг. К; m — политропик кўрсаткич.

Политропик кўрсаткичнинг қиймати газнинг хоссаларига ва атроф муҳит билан иссиқлик алмашиниш шартларига боғлиқ бўлади. Масалан, ҳавони совитиш учун сув ишлатиладиган компрессорлар учун тахминан $m=1,35$ деб олиш мумкин. Совитилмайдиган компрессорларда сиқиш жараёни адиабатик ёки политемик 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 борлади. Бунинг учун сиқиш жараёнида ажралиб чиққан иссиқлик газни совитиш орқали тортиб олинади. Сиқилдан кейинги газнинг температураси T_2 :

$$\text{изотермик жараён учун } T_2 = T_1 \quad (5.33)$$

$$\text{адибатиқ жараён учун } T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}, \quad (5.34)$$

$$\text{политроник жараён учун } T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}}. \quad (5.35)$$

Ҳавони компрессор билан сиқиш учун сарфланадиган назарий қувват (N_n , В,) қуйидаги тенглама билан аниқланади

$$N_n = V p L, \quad (5.36)$$

бу ерда: V — компрессорнинг ҳажмий иш унумдорлиги, м³/с; p — 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 $V = V_1$, $p = p_1 = \frac{1}{V_1}$) у ҳолда (5.30) — (5.32) тенгламаларга асосан қуйидагиларга эришамиз:

$$N_{\text{наз}} = P_1 V_1 \ln \frac{P_2}{P_1}, \quad (5.37)$$

$$N_{\text{наз}} = \frac{R}{R-1} P_1 V_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\kappa-1}{\kappa}} - 1 \right], \quad (5.38)$$

$$N_{\text{наз}} = \frac{m}{m-1} P_1 V_1 \left[\left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} - 1 \right]. \quad (5.39)$$

Компрессорнинг валидаги қувват қуйидаги тенглама ёрдамида ҳисобланади:

$$N_c = \frac{N_{\text{наз}}}{\eta_{\text{из}} \eta_{\text{мех}}}, \quad (5.40)$$

бу ерда: $\eta_{\text{из}}$ — изотермик фик; $\eta_{\text{мех}}$ — механик фик.

Компрессор двигателининг қуввати қуйидагича аниқланади:

$$N_{\text{дв}} = \frac{N_c}{\eta_{\text{уз}} \eta_{\text{дв}}}, \quad (5.41)$$

бу ерда: $\eta_{\text{уз}}$ — узатиш фик; $\eta_{\text{дв}}$ — двигателнинг фик.

Двигателни ўрнатиш учун одатда 10 ÷ 15 % запас энергия олинади:

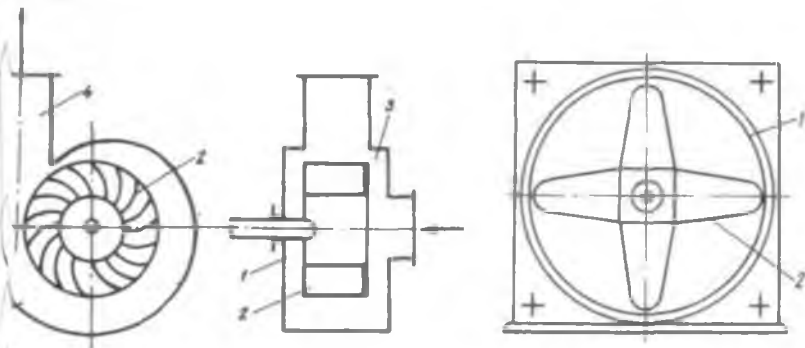
$$N_{\text{ўри}} = (1,1 \div 1,15) N_{\text{дв}} \quad (5.42)$$

Изотермик фик сиқиш даражасига кўра 0,64 ÷ 0,78, механик фик эса 0,85 ÷ 0,95 оралиғида ўзгаради.

5.7-§. ВЕНТИЛЯТОРЛАР

Хаво ва саноат газлари оқимини сиқиш даражаси кичик марказдан қочма (тахминан 1,1 гача) узатиш учун марказдан қочма ва иш вентилятор ишлатилади.

Вентилятор газни нисбатан юқори босимда узатиб бериш учун, иш вентилятор эса кичик босимда, лекин кўп миқдордаги газни узатиш учун мулжалланган. Саноатда ўқли вентилятор жуда кам ишлатилади, ундан фақат биноларни совитишда фойдаланилади. Саноатда газларни узатиш учун асосан марказдан қочма вентилятордан фойдаланилади. Бу вентилятор босимининг катталигига қараб уч гуруҳга бўлинади: 1) паст босимли — 981 Па гача; 2) ўрта босимли — 981—2940 Па; 3) юқори босимли — 2940—9810 Па.



рисм. Марказдан қочма вентилятор: 5.20- расм. Ўқли вентилятор:

обик, 2 — иш гилдираги, 3 — сўрувчи патрубк, 4 — узатувчи патрубк

1-лобик, 2 — қураччани гилдирак

Марказдан қочма вентиляторнинг асосий қисми паррақлар ва рақсимон қобик ичига жойлаштирилган иш паррақлари бор (5.19- расм). Марказдан қочма вентилятор марказдан қочма насосга ўхшаб ишлайди. Иш гилдираги айланганда вентиляторнинг иш бўшлигидаги хаво ёки газ гилдирак билан га айланади ва марказдан қочма куч таъсирида гилдиракнинг қаларига ҳайдалади. Газ гилдирак паррақларидан спиралсимон камерага ва ундан ҳайдаш трубасига ўтади. Газ гилдирак паррақларидан ўтганда гилдиракнинг марказий қисмида сийрақчан босим вужудга келади ва газнинг янги қисми атмосферадаги таъсирида вентилятор қобигидаги сўриш тешиги орқали ўтади, парракли гилдиракнинг марказий қисмига қиради. Сўнгра гилдирак паррақларига урилади ва жараён шу тарзда давом эттиради.

Паст босимда ишлайдиган вентиляторда иш гилдирагидаги паррақлар орқа томонга юқори босимда ишлайдиганларида эса олдин томонга эгилган бўлади. Иш гилдирагидаги паррақ сонини ўзгартириб паст босимли вентилятордан ўрта босимли вентилятор 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 фарқ 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 конунига бўйсунadi. 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 каторига вентилятор, газодувка вакуум-насослар ҳам киради.

Ҳосил бўладиган босимнинг қийматига кўра компрессор машиналар қуйидаги турларга бўлинади: 1) паст босимли

(0,01 мПа гача) вентиляторлар; 2) ўрта босимли (0,01 дан 0,3 мПа гача) — газодувкалар 3) юқори босимли (0,3 мПа ва ундан катта) — компрессорлар; 4) вакуум-насослар (сийракланиш 0,05 мПа). Газодувка, вентилятор ва вакуум-насоснинг компрессор билан ўхшашлиги — умумий ишлаш принципига эга бўлишидир, бироқ уларнинг тузилишида анча фарқ бор.

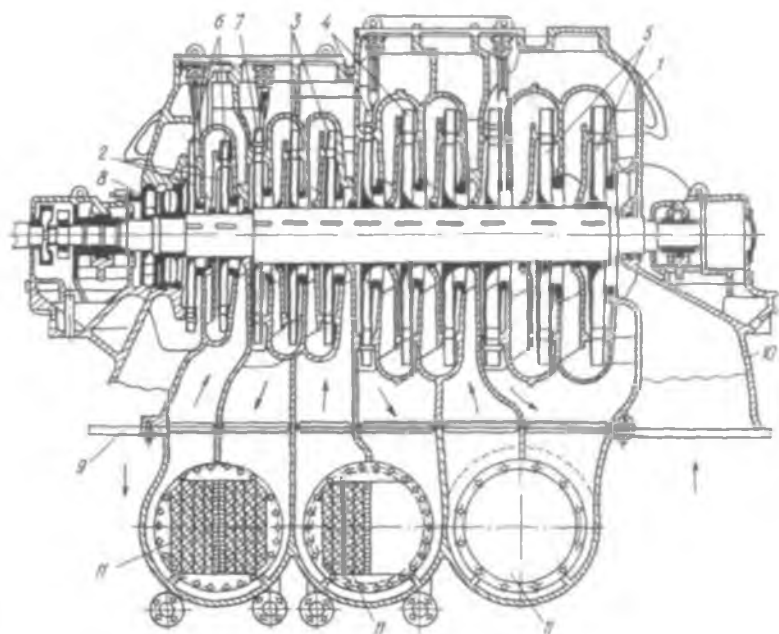
Марказдан қочма принцинда ишлайдиган компрессор ва газодувка *турбокомпрессор* ва *турбогазодувка* деб аталади.

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 айланиши билан мос тушади. Марказдан қочма компрессорда газ иш гилдирагида машина ўқига перпендикуляр равишда марказдан четга қараб ҳаракатланади ва бу ерда марказдан қочма куч таъсирига учрайди. Натижада марказдан қочма компрессор ҳосил қилган босимнинг кўтарилиш даражаси ўқли компрессордагига қараганда юқори бўлади.

Турбокомпрессор гилдираги айланишлар тезлигининг ортиши билан унинг сиқиш даражаси ҳам ортади. Лекин иш гилдираги айланишлар тезлигининг миқдори гилдирак материалнинг мустаҳкамлиги туфайли чекланган бўлади ва шунга мувофиқ равишда бир боскичда сиқиш босимининг кўтарилиши ҳам чекланган. Шу сабабли газнинг юқори босимини ҳосил қилиш учун айланишлар 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 валига тўғри келадиган иш гилдираклари сони ҳам тегишлича бўлади. Турбокомпрессорларда газлар юқори босимгача сиқилганда унинг температураси кўтарилиб, кўп миқдорда иссиқлик ажралиб чиқади. Иссиқликнинг йўқолиши ва ташқи муҳит билан иссиқликнинг алмашилиши юз бермаса, бундай шароитда компрессор каналларида адиабатик жараён давом этади. Газнинг ҳамда турбокомпрессор қобиғи ва иш гилдиракларининг ўта қизиб кетишининг олдини олиш мақсадида қобик деворлари сув билан совитилади ва боскичлар орасига совиткичлар ўрнатилади (5.21-расм). Оралик совиткичларда сиқилган газ турбокомпрессорнинг боскичидан иккинчи боскичга ўтишида қўшимча совийди. Кўп боскичли насосларда гилдиракларнинг катталиги бир хил бўлса, турбокомпрессорларда сиқилган газ босимининг кўтарилиши билан гилдиракларнинг



5.21-рasm. Кўп боскичли турбокомпрессор:

1 — қобил, 2, 3, 4, 5 — туртинчидан то биринчи погонгача бўлиш иш гилдираалари гуруди.
6 — қўзғалмас йўналтирувчи мосламалар; 7 — ҳаракатчи йўналтирувчи мосламалар, 8 — поршень.
9, 10 — узатиш ва сўриш патрубквлари, 11 — кўп погонли соҳитмачлар.

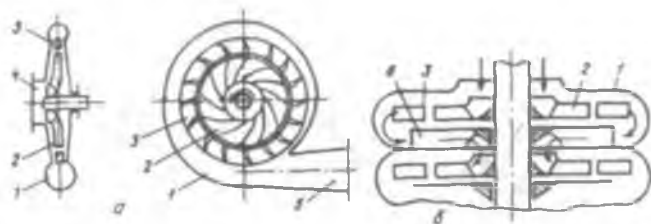
катталиги кичиклашиб боради. Кўп боскичли турбокомпрессорлар ёрдамида $1,5 \div 1,6$ МПа гача босим ҳосил қилинади.

Охирги боскичнинг йўналтирувчи мосламасидан чиқаётган газнинг тезлиги кўпинча 50 м/с гача етади. Замонавий турбомашиналар иш гилдираги қирраларидаги газнинг тезлиги 400 м/с дан ортади.

Эйлернинг асосий тенгламаси турбокомпрессорлар учун ҳам тааллуқлидир, аммо пропорционаллик қонунини булар учун қўллаб бўлмайди, чунки газ сиқилиши натижасида унинг босими ва зичлиги ўзгаради.

Турбокомпрессорларда газлар бир меъёрга узатилади, аммо фойдали иш коэффициенти поршеньли компрессорларга нисбатан камроқ. Босими камроқ бўлган кўп микдордаги мойли, ёғ аралашган газларни узатиш учун турбогаз одувкалар ишлатилади. Валдаги иш гилдиракларининг сонига қараб турбогазодувка бир ва кўп боскичли бўлади (5.22-рasm, а ва б.). Турбогазодувканинг қобиғидаги парракли иш гилдираклари худди марказдан қочма насослариникига ўхшаб айланма ҳаракат қилади.

Иш гилдираги йўналтирувчи мосламанинг ичида жойлашиб, бунда газнинг кинетик энергияси потенциал энергияга айланади.



5.22- расм. Турбогазодувкалар

a — бир боскичли, *б* — кўп боскичли; 1 — қобик, 2 — иш гилдирағи, 3 — йўналтирувчи мослама; 4, 5 — сўрувчи ва узатувчи патрубжалар; 6 — қайтма канал

Йўналтирувчи мослама иккита дискдан иборат бўлиб, ўзаро бири-бири билан гилдирак паррақларига қарама-қарши йўналган паррақлар ёрдамида бириктирилган.

Газ турбогазодувкага сўриш патрубкasi орқали кириб, сиқилган газ ҳайдаш патрубкasi орқали узатилади.

Кўп боскичли 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 канча 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.

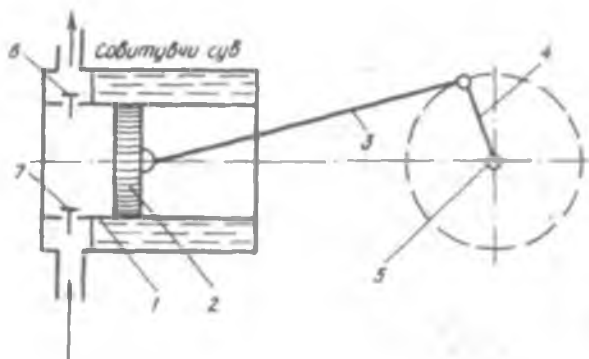
Турбогазодувкада газнинг босими билан ҳажм орасидаги боғланишни индикатор диаграмма орқали тасвирлаб бўлмайди.

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 боскичли 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 температурasi кўтарилади, кизиган газ ёглаб турувчи мойни куйдириб юбормаслиги учун цилиндрнинг девори сув билан узлуксиз совитиб турилади.

Бир боскичли компрессорнинг унумдорлиги кам бўлганлиги учун икки томонлама ҳаракатланувчи поршенли компрессорлар

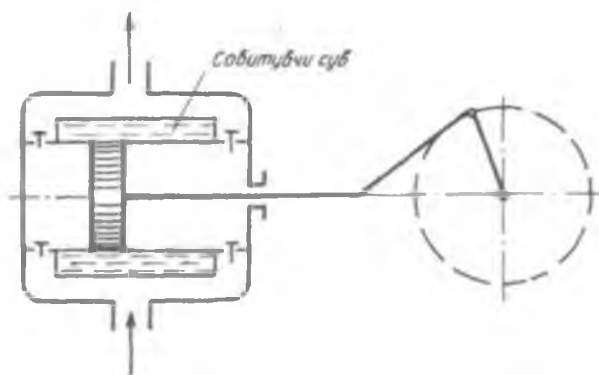


5.23- расм. Бир томонлама ҳаракатланувчи бир цилиндр-
ли компрессор:

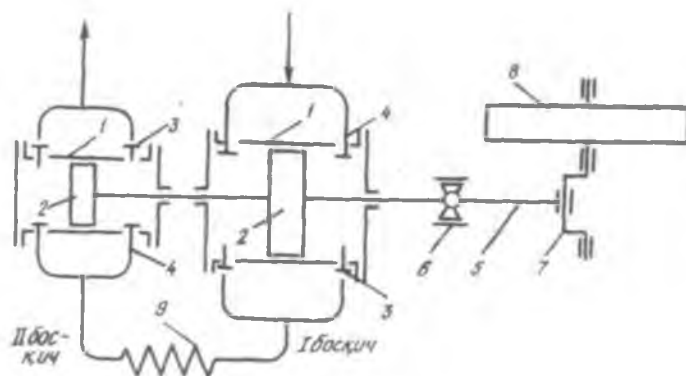
1 — цилиндр, 2 — поршень, 3 — шатун, 4 — кривошип, 5 — вал, 6 —
дайдяш клапани, 7 — сўриш клапани.

кўп ишлатилади. Бу компрессорларда цилиндрдаги газ поршен-
нинг иккита қисмида (чап ва ўнг) сиқилади: уларда иккита сўриш
ва иккита узатиш клапани бор (5.24- расм). Поршень кривошип-
шатунли механизм ёрдамида илгариларча ҳаракат қилади. Вал бир
марта айланганда цилиндрга газ икки марта сўрилади ва икки
марта узатилади. Компрессорнинг унумдорлиги бир томонлама
ишлайдиган компрессорникига караганда деярли икки марта кўп.

Бир босқичли компрессорнинг унумдорлигини ошириш ҳамда
газнинг сиқилиш даражаси $0,4 \div 0,6$ мПа бўлиши учун кўп
цилиндрли бир ва икки томонлама сиқадиган компрессорлар
ишлатилади. Бу компрессорда газ биринчи цилиндрдан кейинги
цилиндрга ўтган сари босим кўтарила бошлайди. Компрессорнинг
паршени умумий бир иш валига ўрнатилган. Газ сиқилиши
натижасида 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 — вейцкопф; 7 — кривошип; 8 — маховик; 9 — ситягич

цилиндрга ўтганида ортиб боради. Шу сабабли иккита цилиндр орасига совиткичлар ўрнатилади. 5.25- расмда икки цилиндрли газни бир томонлама сиқадиган компрессорнинг ишлаш принципи кўрсатилган. Бу компрессорда поршенлар параллел ишлайди ва цилиндр кетма-кет ёки параллел битта ўққа ўрнатилади.

Одатда поршенли компрессорда сиқиш боскичларининг сони 7 дан ортмайди. Ҳақиқий компрессорларда бирор ҳолатни эгаллаган поршень билан цилиндр қопқоғи 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 боскичли 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 боскичли компрессорнинг иш унумдорлиги биринчи боскичнинг унумдорлиги орқали аниқланади.

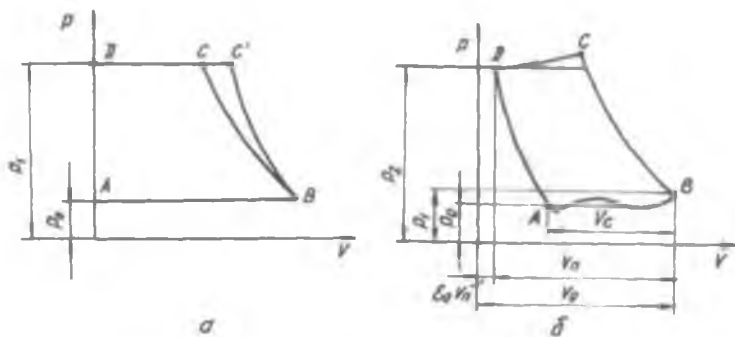
Узатиш коэффиценти:

$$\lambda = (0.8 \div 0.95)\lambda_0, \quad (5.47)$$

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 боскичли поршенли компрессорнинг индикатор диаграммаси:

а — идеал компрессор, *б* — ҳақиқий компрессор.

бу ерда $v_0 = 0,03 \div 0,08$ — цилиндрдаги қолдиқ ҳажми поршеннинг ҳаракати пайтида ҳосил бўлган ҳажмга нисбати; $m = 1,2 \div 1,35$ қолдиқ ҳажмдаги сиқилган газнинг кенгайиш политропи кўрсаткичи.

Поршенли компрессорнинг ишлашини текшириб туриш учун индикатор диаграммаси тузилади (5.26- расм). Бу диаграмма поршеннинг бир мартаба илгариллама-қайтма ҳаракати натижа-сида сўрилган ва ҳайдалган газнинг босими ва ҳажми ўртасидаги боғлиқликни ифодалайди.

Аввало идеал компрессорнинг индикатор диаграммасини кўриб чиқамиз. Бунда поршеннинг чапдан ўнгга қараб ҳаракати бошланиши биланок сўриш бошланади (5.26- расм, *а*). *AB* горизонтал чизиги газни сўриш жараёнини, *BC* чизиги цилиндрда-ги газни босимнинг қиймати P_0 дан P_1 гача сиқиш жараёнини (*BC* — изотермик сиқиш, *BC'* — адиабатик сиқиш), *CD* — гори-зонтал чизиги газни ҳайдаш жараёнини кўрсатади.

Ҳақиқий компрессорнинг индикатор диаграммаси 5.26- расм, *б* да берилган. *D* нукта поршеннинг чап томонга силжигандаги энг чекка ҳолатини белгилайди. Ҳақиқий компрессорларда бу нукта ҳеч вақт цилиндрнинг қопқоғига зич тегиб турмайди. Цилиндр қопқоғи ва поршеннинг чап томонидаги энг чекка ҳолатини эгаллаган пайда ҳосил бўлган бўшлиқ қолдиқ ҳажм деб аталади. Бу қолдиқ ҳажм $v_0 V_n$ га тенг, бу ерда V_n цилиндрнинг иш ҳажми.

Поршен чап ҳолатдан ўнгга қараб ҳаракатланганда қолдиқ ҳажмдаги газнинг кенгайиши бошланади. Бу жараён (*DA* чизиги) ҳажмнинг кўпайиши ва босимнинг камайиши билан характерлана-ди ва цилиндрдаги босимнинг қиймати P_0 сўриш трубасидаги босим P_1 дан биров камроқ бўлганда тўхтайтиди. Поршеннинг *A* нуктасига тўғри келган ҳолатида $P_1 - P_2$ босимлар фарқи таъсирида сўриш клапани очилади ва газ компрессорга киради. Сўриш жараёни (*AB* чизиги) поршеннинг ўнг томондаги энг чекка *B* нуктасини эгаллагунча давом этади. Сўриляётган газнинг ҳажми

V_c AB чизигининг узунлигига пропорционал бўлиб, куйдаги ифода ёрдамида топилади:

$$V_c = \lambda_0 V_n.$$

Поршень энг чекка ўнг ҳолатдан чап томонга қараб ҳаракатланганда сўриш клапани ёнилади 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 босқичли компрессор двигателининг истеъмол қуввати (N_{gb} , кВт) куйдаги тенглама ёрдамида аниқланади:

$$N_{gb} = \frac{G l_{ab}}{3600 \cdot 1000 \eta} = \frac{G (i_2 - i_1)}{3600 \cdot 1000 \eta}, \quad (5.49)$$

бу ерда i_1 ва i_2 газнинг бошланғич ва охириги энтальпияси (ёки иссиқлик ушлашлиғи), Ж/кг; η — компрессор қурилмасининг умумий ф.к. Поршенли компрессор юқори фойдали иш коэффициентига эга бўлиб, унинг ёрдамида газларни кенг интервалда 100 мПа босимгача сиқиш мумкин. Газнинг бир меъёрга узатилмаслиғи, унумдорлигининг пастлиғи ва клапанларининг кўплиғи поршенли компрессорнинг камчилиғидир.

5.10-§. РОТОРЛИ КОМПРЕССОРЛАР

Бу компрессорлар ҳам поршенли компрессорлар сингарини, иш бўшлиғи ҳажмининг камайиши принципида ишлайди. Роторли компрессорлар конструктив белгиларига кўра пластиналар, юмалайдиган роторли, сув ҳалқали, газодувка ва икки роторли компрессорларга бўлинади.

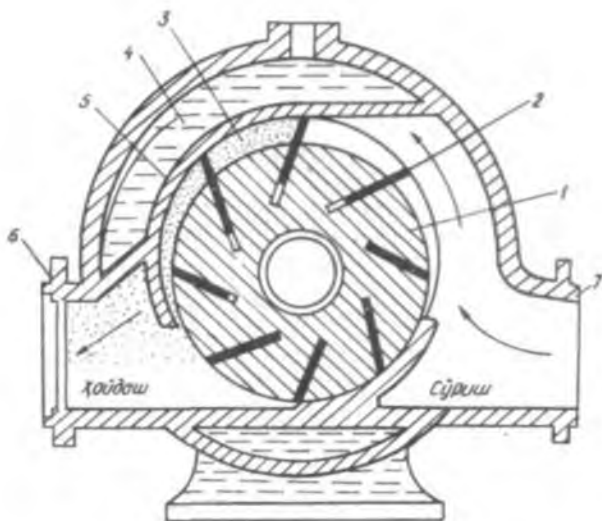
Пластиналар компрессор пластиналар насослар каби ишлайди, улар *бир босқичли* ва *икки босқичли бўлади*.

Пластиналар роторли компрессорнинг сўриш вақтидаги унумдорлиғи куйдагича аниқланади:

$$V = 2\pi e n \lambda (\pi D - \delta z), \quad (5.50)$$

бу ерда l — пластинанинг узунлиғи, м; e — роторнинг эксцентритети, м; n — роторнинг айланишлар частотаси, 1/с ёки s^{-1} ; D — қобиқнинг ички диаметри, м; b — пластина қалинлиғи, 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. Пластиналы роторлы компрессор:

1 — ротор; 2 — сирпанадиган пластиналар; 3 — ротор билан қобик орасидағы бұшлик; 4 — совитуучи сув бұшлиги; 5 — қобик; 6 — қайдаш патрубкеси; 7 — сүриш патрубкеси.

5.27- расмда пластиналы роторлы компрессорнинг чизмасы кўрсатилган. Қобикда эксцентрик равишда ротор жойлашган, унинг ўйилган жойларида радиал йўналишда осон сирпанадиган пластиналар бўлиб, улар ротор билан қобик орасидаги ўроксимон бұшликни бир неча қисмга бўлиб туради. Сүриш патрубкеси шундай жойлашганки, бу ерда пластиналар марказдан қочма куч таъсирида роторнинг ўйилган жойларидан чиқади ва газ кириши учун икки пластина орасидаги ҳажм бўшайди. Ротор парракнинг юқориги ҳолатигача бурилган сари ҳажм аста-секин орта боради. Ротор яна бурилганда пластиналар ўйилган жойларга кира бошлайди ва пластиналар орасидаги ҳажм кичраяди. Ҳажми тўлдирувчи газнинг босими ҳам тегишлича кўнаяди. Ротор бурилиши давомида бўш ҳажм қайдаш патрубкеси бўшлиги билан бирлашади ва бу ердан сиқилган газ труба орқали газ йиғичга ҳамда истеъмолчига ўтади.

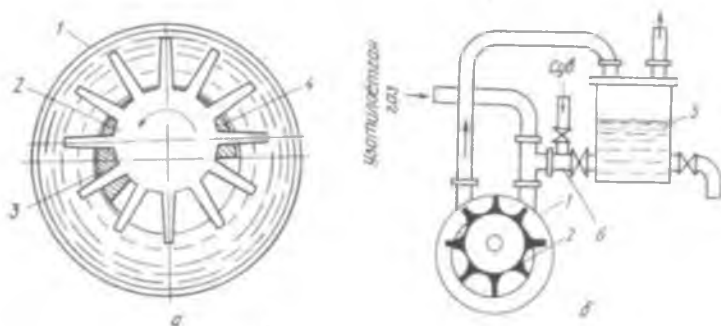
Ротор яна бурилганида жараён такрорланади. Компрессор ишлаган вақтда қобикнинг деворлари қизиб кетмаслиги учун сув билан совитиб турилади.

Роторлы компрессорнинг поршенли компрессорга нисбатан қуйидаги афзалликлари бор: 1) ўлчамлари ва оғирлиги кичик, поршенли компрессорга нисбатан кам жой эгаллайди; 2) қривошип-шатунли механизми бўлмагани учун анча равои 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 нисбатан анча кўп; 3) сиклланган газнинг босими катта эмас; 4) бир соатдан кейинги соатлашгача ишлаш муддати кичик.

Сув халкачали компрессорлар. Компрессорнинг қобиғида эксцентрик ҳолда ясси куракчалари бўлган ротор жойлашган (5.28-расм). Компрессорни ишга туширишдан олдин унинг ярмигача сув қуйилади. Ротор айланиб, сув атрофга сочилиб, компрессорнинг қобиғи билан роторга нисбатан эксцентрик сув халкачалари ҳосил қилади. Ҳажмидаги куракчаларнинг пастки қисми сув халкачаларидаги суюқликка ботирилганча компрессорга сув қуйилади.

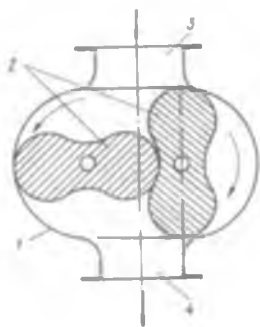


5.28-расм. Сув халкачали компрессор:

а — компрессорнинг тузилиши, б — газларни узатиш қурилмаси.
1 — қобик, 2 — ротор, 3 — узатувчи тешик, 4 — сўриш тешиги, 5 — идиш, 6 — компрессор,
и сув билан тузатиручи қуйилиш труба.

Ротор куракчалари билан сув халкачалари орасида ячейкалар ҳосил бўлади. Ячейкаларнинг ҳажми роторнинг биринчи ярим айланишида кенгайди, иккинчи ярим айланишида эса тараяди. Ячейкаларнинг ҳажми кенгайганида газ сўрилади ва роторнинг кейинги айланишида ячейканинг ҳажми тарайиши натижасида газ сикилиб узатиш патрубкиси орқали узатилади. Бу компрессорда сув халкачалари поршень вазифасини бажаради, чунки халкачалар воситасида иш камерасининг ҳажми ўзгаради. Шунинг учун бундай компрессорларни суюқлик поршенли компрессорлар ҳам дейилади. Суюқлик поршенли компрессорлар асосан газ ҳолатдаги хлорни узатиш учун ишлатилади. Бунда эллипс шаклдаги қобиқнинг ярмигача иш суюқлик сифатида концентралланган сульфат кислота қуйилади. Роторли сув халкачали компрессорлар жуда кам ортиқча 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 меъёрга узатилади. Лекин юқори босим ҳосил қилмагани сабабли кам ишлатилади.

5.11-§. ВАКУУМ-НАСОСЛАР

Қимёвий технологиянинг айрим жараёнлари (масалан, бугла-тиш, ҳайдаш, қуришти сийракланиш (яъни вакуум) муҳитида ҳам олиб борилади. Вакуум қўлланилганда суюқликнинг қайна-шини паст температурада олиб бориш имконияти вужудга келади. Вакуум ҳосил қилувчи машиналар *вакуум-насослар* деб аталади. Уларнинг ишлаш принципи ва тузилиши компрессорнинг ишлаши ва тузилишига ўхшайди.

Вакуум-насослар тузилиши жиҳатидан компрессорлардан сиқилиш даражасининг катталиги билан фарқ қилади. Масалан, вакуум-насос газни (ёки ҳавони) $P_1 = 0,05$ ат бўлганда (яъни сийракланиш 95 %) сўриб олиб, уни сиқиб, насосдан чиқаётганда $P_2 = 1,1$ ат га етказса (0,1 ат миқдоридаги ортиқча босим трубопроводдаги ва ҳайдаш клапанларидаги қаршиликларни енгиш учун сарфланади), у ҳолда сиқиш даражаси:

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

Маълумки, бир боскичли поршенли компрессорларда сиқиш даражаси 8 дан ортмайди. Сиқиш даражаси жуда юқори бўлиши сабабли, вакуум-насоснинг ҳажвий коэффициенти ва унумдорлиги бирдан камаёди. 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.

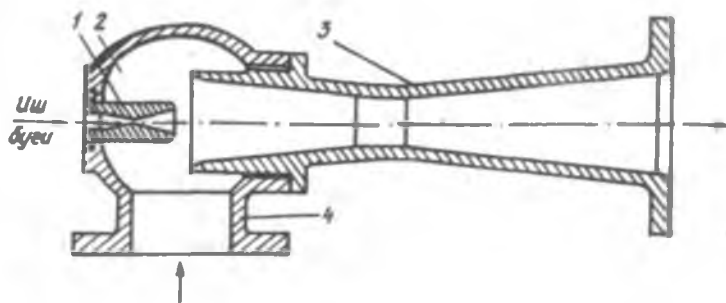
Поршенли вакуум-насослар. Булар *қуруқ* ва *суюқлик* насосларига бўлинади. Қуруқ вакуум-насослар газларни сўриб ташқарига чиқариб ташлаш учун, суюқлик вакуум-насослар эса бир вақтнинг ўзида газ ва суюқликларни сўриб чиқариб ташлаш учун ишлатилади.

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 каттарок 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 босими ва температурасига боглик. 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 соңласи; 2 — аралашмиш камераси; 3 — диффузор; 4 — сўриш патрубаси.

Ингичка оқимли вакуум-насослар. Уларнинг ишлаш принципи худди суюқлик узатувчи ингичка оқимли насосларникига ўхшайди. Ингичка оқимли вакуум-насосларда иш суюқлиги сифатида буг ишлатилади (5.30-расм). Бундай насослар кислота бугларини сўриб олиш учун ишлатилади.

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

5.12-§. НАСОС ВА КОМПРЕССОРЛАРНИНГ ИШЛАТИЛИШ СОҲАЛАРИ

Саноатнинг барча ишлаб чиқариш соҳаларида суюқликларни узатиш учун асосан паррақли ва ҳажмий насослар ишлатилади. Паррақли насослар қаторига марказдан қочма, ујрмали, ўқли ва бошқа насослар қиради. Паррақли насослар ичида марказдан қочма насослар кўп ишлатилади, уларнинг умумий техник кўрсаткичлари ГОСТ 15110—79Е да берилган.

Марказдан қочма насослар бошқа насосларга нисбатан қуйидаги афзалликларга эга: а) массаси енгил, ихчам, тайёрлаш учун кам металл сарфланади; б) унумдорлиги юқори, ҳаво қалпоқчаларисиз суюқликларни бир меъёрда узатади; в) бошқариш ва тузатиш осон ҳамда тўғридан-тўғри ёрдамчи механизмларсиз электр двигателга уланади; г) сўриш ва ҳайдаш клапанлари бўлмагани учун нфлосрок суюқликларни ҳам узатиши мумкин; д) узок муддат давомида ишончли ишлайди.

Саноатда марказдан қочма консолли насослар энг кўп қўлланилади. Бундай насослар ичимлик ва саноат сувларини, актив ва нейтрал кимёвий суюқликларни, оқова сувларни узатиш учун ишлатилади.

Тоза 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 % микдорида (масса бўйича) ушлаган актив тоза суюқликларни (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, кристалланидиган ва қотиб қолувчи суюқликларни узатишга мўлжалланган консолли насосларнинг иш унумдорлиги $3 \div 300 \text{ м}^3/\text{соат}$, босими эса $15 \div 150 \text{ м}$ га тенг бўлади. Таркибида 4 % гача қаттиқ моддалар бўлган актив суюқликларни узатадиган насослар эса қуйидаги кўрсаткичларга эга: $Q = 5 \div 800 \text{ м}^3/\text{соат}$; $H = 10 \div 70 \text{ м}$.

Ҳозирги вақтда бир қатор унификация қилинган насослар ишлаб чиқилмоқда. Жумладан Х—65—200 типдаги насос ёрдамида кимёвий суюқликлар узатиш мумкин: $Q = 100 \text{ м}^3/\text{соат}$; $H = 50 \text{ м}$; $n = 48,3 \text{ с}^{-1}$.

Пластмассадан тайёрланган марказдан қочма насослар концентрацияси 30 %, зичлиги 1250 кг/м³ ва температураси 60°С гача

бўлган сульфат кислота узатиш учун хизмат килади. Масалан, бундай мақсад учун мўлжалланган 2ХМ-6П-2 насоси қуйидаги кўрсаткичларга эга: $Q = 10 \div 30 \text{ м}^3/\text{соат}$; $H = 34 \div 25 \text{ м}$; $n = 48,3 \text{ с}^{-1}$; $N = 4,5 \text{ кВт}$.

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 копланган 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 $10 \div 600 \text{ м}^3$ миқдоридagi суюқликни узатиши мумкин.

Таркибида қаттиқ заррачалар бўлмаган ва температураси 165°C дан кам бўлган сувни узатиш учун ЭП типидagi марказдан қочма насослар ҳам ишлатилади. Бундай насослар қуйидаги техник характеристикаларга эга: $Q = (1,8 \div 6,9) \cdot 10^{-2} \text{ м}^3/\text{с}$; $H = 440 \div 700 \text{ м}$; $n = 50 \text{ с}^{-1}$; $\eta = 0,65 \div 0,75$; $N = 108 \div 410 \text{ кВт}$.

Таркибида 50 % гача қаттиқ заррачалар бўлиб, температураси 80°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, заҳарли ва енгил алангаланиб кетувчи суюқликларни ҳамда юқори температура ва босим таъсирида турган суюқликларни (суюқлик ва унинг бугларини ташқи муҳитга сиркиб чиқиб кетиши мумкин бўлмаган ҳолатда) узатиш учун ХГВ ва ЦНГ типидagi сальниксиз герметик электр насослар қўлланилади.

Кам миқдордаги суюқликларни катта босим билан узатиш учун уюрмали марказдан қочма насосларни ишлатиш мақсадга мувофиқ. Бундай насослар абразив қўшимчаси бўлмаган, кимёвий актив суюқликларни узатиш учун ишлатилади: $Q = (0,16 \div 12,6) \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$; $H = 10 \div 300 \text{ м}$.

Ўқли насослар буглатиш қурилмалари, кристаллизаторлар, реакторлар ва бошқа кимёвий қурилмалардан мажбурий циркуляция қилиш учун фойдаланилади.

Кам миқдордаги суюқликларни юқори босимда ҳамда ковшоқли юқори ва ўта оқувчан иссиқ ва совуқ суюқликларни узатиш учун турли типдаги поршенли насослардан фойдаланилади. Масалан, ХТ типидagi поршенли насос температураси 60°C гача

булган енгил учувчан суюкликларни узатиш учун ишлатилади. Температураси 100°C гача булган агрессив суюкликларни узатиш учун эса ХТР типдаги насосдан фойдаланилади.

НД типдаги поршенли насослар тоза нейтрал ва агрессив суюкликларни узатиш учун ишлатилади. Масалан, юкори босимли полиэтилен ишлаб чиқаришида ишлатилаётган насослар куйидаги курсаткичларга эга: $P=250$ мПа; $Q=0,04 \div 0,1$ м³/соат.

Таркиби механик қўшимчали агрессив суюкликлар, пульпалар ва бошқа маҳсулотларни узатиш учун винтли насослар (бир винтли 1В-80/5Х-1; уч винтли 3ВХ21/25, 3ВХ216/25) ишлатилади.

Температураси 60°C гача булган кимёвий актив суюкликларни ва электрокимёвий қурилмаларда ишлатиладиган металл гидроксидлари суспензияларини узатиш учун тишли насослар қўлланилади.

Қовушоқлиги $(1 \div 15) \cdot 10^{-2}$ Па·с ва температураси $20 \div 50^{\circ}\text{C}$ булган полимер эритмалари, эмульсиясиз каучуклар ва концентранган нотургун латекслар, йигириш эритмаларини узатиш мақсадида коловратли насослар ишлатилади. Кимё саноатининг барча тармоқларида кенг миқёсда поршенли ва марказдан қочма компрессор машиналаридан фойдаланилади.

Турбокомпрессор ва турбогазодувкалар тузилишининг соддалиги, ихчамлиги ва газларни бир меъёردа узатиш билан бошқа компрессорлардан фаркланади. Буларнинг энг катта афзаллиги шундаки, улар газларни тоза ҳолда узатади. Турбокомпрессорлар ва турбогазодувкаларда тезюар ва инерцион кучланишлар булмани 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 босқичли турбокомпрессорлар газларни 30 мПа гача босимда узатиш мумкин.

Кимё саноати корхоналарида ҳавони сиқиш ва узатиш учун К-500 61-5 маркали турбокомпрессор ишлатилади. Бу турбомашина куйидаги характеристикага эга: нормал шароитдаги иш унумдорлиги 8,50 м³/с (қурук ҳаво бўйича), 8,75 м³/с (нам ҳаво бўйича); газнинг босими дастлабки 0,1 мПа, охириги 0,88 мПа; компрессорнинг истеъмол қиладиган қуввати 3000 кВт; ҳайдаш патрубкисидан чиқаётган газнинг температураси 135°C ; компрессорни ишлатиш учун сарф бўладиган ўртача солиштира қувват 5,54 кВт/(м³·мин).

Бошқа соҳаларда (масалан, синтетик каучук ва полиэтилен ишлаб чиқаришларида, газни қайта ишлаш заводларида, бутанни пиролиз қилишга мўлжалланган технологик қурилмаларда) газларни сиқиш ва узатиш учун К-400-51-2, К-60-80-1, К-380-103-1, К-535-181-1, К-605-181-1 маркали турбокомпрессорлар ишлатилади.

Ҳозирда саноат газлари (кислород, азот, фреон, азот — водородли аралашма, турли углеводородлар)ни сиқиш ва узатиш учун бир қатор такомиллаштирилган марказдан қочма компрессор машиналар (УЦКМ) ишлаб чиқилди.

Кам микдордаги ($10000 \text{ м}^3/\text{соат}$ гача) газларни юкори 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 ҳавони сиқишга мўлжалланган 2ВУ1-2,5/1,3 М7 маркали поршенли компрессор куйидаги характеристикага эга: иш унумдорлиги $2,5 \text{ м}^3/\text{мин}$; босим сўришда — $0,1 \text{ мПа}$, ҳайдашда — $0,9 \text{ мПа}$; электр двигателнинг қуввати $18,5 \text{ кВт}$. Поршенли компрессорларнинг асосий 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.

ТАКРОРЛАШ ВА МУСТАҚИЛ ИШЛАШ УЧУН САВОЛЛАР

- 5.1. Гидравлик машиналарнинг умумий турлари. Насослар ва компрессорлар қандай катталиклар билан характерланади?
- 5.2. Насосларнинг босими ва сўриш баландлиги ўртасида қандай фарқ ва умумийлик бор?
- 5.3. Марказдан қочма насоснинг ишлаши ва унинг универсал характеристикаси ўртасида қандай боғлиқлик мавжуд? Бундай насос учун пропорционаллик қонунининг мазмуни нимадан иборат?
- 5.4. Поршенли ва плунжерли насосларнинг ўхшашлиги. Бундай насосларнинг ҳақиқий иш унумдорлигини қайси тенглама орқали аниқлаш мумкин?
- 5.5. Тишли, пластинали, винтли, ингичка оқимли, пропеллерли, уюрмали насосларнинг асосий фарқлари нималардан иборат?
- 5.6. Монтежю ва эрлифтлар ўртасида қандай умумийлик ва фарқ бор?
- 5.7. Газларни изотермик, адиабатлик ва политропик сиқишда бажарилган солиштира иш ва ташқи муҳитга тортиб олинishi лозим бўлган иссиқлик микдорлари қайси тенгламалар ёрдамида аникланади?
- 5.8. Вентилятор қандай мақсадлар учун ишлатилади? Уларнинг асосий кўрсаткичлари қайси тенгламалар орқали топилади?
- 5.9. Турбокомпрессорлар ва турбогазодувкаларнинг ишлаш принципи. Уларнинг умумий ва хусусий томонлари.

- 5.10. Идеал ва ҳақиқий порошени компрессорларнинг индикатор диаграммалари ўртасида қандай фарқ бор?
- 5.11. Роторли компрессорларнинг турлари. Уларнинг афзалликлари ва камчиликлари нимадан иборат?
- 5.12. Насосларнинг ишлатилиш соҳалари. Уларни қандай принципа танлаш мумкин?

6-БОБ. СУЮҚЛИК МУҲИТЛАРИДА АРАЛАШТИРИШ

6.1-§. УМУМИЙ ТУШУНЧАЛАР

Суюқлик билан боғлиқ бўлган системалар (суюқлик — суюқлик, суюқлик — қаттиқ жисм, суюқлик — газ)даги аралаштириш энг муҳим гидромеханик жараён бўлиб, муҳитга ташқи куч таъсирида қўшимча импульс беришга асосланган. Аралаштиргич, суюқлик ёки газнинг ингичка оқими таъсирида қурилма ҳажмидаги оқувчан 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. Оқибатда суюқлик муҳитда аралаштириш кимёвий, иссиқлик ва модда алмашилиш жараёнлари тезлигининг кўпайишига олиб келади.

Кимё саноатида аралаштиришнинг куйидаги усулларидан фойдаланилади: 1) механик; 2) циркуляцион; 3) турбулизатор ёрдамида; 4) пневматик. Бу усулларни танлаш пайтида бир неча шарт-шароитлар ҳисобга олинади: аралаштиришнинг мақсади; жараённинг асосий характеристикалари (температура, босим); аралашадиган муҳитнинг хоссалари; қурилманинг иш унумдорлиги.

Самарадорлик ва тезлик аралаштирувчи қурилмаларнинг энг муҳим характеристикалари ҳисобланади. Ҳар хил жараёнларда аралаштириш самарадорлиги турлича белгиланади. Масалан, агар қаттиқ модданинг суюқликдаги суспензияси текшириляётган бўлса, аралаштириш самарадорлиги қаттиқ модда заррачаларининг суюқликда бир хил тарқалиш вақти билан белгиланади. Агар аралаштириш иссиқлик алмашилишини тезлатиш учун ишлатилса, у ҳолда жараён самарадорлиги муҳитдаги иссиқлик бериш

коэффициентларининг канчага кўпайиши билан белгиланади. Аралаштиришнинг тезлиги тегишли мақсадга эришиш учун сарф бўладиган вақт билан белгиланади.

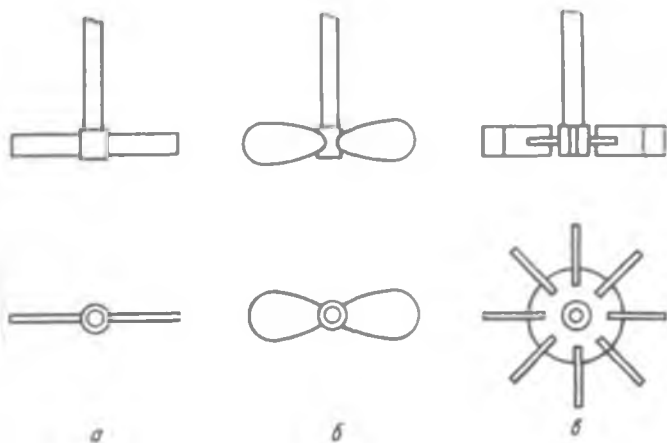
6.2-§. МЕХАНИК УСУЛДА АРАЛАШТИРИШ

Саноат ишлаб чиқаришларида турли айланувчан механик аралаштиргичлар ишлатилади. Энг кўп қўлланиладиган аралаштиргичлар асосан уч турга бўлинади (6.1- расм): 1) парракли; 2) пропеллерли (винтли); 3) турбинали.

Парракли аралаштиргич бир ёки бир нечта парракдан иборат бўлади (6.1, 6.2- расмлар). Бир парракли оддий аралаштиргичлар қовушоклиги кичик бўлган ($\mu < 0,1$ Па.с) суюқликларни аралаштириш учун ишлатилади. Қовушоклиги 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.

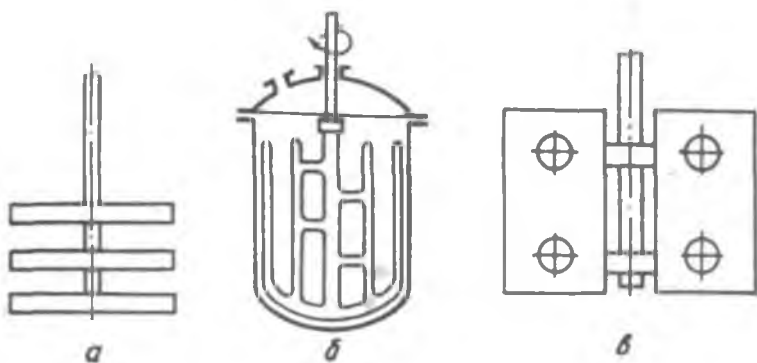
Пропеллерли аралаштиргичнинг асосий иш органи ўққа ўрнатилган пропеллер (ёки винт) дан иборат (6.3- расм). Ўқ горизонтал, вертикал ёки қия ўрнатилган бўлиши мумкин. Винтлар икки ёки уч қанотли бўлади. Қанотлар суюқликда ҳудди винт каби ҳаракат қилади. Пропеллерли аралаштиргичларни ҳаракатчан ва қовушоклиги 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 самарадорлиги анча юқори, бироқ уларнинг ишлаши учун кўп энергия сарфланади. Винт қия жойлаштирилса аралаштиришнинг самарадорлиги ортади.

Турбинали аралаштиргичнинг асосий иш органи турбина гилдираги бўлиб, у вертикал ўққа жойлаштирилган бўлади (6.4- расм). Турбина гилдирагининг ишлаш принципи марказдан қочма кучнинг таъсирига асосланган. Суюқлик аралаштиргичнинг марказий тешикчаларидан кириб, у ерда марказдан қочма куч таъсирида тезланиш олган ҳолда гилдиракдан радиал йўналишда чиқиб кетади. Гилдиракда суюқлик вертикал йўналишдан горизонтал йўналишга ўтиб, ундан катта тезлик билан чиқади. Бундай аралаштиргич қовушоклиги 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.



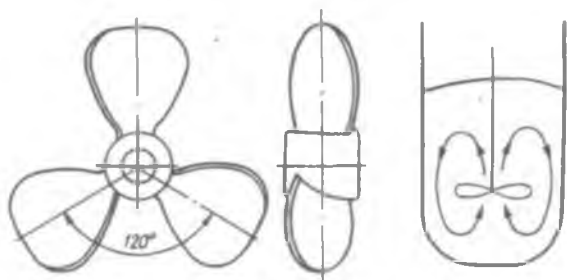
6.1- расм. Аралаштиргич турлари:

а) парракли; б) пропедлерли, в) турбинали.

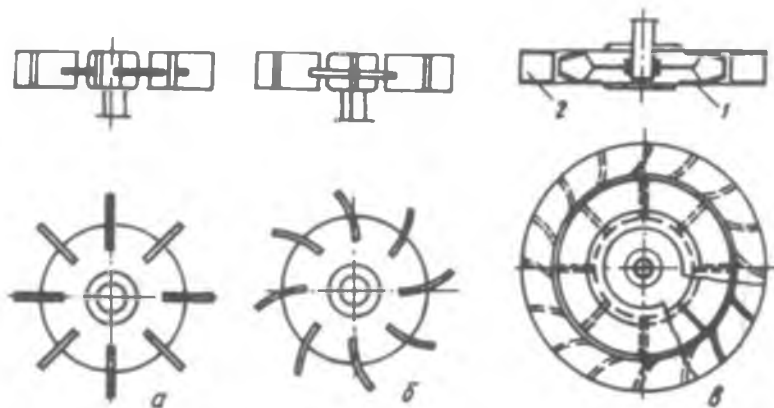


6.2- расм. Парракли аралаштиргичнинг турлари:

а) рамали; б) якори; в) ипроксимон



6.3- расм. Пропеллерли аралаштиргич.



6.4- расм. Турбинали аралаштиргич турлари:

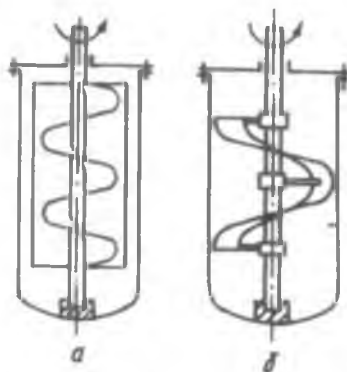
а) очик турги куракчали; б) очик аля куракчали; в) ёпиқ турбинали; 1 — турбина; 2 — айнаштиргич

Бундай аралаштиргичнинг самарадорлиги жуда юкори. Турбинали аралаштиргични таркибида ўлчами 25 мм гача етадиган заррачаларни бор суюқликларни аралаштириш учун ҳам қўллаш мумкин.

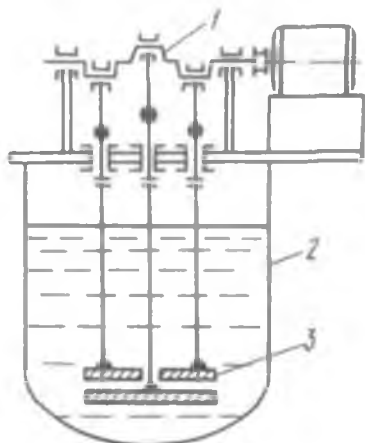
Кимё саноатида юкорида айтиб ўтилган аралаштиргичлардан ташкари шнекли, лентали, планетар, вибрацион ва бошқа аралаштиргичдан ҳам фойдаланилмоқда. Масалан, ноньютон ва пастасимон суюқликларни аралаштириш учун шнекли ва лентали аралаштиргичлар ишлатилади (6.5- расм). Шнекли аралаштиргич эффектив ковшоқлик коэффиценти $\mu_{\text{эф}} = 500$ Па.с бўлган массаларни узлуксиз циркуляция қилишга хизмат қилади. Бундай аралаштиргичнинг айланиш частотаси $n = (1 \div 4)$ айл/с. Лентали аралаштиргичлар ёрдамида ковшоқлиги юкори бўлган ($\mu_{\text{эф}} = 3 \cdot 10^5$ 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 ковшоқликка эга бўлган (100 Па.с гача ва ундан кўп) ҳам ньютон, ҳам ноньютон суюқликларни аралаштириш учун мўлжалланган. Масалан, собик Ленинград технология институти 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 қийматига 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. Шнекли (а) ва лента-ли (б) аралаштиргичлар.



6.6- расм. Вибрацион аралаштир-гичли 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.

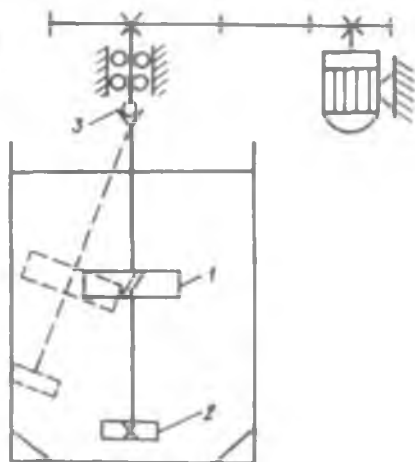
Аралашаётган суюқликнинг гидродинамик режими Рей-нольдс мезонининг бошқа кўри-ниши билан аниқланади:

$$Re_w = \frac{wd\rho}{\mu} = \frac{\rho n d^2}{\mu},$$

бу ерда n — аралаштиргичнинг айланиш частотаси, айл/с;

ρ — аралашаётган суюқлик-нинг зичлиги, кг/м³; μ — ара-лашаётган суюқликнинг қову-шоқлиги, Па·с; d — аралаштир-гичнинг диаметри, м.

Суюқлик ҳаракатининг ла-минар режимдан оралик ёки турбулент режимга тўғри кел-ган Re_w нинг критик сон қийма-ти асосан аралаштиргичнинг конструкциясига боғлиқ бўла-ди. Тез ҳаракат қилувчи ара-



6.7- расм. Планетар аралаштир-гичли қурилма:

1 — ёппақ турбинали аралаштиргич; 2 — уч парралли аралаштиргич. 3 — Гуш шарини

лаштиргич учун ўрта ҳисоб билан $Re_{мкр} \approx 50$. Айрим аралаштиргичларнинг гидродинамик характеристикалари 6.1-жадвалда берилган.

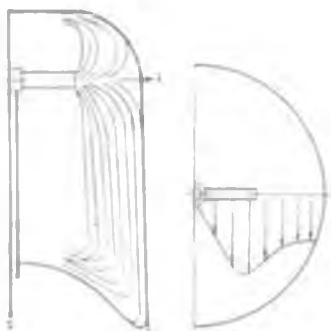
6.1-жадвал. Аралаштиргичларнинг гидродинамик характеристикалари.

Аралаштиргичларнинг тури	Режимлар чегарасидаги Re_m нинг қиймати		Аралаштиргичнинг қаршилик коэффициенти, ξ	Аппарат диаметрининг аралаштиргич диаметрига нисбати, D/d
	ламинар ва оралик	оралик ва турбулент		
Катакти	50	$2 \cdot 10^2$	23,50	3—6
Парракти	10	$50—10^4$	0,88	1,5—2,5
Рамали	10^3	10^4	1,28	1,1—1,3
Уч парракти	10^2	$5 \cdot 10^2—10^4$	0,56	3—6
Епик турбинали	10^2	10^3	4,20	3—6
Очк турбинали	10	$10^2—10^3$	8,40	3—6
Оқти парракти	50	$5 \cdot 10^2$	3,00	2—4

Аралаштиргичи бўлган қурилмада аралаштиргичнинг айланма ҳаракати таъсирида суюқликнинг уч ўлчамли мураккаб оқими юз беради. Агар суюқликнинг тезлигини w деб олсак, унинг тангенциал (айланма) улуши w_t , радиал улуши w_r , ўқ бўйича (аксиал) улуши w_z га тенг бўлади. Аралаштириш пайтидаги тезликларни ўлчаш шунинг кўрсатдики, тангенциал тезликнинг ўртача қиймати *радиал* ва *аксиал* тезликларнинг ўртача қийматига нисбатан 10 марта кўп бўлиб, w_t нинг қиймати қурилманинг баландлиги бўйича деярли ўзгармайди ва амалий жиҳатдан аралаштиргичнинг баландлигига боғлиқ бўлмайди. Тангенциал тезлик қурилма диаметрининг маълум бир қийматига яқинлашганда ($D=0,75d$) максимал қийматига эришади ва сўнгра қурилма диаметрига нисбатан тескари пропорционаллик бўйича камайиб боради.

Аралаштиргич катта частота билан айланганда ($Re_m > 10^2$) суюқлик марказдан қочма куч таъсирида аралаштиргич 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 ҳаракатланади; иккинчи қисм юқорига қараб, суюқликнинг эркин юзаси томон ҳаракатланади.

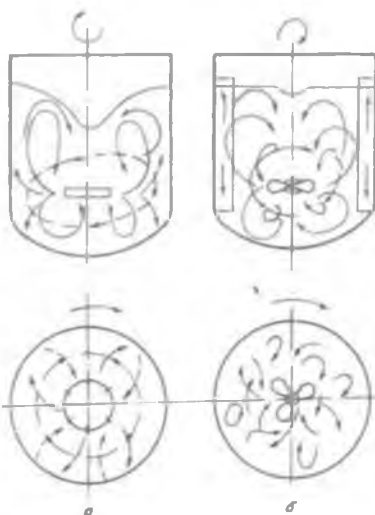
Радиал оқим пайдо бўлиши натижасида аралаштиргич қамраб олган оралик соҳа, яъни пасайтирилган босим соҳаси пайдо бўлади, бу соҳага суюқликнинг эркин юзаси ва идишнинг туби томонидан келаётган оқим интилади. Натижада бу соҳада қурилманинг юқори қисмида юқоридан пастга йўналган, пастки қисмида эса пастдан юқорига йўналган суюқлик-



6.8-расм. Аралаштиргичли курилмадаги суюклик заррачалари ҳаракатининг траекториялари.

6.9-расм. Аралаштиргичли курилмадаги суюклик оқимининг шаклига қайтарувчи 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 ($Re_u < 10$) аралаштиргичли курилмаларда кам ривожланган уч ўлчамли ва эркин циркуляцияга эга бўлган оқим ҳосил бўлади. Бундай шароитда марказий цилиндрсимон уюмалар бўлмайди, фақат периферия ва оралик соҳаларда оқимлар мавжуд бўлади. Оқимнинг турбулентлик даражаси ортган сари ($10 > Re_u < 10^3$) мажбурий циркуляция ҳосил бўла бошлайди ва курилмада периферия ва оралик соҳалардаги оқимлардан ташқари марказий цилиндрсимон уюмалар ҳам пайдо бўлади.

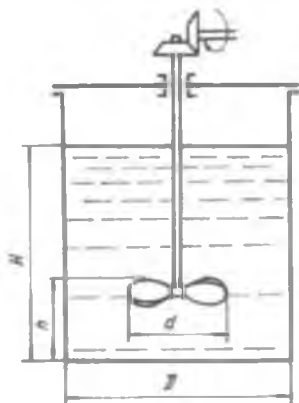
Айланувчан аралаштиргичлар ишлатилганда суюклик юзасида воронка пайдо бўлиб, унинг чуқурлиги аралаштиргичнинг айланиш частотаси кўпайиши билан ортиб боради. Воронка ҳосил бўлишини йўқотиш учун тез ҳаракат қилувчи аралаштиргичли курилманинг ички деворларига радиал қайтарувчи тўсиқлар ўрнатилади (6,9- расм). Бундай тўсиқларнинг энг макбул сони 2—4 та бўлиб, унинг кенглиги $B = 0,1 D$, баландлиги эса $h = 2d$. Қайтарувчи тўсиқлар аралаштириш тезлигини бир оз оширади, аммо энергия сарфини 1,3—1,5 баробар кўпайтиради.

Аралаштиргич ёрдамида ҳосил бўлган оқимнинг таркиби аралаштиргич ва қурилманинг конструктив тузилишига ҳамда аралаштиргични ўрнатиш усулига боглиқ бўлади. Агар турбинали ёки винтли аралаштиргич қурилманинг тубига яқинроқ ўрнатилган бўлса, у ҳолатда пастки циркуляция соҳаси камаяди. Бунда суюқлик оқимларининг йўналиши ўзгаради. Бир жинсли аралашадиган муҳит ҳосил қилиш учун ўқ (яъни аксиал) оқимларни ташкил қилиш зарур бўлади. Бундай шароитда диффузорли винтли аралаштиргичдан фойдаланиш таклиф этилади (6.10- расм). Диффузорнинг ички диаметри аралаштиргичнинг диаметридан каттароқ бўлади. Аралаштиргич билан диффузор биргаликда ўқли насос каби ишлайди.

Аралаштиргичларнинг муҳим катталиклари қаторига аралаштиргичнинг насосли эффекти ҳам киради. Бу эффект вақт бирлиги ичида циркуляция қилинаётган суюқликнинг ҳажми билан белгиланиб, аралашаётган суюқликнинг қовушоклиги кўпайиши билан камаяди.

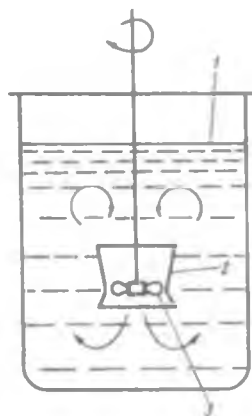
6.3- §. МЕХАНИК АРАЛАШТИРИШДАГИ ҚУВВАТ САРФИ

6.11- расмда ичида аралаштиргич ўрнатилган идиш кўрсатилган. Аралаштиргичнинг айланиши учун зарур бўлган энергия ишқаланиш кучларини енгилшга 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 боглиқ экан. Критериал боглиқнинг умумий кўринишини аниқлаймиз. Дастлабки функционал боглиқ 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 катталикларнинг ўлчов бирликларини ёзамиз:

$$[N] = Bm = \frac{H \cdot m}{c} = \left(\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2} \right) \frac{\text{м}}{\text{с}} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{с}^3}$$

$$[\mu] = \frac{H \cdot c}{m^2} = \left(\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}^2} \right) \frac{\text{с}}{\text{м}^2} = \frac{\text{кг}}{\text{с} \cdot \text{м}}$$

$$[\rho] = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}; \quad [n] = \frac{1}{\text{с}}; \quad [d] = \text{м}.$$

Ўлчамларнинг тенгламасини 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:

$$\begin{array}{rcl} \text{кг} & 1 & = x + y \\ \text{м} & 2 & = -x - 3y + v \\ \text{с} & -3 & = -x - z \end{array}$$

Ушбу тенгламаларга кирган кийматларни 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_n билан, мезон $\frac{\rho n d^2}{\mu}$ Рейнольдс мезонининг бошқа бир кўриниши бўлиб, Re_n билан белгиланади:

$$Eu_n = \frac{N}{\rho n^3 d^5} = K_N \quad (6.4); \quad Re_n = \frac{\rho n d^2}{\mu} \quad (6.5)$$

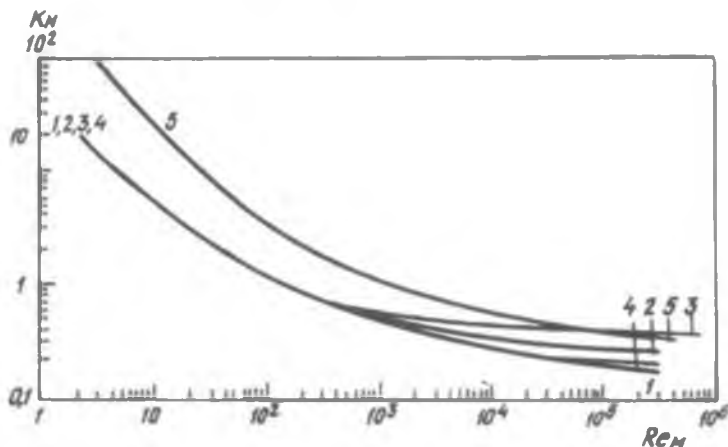
Демак, механик аралаштириш пайтидаги энергия сарфининг умумий тенгламаси қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$Eu_n = C Re_n^k \quad (6.6)$$

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 $K_H = f(Re_M)$ 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 $K_H = f(Re_M)$ боғлиқликнинг кўриниши:

1 — $H/D = 3$, тусиклари бўлмаган қурилма, 2 — $H/D = 4$, тусиклари бўлмаган қурилма, 3 — $H/D = 3$ тусиклари бўлган қурилма, 4 — диффузорли қурилма, 5 — $H/D = 1,15$.

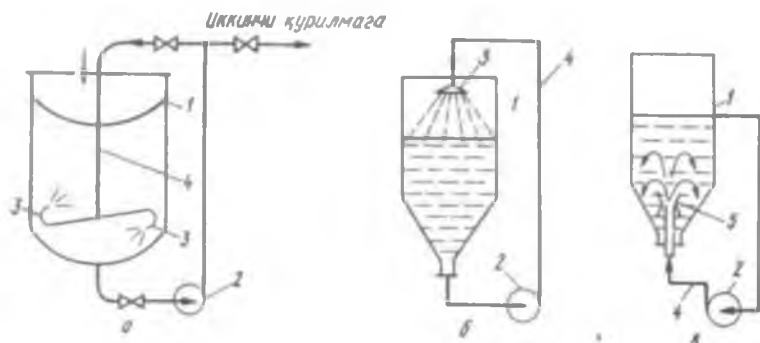
Аралаштиргичнинг двигатели истеъмол қиладиган қувват (кВт) тегишли тузатиш коэффициентларини ҳисобга олганда қуйидаги тенглама ёрдамида аниқланади:

$$N_{gb} = \frac{1,3 N_f f_{\omega} f_{3\omega} f_r f_H}{10^3 \eta} \quad (6.8)$$

бу ерда $f_{\omega} = 1,3$ — аралаштиргични ишга тушириш моментини ҳисобга олувчи коэффициент; $f_{\omega} = 1,1 \div 1,2$ — қайтарувчи тўсиклари бўлмаган ва ички деворининг ғадир-будурлиги катта бўлган қурилмалар учун; $f_{3\omega} = 2 \div 3$ — ичида змеевик бўлган қурилмалар учун; $f_r = 1,1$ — термометр учун гильзаси бўлган қурилмалар учун; f_H — (6.7) тенглама бўйича; $\eta = 0,8 \div 0,95$ — узатишнинг фойдали иш коэффициенти.

6.4- §. ЦИРКУЛЯЦИОН АРАЛАШТИРИШ

Циркуляцион аралаштиришнинг чизмалари 6.13- расмда кўрсатилган. Суюқлик муҳитини тезда аралаштириш учун циркуляцион насосдан фойдаланилади. Суюқлик ҳайдаладиган трубопроводлар горизонтал юзага нисбатан бир оз кия қилиб, қурилма

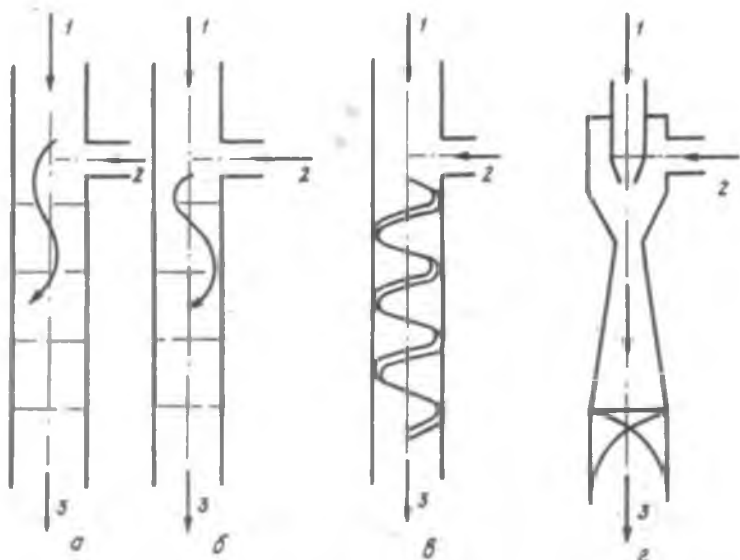


6.13- расм. Циркуляцион аралаштиришининг чизмаси.

а, б — циркуляцион насос билан; в — циркуляцион насос ва эжектор билан; 1 — қурилма, 2 — циркуляцион насос, 3 — сочқич, 4 — трубопровод; 5 — эжектор.

деворига уринма ҳолатида бирлаштирилади. Трубопроводларнинг учлари махсус насадкалар билан таъминланган бўлади. Насадка ёрдамида суюқлик қурилманинг ҳажми бўйича сочиб берилади. Циркуляцион насос сифатида марказдан қочма ва ингичка оқимли насослар ишлатилади. Насоснинг иш унумдорлиги кўпайган сари циркуляциянинг самарадорлиги ортади.

Насос ёрдамида циркуляцион аралаштириш учун зарур бўлган энергия сарфи 5- бобда келтирилган тенгламалар ёрдамида аниқланади.



6.14- расм. Оқимда аралаштириш учун ишлатиладиган қурилма чизмаси. Киритилган қўшимча:

а — диафрагма, б — примта тўсиқлар, в — винт; г — ингичка оқимли аралаштиргичда винт; 1, 2 — аралашма компонентларининг кириши; 3 — аралашманинг чиқиши

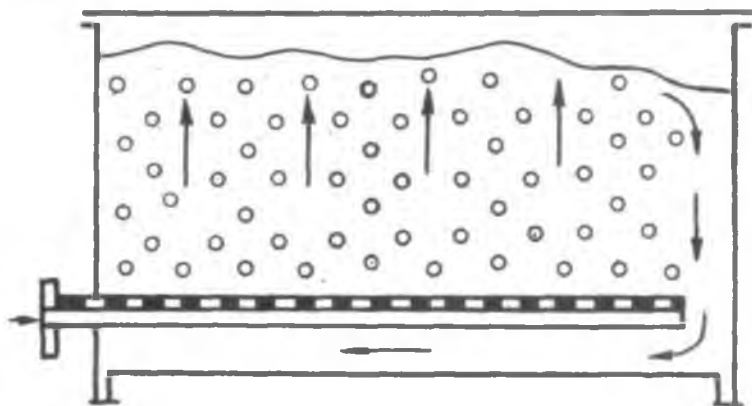
6.5-§. ТУРБУЛИЗАТОРЛАР ЁРДАМИДА АРАЛАШТИРИШ

Суюқликни оқим бўйлаб кўп маротаба аралаштириш учун трубопроводларга ёки уларга жойлаштирилган аралаштиргичларга махсус турбулизаторлар ўрнатилади. Турбулизаторлар (бошқача қилиб айтганда статик аралаштиргичлар) каторига 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 бориладиган аралаштириш кўп энергия талаб қилади. Бу усул суюқликлар ўзаро эрувчанлик хоссаларига эга бўлган ва аралашма компонентларининг қовушоқлиги нисбатан кам бўлган шароитда ишлатилади. Суюқлик оқими катта тезлик билан ҳаракатланганда ва трубопроводнинг узунлиги нисбатан катта бўлганда турбулизаторлар ёрдамида аралаштириш мақсадга мувофиқдир.

Оқимнинг ўзида аралаштиришни ҳисоблаш пайтида турбулизаторлар маҳаллий қаршиликлар сифатида олинади.

6.6-§. ПНЕВМАТИК АРАЛАШТИРИШ

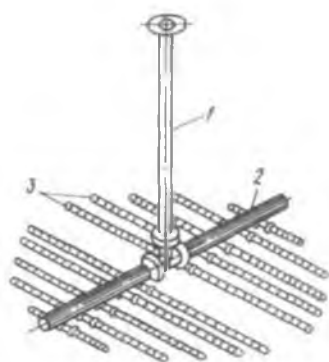
Қовушоқлиги унча катта бўлмаган (тахминан $\mu < 200$ Па.с) суюқликларни аралаштириш учун ҳамда донасимон материалларни сувда ювиш учун пневматик усул (ёки барботажли аралаштириш) қўлланилади. Айрим шароитларда пневматик аралаштириш учун ҳаво ўрнига сув буги ишлатилади, бунда аралаштиришдан ташқари суюқликнинг 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.

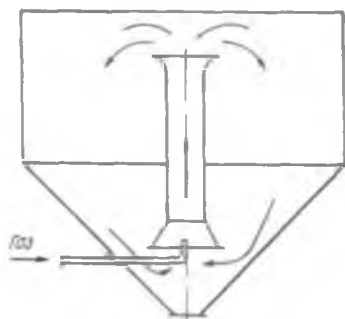
тириб кетади, бундан ташқари пуфакчаларнинг ҳаракатига карама-қарши, суюқликнинг барботаж қилинмаган қисмининг ҳаракати бошланади. Натижада суюқлик муҳитида аралаштириш юз беради.

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 трубадвар



6.17-расм. Эрлифтдан фойдаланилган аралаштиргич.

Сочилувчан донатор жисмларни пневматик аралаштириш учун эрлифт принциpidан фойдаланилади (6.17-расм). Ҳаво компрессор ёрдамида марказий трубага юборилади. Бундай шароитда марказий труба ичида газ, суюқлик ва қаттиқ жисмнинг аралашмаси пайдо бўлади, бу аралашманинг зичлиги идишнинг бошқа қисмидаги аралашма зичлигидан кам бўлади. Ушбу зичликларнинг айирмаси таъсирида қурилмадаги бутун массанинг циркуляцион ҳаракати пайдо бўлади. Эрлифтдаги газнинг келтирилган тезлиги 2 м/с гача, циркуляцион оқимнинг тезлиги эса 1 м/с гача етади.

Айниқса газни (масалан, ҳаво кислородини) суюқлик билан кимёвий реакцияга кириши зарур бўлганда пневматик усулни қўллаш мақсадга мувофиқ. Бундай аралаштириш *азрация* деб юритилади. Азрация қурилмаларнинг самарадорлиги суюқлик муҳитнинг аралашishiдан ташқари кислород билан тўйиниш даражаси орқали ҳам характерланади.

Пневматик аралаштирувчи курилмаларни 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, кг/м^3 ; P_0 — суюқлик устидаги босим, Па.

Ҳаво линиясидаги босимнинг йуқолишини суюқлик устуни қаршилигининг 20 процентига тенг деб олинган (коэффициент 1, 2)

Курилмадаги суюқликнинг 1 м^3 эркин юзасига туғри 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 тешикларидан чиқаётган газнинг тезлиги $20 \div 40 \text{ м/с}$ ни ташкил этади.

ТАКРОРЛАШ ВА МУСТАҚИЛ ИШЛАШ УЧУН САВОЛЛАР

- 6.1. Суюқлик муҳиtida аралаштириш жараёнининг аҳамияти. Аралаштиришнинг нечта усули мавжуд?
- 6.2. Парракли ва винтли аралаштиргичнинг асосий характеристикалари ва ишлатилиши.
- 6.3. Турбинали аралаштиргичнинг турлари, унинг бошқа механик аралаштиргичлардан афзалликлари.
- 6.4. Ньютон ва пастасимон суюқликларни аралаштириш учун қандай аралаштиргичлардан фойдаланилади? Аралаштириш пайтидаги суюқлик ҳаракатининг таркиби қандай тузилган?
- 6.5. Механик аралаштириш учун энергия сарфининг умумий критериял тенгламасини қандай келтириб чиқариш мумкин?
- 6.6. Суюқликни оқим бўйлаб аралаштириш учун қандай турбулизаторлар ишлатилади?
- 6.7. Пневматик аралаштиришнинг моҳияти. Бундай аралаштириш учун ҳавонинг сарфини қандай аниқлаш мумкин?
- 6.8. Эрлифт ва аэрация тушунчалари ўртасида қандай фарқ бор?
- 6.9. Механик аралаштиргичи бўлган қандай замонавий курилмаларни биласиз?
- 6.10. Суюқлик муҳиtidaги аралаштириш жараёнларини қайси принциплар асосида тезлаштириш мумкин?

7-БОБ. СУЮҚЛИК ТУРЛИ ЖИНСЛИ 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: дағал 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 суслоси ва хоказо.

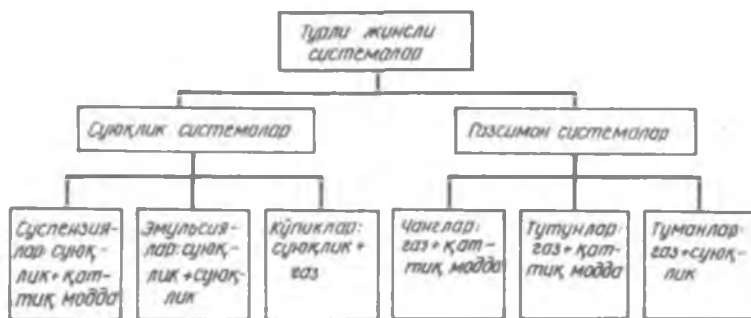
Эмульсиялар икки хил ўзаро аралаштирилган суюқликлардан иборат бўлиб, бунда биринчи суюқликнинг ичида иккинчи суюқликнинг томчилари таркаган бўлади. Дисперс фаза заррачаларининг ўлчами кенг интервалда ўзгариши мумкин. Одатда эмульсия оғирлик кучи таъсирида қатламларга ажралиб кетади. Агар томчининг ўлчами 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 кўпикли қатламлар ҳосил бўлади.

Ўз таркибида қаттиқ модданинг майда заррачаларини тутган газ системалари *чанглар* деб аталади. Чанг одатда қаттиқ моддаларни механик усуллар билан майдалаш ва бир жойдан иккинчи жойга узатиш пайтида ҳосил бўлади. Чанг таркибидаги қаттиқ заррачалар ўлчами $5 \div 100$ мкм оралигида 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 ёкилгиларнинг ёниши пайтида ҳам пайдо бўлади.

Туманлар суюқлик ва газ фазалардан таркиб топган бўлади. Масалан, сув бугларини ҳаво ёрдамида совитиш процессида бугнинг конденсацияланиши натижасида туман ҳосил бўлади. Туман таркибидаги суюқлик заррачаларининг ўлчами $0,3 \div 3$ мкм га тенг.



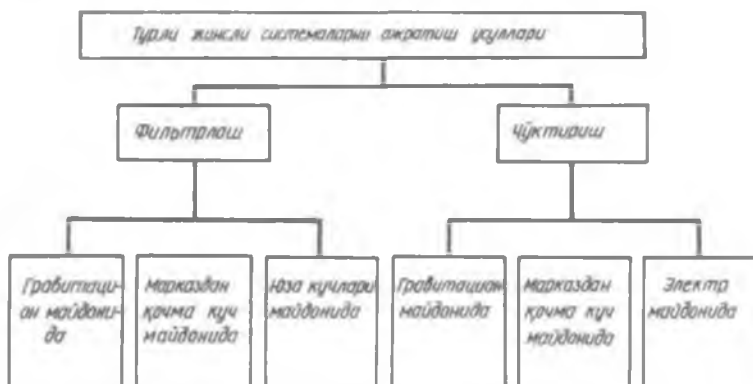
7.1- расм. Турли жинсли системаларнинг турлари.

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 қуйидаги гидромеханик усуллардан фойдаланилади; 1) чўктириш, 2) филтрлаш, 3) центрифугалаш, 4) суюқлик ёрдамида ажратиш. 7.2- расмда турли жинсли системаларни ажратиш турлари келтирилган.

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



7.2- расм. Турли жинсли системаларни ажратиш усуллари.

Огирлик инерция (жумладан, марказдан қочма куч) ёки электростатик куч ёрдамида суюқлик ва газсимон системалар таркибидаги каттик ёки суюқ заррачаларни ажратиш чўқтириш деб аталади. Агар чўқтириш 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, мухитдаги каттик модда заррачаларини эса тутиб қолади. Фильтрлаш босим ёки марказдан қочма куч таъсирида олиб борилади ва асосан суспензия ҳамда чангларни тула тозалаш учун ишлатилади.

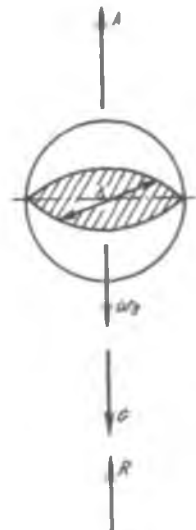
Центрифугалаш — суспензия ва эмульсияларни марказдан қочма куч таъсирида яхлит ёки говаксимон тўсиқлар ёрдамида ажратиш жараёнидир. Суюқлик ёрдамида ажратиш усули деб газ таркибида бўлган каттик заррачаларни бирор суюқлик иштирокида тутиб қолиш жараёнига айтилади. Бу жараён огирлик ёки инерция кучи таъсирида олиб борилади ва газларни тозалаш учун ишлатилади. Баъзан бу усулдан суспензияларни ажратишда ҳам фойдаланилади.

Турли жинсли системаларни ажратишнинг юқорида баён этилган усуллари саноатда чўқтиргичлар, чанг чўқтирувчи камералар, фильтрлар, циклонлар, гидроциклонлар, центрифугалар, электрофильтрлар скрубберлар ва шу каби қурилмаларда олиб борилади.

7.2-§. ГРАВИТАЦИОН ЧЎҚТИРИШ

Чўқтириш усули суспензия, эмульсия ва чангли газларни ажратиш учун ишлатилади. Чўқтириш тезлиги кичик бўлгани сабабли бу усул асосан турли жинсли системаларни бирламчи ажратиш учун қўлланилади. Чўқтириш жараёни чангли газлар, суспензия ва эмульсиялар таркибидаги маъна каттик заррачаларнинг огирлик кучи таъсирида қурилма тубига чўқишига асосланган. Чўқтириш жараёни тиндирувчи қурилмаларда олиб борилади.

Чўқтириш тезлигини аниқлаш учун алоҳида олинган шарсимон каттик заррачаларнинг суюқлик мухитида эркин чўқишини текширамиз. Бунда заррачага огирлик кучи G , қўтариш кучи A ва мухитнинг қаршилик кучи R таъсир этади (7.3- расм). Чўқтиргичнинг ҳаракатлантирувчи кучи ролини огирлик ва қўтариш



7.3- расм. Чўқаётган заррачага таъсир қилаётган кучлар:

G — огирлик кучи;
 A — қўтариш кучи,
 R — қаршилик кучи.
 d — заррачанинг диаметри, м, — заррачанинг эркин чўқиш тезлиги.

кучлари ўртасидаги фарк яъни заррачаларнинг суюқликдаги оғирлиги бажаради:

$$P = G - A = \frac{\pi d^3}{6} g (\rho_k - \rho_m) \quad (7.1)$$

бу ерда d — заррача диаметри, м; g — оғирлик кучи тезланиши, м/с²; ρ_k — заррача зичлиги, кг/м³; ρ_m — мухит зичлиги, кг/м³.

Мухитнинг қаршилиги R заррача йўналишига карама-қарши бўлиб, ишқаланиш ва инерция кучидан таркиб топган. Ламинар окимда ишқаланиш кучи инерция кучига нисбатан катта бўлади. Стокс қонунига кўра ламинар режимида шарсимон заррачанинг чўкишида мухитнинг қаршилиқ кучи R куйидаги тенглама билан топилади:

$$R = 3\pi d \mu \omega, \quad (7.2)$$

бу ерда μ — мухитнинг динамик қовушоқлиги, Па·с; ω — 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 куйидагиларни оламиз:

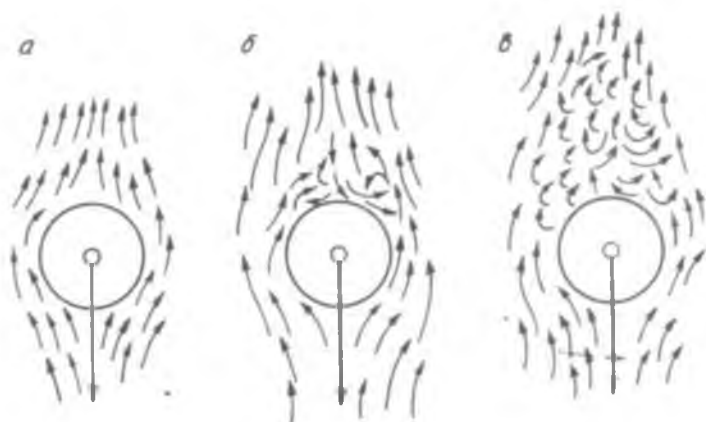
$$\frac{\pi d^3}{6} g (\rho_k - \rho_m) = 3\pi d \mu \omega,$$

бу ердан чўкиш тезлиги

$$\omega = \frac{d^2 g (\rho_k - \rho_m)}{18\mu}. \quad (7.3)$$

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 оким заррачани силлиқ айланиб ўтади (7.4- расм, а) Ламинар режимида окимнинг энергияси асосан ишқаланиш қаршилигини енгшига сарфланади. Окимнинг 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 режи-



7.4- расм. Қаттиқ шарсимон заррачанинг суюкликдаги ҳаракати:

а — ламинар оқим; б — оралик режим; в — турбулент оқим

мида) муҳитнинг қаршилик коэффиценти ўзгармас бўлади ($\xi = 0,44 = \text{const}$).

Турбулент режимда ($Re > 500$) заррачанинг орқа томонида уярма оқимлар пайдо бўлади ва шу билан биргаликда бир оз сийракланиш юз беради; бу ҳолат муҳит қаршилигининг кўпайишига олиб келади ва натижада заррачанинг чўкиш тезлиги секинлашади.

Турбулент режимда $Re > 500$ бўлганда, инерция кучлари ишқаланиш кучларидан устун туради. Бунда қаршилик кучи R Ньютон қонунига кўра топилади:

$$R = \xi F \frac{\rho_n w^2}{2} \quad (7.4)$$

бу ерда ξ — қаршилик коэффиценти; F — заррачанинг ҳаракат йўналишига бўлган текисликка туширилган проекцияси.

Қаршилик коэффицентиининг қиймати Re нинг сон қийматига кўра аникланади

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:

$$\frac{\pi d^3}{6} g(\rho_n - \rho_m) = \xi F \frac{\rho_n w^2}{2}.$$

G , ξ ва F нинг кийматларини тенгламага қўйгандан сўнг чўкиш тезлигини аниқлаш учун қуйидаги тенгламани оламиз:

$$\omega_s = 5,45 \sqrt{\frac{d(\rho_k - \rho_m)}{\rho_m}} \quad (7.5)$$

Шарсимон бўлмаган заррачаларнинг чўкиш тезлиги ω' қуйидагича аниқланади:

$$\omega' = \varphi \omega_s, \quad (7.6)$$

бу ерда φ — шакл коэффиценти

Шарсимон заррачалар учун $\varphi = 1$ деб олинади. Шарга ўхшамаган бошқа заррачаларнинг шакл коэффиценти $\varphi < 1$ бўлади. Масалан: думалоқ 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 алохида олинган заррачанинг суюқлик ёки газ муҳитидаги эркин чўкиши аниқланади.

Ҳақиқий шаронзда чўктириш жараёни маълум ҳажмда, каттик заррачаларнинг концентрациялари катта бўлганда олиб борилади. Бунда сиқилган ҳолатдаги чўкиш юз беради. Сиқилган ҳолатдаги чўкиш тезлиги ω_r эркин чўкиш тезлигидан кичик бўлади, яъни $\omega_r < \omega_s$, чунки сиқилган ҳолатдаги чўкишда умумий қаршилик муҳитнинг қаршилиги ва заррачаларнинг бир-бирига ишқаланиши ҳамда урилиши натижасида ҳосил бўлган қаршиликлар йиғиндиси тенг бўлади.

Тахминий ҳисоблашлар учун сиқилган ҳолатдаги чўкиш тезлигини (яъни ҳақиқий чўкиш тезлигини) шарсимон заррача назарий чўкиш тезлигининг ярмига тенг деб олинади:

$$\omega_r = 0,5 \omega_s, \quad (7.7)$$

Нотўғри шаклга эга бўлган заррачалар учун ω_s ни ҳисоблашда d нинг ўрнига d_s олинади:

$$d_s = \sqrt{\frac{6V}{\pi}}. \quad (7.8)$$

бу ерда d_s — эквивалент диаметр; V — чўкаётган заррачанинг ҳажми.

Ҳамма режимлар учун сиқилган ҳолатдаги чўкиш тезлигини аниқлашда қуйидаги умумий тенгламадан фойдаланилади:

$$Re = \frac{Ar e^{4,75}}{18 + 0,6 \sqrt{Ar} \cdot e^{4,75}}, \quad (7.9)$$

бу ерда $Re = \frac{\omega_r d \rho_m}{\mu}$ — Рейнольдс мезони;

$Ar = \frac{d^3 \rho g (\rho_k - \rho_m)}{\mu^2}$ — Архимед мезони;

$\varepsilon = \frac{V_0 - V}{V_p}$ — суюкликнинг суспензиядаги ҳажм жиҳатдан олинган

улуши: V_0 — суюкликнинг суспензиядаги ҳажми, m^3 ; V — каттик 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:

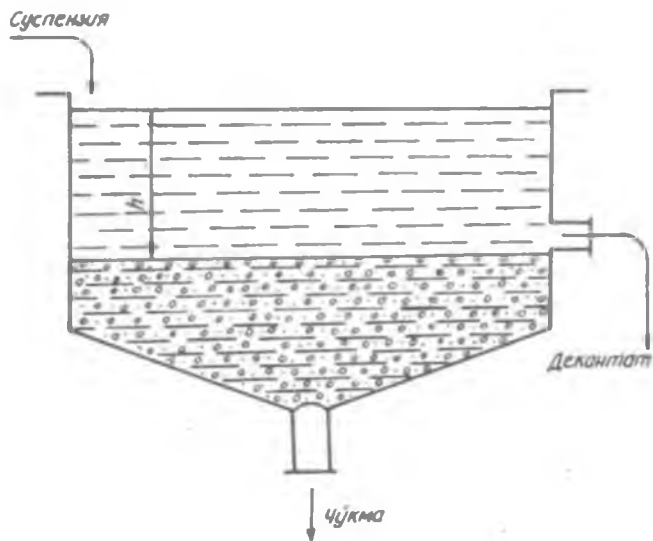
$$w_t = \frac{Re \mu}{\rho_n \cdot d} \quad (7.10)$$

(7.3), (7.5) ва (7.10) ифодадан кўриниб турибдики, чўкиш тезлигининг қийматини белгиловчи асосий катталиклар қаторига муҳитнинг қовушоклиги ва каттик заррачанинг ўлчами кирати. Чўкиш жараёнини тезлаштириш учун кўпинча суспензиянинг температураси технология томонидан мумкин бўлган даражагача киздирилади, чунки температуранинг кўтарилиши билан қовушоклик пасаяди, натижада чўкиш жараёни тезлашади. Бундан ташқари, чўкиш жараёнини тезлаштириш учун каттик 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. §. ЧЎКТИРУВЧИ ҚУРИЛМАЛАР

Чўктириш турли жинсли системаларни ажратишнинг бошқа усуллариغا нисбатан энг оддий усули ҳисобланади. Одатда, чўктириш жараёнидан бирламчи ажратиш усули сифатида фойдаланилади. Чўктириш жараёни чўктирувчи ёки қуйилтирувчи қурилмаларда олиб борилади. Чўктириш қурилмалари даврий, узлуксиз ва ярим узлуксиз режимда ишлатиладиган қурилмаларга бўлинади. Ўз навбатида узлуксиз ишлайдиган чўктириш қурилмаси бир, икки ва кўп ярусли бўлади. Чўктириш қурилмаларининг айрим турлари билан танишамиз.

7.5- расмда даврий ишлайдиган чўктириш қурилмаси кўрсатилган. Бу қурилма конус асосли цилиндрсимон идиш бўлиб, унга аралашма масалан, суспензия юқоридан берилади. Аралашма қурилмада маълум вақт тиндирилгандан сўнг (агар заррачалар зичлиги муҳитнинг зичлигидан катта, яъни $\rho_k > \rho_m$ бўлса) заррачалар қурилманинг пастки қисмига чўкади. Қурилманинг юқори қисмида эса тозаланган ва баландлиги h га тенг бўлган



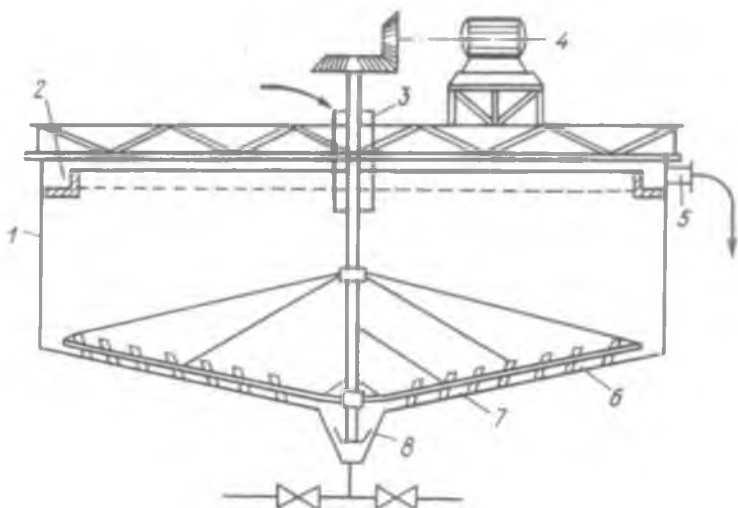
7.5- расм. Даврий ишлайдиган чўктирувчи қурилма.

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

Узлуксиз ишлайдиган чўктириш қурилмаларида турли жинсли системаларни ажратиш жараёни анча тез боради ва чўкmani тушириш учун кам вақт кетганлиги сабабли меҳнат сарфлари ҳам камаяди. 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 гароқлар бириктирилган. Ушбу тароқлар чўқаётган заррачаларни (яъни қуйилтирилган суспензияни) узлуксиз равишда тушириш тешиги томон силжитиб туради. Тароқли аралаштиргич жуда



7.6 рисм. Узлуксиз ишлайдиган чўктирувчи қурилма:

1 — қобик; 2 — ҳалқасимон тарнов; 3 — иккиш воринкаси; 4 — аралаштиргичнинг электро-
двигатели; 5 — тозаланган маҳсулот чиқадиган штуцер; 6 — тароқлар; 7 — аралаштиргич;
8 — чуқури 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 ҳалқасимон тарнов орқали узлуксиз чиқиб туради. Бундай чўктирувчи қурилманинг асосий камчилиги шундан иборатки чўкманинг таркибида катта микдорда (60 % гача) намлик бўлади.

Қўпчилик ишлаб чиқаришларда катта чўктириш юзаси (сатҳи) керак бўлганлиги сабабли биноларнинг майдонларини тежаш мақсадида қўп 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 чўкаётган каттик 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:

$$V = \frac{\omega_s \tau F}{1} = F \omega_s. \quad (7.12)$$

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, оқимлар қурилманинг ҳамма юзаси бўйлаб бир хил тарқалган деб олинган.

Ҳақиқий қурилмаларда суюқлик ҳаракати режимларининг ўзгариши ва бошқа факторларнинг таъсири натижасида чўкиш жараёни бир хил бормайди. Шу сабабли (7.15) тенглама билан топилган назарий юзани 30—35 % га қўпайтириш керак. Демак, ҳисобланган юза қийматини 1,3 га тенг бўлган тузатиш коэффициентига қўпайтириш керак. Шунга кўра чўктириш юзаси ёки қурилманинг кўндаланг кесими қуйидагича аниқланади:

$$F = \frac{1,3 G_1}{\rho_c \omega_s} (1 - \beta). \quad (7.16)$$

(7.16) тенгламадаги w , катталиқ заррачаларнинг эркин тушиш тезлиги бўлиб, агар сиқилган ҳолатда чуқир юз бераётган бўлса w , ўрнига w , ишлатилади.

Чуқутириш қурилмасининг баландлиги одатда ҳисобланмайди ва 2,5; 3,5 м га тенг қилиб олинади.

7.4-§. ФИЛЬТРЛАШ

Суспензия ва чангли газларни филтр тўсиқлар орқали ўтказиб тозалаш жараёни филтрлаш дейилади. Филтр тўсиқлар каттик заррачаларни тутиб қолиб, суюқлик ёки газни ўтказиб юбориш қобилиятига эга. Филтр тўсиқлар ёки филтр сифатида майда тешикли тўрлар, турли газламалар, сочиловчан материаллар (кум, майдаланган кўмир, бентонитлар), керамик буюмлар ишлатилади. Филтр сифатида пахта, юнг ва синтетик газламалардан тайёрланган материаллардан ҳам фойдаланилади.

Филтр тўсиқлар бир қатор талабларга мос келиши керак. Энг аввало филтрловчи материал говаксимон тузилишга эга бўлиб, говакларнинг ўлчами шундай бўлиши керакки, бунда чуқма заррачалари тўсиқнинг устида қолиши керак. Бундан ташқари филтр муҳит таъсирига кимёвий барқарор, юқори температурага бардошли, механик жиҳатдан пишиқ бўлиши мақсадга мувофиқ бўлади. Филтр тўсиқнинг устида ҳосил бўлган чуқма ҳам филтрловчи материал вазифасини бажаради.

Филтрлаш пайтида қўшимча материаллар ҳам ишлатилиши мумкин. Активланган кўмир, майдаланган асбест, диатомит, перлит ана шулар жумласидандир. Қўшимча материаллар филтрланиши лозим бўлган суспензияга қўшилади ёки филтрнинг иш юзаси бундай материаллар билан қатлам ҳосил қилиб копланadi. Қўшимча материаллар чуқма билан аралашиб, унинг говаклигини оширади ва гидравлик қаршилигини камайтиради. Бундан ташқари диатомит, перлит, активланган кўмир ва бошқа моддалар адсорблаш хусусиятига эга, шу сабабдан филтрдан чиқаётган тайёр маҳсулот анча тозаланган бўлади.

Филтрлаш пайтида суспензия таркибидаги майда заррачалар филтрловчи материалнинг устки қисмида чуқма ҳолида ёки филтрловчи материалнинг ўзида тешиқларини тўлдирган ҳолда ўтириб қолиши мумкин. Бу хусусиятларига кўра филтрлаш жараёни иккига бўлинади: а) чуқма қатлами ҳосил қилиш йўли билан филтрлаш; б) филтрловчи материалнинг тешиқларини тўлдириш орқали филтрлаш.

Санотнинг кўп тармоқларида чуқма ҳосил қилиш йўли билан филтрлаш кенг қўлланилади.

Филтрлаш 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.

Фильтрлаш жараёнининг унумдорлиги ва олинадиган фильтратнинг тозаллиги асосан, фильтр тўсиқларининг хусусиятига боғлиқ. Фильтр тўсиқларининг тешиклари катта ва гидравлик қаршилиги кичик бўлиши зарур. Фильтр тўсиқлар тузилишига қараб эгилувчан ва эгилмас бўлади.

Фильтр тўсиқлардан олдинги ва кейинги босимлар фарқи ёки фильтрловчи материалга суюқлик босимини ҳосил қилувчи марказдан қочма кучлар фильтрлаш жараёнининг ҳаракатлантирувчи кучи вазифасини бажаради. Ҳаракатлантирувчи кучлар турига қараб фильтрлаш икки гуруҳга бўлинади: 1) босимлар фарқи таъсирида фильтрлаш; 2) марказдан қочма кучлар таъсирида фильтрлаш (центрифугалаш).

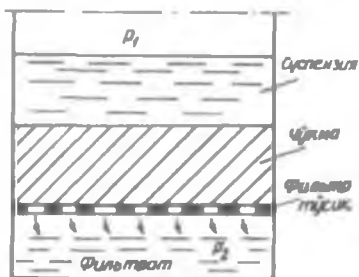
Фильтр тўсиқнинг иккала томонидаги босимлар фарқи куйидаги усуллар билан ҳосил қилиниши мумкин: а) суспензия устунининг массасидан фойдаланиш (ΔP 0,05 мПа гача); б) вакуум ҳосил қилиш (ΔP 0,05—0,09 мПа гача); в) суюқликни насослар ёрдамида ҳайдаш (ΔP 0,5 мПа гача); г) сиқилган ҳаво бериш (ΔP 0,05—0,3 мПа гача).

Саноатда фильтрлашдан сўнг куйидаги 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 фильтрлаш жараёнининг схемаси берилган, бу ерда $P_1 > P_2$, ҳаракатлантирувчи куч босимлар фарқи билан белгиланади: $\Delta P = P_1 - P_2$ (P_1 — суспензиянинг устидаги босим, P_2 — фильтр тўсиқдан кейинги босим).

Фильтрлаш жараёни уч хил режимда олиб борилади: 1) доимий ўзгармас босимлар фарқи билан фильтрлаш ($\Delta P = \text{const}$); 2) доимий фильтрлаш тезлиги билан фильтрлаш ($dV/d\tau = \text{const}$); 3) бир вақтнинг ўзида босимлар фарқи ва фильтрлаш тезлиги ўзгариб турган ҳолатда фильтрлаш.

Ўзгармас босимлар фарқи таъсирида чўкма қатлами ҳосил қилиш йўли билан фильтрлаш энг кўп қўлланилади. Фильтрлаш жараёнининг моделини кўриб чиқамиз (7.7- расм). Бу модел бўйича фильтр тўсиқ ва чўкманинг ҳамма каналлари (ёки говаклари) тенг қийматли бўлиб,



фильтрат ушбу каналлар бўйлаб ламинар режим билан ҳаракат қиладди. Бундай ҳолатда фильтратнинг 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. Фильтрлаш жараёнининг схемаси.

бу ерда ΔP — босимлар фарки; L — чўкма ва фильтр тўсик каиалларининг узунлиги; d — ушбу каналларнинг диаметри; w — фильтратнинг каналлардаги ҳаракат тезлиги; μ — фильтратнинг ковушоқлиги.

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 улушни билдиради.

Гаген-Пуазейл тенгламасининг чап ва ўнг томонларини F ва $d\tau$ ларга кўпайтириб, қуйидаги ифодага эришамиз:

$$\Delta P F d\tau = \frac{32L\mu w}{d^2} \cdot \frac{S}{a} d\tau$$

ёки

$$\Delta P d\tau = \frac{32L\mu}{d^2 a} \cdot \frac{w S d\tau}{F},$$

бу ерда $\frac{32L\mu}{d^2 a} = R$ — берилган суспензия учун ўзгармас қийматга

эга бўлиб, фильтрлаш жараёнининг қаршилигини белгилайди; $\frac{w S d\tau}{F} = dV_\phi$ — фильтр тўсикнинг 1 м^2 юзасидан қисқа вақт $d\tau$ давомида йиғилган фильтратнинг ҳажмини билдиради.

Бундай ҳолатда фильтрлаш тенгламаси қуйидаги кўринишига эга бўлади:

$$\frac{dV_\phi}{F d\tau} = \frac{\Delta P}{R}, \quad (7.18)$$

бу ерда $\frac{dV_\phi}{F d\tau} = W$ — фильтрлаш тезлиги.

Тажрибалардан маълумки, ҳар бир вақт моментидаги фильтрлаш тезлиги босимлар фаркига тўғри пропорционал, суюқлик муҳит ковушоқлигига, 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 фарки, Па; P_r — чўкма қатламининг қаршилиги, м^{-1} ; $P_{\phi.m}$ — фильтрлаш тўсикнинг қаршилиги, м^{-1} ; μ — суспензиянинг ковушоқлиги, Па. с.

Фильтрлаш 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 филтёрнинг тешикларини 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 солиштира қаршилиги (1 м қалинликда бўлган чўкма қатламининг фильтрат оқимиغا 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.

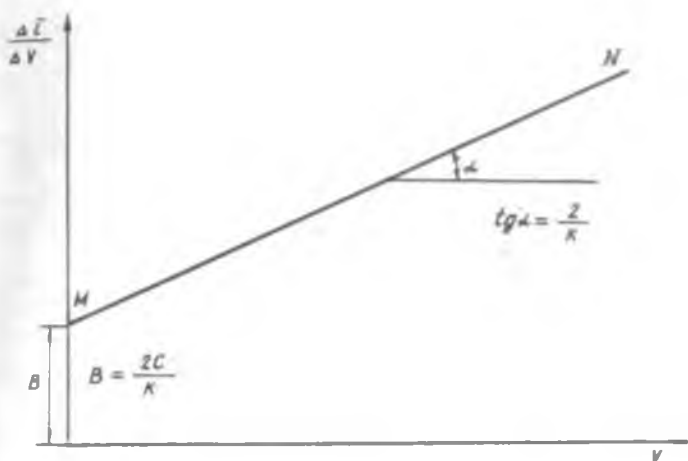
Агар фильтр тўсиқларнинг гидравлик қаршилиги ҳисобга олинмаса, $R_{\phi m} = 0$ ва (7.22) тенгламага (7.20) тенгликдаги x_0 нинг қийматини қўйсақ, у ҳолда қуйидаги ифода келиб чиқади:

$$r_0 = \frac{\Delta P}{\mu h_r W}. \quad (7.23)$$

Агар $\mu = 1 \text{ Н} \cdot \text{с} / \text{м}^2$, $h_r = 1 \text{ м}$, $W = 1 \text{ м} / \text{с}$ бўлса, ковшоқлиги $1 \text{ Н} \cdot \text{с} / \text{м}^2$ бўлган суспензия в 1 м қалинликдаги чўкма қатламида фильтрланганда чўкманинг ҳажм жиҳатдан олинган солиштира қаршилигининг миқдори босимлар фаркига тенг бўлади.

Агар (7.22) тенгламани босимлар фарқи бир хил режимда ишлайдиган $\Delta P = \text{const}$ фильтрлар учун интегралласак, қуйидаги ифодага эришилади:

$$\int_0^V V dV = \frac{\Delta P F^2}{\mu r_0 x_0} \int_0^\tau d\tau, \quad (7.24)$$



7.8- рисм. 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 тўсик ва фильтрлаш доимийларининг қийматларини (7.22) тенгламага қўйсак:

$$V^2 + 2VC = K\tau \quad (7.29)$$

га эга бўламиз. Ушбу тенгламадаги C ва K фильтрлаш жараёнининг доимий катталиклари дейилади. Доимийлик C фильтр тўсикнинг 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 тенгламасини дифференциялаб қуйидаги ифодага эришамиз:

$$2VdV + 2CdV = Kd\tau \quad (7.30)$$

Ушбу тенгламани dV ва K га бўлиб, қуйидаги кўринишга эга бўламиз:

$$\frac{d\tau}{dV} = \frac{2}{K} V + \frac{2C}{K} \quad (7.31)$$

$$\text{ёки } \frac{\Delta\tau}{\Delta V} \approx \frac{2}{K} V + \frac{2C}{K} \quad (7.32)$$

(7.32) тенглама $\Delta\tau/\Delta V$ ва V ўртасида тўғри боглиқлик 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 озиқ-овқат саноатида ишлатиладиган фильтрлар тозаланиши керак бўлган мухитнинг хили, ишлаш принциплари, фильтр тўсикларнинг турига ва иш босимларнинг миқдорига қараб бир неча турга бўлинади.

Технология мақсадларига кўра фильтрлаш қурилмалари икки турга бўлинади: 1) суюқликларни ва 2) газларни тозалаш фильтрлари.

Босим остида ишлайдиган фильтрлар бир неча турга, яъни гидростатик босим, насос ёки компрессор ёрдамида ҳосил қилинадиган босим, сийракланиш (вакуум) ва марказдан қочма куч таъсирида ҳосил бўлган босимлар таъсирида ишлайдиган қурилмаларга бўлинади.

Фильтрлаш қурилмалари фильтрловчи тўсикларнинг хилига қараб донасимон материаллар, ҳар хил газламалар ва қаттиқ материаллар (масалан, керамик жисмлар, турлар) билан ишлайдиган фильтрларга бўлинади.

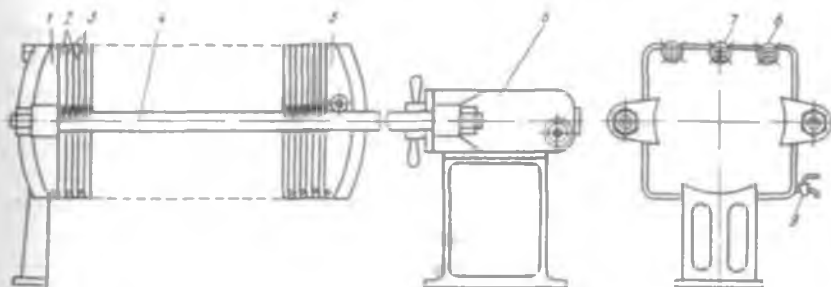
Барча турдаги фильтрловчи курилмалар фильтрлаш юзасининг ҳаракатига қараб икки хил бўлади:

1. Ҳаракатсиз фильтрлаш юзасига эга бўлган фильтрлар (донасимон тўсикли фильтрлар, рамали ва камерали фильтр-пресслар ва бошқалар).

2. Ҳаракатли фильтрлаш юзасига эга бўлган фильтрлар (барабанли вакуум фильтрлар, дискли ва лентали фильтрлар).

Бундан ташқари фильтрлар ишлаш режимига кўра даврий ва узлуксиз ишлайдиган бўлади. Ҳаракатсиз фильтрлар юзасига эга бўлган фильтрлар даврий ишлайди. Ҳаракатли фильтрлаш юзасига эга бўлган фильтрлар эса узлуксиз ишлайди. Куйида фильтрларнинг айримлари билан танишамиз.

Фильтр-пресслар. Даврий ишлайдиган рамали фильтр-пресслар саноатда кенг қўлланилади, чунки бундай курилмалар оддий тузилишга эга ва уларни юқори босимда ишлатиш мумкин (одатда 0,3—0,5 мПа). Плитали — рамали фильтр-пресснинг типавий тузилиши 7,9- расмда кўрсатилган. Бирин-кетин жойлаштирилган рама 2 ва плита 3 ўртасига фильтрловчи газлама (салфетка) жойлаштирилади. Плита ва рамалар одатда чўяндан тайёрланган

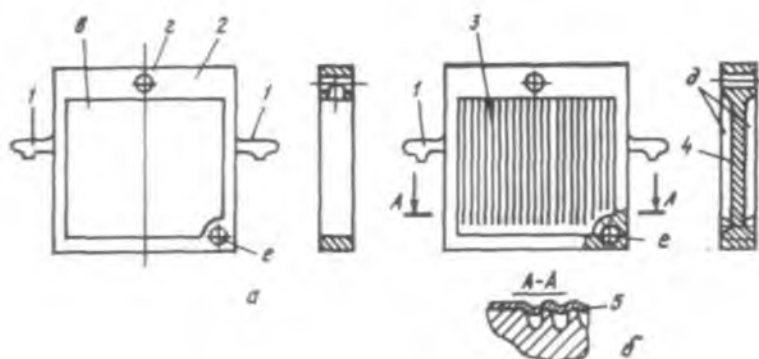


7.9- расм. Рамали фильтр-пресс:

1 — таянч плитаси; 2 — рамалар; 3 — плиталар; 4 — таянч стержен; 5 — сиқувчи плита; 6 — гидравлик ёки электромеханик сиқувчи курилма; 7, 8 — суспензия, ювувчи суюқлик ва сиқилган ҳавони беришга ишлатилган штуцерлар; 9 — плиталардан филтратни ёлоқда чиқариш учун ишлатилган кранлар

бўлиб, таянч 1 ва сиқиб турувчи плиталар, иккита таянч стерженлари 4 ва гидравлик (ёки электромеханик) курилма 6 ёрдамида маҳкам қилиб жойлаштирилади. Суспензия, ювувчи суюқлик ва сиқилган ҳавони бериш учун таянч плита 1 да штуцерлар 7 ва 8 жойлаштирилган.

Фильтр-пресснинг рамаси ва плитаси 7.10- расмда кўрсатилган. Раманинг ўртасида бўшлиқ *в* бор, унинг чеккалари 2 эса силлик юзага эга. Плитада иккита чуқурлик *д* бўлиб, уларнинг ўртасида девор 4 мавжуд; қирралар 3 эса фильтрловчи газлама учун таянч вазифасини бажаради. Плита ва рамалар ушлагичлар 1 ёрдамида таянч стерженларига суянади. Плита ва рамаларнинг чекаларида тешиклар *г* ва *е* мавжуд бўлиб, плиталар сиқилган пайтда каналлар ҳосил бўлади. Бу каналлар орқали суспензия, сиқилган ҳаво ва ювувчи суюқлик юборилади, филтрат эса чиқарилади.



7.10- расм. Фильтр-пресснинг рамаси (а) ва плитаси (б):

а — раманинг бўшлик жойи, б, в — плиталарни сиқиб пайтанда ҳосил бўладиган каналлар; д — плитанинг чуқурлаштирилган бўшлик жойлари; 1 — плита ва рамаларнинг ушлагичи; 2 — раманинг текис қилиб ишланган қисми, 3 — плита юзасидаги қирралар, 4 — плита чуқурликлари ўртасидаги девор, 5 — фильтрловчи газлама.

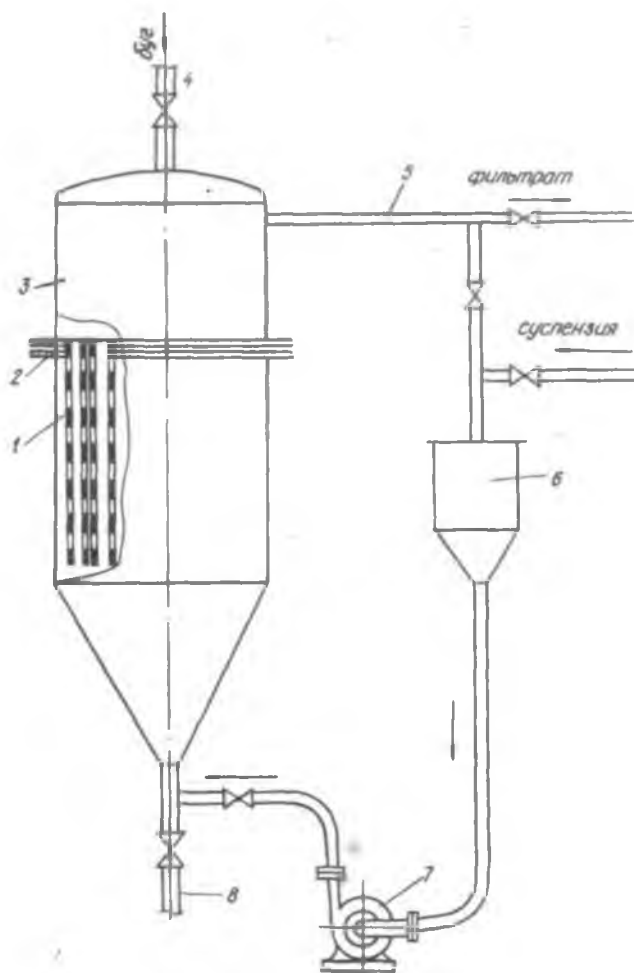
Суспензия ўтиши учун мўлжалланган тешик 2 раманинг бўшлиғи в билан радиал йўналишдаги канал ёрдамида, фильтратни йиғиш учун мўлжалланган тешик е эса плитадаги чуқурликлар д билан радиал каналлар орқали боғланган.

Фильтр-пресснинг ишлаши қуйидагича. Дастлаб суспензия каналча орқали раманинг ичига кириб, фильтрловчи материалдан ўтади, сўнгра юзасидаги ариқчалар орқали пастга тушади. Фильтрат плитанинг пастки қисмида жойлашган каналча орқали чиқиб, умумий тарновга тушади. Раманинг икки қисми чўкма билан тўлганда, суспензия бериш тўхтатилади. Шундан сўнг ювиш учун сув берилади. Ювиш жараёни тамом бўлгач кўзгалувчан плита 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 ажратиб олиш.

Рамали фильтр-пресслар қатор афзалликларга эга: қурилма массасининг бирлигига нисбатан фильтрлашнинг солиштира юзаси анча катта; ҳаракатланувчи қисмлари йўқ; айрим плиталарни ишлатмасдан қўйиш мумкин. Ҳаракатлантирувчи 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, заҳарли ёки ўт олувчан хусусиятларга эга бўлса фильтр-прессдан фойдаланиш мумкин эмас. Асосан концентрацияси кам бўлган суспензияларни ажратиш учун ишлатилади.

Патронли филтрлар. Бу филтрларда цилиндрсимон корпусдаги махсус металл тўсикка металл ёки керамик трубалардан



7.11-рasm. Патронли фильтр:

1 — патрон, 2 — труба тўсиқлари, 3 — қобик, 4 — буғ қирувчи штуцер,
5 — фильтрат чиқарадиган труба, 6 — суспензия йиғилгич, 7 — насос, 8 —
чўшма чиқадиган труба

тайёрланган, юқори томони очик говаксимон патронлар жойлаштирилади (7.11-рasm). Патронларга фильтрловчи газлама (яъни «пайпоқлар») кийдирилади. Фильтрга суспензия босим остида (0,2—0,4 мПа) берилади, фильтрат патронлардан ўтиб, курилманинг юқorigи қисмига йигилади ва штуцер оркали курилмадан чиқарилади.

Майда заррачали суспензияларни ажратиш учун металлокерамик филтрлар ишлатилиб, патронларнинг 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 каттик заррачаларни ушлаб қолиш қобилияти 99 % гача етади.

Патронли фильтрлар одагда сикилган 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, огирлик кучи ва фильтрат ҳаракатининг йўналиши бир-бирига мос тушади, шу сабабдан суспензия таркибидаги заррачалар гравитацион майдонда чўкади.

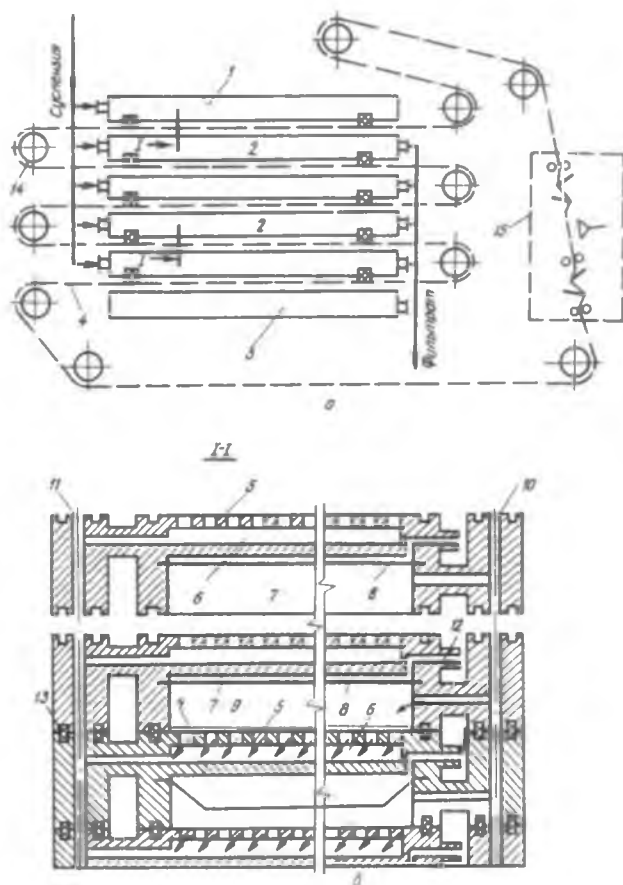
7.12-расмда автоматлаштирилган камерали фильтр-пресс кўрсатилган. Бундай қурилма горизонтал ҳолда жойлашган, тўғри бурчакли плиталардан таркиб топган бўлади. Юқорисида таянч плитаси (1), ўртада фильтрловчи плиталар (2) ва пастки қисмда сикилувчи плита (3) жойлаштирилган. Плиталарнинг оралигидан фильтрловчи 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 сикилиши юз беради.

Фильтрни йиғишда бир-бирига тегиб турган плиталарнинг юқори қисми 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 оралигида тегишли зичликни ҳосил қилиш учун плиталар асосларининг периметри бўйлаб резинали прокладкалар жойлаштирилган.

Электродвигател ва тегишли механизмлар ёрдамида сиқувчи плитанинг силжиши натижасида фильтрловчи плиталар юқorigа 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 пичоқ (14) ёрдамида ажратиб олинади ва бункерга юборилади. Ҳаракат давомида лента регенерация камераси 15 дан ўтади, у ерда лента чўкмадан тозаланади ва ювилади. Иккита плита оралигидан ўтишида лентанинг юзаси қарама-қарши томонга ўзгариб қолади, бу ҳолат лентани тозалашни осонлаштиради ва самарали ишлашига ёрдам беради.

Фильтрнинг иш цикли қуйидаги босқичлардан иборат: 1) фильтрни йиғиш (ёпиш); 2) суспензия билан юклаш; 3) фильтрлаш; 4) чўкмани сиқиш; 5) фильтрни очиш; 6) чўкмани тушириш.



7.12- расм. Автоматлаштирилган камерали фильтр-пресс:

а — филтрининг схемаси; б — камералардаги оқим ҳаракати; 1 — юқориги таянч плитаси; 2 — филтрловчи плита; 3 — пастиги 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 кистирмалар; 14 — пичоқ; 15 — регенерация камераси

Суспензия канал (10) бўйлаб камералар (9) га босим (1,2 мПА) билан юборилади (7.12- расм, б), лента (4) ва панжара (5) орқали филтрланади. Таглик (6) га тушган филтрат ҳар бир плитадан канал (11) га юборилади. Филтрлаш тамом бўлгандан сўнг ҳосил бўлган чўкма диафрагма (8) ёрдамида сиқилади, бунинг учун камера (7) га коллектор (12) орқали босим билан сув юборилади. ФПАК таркибида $10 \div 500 \text{ кг/м}^3$ микдорида қаттиқ заррачалар тутган ва сиқилувчан чўкмалар ҳосил қилувчи майда дисперсли суспензияларни филтрлаш учун ишлатилади.

Бундай даврий ишлайдиган фильтр қурилмаларни (патронли фильтрлар, фильтр-пресслар ва бошқалар) ишлатиш огир жисмоний қўл меҳнатини талаб қилади. Бундан ташқари, ёрдамчи жараёнларни бажариш учун иш циклининг 30 % га яқин вақти кетади. Бу фильтрларда қўп микдорда газламалар сарф бўлади.

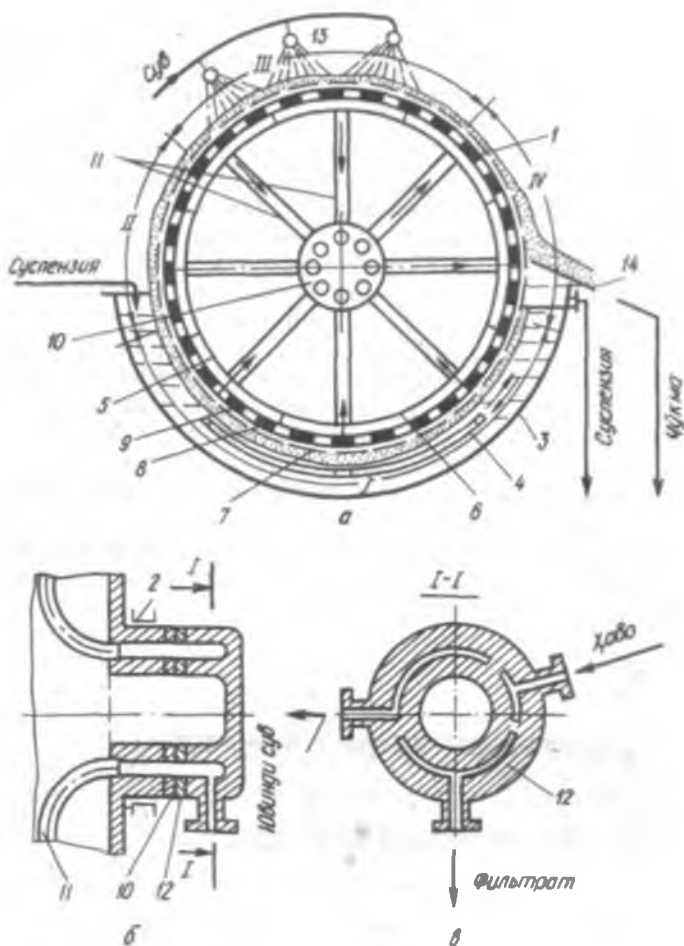
Узлуксиз ишлайдиган фильтрлаш қурилмалари бу камчиликлардан ҳолидир. Бу қурилмаларда фильтрлаш, чўкмани қуриштириш, ювиш, ажратиш олиш каби жараёнлар бир вақтнинг ўзида олиб борилади. Бундай қурилмаларга вакуум остида ишлайдиган барабанли, дискли, лентали фильтрлар киради. Саноатнинг қўп тармоқларида барабанли вакуум фильтрлар ишлатилади.

Барабанли вакуум-фильтрлар. Бундай фильтрлар узлуксиз режимда ишлайди. Иш органи — секин айланувчи ва икки деворли цилиндрсимон горизонтал барабандир. Барабанли вакуум-фильтрлар бир неча турга бўлинади. Масалан, ташқи фильтрловчи юзали, ички фильтрловчи юзали, тақсимловчи қурилмаси бўлмаган, қуйилтирувчи — фильтрлар на ҳоказо.

7.13-расмда ташқи фильтрловчи юзаси бўлган барабанли вакуум-фильтрнинг схемаси кўрсатилган. Ушбу фильтрнинг 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 каттик заррачаларнинг чўкмага тушишига йўл қўймайди. Барабан иккита цилиндрдан тузилган. Ички цилиндр (5) яхлит бўлиб, ташқи цилиндр (6) эса галвирсимон юзага эга, унинг устига металлдан қилинган сим тўр ўрнатилган. Сим тўрнинг устига фильтрловчи газлама (7) қопланган.

Цилиндрлар оралигидаги ҳалқасимон бўшлиқ узунасига ўрнатилган тўсиқлар (8) ёрдамида секторлар (9) га ажратилган. Ҳар бир секциядан цапфадаги шайба (10) томон трубалар (11) ўтказилган. Тақсимлагичнинг қўзғолувчан қисмига қўзғолмас қисм (12) уланган бўлиб, унинг юзасида бир неча ёйсимон тешиқлар бор. Бу тешиқлар тақсимлагичнинг айланувчи қисмидаги трубаларнинг тешиқларига тўғри келади. Тақсимлагичнинг қўзғолувчан ва қўзғолмас қисмлари бир-бирига жуда зич ёпишади.

Тақсимлагич қўзғолмас қисмининг ташқи юзасида филтрат ва ювинди сувларни узатиш учун, вакуум-линияга уланиш учун ва пуфлаш зонасига сиқилган ҳавони бериш учун бир неча штуцерлар бор. Барабанининг айланишида қўзғолмас қисмдаги ҳар бир тешиқ тақсимлагичнинг қўзғолувчан қисмидаги ёйсимон тешиқлар билан кетма-кет уланади. Шу сабабдан ҳар бир секторда барабанининг бир марта айланишида фильтрлаш жараёнининг ҳамма босқичлари амалга оширилади: I соҳада вакуумнинг таъсирида фильтрловчи газлама орқали фильтрлаш жараёни боради, бунда суспензия таркибидаги чўкма фильтрловчи газлама устида йигилиб қолади; II соҳада секторга сўрилган ҳаво ёрдамида чўкма



7.13 расм. Барабанли вакуум-фильтр:

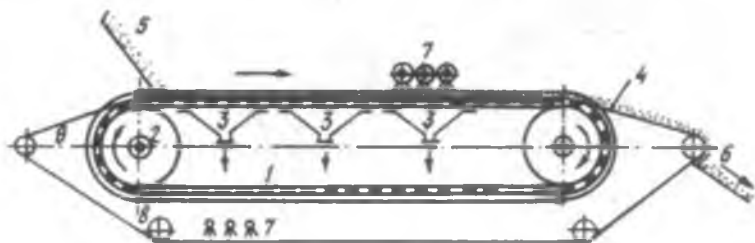
а — фильtring схемаси; б — бош тақсимлагич; в — тақсимлагичнинг қесми. I — фильтраш соҳаси, II — чўкмали куритиш соҳаси, III — чўкмали ювиш соҳаси, IV — чўкмали пуфлаш ва юмшатиш соҳаси, 1 — барабан, 2 — ички бўш цапфалар, 3 — тоғора, 4 — гебрануачи аралаштиргич, 5 — ички цилиндр, 6 — ташқи цилиндр, 7 — фильтровачи газлама, 8 — тўсиқлар, 9 — секторлар, 10 — шайба, 11 — груболар, 12 — тақсимлагичнинг қўзғалмас қисми, 13 — форсуноқлар, 14 — пичок.

куртилади, бу босқичда чўкма таркибидаги намлик ҳавога ўтиб, фильтрдан ташқарига чиқарилади; III соҳада чўкма қатламининг ювилиши юз беради, бунинг учун чўкма форсуноқлар (13) орқали бернлаётган сув билан ювилади; IV соҳада секторнинг ички қисмига кираётган сиқилган ҳаво ёрдамида чўкма пуфланади ва юмшатилади. Сўнгра чўкма пичок (14) билан барабандан

ажратиб олинади. Ҳамма соҳалардаги жараёнлар узлуксиз равишда кетма-кет бораверади.

Барабани вакуум-филтрларнинг филтрлаш юзаси $5 \div 40 \text{ м}^2$ бўлиши мумкин. Филтрлаш зонасидаги вакуумнинг қиймати 400—450 мм симоб устунига тенг бўлади. Демак, бундай қурилмаларнинг ҳаракатлантирувчи кучи филтр-прессга нисбатан анча паст. Шу сабабли вакуум-филтрлардаги чўкма қатламининг қалинлиги кичик бўлиб, одатда 10—12 мм га тенг бўлади ва максимум 40 мм га етиши мумкин. Вакуум-филтрга берилаётган суспензия эримайдиган қуруқ моддаларга нисбатан юқори концентрацияга эга бўлиши керак. Бундай ҳолатда барабanning ташқи юзасида тегишли қалинликка эга бўлган чўкма тезда ҳосил бўлади. Агар суспензиянинг концентрацияси кам бўлса, дастлаб бундай суспензия чўктириш қурилмасига юборилади. Сўнгра қаттиқ моддага нисбатан анча қуйиклашган суспензия вакуум-филтрга берилади. Вакуум-филтрнинг барабани бир соатда 6—12 марта айланади. Барабanning айланиш частотасини ўзгартириш учун филтрнинг электродвигатели тезлик вариатори билан таъминланган бўлади.

Бу филтрларнинг қуйидаги камчиликлари бор: филтрлаш юзаси катта бўлгани учун катта жойни эгаллайди, қурилманинг баҳоси нисбатан қиммат.



7.14-расм. Лентали вакуум-филтр:

1 — галвирсимон резинали лента; 2 — барабанлар; 3 — вакуум-камералар; 4 — филтрловчи газлама; 5 — суспензиянинг берилиши; 6 — чўкmani ажратиб олиш; 7 — чўкmani ювиш учун суюқлик бериш; 8 — роликлар.

Лентали вакуум-филтрлар. 7.14-расмда узлуксиз режимда ишлайдиган лентали вакуум-филтрнинг чизмаси кўрсатилган. Филтрловчи юза вазифасини барабанлар (2) ва роликлар (8) га кийдирилган ва газламадан тайёрланган чексиз лента (1) бажаради. Филтрловчи газлама галвирсимон резинали лента устида силжиб ҳаракат қилади. Резинали лента ҳам барабанлар (2) га кийдирилган бўлади. Вакуум-камералар (3) филтрат ва ювинди сувларни йиғиш учун хизмат қилади. Чўкма лентанинг эгилган жойи (6) дан ажратиб олинади. Лентали вакуум-филтрлар оддий тузилишга эга; асосий камчилиги — филтрловчи юзадан қисман фойдаланилади.

Филтрларни ҳисоблаш. Филтр қурилмаларни ҳисоблашдан асосий мақсад керак бўлган филтрлаш юзасини топишдан иборат.

Даврий ишлайдиган фильтрларни ҳисоблаш учун ҳар бир циклнинг иш даврини билиш зарур бўлади. Фильтрлашнинг ҳар бир цикли қуйидаги боскичлардан иборат бўлади: 1) фильтрлашнинг ўзи; 2) чўкмани ювиш; 3) қўшимча ишлар (чўкмани тушириш, газламани алмаштириш ва ҳоказо).

Фильтрлаш циклининг умумий вақти T (с):

$$T = \tau + \tau_{\text{ю}} + \tau_{\text{к}} \quad (7.33)$$

бу ерда τ — фильтрлаш учун кетган вақт, с; $\tau_{\text{ю}}$ — чўкмани ювиш учун кетган вақт, с; $\tau_{\text{к}}$ — қўшимча ишларни бажариш учун кетган вақт, с.

Агар фильтрлаш юзасини F (м^2) билан ва фильтрнинг солиштирма иш унумдорлигини v ($\text{м}^3/\text{м}^2$) билан белгиласак, у ҳолда битта циклда олинган фильтратнинг миқдори $v \cdot F$ (м^3) га тенг бўлади, фильтрнинг иш унумдорлиги эса V ($\text{м}^3/\text{соат}$):

$$V = \frac{3600 v F}{T} \quad (7.34)$$

Зарур бўлган фильтрлаш юзаси:

$$F = \frac{VT}{3600v} \quad (7.35)$$

Узлуксиз ишлайдиган фильтрлар (масалан, барабанли вакуум-фильтр) учун фильтрлаш 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} — фильтрлаш соҳасидаги секцияларнинг сони; $m_{\text{ю}}$ — ювиш соҳасидаги секцияларнинг сони.

Фильтрлаш учун зарур бўлган вақт қуйидаги тенглама ёрдамида топилади:

$$\tau = \frac{\mu r_0 h_r^2}{2\Delta P x_0} \quad (7.37)$$

бу ерда μ — фильтратнинг қовушоқлиги, Па·с; r_0 — чўкманинг солиштирма ҳажмий қаршилиги, м^{-2} ; h_r — чўкманинг қалинлиги, м; ΔP — босимлар фарқи, Па; x — чўкманинг ҳажмини фильтрат ҳажмига 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.

Барабанинг бир маротаба айланишида унинг юзасидан олинган фильтратнинг ҳажми V (м^3) қуйидаги нисбат асосида топилади:

$$V = \frac{h_r S}{x_0} \quad (7.38)$$

бу ерда S — барабанинг юзаси, м^2 .

Филтрлаш вақти τ га асосан барабаннинг суспензияга ботирилиш даражаси аниқланади:

$$\varphi = \frac{\tau}{T}. \quad (7.39)$$

Барабанли вакуум-филтрнинг филтрат бўйича иш унумдорлиги ($\text{м}^3/\text{соат}$) қуйидаги тенглама ёрдамида топилади:

$$Q = \frac{3600 \cdot V}{T}. \quad (7.40)$$

7.6-§. МАРКАЗДАН ҚОЧМА КУЧ ТАЪСИРИДА ЧЎҚТИРИШ

Огирлик кучи таъсирида чўктириш бир катор камчиликларга эга: заррачаларнинг чўкиш тезлиги анча кичик ($< 0,5 \text{ м/соат}$); 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 $d, < 5 \text{ мкм}$ 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:

$$C = mn^2/R = m\omega^2 R \quad (7.41)$$

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, $g = 9,81 \text{ м/с}^2$.

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 огирлик кучи таъсиридан неча маротаба 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 огирлик кучига нисбатан $K_a = \frac{\omega^2 R}{g}$ маротаба катталиги ҳисобга олинса, марказдан қочма қурилмалардаги заррачанинг чўкиш тезлиги чўктирувчи қурилмалардаги чўкиш тезлигига нисбатан $\omega^2 R/g$ маротаба катта бўлади.

Марказдан қочма қурилмаларда ламинар режим учун чўкиш тезлигини ажратиш фактори ҳисобга олинган ҳолатда Стокс тенгласи 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:

$$\omega_r = \sqrt{\frac{4}{3} \cdot \frac{d}{\xi} \cdot \frac{\rho_k - \rho_m}{\rho_m} \cdot m^2 R}, \quad (7.46)$$

бу ерда ξ мухитнинг қаршилиқ коэффициентини, бу коэффициентнинг қиймати заррачанинг ҳаракат режимига боғлиқ бўлади.

Юқорида келтирилган тенгламалардан кўриниб турибдики, марказда қочма кучлар майдонидаги чўкиш процессида ажратиш

фактори ва чукиш тезлиги ўзгариб туради, чунки улар айланиш радиусига яъни марказдан заррача турган жойгача бўлган масофага боглик 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) чукиши мумкин. Шу сабабдан заррачанинг чукиш вақти ҳам турлича аниқланиши зарур. Чукиш тезлиги ўзгарувчан қиймат бўлганлиги сабабли вақт куйидагича топилади:

$$\tau = \int_R^0 \frac{dR}{w_r}, \quad (7.47)$$

бу ерда w_r нинг ўрнига тегишли режимлар (ламинар, оралик, турбулент) учун келтирилган тенгламалар бўйича аниқланган чукиш тезлигининг қиймати қўйилади.

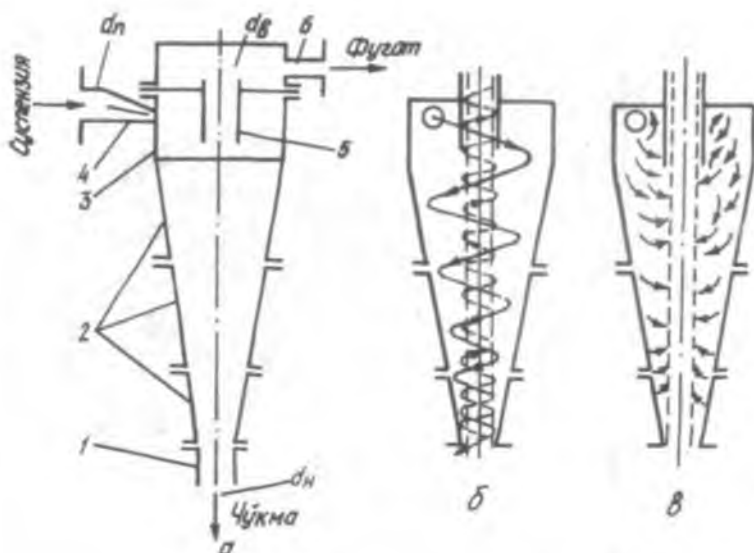
Суспензия таркибидаги қаттиқ заррачаларни марказдан қочма кучлар майдонида ажратиб олиш учун гидроциклонлар, чуқтирувчи центрифугалар ва сепараторлар ишлатилади.

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 бўлишигидан 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. Қуйиқлаштирилган 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. Раднал тезликларнинг қиймати четдан марказга томон катталашиб 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 (чуқма тушадиган) патрубок; 2 — курилманинг конуссимон қисми; 3 — курилманинг цилиндрсимон қисми; 4 — суспензия бериладиган патрубок; 5 — юқори (тиндирилган суюқлик чиқадиغان) патрубок. б — тиндирилган суюқлик оқиб чиқадиغان 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 юқори ва пастки патрубоклар диаметрларининг нисбати катта аҳамиятга эга. Агар

$\frac{d_n}{d_n} = 1,33 \div 1,66$ бўлса, бундай нисбат энг макбул ҳисобланади.

Гидроциклонлар одатда таркибида заррачаларнинг ўлчами 10—150 мкм бўлган суспензияларни ажратиш учун ишлатилади. Бундай аппаратлардан бекарор эмульсияларни ажратиш учун ҳам фойдаланиш мумкин.

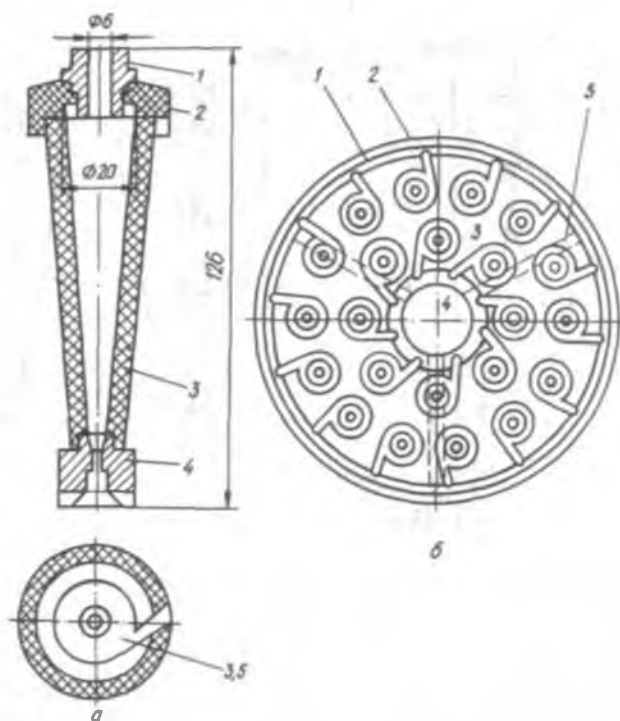
Гидроциклондаги чуқиш даражаси қуйидаги тенглама билан аниқланади:

$$\varphi = \frac{G_{кч}}{G_{кс}} \cdot 100, \quad (7.48)$$

бу ерда $G_{кч}$ — каттик фазанинг 1 м³ суюқ фазага нисбатан олинган чуқмадаги массавий миқдори; $G_{кс}$ — каттик фазанинг 1 м³ суюқ фазага нисбатан олинган суспензиядаги миқдори.

Гидроциклоннинг иш унумдорлиги сув кўмган тешиктан суюқликнинг оқиб чиқиш сарф тенгласига асосан қуйидаги ифода орқали аниқланиши мумкин:

$$V = \alpha \frac{\pi d_n^2}{4} \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho_n g}}, \quad (7.49)$$



7.16- расм. Мультигидроциклонлар:

а — циклоннинг алоҳида олинган элементи: 1 — атулка, 2 — қопқоқ, 3 — қобик, 4 — пойнак; *б* — батареяли мультигидроциклоннинг схемаси: 1 — резинали блок, 2 — металл қобик, 3 — мультигидроциклонлар, 4 — суспензия бериладиган марказий труба, 5 — радиал навиллар

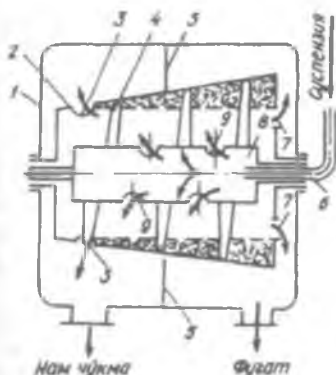
бу ерда α — сарф коэффициенти; ΔP — гидроциклондаги босим фарқи (суспензиянинг кириш тезлиги ёки тиндирилган суюқликнинг чиқиш тезлигига нисбатан олинади; ρ_s — суюқлик муҳитнинг зичлиги; d_n — суспензия кирадиган патрубокнинг диаметри.

Ҳисоблаш ишларида суюқлик кирадиган патрубокнинг диаметри $d_n = (0,14 \div 0,3) D$, тиндирилган суюқлик чикадиган патрубокнинг диаметрини $d_s = (0,2 \div 0,167) D$ деб олинади. Конус бурчагини классификациялаш учун мулжалланган гидроциклонлар учун 20° , суспензияларни қуйиклаштириш ва тиндириш учун мосланган гидроциклонлар учун эса $10\text{—}15^\circ$ қилиб олинади. Гидроциклонларнинг диаметри қўзланган мақсадларга қўра ўзгаради: $D = 300 \div 350$ мм — классификациялаш учун; $D = 100$ мм — суспензияларни қуйиклаштириш учун.

Гидроциклонлар бир катор афзалликларга эга: узлуксиз режимда ишлайди; тузилиши жуда оддий; нархи арзон; ҳаракат қиладиган қисмлари йўқ; ихчам тузилганлиги оқибатида кам жой эгаллайди; юкори ажратиш даражасини таъминлайди.

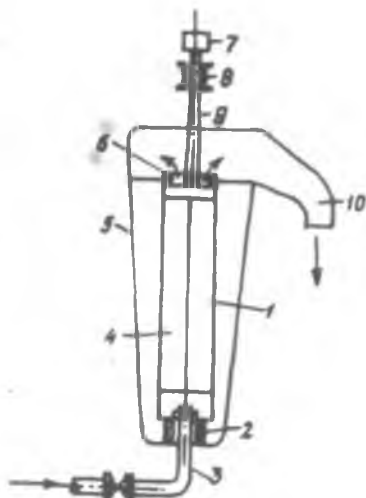
Чўктирувчи центрифугалар. Бундай центрифугалар таркибида 40 % гача (ҳажм бўйича) каттиқ фаза тутган ва заррачаларнинг ўлчами 5 дан 100 мкм гача бўлган суспензияларни ажратиш учун ишлатилади. 7.17- расмда энг оддий чўктирувчи центрифуганинг схемаси кўрсатилган. Центрифуганинг барабани (4) яхлит бўлиб, қобик (3) ичида жойлаштирилган. Турли жинсли система барабанга труба (1) орқали берилади. Барабаннинг айланишида марказдан куч таъсирида зичлиги каттарок бўлган компонент (7) барабаннинг чети яқинидаги ҳажмни 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 тўхтагилади, конус (6) юқорига кўтарилади, сўнггра чўкма тешик (2) орқали туширилади. Бундай центрифуга даврий ишлайди. Центрифуганинг барабани электрдвигатель ёрдамида айлантирилади.

7.18- расмда узлуксиз ишлайдиган центрифуга (НОГШ) нинг чизмаси кўрсатилган. Ушбу центрифугада чўкма шнек ёрдамида ташқарига чиқарилади. Центрифуга қобик (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 — қобик, 2 — конуссимон барабан, 3 — туширувчи тешиклар, 4 — шнек, 5 — тўшиқ, 6 — труба, 7 — фугат чиқадиган тешик.



7.19- расм. Трубали ўта центрифуга:

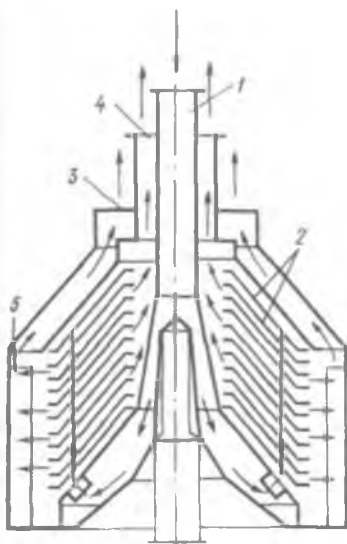
1 — ротор, 2 — пойивик, 3 — суспензия бериш учун труба, 4 — олдидан парралқлар, 5 — қобик, 6 — тешиклар, 7 — шкив, 8 — таянч, 9 — шпиндель, 10 — тиндирилган суюқлик чиқадиган труба.

туради. Ажратилишн лозим бўлган суспензия труба (6) орқали цилиндрсимон барабаннинг ички қисмига киради ва тешиқлар (9) орқали конуссимон барабаннинг ички бўшлиғига ўтади. Марказдан қочма куч таъсирида чўкма конуссимон барабаннинг четки юзасига улоқтирилади ва секин айланувчи шнек ёрдамида туширувчи тешиқлар (3) томонга силжитилади. Тиндирилган суюқлик тешиқ (7) орқали ташқарига чиқарилади. Тўсиқ (5) эса ҳосил бўлган фракцияларни бир-бирига қўшилиб кетишига йўл бермайди. Бундай центрифугалар каттик фазанинг концентрацияси катта бўлган майда дисперсли суспензияларни ажратиш учун ишлатилади.

Трубали ўта центрифуганинг чизмаси 7.19-расмда кўрсатилган. Бундай центрифугалар каттик фаза бўйича концентрацияси кичик бўлган суспензияларни ҳамда эмульсияларни ажратиш учун ишлатилади. Роторнинг айланиш тезлиги 45000 айл/мин гача етиши мумкин, ажратиш фактори $K_n = 15000$. Қобик (5) нинг ичида яхлит деворли ротор (1) жойлаштирилган. Роторнинг ичида радиал парраклар (4) мавжуд, улар ротор айланганда суюқликнинг орқада қолишига тўскинлик қилади. Роторнинг юқори қисми конуссимон шпиндель билан каттик 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 каттик заррачалар ўтириб қолади. Яхши ажратиш учун трубали центрифуга роторининг баландлиги унинг диаметридан бир неча марта катта бўлиши керак. Тиндирилган суюқлик тешиқ (6) дан ўтиб, қурилмадан труба (10) орқали ташқарига чиқарилади. Маълум вақт ўтгандан сўнг центрифуга тўхтатилади ва роторда йиғилган чўкма туширилади.

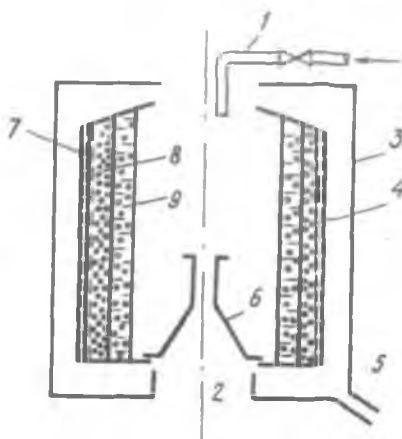
Тарелкали сепараторлар ҳам ишлаш принципига кўра чўктирувчи центрифугаларга ўхшайди. 7.20-расмда суюқликлар ажратишга мўлжалланган тарелкали сепараторнинг чизмаси кўрсатилган. Эмульсия марказий труба (1) орқали роторнинг пастки қисмига юборилади, сўнгра тарелкалардаги тешиқлар орқали уларнинг ораликларида юпка қатлам ҳолатида тарқалади. Оғирроқ бўлган суюқлик тарелкалар (2) нинг юзаси бўйлаб ҳаракатланиб, марказдан қочма куч таъсирида роторнинг чети томон улоқтирилади ва тешиқ (3) орқали ташқарига чиқиб кетади. Енгилроқ бўлган суюқлик роторнинг маркази томон силжийди ва ҳалқасимон канал (4) ёрдамида ташқарига чиқарилади. Суюқликнинг айланувчи ротордан орқада қолмаслиги учун ротор қирралар (5) билан таъминланган.

Филтрловчи центрифугалар. Бундай центрифугалар намлиги кам бўлган чўкмалар олиниши ва уларни ювиш зарур бўлган пайтда ишлатилади. Филтрловчи центрифугаларда катта тезлик билан айланувчи барабаннинг ички юзаси катта тешиқли тўр ва унинг усти майда тешиқли материал билан қопланган бўлади.



7.20-расм. Тарелкали сепаратор:

1 — эмульсия берадиган труба, 2 — тарелкалар, 3 — зичлиги катта бўлган суяқликни чиқариш учун тешик; 4 — зичлиги кичик бўлган суяқликни чиқариш учун ҳалқали канал; 5 — қирралар.



7.21-расм. Фильтрловчи центрифуганинг схемаси:

1 — суспензиянинг берилиши, 2 — чуқмани туширадиган тешик, 3 — қобик, 4 — барабан; 5 — фугатнинг чиқарилиши; 6 — корпус; 7 — фильтрловчи материал, 8 — чуқма, 9 — суспензия.

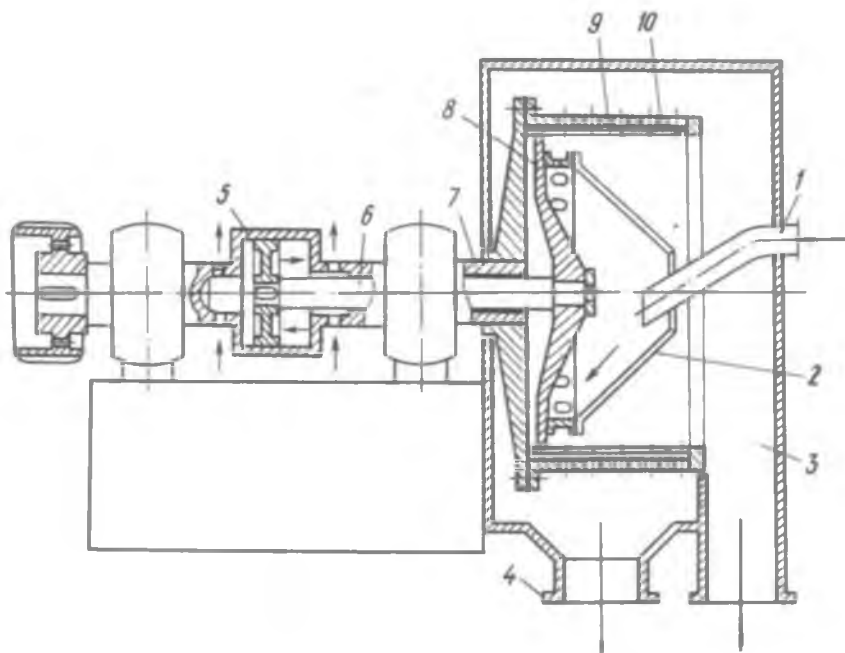
Марказдан қочма куч таъсирида суспензиядаги қаттиқ модда заррачалари чуқмага тушиб, суюқ фазадан ажралади

Кимё саноатида даврий ишлайдиган ФМБ ва ФМД типдаги центрифугалар кенг қўлланилади. Бундай центрифугаларгаркибида 1 дан 60% гача ва ўлчами 10 мкм дан катта бўлган заррачаларни ушлаган суспензияларни ажратишда ишлатилади. Айниқса кичик ҳажмли ($V < 5 \text{ м}^3/\text{соат}$) ишлаб чиқаришларда фойдаланиш яхши самара беради.

7.21-расмда фильтрловчи центрифуганинг чизмаси кўрсатилган. Бу центрифуга барабандан ёки ротордан иборат. Барабан қобик (3) нинг ичига жойлаштирилган. Барабан ички юзаси катта тешикли тўр ва унинг устки юзаси майда тешикли материал (7) билан қопланган. Труба (1) орқали барабанга турли жинсли суспензия берилади. Барабан электродвигатель ёрдамида айланма ҳаракат қилади. Барабан ичидаги суспензия (9) айланма ҳаракат қилганда унга марказдан қочма куч таъсир этади. Бунга суюқ фазада гидростатик босим ҳосил бўлади. Бу босим центрифугада фильтрлашнинг ҳаракатлантурувчи кучи ҳисобланади. Бу куч таъсирида суюқ фаза филтёр тўсиқлар устида ҳосил бўлган чуқма (8) дан ўтиб тозаланади. Фильтрловчи центрифугада боровчи жараён учта физик жараёнлар йигиндисидан иборат: чуқма ҳосил қилиш билан филтёрлаш, чуқманинг зичланиши, чуқмадан суюқликни чиқариш. Филтрат (фугат) қуримадан патрубок (5) орқали чиқарилади. Ажратишдан сўнг чуқма сув

билан ювилади. Барча жараёнлар тугагач центрифуга тўхтатилади, конус (6) юқорига кўтарилади ва чўкма тешик (2) орқали туширилади.

Чўкмани тушириш учун пульсацияли поршени бўлган центрифуганинг чизмаси 7.22- расмда кўрсатилган. Суспензия труба (1) орқали конуссимон воронка (2) нинг тор қисмига берилади. Воронка тешиклари бўлган ротор (10) билан бир хил тезликда айланади. Роторнинг ички юзаси тирқишли металл тўр (9) билан қопланган. Суспензия воронканинг ички юзаси бўйлаб силжиб, аста-секин роторнинг айланиш тезлигига яқин бўлган тезликни эгаллайди. Сўнгра суспензия воронкадаги тешик орқали поршен (8) нинг олди қисмидаги тўрнинг ички юзасига улоқтирилади. Марказдан қочма куч таъсирида суюқ фаза тўрнинг тирқишлари орқали ўтиб, центрифуга қобигидан штуцер (4) ёрдамида ташқарига чиқарилади. Каттик 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 — поршень, 9 — металлдан қилинган тирқишли тўр; 10 — тешиклари бўлган ротор

Вал (7) нинг ичида жойлашган шток (6) да поршен ўрнатилган. Вал электр двигателга уланган бўлиб, роторга айланма ҳаракат беради. Ичи бўш вал ротор билан, шток эса поршен ва конуссимон воронка билан бир хил тезликда айланади. Поршеннинг қайтарма — илгарилама ҳаракатининг йўналиши автоматик равишда ўзгартирилади. Штокнинг бошқа томонига ўққа перпендикуляр қилиб диск (5) кийдирилган. Дискнинг қарама-қарши юзасига тишли насос ёрдамида ҳосил қилинаётган ёғнинг босими таъсир қилиб туради.

ФГП типигади 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 типигади 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 қаттиқ фаза бўлиши мумкин.

Центрифугаларни ҳисоблаш. Центрифугаларда юзага чиқади-ган марказдан қочма куч C (H ҳисобида) қуйидаги тенглама бўйича аниқланади:

$$G = Mn^2R = M\omega^2R \approx 40Mn^2R \approx 20Mn^2D \quad (7.50)$$

бу ерда M — центрифуга барабани ичида жойлашган чўкма ва суюқликнинг массаси, кг; ω — бурчак тенглиги, c^{-1} ; $D=2R$ — барабаннинг диаметри, м; R — барабаннинг радиуси, м; n — центрифуганинг айланиш частотаси, c^{-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 ифодаланади:

$$\frac{dV}{d\tau} = \frac{\Delta P_a}{R_u}, \quad (7.53)$$

бу ерда ΔP_u — центрифугалаш пайтидаги босим фарқи;
 $R_u = R_r + R_{\text{фр}}$ — центрифугалаш пайтидаги умумий қаршилиқ;
 R_r — чуқманинг қаршилиги; $R_{\text{фр}}$ — фильтрловчи тўсиқнинг қаршилиги.

Центрифуга барабанининг айланишида ҳосил бўлган воронка-нинг чуқурлигини h (м ҳисобида) тахминан қуйидаги тенглама билан аниқласа бўлади:

$$h = 2n^2 R^2. \quad (7.54)$$

Чуқмаси пичоқ билан олинадиган АОГ типдаги чуқтирувчи центрифуганинг иш унумдорлиги V_u (м³/с) қуйидаги тенглама билан аниқланади:

$$V_u = 25,3 \, \eta L n^2 R_0^2 \omega, k, \quad (7.55)$$

бу ерда L — барабанининг узунлиги, м; R_0 — суспензия ҳалқасимон қатламининг ички радиуси, м; ω — заррачанинг чуқиш тезлиги;
 η — центрифуганинг ҳақиқий ва назарий иш унумдорликларининг нисбатини ҳисобга олувчи коэффицент ($\eta = 0,4 \div 0,5$);

k — суспензияни бериш вақтини (яъни асли центрифуглаш вақтини) центрифуганинг умумий ишлаш вақтига нисбати.

Заррачанинг чуқиш тезлиги ω , Стокс тенгласи (7.3) бўйича аниқланади. Чуқмаси шнек ёрдамида туширилиб, узлуксиз ишлайдиган НОГШ типдаги чуқтирувчи горизонтал центрифуганинг суспензия бўйича иш унумдорлиги V_u (м³/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/м³; ρ_M — мухитнинг зичлиги, кг/м³; d — чуқаётган энг кичик заррачаларнинг диаметри, м; n — роторнинг айланиш частотаси, айл/мин; μ — мухитнинг динамик қовушоқлик коэффиценти, Па·с.

Даврий ишлайдиган центрифугаларнинг ишга тушириш пайтидаги қувватининг сарфи қуйидаги тенгламалар ёрдамида ҳисобланади.

Барабанининг ишга тушириш пайтидаги инерциясини енгаш учун сарфланган ишнинг қиймати T_1 (Ж ҳисобида):

$$T_1 = \frac{\omega_2^2 M_0}{2} \quad (7.57)$$

бу ерда ω — тегишли айланиш частотасига етган пайтдаги барабанинг тургун айланиш тезлиги (барабанининг радиуси R_2 бўлган ташқи юзаси бўйича), м/с; M_0 — барабанининг массаси, кг.

Центрифугани ишга тушириш пайтидаги юклаш инерциясини енгаш 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 — барабаннинг ички радиус R_1 бўйича айланиш тезлиги, м/с; ρ — юкланган материалнинг зичлиги, кг/м³; V — центрифуга барабанининг тула 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 валнинг ишқаланишини енгиш учун сарфланган қувват N_2 (Вт ҳисобида):

$$N_2 = \lambda M \omega_{\omega} g, \quad (7.60)$$

бу ерда λ — ишқаланиш коэффициенти ($\lambda = 0,07 \div 0,1$ — ҳалқали мойланадиган оддий подшипниклар учун, $\lambda = 0,03$ — шарикли подшипниклар учун); M — центрифуга ҳамма айланувчи қисмларининг (юкланган материал билан биргаликда) массаси, кг; ω_{ω} — цапфа валининг айланиш тезлиги, м/с.

Барабан деворининг ҳаво билан ишқаланишини енгиш учун сарфланган қувват N_3 (Вт ҳисобида):

$$N_3 = 2,94 \cdot 10^3 \beta R_2^2 \omega_2^3 \rho_{\lambda}, \quad (7.61)$$

бу ерда ρ_{λ} — ҳавонинг зичлиги, кг/м³; β — қаршилиқ коэффициенти ($\beta = 2,3$).

Даврий ишлайдиган центрифуганинг ишга тушириш пайтидаги қувватнинг тула сарфи N , (Вт ҳисобида):

$$N_{\tau} = N_1 + N_2 + N_3, \quad (7.62)$$

Ўтказиш қурилмасининг фойдали иш коэффициенти η_f ҳисобга олингандаги қувватнинг тула сарфи:

$$N = \frac{N_{\tau}}{\eta_f}. \quad (7.63)$$

Центрифугалар электродвигателларини ўрнатиш учун зарур бўлган қувватнинг сарфи аниқланганда 10—20 % запас олинади.

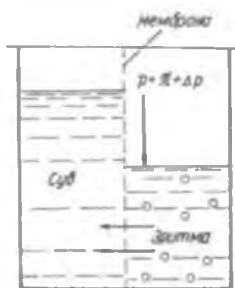
7.9-§. УЛЬТРАФИЛЬТРАЛАШ

Ультрафилтрлашнинг асосий мазмуни эритмаларни ярим ўтказувчан мембраналар орқали босим билан ўтказишдан иборат. Махсус тайёрланган (масалан, целлюлоза ацетати ёки полиэтилентерефталат пленкалари асосида) говакки мембраналар қуйида-

ги талабларга жавоб бериши керак: а) аралашма компонентларининг айримларини танлаб ўтказиш, қолганларини эса ўтказмаслик; 2) юқори ажратиш қийматига эга бўлиш; 3) механик чидамлилиқ; 4) солиштирма иш унумдорлиги катта; 5) ишлатиш жараёнида техникавий характеристикаларининг ўзгармаслиги; 6) ажратилаётган муҳит таъсирига қаршилиқ кўрсата билиш; 7) таркибда заҳарли моддалар бўлмаслиги; 8) нархи арзон.

Ультрафилтрлашнинг моҳиятини қуйидагича тушунтириш мумкин. Мембрана говакларининг ўлчами эритувчи молекулаларнинг ўтиши учун анча катта, эриган моддаларнинг ўтиши учун эса жуда кичик.

Ультрафилтрлаш ва тескари осмос тушунчалари ўртасида амалий жиҳатдан олганда фарқ жуда кам. Агар ультрафилтрлаш юқори молекулали моддалар (молекуляр массаси ≥ 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 — қосиқ 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. Ортиқча босим ($P = \pi + \Delta P$) ташкил этилса, тескари жараён — эритувчини мембрана орқали эритмадан қайта ўтиши юз беради. Бундай жараён *тескари осмос* деб аталади.

Эритма осмотик босимнинг қиймати π (Па 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 коэффициенти; α — эриган модданин диссоциланиш даражаси; R — газ доимийлиги; T — эритманин температураси, К; x — эриган модданин концентрацияси, кг/м³; M — эриган модданин молли массаси, кг/моль.

(7.64) ифода *Вант-Гофф тенглимаси* деб юритилади. Ҳисоблашлардан маълумки, турли моддалар эритмалари учун осмотик босимнинг қиймати жуда катта ораликда ўзгаради. Демак, кичик молекулали моддалар эритмаларини ажратиш учун катта осмотик босим таъсирини енгил зарур, ультрафилтрлаш жараёни учун ($M \geq 500$) осмотик босимнинг қиймати одатда 0,3 ÷ 1 мПа га тенг бўлади.

Мембраналарнинг танлаш қобиляти 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 $d_{\text{ср}}$ (м ҳисобида) ни Пуазейл қонунига асосан қуйидаги тенглама ёрдамида аниқлаш мумкин:

$$d_{\text{ср}} = \sqrt{\frac{32V\mu\delta}{\beta F \Delta P}}, \quad (7.66)$$

бу ерда V — филтратнинг сарфи, $\text{м}^3/\text{с}$; μ — суюқлик қовушоқлигининг динамик коэффициенти, $\text{Па}\cdot\text{с}$; δ — мембрана говакларининг қалинлиги, м; β — мембрананинг говаклиги; F — 1 м^2 майдондаги говакларнинг юзаси, м^2 ; 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 материалининг зичлиги, $\text{кг}/\text{м}^3$; ρ_1 — мембрананинг (говаклари билан биргаликдаги) зичлиги, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Говакликнинг қиймати ҳамда говакларнинг шакли ва ўлчами мембрананинг ўтказувчанлик қобилятига (яъни иш унумдорлигига) таъсир қилади. Мембрананинг иш унумдорлиги (ёки филтрлаш тезлиги) мембрана иш юзаси бирлигидан вақт бирлиги ичида олинган филтратнинг ҳажмини ифодалайди:

$$W = \frac{V}{F\tau}, \quad (7.68)$$

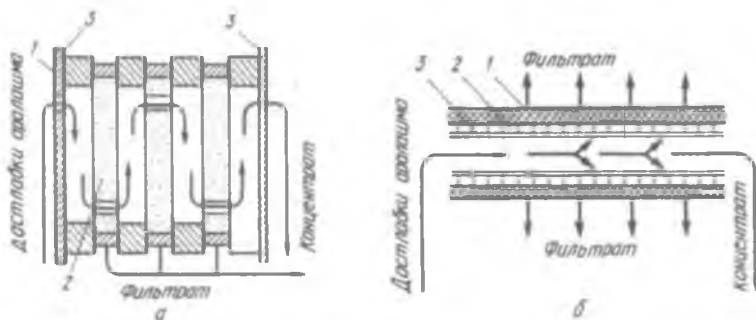
бу ерда W — филтрлаш тезлиги, $\text{м}^3/(\text{м}^2\cdot\text{с})$; филтратнинг ҳажми, м^3 ; F — мембрананинг иш юзаси, м^2 ; τ — жараённинг давомийлиги, с.

Дарси қонунига асосан мембрананинг иш унумдорлиги қуйидагича аниқланади:

$$W = \frac{\Delta P}{h_f \cdot r}, \quad (7.69)$$

бу ерда ΔP — филтратдаги босим фарқи; h_f — 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 — текис камерали қурилма, 1 — мембраналар, 2 — говакли аппарат, 3 — фланецлар; б — труба қурилма: 1 — тешиклари 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.

Трубафи филтрловчи элемент (7.24- расм, б) мембрана (3) тешиклари 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. Иқтисодий жиҳатдан анча тежамли.

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 $7 \text{ кВт} \cdot \text{соат}/\text{м}^3$ энергия кетса, бундай сувни ҳайдаш усули билан чуқурлаштирилганда тахминан $80 \text{ кВт} \cdot \text{соат}/\text{м}^3$ энергия сарфланади).

Яқин келажакда ультрафилтрлаш ва тескари осмос усуллари-дан кенг фойдаланиш суюқлик аралашмаларини ажратиш, қуюклаштириш 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 бундан системаларни қандай усуллар ёрдамида ажратиш мумкин?
- 7.2. Ламинар ва турбулент режимларда қаттиқ заррачанинг эркин ҳўкиш тезлиги қайси тенгламалар ёрдамида аниқланади?
- 7.3. Эркин ва сиқилган ҳолатдаги ҳўкиш ўртасида қандай фарқ бор? Сиқилган ҳолатдаги заррачанинг тезлигини қайси усул билан аниқлаш мумкин?
- 7.4. Саноатда ҳўктирувчи қурилмаларнинг ишлатилиши. Ҳўктириш 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 ҳўкишнинг 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 томонлар нималардан иборат?
- 7.13. Центрифугаларнинг турлари. Ҳўктирувчи ва фильтрловчи центрифуганинг ишлаш принципи қандай фарқ бор?
- 7.14. НОГШ типидagi ва трубали центрифуганинг тузилиши. Бундай қурилмаларнинг афзаллиги ва камчиликлари.
- 7.15. Тарелкали сепараторнинг тузилиши. Бундай сепараторлар ишлаш принципи қўра қайси турдаги центрифугаларга ўхшайди?
- 7.16. Пульсацияли поршени бўлган центрифуганинг схемаси. Бундай қурилмаларнинг иш унумдорлиги қайси чегараларда ўзгариши мумкин?
- 7.17. Центрифугаларда ҳосил бўладиган марказдан қочма куч ва босимнинг қийматларини қайси тенгламалар ёрдамида ҳисоблаш мумкин?
- 7.18. Даврий ишлайдиган центрифугаларни ишга тушириш пайтида сарф бўладиган қувватни қандай қилиб аниқласа бўлади?
- 7.19. Ультрафильтрлаш жараёнининг моҳияти нимадан иборат? Мембрана говақларининг ўлчамини аниқлаш мумкинми?
- 7.20. Мембранали фильтрловчи элементларнинг ишлаш принциплари. Ультрафильтрлаш усулининг истиқболи нималардан иборат?
- 7.21. Суюқлик турли жинсли системаларни ажратиш жараёнларини 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, қуриштиш жараёнларида заррачаларнинг ўлчами $3 \div 70$ мкм атрофида бўлган чанглар пайдо бўлади. Ёқилгини ёқиб пайтида тутун, бугни конденслаганда 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 хаво чангдан тозаланиши зарур. Аралаштиргичлар, диспергаторлар, кўпчилик модда алмашилиш қурилмалари, қатор кимёвий қурилмалар газ тозалашнинг эффектив схемаларисиз яхши ишлай олмайди. Шундай қилиб, кимё саноати қорхоналаридан 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) филтрлаш; 4) газларни ювиш.

Газларни чангдан тозалаш учун чўктириш камералари, циклонлар, уюрмали чанг ушлагичлар, скрубберлар, Вентури трубаси, филтрлар, ротацион қурилмалар, электр филтрлар ишлатилади.

Амалда газ аралашмаларидаги майда заррачаларни биргина тозалаш қурилмаларида бутунлай ажратиш мумкин эмас. Шунинг учун кўпинча икки ва кўп босқичли тозалаш қурилмалари ишлатилади, яъни аввал катта заррачалар чанг чўктириш камераларида, сўнгра майда заррачалар электр филтрларда чўктирилади.

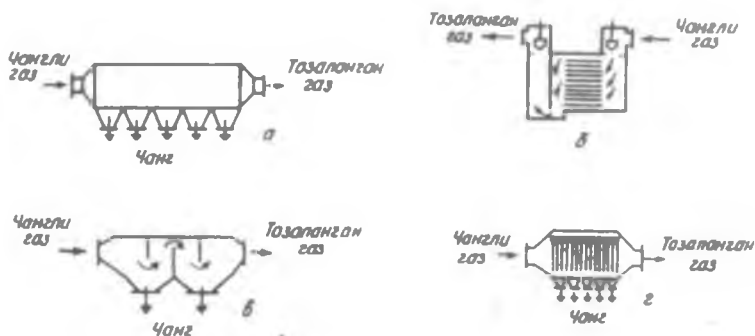
Ҳар бир қурилманинг самарадорлиги газ аралашмаларининг тозаланиш даражаси билан аниқланади:

$$\eta = \frac{G_1 - G_2}{G_1} 100 \% = \frac{V_1 x_1 - V_2 x_2}{V_1 x_1} 100 \% \quad (8.1)$$

бу ерда G_1 ва G_2 — тозаланмаган ва тозаланган газ аралашмаларидаги қаттиқ заррачалар миқдори; V_1 , V_2 — дастлабки ва тозаланган газ аралашмаларининг ҳажми; x_1 ва x_2 — чангли ва тозаланган газ аралашмаларидаги қаттиқ заррачалар концентрациялари, кг/м³.

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 ÷ 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 — сими пардали камера

Энг оддий тузилишга эга чанг чўктириш камераси 8.1- расм, а да кўрсатилган. Чангли газ оқими сепарацион бўшлиқда секин ҳаракат қилади, каттик заррачалар эса чанг йиғадиган 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.

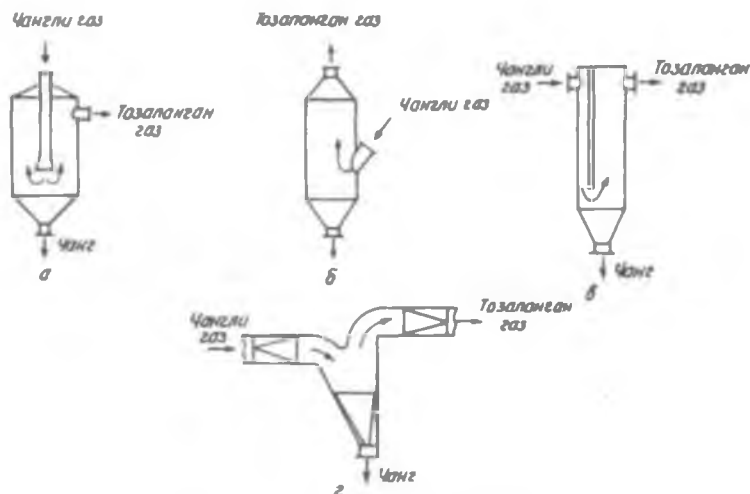
Кўп полкали камерада (8.1- расм, б) сепарацион бўшлиқ горизонтал полкалар ёрдамида бир неча секцияларга бўлинган. Бундай шароитда чанг заррачасининг чўкиш вақти анча камаяди. Чангни чиқариш учун полкалар қия қилиб жойлаштирилади. Полкалар кўзготувчи қурилмалар билан таъминланиши мумкин.

Тўсиқлари бўлган камерада (8.1- расм, в) гравитацион кучдан ташқари инерцион кучдан ҳам фойдаланилади. Оғирлик ва инерцион кучлардан биргаликда фойдаланиш қурилмаларнинг тозалаш даражасини кўпайтиришга олиб келади.

8.1- расм, г да кўрсатилган камеранинг сепарацион 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, каттик заррачаларнинг зичлиги ҳаво зичлигига нисбатан тахминан 1000 маротаба катта бўлганлиги сабабли, заррачалар ўз инерцияси билан олдинги йўналишда ҳаракатини давом эттириб, газдан ажралгандан сўнг, чанг йиғичга тушади, тозаланган газ оқими эса қурилмадан ташқарига чикиб кетади.



8.2- расм. Инерцион чанг ушлагичлар:

а — марказий қисмдан газ берилади, б — ён томондан газ берилади, в — қайтарувчи тўсили; з — газ оқимининг йўналиши ўзгаради

8.2- расм, а, б, да кўрсатилган чанг тутгичларни чангли коплар, деб ҳам юритилади. Унинг ишлаши жуда оддий бўлиб, чангли газ кириш патрубкеси орқали пастга қараб ҳаракатланади, сўнгра газ бирданига юқорига бурилади, бунда чанг газ оқимида ажралиб, қурилманинг пастки қисмига тушади. Масалан, таркибда диаметри 30 мкмдан катта заррачаларни ушлаган чангли газни тозалашга мўлжалланган чангли копнинг ажратиш даражаси $65 \div 85\%$ ни ташкил этади. Газнинг кириш патрубкесидаги тезлиги тахминан 10 м/с қурилманинг цилиндрсимон қисмида эса 1 м/с га тенг бўлади. Бундай чанг тутгичнинг гидравлик қаршилиги $150 \div 390$ Па.

Қайтарувчи тўсиқли чанг тутгич (8.2- расм, в) нинг самардорлиги чангли копларникига нисбатан кам, қурилманинг гидравлик қаршилиги ҳам анча кичик. 8.2- расм, г да кўрсатилган чанг тутгични ишлатиш қулай бўлиб, уларни тўғридан тўғри газ трубаларига жойлаштириш мумкин, бунда газ ўтадиган трубаларнинг диаметри 2 м дан кам бўлмаслиги керак.

Чанг чўктириш камераларини ҳисоблаш учун 7.2- ва 7.3- § ларда берилган тенгламалардан фойдаланилади.

8.3- §. ЦИКЛОНЛАР

Оддий чўктириш қурилмаларида газ аралашмаларидаги майда чанглари ажратиш анча қийин. Чўктириш қурилмаларининг ўлчами катта бўлгани учун улар кўп жойни эгаллайди. Бундан ташқари газларни тозалаш даражаси анча кичик. Шунинг учун чангли газ аралашмаларни тозалаш учун саноатда циклонлар кўп

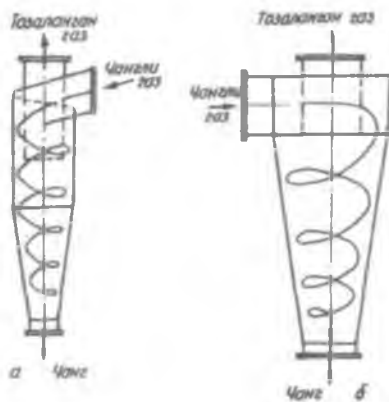
ишлатилади. Циклон цилиндрлик ва конуссимон қисмлардан иборат. Қурилмада тозаланган газ чиқадиган ва чанг тушадиган патрубклар бор. Чангли газ циклонга тангенциал йўналишда $20 \div 25$ м/с тезликда киради. Сўнгра пастга спиралсимон айланма ҳаракат билан йўналиди. Натижада марказдан қочма қуч ҳосил бўлади. Бу қуч таъсирида газ оқимидаги қаттиқ заррачалар ўқдан циклоннинг ички девори томон ҳаракатланади, сўнгра деворга урилиб ўз кинетик энергиясини йўқотади ва оғирлик қучи 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 қатталиги, газ оқимининг тезлиги ва қурилманинг геометрик ўлчамига боғлиқ бўлади.

Циклонлар тузилишига кўра икки турга бўлинади: *цилиндрли* ва *конусли* (8.3- расм). Цилиндрли циклонларда қобикнинг цилиндрли қисми анча узун қилиб, конусли циклонларда эса конуссимон қисми анча узун қилиб тайёрланган бўлади. Цилиндрли циклонлар юқори иш унумдорликка, конусли циклонлар эса юқори тозалаш даражасига эга. Бироқ конусли қурилмаларда босимнинг йўқолиши кўпроқ бўлади. Конусли циклонларда юқоридан пастга қараб қўндаланг кесим юзасининг қамайиб 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 қамаяди.

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 қатта ўлчамли чанглари 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 ушлагич сифатида таклиф этилган.

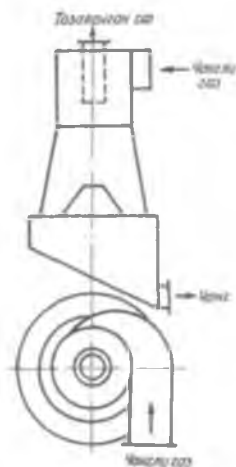
8.4- расмда ВЦНИИОТ конструкцияли циклоннинг схемаси кўрсатилган. Ушбу циклоннинг конуси юқоридан пастга қараб кенгайган. Қурилма қўндаланг кесимининг кенгайиши таъсирида газнинг айланма ҳаракати ва заррачанинг деворга босими қамаяди. Шу сабабдан бундай циклонларни газ таркибидан юқори абразив хоссага эга бўлган заррачаларни ажратиш олиш учун ишлатиш керак.

Циклонларни сўриш ёки хайдаш 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 — цилиндри; б — конусли.



8.4- расм. ВЦНИИОТ конструкцияли циклон чизмаси.

жойлаштириш мақсадга мувофиқ бўлади. Бошқача айтганда, чанги заррачалари вентиляторга кириб, уни тезда ишдан чиқариши мумкин. Циклон билан бункер жуда зич қилиб ўрнатилиши керак, чунки озгина миқдордаги ҳавонинг системага тортилиши тозалаш самарадорлигини анча пасайтиради.

Циклоида 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 қаттиқ фаза тутган чангли газларни тозалаш учун ишлатилади. НИИО газ томонидан ишлаб чиқарилаётган циклонларнинг диаметри $100 \div 1000 \text{ мм}$ га, чангли газларнинг тозаланиш даражаси $30 \div 85 \%$ га тенг. Чангли газ аралашмаларидаги қаттиқ заррачаларнинг диаметри катталашган сари газларнинг тозаланиш даражаси $90 \div 95 \%$ гача ортиши мумкин.

Циклонларда газ аралашмаларининг тозаланиш даражаси ажратиш коэффициентига боглиқ:

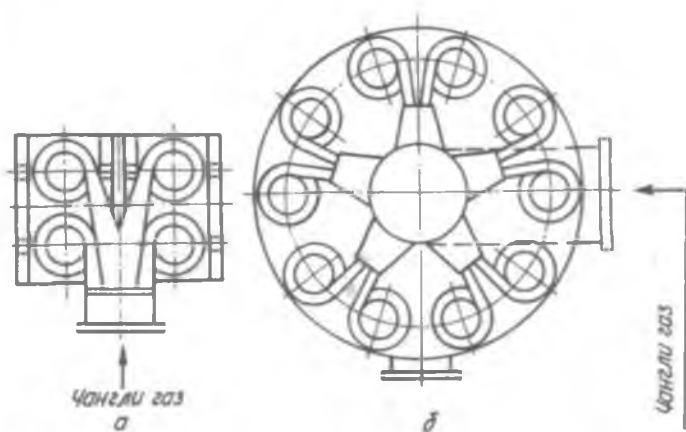
$$K_n = \frac{\omega^2}{rg}, \quad (8.2)$$

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 циклоида кучли турбулент оқим ҳосил бўлиб,

гидравлик каршилиқ катталашади, чангли газлардаги қаттиқ заррачаларнинг нормал чуқиши бузилади ва газларни тозалаш қийинлашади. Циклонларнинг радиуси кичиклаштирилса, уларнинг унумдорлиги камаяди. Шунинг учун кўп микдордаги чангли газларни тозалаш ва ажратиш тезлигини ошириш учун параллел ишлайдиган циклонлар гуруҳи ёки батареяли циклонлар ишлатилади.

Саноатда тегишли иш унумдорлигини таъминлаш учун параллел режимда ишлайдиган циклонлар гуруҳи қўлланилади, бундай шароитда циклонлар умумий чанг йиғадиган бункерга, чангли газ бериладиган ва тозаланган газ юбориладиган коллекторларга эга бўлади. Битта катта циклон ўрнига бир неча кичик диаметрли циклонлардан фойдаланиш бир қатор афзалликларга эга: 1) газнинг чизикли тезлиги бир хил бўлган шароитда кичик диаметрли циклонда кучли марказдан қочма кучлар пайдо бўлади, натижада чанг ушланиш даражаси юқори бўлади; 2) катта диаметрли циклонларнинг баландлиги ҳам катта бўлганлиги сабабли уларни жойлаштириш қийин, кичик диаметрли циклонларни жойлаштириш эса анча енгил.



8.5- расм. Циклонларни жойлаштиришнинг вариантлари:

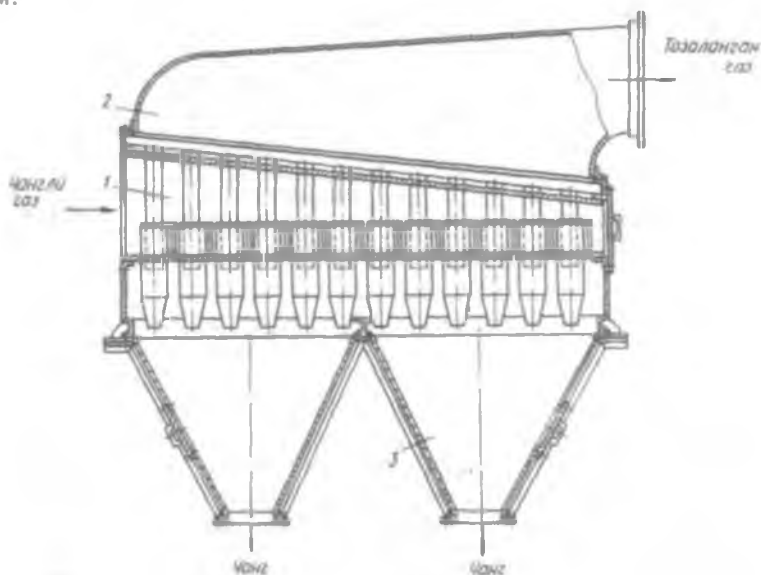
а — жуфт қилиб; б — айлана бўйича.

8.5- расмда циклонларни жойлаштиришнинг вариантлари кўрсатилган. Циклонларни икки усул билан жойлаштириш мумкин: жуфт-жуфт қилиб (8. 5- расм, а) ва айлана узунлиги бўйича (8.5- расм, б). Жуфт-жуфт қилиб жойлаштирилганда циклонларнинг сони 2 та, айлана бўйлаб жойлаштирилганда циклонларнинг сони 10—14 та бўлиши мумкин. Бунда ҳамма циклонлар газ бериладиган вертикал труба атрофида жойлаштирилади. Бироқ циклонлар гуруҳининг тозалаш даражаси бу гуруҳга кирган битта циклоннинг тозалаш даражасига тенг бўлади.

Кичик диаметри циклонлар (ёки мультициклонлар) нинг афзаллиги батареяли циклонларда яхши намоён бўлган. Батареяли циклонлар диаметри 100—300 мм бўлган кўп сондаги (айрим ҳолда 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) юпқа деворли қобикдан иборат бўлиб, чангли ва тозаланган газлар учун камералар (1), (2) ва чанг йигувчи бункер (3) дан таркиб топган. Циклон элементлари тегишли тўсиқларга шундай қилиб жойлаштирилганки, бунда элементларнинг тангенциал патрубкларини чангли газ камераси билан, марказий чиқариш трубалари тозаланган газ камераси билан, чанг чиқарувчи тешиклари эса чанг йигич бункер билан боғланган.

Циклон элементларида газ оқимиغا айланма ҳаракат берувчи тангенциал ёки уқли уярма ҳосил қилувчилар ишлатилади. Тангенциал уярма ҳосил қилувчилар қаторига қисқа ва тораювчи патрубклар ва спиралсимон трубклар киради. Уқли уярма ҳосил қилувчилар ишлатилганда циклон элементларининг копоки 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 йигадиган 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 ишлатилишидан 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 коэффиценти; ρ — циклондан ўтаётган газнинг зичлиги, кг/м³; ω_{ϕ} — циклон цилиндрсимон қисмининг тўла кўндаланг кесимига нисбатан олинган газнинг фиктив тезлиги, м/с ($\omega_{\phi} = 2.5 \div 4$ м/с).

Циклоннинг гидравлик қаршилиги қурилманинг типига боғлиқ бўлади. Масалан, НИИОГАЗ конструкцияли циклонлар учун: ЦН — 24 $\xi = 60$; ЦН — 15 $\xi = 160$; ЦН — 11 $\xi = 250$.

Газнинг фиктив тезлиги қуйидаги тенглама орқали аниқланади:

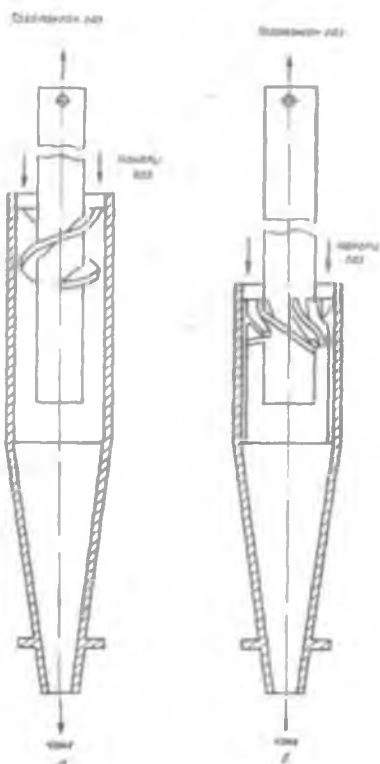
$$\omega_{\phi} = \sqrt{\frac{2\Delta P}{\xi \rho}}. \quad (8.4)$$

ξ ва $\Delta P/\rho$ нинг қийматлари турли конструкцияли циклонлар учун справочникларда берилган бўлади. Циклон цилиндр қисмининг диаметри сарф тенгламаси ёрдамида топилади:

$$D = \sqrt{\frac{V}{0.785 \omega_{\phi}}}. \quad (8.5)$$

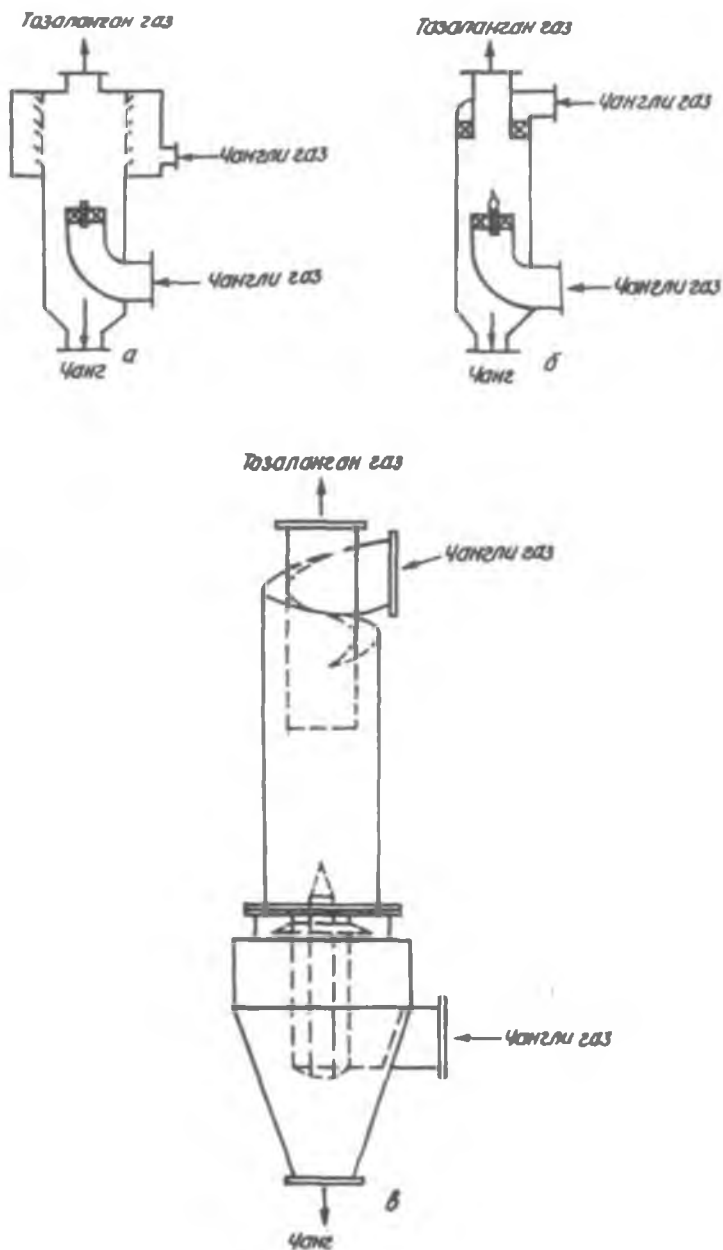
бу ерда V — циклондан ўтаётган газнинг ҳажмий сарфи, м³/с.

Циклоннинг қолган ҳамма ўлчамлари D га нисбатан стандартлаштирилган.



8.7-расм. Батареяли циклонларнинг элементлари:

а — «винт» типдаги йўналиштирувчи парралли;
б — «розетка» типдаги йўналиштирувчи парралли



8.8- расм. Цилиндрсимон уюмнали чанг тутгич:

а — юқориги газ оқимини соғла ёрдамида киритиш, б — юқориги ва пастки газ оқимларини паррак ёрдамида киритиш, в — юқориги ва пастки газ оқимларини тангенциал афвалишда киритиш

8.4-§. УЮРМАЛИ ЧАНГ УШЛАГИЧЛАР

Уюрмали чанг ушлагичлар циклонларга нисбатан анча кейинроқ таклиф этилган. Бундай қурилманинг ўқ йўналишида пастки (бирламчи) ва юқориғи (иккиламчи) уюрмали оқимларнинг бир-бирига қарама-қарши ҳаракати мавжуд.

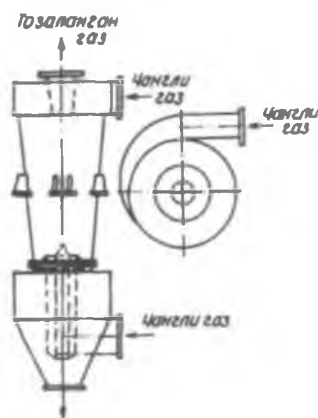
Уюрмали чанг ушлагичнинг схемалари 8.8-ва 8.9- расмларда кўрсатилган.

Юқориғи оқим билан кирган чанг заррачалари марказдан қочма куч таъсирида девор юзаси томон улоқтирилади, юза бўйлаб пастга қараб спиралсимон ҳаракат қилиб, чанг йиғиладиган бункерга тушади. Пастки оқим билан қурилмага кирган чанг заррачалари дастлаб газ оқими билан бирга спиралсимон ҳаракатланиб юқориға кўтарилади, кейинчалик марказдан қочма куч ёрдамида девор томон улоқтирилади ва юқориғи оқим билан бирга пастга қараб ҳаракатланиб чанг йиғиладиган бункерга тушади.

Чангли газнинг қурилмага кириш усулига кўра уюрмали чанг ушлагич бир неча турга бўлинади: 1) иккиламчи газ оқимини соплло ёрдамида киритувчи (8.8- расм, а); 2) бирламчи ва иккиламчи газ оқимларини паррак ёрдамида киритувчи (8.8- расм, б); 3) бирламчи ва иккиламчи газ оқимини тангенциал йўналишда киритувчи қурилмалар.

Сопло ёрдамида газ оқими кирадиган қурилманинг юқориғи қисмида горизонтга нисбатан $15 \div 30^\circ$ қия қилиб жойлашган бир неча қатор сопллолар ўрнатилган; ушбу тангенциал сопллолар ёрдамида иккиламчи газ оқими уюрма ҳосил қилади. Соплодан чиқаётган газнинг тезлиги $60 \div 80$ м/с ни ташкил этади. Бундай Қурилмаларда иккиламчи газ оқимининг ҳажмий сарфи умумий газ сарфининг $30 \div 50\%$ ини ташкил этади.

Газ оқими паррак ёрдамида ёки тангенциал йўналишда киритиладиган қурилмаларда иккиламчи газ оқимининг босими соплло ёрдамида кирадиган газ босимиға нисбатан анча кам бўлади. Одатда иккиламчи газнинг қурилмага киришидаги босими ва тезлиги тахминан циклонлардаги кўрсаткичларга жуда яқин. Саноат ишлаб чиқаришларида юқориғи ва пастки газ оқимлари тангенциал йўналишда кирадиган уюрмали чанг ушлагичлардан фойдаланиш қўлай ва арзонга тушади. Бундан ташқари қурилманинг тузлиши содда ва босимнинг йўқолиши камроқ.

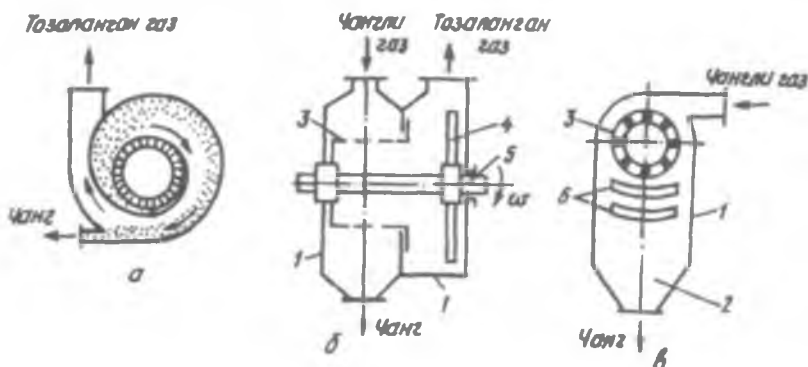


8.9- расм. Конуссимон уюрмали чанг тутгич.

8.5-§. РОТАЦИОН ЧАНГ УШЛАГИЧЛАР

Ротацион ёки динамик чанг тутгичларда чанг заррачасига таъсир килувчи марказдан қочма ва Кориолис кучлари иш гилдираги (ротор) нинг айланиши натижасида ҳосил бўлади. Чанг тутишнинг умумий қонуниятлари уюрмалли 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. Бирок чанг тутиш ва вентиляторнинг вазифалари бирга қўшиб амалга оширилганлиги сабабли, ротацион қурилмалар анча ихчам тузилишга эга. Саноатда ишлатилинаётган ротацион чанг тутгичлар икки турга бўлинади: спиралсимон қобиқли ва айланувчан барабанли.



8.10- расм. Айланувчан тешикли барабанли ротацион чанг тутгич;

а — иш схемаси, б — барабан билан вентилятор битта ўқда жойлашган, в — уюрмалли камайтирилган панжара; 1 — қобиқ, 2 — чанг йиғгич, 3 — барабан, 4 — вентилятор гилдираги; 5 — умумий вал, 6 — уюрмалли камайтирилган панжара.

8.10- расмда айланувчан тешикли барабанли ротацион чанг тутгичлар кўрсатилган. Бундай қурилманинг ишлаш схемаси 8.10- расм, а да изоҳланган. Тозаланиши лозим бўлган газ юзаси перфорация қилинган айланувчан барабан орқали ўтади, чанг заррачалари эса марказдан қочма куч таъсирида барабаннинг ташқарисига қолади. 8.10- расм, б да кўрсатилган чанг тутгичнинг асосий иш қисмларига ичи бўш ва юзаси перфорация қилинган айланувчан барабан (3) ва вентилятор (4) киради. Барабан ва вентиляторнинг гилдираги умумий вал (5) га ўрнатилган. Вал электр двигателъ ёрдамида ҳаракатга келади. Барабан (3) нинг ичида айланувчи гилдирак (4) ёрдамида газни қурилмадан чиқариб юбориш учун етабли бўлган вакуум ҳосил бўлади. Чанг марказдан қочма куч таъсирида барабаннинг перфорация қилинган юзасидан ажралади ва қобиқнинг пастки қисмидаги чанг йиғгич (2) да тўпланади.

8.10- расм, в да кўрсатилган қурилмада ҳавонинг чанг йиғиладиган қисмидаги кераксиз уюрма ҳаракатларини сусайтириш учун махсус панжаралар (6) ўрнатилган.

Ротацион чанг тутгичлар каторига махсус турбина билан таъминланган турбоциклонлар ва турбокомпрессорлар киради. Турбина марказдан қочма куч майдонини ҳосил қилади ва уни кучайтиради. Натижада газларни чангдан тозалаш даражаси кўпаяди.

8.6- §. ГАЗЮВУВЧИ ҚУРИЛМАЛАР

Газларни ювиш йўли билан чангдан тозалаш усулидан фойдаланилганда чангли оқим томчи ёки пленка ҳолатидаги суюқлик билан контактда бўлади. Гидрофилл хоссали чанг суюқлик юзасига ёпишиб, у билан бирга қурилмадан ташқарига чиқарилади. Чанг ювишнинг камчилиги — ифлосланган оқинди суюқликларнинг ҳосил бўлишидир. Бундай оқинди сувлар тозалашни талаб қилади. Газ ювиш усули ёрдамида жуда кичик заррачалар (0,1 мкм гача) ни тутиб қолиш имконияти мавжуд ва жуда юқори (99 % гача) тозалаш даражасига эришиш мумкин. Газ ювувчи қурилмаларни чанг тутишидан ташқари бир вақтнинг ўзида қуйидаги вазифаларни ҳал қилиш мақсадида ишлатиш мумкин: газларни совитиш ёки намлаш; чанг билан биргаликда томчи ва туманларни тутиб қолиш; газ қўшимчаларини абсорблаш.

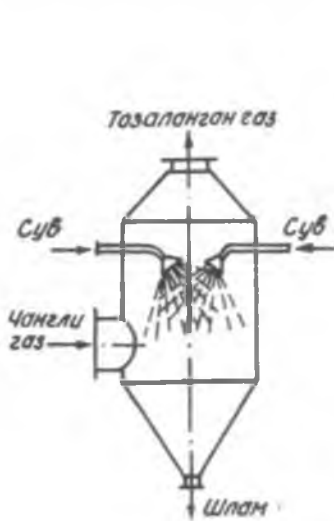
Газювувчи қурилмалар камчиликлардан ҳоли эмас: а) қурилма ва трубопроводлар юзаларига чанг заррачаларининг ёпишиб қолиши; б) суюқлик (одатда сув) нинг сарфи анча катта; в) газларни, айниқса агрессив газларни, тозалаш учун қурилма ва трубопроводларни коррозиядан химоя қилиш талаб қилинади; г) паст температурада (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 қуйидагича 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 газювучи қурилмалар; 3) энергия сарфига кўра уч гуруҳга бўлинади: паст босимли чанг ушлагичлар — гидравлик қаршилиги 1500 Па гача (суюқликни сочиб берувчи, тарелкали, марказдан қочма ва ҳоказо), ўрта босимли чанг ушлагичлар — қаршилиги 1500 дан 3000 Па гача (насадкали, механик, зарба-инерцион ва ҳоказо), юқори босимли қурилмалар (Вентури трубаси, дезинтеграторлар ва ҳоказо).

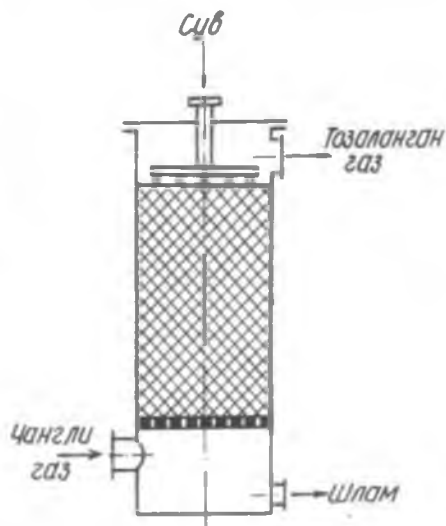
Газювувчи қурилмаларда механик (марказдан қочма, ультра-товушли), пневматик (суюқликнинг сочилиши газ ёрдамида

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 газювувчи қурилмалар. Бундан қурилмалар (скрубберлар) ичи бўш қобикдан иборат бўлиб, уларнинг пастки қисмига чангли газ берилади, юқори қисмида форсункалар ёрдамида сув сочиб берилади. Газ юқоридан пастга йўналган сув томчиларига нисбатан қарама-қарши ҳаракат қилади (8.11- расм). Томчиларнинг тозаланган газ билан чиқиб кетмаслиги учун уларнинг ўлчами анча катта бўлиши керак. Форсункалар $0,3 \div 0,4$ мПа босим билан ишлайди. Агар газнинг



8.11- расм. Ичи бўш форсункали скруббер.



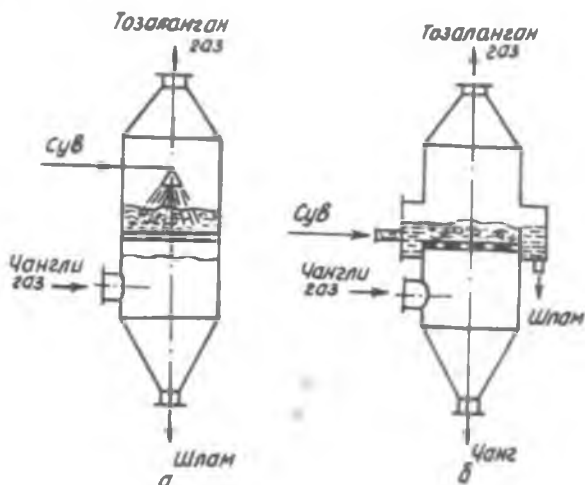
8.12- расм. Насадкали скруббер.

тезлиги 5 м/с дан кўп бўлса скруббердан сўнг томчи ушлагич ўрнатилади. Заррачанинг ўлчами 10 мкм дан катта бўлганда қурилманинг тозалаш даражаси 99 % ни ташкил этади, заррачанинг ўлчами кичиклашиши билан чанг тутгичнинг тозалаш даражаси бирданига камайиб кетади. 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/м³ 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 $1,3 \div 2,6 \text{ л/м}^3$. 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, бироқ уларнинг гидравлик қаршилиги каттарок.

Тарелкали газюувчи қурилмалар. Бундай қурилмаларда газ билан суюқлик ўртасидаги контакт горизонтал жойлашган тарелкаларнинг устида юз беради. Газнинг тезлиги кичик (1 м/с атрофида) бўлганда, газ суюқлик қатлами орқали ўтиб пуфаклар ҳосил бўлади, бу жараён барботаж жараёни деб юритилади. Агар газнинг тезлиги катта бўлса — турбулентлашган кўпик қатлами пайдо бўлади. Шу сабабдан тарелкали скрубберлар икки турга бўлинади: кўпикли ва барботажли.



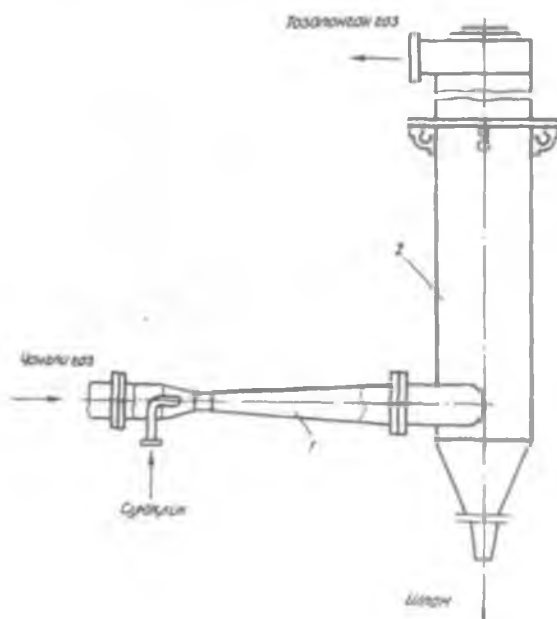
8.13-расм. Кўпикли газ ювучи қурилма:

а — агдарилма тарелкали; б — куйилиш тарелкали

8.13-расмда кўпик ҳосил қилувчи тарелкали газюувчи қурилмаларнинг икки тури кўрсатилган: а) агдарилма тарелкали; б) куйилиш тарелкали. Агдарилма 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) $0,2 \div 0,5 \text{ м}^2/\text{м}^2$. Куйилиш тарелкали қурилмаларда қалпоқчали, S-симон, йигичи бўлган тешикли ва бошқа типдаги тарелкалардан фойдаланилади.

Бу турдаги қурилмаларда перфорация қилинган тарелкаларнинг сони бир нечта бўлиши мумкин, бундай шаронда 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 ÷ 4,5 м/с, суюқликнинг солиштирма сарфи 0,05 ÷ 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 — цилиндр 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 боровчи қисм (диффузор) лардан тузилган. Суюқлик махсус сочиб берувчи қурилма ёки механик форсунка ёрдамида конфузор (ёки бўғиз) га берилади. Трубанинг характеристикалари қуйидагича ўзгариши мумкин: конфузورнинг қиялик бурчаги 25—28°; диффузорнинг қиялик бурчаги 6—7°; бўғизнинг узунлиги диаметрининг 0,15—0,5 улуши; бўғизнинг диаметри

трубопровод диаметрининг 0,4—0,5 улуши. Босим йўқолишини камайтириш учун Вентури трубасининг ички юзаси механик қайта ишлаш йўли билан силликлантирилади.

Газ — суюқлик оқимининг бўғиздан кейин диффузорга ўтиб, кенгайиши пайтида суюқликнинг қўшимча майда томчиларга ажралиши юз беради. Бу ерда суюқлик томчилари чанг заррачаларини ўзи билан бирга олиб кетади. Томчиларнинг газ оқимидан ажралиш жараёни циклон-томчи ушлагич (2) да рўй беради.

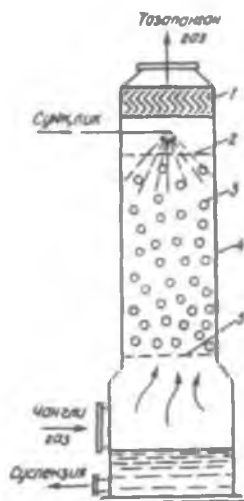
Бўғиздаги газнинг тезлиги 60—150 м/с га етади. Суюқлик ортикча босим (0,03—0,1 мПа) билан берилади. Диффузорда оқимнинг тезлиги 20—25 м/с гача камаяди. Циклонда газ-суюқлик оқимининг тезлиги 4—5 м/с ни ташкил қилади.

Вентури скрубберда чанг заррачаларини ушлаб турган суюқлик томчиларига нисбатан газнинг катта тезлигига эришилади. Шу сабабдан Вентури қурилмасида газ таркибидаги 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 тарқатувчи қурилма вазифасида хизмат қилади. Насадка қўзғолмас қатламининг баландлиги 200—300 мм, панжаралар оралигидаги масофа эса 1200—1500 мм бўлиши мумкин. Шарлар полиэтилен, полистирол, резина, шиша ва бошқа материаллардан тайёрланади; шарнинг диаметри қурилма диаметрининг 0,1 улушидан катта бўлмаслиги керак. Бу турдаги саноат қурилмаларининг диаметри 6,5 м гача бўлиши мумкин.

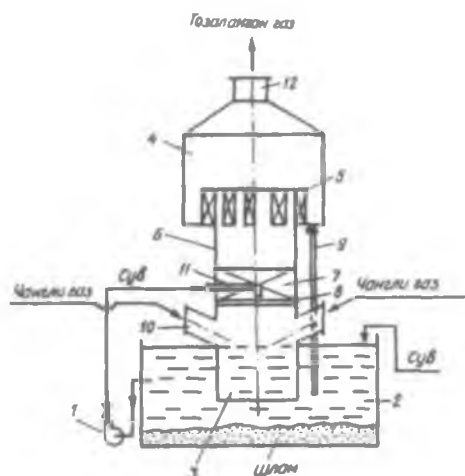
Қурилма тўла мавҳум қайнаш режимида ишлайди, унинг юқориги қисмидан суюқлик форсунка ёрдамида сочилиб турилади. Газнинг тезлиги 4—6 м/с ни ташкил этади. Мавҳум қайнаш ҳолатидаги насадкалар таъсирида газ оқими турбулизация қилинади, фазалар ўртасидаги юза қўп маротаба янгиланади, оқибатда газ билан суюқлик 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 қаршилиқ $0,8 \div 2,0$ кПа ни ташкил этади.

Айланиб юривчи насадкали скрубберлар. Ҳозирда мавҳум қайнаш қатламли газ ювувчи қурилмаларнинг катор самарали конструкциялари ишлаб чиқилди. Жумладан, Тошкент Давлат техника университети мутахассислари томонидан айланиб юривчи насадкали скруббернинг бир неча янги турлари таклиф этилди. Насадкалар айланиб юривчи ҳолатга етганида қатламдаги бўш



8.15- расм. Мавхум қай-
наш ҳолатидаги шарси-
мон насадкали скруббер:

1 — томчи ушлагич; 2 — юқориги
чегарали панжара; 3 — насадка
қатлами, 4 — цилиндрсимон
қобик, 5 — пастки таянч пан-
жараси.



8.16- расм. Айланиб юрувчи насадкали ва
суюқлик циркуляция килиб бериладиган
чанг тутгич:

1 — насос; 2 — шлам йиғгич; 3 — қурилма куб; 4 —
сепаратор; 5 — уюрма ҳосил қилувчи қурилма, 6 —
қурилманинг иш содаси; 7 — айланиб юрувчи насад-
кали қатлам, 8 — таянч панжараси, 9 — қуйилиш тру-
баси; 10 — чангли газ қирадиган штуцер, 11 — фор-
сунка; 12 — тозаланган газ чиқадиган патрубок

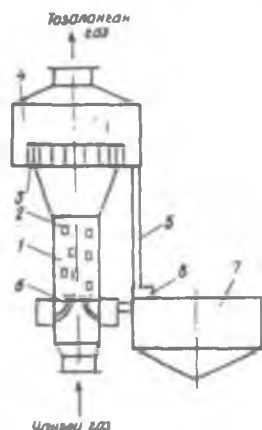
ҳажмининг улуши $\epsilon=1$ бўлади. Ушбу скрубберлар Чирчик шахридаги Ўзбекистон қийин эрувчан ва ўтга чидамли металллар комбинатининг газларни чангдан тозалаш системасида муваффақиятли ишлатилмоқда.

8.16- расмда айланиб юрувчи насадкали ва суюқлик циркуляция килиб бериладиган скруббернинг схемаси кўрсатилган. Қурилмага суюқлик марказдан қочма насос (1) ёрдамида берилади. Чангли газ панжара (8) нинг пастки қисмига штуцер (10) ёрдамида юборилади. Газ қирадиган штуцер вертикал ўққа нисбатан $5-10^\circ$ қиялик билан ўрнатилган. Суюқлик панжара юзаси томонга қараб, сочиб берувчи қурилма (11) ёрдамида тарқатилади. Панжаранинг устида насадка қатлами (7) жойлашган. Панжара орқали ўтган газ оқими насадкаларни айланиб юрувчи ҳолатга келтиради. Газнинг тезлигига кўра суюқлик панжара орқали қисман ағдарилиб, қурилманинг куб қисмига тушади ёки иш зонаси (6) орқали қурилманинг юқориги қисмидаги сепаратор (4) га ўтади. Сепараторда марказдан қочма уюрма ҳосил қилувчи (5) ёрдамида суюқлик газдан ажралади. Ажралган суюқлик қуйилиш трубаси (9) орқали шлам йиғичга тушади. Тозалашган газ патрубок (12) орқали атмосферага чиқарилади. Газнинг тезлиги $3-12$ м/с, суюқликнинг тезлиги эса $1 \cdot 10^{-3} \div 6 \cdot 10^{-3}$ м/с чегараларида ўзгариши мумкин.

Майда дисперсли заррачаларни тутиб қолиш даражаси газ тезлигининг ортиши билан кўпаяди, бунинг учун қурилмада тўғри йўналишли режим ташкил қилинади. Газнинг тезлиги 7—8 м/с дан юқори бўлиши керак. Бундай шароитда суюқлик панжарадан агдарилиб, қурилманинг пастки қисмида йиғилмайди. Насос ишлатишга эҳтиёж қолмайди. 8.17- расмда суюқлик инъекцион усул билан бериладиган чанг тутгичнинг чизмаси кўрсатилган. Газ қурилманинг пастки қисмига берилиб, иш соҳаси (1) дан ўтади ва бу соҳада жойлашган насадкалар (2) ни айланувчан ҳолатга келтиради. Газ чангдан иш соҳасида турбулизация қилинган газ — суюқлик катлами ёрдамида тозаланади. Суюқлик сепаратор (4) да ажралади ва рециркуляция қилиш учун ишлатилади. Суюқлик труба (5) орқали шлам йиғич (7) га қуйилади. Суюқлик таркибидаги майда заррачалар шлам йиғич (7) да чўкмага тушади.

8.17- расм. Айланиб юрувчи насадкали ва инъекцион тарелкали чанг тутгич:

1 — иш соҳаси; 2 — айланиб юрувчи насадкаи; 3 — уюрма ҳосил қилувчи қурилма; 4 — сепаратор; 5 — қуйилиш труба; 6 — инъекцион қурилма; 7 — шлам йиғич; 8 — сарф ўлчагич.



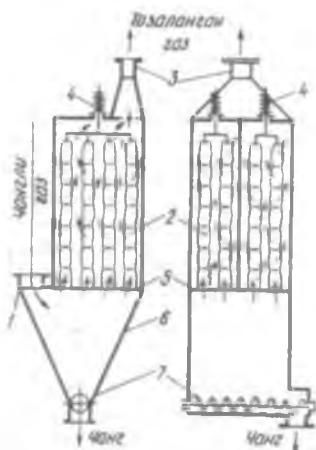
Айланиб юрувчи насадкали скрубберларда газ — суюқлик оқими насадкалар ёрдамида кучли турбулизация қилинади. Заррачаларнинг томчиларда чўкиши турбулент — импульсли механизм асосида юз беради. Бунинг учун қурилмада оптимал масштаби интенсив турбулент пульсациялари ташкил этилади. Ушбу скрубберлар ёрдамида газ аралашмалари таркибидаги микронли ўлчам ва турли физик хоссаларга эга бўлган каттик заррачаларни ажратиш олиш мумкин.

Саноат миқёсида олиб борилган тажрибалар шуни кўрсатдики, айланиб юрувчи насадкали скрубберларда юқори даражадаги чанг ушлашликка эришилади: 93—96 % 1—2 мкм ли заррачалар учун; 98—99,9 % 5 мкм дан катта бўлган заррачалар учун.

8.7- §. ФИЛЬТРЛАР

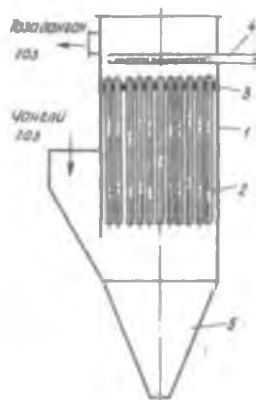
Газларни чангдан филтрлаш йўли билан тозалаш турли говаксимон тўсиқлардан фойдаланишга асосланган. Филтрлаш жараёнида говаксимон тўсиқлардан газ ўтиб кетади, газ таркибидаги муаллақ холида бўладиган каттик заррачалар

фильтр тўсикнинг юзасида тутиб қолинади. Фильтрловчи тўсик 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. Энглр қобик остидаги труба.ли тўсикларга маҳкамланади (8.18- расм). Чангли газ фильтрнинг пастки қисмидан кириб энгли тўкималарда чанглардан тозаланиб, юқорига қараб ҳаракат қилади. Чанглар ва майда заррачалар фильтр энгларининг тешикларида қолади. Вақт ўтиши билан энглрда чанг қатлами кўпайиб фильтр тўсикларнинг қаршилиги ортиб кетади ва натижада қурилманинг унумдорлиги камаёди. Шунинг учун вақт-вақти билан силкитувчи махсус мослама ёрдамида фильтр энглари зарб билан силкитилиб, энглр устидаги чанглар тўкилади ва шнек орқали ташқарига чиқарилади. Баъзи фильтрлар механик



8.18- расм. Энгли фильтр:

1, 3 — газ киридиган ва чиқадиган штуцерлар; 2 — матодан тайёрланган энглр; 4 — тебранирувчи алурилма; 5 — энглрнинг пастки қисми маҳкамланган тўсик; 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 тўсик; 4 — регенерация учун сиқилган ҳаво кирувчи штуцер; 5 — чанг тушадиган бункер

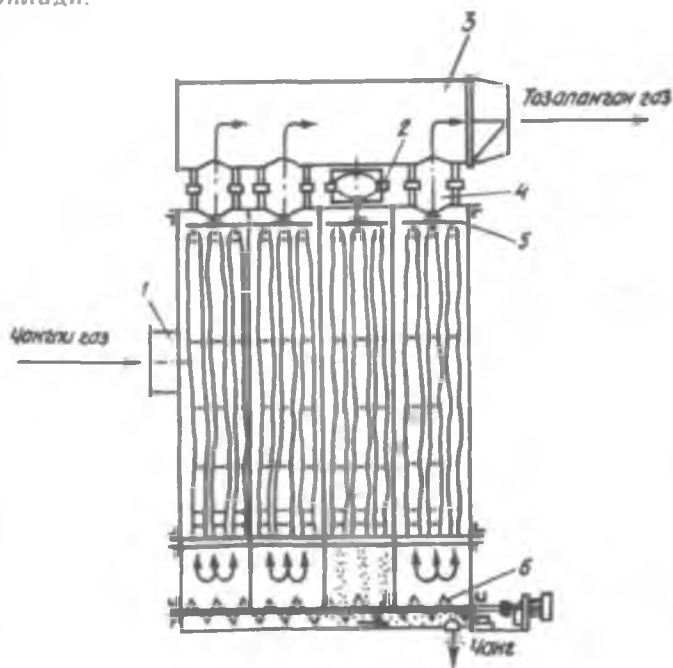
силкитиш билан бирга, уларнинг энглари тозаланаётган газнинг йўналишига қарама-қарши йўналишда ҳаво билан пуфлаб тозаланади. Бундай фильтрда энглрнинг диаметри 20—25 см, узунлиги 2,5—4 м бўлиб, бир неча секциялардан иборат бўлади. Энгли фильтрларда юқори температурали газ аралашмаларини тозалаш мумкин 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: энглр тез ишдан чиқади ва тешиклари беркилиб қолади; юқори температурадаги ва нам газларни тозалаш мумкин

эмас. Юқори температурали (қизиган) газларни тозалаш учун фильтрнинг енглари жули газламаларга капрон толаларидан қўшиб тайёрланади. Бундан ташқари, фильтр енглари сифатида шиша толали газламалар ҳам ишлатилади.

Юқори температурадаги чангли газларни тозалаш учун говаксимон патронлари металлокерамикадан тайёрланган филтрлар ишлатилади.

8.19- расмда металлокерамик материалдан тайёрланган филтрловчи элементлар (патронлар) тўсикка маҳкамланган. Чангли газ филтрловчи элементлардан ўтиб, тозаланган газ қурилманинг юқориги қисмидан чикиб кетади. Чанглар филтрловчи элементларнинг устки юзасида ва тешикларида ушланиб қолади. Филтрловчи элементларнинг говаклари тўлиб қолгандан кейин улар сиқилган ҳаво ёрдамида ёки тозаланган газ билан пуфлаб регенерация қилиниб, яна қайтадан тозалаш цикли давом эттирилади.



8.20- расм. Кўп секцияли енгли филтр:

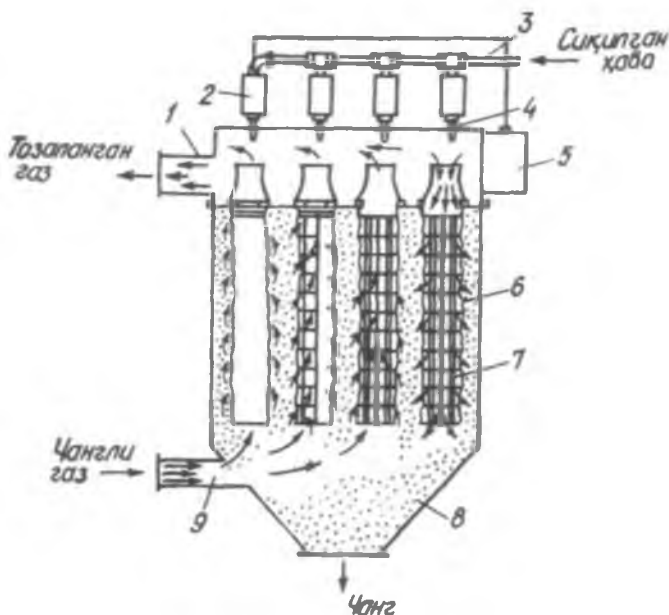
1 — чангли газ янрадиган штуцер; 2 — регенерация қилиш учун тебрантирувчи қурилма; 3 — тозаланган газ чиқадиغان штуцер; 4 — секциянинг клапани; 5 — енглар осиб қуйиладиган рава; 6 — чангли узатиш учун шиёк.

8.20- расмда кўп секцияли енгли филтр кўрсатилган ҳар бир секцияда бир неча енглари бор. Чангли газ секцияларнинг пастки қисмидан енгларининг ичига қиради, филтрловчи мато орқали ўтиб тозаланган, сўнгра қурилманинг юқориги қисмидаги штуцер

оркади ташкарига чиқарилади. Чанг аста-секин енгларнинг ички юзасига ўтириб, филтёрдаги босим йўқолишини қўпайтиради. Чанг қатламининг баландлиги тегишли қийматга етганда, газ берилиши тўхтатилади, тебрантирувчи қўрилма ёрдамида чанг енглардан ажралиб бункерга тушади. Сўнгра енгларни регенерация қилиш учун тоза ҳавонинг тескари оқими юборилади. Бу оқим филтёр тўсикдан ўтиб, унинг филтёрлаш қобилиятини тиклайди. Ушбу филтёрнинг иш режими автоматик бошқарилади.

Енгли филтёрлар одатда босим қиймати 2,5 кПа гача ишлайди. Филтёрларнинг айрим турларида катта босим ёки вакуум қўлланилади. Масалан, Г4—5ФМ филтёри 20 кПа гача босим билан, ФРУ, ФВС-45 ва ФРН-30 филтёрлари эса сийракланиш режимида ишлайди.

8.21- расмда кўрсатилган филтёрнинг енгларини 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. Филтёрловчи материал сифатида фетрлар ёки лавсанли мато қўлланилади. Бундай филтёрлар НИИОГАЗ (Газларни тозалаш



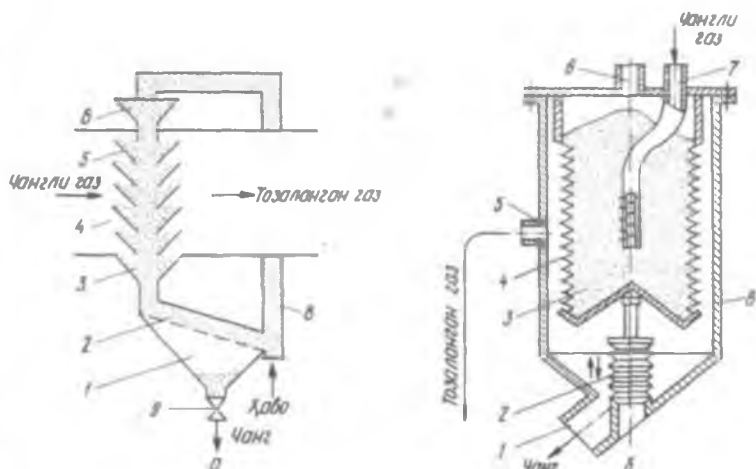
8.21 расм. Импульсли пуфладиган енгли филтёр:

1 — тозаланган газ чиқадиган штуцер, 2 — сиқилган даво клапани, 3 — сиқилган ҳаво коллектори, 4 — сиқилган даво бериладиган сопло, 5 — регенерацияли автоматик бошқариладиган асбоб, 6 — енглар, 7 — қорис, 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 донатор материал қатламга эга бўлган филтрлардан фойдаланиш мақсадга мувофиқ бўлади. Бундай филтрларда насадка сифатида шагал, кум, шлак, кирик, резина ва пластмассали майда увоклар, турли ишлаб чиқариш чиқиндилари ишлатилиши мумкин. Айрим пайтда филтр тўсик билан ушлаб қолиниши лозим бўлган материал бир хил бўлади, бундай шароитда филтр регенерация қилинмайди, филтрлаш жараёни тамом бўлгандан сўнг донатор филтр ушлаб қолинган материал билан бирга ишлаб чиқаришга қайтарилади.

8.22- расмда донатор филтрнинг икки хил қурилмаси кўрсатилган. Вибротурли филтрда (8.22- расм, а) регенерация донатор қатламнинг ҳаракати давомида узлуксиз давом этади. Бундай филтрда донали қатлам бункер (6) дан пастга қараб ҳаракат қилиб, газ таркибидаги чанг заррачаларини тутати. Вибротур (2) да чангни ушланган заррачалари ажралиб, бункер (1) га тушади. Чангдан тозаланган филтрловчи донатор материал механик ёки пневматик конвейер (8) ёрдамида бункер (6) га юборилади. Асосий камчилиги — филтрловчи доналарни циркуляция қилиш системасининг ўлчами катта.



8.22- расм. Донали филтрлар.

а — вибротурли; 1 — бункер, 2 — вибротур, 3 — донали филтр тўсик, 4 — чангли ва тозаланган газ ёғли, 5, 7 — тешиклар билан бўлган тўсиклар, 6 — янги донали материал учун бункер, 8 — конвейер, 9 — ушланган чанглари узатиш учун зитвор, б — сиффон, 1 — ишлатилган доналарни узатиш учун штуцер, 2 — сиффон, 3 — донали филтрловчи тўсик, 4 — пажара, 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 босқичдан иборат бўлиб, газ биринчи босқичда (филтрда) катта ўлчамли чанг фракциясидан, иккинчи босқичда (циклонда) эса кичик ўлчамли чанг заррачаларидан тозаланади.

8.8- §. ЭЛЕКТРОФИЛЬТРАРЛАР

Чангли газлар таркибидаги қаттиқ заррачаларни электр майдон таъсирида чўктириш бошқа чўктириш усулларига қараганда кўп афзалликларга эга. Чўктириш қурилмалари — циклонларда, энгли филтрларда, скрубберларда оғирлик кучи ва марказдан қочма кучлар таъсирида ўта майда заррачаларни чўктириш мумкин эмас.

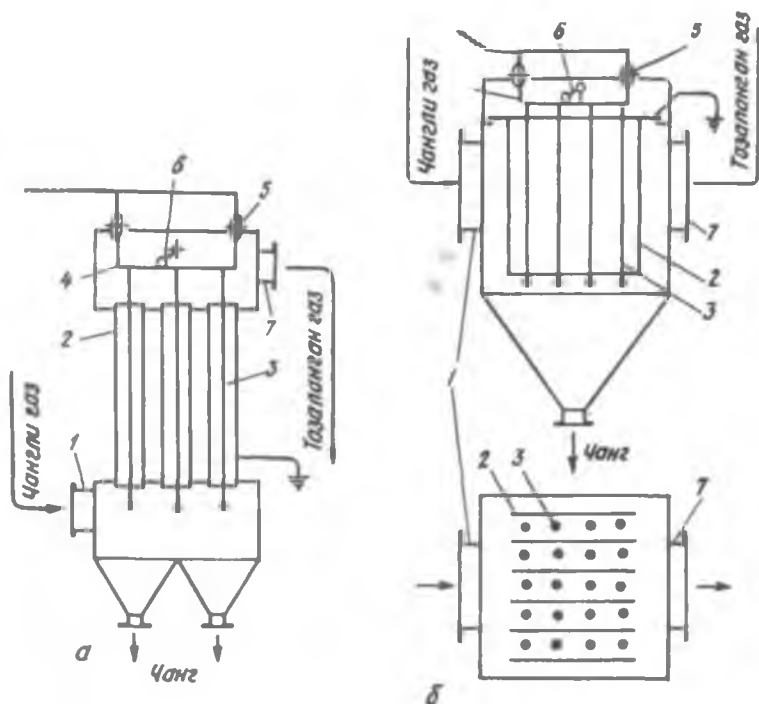
Электрофилтрлар ёрдамида газ таркибидаги энг кичик, жумладан субмикронли (ўлчами 0,005 мкм дан катта) заррачаларни ушлаш мумкин. Бундай қурилмаларда газ аралашмаларини ажратиш даражаси 99,9 % гача етади. Электрофилтрларнинг гидравлик қаршилиги $100 \div 150$ Па гача бўлади, чангли газнинг температураси -20 дан $+500^{\circ}\text{C}$ гача бўлиши мумкин. Электрофилтрнинг камчилиги: юқори металл ушлашлик; ўлчамлари катта; иш режимининг ўзгаришига таъсирчан; чангнинг портлаш ва ўт олиш хавфсизлигини таъминлашга юқори капитал сарфлар зарурлиги сабабли, электрофилтрдан газнинг сарфи катта бўлганда фойдаланиш мақсадга мувофиқ бўлади. Шу кунда газ бўйича иш унумдорлиги 1 млн м^3 /соат дан кўп бўлган электрофилтрлар мавжуд.

Электрофилтрлар нурланувчи (манфий зарядланган) ва чўктирувчи (мусбат зарядланган) электродлардан ташкил топган бўлади. Иккита электродлар ўртасида юқори кучланишли ($U = 35000 \div 70000$ В) электр майдони ҳосил бўлади. Нурланувчи электрод сим шаклида, чўктирувчи электрод эса труба ёки пластина шаклида тайёрланади. Ушбу электродлар оралигидаги массафа 100—200 мм бўлади.

Таркибида қаттиқ заррачалари бўлган газ окими 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 нур л а н у в ч и э л е к т р о д 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 заряди-ни беради ва оғирлик кучи таъсирида чўқади.

Электрофилтрлар юкори кучланишли ўзгармас токда ишлайди, чунки ток ўзгарувчан бўлганда зарядланган заррачалар ўз ҳаракат йўналишини 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. Электрофилтрнинг нурланувчи электродлари ток манбаининг манфий кутбига, чўктирувчи электродлари эса мусбат кутбига уланади.

Чўктириш электродининг тайёрланишига қараб трубади ва пластинади электрофилтрлар бўлади, бироқ уларнинг ишлаш режимида принципиал фарқ йўқ. Электрофилтрнинг схемаси 8.23- расмда кўрсатилган. Масалан, трубади электрофилтрда (8.23- расм, а) трубаларнинг диаметри 150—300 мм бўлиб, уларнинг ўртасидан 2 мм ли симлар тортилган, улар нурланувчи электрод вазифасини бажаради. Тозаланиши керак бўлган газ қурилмасининг пастки қисмидан берилиб, трубаларнинг ичидан пастдан юкорига қараб ҳаракат қилади ва тозалангандан сўнг



8.23- расм. Электрофилтр

а — трубади, б — пластинади; 1 — қангли газ аирадиган штуцер. 2 — чўктирувчи трубадиёки, пластинкасимон электродлар. 3 — нурланувчи электродлар; 4 — рама; 5 — имиторлар; 6 — силкитувчи қурилма; 7 — тозаланган газ чиқадиган штуцер

юқоридан чиқиб кетади. Манфий электродлар (яъни симлар) умумий рамага осилган бўлиб, рамалар эса изоляторларнинг устига ўрнатилган. Электродларга ўтириб қолган чанглар махсус механизмлар ёрдамида тебантирилиб, қурилманинг пастки конус қисмига туширилади.

8.24-расмда ШМК маркали бир секцияли вертикал нам электрофилтрлар кўрсатилган. Бу филтр газни сульфат кислота туманидан, селен ва мышьяк заррачаларидан тозалаш учун ишлатилади. Пулатдан ясалган цилиндрсимон қобик (7) нинг ички қисми кислотага бардошли гишт ва полиизобутилен юпка катлами билан қопланади. Қурилманинг қопқоғи қўرғошин листи билан химоя қилинган. Қўрғошинли чуқтирувчи электродлар (6) олти қиррали труба кўринишида тайёрланган. Бу электродлар қурилманинг юқори қисмига маҳкамланган панжара (5) га осиб қўйилган. Панжара пулатдан тайёрланиб, қўрғошин билан қопланган. Олти қиррали ҳар бир трубанинг ўқи бўйлаб эркин ҳолатда нурланувчи электрод (4) осиб қўйилган. Нурланувчи электрод кўндаланг қисми юлдузча шаклига эга бўлган симдан тайёрланган. Бу симнинг юқори қисми қурилма қобиридан изоляция қилинган рамага бириктирилиб, юк осиб қўйилган.

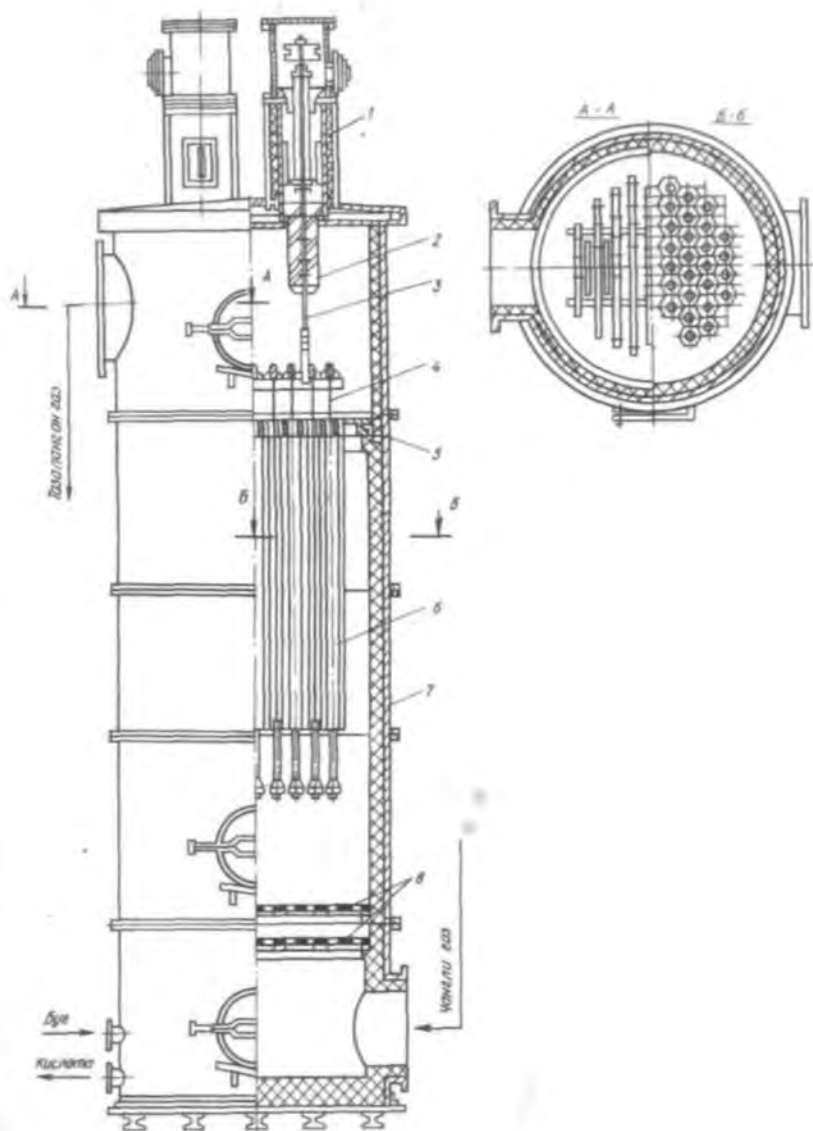
Нурланувчи электродларнинг рамаси тортғич (3) ёрдамида изолятор (2) га осиб қўйилган, изоляторлар эса қопқоқнинг қутичаларида маҳкамланган. Изоляторларнинг қутичалари электр иситғич билан таъминланган. Ушбу иситғичлар конденсаторлар юзасида намликнинг конденсацияланиб қолишини йўқотади. Қобик (7) газнинг кириши ва чиқиши, бугни бериш, ушланган кислота ва шлами узатиш учун тегишли штуцерлар билан таъминланган. Қобикнинг пастки қисмида икки қаторли газ тарқатувчи панжара (8) ўрнатилган.

Йиғилган кислота қобикнинг пастки қисмида тўпланади ва иш давомида қурилмадан чиқариб турилади. Қурилма тўхтатилиб, иссиқ сув билан ювилгандан сўнг, йиғилган қаттиқ заррачалар шлам сифатида ташқарига чиқарилади.

Электр чуқтириш 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 қатталиги камайиши билан қурилманинг фойдали иш коэффициенти камаяди.

Электрофилтрларнинг гидравлик қаршилиги жуда кичик (10—15 мм сув устуни). Бундай филтрлар энг самарали қурилма ҳисобланиб, катта ҳажмдаги чангли газларни ажратиш учун ишлатилади. Электрофилтрлар электродларнинг ўрнатилишига кўра горизонтал ва вертикал ҳолда бўлади. Ҳудди шунингдек, газ аралашмаси таркибидаги заррачаларнинг ҳолатига кўра қуруқ ва нам электрофилтрлар бўлиши мумкин.

Электр чуқтириш қурилмасининг тузилиши содда бўлса ҳам, онда борадиган жараён анча мураккабдир. Шу сабабли электр чуқтириш қурилмаларини умумий ҳисоблаш усули ишлаб чи-



8.24- рисм. Трубали нам электрофилтр:

1 — қопқоқ кутчаси, 2 — изоляторлар; 3 — тортгич; 4 — нурланушчи электродлар, 5 — панжара, 6 — ғүбтирушчи электродлар; 7 — цилиндрсимон қобик; 8 — минн қаторли газ тақсимдовчи панжара

килмаган. Ҳисоблаш пайтида тажрибадан олинган маълумотлардан фойдаланилади. Масалан, труба типигаги 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 кучланганлиги 450 кВ/м, иш кучланиши $35 \div 70$ кВт, труба типигаги қурилмалар учун газнинг тезлиги $w = 0,8 \div 1,5$ м/с, пластинали қурилмалар учун $w = 0,5 \div 1$ м/с олинади.

Электрофилтрлар газ таркибида ута майда заррачалар ва томчиларнинг концентрацияси кам бўлган пайтда уларни тула тозалаш учун ишлатилади. Бундай қурилмалар, масалан, газ таркибидаги қимматбаҳо металлари ажратиб олишда, цемент ва кўмир чангини тутиб қолиш учун, сульфат кислота ишлаб чиқаришда газ таркибидаги кислота томчиларини ажратиб олишда ишлатилади.

8.9-§. ГАЗ ТОЗАЛАЙДИГАН ҚУРИЛМАЛАРНИ ТАНЛАШ

Газ тозалайдиган қурилмаларни танлашда куйидаги 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 каттик фаза муҳим маҳсулот ҳисобланганда, тозалашнинг қуруқ усулларида фойдаланиш мақсадга мувофиқ бўлади.

Газни тозалаш даражасига бўлган талаб атмосфера ҳавоси тозалигининг зарур бўлган санитария-гигиена нормалари билан ёки технология ускуналарининг ишлаш шартлари билан боғлиқ бўлади. Газларни тозалаш, масалан, компрессор ва вентилятор иш органлари ейилишининг олдини олиш имкониятини беради ҳамда реактордаги контакт бўлаётган массаларни ифлосланишдан сақлайди. Газни тозалайдиган қурилмаларни ва уларнинг материалларини танлашда газ таркибида намлик ва агрессив компонентларнинг борлиги, уларнинг миқдори ва температураси ҳисобга олинади.

Тозалашнинг тегишли даражаси қурилманинг типини, конструкциясини ва ўлчамини тўғри танлаш ва уни тўғри ишлатиш орқали эришилади. Чанг ушлашни яхшилаш одатда қурилманинг ўлчамини ёки унинг энергия ҳажминини кўпайтиришни талаб этади. Масалан, 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 маблаг талаб қилинади.

Чанг ушлагичнинг тегишли типини танлаш пайтида унинг имкониятлари ҳисобга олинishi керак. Чангли камералар, циклонлар ва бошқа инерцион чанг ушлагичлар арзон ва тузилиши оддий, бироқ улар ёрдамида газ таркибидаги фақат катта заррачаларни ушлаш мумкин. Шу сабабдан бундай чанг ушлагичлар янчи машиналарининг аспирацион қурилмаларида, сочилувчан материалларни узатиш системаларида, электрофильтр ва англи фильтрлардан олдин ҳамда ушланган чанг заррачаларини уларнинг ўлчамларига кўра фракцияларга ажратиш керак бўлганда ишлатилади.

2—5 мкм ўлчамли заррачаларни ушлайдиган кўпчилик нам чанг ушлагичларни, газларни қўшимча совитиш, намлаш талаб қилинганда ёки уларни эрувчан компонентлар (аммиак, сульфид гази) дан тозалаш керак бўлганда, ишлатиш яхши натижа беради. Катта тезлик билан ишлайдиган газ 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 (пульпа ва шламлар) ни қайта ишлашга ҳамда қурилмаларни коррозиядан ҳимоя қилишга аҳамият берилади.

Англи 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 шaroитлари 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 англи фильтрга яқин, бироқ катта маблаг 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 маблаг сарфини асоссиз ортиб кетишга олиб келади. Бундан ташқари портлаб кетиш хавфи бўлган газ аралашмаларини ажратишда электрофильтрлардан фойдаланиш мумкин эмас. Бундай шарoитда англи 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 туғдирмайди. Газларни ўта майда заррачалардан ажратишда тозалашнинг кўп босқичли

(одатда икки босқичли) схемасидан фойдаланилади. Бирламчи тозалаш учун бир ёки бир неча чанг ушлагич қурилмалари ишлатилади, сўнгра нозик тозалаш қурилмаларидан фойдаланилади. Газларни нозик тозалаш қурилмаларига юқори талаблар қўйилади. Одатда газларни нозик тозалаш мақсадида енгли филтрлар, электрофилтрлар ва уюрмали чанг тутгичлар ишлатилади.

ТАҚРОРЛАШ ВА МУСТАҚИЛ ИШЛАШ УЧУН САВОЛЛАР

- 8.1. Газларни чангдан тозалашнинг аҳамияти. Газсимон аралашмаларни қандай усуллар билан ажратиш мумкин?
- 8.2. Чанг чуқтириш камераларининг тузилиши. Бундай қурилмаларнинг самарали ишлаши учун қандай талабларни бажариш керак?
- 8.3. Циклонларнинг ишлаши қандай принципга асосланган? НИИОГАЗ ва ВЦНИИОТ конструкцияли циклонлар ўртасида қандай фарқ бор?
- 8.4. Батарейли циклонлар. Циклон элементлари қандай тузилган?
- 8.5. Уюрмали чанг ушлагичнинг ишлаш принципи нимадан иборат? Бундай қурилмалар қандай афзалликларга эга?
- 8.6. Ротацион чанг ушлагичнинг тузилиши. Бундай қурилмалар қаторига нима сабабдан турбоциклонлар ва турбокомпрессорлар қиради?
- 8.7. Газ ювувчи қурилмаларнинг турлари. Уларнинг афзаллиги ва камчилиги нималардан иборат?
- 8.8. Суюқликни сочиб бевуви ва насадкали скрубберларнинг ишлаш принциплари ва уларнинг тозалаш даражаси.
- 8.9. Тарелкали газ ювувчи қурилмалар неча турга бўлинади? Ушбу скрубберларнинг иш режими қайси кўрсаткич орқали белгиланади?
- 8.10. Вентури скрубберининг тузилиши. Унинг тозалаш даражаси. Газ тезлигининг ўзгариш чегаралари.
- 8.11. Мавҳум қайнаш қатламли скруббернинг тузилиши. Насадкалар қандай материаллардан тайёрланиши мумкин? Қурилманинг асосий афзаллиги нимадан иборат?
- 8.12. Айланиб юрувчи насадкали скрубберлар. Уларнинг асосий характеристикалари.
- 8.13. Газларни филтрлаш йўли билан тозалашнинг моҳияти. Филтрловчи тўсик сифатида қандай материаллар ишлатилади? Енгли филтрнинг тузилиши.
- 8.14. Донадор қатламли филтрларнинг асосий турлари. Уларнинг асосий афзаллиги ва камчилиги нимадан иборат?
- 8.15. Электрофилтрнинг ишлаш принципи. Нима учун электрофилтрлар икки турга бўлинади? Улар қандай шароитларда ишлатилади? Бундай филтрларни ҳисоблаш мумкинми?
- 8.16. Саноатда неча босқичли тозалаш қурилмалари ишлатилади? Чанг тутгични танлаш принципи нималардан иборат?
- 8.17. Газларни тозалайдиган қурилмаларнинг самарадорлиги қандай аниқланади?
- 8.18. Чангларни қурилмадан гушириш 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 «совук» 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 конденслаш, буглатиш) кимё саноатида кенг тарқалган. Иссиқлик тарқалишининг учта принципаал 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 томчили 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 юпка 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 зичлиқнинг фарқи натижасида ҳосил бўладиган иссиқликнинг алмашилиши табiiй 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 бир неча усуллар ёрдамида юзага келади, яъни мураккаб иссиқлик ўтказиш жараёнлари амалга оширилади.

Қурилмаларнинг ишлаш режимига кўра жараёнлар икки хил (тургун ва нотургун) бўлади. Ўзлуксиз ишлайдиган қурилмаларнинг турли нукталаридаги температура вақт давомида ўзгармайди, бундай қурилмаларда 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 — қурилманинг иссиқлик сарфи, Ж.

Температураси юқори бўлган иссиқлик ташувчининг миқдори — G , унинг қурилмага киришдаги иссиқлик ушлашини $J_{1к}$ ва қурилмадан чиқишдаги иссиқлик ушлашини $J_{1н}$, 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:

$$Q = G_1(J_{1б} - J_{1н}) = G_2(J_{2к} - J_{2б}). \quad (9.2)$$

Агар иссиқлик алмашилиш жараёни иссиқлик ташувчиларнинг агрегат ҳолати ўзгармаган шароитда содир бўлса, иссиқлик ташувчи жисмларнинг иссиқлик сақлаши (ёки энтальпияси) солиштирма иссиқлик сигими c ни температура t га кўпайтмасига тенг бўлади:

$$J = ct. \quad (9.3)$$

Солиштирма иссиқлик сигими — модда бирлиги температурасини 1 К га ўзгартириш учун зарур бўлган иссиқлик миқдоридир; ўлчов бирлиги Ж/(кг · К). Бунда иссиқлик баланснинг тенгламаси:

$$Q = G_1 c_1 (t_{1б} - t_{1н}) = G_2 c_2 (t_{2к} - t_{2б}) \quad (9.4)$$

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 алмашилиш иссиқлик ташувчининг агрегат ҳолати ўзгарадиган шароитда (бугнинг конденсланиши, суюқликнинг бугланиши ва ҳоказо) содир бўлса, иссиқлик балансини тузиш пайтида жараён давомида юз берадиган қўшимча иссиқлик эффекти ҳисобга олинади. Масалан, тўйинган бугнинг конденсланиш жараёни бўйича иссиқлик баланси тузилаётган пайтда J_{10} учун конденсаторга кираётган бугнинг иссиқлик сақлаши, J_{1k} учун эса қурилмадан чиқаётган буг конденсатининг иссиқлик сақлаши ҳисобга олинади. Агар ўта қиздирилган бугнинг конденсланишини кўриб чиксак, бундай шароитда қурилманинг иссиқлик сарфи Q уч қисмдан ташкил топиши мумкин: 1) бугни t_0 температурасидан тўйиниш температураси $t_{\text{тўй}}$ гача совитилганда ажралиб чиккан иссиқлик $Q_{\text{кнзл}}$; 2) конденсланиш иссиқлик $Q_{\text{конд}}$; 3) конденсатни совитиш пайтида ажралиб чиккан иссиқлик $Q_{\text{сов}}$. Бундай шароитда иссиқлик балансининг тенгламаси қуйидаги кўринишга эга бўлади:

$$\begin{aligned} Q &= G(J_{10} - J_{1k}) = Q_{\text{кнзл}} + Q_{\text{конд}} + Q_{\text{сов}} = \\ &= Gc_0(t_0 - t_{\text{тўй}}) + Gr + Gc_k(t_k - t_{\text{сов}}); \end{aligned} \quad (9.5)$$

бу ерда c_0 ва c_k — буг ва конденсатнинг солиштирма иссиқлик сизими, $\text{Ж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$; r — конденсланиш (бугланиш) 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 алмашилишига асосланган. Металларда иссиқликнинг алмашилиши 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 нуктала-ридаги температура қийматларининг йиғиндиси температура майдонини ташкил этади. Температура майдони тургун ва нотургун бўлиши мумкин. Агар ҳар бир нуктадаги температура вақт давомида ўзгармаса, бундай температура майдони тургун бўлади. Мабодо температура вақт ўтиши билан ўзгарса, ундай майдон нотургун *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:

$$\text{grad } t = \lim \left(\frac{\Delta t}{\Delta n} \right)_{\Delta n \rightarrow 0} = \frac{\partial t}{\partial n}. \quad (9.7)$$

Температура градиенти нолга тенг бўлмаган тақдирда ($\text{grad } t \neq 0$) иссиқлик оқими юзага келади. Бунда иссиқлик оқимининг йўналиши температура градиенти чизиги бўйича боради, аммо температура градиентига қарама-қарши йўналган бўлади:

$$q \sim \left(-\frac{\partial t}{\partial n} \right).$$

Фурье қонун. Бу қонунга кўра, иссиқлик ўтказувчанлик оркали 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:

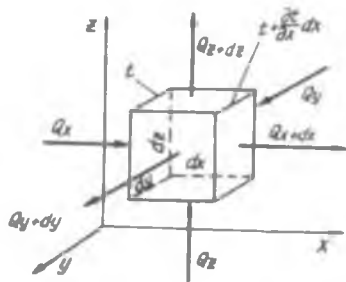
$$q = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n}. \quad (9.9)$$

бу ерда q — иссиқлик оқими зичлиги; λ — иссиқлик ўтказувчанлик коэффициент.

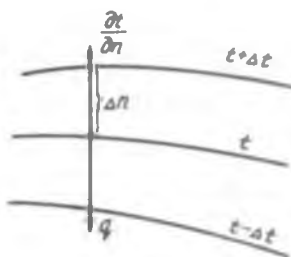
Иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти қуйидагича ўлчов бирлигига эга:

$$[\lambda] = \left[\frac{dQ}{\partial t \cdot dF \cdot d\tau} \right] = \left[\frac{\text{Ж} \cdot \text{м}}{\text{град} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}} \right] = \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}} \right]$$

Иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти иссиқлик алмашилиш юзаси бирлигидан (1 м^2) вақт бирлиги давомида (τ) изотермик юзага нормал бўлган 1 м узунликка тўғри келган температура-ларнинг бир градусга пасайиши вақтида иссиқлик ўтказувчанлик йўли билан берилган иссиқлик миқдорини белгилайди.



9.1- расм. Температура градиентини аниқлашга доир.



9.2- расм. Иссиқлик ўтказувчанлиқнинг 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 ўтказди. 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); ҳаво $\lambda = 0,027$ Вт/(м·К).

Иссиқлик ўтказувчанликнинг дифференциал тенгламаси. Бу тенгламани келтириб чиқаришда иссиқлик таркатаётган жисм ёки муҳитнинг физик хоссалари (зичлик ρ , иссиқлик сигими c ва иссиқлик ўтказувчанлик λ) ва йўналишлари вақт бўйича ўзгармайди деб қаралади. Иссиқлик ўтказувчанликнинг дифференциал тенгламасини келтириб чиқариш учун жисм ичида қиррالي dx , dy ва dz бўлган элементар параллелепипед олинади (9.2-расм).

Параллелепипеднинг чап, орқа ва пастки томонларидан dt 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} микдорда иссиқлик чиқади.

Маълум dt 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 миқдorigа 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 муҳит 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 коэффициентини деб аталади. Унинг ўлчов бирлиги м²/с. Температура ўтказувчанлик коэффициентини жисмининг иссиқлик инерцион хоссаларини ифодалайди, бир хил шарт-шароитларда температура ўтказувчанлик коэффициентини катта бўлган жисм тезроқ иссийди ёки совийди.

Тургун шаронда иссиқлик ўтказувчанлик орқали иссиқлик тарқалса $\frac{\partial t}{\partial t} = 0$ (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:

$$\nabla^2 t = 0$$

$$\text{ёки } \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} = 0. \quad (9.15)$$

(9.15) тенглама кўзголмас 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 текширамыз. Деворнинг қарама-қарши томонларидаги температуралар t_{x1} ва t_{x2} га тенг, бироқ $t_{x1} > t_{x2}$. (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 оламыз. 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 бўламыз:

$$\frac{dt}{dx} = c_1; \quad t = c_1 x + c_2.$$

Интеграллаш донмийлари c_1 ва c_2 ни чегара шартлари ($x=0$ ва $x=\delta$) орқали топамиз:

$$c_2 = t_{x1}; \quad c_1 = \frac{dt}{dx} = \frac{t_{x2} - t_{x1}}{\delta}.$$

и
1-
г

$$t = \frac{t_{x_2} - t_{x_1}}{\delta} x + t_{x_2} \quad (9.17)$$

(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:

$$\begin{aligned} \bar{q} &= \lambda \frac{t_{x_1} - t_{x_2}}{\delta} F d\tau \\ Q &= \frac{\lambda}{\delta} (t_{x_1} - t_{x_2}) F \tau, \end{aligned} \quad (9.18)$$

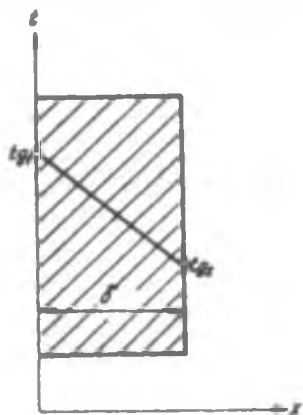
бу ерда λ/δ нисбат деворнинг иссиқлик ўтказиш қобилиятини, тесқари қиймат δ/λ эса деворнинг термик қаршилгини ифодалайди.

Тургун иссиқлик режимида кўп қатламли текис девор учун қуйидаги иссиқлик ўтказувчанлик тенгламасини ёзиш мумкин:

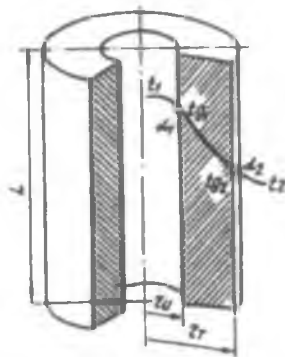
$$Q = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i}} F (t_{x_1} - t_{x_2}) \tau, \quad (9.19)$$

бу ерда i — қатламнинг тартиб сони, n — қатламлар сони.

Цилиндрсимон, деворнинг иссиқлик ўтказувчанлик тенгламаси. Уzunлиги L , ички радиуси r_n 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_{x_1} ва t_{x_2} га тенг деб олинади ($t_{x_1} > t_{x_2}$).



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:

$$Q = -\lambda 2\pi r L \tau \frac{dr}{r}.$$

бу ерда $\delta = r_T - r_n$; $d\delta$ ўрнига dr ни қўйиш мумкин:

$$Q = -\lambda 2\pi r L \tau \frac{dr}{r}$$

ёки

$$\frac{dr}{r} = -\lambda \frac{2\pi L \tau}{Q} dt. \quad (9.20)$$

Бу (9.20) тенгламани r_n дан r_T гача ва t_{a1} дан t_{a2} гача чегаралар бўйича интеграллаймиз:

$$\int_{r_n}^{r_T} \frac{dr}{r} = -\lambda \frac{2\pi L \tau}{Q} \int_{t_{a1}}^{t_{a2}} dt,$$

бундан

$$\ln \frac{r_T}{r_n} = -\frac{\lambda 2\pi L \tau}{Q} (t_{a1} - t_{a2})$$

ёки $r_T/r_n = d_T/d_n$ ҳисобга олинса:

$$Q = \frac{2\pi L \tau (t_{a1} - t_{a2})}{\frac{1}{\lambda} 2.3 \lg d_T/d_n}, \quad (9.21)$$

бу ерда d_T/d_n — цилиндрсимон деворнинг ташқи ва ички диаметрларининг нисбати.

(9.21) тенгламадан кўриниб 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:

$$Q = \frac{2\pi L \tau (t_{a1} - t_{a2})}{\sum_{i=1}^{i=n} \frac{1}{\lambda_i} 2.3 \lg \frac{d_{i+1}}{d_i}}. \quad (9.22)$$

9.4-§. ИССИҚЛИК НУРЛАНИШИ

Нурланиш ёрдамида иссиқлик алмашиниши 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 тўлкин бошқа бирор жисмда ютилганида қайтадан молекулаларнинг иссиқлик ҳаракати энергиясига айланади. Иссиқлик нурланишининг тўлкин узунлиги $700-4 \cdot 10^5$ нм чегарасида ўзгаради. Нурланиш тезлиги температуранинг ошиши билан кўпаяди. Юқори температурада (масалан $t \geq 600^\circ \text{C}$ бўлганда) каттик жисмлар ва газлар ўртасидаги иссиқлик алмашилишида нурланиш йўли билан иссиқликнинг тарқалиши ҳал қилувчи аҳамиятга эга бўлади.

Агар жисмнинг юзасига Q_H миқдорида 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 боглиқлик жисмнинг табиатига, юзасининг характери ва унинг температурасига боглиқ. Одатда каттик жисмлар ва суюқликлар учун $D=0$ ва $A+R=1$ бўлади. Газлар эса асосан диатермик жисмлар қаторига киради. Ҳақиқий шароитда жисмлар юзасига нур ҳолида тушган энергиянинг бир

улуши ютилади, яна бир улуши қайтарилади, қолган қисмини эса жисм узидан ўтказиб юборади. Бундай жисмлар одатда к у л р а н г ж и с м л а р 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:

$$E = \frac{Q_n}{Ft} \quad (9.26)$$

бу ерда Q_n — жисм томонидан нурланган энергия.

Жисмнинг нур чиқариш хусусиятининг тўлқин узунлиги интервалига нисбати *нурланиш интенсивлиги* дейилади:

$$J = \frac{dE}{d\lambda} \quad (9.27)$$

Охирги 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:

$$E = \int_{\lambda=0}^{\lambda=\infty} \frac{c_1 \lambda^{-5}}{\frac{c_2}{e^{\lambda T}} - 1} \quad (9.28)$$

(9.28) тенгламадаги доимийлар ушбу қийматларга эга: $c_1 = 3,22 \cdot 10^{-16} \text{ Вт/м}^2$ ва $c_2 = 1,24 \cdot 10^{-2} \text{ Вт/м}^2$.

Охирги тенгламани ихчамлаштириб қуйидаги боғлиқликни оламыз:

$$E_0 = K_0 T^4, \quad (9.29)$$

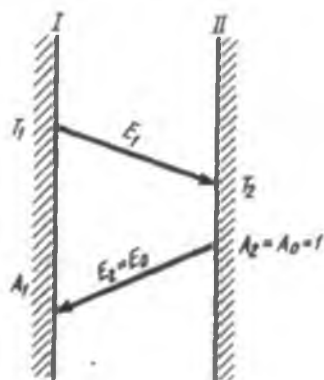
бу ерда E_0 — абсолют қора жисмнинг нур чиқариш қобилияти, Вт/м^2 ; K_0 — абсолют қора жисмнинг нур чиқариш доимийлиги, $K_0 = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}^4$; T — жисм юзасининг абсолют температураси, К .

(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 коэффициенти; C_0 — абсолют қора жисмнинг нур чиқариш коэффициенти, $C_0 = 5,67 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}^4$.

Кулранг жисмнинг нисбий нур чиқариш коэффициенти материалнинг табиати, унинг ранги, температураси, юзасининг ҳолатига боғлиқ бўлиб, унинг қиймати 1 дан кичик бўлади ва $0,055 \div 0,95$ чегарада ўзгаради (масалан, $t = 25^\circ\text{C}$ бўлганда углеродли пулат 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:

$$Q_{11} = c_{1-2} \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \cdot F \quad (9.33)$$

бу ерда Q_{11} — 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 коэффициенти.

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 қатламининг қалинлигига ва газ аралашмаси таркибидаги нур чиқариш қобилиятига эга бўлган газнинг миқдорига боғлиқ.

Газнинг нурланиш иссиқлигини қуйидаги тенглама орқали топиш мумкин:

$$Q_r = \epsilon_r c_0 \left(\frac{T_r}{100} \right)^4 \quad (9.34)$$

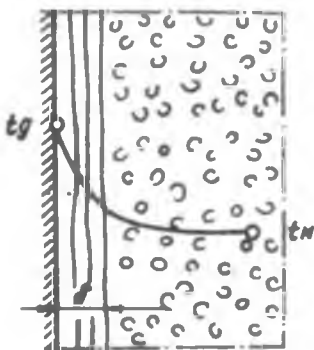
бу ерда ϵ_r — газнинг нисбий нур чиқариш коэффициенти; T_r — газнинг абсолют температураси.

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 алмашилишнинг 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 қисмга 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 ораллигида иссиқликнинг тарқалиши конвектив иссиқлик алмашилиш ёки иссиқликнинг берилиши деб аталади. Ҳаракатланувчи муҳитдаги конвектив иссиқлик алмашилишда температураларнинг ўзгариш схемаси 9.6-расмда берилган. Суюқлик муҳити икки қатламдан иборат бўлади: чегара қатлами ва оқимнинг маркази. Қаттиқ жисм юзасидаги температурани t_d , оқим марказидаги



9.6- расм. Конвектив иссиқлик алмашинишда температураларнинг ўзгариши.

температурани t_n чегара қатламнинг калинлигини δ билан белгилаймиз.

Қаттиқ жисм юзасидан чегара қатлам орқали энергия иссиқлик ўтказувчанлик йўли билан ўтади. Чегара қатламдан муҳитнинг марказига иссиқлик асосан конвекция орқали тарқалади. Иссиқликнинг қаттиқ жисм юзасидан суюқлик муҳитига берилиш жараёнига оқимнинг ҳаракат режими катта таъсир кўрсади.

Конвекция икки турга бўлинади (табiiй ва мажбурий). Суюқликнинг «иссиқ» ва «совуқ» қисмларидаги зичликлар фарқи таъсирида табiiй конвекция юзага келади. Мажбурий

конвекция ташқи кучлар (насос, вентилятор, аралаштиргич) 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 ($t_d - t_n$) ҳамда жараённинг давомлигига ($d\tau$) тўғри пропорционалдир, яъни:

$$dQ = \alpha(t_d - t_n)dF d\tau, \quad (9.35)$$

бу ерда α — иссиқлик бериш коэффициентини.

Иссиқлик бериш коэффициенти қуйидаги ўлчов бирлигига эга:

$$[\alpha] = \left[\frac{dQ}{dF d\tau (t_d - t_n)} \right] = \left[\frac{\text{Ж}}{\text{м}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{град}} \right] = \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}} \right].$$

Узлуксиз иссиқлик алмашиниш жараёни учун (9.35) тенглама қуйидаги кўринишда бўлади:

$$Q = \alpha F(t_d - t_n). \quad (9.36)$$

Иссиқлик бериш коэффициенти 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 коэффициентнинг миқдори қатор катталикларга боглиқ: суюқликнинг тезлиги w , унинг зичлиги ρ , ковушоклиги μ , муҳитнинг иссиқлик-физик хоссалари (солиштирма иссиқлик сижими c , иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти 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 қуйидаги катталикларга боглиқ экан:

$$\alpha = f(\omega, \rho, \mu, c, \lambda, \beta, d, L, \epsilon_0). \quad (9.37)$$

Иссиқлик бериш коэффициенти бу катталикларга боглиқ бўлганлигидан, иссиқлик ўтказиш жараёнларининг барча қўриниши учун α нинг қийматини ҳисоблаб чиқарадиган умумий тенгламани олишнинг имкони йўқ. Фақат иссиқлик алмаши-нишнинг типавий жараёнлари учун тажриба натижаларини ўхшашлик назарияси ёрдамида қайта ишлаш орқали критериял тенгламаларни чиқариш мумкин. Бу критериял тенгламалар ёрдамида иссиқлик бериш коэффициентининг қиймати ҳисоблаб топилади.

Конвектив иссиқлик алмашинишнинг дифференциал тенглама-си. Конвектив усул билан иссиқлик алмашинишганда суюқлик муҳитида иссиқлик бир вақтнинг ўзида иссиқлик ўтказувчанлик ва конвекция орқали тарқалади. Иссиқлик ўтказувчанлик (9.13) диф-ференциал 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 қўзғалмас элементар ҳажм температурасининг қисман ўзгариши-ни ифодалайди. Конвектив иссиқлик алмашинишда элементар ҳажм муҳитнинг бир нуктасидан иккинчи нуктасига 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 температураси-нинг тўла ўзгариши қуйидагича 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 темпера-туранинг қисман ўзгаришини (9.38) тенгламага асосан унинг тўла ўзгариши билан алмаштирсак, Фурье — Кирхгофнинг конвектив иссиқлик алмашиниш 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

алмашилиш жараёнини тула ифодалаш учун (9.39) тенгламани каттик юза ва ҳаракатланувчи муҳит чегарасидаги шароитни ҳисобга олувчи бошқа тенглама билан тўлдириш керак.

Ҳаракатланувчи муҳитда жойлашган каттик юза устида қалинлиги δ га тенг бўлган чегара қатлам ҳосил бўлади. Бу қатлам орқали ўтган иссиқлик миқдори *Фурье қонуни* орқали топилади:

$$dQ = -\lambda \frac{\partial t}{\partial n} dF d\tau.$$

Ўтган иссиқлик миқдорини Ньютон қонуни ёрдамида ҳам аниқлаш мумкин:

$$dQ = \alpha (t_a - t_m) dF d\tau$$

Охириги иккита тенгламанинг ўнг томонини ўзаро тенглаштириб, каттик юза ва ҳаракатланувчи суюқлик муҳити чегарасидаги шароитларни ифодалайдиган тенгламани ҳосил қиламиз:

$$-\lambda \frac{\partial t}{\partial n} = \alpha (t_a - t_m). \quad (9.40)$$

(9.39) ва (9.40) тенглама конвектив иссиқлик алмашилиш жараёнини тула ифодалайди.

Конвектив иссиқлик алмашилишнинг 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 алмашилишнинг критериял тенгламаси мумий ҳолда қуйидаги кўринишга эга:

$$Nu = f'(Fo, Pe, Ho, Re, Fr, \Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_n). \quad (9.41)$$

$Nu = \frac{\alpha l}{\lambda}$ — 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 — жараёнинг давомлилиги. Фурье мезони нотурғун иссиқлик жараёнларида температура майдонининг ўзгариш тезлиги, муҳитнинг ўлчами ва физик катталиклари ўртасидаги боғлиқликларни белгилайди.

$Pe = RePr = \frac{wl}{a} = \frac{wlc_p}{\lambda}$ — *Пекле мезони*: w — оқимнинг тезлиги;

c — солиштира иссиқлик сигими; ρ — муҳитнинг зичлиги. Пекле мезони конвектив иссиқлик алмашилиш пайтида конвекция ва

иссиқлик ўтказувчанлик усуллари ёрдамида ўтказилган иссиқлик микдорининг нисбатини ифодалайди.

$Ho = \frac{\omega \tau}{l}$ — Гомохрон мезони. Бу мезон ўхшаш окимлардаги нотургун ҳаракатнинг характерини ҳисобга олади.

$Re = \frac{\omega l \rho}{\mu} = \frac{\omega l}{\gamma}$ — Рейнольдс мезони: μ , γ — муҳитнинг динамик ва кинематик ковушоқлик коэффиценти. Рейнольдс мезони окимдаги инерция ва ишқаланиш кучининг нисбатини аниқлайди.

$Fr = \frac{\omega^2}{gl}$ — Фруд мезони: g — эркин тушиш тезланиши. Фруд мезони огирлик кучининг суюқлик ҳаракатига таъсирини ифода-лайди.

$\Gamma_1 = \frac{L_1}{L_0}$, $\Gamma_2 = \frac{L_2}{L_0}$, ..., $\Gamma_n = \frac{L_n}{L_0}$ — геометрик ўхшашлик мезонла-ри: $L_1, L_2, \dots, L_n$ — иссиқлик алмашинишда қатнашаётган девор ёки юзанинг асосий геометрик ўлчам; 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, Pe) дан ташқари гидродинамик (Ho, Re, Fr) ва геометрик ўхшашлик мезонлари ($\Gamma_1, \Gamma_2, \dots, \Gamma_n$) ҳам киради.

$Pe = Re Pr$ 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 сигими; a — температура ўтказувчанлик коэффиценти. Прандтл мезони суюқликнинг ковушоқлик ва температура ўтказувчанлик хоссаларининг нисбатини ифодалайди.

Прандтл мезонининг сон қиймати томчили суюқликлар учун $3 \div 300$ атрофида бўлади ва температуранинг кўтарилиши билан анчага камаяди. Газлар учун Pr нинг қиймати ўзгармас бўлиб, атомлар сонига боглиқ бўлади ($Pr = 0,7 \div 1$). Тахминий ҳисоблаш-лар учун Pr нинг қийматини қуйидагича олиш мумкин: бир атомли газлар 0,67; икки атомли газлар 0,72; уч атомли газлар 0,8; тўрт ва кўп атомли газлар 1,0.

Тургун иссиқлик алмашиниш жараёнларида умумий тенгла-мадан Fo ва Ho критерийлари қисқартирилади. Мажбурий ҳаракат пайтида эса огирлик кучининг оким гидродинамикасига таъсири жуда камаяди, бундай шароитда Fr критерийсини ҳам қисқарти-риш 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 даражалн шаклда ифодаланади. Масалан, диаметри d ва узунлиги l бўлган грубадаги оқимнинг ҳаракати пайтидаги иссиқлик бериш жараёни учун (9.43) тенгламасини куйидаги 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 катталиклар.

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:

$$Gr = \frac{\rho l^3}{\gamma^2} \beta \Delta t,$$

бу ерда β — ҳажмий кенгайиш коэффиценти; 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 куйидаги 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 алмашиниш жараёнининг аниқ ҳоллари ҳал қилинганда тегишли критериял тенгламалар ёрдамида Нуссельт мезонининг қиймати топилади. Сўнгра Нуссельт мезонининг тенгламаси орқали иссиқлик бериш коэффиценти α аниқланади:

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{l}.$$

9.6.5. КОНВЕКТИВ ИССИҚЛИК АЛМАШИНИШНИНГ ТАЖРИБА НАТИЖАЛАРИ

Ҳозирда конвектив иссиқлик алмашинишнинг 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 алмашилишнинг 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:

$$Nu = 0,021 e_c Re^{0,8} Pr^{0,43} \left(\frac{Pr}{Pr_s} \right)^{0,25} \quad (9.5)$$

Аниқловчи геометрик ўлчам вазифасини эквивалент диаметр бажаради, яъни:

$$l = d_s = \frac{4f}{\pi} \quad (9.46)$$

бу ерда f — оқимнинг қўндаланг кесим юзаси; π — оқим кесимининг тўла периметри.

Агар труба кесими думалок бўлса $d_s = d$. Аниқловчи температур сифатида суюқлик ёки газнинг ўртача температураси олинади.

$\left(\frac{Pr}{Pr_s} \right)^{0,25}$ ифода иссиқлик оқимининг йўналишини кўрсатади. Агар

девор ва суюқлик температуралари ўртасидаги фарқ катта бўлмаса, бу кўпайтманинг миқдори бирга яқин бўлади. Pr мезонининг қиймати ҳисоблаганда физик-кимёвий катталиклар суюқликнинг ўртача температураси бўйича олинади.

Pr_s мезонини ҳисоблаш учун суюқликнинг физик-кимёвий катталиклари деворнинг температураси бўйича олинади. e_c — тузатиш коэффициенти. Змеевиклар (эгилган трубалар) учун (9.45) тенглама бўйича ҳисобланган α нинг қиймати x коэффициентига кўпайтирилади:

$$\alpha_{3u} = x\alpha, \quad (9.47)$$

$$x = 1 + 3,54 \frac{d}{D}, \quad (9.48)$$

бу ерда x — змеевикнинг нисбий эгилиш коэффициенти; d — змеевик трубагининг ички диаметри; D — змеевик айланасининг диаметри.

Газлар учун $\frac{Pr}{Pr_s} = 1$; 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:

$$Nu = 0,018 e_c Re^{0,8} \quad (9.49)$$

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 санаи	L/d				
	10	20	30	40	50 ва ундан юн
$1 \cdot 10^4$	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 $Gr \cdot Pr < 8 \cdot 10^5$ 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:

$$Nu = 1,55 \epsilon_c (Pe \frac{d}{L})^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_s} \right)^{0,14} \quad (9.50)$$

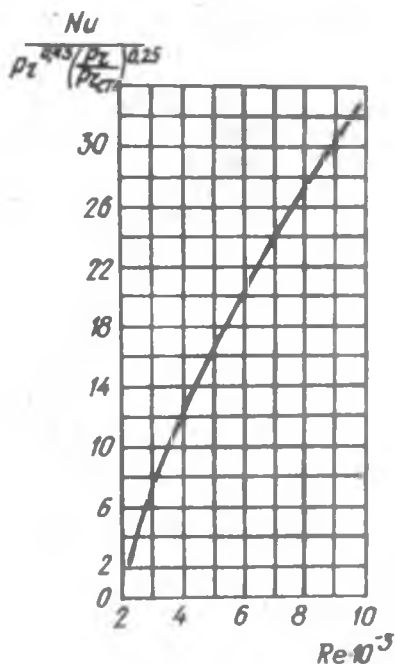
Аниқловчи температура: $t = 0,5 (t_s + t_{с.ғр.})$, бу ерда t_s деворнинг температураси, $t_{с.ғр.}$ суюқликнинг ўртача температураси.

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 $0,00067 \leq \left(\frac{\mu}{\mu_s} \right)$ 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. $GrPr < 8 \cdot 10^5$ бўлганда

$\frac{Nu}{Pr^{0,43} \left(\frac{Pr}{Pr_s} \right)}$ нинг Re критерийсидан боғлиқлиги.

$$Nu \approx 3,66 \quad (9.51)$$

б) Оралиқ режим ($2300 < Re < 10000$) учун аниқ критернал тенглама йўқ. Тахминий ҳисобларни 9.7-расмда кўрсатилган график бўйича олиб бориш мумкин.

3. $(Gr \cdot Pr) > 8 \cdot 10^5$ ва $Re < 10000$ бўлганда тўғри т_с ба ва каналларда иссиқлик бериш.

а) Трубаларнинг горизонтал жойланиши ($Re < 3500$)

$$Nu = 0,8 (Pe \frac{d}{L})^{0,4} (GrPr)^{0,1} \left(\frac{\mu}{\mu_s} \right)^{0,14} \quad (9.52)$$

(9.52) тенгламаси қуйидаги шарт-шароитлар учун келтириб чиқарилган: $20 \leq (Pe \frac{d}{L}) \leq 120$; $10^6 \leq (Gr \cdot Pr) \leq 1,3 \cdot 10^7$; $2 \leq Pr \leq 10$. Аниқловчи температура $t = 0,5(t_s + t_{сгр})$

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 ($Re > 3500$):

$$Nu = 0,022 Re^{0,8} Pr^{0,4} \left(\frac{\mu}{\mu_s} \right)^n, \quad (9.54)$$

бу ерда $n = 0,14$ — иситилган пайтда, $n = 0,25$ — совитилган пайтда.

(9.52) ва (9.54) тенгламалари тажриба натижалари асосида $(Gr \cdot Pr) < 13 \cdot 10^6$ бўлган шароит учун ишлаб чиқилган. Тахминий ҳисоблашлар учун ушбу тенгламалардан $(Gr \cdot Pr) > 13 \cdot 10^6$ бўлган пайтда ҳам фойдаланиш мумкин.

в) Эркин ва мажбурий конвекция йўналишлари бир-бирига тўғри келмаганда трубаларнинг вертикал жойланиши:

$$Nu = 0,037 Re^{0,75} Pr^{0,4} \left(\frac{\mu}{\mu_s} \right)^n, \quad (9.55)$$

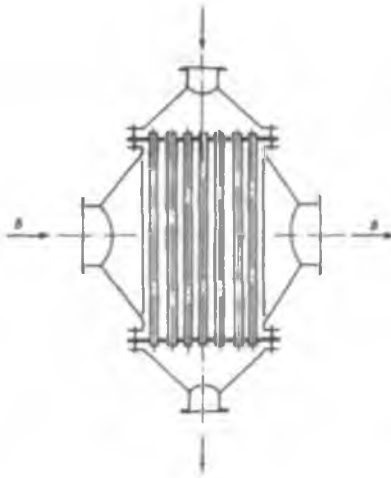
бу ерда $n = 0,11$ — иситилган пайтда, $n = 0,25$ — совитилган пайтда.

(9.55) тенгламаси $250 < Re < 10000$ ва $1,5 \cdot 10^6 < (Gr \cdot Pr) < 12 \cdot 10^6$ бўлган шароитлар учун келтириб чиқарилган. Тахминий ҳисоблашлар учун ушбу тенгламадан $(Gr \cdot Pr) > 12 \cdot 10^6$ бўлганда ҳам фойдаланиш мумкин.

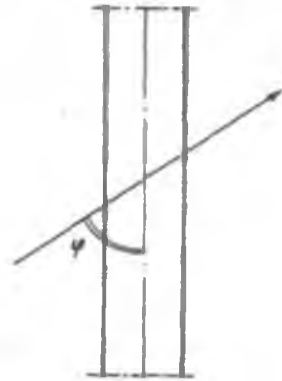
4. Текис трубалар ўрамини оқимнинг кўндаланг айланиб ўтиши пайтидаги иссиқлик бериш.

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:

$$Nu = 0,56 \epsilon_\phi Re^{0,5} Pr^{0,36} \left(\frac{Pr}{Pr_s} \right)^{0,25} \quad (9.56)$$



9.8- рисм. Суюқлик харакати бир маротаба кесишган қурилма.



9.9- расм. Оқимнинг таъсир бурчаги.

$Re > 1000$ бўлганда йўлаксимон ўрам учун:

$$Nu = 0,22 \epsilon_{\phi} Re^{0,65} Pr^{0,36} \left(\frac{Pr}{Pr_s} \right)^{0,25} \quad (9.57)$$

Шахматли ўрам учун:

$$Nu = 0,4 \epsilon_{\phi} Re^{0,6} Pr^{0,36} \left(\frac{Pr}{Pr_s} \right)^{0,25} \quad (9.58)$$

Аниқловчи температура — суюқликнинг ўртача температураси, аниқловчи ўлчам — трубаининг ташқи диаметри. Оқимнинг тезлиги куйидаги тенглама орқали аниқланади:

$$w = \frac{V}{S_{f,k}}, \quad (9.59)$$

бу ерда V — суюқлик сарфи, m^3/s ; $S_{f,k}$ — трубалар оралигидаги 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 коэффициенти 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 $Pr/Pr_d = 1$, Pr нинг қиймати эса газнинг атомлар сонига боғлиқдир. Ҳаво учун ($Re > 1000$) трубалар шахмат усулида жойлаштирилганда Nu нинг қиймати қуйидаги критериял тенглама ёрдамида ҳисобланиши мумкин:

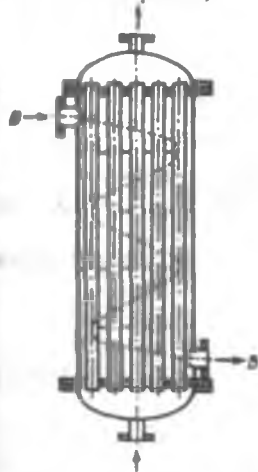
$$Nu = 0,356 \epsilon_{\phi} Re^{0,6}, \quad (9.60)$$

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.

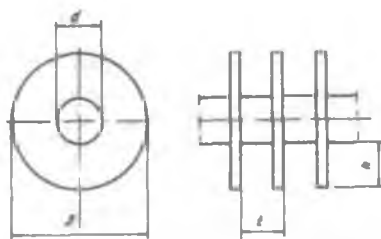
5. Кўндаланг қиррали трубалар ўрами учун оқимнинг айланиб ўтиши пайтидаги иссиқликнинг берилиши. $Re = 3000 \div 25000$ ва $3 < \frac{d}{l} < 4,8$ шароит учун ҳисоблаш тенгламаси қуйидаги кўринишга эга:

$$Nu = c \left(\frac{d}{l} \right)^{-0,54} \left(\frac{h}{l} \right)^{-0,14} Re^n Pr^{0,4}, \quad (9.61)$$

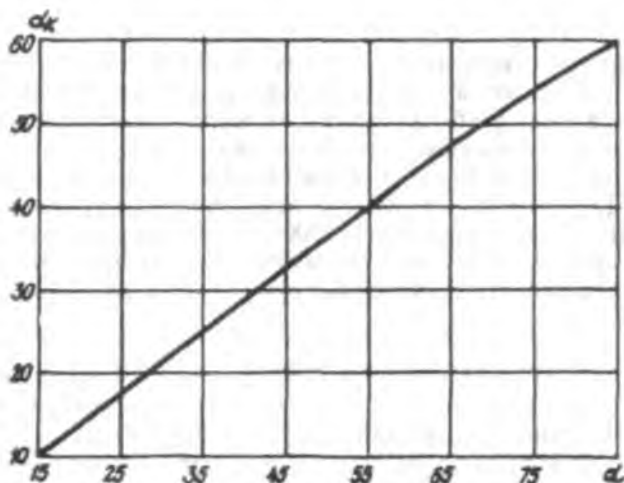
бу ерда d — трубанинг ташқи диаметри; l — қирраларнинг қадами; D — қирранинг диаметри; $h = \frac{D-d}{2}$ қирранинг баландлиги (9.11-расм).



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 — суюқликнинг 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 коэффициентини α_k аниқланади. Бунда иссиқлик ўтказиш коэффициенти K қуйидаги тенглама орқали ҳисобланади:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_k} + \frac{1}{\alpha_2} + \frac{F_r}{F_a} + \Sigma r}, \quad (9.62)$$

бу ерда F_r — қиррали труба ташқи юзаси тўла майдоннинг узунлик бирлигига нисбатан олинган қиймати; F_a труба ички юзаси майдонининг узунлик бирлигига нисбатан олинган қиймати; α_2 — трубанинг ичидан ўтаётган оқим учун иссиқлик бериш коэффициенти; Σr — девор ва девор юзаларига жойлашган ифлосликлар термик қаршилиқларининг йигиндиси.

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) $Re < 5 \cdot 10^5$

$$Nu = 0,37 Re^{0,8} Pr^{0,43} \left(\frac{Pr}{Pr_a} \right)^{0,25} \quad (9.64)$$

Аникловчи температура — суюкликнинг ўртача температураси, аникловчи ўлчам — оқим ҳаракати йўналиши бўйича юзанинг узунлиги.

Газлар учун тенглама соддалашади. Ҳаво учун (9.64) тенглама қуйидаги қўринишни эгаллайди.

$$Nu = 0,032 Re^{0,8} \quad (9.65)$$

7. Вертикал юза бўйлаб суюкликнинг 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 ($Re < 2000$):

$$Nu = 0,67 (Ga^2 Pr^3 Re)^{1/9} \quad (9.67)$$

Аникловчи температура — юпка қатламнинг ўртача температураси

$$t = 0,5(t_d + t_{с,р}).$$

(9.66) ва (9.67) тенгламаларида:

$$Nu = \frac{\alpha H}{\lambda}; \quad Ga = \frac{H^3 \rho^2 g}{\mu^2}; \quad Re = \frac{\omega d_p}{\mu} = \frac{4\Gamma}{\mu};$$

бу ерда H — юза баландлиги, м; $d_p = \frac{4f}{\Pi}$ — юпка қатламнинг эквивалент диаметри, м; f — юпка қатлам қўндаланг кесимининг юзаси, м²; Π — юпка қатлам сийпаб ўтган периметр, м; $\Gamma = \frac{G}{\pi d_n} = \frac{G}{\Pi}$ — суюкликнинг чизикли сарфи, кг/(м.с); n — труба-лар сони; G — суюкликнинг сарфи, кг/с.

$Re \leq 1500$ бўлганда юпка қатламнинг қалинлиги қуйидаги назарий тенглама орқали аниқланади:

$$\alpha = \sqrt[3]{\frac{3G\mu}{\Pi\rho^2g}} = \sqrt[3]{\frac{3\Gamma\mu}{\rho^2g}} \quad (9.68)$$

8. Суюкликларни аралаштиргичлар ёрдамида аралаштириш пайтида иссиқлик бериш. Змеевикли, қобикли ва аралаштиргичли қурилмаларда иссиқлик берилиш коэффиценти α ни қуйидаги тенглама билан аниқлаш мумкин:

$$Nu = c' R_e^m Pr^{0,33} \left(\frac{\mu}{\mu_s}\right)^{0,14} \Gamma^{-1}; \quad (9.69)$$

$$\text{бу ерда } Nu = \frac{\alpha d_s}{\lambda}; \quad Re = \frac{\rho n d_s^2}{\mu}; \quad \Gamma = \frac{D}{d_s}.$$

D — қурилма диаметри; n — аралаштиргичнинг айланишлар сони; d_a — аралаштиргич диаметри; μ — суюқликнинг қобик девори ёки змеевик температураси бўйича топилган динамик қовушоклик коэффициент; μ — ўртача температура $0,5(t_a + t_{с.гр})$ бўйича топилган динамик қовушоклик коэффициент.

Қолган физик катталиклар қурилма ичидаги суюқликнинг ўртача температураси $t_{с.гр}$ бўйича олинади. Қобикли 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 ($\Gamma=2,5 \div 4$) яхши натижалар беради.

9. Эркин конвекция пайтида иссиқлик бериш

а) горизонтал трубаларнинг ташқи томонида иссиқлик бериш ($10^3 < Gr Pr < 10^9$):

$$Nu = 0,5(Gr Pr)^{0,25} \left(\frac{Pr}{Pr_a} \right)^{0,25}; \quad (9.70)$$

б) вертикал цилиндрсимон ва текис юзаларда иссиқлик бериш ($10^3 < Gr Pr < 10^9$):

$$Nu = 0,76(Gr Pr)^{0,25} \left(\frac{Pr}{Pr_a} \right)^{0,25}; \quad (9.71)$$

в) вертикал цилиндрсимон ва текис юзалар учун ($Gr Pr > 10^9$):

$$Nu = 0,15(Gr Pr)^{0,33} \left(\frac{Pr}{Pr_a} \right)^{0,25}; \quad (9.72)$$

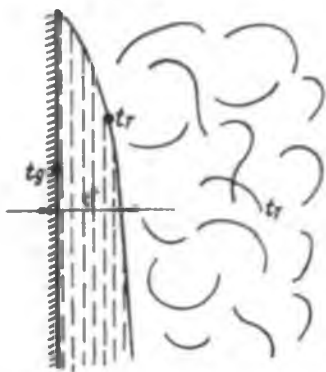
Аниқловчи температура сифатида муҳитнинг температураси ҳисобга олинади. Горизонтал трубалар учун аниқловчи ўлчам бўлиб диаметр, вертикал юзалар учун эса баландлик олинади.

9.7.5. АГРЕГАТ ҲОЛАТНИНГ ЎЗГАРИШИДА ИССИҚЛИК БЕРИШ

Айрим иссиқлик алмашиниш жараёнларида иситилаётган ёки совитилаётган материаллар ўзининг агрегат ҳолатини ўзгартиради, яъни бугланиш, 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 таркалади. Бундай жараёнларни ўрганишда агрегат ҳолатнинг ўзгариш иссиқлигини албатта ҳисобга олиш керак. Агрегат ҳолатнинг ўзгариши билан борадиган жараёнларни ҳисоблаш учун конвектив иссиқлик белгиловчи қўшимча мезон киритилади.

Агрегат ҳолатнинг ўзгариши билан борадиган жараёнлар ичида бугнинг конденсацияланиши ва суюқликларнинг қайнашидаги иссиқлик бериш кенг ишлатилади.

Бугнинг конденсацияланиши. Кимёвий қурилмаларда буг оркали иссиқлик беришда буг юпка қатлам ҳолида конденсланади. Бугнинг конденсацияланиши вақтида асосий термик қаршилиқ конденсатнинг юпка қатламида юз беради. Юпка қатламининг девор томондаги температураси t_3 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.



9.13- расм. Конденсатнинг юпка қатламнда температуранинг таксимланиши.

Конденсат юпка қатламининг режими Рейнольдс сонига боғлиқ: бугнинг конденсланишида иссиқлик бериш тезлигига конденсатнинг физик хоссалари (зичлик, қовушқоқлик, 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 $Ga = \frac{gt^3\rho^2}{\mu^2}$ — Галилей мезони;

$Pr = c\rho/\lambda$ — 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 $t_{sp} = \frac{t_r + t_3}{2}$ бўйича топилади.

Конденсацияланиш иссиқлиги тўйиниш температураси t_r га қараб аниқланади. Температуралар фарқи $\Delta t = t_r - t_3$. H — вертикал юзанинг баландлиги, r — конденсацияланиш температураси бўйича фазавий ўзгариш иссиқлиги.

Битта горизонтал трубанинг ташки юзасида бугнинг конденсацияланиши учун қуйидаги тенгламадан фойдаланиш мумкин:

$$\alpha = 0,728 \sqrt{\frac{\lambda p^2 r g}{\mu \Delta t d}}, \quad (9.75)$$

бу ерда d — труба диаметри.

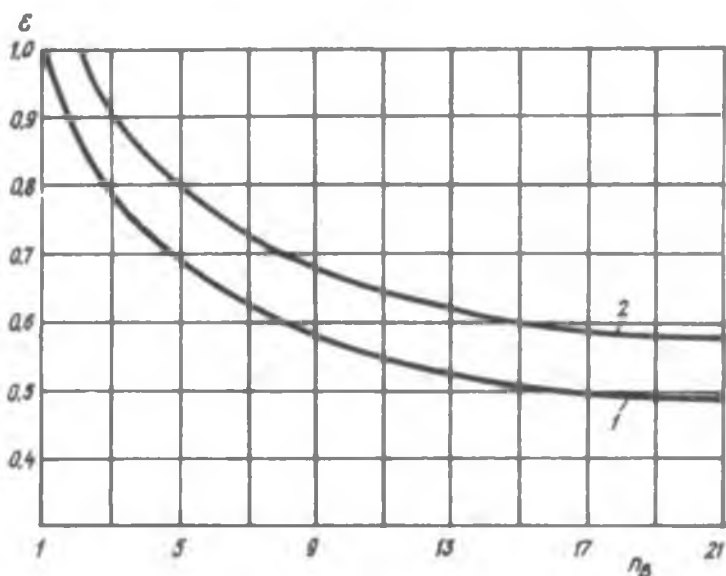
Техник ҳисоблашларда, агар иссиқлик беришнинг иккинчи коэффициентни анча кичик қийматга эга бўлса, конденсацияланаётган сув буги учун иссиқлик бериш коэффициентининг қийматини тахминан қуйидаги интервалда олиш мумкин:

$$\alpha_{\text{қийд}} = 10000 \div 12000 \text{ Вт/м}^2 \text{ К}.$$

Горизонтал трубалар ўрамининг ташки юзасида конденсацияланган буг пастки трубаларга тушган сари конденсат қатламининг қалинлиги катталашиб боради. Шу сабабли пастки трубалар учун иссиқлик бериш коэффициенти камайиб кетади. Трубалар ўрами учун ўртача иссиқлик бериш коэффициенти қуйидагича топилади:

$$\alpha_s = \epsilon \alpha, \quad (9.76)$$

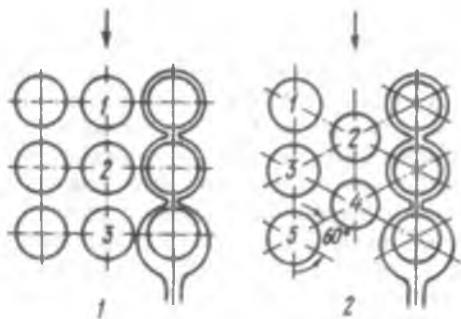
бу ерда α — алоҳида олинган горизонтал труба учун (9.75) тенглама бўйича ҳисобланган иссиқлик бериш коэффициенти; ϵ — трубаларнинг ўрамда жойлашувига ва уларнинг сонига боғлиқ



9.14- рисм. Коэффициент ϵ нинг вертикал бўйича олинган трубалар сони n дан боғлиқлиги:

1 — бўйича жойлаштириш; 2 — шахмат тартибда жойлаштириш.

9.15-рисм. Йўлакчи (1) ва шахмат тартибида (2) жойлашган горизонтал ўрамларда λ_n ни аниқлаш.



бўлган коэффициент, унинг қиймати 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 киздирилганда девор яқинидаги чегара қатлам 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 қobili-ятига боғлиқ. Буг пуфакчалари маълум ўлчамга эга бўлгандан сўнг қайнаётган суюқликнинг юзасига чиқади. Пуфакчалар кўтарилаётганда унинг ичидаги суюқлик бугланади, натижада пуфакчаларнинг ҳажми катталашиб боради. Шундай қилиб, суюқлик қайнашидаги иссиқликнинг берилиши икки қисмдан иборат бўлади: иссиқликнинг девор орқали суюқликка берилиши, пуфакчаларнинг ички юзасидан бугланиш 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 қаттиқ юзадаги гадир-будирликлар, ифлосланган заррачалар ва шу кабилар ўтайди. Иситиш юзасидан ажралиб чиқаётган пайтдаги буг пуфакчаларининг ўлчами d_0 қуйидаги тенгламадан топилади:

$$d_0 = 0,02\theta \sqrt{\frac{\delta}{\gamma \gamma_A}}, \quad (9.77)$$

бу ерда δ — суюқликнинг сирт таранглиги, Н/м; γ — суюқликнинг солиштирма огирлиги, Н/м³; γ_A — бугнинг солиштирма огирлиги, 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 $2 \div 3$ мм га тенг экан.

Суюқликнинг қайнаши икки хил режимда бориши мумкин (пуфакли қайнаш, юпка қатлам билан қайнаш). Пуфакли қайнаш пайтида иссиқлик бериш тезлиги анча юкори бўлади. Температуралар фарқи $\Delta T (\Delta T = t_g - t_k; \text{бу ерда } t_g \text{ — иситиш юзасининг температураси, } t_k \text{ — суюқликнинг қайнаш температураси})$ ортиб борган сари бугланиш марказлари шундай кўпайиб кетадики, оқибатда пуфакчаларнинг ўзаро қўшилиб кетиши натижасида иситиш юзасининг усти киздирилган 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 нуктага α ва q нинг критик қийматлари мос келади. Масалан, сув учун: $q_{кр} = 1,16 \cdot 10^6 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}); \alpha = 4,6 \cdot 10^4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Одатда деворни ўта исишдан 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 буглатиш учун $q = 9,4 \cdot 10^4 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ дан ортиқ бўлмаган солиштирма иссиқликни сарфлаш керак.

Катта ҳажмда эркин конвекция билан пуфакли қайнаш режими учун иситиш юзасини намловчи суюқликларда α нинг қиймати қуйидаги тенгламалардан топилади:

$$\alpha = Aq^{0,7} \quad (9.78)$$

$$\begin{array}{l} \text{ёки} \\ \text{бу ерда} \end{array} \quad \alpha = A^{3,33} \cdot \Delta t^{2,33} \quad (9.79)$$

$$A = 7,77 \cdot 10^{-2} \left(\frac{\rho_n r}{\rho - \rho_n} \right)^{0,033} \cdot \left(\frac{\rho}{\sigma} \right)^{0,333} \cdot \frac{\lambda^{0,75}}{\mu^{0,45} \epsilon^{0,117} t_r^{0,37}} \quad (9.80)$$

бунда ρ_n — бугнинг зичлиги, $\text{кг}/\text{м}^3$; r — буг ҳосил бўлиш иссиқлиги, $\text{Ж}/\text{кг}$; t_r — тўйиниш температураси, К ; ρ , σ , μ ва ϵ суюқликнинг физик-кимёвий катталиклари.

Сув учун (9.78) ва (9.79) тенгламалар анча соддалашади:

$$\alpha = 0,56 q^{0,7} \cdot P^{0,15} \quad (9.81)$$

$$\begin{array}{l} \text{ёки} \\ \text{бу ерда } P \text{ — босим, Н}/\text{м}^2 \end{array} \quad \alpha = 0,145 \cdot \Delta t^{2,33} \cdot P^{0,5} \quad (9.82)$$

9.8.5. ДОНАДОР МАТЕРИАЛЛАР ҚАТЛАМИДА ИССИҚЛИКНИНГ ТАРҚАЛИШИ

Донадор қаттиқ материаллар ва газ оқими ўртасида иссиқликнинг тарқалиш жараёни кимё саноатининг айрим тармоқларида кенг ишлатилади.

Қўзғалмас донатор қатламда иссиқликнинг берилиши. Донадор қатлам (насадка) орқали иссиқлик ташувчи агентнинг ўтиш

найтидаги иссиқликнинг берилиши жуда мураккаб жараён бўлиб, унинг тезлиги қаттиқ материал доналарининг шакли ва ўлчамига, насадканинг материали, қатламнинг говаклиги, газнинг температураси ҳамда хоссалари ва шу каби катталикларга боғлиқ.

Иссиқлик ўтказувчанлиги кичик бўлган [$\lambda = 0,13 \div 1,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$] қўзғалмас насадка орқали тургун 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 $Nu = \frac{ad_s}{\lambda}$; $Re = \frac{wd_s}{\mu}$; $W = w_0 \rho$; d_s — насадканинг эквивалент диаметри; ρ , μ , λ — газнинг физик катталиклари; W — газнинг массавий тезлиги; w_0 — газ оқимининг мавҳум тезлиги.

Катта иссиқлик ўтказувчанликка эга бўлган [$\lambda_n = 37 \div 383 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$] металл насадкалар учун газ оқимининг тургун 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 катта бўлганлиги сабабли донатор материалнинг мавҳум қайнаш қатламида иссиқлик катта тезлик билан тарқалади. Иссиқликнинг тарқалишида қатнашаётган юзани ҳамда қаттиқ модда ва газ (ёки суюқлик) температуралари ўртасидаги ҳақиқий фаркни 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 алмашиниш йўли билан берилиши, қаттиқ заррачалар ичида иссиқликнинг иссиқлик ўтказувчанлик йўли билан тарқалиши. Газ ва қаттиқ заррачалар температуралари орасидаги фарк жуда кичик бўлганлиги сабабли нурланиш 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 фарк.

Газ оқимидан мавҳум қайнаш ҳолатидаги қаттиқ заррачаларга (ёки аксинча) иссиқлик бериш коэффициенти α Рейнольдс мезонининг қийматига, муҳитнинг физик хоссаларига, қаттиқ заррачаларнинг ўлчамига ва системанинг геометрик ўлчамига боғлиқ. Тахминий ҳисоблашлар учун қуйидаги тенгламалар таклиф этилган:

$$Re < 200, Nu = 1,6 \cdot 10^{-2} \left(\frac{Re}{\epsilon} \right)^{1/3} Pr^{1/3}. \quad (9.86)$$

$$Re \geq 200, Nu = 0,4 \left(\frac{Re}{\epsilon} \right)^{2/3} Pr^{1/3}. \quad (9.87)$$

бу ерда $Nu = \frac{\alpha \cdot d}{\lambda}$; $Re = \frac{w_0 d \rho}{\epsilon \mu}$; d — каттик заррачаларнинг диаметри; ϵ — қатламнинг говаклилиги; ρ , μ , λ — газ (ёки суюқлик) нинг физик хоссалари.

9.9.5. ИССИКЛИК ЎТИШИ

Иссиқлик алмашилиш жараёнида иссиқлик бир муҳитдан иккинчисига ўтади. Кўпинча иссиқлик элтикичлар бир-биридан девор орқали (қурилманинг, трубанинг девори ва ҳоказо) ажратилган бўлади. Температураси юқори бўлган муҳитдан температураси паст бўлган муҳитга бирор девор орқали иссиқликнинг берилиши *иссиқлик ўтиши* деб аталади. Бунда берилган иссиқликнинг миқдори Q иссиқлик ўтказишнинг асосий тенгламаси орқали топилади:

$$Q = K \Delta t_{sp} F \tau. \quad (9.88)$$

бу ерда K — иссиқлик ўтказиш коэффициенти; Δt_{sp} — иссиқ ва совуқ муҳит температураларининг ўртача фарқи; F — муҳитларни ажратувчи девор юзаси; τ — жараёнинг давомлилиги.

Ўзлуксиз ишлайдиган тургун жараёнлар учун (9.88) тенгламадаги τ ҳисобга олинмайди. У ҳолда:

$$Q = K \Delta t_{sp} F. \quad (9.89)$$

(9.88) тенгламадаги K — иссиқликнинг биринчи муҳит марказидан ажратувчи деворга иссиқлик бериш, девор орқали иссиқлик ўтказувчанлик ва девор юзасидан иккинчи муҳит марказига иссиқлик бериш йўллари орқали ўтиш тезлигини белгиловчи коэффициент.

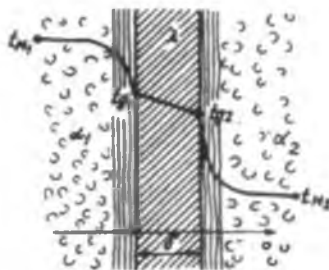
K нинг қийматини топиш учун иссиқ муҳитдан совуқ муҳитга текис девор орқали иссиқликнинг ўтиш жараёнини кўриб чиқамиз (9.16-расм).

Тургун жараён учун биринчи муҳит марказидан деворга берилган, девордан ўтган ва девордан иккинчи муҳит марказига берилган иссиқликнинг миқдори ўзаро тенг, яъни:

$$\left. \begin{aligned} Q &= \alpha_1 (t_{u1} - t_{a1}) F \\ Q &= \frac{\lambda}{\delta} (t_{a1} - t_{a2}) F \\ Q &= \alpha_2 (t_{a2} - t_{u2}) F \end{aligned} \right\} \quad (9.90)$$

(9.90) ифодалардан қуйидагиларни олиш мумкин:

$$\left. \begin{aligned} t_{w1} - t_{a1} &= \frac{1}{\alpha_1} \cdot \frac{Q}{F} \\ t_{a1} - t_{a2} &= \frac{\delta}{\lambda} \cdot \frac{Q}{F} \\ t_{a2} - t_{w2} &= \frac{1}{\alpha_2} \cdot \frac{Q}{F} \end{aligned} \right\} \quad (9.91)$$



(9.91) тенгламаларнинг чап ва ўнг томонларини ўзаро қўшамиз:

$$t_{w1} - t_{w2} = \frac{Q}{F} \left(\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2} \right) \quad (9.92)$$

9.16-расм. Иссиқ мухитдан со-
нуқ мухитга текис девор орқали
иссиқликнинг ўтиш жараёни
схемаси.

ёки

$$Q = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} F(t_{w1} - t_{w2}) \quad (9.93)$$

(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 тескари 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:

$$K = \left[\frac{Q}{F \Delta t_{\text{ср.т}}} \right] = \left[\frac{\text{Ж}}{\text{м}^2 \cdot \text{град} \cdot \text{с}} \right] = \left[\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}} \right].$$

Шундай қилиб, иссиқлик ўтказиш коэффициенти K температу-
раси юқори бўлган мухитдан температураси паст бўлган мухитга
вақт бирлиги ичида ажратувчи деворнинг 1 м^2 юзасидан мухитлар
температуралари фарқи 1 градус бўлганда ўтказилган иссиқ-
ликнинг миқдорини билдиради.

Кўп 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 принципаал схемаси 9.4-расмда кўрсатилган. Труба ичида температураси t_1 бўлган иссиқ муҳит бўлиб, ундан иссиқлик трубанинг ички юзасига берилади. Труба ташқарисида температураси t_2 бўлган совуқ муҳит бор. Труба ташқи юзасидан совуқ муҳитга иссиқликнинг берилиши α билан ифодаланади. Трубанинг баландлигини L , ички радиусини $r_{вн}$, ташқи радиусини эса r_1 билан белгилаймиз. Цилиндрсимон юзадан ўтказилган иссиқлик миқдори қуйидаги тенглама орқали топилади:

$$Q = K_R 2\pi L (t_1 - t_2). \quad (9.97)$$

K_R нинг қиймати эса ушбу тенглама билан ҳисобланади:

$$K_R = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{вн} r_{вн}} + \frac{1}{\lambda} 2.31g \frac{r_1}{r_{вн}} + \frac{1}{\alpha_1 r_1}} \quad (9.98)$$

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. Юпка 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

Муҳитлар температураси ўртасида бирор фарқ бўлгандагина иссиқлик температураси юқори бўлган муҳитдан температураси паст бўлган муҳитга ўтади. Бундай температуралар фарқи

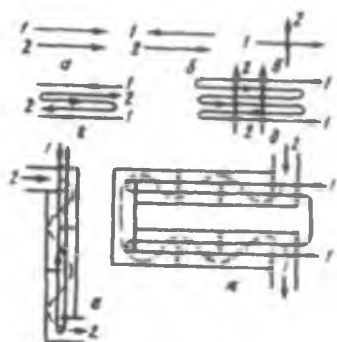
иссиқлик алмашиниш юзаси бўйлаб ўзгаради, яъни улар бир хил қийматга эга бўлмайди. Шу сабабли иссиқлик алмашиниш жараёнларини ҳисоблашда ўртача температуралар фарқи $\Delta t_{\text{ср}}$ деган тушунча ишлатилади. Мухитнинг ўртача температуралар фарқи иссиқлик алмашиниш жараёнининг ҳаракатлантирувчи кучи деб юритилади.

Суюқлик температурасининг иссиқлик алмашиниш юзаси бўйича ўзгариши муҳитнинг 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. Бун-

дан ташқари амалда иссиқлик ташувчи агентларнинг анча мураккаб схемалари ҳам учрайди (9.17-расм, г-ж).

Иссиқлик элтиқчиларнинг йўналиши бир ёки қарама-қарши томонга йўналган бўлганда (9.18-расм), ўртача температуралар фарқи қуйидаги тенглама билан топилади:

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{\Delta t_{\text{ка}} - \Delta t_{\text{кн}}}{2,3 \lg \frac{\Delta t_{\text{ка}}}{\Delta t_{\text{кн}}}} \quad (9.99)$$



9.17-расм. Иссиқлик алмашиниш қурилмаларида иссиқлик ташувчи агентларнинг йўналиши:

а) бир ала; б) қарама-қарши; в) ўзаро кесишган; г) аралашган; д, е) қўп поғоналилар томонлама; ж) қўп илтифати бир томонлама; 1, 2 — иссиқлик ташувчи агентлар.

9.3-жадвал

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 Сувнинг қайнаши Сув бугининг конденсланиши	350—900 2000—2400 9000—15000
Сувнинг трубани кўнда-ланг кесиб ўтган ҳаракати	3000—10 000	Органик суюқликни иситиш ва совитиш	140—400
Ҳаво (газ)нинг труба ўқи бўйлаб ҳаракати	50—150	Органик суюқликнинг қайнаши	300—3500
Ҳаво (газ)нинг трубани кўндаланг кесиб ўтган ҳаракати	100—300	Органик суюқлик бугининг конденсланиши	230—3000
Труба ўқи бўйлаб ламинар ҳаракатда: сув учун ҳаво учун	300—430 10—20		

Иссиқлик алмашишнинг тури ва муҳит	K, Вт/м²·К	
	мажбурий ҳаракат	эркин ҳаракат
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 қовушоқли суюқликка	—	300—500

бу ерда $\Delta t_{\text{кн}}$ ва $\Delta t_{\text{кс}}$ — иссиқлик алмашишнинг қурилмасининг четларидаги температуранинг катта ва кичик фарқи. Температура фарқи қуйидаги формула ёрдамида аниқланади:

$$\Delta t_{\text{кн}} = t_1 - t_2; \quad \Delta t_{\text{кс}} = t_1' - t_2'$$

ёки

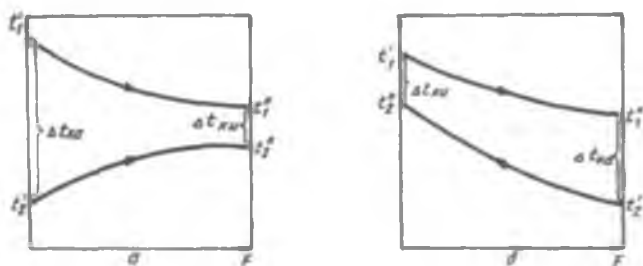
$$\Delta t_{\text{кн}} = t_1' - t_2; \quad \Delta t_{\text{кс}} = t_1 - t_2'$$

Агар $\Delta t_{\text{кн}}/\Delta t_{\text{кс}} < 2$ бўлса, ўртача температуралар фарқи қуйидаги тенглама билан топилади:

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{\Delta t_{\text{кн}} + \Delta t_{\text{кс}}}{2} \quad (9.100)$$

Бундай ҳисоблашда хатолик 4 % дан ортмайди. (9.99) тенгламадан кўриниб турибдики, агар $\Delta t_{\text{кн}} = 0$ ва $\Delta t_{\text{кс}} = 0$ бўлса, унда $\Delta t_{\text{ср}} = 0$; агар $\Delta t_{\text{кн}} = \Delta t_{\text{кс}}$ бўлса;

$$\Delta t_{\text{ср}} = \Delta t_{\text{кн}} = \Delta t_{\text{кс}}.$$



9.18-рasm. Иссиқлик ташувчи агентлар температурасининг юза бўйича ўзгариши:

а) бир томон йўналишда; б) қарам-қарши йўналишда

Агар иссиқлик ташувчи агентлардан бирининг температураси юза бўйича ўзгармаса (тўйинган бугнинг конденсацияланиши, суюқликнинг қайнаши), бундай шаронгда Δt_{fp} нинг қиймати (9.99) ёки (9.100) тенгламалар бўйича ҳисобланади.

Агар иссиқлик элткичларнинг йўналиши ўзаро кесишса, ўртача температуралар фарқи қуйидаги тенглама билан топилади:

$$\Delta t_{fp} = \epsilon \Delta t \frac{\Delta t_{sa} - \Delta t_{sn}}{2.31g \frac{\Delta t_{sa}}{\Delta t_{sn}}}, \quad (9.101)$$

бу ерда $\epsilon \Delta t$ — муҳитнинг температуралари нисбатига боғлиқ бўлган коэффицент. Бу коэффицентнинг қиймати тегишли адабиётларда келтирилади.

9.12-§. ИССИҚЛИК ЎТҚАЗИШ ЖАРАЁНЛАРИНИ ТЕЗЛАШТИРИШ

Кимё 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 камайитиришга олиб келади. Бу эса ўз навбатида иссиқлик қурилмаларини ишлатиш ва уларни созлаш учун кетаётган сарфни камайтиради, битта ишчига тўғри келадиган маҳсулот миқдорини оширади ва ҳоказо. Иссиқлик жараёнлари тезлатилганда материални иситиш учун кетган вақт камаёди, бу ҳол эса маҳсулот сифатини пасайитиришга олиб келмаслиги лозим.

Текис девор учун иссиқлик ўтқазиш коэффицентини топишдаги қуйидаги тенгламани таҳлил қилиб кўрамиз:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

Деворнинг термик қаршилигини камайитириш учун девор қалинлиги δ ни камайитириш ва девор материалининг иссиқлик ўтқазувчанлик коэффиценти δ ни кўпайитириш керак. Конвектив иссиқлик алмашинишни (α_1 ва α_2) тезлаштириш учун суюқликни

аралаштириш ва оқимнинг тезлигини ошириш зарур. Агар иссиқлик нурланиш орқали таркалаётган бўлса, нур чиқараётган юзанинг коралилик 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 алмашиниш 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 олиниши шарт. Ишлаб чиқариш шароитида қурилма деворлари турли ифлосликлар билан қопланиб қолади. Бу деворнинг термик қаршилигини анча кўпайтиради. Масалан, сувнинг қаттиқлиги ҳисобиغا 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 қолишидан сақлаш зарур.

Иссиқлик алмашиниш 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 юпка қатлами ҳаракатини ташкил қилиш; 5) қаттиқ материалларнинг донадор қатламидаги иссиқлик алмашинишда қатламни мавҳум қайнаш ҳолатига келтириш; 6) турбулизаторлар ёрдамида оқимнинг таркибини ўзгартириш ва бошқалар. Ҳар бир шароит учун тезлаштиришнинг тегишли усулидан фойдаланиш мақсадга мувофиқ.

ТАКРОРЛАШ ВА МУСТАКИЛ ИШЛАШ УЧУН САВОЛЛАР

- 9.1. Иссиқлик алмашиниш жараёнларининг кимёвий технологиядаги аҳамияти. Иссиқлик тарқалишининг неча принципаал тури мавжуд?
- 9.2. Иссиқлик элткичларнинг агрегат ҳолати ўзгармаган ва ўзгарган пайтдаги иссиқлик баланси тенгламалари қандай тузилади?
- 9.3. Иссиқлик ўтказувчанлик. Фурье қонуни. Иссиқлик ўтказувчанлигининг дифференциал тенгламаси.
- 9.4. Иссиқликнинг нурланиши. 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. Донадор материалларнинг қўзғалмас ва мавҳум қайнаш қатламидаги иссиқлик беришни қандай ҳисоблаш мумкин?
- 9.9. Иссиқлик ўтказишнинг асосий тенгламаси. Иссиқлик ўтказиш коэффициентининг мазмуни нимадан иборат?
- 9.10. Цилиндрсимон юзадан 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 ТУШУНЧАЛАР

Кимё саноатида суюқлик ва газларни иситиш ва совитиш, бугларни 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 қўпинча 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 буги, иссиқ сув ва юқори температурали иссиқлик ташувчи моддалар

(киздирилган сув, минерал мойлар, органик суюқликлар ва уларнинг буглари, сукултирилган 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) ковшоқлиги кам, зичлик, иссиқлик сизими 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.

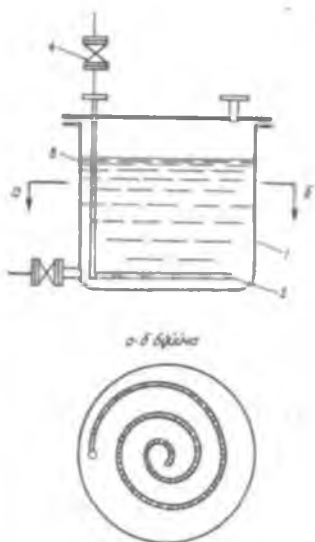
Қўпчилик шароитларда иситувчи агентлар сифатида ишлаб чиқаришдан чиқаётган маҳсулотлар, ярим маҳсулотлар ва чиқиндиларнинг иссиқликларидан фойдаланиш иқтисодий жиҳатдан мақсадга мувофиқдир.

10.2-§. СУВ БУГИ 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/(м²·К). Натижада иситиш учун жуда кам юза талаб қилинади.

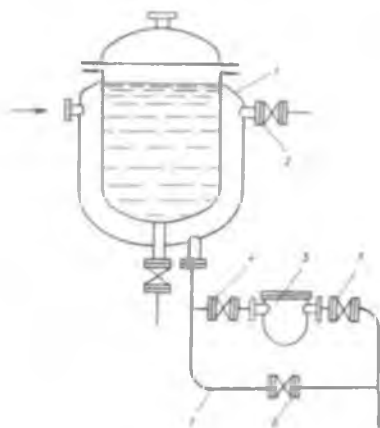
Тўйинган сув буги маълум бир босимда бир хил температурада конденсацияланади, бу унинг катта афзаллиги ҳисобланади. Натижада тегишли иситиш температурасини жуда аниқ ушлаб туриш имконияти пайдо бўлади. Керак бўлган шароитда бугнинг босимини ўзгартириш йўли билан иситиш даражасини бошқариш мумкин. Буг 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 гешиклари бўлган труба) орқали сув буги юборилади (10.1- расм). Ўткир буг билан иситиш жараёнида иситилаётган суюқлик конденсат



10.1- расмди. Уткир буг билан иситиш:

1 — резервуар; 2 — барбитёр; 3 — буг кирувчи труба; 4 — пентиль



10.2- расм. Кучсиз буг билан иситиш:

1 — иситувчи қобби; 2 — ҳаво чиқариш учун пентиль; 3 — сиз ажратишчи; 4, 5, 6 — пентиллар; 7 — дистанция линии

ҳисобига анча сукултирилади. Шу сабабли одатда ўткир буг сув ва сувли эритмаларни иситиш учун ишлатилади.

Суюқликларни иситиш учун керак бўлган ўткир бугнинг сарфи қуйидаги иссиқлик баланси орқали топилади:

$$Gct_1 + DJ_6 = Gct_2 + Dc_{\kappa}t_2 + Q_{\kappa} \quad (10.1)$$

бу ерда G — иситилаётган суюқлик миқдори, кг/с; D — иситувчи бугнинг сарфи, кг/с; c — иситилаётган суюқликнинг ўртача солиштира иссиқлик сигими, Ж/(кг·К); t_1 , t_2 — суюқликнинг иситишдан олдинги ва кейинги температуралари, К; J_6 — иситувчи бугнинг солиштира энтальпияси (иссиқлик ушлаши), Ж/кг; c_{κ} — конденсатнинг солиштира иссиқлик сигими, Ж/(кг·К); Q_{κ} — қурилманинг атроф муҳитга йўқотган иссиқлиги, Вт (сарф бўлган иссиқликнинг 3 ÷ 5 % ни ташкил этади).

Бундан ўткир бугнинг сарфи:

$$D = \frac{Gc(t_2 - t_1) + Q_{\kappa}}{J_6 - c_{\kappa}t_2} \quad (10.2)$$

Кучсиз буг билан иситиш. Бунда иссиқлик бугдан суюқликка бирор ажратувчи девор (масалан, қобикли ва эмеевикли 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 қуйидаги иссиқлик балансидан топилади:

$$Gct_1 + DJ_6 = Gct_2 + DJ_k + Q_a \quad (10.3)$$

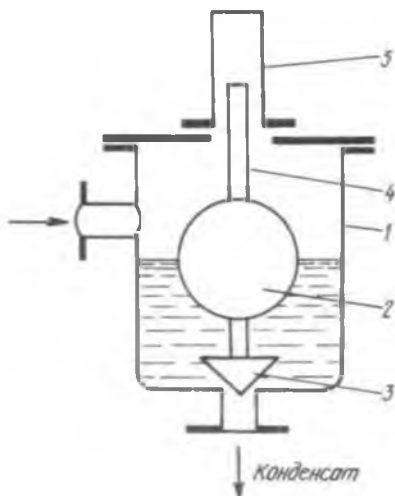
ёки

$$D = \frac{Gc(t_2 - t_1) + Q_a}{J_6 - J_k} \quad (10.2)$$

бу ерда J_k — конденсат энтальпияси, Ж/кг.

Иситиш бўшлиғида буг ушланиб қолган ҳолатда конденсатни чиқариш учун конденсат узатувчилар (ёки сув ажратгичлар) ишлатилади. Конденсат узатувчилар ёпик ва очик қалқовичли, биметалл текис пружинали бўлиши мумкин. Бундан ташқари, конденсат узатувчилар сифатида махсус шайба ва фильтрлар ҳам ишлатилади. 10.3-расмда ёпик қалқовичли конденсат узатувчининг схемаси берилган.

Ёпик қалқовичли конденсат узатувчилар бугнинг абсолют босими 1 мПа дан юқори бўлганда ишлатилади. Қурилманинг ичига конденсат кирганида қалқович юқорига силжийди, бу

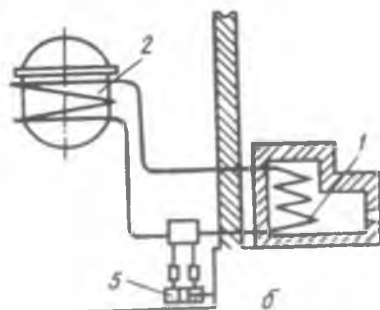
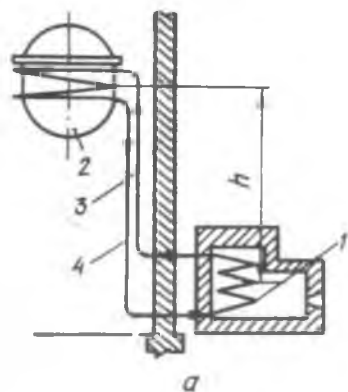


10.3- расм. Ёпик қалқовичли конденсат узаткич:

1 — қобик, 2 — дилқович, 3 — алапин, 4 — стержень, 5 — йфнлатирувчи ставан

10.4- расм. Суюқ иссиқлик та шувчи агентлар ёрдамида иситиш қурилмаси:

а) табиий циркуляция; б) мажбурий циркуляция. 1 — элмичик; 2 — иссиқлик сарфлай диган аппарат, 3, 4 — қутариш ва тушириш трубалари; 5 — циркуляция насос



пайтда клапан очилиб конденсат чиқарилади. Конденсат чиқиб бўлгандан сўнг калкович пастга тушади ва клапан чиқариш тешигини беркитади. Калковичнинг вертикал ҳолати стержень ва йўналтирувчи стакан ёрдамида ушлаб турилади. Агар конденсат маълум меъёрдаги 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) йигилиб қолади. Бундай газлар одатда сув буги билан бирга қурилманинг иситиш бўшлигига кириб қолади. Газларнинг йигилиб қолиши бугнинг конденсацияланиши пайтидаги иссиқлик бериш коэффициенти кескин камайтириб юборади. Шу сабабли иситиш бўшлигида йигилиб 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 коэффициенти нисбатан анча кам. Иссиқлик алмашилиш юзаси 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 тошган. Змеевик ўтхонада ёки қилиннинг 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 трубази оркали ўтхонада жойлашган эмевиikka 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 юқorigа кўтариш керак эмас. Бу қурилмада битта ўтхона бир неча қурилмани иссиқлик билан таъминлаши мумкин. Бирок циркуляция учун насоснинг ишлатилиши қурилмани ва уни ишлатишни қимматлаштиради.

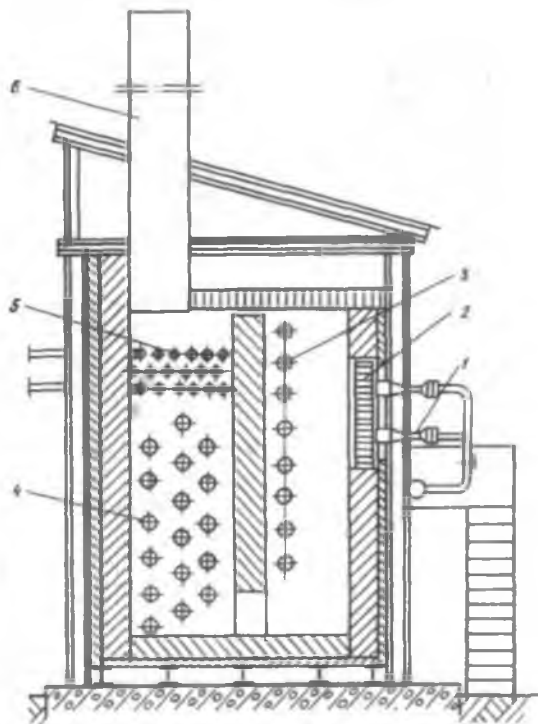
10.4-§. ТУТУН ГАЗЛАРИ БИЛАН ИСИТИШ

Тутун газлари билан иситиш кимё саноатида ишлатилиб келинаётган энг эски усуллардан бири ҳисобланади. Тутун газлари суюқ, каттик ва газсимон ёкилгиларнинг ёнишидан ҳосил бўлади. Буларнинг ичида табиий газлар энг арзон ва самарали ёнилгидир. 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 коэффициент кичик ($35 \div 60 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$) дан кўп эмас); иситиш юзалари ифлосланиши мумкин; солиштира 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 ўтхоналарда олиб борилади. 10.5-расмда газсимон ёқилги билан ишлайдиган трубали 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 кирази, 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 туларок фойдаланиш мақсадида қўшимча иссиқлик алмашиниш қурилмалари (масалан, змеевикли қиздиргич) ўрнатилади.



10.5-расм. Газсимон ёқилги билан ишлайдиган трубали ўтхона:

1 — сопло, 2 — ўтга чидамли говаксимон панель, 3 — радиант қисм (змеевик), 4 — конвектив қисм (змеевик), 5 — қиздиргич, 6 — тутунли газ чиқувчи труба

Тутун газлари билан иситишда ёқилгининг сарфи иссиқлик баланси тенгламаси орқали топилади: агар газ ҳолидаги ёқилгининг сарфини B , тутун газларининг иссиқлик қурилмасига киришидаги энтальпиясини I_1 ва қурилмадан чиқишдаги энтальпиясини I_2 деб олинса, у ҳолда иссиқлик баланси тенгламаси қуйидаги кўринишда бўлади:

$$B = (I_1 - I_2) = Gc(t_2 - t_1) + Q_{\text{в}} \quad (10.5)$$

Бундан:

$$B = \frac{G(t_2 - t_1) + Q_a}{J_1 - J_2} \quad (10.6)$$

бу ерда G — иситилаётган муҳитнинг сарфи; c — иситилаётган муҳитнинг ўртача солиштирма иссиқлик сигими; t_1 ва t_2 — иситилаётган муҳитнинг бошланғич ва охири температуралари; Q_a — атроф муҳитга иссиқликнинг йўқотилиши. Q_a нинг таркибига газларнинг кимёвий тўла ёнмаслиги, уларнинг диссоцияланиши ҳамда каттик ёкилгининг тўла ёнмаслиги сабабли йўқолган иссиқлик сарфлари ҳам кириди.

10.5-§. ЮКОРИ ТЕМПЕРАТУРАЛИ МОДДАЛАР БИЛАН ИСИТИШ

Кимё саноатида кўпинча иситиш жараёнлари юкори температурали иссиқлик ташувчи агентлар ёрдамида олиб борилади. Юкори температурали иссиқлик ташувчи моддалар (ўта қиздирилган сув, минерал ёғлар, юкори 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 юкори босим ишлатиш шарт эмас. Минерал мойлар ёрдамида материалларни энг кўпи билан 250—300°C температурагача иситиш мумкин.

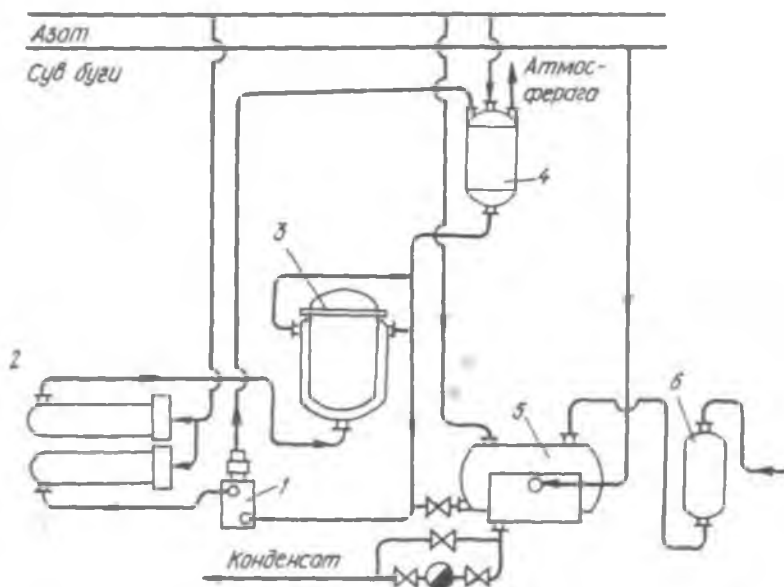
Минерал мойлар энг арзон органик суюқликлар. Аммо улар ҳам қатор камчиликларга эга: иссиқлик бериш коэффициенти кичик, иссиқлик алмашилиш юзасида ифлосланишлар пайдо бўлади, юкори температурада мойлар оксидланиши мумкин. Иситиш қурилмаси етарли даражада яхши ишлаши учун мой ва иситилаётган маҳсулот температураси орасидаги фарк кам билан 15—20°C бўлиши шарт. Шу сабабли ҳозирги кунда минерал мойлар билан иситиш жуда кам ишлатилади.

Юкори 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 кириди.

Кимё саноатида 26,5 % дифенил ва 73,5 % дифенил эфирдан таркиб топган дифенил аралашмаси кенг ишлатилади. Бу аралашма қуйидаги 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 юкори 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 юкори температурага-ча қиздириш учун катта босимга мосланган эмеєвиклар ўрнига оддий қобикли иссиқлик алмашиниш қурилмаларини ишлатиш мумкин. Дифенил аралашмаси бошқа органик иссиқлик ташувчи агентлар каби айрим камчиликларга эга: аралашманинг буг ҳосил қилиш иссиқлиги кичик; аралашманинг ёниб кетиш хусусияти бор.

Буг ҳолидаги дифенил аралашмаси ёрдамида 380°C гача қиздириш мумкин. Бундан ҳам юкори температурада дифенил аралашмасида парчаланиш жараёни юз беради.



10.6- расм. Дифенил аралашмаси билан мажбурий циркуляция восита-сида иситиш қурилмаси:

1 — марказдан қочма насос, 2 — электр токи билан қиздириладиган қозон, 3 — иссиқлик сарфлайдиган аппарат, 4 — кенгайтирилган идиш, 5 — қабул қилувчи идиш, 6 — фильтр.

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. Схемада 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 филтёр 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 анорганик 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. Ҳч 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 қипиқлари ва қуқунлари 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.

Қўнчилик 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.

Қўргошин ва висмутдан иборат қотишма юқори иссиқлик бериш коэффициентига эга бўлганлиги сабабли самарали иссиқлик ташувчи агент бўлиб, ишлатиш анча хавфсиз ҳисобланади. Симоб, қўргошин ва унинг қотишмаси кимёвий реакторларда реакция иссиқлигини ажратиб чиқариш учун ишлатилмоқда.

Ҳозирги кунда суюқ металллардан атом электр станцияларида фойдаланиш алоҳида аҳамият касб этмоқда.

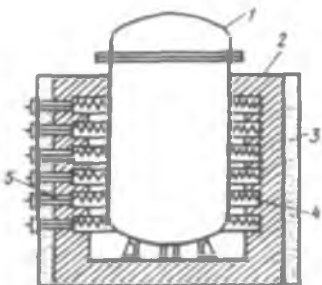
10.6-§. ЭЛЕКТР ТОКИ БИЛАН ИСИТИШ

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 қимматга тушади. Кейинчалик катта электр станцияларининг қурилиши натижасида бу усул билан иситишни арзонлаштириш имкониятлари туғилди.

Электр токини 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 токи 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 аппарати, 2 — футеровка, 3 — изгибная катушка, 4 — спиральный иситиш элементлари, 5 — электродлар

оловга чидамли гишдан 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 пулатдан тайёрланган қурилма девори қалинлигида ҳосил бўладиган уярмавий ток ёрдамида ажралиб чиқадиган иссиқликдан фойдаланишга асосланган. Индукцион усул материаллари 400°C гача бир меъёردа 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 енгилуш учун сарфланади ва у иситилаётган материал массасида иссиқликка айланади.

Иситиш учун 10 дан 100 МГц гача юқори частотали электр токи ишлатилади. Юқори частотали ток лампалар 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 ҳажмда кучли электр қувватини ҳосил қилиш мумкин. Бундай шароитда ўта қизиган 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 металлارни 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, қўл ва кудукдан олинган сувлар ишлатилади. Агар сув танқис бўлса, иссиқлик қурилмаларидан қайта чиққан сув очик ҳавзаларда қисман буглатиш ҳисобига ёки градирняларда ҳаво оқими ёрдамида совитилгандан сўнг қайтадан совитувчи агент сифатида фойдаланилади.

Совитиш даражаси сувнинг бошланғич температурасига боғлиқ. Дарё ва қўл сувининг температураси йил фаслларига кўра 12—25°C, кудук сувлари 4—15°C, ишлаб чиқаришда ишлатилиб бўлинган сув эса тахминан 30°C (ёз шароитларида) температурага эга бўлади. Иссиқлик алмашилиш қурилмаларининг 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.

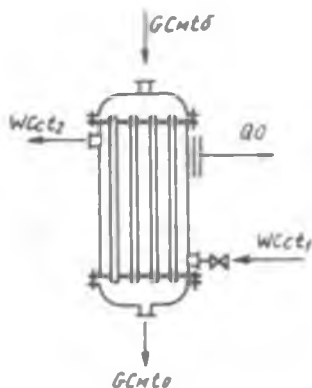
Совитиш жараёни учун керак бўлган сувнинг сарфи (W , кг/с) иссиқлик баланси тенгламасидан топилади:

$$Gc_s(t_6 - t_0) = Wc_c(t_2 - t_1). \quad (10.7)$$

Бундан

$$W = \frac{Gc_s(t_6 - t_0)}{C_c(t_2 - t_1)}, \quad (10.8)$$

бу ерда G — совитилаётган муҳитнинг сарфи, кг/с; C_s — совитилаётган муҳитнинг ўртача солиштирма иссиқлик сизими Ж/(кг·К); C_c — сувнинг солиштирма иссиқлик сизими, Ж/(кг·К); t_0 , t_6 — совитилаётган муҳитнинг бошланғич ва охириги температураси, К; t_1 , t_2 — совитувчи сувнинг дастлабки ва охириги температураси, К. (10.7) тенгламани тузишда иссиқликнинг атроф муҳитга йўқолиши (Q_a) 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
беради.

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, градирияда
ва бошқа иссиқлик алмашиниш қурилмаларида ишлатилади.

Сувни тежаш ва атроф муҳитни муҳофаза қилиш учун сувдан
қайтадан фойдаланиш системасини жорий этиш мақсадга муво-
фик бўлади. Бунда сув истеъмоли тежамли бўлади ва оқинди
сувлар миқдори камаёди. Иссиқлик алмашиниш қурилмаларида
ишлатилиб бўлинган сувдан, градирияларда 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 коэффициентини кичик ($58 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}$
гача.); ҳавонинг солиштирма иссиқлик сизими нисбатан кам
($1 \text{ кЖ}/(\text{кг} \cdot \text{К})$). Шу сабабдан ҳавонинг массавий сарфи сувнинг
сарфига нисбатан 4 маротаба катта бўлади.

Ҳаво совитувчи агент сифатида аралаштириш усули билан
ишлайдиган иссиқлик алмашиниш қурилмаларида (градирия-
ларда) кенг ишлатилмоқда. Градириялар ичи бўш вертикал
қурилма бўлиб, унинг юқориги қисмидан сув сочиб турилади,

пастдан юқорига вентиллятор 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:

$$G_m(335,2 + c_c t_o) = G(t_o - t_6); \quad (10.9)$$

бундан

$$G_m = \frac{G(t_o - t_6)}{335,2 + c_c t_o} \quad (10.10)$$

бу ерда G — совитилаётган суюқликнинг массаси, кг/с; c — совитилаётган суюқликнинг солиштирма иссиқлик сигими, кЖ/(кг·К); c_c — сувнинг солиштирма иссиқлик сигими, кЖ/(кг·К); t_o, 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 боглиқ 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-§. БУГНИ КОНДЕНСАЦИЯЛАШ

Кимёвий технологияда бугларни сув ёки совуқ ҳаво ёрдамида совитиш йўли билан конденсациялаш кенг ишлатилади. Бугни конденсациялашдан буглатиш, вакуум қуриштириш 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 йиғилиб 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 кимматбаҳо бўлмаса, бунда жараён аралаштирувчи конденсаторларда олиб борилади. Иссиқлик алмашилиниши яхшилаш учун совитувчи сув сочиб (пуркаб) берилади, натижада сув ва буг ўртасидаги контакт юза ортади.

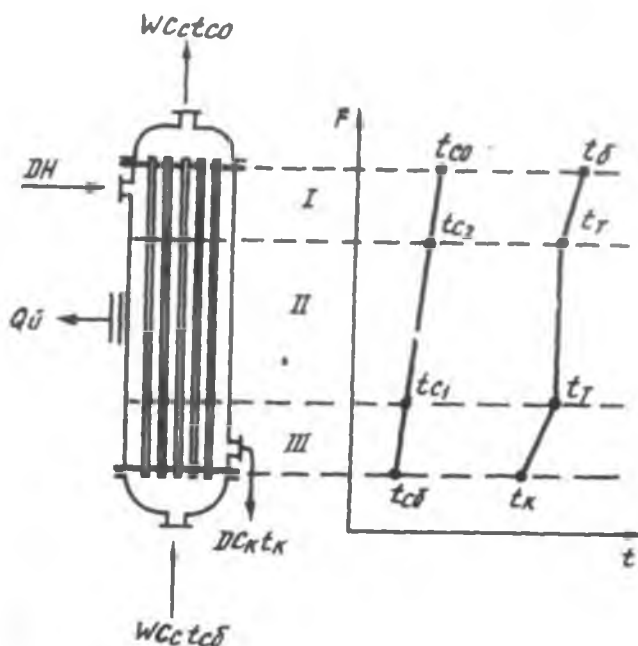
Қурилмадан сув, конденсат ва конденсацияланмай қолган газларни чиқариш усулига кўра ҳўл ва қурук аралаштирувчи конденсаторлар бўлади. Ҳўл конденсаторлардан сув, конденсат ва газлар битта махсус вакуум-насос ёрдамида чиқариб ташланади. Қурук (ёки барометрик) конденсаторлардан сув ва конденсат биргаликда ўз оқими билан чиқиб кетади, газлар эса қурук вакуум-насос ёрдамида сўриб олинади.

Юзали конденсаторларда буг ва совитувчи агент (сув ёки ҳаво) ўртасидаги иссиқлик алмашилиниш 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 алмашилиниш 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_6 — кираётган бугнинг температураси, К; $t_{г9}$ — бугнинг тўйиниш (конденсацияланиш) температураси, К; t_k — қурилмадан чиқаётган конденсатнинг температураси, К; c_6 — қиздирилган бугнинг иссиқлик сизими, Ж/(кг.К); c_k — конденсациянинг иссиқлик сизими, Ж/(кг.К) r — бугнинг конденсацияланиш иссиқлиги (суюқликнинг буғланиш иссиқлиги), Ж/кг; W — совитиш учун берилаётган сув миқдори, кг/с; $t_{с6}$ — сувнинг бошланғич температураси, К; $t_{с0}$ — сувнинг охири 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 қуйидаги тенглик билан ифодаланади:

$$DH + Wc_c t_{с0} = Dc_k t_k + Wc_c t_{с0} + Q_a. \quad (10.11)$$



10.9- расм. Конденсацияланишнинг иссиқлик балансига доир:

I — қиздирилган бугни совитиш соҳаси, II — конденсацияланиш соҳаси, III — конденсатни совитиш соҳаси.

Охирги тенгликдан совитувчи сувнинг сарфини аниқлаш мумкин:

$$W = \frac{D(H - c_{\delta}t_{\kappa}) - Q_{\delta}}{c_{\delta}(t_{co} - t_{c\delta})}. \quad (10.12)$$

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 шарт-шароит 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

$$Q_1 = Dc_{\delta}(t_{\delta} - t_{\Gamma}) = Wc(t_{co} - t_{c2}), \quad (10.13)$$

• конденсацияланиш соҳаси учун

$$Q_{II} = Dr = Wc_c(t_{c2} - t_{c1}), \quad (10.14)$$

конденсатни совитиш соҳаси учун

$$Q_{III} = Dc_k(t_{\eta k} - t_k) = Wc_c(t_{c1} - t_{c0}). \quad (10.15)$$

(10.13) — (10.15) тенгликлардан совитувчи сувнинг орalik температураларини аниқлаш мумкин:

$$t_{c1} = t_{c0} - \frac{Q_{III}}{W}, \quad (10.16)$$

$$t_{c2} = t_{c0} - \frac{Q_I^*}{W}. \quad (10.17)$$

Конденсатордан сўриб олинадиган 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 олинадиган ҳавонинг миқдори (кг/с):

$$G_k = 0,000025D + 0,01D \approx 0,01D. \quad (10.18)$$

Аралаштирувчи конденсатордан сўриб олинадиган ҳавонинг миқдори эса (кг/с):

$$G_k = 0,000025(D + W) + 0,01D. \quad (10.19)$$

Конденсатордан сўриб олинадиган ҳавонинг тахминий ҳажми конденсацияланадиган бугнинг сарфига кўра қуйидаги тенглама ёрдамида аниқланади:

$$V_k = \frac{\beta D(273 + t)}{P}, \quad (10.20)$$

бу ерда t — вакуум-насосга кираётган ҳавонинг температураси (одатда $t = 25^\circ\text{C}$); P — сўриб олинаётган ҳаво босими, Па; β — тажриба коэффициент, бу коэффициентнинг қиймати газнинг бугдаги миқдорига боглиқ бўлиб, справочникларда берилади.

ТАҚРОРЛАШ ВА МУСТАҚИЛ 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. Ёпиқ 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? Кимё саноатида қандай таркибли дифенилнинг аралашмаси кенг қўлланилади?
- 10.7. Электр токи билан иситишнинг афзаллиги нимадан иборат? Электр қаршилиги, индукцион ва юқори частотали иситиш ўртасида қандай фарк бор?
- 10.8. Оддий температурагача совитиш мақсадида 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

Кимё 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.

Кимё, нефть кимёси, нефтни қайта ишлаш, озик-овқат саноатлари корхоналарида ишлатиладиган технологик ускуналарининг катта бир улушини иссиқлик алмашилиш қурилмалари ташкил қилади. Кимё 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 (буглатиш, ректификлаш, қуритиш ва бошқалар) иссиқликнинг берилиши ёки узатилиши билан боғлиқдир.

Саноатда турли-туман иссиқлик алмашилиш қурилмалари ишлатилади. Иш принципига кўра иссиқлик алмашгичлар учга бўлинади: 1) рекуператив; 2) регенератив; 3) аралаштирувчи.

Рекуператив (ёки юзали) иссиқлик алмашгичда иссиқлик ташувчи агент бир-бири билан девор орқали ажратилган ва иссиқлик биринчи иссиқлик ташувчи муҳитдан иккинчисига уларни ажратувчи девор орқали ўтади.

Регенератив иссиқлик алмашгичда қаттиқ жисмдан таркиб топган бир хил юза навбат билан турли иссиқлик ташувчи агентлар билан 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:

1) 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 юзаси тайёрлашда нometалл материаллар (графит, пластмасса, шиша ва ҳоказо)дан фойдаланилган қурилмалар;

2) Ишлатилиш мақсадига кўра — совиткичлар, иситкичлар, буглаткичлар, конденсаторлар;

Иссиқлик ташувчи агентлар ҳаракатининг йўналишига кўра — тўғри, қарама-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 қимё 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, ишлатилиш 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.

3) «Труба ичида труба» типидagi ва пулатдан қилинган змеевикли иссиқлик алмашилиш қурилмалари иссиқлик қурилмаларининг умумий ҳажми ичида тахминан 8 % ни, чўйандан тайёрланган намланадиган қурилмалар эса 2 % ни ташкил этади.

Спиралсимон ва пластинали ҳамда ҳаво билан совитиладиган иссиқлик алмашилиш қурилмаларининг улуши ҳозирча кам, бироқ янги қуриладиган технология линияларида бундай қурилмалар кенг ўрин олмоқда. 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-қимёвий 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, трубаги иссиқлик алмашилиш қурилмалари ишлатилиши керак; бундай шароитда трубаларнинг ичига босими каттарок 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 трубаги 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 ташувчининг иссиқлик алмашилиш юзасининг тозалашга қулай томонига юбориш зарур (масалан, қобик-трубаги қурилмаларда трубаларнинг ички юзаси, эмсевичли қурилмаларда эса трубаларнинг ташқи юзаси).

5. Иссиқлик алмашилиш шароитини яхшилаш ҳар доим иссиқлик ташувчининг тезлигига боғлиқ бўлмайди (масалан, бугги 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-ТРУБАГИ ИССИҚЛИК АЛМАШГИЧЛАР

Олдинги параграфда айтиб ўтилганидек, қобик-трубаги қурилмалар энг кўп тарқалган иссиқлик алмашилиш қурилмалари ҳисобланади. ГОСТ 9929—82 га асосан қобик-трубаги иссиқлик алмашилиш қурилмалари пўлатдан қуйидаги типлар бўйича тайёрланади: *Н* — қўзғолмас труба турлари билан; *К* — температура юқори бўлганда қобик ва трубаларнинг турлича узайишини ҳисобга олувчи ва қобикда жойлашган компенсатор билан; *П* — ҳаракатчан қалпоқчали; *У* — *U*-симон трубаги; *ПК* — ҳаракатчан қалпоқчали ва ундаги компенсатор билан.

Мисли қобик-трубаги қурилмалар ГОСТ 11971—77 га асосан икки типда (*Н* ва *К*) тайёрланади. Мақсадга кўра қобик-трубаги қурилмалар иссиқлик алмашғич, совиткич, конденсатор ва

буглаткич сифатида ишлатилиши мумкин, улар бир ва кўп йўлли килиб тайёрланади.

Кимё саноатида суюқ ва газ муҳитининг температураси — 60 дан $+600^{\circ}\text{C}$ гача ўзгарган шароитда ишлатиладиган пулатли қобик — труба қурилмаларнинг айрим параметрлари 11.1-жадвалда берилган.

11.1-жадвал. Пулатли, қобик-труба қурилмаларининг айрим параметрлари

Параметрлар	Қурилма тип ва параметрининг қиймати				
	П	К	П	У	ПК
Иссиқлик алмашиш юзаси, м^2	$1 \div 5000$	$1 \div 5000$	$10 \div 1250$	$10 \div 1400$	$178 \div 1866$
Трубалар ёки труба-балар оралигидаги бўшлиқдаги шартли босим, МПа	0,6;1,0 1,6;2,5 4,0;6,3 8,0	0,6;1,0 1,6;2,5	1,0;1,6 2,5;4,0 6,3;8,0 10,0;12 16,0	1,0;1,6 2,5;4,0 6,3;8,0 5;10,0; 12,5 16,0	5,0;6,3 8,0;10,0
Трубаларнинг ташқи диаметри х деворнинг қалинлиги, мм	16х1,5; 16х2; 20х2 25х1,5; 25х2; 25х2,5; 38х2; 57х3	16х1,5; 16х2; 20х2; 25х1,5 25х2 25х2,5 38х2; 57х3	20х2; 25х2; 25х2,5; 38х2;	20х2; 25х2; 25х2,5	20х2; 25х2; 25х2,5

Бундай иссиқлик алмашгичлар қобик ичига жойлашган трубалар тўпламидан иборат бўлиб, трубаларнинг уч тўрларга маҳкамланган бўлади (11.1-расм). Қурилманинг юқориги ва пастки қисмларидаги қопқок фланец ёрдамида труба тўрига бириктирилади. Юқориги ва пастки қопқокларга иситиладиган ёки совитиладиган агентларни бериш учун штуцер мўлжалланган. Трубалар тўрага развальцовка, пайвандлаш, кавшарлаш ва бошқа усуллар ёрдамида бириктирилиши мумкин (11.2-расм). Иссиқлик ташувчи агентнинг биринчиси труба ичидан, иккинчиси эса труба ва қурилманинг ички девори оралигидаги бўшлиқдан ўтади.

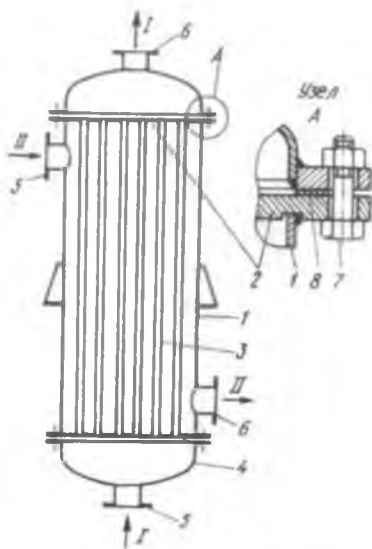
11.1-расмда бир йўналишли қобик-труба қурилмалари ишлатилиши кўрсатилган. Бунда иситилувчи газ ёки суюқлик қопқокдаги патрубк орқали битта трубадан кириб, ўша трубадан чиқиб кетади. Кўпинча, бу типдаги иситкичларда иситиладиган ва иситкич бераётган муҳит бир-бирига қарама-қарши йўналишда ҳаракат қилади. Иситувчи агент доим иситкичнинг юқориги қисмидан ва иситиладиган муҳит эса қурилманинг пастки қисмидан трубалар ичига берилади. Бу муҳитнинг йўналиши иситкичдаги йўналишга мос келади, чунки иситиладиган вақтда температура ортиши ва камайиши билан уларнинг зичлиги

ўзгаради. Масалан, буг 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 алмаши-ниш ўзгармас бўлади.

Агар муҳитнинг йўналиши аксинча бўлса, яъни иситувчи агент қурилманинг пастки қисмидан трубалар ва қобик оралигидаги бўшлиққа ва иситилаётган муҳит иситкичининг юқориги қисмидаги трубаларга берилса, у ҳолда буг иссиқлигини бериб совиши натижасида унинг зичлиги ошиб юқорига кўтарилмайди. Натижада пастки трубалар билан қобик орасидаги бўшлиқда конденсат тўпланиб, бугнинг бу бўшлиқ орасидан ўтиши қийинлашади ва иссиқлик алмаши-нинг жараёни-нинг тезлиги камаяди.

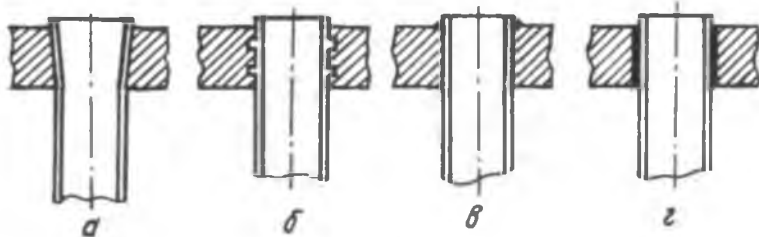
Бу иссиқлик алмашгичларда суюқликнинг сарфи кам бўлганда уларнинг трубадаги тезлиги кичик бўлиб, иссиқлик алмаши-нинг коэффиценти ҳам кам бўлади. Иссиқлик ташувчи агентнинг тезлигини ошириш учун кўп йўлли иситкичлар ишлатилади.

Кўп йўлли иссиқлик алмашгичларда 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



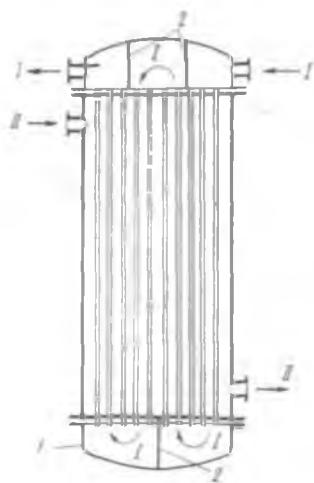
11.1-расм. Бир йўлли қобик — трубаги иссиқлик алмаши-ниш қурилмаси.

1 — қобик; 2 — труба; 3 — труба-лар; 4 — қопқоқ; 5, 6 — иссиқлик ташувчи агент-лар (I ва II) кириدىغان ва чиқадиган штуцер-лар; 7 — болт; 8 — қистирма.



11.2-расм. Трубаларни труба тўрига бириктириш усуллари:

а) развальцовка; б) аричалар орқали развальцовка қилиш; в) пайван-ляш; г) қаварлаш.



11.3- расм. Кўп йўлли (трубалар ичидаги бўшлик бўйича) иссиқлик алмашгич:

I — қопқоқ; 2 — түсиклар; I, II — иссиқлик ташувчи агентлар

қобикнинг узайиши ҳар хил бўлади. Шунинг учун қобик-трубали қурилмалар конструкциясига кўра икки хил бўлади: 1) қўзгалмас турли иссиқлик алмашгичлар; 2) компенсацияловчи қурилмали иссиқлик алмашгичлар (бундай қурилмаларда трубаларнинг гурли даражада узайишига имкон бор).

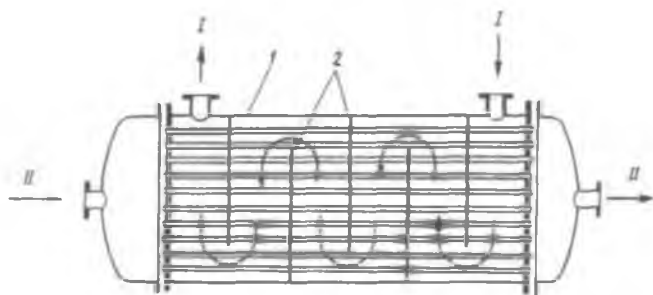
Қўзгалмас турли иссиқлик алмашгичда иссиқлик таъсирида труба ва қобик ҳар хил узаяди, шу сабабли бундай қурилмалар трубалар ва қобик ўртасидаги температуралар фарқи катта бўлмаганда (50°C гача) ишлатилади.

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.

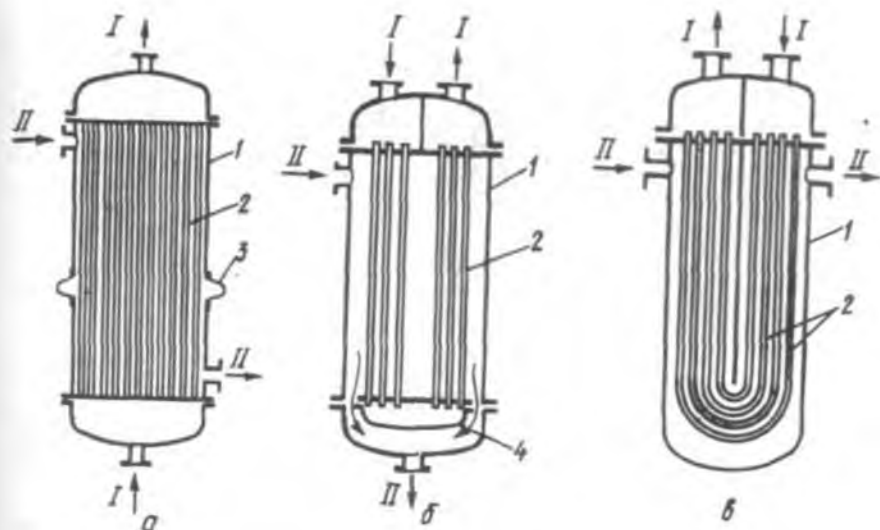
Бир йўлли ва кўп йўлли қобик-трубали иссиқлик алмашгич вертикал ва горизонтал ҳолатда бўлади. Вертикал иссиқлик алмашиниш қурилмаларини ишлатиш қулай, уларнинг тузилиши содда ва кам жойни эгаллайди. Горизонтал иссиқлик алмашиниш қурилмалари кўпинча кўп йўлли қилиб тайёрланади.

Қобик-трубали қурилмаларда қобик билан трубалар орасидаги температуранинг фарқига қараб труба ва



11.4- расм. Кўп йўлли (трубалар ташқарисидаги бўшлик бўйича) иссиқлик алмашгич:

I — қобик; 2 — йўналитурувчи түсиклар; I, II — иссиқлик ташувчи агентлар



11.5- расм. Қобик ва трубаларнинг турлича узайишини компенсация қиладиган қобик — трубаги иссиқлик алмашгичлар:

а) линза компенсаторли, б) ҳаракатчан қалпоқчали; в) U-симон трубаги. 1 — қобик, 2 — трубалар, 3 — линза компенсатор, 4 — ҳаракатчан қалпоқча.

Температуралар фарқи 50°C дан катта бўлганда труба ва қобикнинг ҳар хил узайишини йўқотиш учун линза компенсаторли (11.5- расм, а), ҳаракатчан труба турли (11.5- расм, б), U-симон трубаги (11.5- расм, в) ва бошқа турдаги қобик-трубаги иссиқлик алмашгичи қурилмалари ишлатилади.

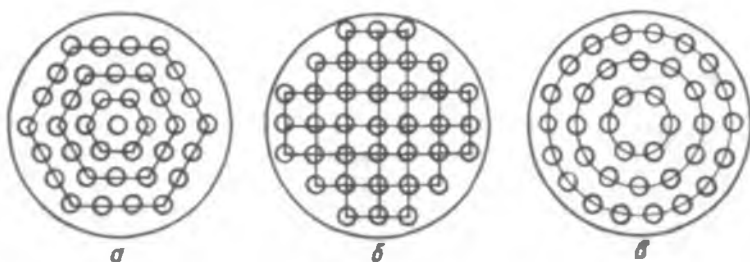
Линза компенсаторли қурилмалар труба ва қурилма девори ўртасидаги босим $6 \cdot 10^5$ Па гача бўлганда ишлатилади.

Трубаги турли ҳаракатланувчи иссиқлик алмашгичлар температура фарқи катта бўлганда ишлатилади. Бу қурилмада пастдаги труба турли ҳаракатчан бўлиб, бунда трубалар тўплами қурилманинг қобигида температура таъсирида узайганда ҳам бемалол ҳаракат қилади. Трубаларнинг узайишини компенсациялайдиган қурилмаларнинг конструкцияси мураккабдир.

U-симон қобик-трубаги иссиқлик алмашгичда иссиқлик таъсирида трубаларнинг узайиши қурилманинг конструкциясига ҳалақиб бермайди. Шунинг учун уларнинг конструкцияси содда бўлиб, трубалар тўплами битта қўзғалмас тўрга ўрнатилади. Бу қурилмаларда трубаларнинг ички юзасини тозалаш қийин ва трубаларни тўрга жойлаштириш жуда мураккабдир.

Қобик-трубаги иссиқлик алмашгичларда трубалар тўрга уч хил усул билан жойлаштирилади: а) тўғри олтибурчакнинг қирралари бўйлаб; б) концентрик айланалар бўйича; в) квадратнинг томонлари бўйлаб (11—6- расм, а, б, в).

Қўпинча қобик-трубаги иссиқлик алмашгичларда трубалар тўғри олтибурчакнинг қирралари бўйлаб жойлаштирилади, чунки бунда трубалар ихчам жойлашиб, уларнинг сони кўпроқ бўлади.



11.6-рasm. Трубаларни труба тўрларига жойлаштириш усуллари:

а) тугри олтибurchакнинг қирралари бўйлаб; б) квадратнинг томонлари бўйлаб; в) концентрлик айланалар бўйлаб

Айрим вақтда трубаларнинг юзасини тозалаш осон бўлишини назарда тутиб трубалар тўрга квадрат томонлари бўйлаб жойлаштирилади.

Қобик-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.

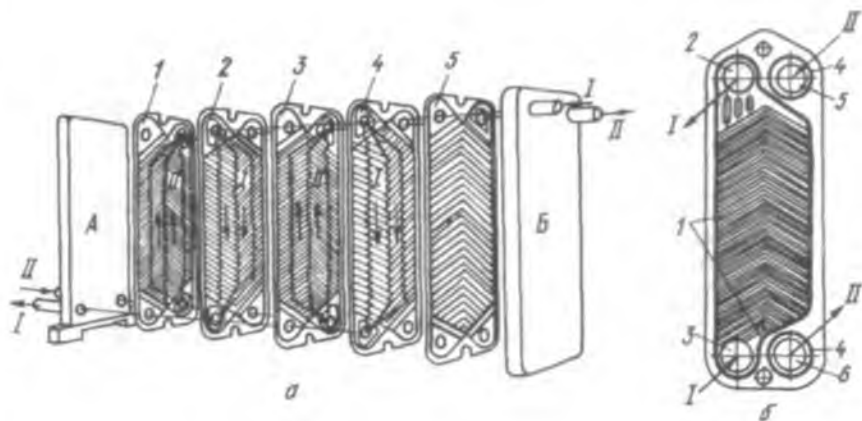
Қобик-трубали иссиқлик алмашилиш қурилмалари қуйидаги афзалликларга эга: ихчам, металл кам сарф қилинади, иссиқлик алмашилиш юзаси катта, трубаларнинг ичини тозалаш осон.

Бу қурилмалар камчиликлардан ҳам холи эмас; иссиқлик ташувчиларни катта тезлик билан ўтказиш қийин, трубаининг ташқарисидаги бўшлиқни тозалаш ва тузатиш имкони кам.

11.3-§. ПЛАСТИНАЛИ ВА СПИРАЛСИМОН ИССИҚЛИК АЛМАШГИЧЛАР

Хозирда листли материалдан тайёрланган алмашгичлар (айниқса пластиналар ва спиралсимон аппаратлар) кенг қўлланилмоқда. Бундай қурилмалар қобик-трубали иссиқлик алмашгичларга нисбатан катор афзалликларга эга. Ишлаб чиқариш шароитида кенг қатордаги типавий ўлчамли қобик-трубали қурилмаларни тайёрлаш технология жиҳатдан анча қийин, чунки бундай қурилмаларда унификация коэффициентини (бир хил ўлчам қаторига эга бўлган узел ва деталларнинг сонини қурилмадаги ҳамма узел ва деталлар сонига нисбати) 0,13 га тенг. Пластиналар иссиқлик алмашилиш қурилмаларининг унификация коэффициенти эса 0,9 ни ташкил этади.

Пластиналар ва спиралсимон иссиқлик алмашилиш қурилмаларини тайёрлаш учун қобик-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. Пластинали иссиқлик алмашгич:

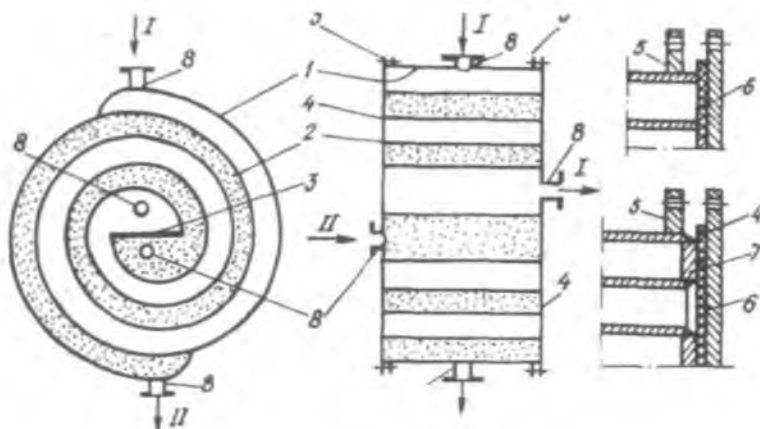
а) қурилма схемаси, А, Б — бош плиталар, 1—5 қат қат бурма қилинган пластиналар, I, II — иссиқлик ташувчи агентлар; б) пластинанинг тузилиши: 1, 4 — резинали қистирмалар; 2, 3 — I суюқлик учун тешиклар, 5, 6 — II суюқлик учун тешиклар

Пластинали иссиқлик алмашгичлар. Бундай қурилмалар юпка 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 пластинали 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 температураси — 30 дан +180°С гача ўзгарганда ишлатилади. Пластинали қурилмалар суюқлик ва буг (газ) ўртасида иссиқлик алмашиниш ташкил этишда совиткичлар, иситкичлар ва конденсаторлар сифатида фойдаланилади.

Пластинали иссиқлик алмашиниш қурилмалари қалинлиги 1 мм бўлган металл листдан тайёрланади. Пластиналар қат-қат бурмаларининг қўндаланг 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 алмашғич:

1, 2 — спиралсимон листлар, 3 — түсік, 4 — қопқоқлар; 5 — фланец, 6 — қистирма, 7 — спираллар оралығында маълум масифани ушлаб турувчи металл парчаси, 8 — суюқлықларнинг кириш ва чықиш 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. Бироқ бундай қурилмалар катта босимга бардош бера олмайди, иссиқлик алмашғич таъмирлангандан сўнг пластиналар орасидаги тегишли зичликни яна ҳосил қилиш қийин.

Спиралсимон иссиқлик алмашғичлар 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 түсік орқали бириктирилган. Каналлар системаси қопқоқ ёрдамида беркитилган.

Саноатда иситиш юзаси 10—100 м² ли спиралсимон иссиқлик алмашғичлар ишлаб чиқарилади; булар иш муҳитнинг температураси 20—200°C бўлганда вакуум билан ҳам, 1 МПа гача босим билан ҳам ишлаши мумкин. Спиралсимон иссиқлик алмашғичлардан суюқлик-суюқлик, газ-суюқлик ўртасида иссиқлик алмашинишни 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.

11.4-§. ҚУШ ТРУБАЛИ, НАМЛОВЧИ ВА ЗМЕЕВИКЛИ ИССИКЛИК АЛМАШГИЧЛАР

Қуш трубали иссиқлик алмашғичларни труба ичида труба типигаги иссиқлик алмашғич деб ҳам юритилади. «Труба ичида труба» типигаги қурилма бир неча элементлардан тузилган. Ҳар бир элемент катта диаметрли ташқи труба ва концентрик ҳолда жойлашган ички трубадан иборат. Ички трубадан иситилаётган муҳит ҳаракатланса, трубалараро бўшлиқдан эса совитилаётган агент ҳаракатланади.

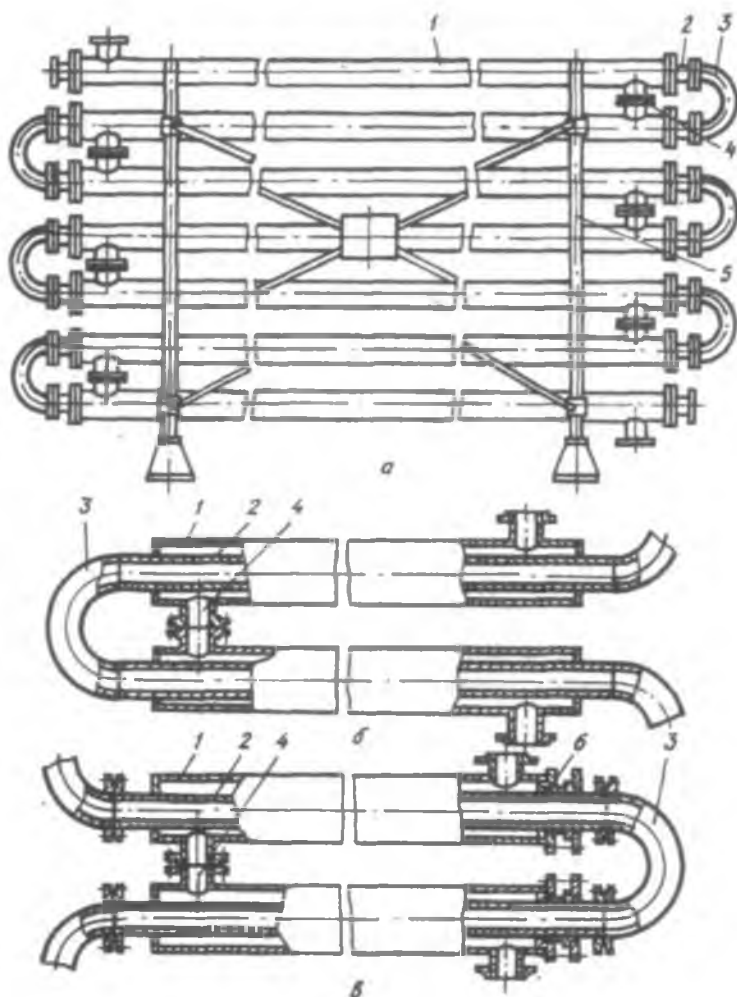
Қуш трубали иссиқлик алмашғичлар йиғма ёки нойиғма ҳолида бир ва қўш оқимли қилиб тайёрланиши мумкин.

11.9-расмда бир оқимли нойиғма (яъни қисмларга ажратилмайдиган) иссиқлик алмашғич кўрсатилган. Бу қурилма бир неча элементдан тузилган бўлиб, ҳар бир элемент ташқи (ёки қобик сифатидаги) труба (1) ва (ёки иссиқлик алмашувчи) труба (2) дан иборат бўлади. Элементлар вертикал қаторга тизилган бўлиб, иссиқлик алмашиниш секциясини ташкил этади. Ички трубалар тирсаклар (3) орқали, ташқи трубалар эса фланецлардаги штуцерлар (4) ёрдамида ёки пайвандлаш йўли билан бириктирилади. Иссиқлик алмашиниш секцияси металлдан қилинган қобирғаларга тутқичлар ёрдамида мустаҳкамланган.

Нойиғма қурилмаларда трубалар қўзғолмас қилиб жойлаштирилган бўлади (11.9-расм, б), шу сабабдан бундай иссиқлик алмашғичлардан трубалар температуралари орасидаги фарқ 70°C гача қўлланиш мумкин. Трубалар температуралари ўртасидаги фарқ анча катта бўлса ($>70^{\circ}\text{C}$) ва трубалараро бўшлиқни механик усул билан тозалаш зарур бўлганда, компенсация мосламали иссиқлик алмашғичлар ишлатилади (11.9-расм, в). Бундай шароитда трубалар оралиғидаги ҳалқасимон тирқишлар бир томондан зич пайванд қилинади, иккинчи томондан эса қоплама (сальник) билан беркитилади.

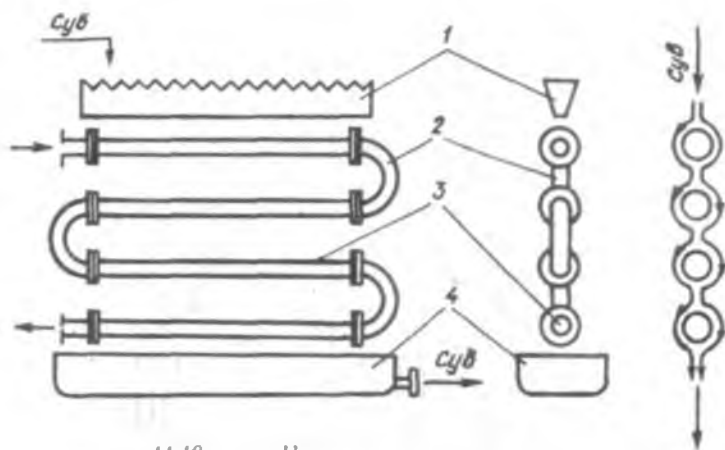
Ички трубанинг ва трубалараро бўшлиқнинг қўндаланг кесимлари кичик бўлганлиги сабабли кичик сарфларда ҳам иссиқлик ташувчи агентларни катта тезликлар билан ўтказиш мумкин. Шунинг учун бу иссиқлик алмашғичда юқори кўрсаткичли иссиқлик ўтказиш коэффицентига эришиш мумкин ва қурилманинг масса бирлигига туғри келадиган иссиқлик миқдори қобик-трубали қурилмаларга нисбатан юқори бўлади. Бундан ташқари, иссиқлик ташувчи агентнинг тезлиги катта бўлгани учун трубаларнинг юзасида ҳар хил ифлослик ҳосил бўлмайди. Бу типдаги қурилмалар юқори босимда ва иссиқлик ташувчи агентларнинг сарфланиш миқдори кам бўлганда ҳам ишлайди. Уларнинг афзаллиги: иссиқлик ташувчи агентлар катта тезликка эга бўлганлиги учун иссиқлик ўтказиш коэффицентининг қиймати ҳам катта, қурилмани тайёрлаш осон, гидравлик қаршилиги кам.

Иссиқлик алмашиниш кўрсаткичлари бир хил бўлган шароитда «труба ичида труба» типигаги қурилмалар қобик-трубали



11.9- расм. «Труба ичида труба» типдаги иссиқлик алмашгич:

а) умумий кўрinishи, б) трубалар қўзғалмас ҳилиб бириктирилган варианты; и) трубалар компенсация мосламаси ердамида бириктирилган варианты. 1 — ташқи труба; 2 — ички труба; 3 — тирсиқ; 4 — штуцерлар; 5 — металлдан тайёрланган қобиргалар, 6 — тирқиш ларин беркитадиган қоплама



11.10- расм. Намловчи иссиқлик алмашғич:

1 — тарнов, 2 — тирсак, 3 — труба, 4 — ниггич

қурилмага нисбатан ўлчами катта бўлади ва тайёрланиши учун кўп металл сарфланади.

Намловчи иссиқлик алмашғичлар ташқи 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 ниггичга тушади. Одатда бундай совиткичлар очик ҳавода жойлаштирилган бўлади.

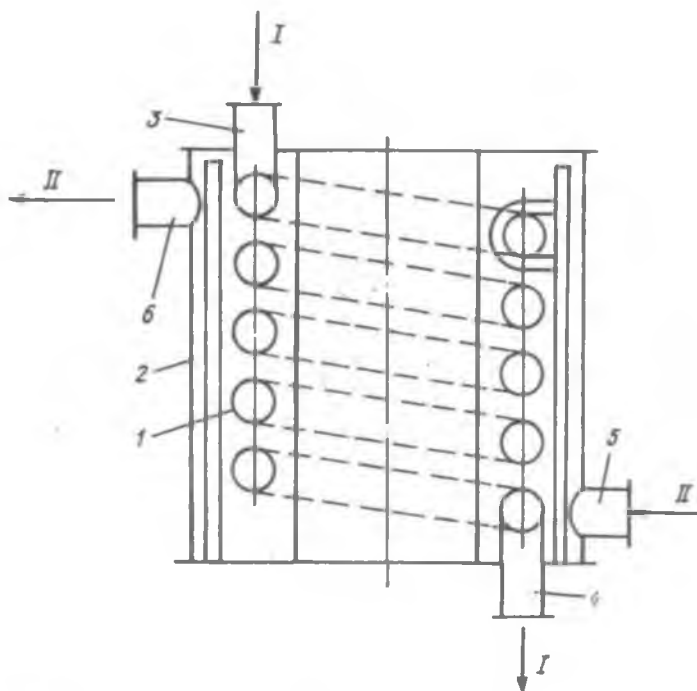
А ф з а л л и к л а р и : совитувчи сувнинг сарфи кам, тузилиши содда ва арзон, трубаларни тозалаш осон.

Бу қурилмалар асосан суюқлик ёки газларни совитиш ҳамда бугларни конденсациялаш мақсадида ишлатилади.

Змеевикли иссиқлик алмашғичлар 25 ÷ 75 мм ли трубалардан тайёрланган спиралсимон змеевиклар суюқлик билан тўлдирилган идишда ўрнатилади. Ботирилган змеевик трубаларидан газ ёки буг ҳаракатланади. Змеевикли иссиқлик алмашғичнинг диаметри идишнинг ўлчамига кўра 300 ÷ 2000 мм га тенг бўлиши мумкин.

Суюқлик билан тўлдирилган идишнинг ҳажми катта бўлгани ва идиш ичидаги суюқликнинг тезлиги жуда кичик бўлгани учун змеевикнинг ташқи девори томондаги буг билан суюқлик орасидаги иссиқлик бериш коэффициенти 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 қаршилик ортиб кетади.



11.11 расм. Змеевикли иссиқлик алмашгич:

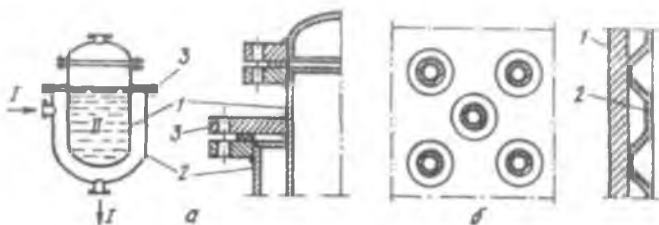
1 — змеевик, 2 — қобик, 3, 4 — патрубклар; 5, 6 — штуцерлар. I, II — иссиқлик ташувчи агентлар

А ф з а л л и г и: тузилиши содда, тайёрлаш осон, иссиқлик алмашиниш юзасини алмаштириш қулай, идишдаги суюқликнинг ҳажми катта бўлганлиги сабабли режимнинг ўзгаришларига унча сезгир эмас.

К а м ч и л и к л а р и: улчами ва гидравлик қаршилиги катта, идишдаги суюқликнинг тезлиги кам бўлганлиги учун змеевикнинг ташқарисидаги иссиқлик бериш коэффиценти кичик, трубаларнинг ички юзасини тозалаш қийин.

11.5-§. ГИЛОФЛИ ВА ГОРЕЛКАЛИ ИССИҚЛИК АЛМАШГИЧЛАР

Гилофли иссиқлик алмашгичларда иситиш ёки совитиш бошқа жараёнлар билан (масалан, кимёвий) биргаликда олиб борилади. 11.12-расм, а да гилофли қурилманинг схемаси кўрсатилган. Бунда иссиқлик алмашиниш юзаси вазифасини реакторнинг девори бажаради. Гилоф (2) қобик (1) га фланецлар (3) ёрдамида бириктирилган. Қурилма деворининг ташки юзаси ва гилоф оралигидаги бўшлиқда (I) иссиқлик ташувчи агент циркуляция қилади. Қурилманинг ичида эса (II) иссиқлик ташувчи агент бор.



11.12- расм. Филофли қурилма:

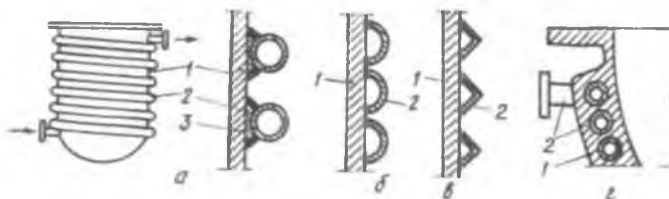
а — паст босимлар учун; б — юқори босимлар учун; 1 — қобик; 2 — гилоф; 3 — фланец

Бу типдаги қурилмаларнинг юзаси чегараланган (10 м^2 гача) бўлиб, гилофдаги ортиқча босим 1 МПа дан ортмаслиги керак.

Юқори босимларда (7.5 МПа гача) ишлаш учун гилофни қўп сондаги тешиклари бўлган листлардан қилинади; бунда листларнинг чеккалари тешикларнинг периметрлари бўйлаб эгилади ва қурилма қобигига пайвандланади (11.12- расм, б).

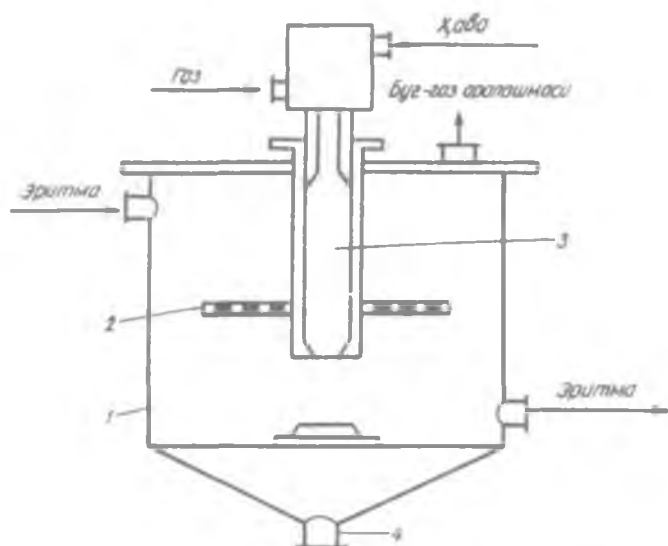
Айрим типдаги реакторларда змеевик қобикнинг ташқи юзасига пайванд қилинади (11.13- расм). Бунда иссиқлик реакторнинг девори орқали ўтади. Иссиқлик ташувчи агент қобик (1) нинг ташқарисига пайвандланган змеевик (2) га берилади. Иссиқлик алмашилишни яхшилаш учун змеевик ва қобик ўртасига махсус тайёрланган қистирма (3) жойлаштирилади (10.13- расм, а). Трубади 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 қистирма



11.14- расм. Ботирилган горелкали иссиқлик алмашиш қурилмаси:

1 — қобик, 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 бушатиш учун хизмат қилади.

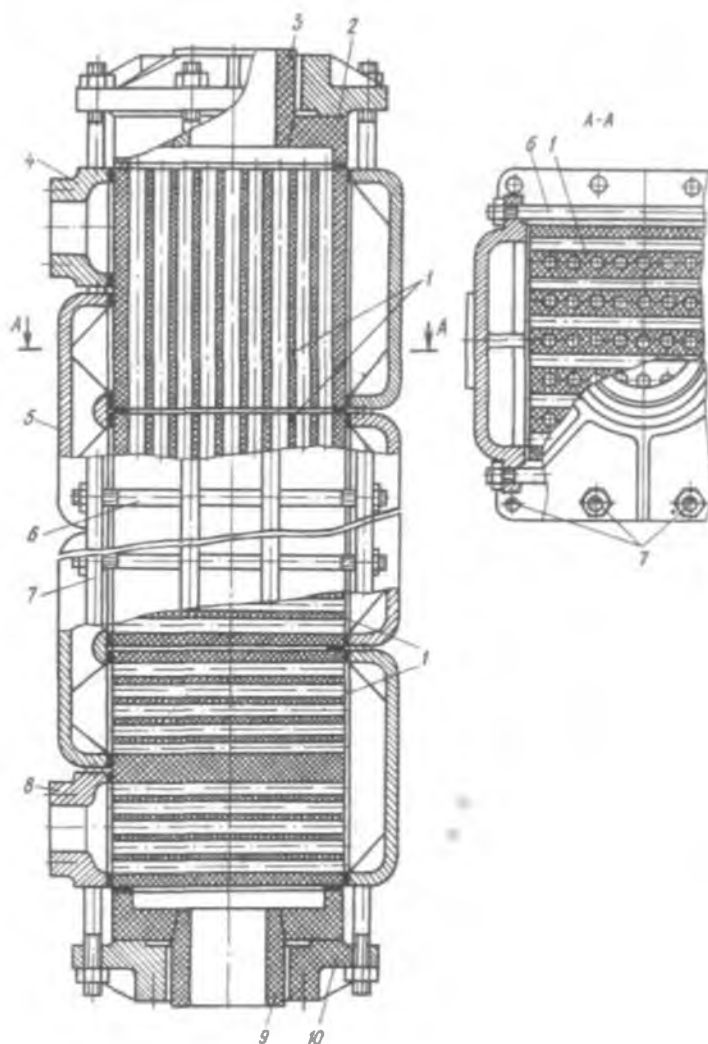
Ёниш маҳсулотлари тўғридан-тўғри суюқлик билан контактга учраганда иссиқликнинг йўқолиши жуда кам бўлади. Суюқликнинг қайнаши учун ботирилган горелка қўлланилган пайтда ёқилгининг ёниш иссиқлигидан фойдаланиш коэффициенти 95—96 % га етади.

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-трубали иссиқлик алмашиниш қурилмаларининг трубалари графитдан тайёрланади. Графитнинг кимёвий мустаҳкамлигини ошириш учун унинг бўш ғовақларига



11.15-расм. Тўғри бурчакли вертикал блокли иссиқлик алмашғич:

1 — прессланган блоклар, 2 — тарқатиш камераси, 3 — агрессив иш муҳитининг кириши учун патрубк, 4 — ноагрессия иш муҳитининг чиқиши учун патрубк; 5 — қуийлиш камералари; 6 — шпалкалар, 7 — тортувчи стерженьлар, 8 — ноагрессия иш муҳитининг кириши учун патрубк, 9 — агрессив иш муҳитининг чиқиши учун патрубк, 10 — қопқоқлар

фенол-формальдегид смоласи шимдирилади. Бундай графитдан тайёрланган иссиқлик алмашиниш қурилмалари, кимёвий агрессив мухитни (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 копоқлар (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 мухити қурилманинг баландлиги бўйича эгри-бугри ҳаракат қилади. Патрубклар (3) ва (9) агрессив иш мухитининг қурилмага кириши ва чиқиши учун, патрубкалар (8) ва (4) эса ноагрессив иш мухитининг кириши ва чиқиши учун хизмат қилади.

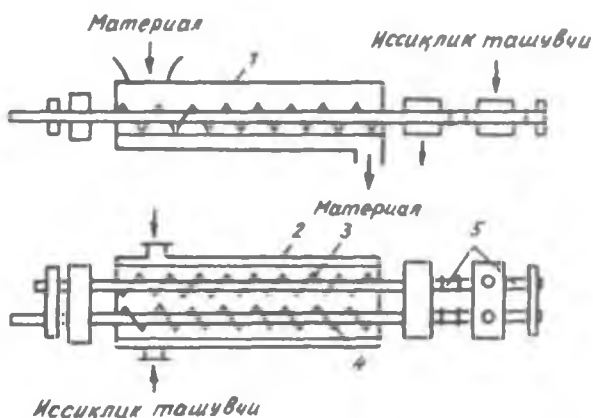
Бу иссиқлик алмашгичларда иссиқлик ташувчи агентнинг ҳаракатланиши учун кўндаланг кесими думалок бўлган вертикал каналлар ҳамда унга перпендикуляр бўлган каналчалар бор. Иссиқлик ташувчи агентларнинг биринчиси вертикал каналларда, иккинчиси эса горизонтал каналларда ҳаракатланади. Ҳар хил блокларнинг горизонтал каналлари бир-бири билан ён томондаги камералар орқали боғланган.

Графитли блокли қурилмада иш босимининг қиймати $2,9 \cdot 10^5$ Па дан ошмаслиги керак. Блокли қурилмалар агрессив мухит учун иссиқлик алмашгич ва конденсатор сифатида ишлатилади.

Шнекли иссиқлик алмашгич. Иссиқлик ўтказиш хусусияти кам ва ковушоклиги юқори бўлган суюқликларни ҳамда сочиловчан моддаларни иситганда, иссиқлик алмашиниш тезлигини ошириш учун қурилманинг деворига тегиб турган мухитнинг 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 айланим ҳаракат қилаётган шнекларда аралашиб, шнеклар материални қарама-қарши томонга ҳаракатлантиради ва қурилманинг иккинчи чекка томонидан чиқариб юборади.

Иситиш жараёнини иссиқлик ташувчи агент ёки материални силжитиш тезлигини ўзгартириш йўли билан бошқариш мумкин.



11.16- расм. Шнекли исиклик алмашгич:

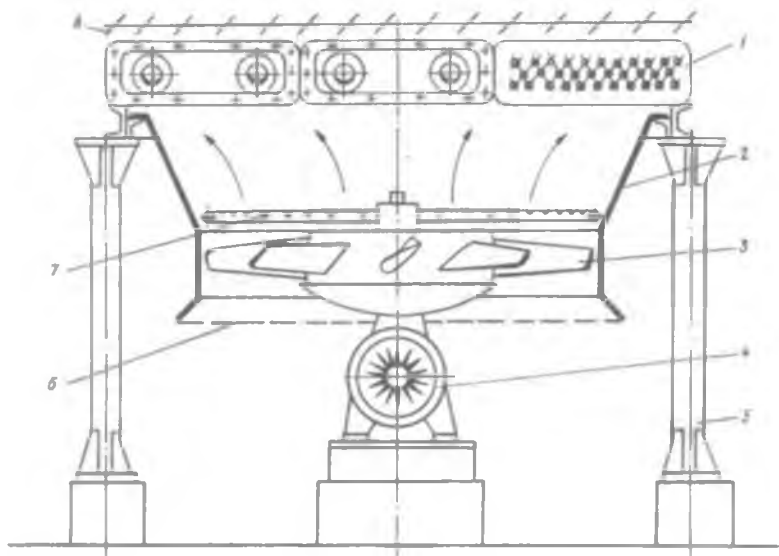
1 — қобик; 2 — гилоф; 3, 4 — шнеклар; 5 — тиркишларин беркитадиган коплама.

Бундай қурилмалар нисбатан каттагина иситиш юзасига эга. Масалан, шнек 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 исиклик алмашиниш қурилмаларининг кўпчилиги қисмини конденсатор ва совиткичлар ташкил этади. Турли маҳсулотларни конденслаш ва совитиш учун сув билан совитиладиган қурилмалардан, қобик-трубали ёки намланувчи исиклик 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. Каркасининг устига бир неча исиклик 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 — трубада 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 юкори бўлганда, сувни сочиб берувчи форсункалар автоматик равишда ишга тушади. Ташқи температура паст бўлганда (қишда) электродвига-тель ва вентиляторни ўчириб қуйиш 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 мартаба 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.

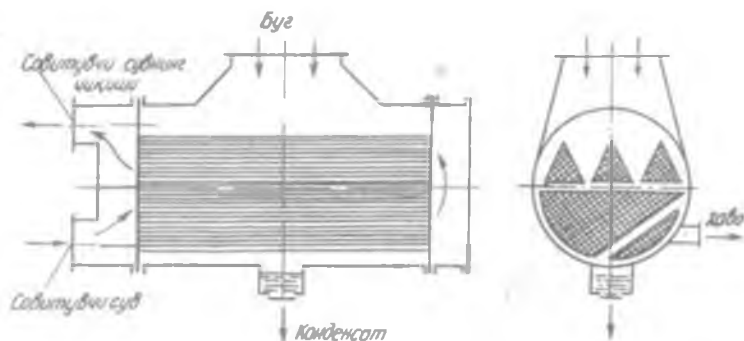
Ҳаво билан совитиладиган аппаратларда нш гилдирагининг диаметри 7 м гача бўлган вентиляторлар қўлланилади. Вентиляторларнинг гилдираклари пайвандланган алюминий ёки стеклопластдан, диффузор эса қалинлиги 2 мм бўлган листли пулатдан тайёрланади.

11.8-§. ЮЗАЛИ ВА АРАЛАШТИРУВЧИ КОНДЕНСАТОРЛАР

Буг ёки газнинг суюқ ҳолатга ўтиш жараёни *конденсациялаш* дейилади. Кимё ва озиқ-овқат саноатида конденсациялаш жараёни кенг тарқалган. Масалан, буглатиш қурилмаларида вакуум ҳосил қилиш, бугнинг конденсацияланиш иссиқлигидан фойдаланиб қурилмани иситиш, ҳар хил сиклиш 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.



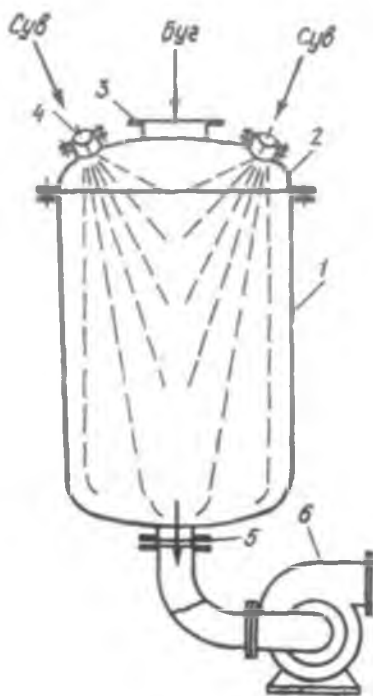
11.18- расм. Горизонтал қобик — трубаги конденсатор.

Юзали конденсаторлар тузнилишига кура юзали иссиқлик алмашиниш қурилмаларига ўхшайди. Кўпинча конденсация учун қобик-трубаги, «труба ичида труба» типдаги, намланувчи иссиқлик алмашиниш қурилмалари ишлатилади. 11.18- расмда горизонтал қобик-трубаги конденсатор кўрсатилган. Конденсаторда тўйинган буг бир хил температурада (t_1) конденсацияланади. Бунда буг яширинган буглатиш иссиқлигини беради. Конденсатнинг температурасини t_k деб олсак, у ҳолда ($t_1 - t_k$) 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.

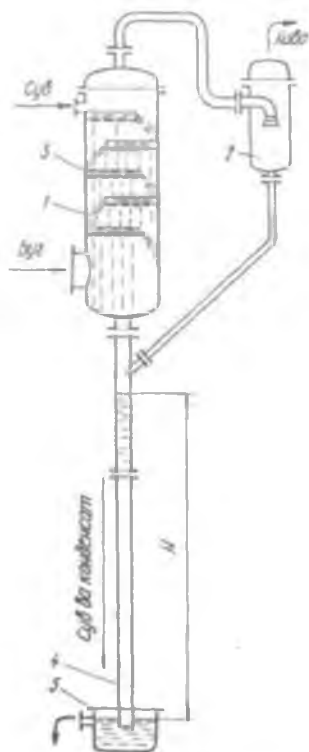
Аралаштирувчи конденсаторлар вакуум остида ишлайдиган турли қурилмаларда сийракланиш ҳосил қилиш учун ишлатилади. Булардаги вакуумни қўпайтириш учун совитувчи сувнинг температурасини камайитириш ва конденсатордан газларни ташқарига чиқариш зарур.

Буг ва сувнинг ўзаро ҳаракатига кўра аралаштирувчи конденсаторлар карама-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 — соғиб бериувчи соғло; 5 — сув, конденса-
сат ва ҳавони чиқариш учун патрубк;
6 — насос



11.20- расм. Барометрик конденса-
сатор:

1 — конденсатор; 2 — томчи ушлагич;
3 — тоқчалар; 4 — барометрик труба;
5 — барометрик идиш

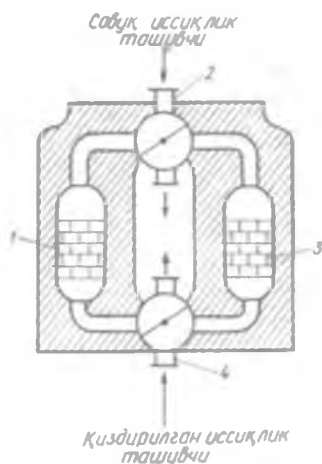
Совитувчи сув сопо (4) оркали сочиб берилади. Иситилган сув конденсат ва ҳаво билан бирга патрубок (5) оркали нам ҳаво насоси (6) ёрдамида ташқарига чиқарилади.

11.20- расмда карама-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 гальврсимон бўлади. Кўпинча яхлит токчалар ишлатилади. Буг пастки токчанинг тагига берилади ва юқорига қараб ҳаракат қилади. Буг токчалар орасида сув билан аралашини 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 оркали 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 ҳавонинг аппаратга кирмаслигига тўсқинлик қилиб, гидравлик затвор вазифасини бажаради. Конденсат ва сув барометрик труба оркали барометрик идишга тушади, сўнгра ташқарига чиқариб юборилади.

11.9-§. РЕГЕНЕРАТИВ ИССИҚЛИК АЛМАШГИЧЛАР

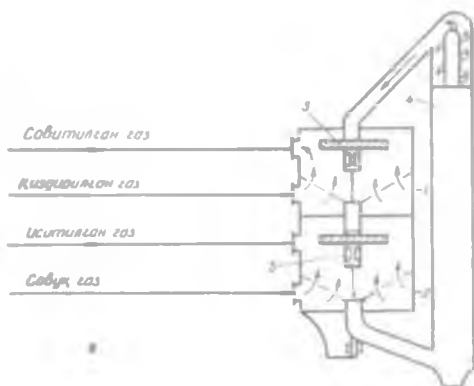
Бундай қурилмалар бирорта иссиқлик ташувчини олдин бошқа иссиқлик ташувчи таъсирида иситилган қаттиқ жисм билан навбатма-навбат контакт қилишига асосланган. Қаттиқ жисм (насадка) қўзғалмас ва ҳаракатланувчи ҳолатда бўлиб, даврий равишда иссиқлик ташувчилар таъсирида исийди ёки совийди. Насадка сифатида ўтга чидамли гиштлар, металл пластиналари ва шарлар, алюминий фольгаси ишлатилади. Қўзғалмас 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 юборилган ва насадканинг қизиши юз беради; шу пайтнинг ўзида чап камера (1) га совуқ иссиқлик ташувчи юборилади, бунда унинг аввал қиздирилган насадка таъсирида исийиши юз беради. Маълум вақтдан сўнг осма тўсиқлар карама-қарши томонга ўзгартирилади, бунда иссиқлик алмашиниш 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 оралиқ иссиқлик ташувчи (насадка) доимо ҳаракатда бўлади. Насадка чўмичли



11.21- расм. Кузгалмас насадкали регенератив иссиқлик алмашгич:

1 — насадкали чап камера; 2. 4 — патрубкталар; 3 — насадкали ғиғ камера



11.22- расм. Ҳаракатчан насадкали регенератив иссиқлик алмашгич:

1 — совитиш камераси; 2 — иситиш камераси; 3 — дисклар; 4 — қўмичли элеватор

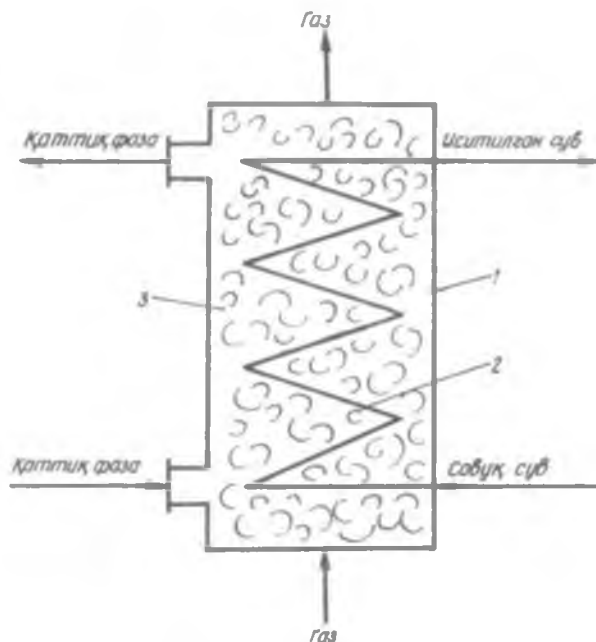
элеватор (4) ёрдамида узлуксиз равишда айланувчи дисклар (3) га бериб турилади. Ушбу дисклар каттик заррачаларни газларни совитиш ва иситиш камералари (1) ва (2) га бериб гуришни бошқаради. Камера (1) да киздирилган газлар (купинча тутунли газлар) таъсирида ҳаракатдаги насадка қизийди. Камера (2) да эса киздирилган 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 утга чидамли материаллардан тайёрланган, улчами 8—12 мм ли каттик заррачалар ва шарлар ишлатилади. Насадканинг материали кимёвий жиҳатдан бардошли, ишқаланиш ва зарба таъсирига нисбатан тегишли курсаткичларга эга бўлиши керак. Заррачаларнинг улчамига кура солиштирма юза ($10^5 \text{ м}^2/\text{м}^3$ гача) эга бўлади.

Регенератив иссиқлик алмашгичнинг камчилиги: қўшимча 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 КАТЛАМЛИ ИССИҚЛИК АЛМАШГИЧЛАР

Ҳозирда иситиш, утга тоблаб киздириш, ёниш, қуриштиш ва бошқа бир катор жараёнларни тезлаштириш учун мавҳум қайнаш катламли қурилмалар ишлатилмоқда.



11.23- расм. Мавҳум қайнаш қатламли иссиқлик алмашгич:

1 — қобик, 2 — змеевик, 3 — мавҳум қайнаш қатлами.

11.23- расмда мавҳум қайнаш қатламли иссиқлик алмашгичнинг чизмаси кўрсатилган. Қурилманинг пастки қисмига қаттиқ материал заррачалари юборилади. Қаттиқ заррачалар маълум критик тезлик билан берилаётган газ оқими таъсирида мавҳум қайнаш ҳолатига келтирилади (4.16- § га қараи). Мавҳум қайнаш қатламига змеевик шаклидаги иссиқлик алмашиниш юзаси тушрилади. Змеевикнинг ичидан иситилиши лозим бўлган сув юборилади. Бундай қурилмада иссиқлик мавҳум қайнаш қатламидан змеевик девори орқали сувга ўтади.

Мавҳум қайнаш ҳолатида қаттиқ заррачаларнинг газ (одатда ҳаво) оқими таъсирида тезкор аралашини юз беради, бунда температуралар майдони тезлик билан бир хил ҳолатга келади. Иссиқлик алмашиниш қуйидагича боради: 1) қаттиқ материал заррачалари ва газ оқими ўртасида; 2) мавҳум қайнаш қатлами ва қатламда (ёки қурилма ташқарисида) жойлашган иссиқлик алмашиниш юзаси ўртасида.

Газ оқимидан мавҳум 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 (катламдаги 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 трубади 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. Филофи 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.

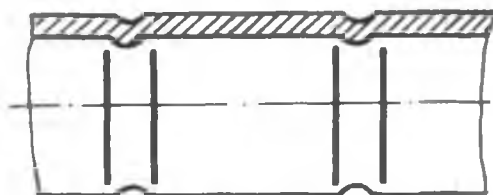
Мавҳум қайнаш қатламли иссиқлик алмашгичларда в р и й ва уз л у к с и з ишлайдиган қурилмаларга бўлинади. Қаттиқ материал заррачаларининг қурилмадан бир текисда ўтишини ҳамда қаттиқ фаза ва газ оқимининг қарама-қарши ҳаракатини таъминлаш учун узлуксиз қурилмалар кетма-кет секцияларга бўлинади. Бундай иссиқлик алмашгичларда ишлатилиб бўлинган қаттиқ заррачалар қурилмадан доимо чиқарилиб турилади, уларнинг ўрнига бошқа донатор материал киритилиб турилади.

11.11-§. ҚОБИҚ-ТРУБАДИ ҚУРИЛМАЛАРДА ИССИҚЛИК АЛМАШИНИШНИ ТЕЗЛАШТИРИШ

Қобик-трубади 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 киррали 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 алмашинишни яхшилаш учун трубалараро бўшлик-даги ҳаракатсиз зоналарни йўқотиш керак. Бунинг учун иссиқлик ташувчи агентнинг трубалараро бўшлиқдан чиқишида ёки унга киришида таркатувчи камераларни ўрнатиш мақсадга мувофиқ бўлади.

Иссиқлик алмашинишни тезлаштириш учун турли турбулизаторлардан фойдаланиш мумкин. Турбулизаторлар трубалар ташқи юзасидаги иссиқлик ташувчи муҳит чегара катламини 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 коэффициенти 2 маротаба кўпаяди.



11.24- расм. Ҳалқасимон ариқча-
чали труба.

Газ-суюқлик учун мўлжалланган иссиқлик алмашгичда суюқлик томонидаги иссиқлик бериш коэффициенти (α_c) 5 кВт/(м²·К) гача етиши мумкин. Газ томонида эса (α_r) 0,1 кВт/(м²·К) дан ортмайди. Бундай иссиқлик алмашгичларда текис трубалардан фойдаланиш қурилманинг массаси ва ўлчамини кўнайишига олиб келади. Шу сабабдан самарадорлиги кам бўлган иссиқлик ташувчи агентлар (газлар, қовушоклиги катта бўлган суюқликлар) томонидаги трубаларнинг юзаси қиррали қилиб тайёрланади (11.25- расм).

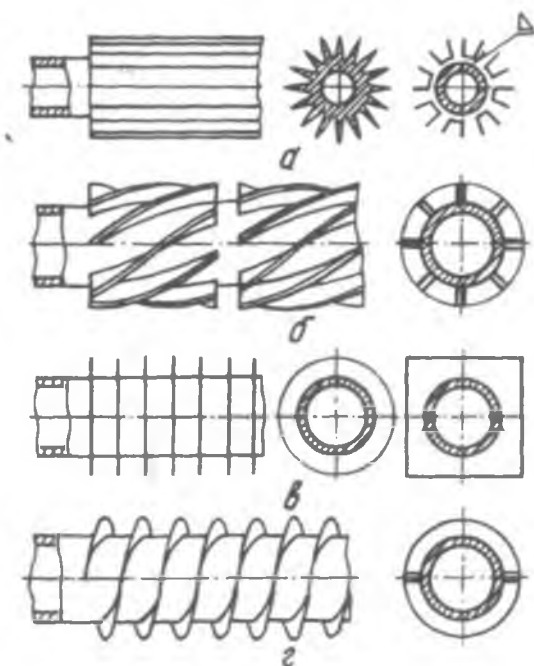
Трубаларни қиррали қилиб тайёрланганда қуйидаги тенгликка аҳамият берилиши керак:

$$\alpha_r F_r = \alpha_c F_c, \quad (11.2)$$

бу ерда α_r ва α_c — газ ва суюқлик томонидаги иссиқлик бериш коэффициенти; F_r ва F_c — газ ва суюқлик томонидаги иссиқлик алмашиниш юзаси.

Тадқиқотлардан маълумки, трубаларнинг юзаси қиррали қилинганда иссиқлик алмашиниш юзасининг кўпайишидан ташқари, қирралар оқимнинг гирдобсимон ҳолатга келишига ёрдам берганлиги сабабли иссиқлик бериш коэффициенти ҳам ортади. Шунинг 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) — бўйлағи қиррали, б) — тесиклан қиррали, в) — қўндаланг қиррали, г) — спиралсимон қиррали

қиррали (11.25- расм, б); 3) қўндаланг қиррали (11.25- расм, в); 4) спиралсимон қиррали (11.25- расм, г).

Қирраларнинг самарадорлиги иссиқлик бериш коэффициентини орқали белгиланади. Қиррали трубалар ишлатилганда α нинг қиймати қирранинг баландлиги, шакли ва материалга боғлиқ бўлади. Агар иссиқлик бериш коэффициентининг қиймати юқори бўлиши шарт бўлмаса, пўлатдан тайёрланган қирралардан фойдаланиш етарли, мабодо иссиқлик бериш коэффициентини катта қийматларга эришилиши зарур бўлганда мисли ёки алюминийли қирраларни ишлатиш мақсадга мувофиқ бўлади.

Трубанинг ичидаги термик қаршилик катта бўлганда чегара қатламни емирадиган ёки гидробсимон ҳолатга келтирадиган турбулизаторлардан фойдаланилади. Турбулизаторлар сифатида турли қўшимчалар (спираллар, диафрагмалар, дисклар) ва насадкалар (ҳалқалар, шарлар) ишлатилади; булардан фойдаланилганда трубанинг гидравлик қаршилиги кўпаяди.

11.26- расмда оқимни гидробсимон ҳолатга келтиришга ёрдам берадиган қўшимчали (диафрагмали, дискли, спиралли) трубалар кўрсатилган. Масалан, труба ичига диафрагма ўрнатилганда оқим $Re=140$ бўлганда турбулент ҳолатга ўтади (қўшимчаси бўлмаган трубада эса бу ҳолат $Re=2300$ бўлганда юз беради). Демак,

диафрагмали трубада иссиқлик алмашиниш тахминан 4 маротаба тез боради.

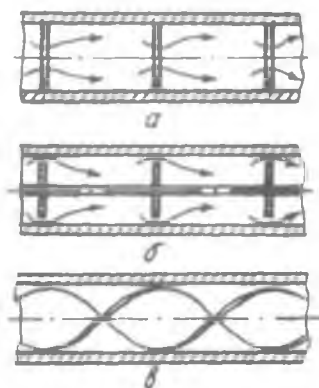
Юқорида айтиб ўтилган усуллардан ташқари, иссиқлик алмашиниш тезлаштиришнинг бошқа қатор усуллари ҳам таклиф этилган, жумладан, трубанинг ички юзасини қиррали қилиб тайёрлаш, айланувчан турбулизаторлардан фойдаланиш, иссиқлик алмашиниш юзасини тебранириш ва хоказо.

11.12-§. ИСТИҚБОЛЛИ ИССИҚЛИК АЛМАШГИЧ

Иссиқлик алмашиниш қурилмаларининг янги конструкциялари саноатда ишлатилаётган ўхшаш қурилмаларга кўра 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 алмашгичларни яратиш усулларида биттаси иш мухити чегара қатламини емириб ташлайдиган юзалардан фойдаланишдан иборатдир. Бу борада олимлар томонидан таклиф этилган пластина́ли-спиралсимон иссиқлик алмашгичлар диққатга сазовордир. Ушбу қурилмаларда иссиқлик алмашиниш юза сифатида қат-қат бурма шаклида тайёрланган спиралсимон листлар бажаради. Юзаси бурма ҳолатида булган каналлар бўйлаб иш мухити ҳаракат қилганида чегара зонада иккиламчи оқимлар ва марказдан қочма кучлар пайдо бўлади. Натижада иссиқлик ташувчиларнинг чегара қатлами емирилиб кетади ва иссиқлик алмашиниш жараёни самарали боради.

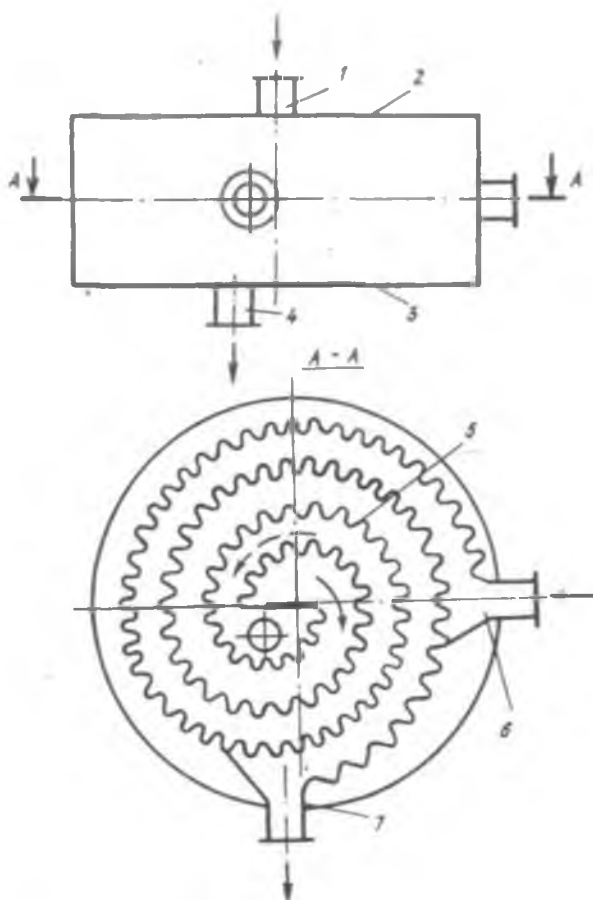
Пластина́ли-спиралсимон қурилмада (11.27-расм) иссиқлик алмашиниш юза сифатида спиралсимон қилиб эгилган, қат-қат бурмали листлар (5) дан фойдаланилади. Листларнинг оралиғи иссиқлик ташувчи агентлар учун каналлар бўлиб, икки томондан қопқоқлар (2), (3) билан беркитилган. Қарама-қарши йўналишли ҳаракат 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 киради, сўнгра бурмали листлар (5) ҳосил қилган каналдан ўтиб, штуцер (7) ёрдамида ташқарига чиқади.

Пластина́ли-спиралсимон иссиқлик алмашгичнинг асосий афзаллиги шундан иборатки, қурилма иссиқлик алмашиниш юзасининг бирлигига сарфланадиган қувватнинг қиймати, оддий қобик-труба́ли иссиқлик алмашгичга нисбатан тахминан 10 маротаба кам.



11.26- расм. Турбулизация қилинган қўшимчали трубалар:

а) диафрагмали. б) дискли; в) спиралли



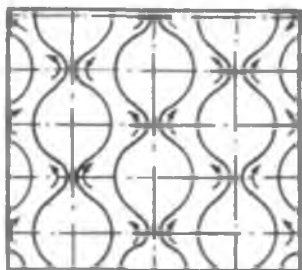
11.27- расм. Пластинали — спиралсимон иссиқлик алмаш-
гич:

1, 4, 6, 7 — иссиқлик ташувчиларнинг кириши ва чиқиши учун штуцерлар.
2, 3 — копоклар; 5 — қат-қат бўрма қилинган листлар

«Бавария Анлагенбау» фирмаси ишлаб чиққан «Бабекс» типдаги иссиқлик алмашгичи истиқболли қурилмалардан ҳисобланади. Унинг иссиқлик алмашиниш юзаси ҳам чегара қатламларнинг қалинлигини кескин камайтиради. Иссиқлик алмашгич қалинлиги 0,2—1,0 мм ли қилинган металл листларидан тайёрланган блоклардан иборат (11.28- расм). Қилинлаш йўли билан листларнинг юзасида ярим айланасимон ариқчалар пайдо қилинган. Листлар кетма-кет қилиб шундай бириктирилганки, уларнинг оралигида бирданига труба ва трубалараро бўшлиқлар ҳосил бўлади. Мухит бурмаларнинг ташқи юзасидан ўтишда тўлқинсимон ҳаракат қилади. 1500 ва ундан кўпроқ листлардан

ҳосил бўлган блокнинг иссиқлик алмашиниш юзаси 7200 м^2 гача етиши мумкин. Қурилма қуйидаги кўрсаткичларга эга: трубалараро бўшлиқдаги босим $8,4 \text{ МПа}$ гача; трубалар ичидаги босим $10,5 \text{ МПа}$; температура $130\text{—}760^\circ\text{C}$.

Бир қатор кимёвий технология жараёнларидаги иш мухити коррозияга активликка эга. Бундай мухит 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°C 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 алмашиниш қурилмаларидан сульфат кислота, хлороорганик маҳсулотлар, тиббиёт препаратлари ишлаб чиқаришда фойдаланиш мумкин.



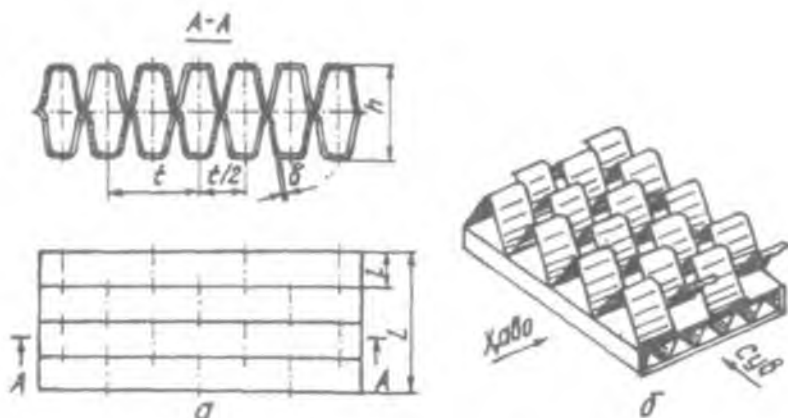
11.28- расм. «Бабек» типдаги иссиқлик алмашигичнинг трубади ўрами.



11.29- расм. Фторопластдан қилинган трубади иссиқлик алмашигич элементи.

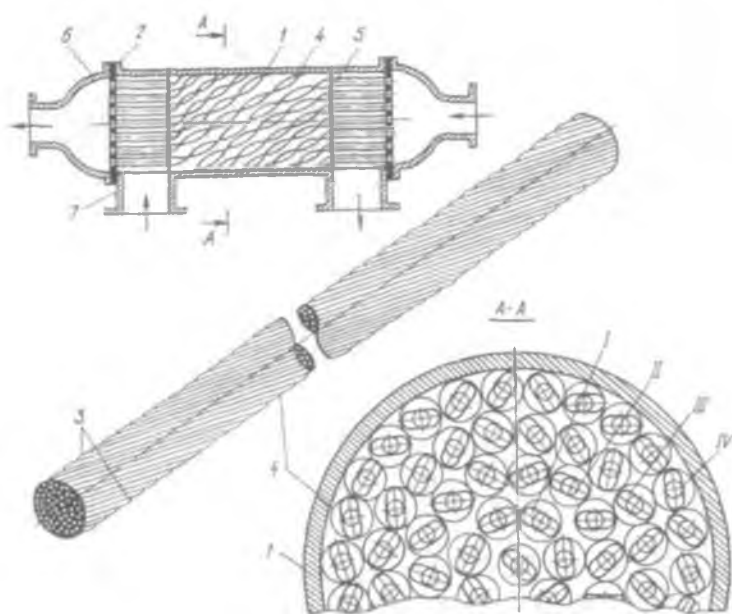
Трапациясимон ва учбурчак шаклидаги каналлар ҳосил қиладиган пластинали — қиррали иссиқлик алмашиниш юзаси (11.30- расм) дан фойдаланиб, истиқболли иссиқлик қурилмаси конструкциясини яратиш мумкин. Иссиқлик алмашиниш юзаси қирқиб бўлакланган қирралардан иборат бўлиб, қирралар бири-бирига нисбатан $0,5 \text{ л}$ га силжиган бўлади (l — қирраларнинг қадами). Бунда узунлиги l га тенг бўлган ҳар бир қирранинг олдинги қисми, ундан иссиқлик ташувчи агент айланиб ўтганда, қўндаланг урмаларни ҳосил қиладиган манба бўлиб хизмат қилади, натижада қирраларнинг юзасидаги иссиқлик бериш жараёни тезлашади. Ушбу иссиқлик юзасидан транспорт машиналарининг турли типдаги хаволи 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 алмашиниш жараёни самарадорлигини ошириш имконияти вужудга келади. Бундай муаммони ҳал



11.30- расм. Трапециясимон (а) ва учбурчакли (б) каналлардан ҳосил бўлган пластина — киррали кесилган иссиқлик алмашиниш юзаси:

t — кирраларнинг қадами; h — кирранинг баландлиги; b — кирранинг каллилиги; L — битта кирранинг кенглиги; L — киррали юзанинг кенглиги



11.31- расм. Буралган трубалар ўраидан ташкил топган иссиқлик алмашгич:

1 — қобик; 2 — трубали тўр; 3 — буралган трубалар ўраи; 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 ўрамидан таркиб топган иссиқлик алмашиниш қурилмаси чизмаси кўрсатилган. Буралган трубалар ўрамида тартибли уюрмали оқимлар пайдо бўлади; бунда, масалан, иш муҳитининг иссиқлик алмашиниш юзасида томчили оқиб келиб, оқиб чиқиш тарзидаги ҳаракати ва оқимнинг қўшимча гирдобсимон ҳолатга келиши юз беради. Бундан ташқари, ҳосил бўлган уюрмали оқим муҳитининг яхши аралашиниши таъминлайди.

11.13-§. ҚОБИҚ-ТРУБАЛИ ИССИҚЛИК АЛМАШИНИШ ҚУРИЛМАЛАРИНИ ҲИСОБЛАШ ТАРТИБИ

Иссиқлик алмашиниш 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-иқтисодий ҳисоблаш. Одатда бундай ҳисоблашлар бир неча вариантлар бўйича бажарилади. Танланган вариантни баҳолаш қуйидаги энг макбул белгиларнинг бирортаси бўйича олиб борилади: фойдали иш коэффициенти, 1 м^2 юзага сарфланадиган энергия миқдори, энг макбулликнинг техник-иқтисодий 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 алмашиниш юзаси F ни топишдир. F ни аниқлаш учун иссиқлик ташувчи агентларнинг сарфи, уларнинг дастлабки ва охири 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 коэффициенти; 4) иситиш юзаси.

Ҳисоблаш учун қуйидаги бошлангич маълумотлар берилган бўлиши керак.

1. Иситилаётган эритманинг миқдори G кг/с.
2. Эритма концентрацияси, %.
3. Эритманинг бошлангич ва охири температураси t_6 t_0 .
4. Иситкичнинг тури — вертикал, горизонтал, йўллар сони.
5. Иситувчи буг босими P , Па ёки температураси t , °С.
6. Пулат трубаларнинг ички ва ташқи диаметри d_i ва d_o ,

мм.

7. Труба узунлиги l , м.
8. Эритманинг ҳаракат тезлиги ω , м/с.
9. Иситиш юзасидан фойдаланиш коэффициенти ϕ .

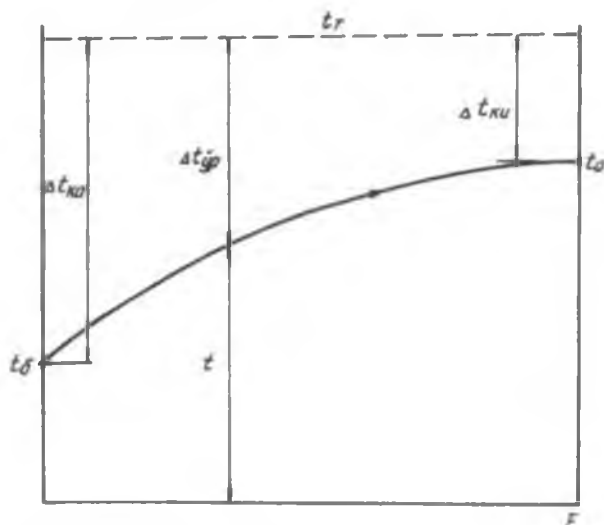
Ҳисоблаш қуйидаги тартибда олиб борилади.

Иситкичининг температура шартларини аниқлаш. Тўйинган буг босими P га кўра унинг тўйиниш температураси t_r махсус қўлланмалардан топилади. Иситишнинг бошланишида температураларнинг максимал (ёки катта) фарки:

$$\Delta t_{\kappa\delta} = t_r - t_{\delta}. \quad (11.3)$$

Иситишнинг охиридаги муҳит температураларининг минимал (ёки кичик) фарки:

$$\Delta t_{\kappa\mu} = t_r - t_{\mu}. \quad (11.4)$$



11.32- расм. Юзали иссиқлик алмашғични ҳисоблашга доир.

$\Delta t_{\kappa\delta}$ ва $\Delta t_{\kappa\mu}$ ларнинг қиймати 11.32- расмдан аниқланади. Ўртача температуралар фарқи қуйидаги тенглама орқали аниқланади:

$$\Delta t_{gp} = \frac{\Delta t_{\kappa\delta} - \Delta t_{\kappa\mu}}{2,3 \lg \frac{\Delta t_{\kappa\delta}}{\Delta t_{\kappa\mu}}}. \quad (11.5)$$

$\frac{\Delta t_{\kappa\delta}}{\Delta t_{\kappa\mu}} < 2$ бўлса, Δt_{gp} қуйидаги формула ёрдамида аниқланади:

$$\Delta t_{gp} = \frac{\Delta t_{\kappa\delta} + \Delta t_{\kappa\mu}}{2}. \quad (11.6)$$

Иситилаётган муҳитнинг ўртача температураси:

$$t = t_r - \Delta t_{gp}. \quad (11.7)$$

Иситилаётган эритманинг физик катталигини топиш. Уртача температура (ва эритманинг концентрацияси) бўйича махсус қўлланмадаги жадваллардан фойдаланиб берилган иссиқлик ташувчи агентларнинг физик микдори топилади:

- 1) ковшоқлик μ Па.с ёки ν , $\text{м}^2/\text{с}$;
- 2) зичлик ρ $\text{кг}/\text{м}^3$;
- 3) солиштира иссиқлик сигими 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 микдори ва буг сарфини аниқлаш. Суюқликни иситиш учун кетган иссиқлик микдори (Вт) куйидаги тенгламадан топилади:

$$Q = xGc(t_o - t_6). \quad (11.8)$$

бунда $x = 1,02 \div 1,05$ — иссиқликнинг йўқотилишини ҳисобга олувчи коэффицент; G — суюқлик сарфи, $\text{кг}/\text{с}$; c — эритманинг ўртача солиштира иссиқлик сигими, $\text{Ж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$; t_o — суюқликнинг охириги температураси, $^{\circ}\text{C}$; t_6 — суюқликнинг бошланғич температураси, $^{\circ}\text{C}$.

Буг сарфи ($\text{кг}/\text{с}$) куйидагича топилади:

$$D = \frac{Q}{i - \theta}. \quad (11.9)$$

i — иситувчи бугнинг энтальпияси, θ — конденсатнинг энтальпияси, $\text{Ж}/\text{кг}$;

$$\theta = t_s - (2 \div 5^{\circ}\text{C}).$$

i — махсус қўлланмаларда берилган буг босими P бўйича олинади.

Иссиқлик ўтказиш коэффицентини аниқлаш. Бир ва кўп қаватли текис юзалар учун иссиқлик ўтказиш коэффиценти K $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$ куйидаги 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 коэффицентлари, $\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$; $\sum r_n$ — девор (девор ва ифлосликлар қатламлари билан биргаликда) термик қаршиликларининг йигиндиси, $(\text{м}^2\cdot\text{К})/\text{Вт}$.

(11.10) тенгламадан, трубанинг ички диаметри d_n ни унинг ташқи диаметри d_s га нисбати $\frac{d_n}{d_s} > 0,5$ бўлган шароитда, цилиндрсимон юзалар учун K ни ҳисоблашда фойдаланиш мумкин.

Цилиндрсимон юзалар (трубалар) учун иссиқлик ўтказиш коэффициенти 1 м труба узунлигига нисбатан олинади $K_R \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$ ва қуйидаги тенглама билан аниқланади:

$$K_R = \frac{\pi}{\frac{1}{\alpha_1 d_n} + \sum \frac{1}{2\lambda} \ln \frac{d_i}{d_n} + \frac{1}{\alpha_2 d_i} + \sum \frac{r_3}{d_3}} \quad (11.11)$$

бу ерда λ — девор материалнинг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$; r_3 — ифлосликларнинг термик қаршиликлари, $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$; d_1 — трубанинг 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 (қиска 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 $1/r_3 = 1400 \div 1860 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Иссиқлик бериш коэффициентлари α_1 ва α_2 критериял тенгламалар ёрдамида топилади. Масалан, бизнинг мисол учун баландлиги H бўлган вертикал трубалар ўрами ташки юзасида бугдан деворга берилаётган иссиқлик бериш коэффициенти α_1 қуйидаги тенглама билан аниқланади:

$$\alpha = 1,15 \sqrt{\frac{\lambda^3 p^2 r_g}{\mu \Delta t H}} \quad (11.12)$$

Конденсатнинг физик-кимёвий катталиклари λ , μ , p юпка қатлам (пленка)нинг ўртача температураси $t_{\text{н.с.}} = \frac{t_1 + t_2}{2}$ бўйича топилади. Конденсацияланиш иссиқлиги q тўйиниш температураси t_1 га қараб аниқланади. Температуралар фарқи қуйидаги айирмага тенг:

$$\Delta t = t_1 - t_2,$$

бу ерда t_1 — деворнинг температураси.

Агар иситиш трубалари горизонтал бўлса, бунда бугнинг труба деворларига иссиқлик бериш коэффициенти қуйидагича аниқланади:

$$\alpha = 0,728 \sqrt{\frac{\lambda^3 p^2 r_g}{\mu d}} \quad (11.13)$$

бу ерда d — трубанинг диаметри.

Деворлардан иситилаётган мухитга иссиқлик бериш коэффициентлари ҳаракат режимига қўра ҳар хил критериялар тенгламалар ёрдамида топилади. Ҳисоблаш тенгламасини топиш учун аввал Рейнольдс мезони Re аниқланади. Сўнгга тегишли критериялар тенглама танланади. Масалан, тургун 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

$$\frac{wd_s}{\lambda} = 0,023 \left(\frac{wd_s}{\nu} \right)^{0.8} \left(\frac{c_p \mu}{\lambda} \right)^{0.4}. \quad (11.15)$$

бу ерда $d_s = 4S/\Pi$ — эквивалент диаметр, S — оқим қўндаланг кесимининг юзаси, Π — кесимнинг ҳўлланган периметри (думалок кесимли трубалар учун d_s трубанинг ички диаметрига тенг бўлади); w — иссиқлик ташувчи мухитнинг ўртача тезлиги; λ , ν , c_p , 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.

Оралик 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:

$$Nu = 0,17 Re^{0.33} Pr^{0.43} Gr^{0.1} \left(\frac{Pr}{Pr_s} \right)^{0.25} \quad (11.17)$$

бу ерда $Gr = \frac{g \beta \Delta l}{\nu^2}$ — Грасгоф мезони; l — аниқловчи геометрик

ўлчам (труба учун — унинг диаметри, текис вертикал юза учун — унинг баландлиги); β — суюқликнинг ҳажмий кенгайиш коэффициенти; Δl — девор ва суюқлик (ёки тескари) температуралари оралигидаги фарқ; Pr — суюқликнинг ўртача температураси бўйича ҳисобланган Прандтл сони; Pr_s — суюқликнинг девор ўртача температураси бўйича ҳисобланган Прандтл сони. Сўнгга α нинг қиймати Нуссельт мезони орқали топилади:

$$\alpha = \frac{Nu \cdot \lambda}{l}$$

Иситиш юзасини топиш. Иссиқлик алмашигичининг 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 алмашишини қурилмасининг асосий ўлчамларини топишдан иборат. Бунда қуйидагилар аниқланади: қурилма трубади қисмининг ўлчамлари, трубаларнинг сони, тўрда трубаларнинг жойлашуви, қурилма диаметри, қурилма баландлиги, патрубоклар диаметри.

Қурилма трубади қисмининг ўлчамларини аниқлаш. Битта йўлдаги трубаларнинг кўндаланг кесимини топамиз:

$$l_r = \frac{G}{\rho v}, \quad (11.18)$$

бу ерда G — суюқликнинг сарфи, кг/с; ρ — суюқликнинг зичлиги, кг/м³; v — суюқликнинг тезлиги, м/с.

Битта йўлдаги трубаларнинг сони:

$$n_1 = \frac{l_r}{0,785 \cdot d_x^2}, \quad (11.19)$$

d_x — трубадинг 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, $d_x = 0,5 (d_u + d_r)$, $\alpha_1 \gg \alpha_2$ бўлса, $d_x = d_r$, $\alpha_1 \ll \alpha_2$ бўлса, $d_x = d_r$.

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.

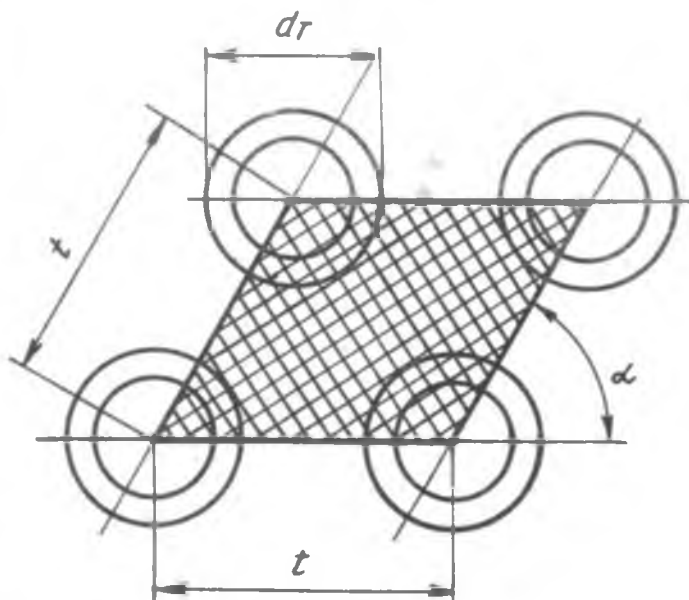
Трубалар олтибурчакларнинг қирралари бўйича жойлаштирилганда тўрнинг бир қисми фойдаланилмай қолади. Шу сабабли, агар $a > 8$ бўлганда, қўшимча яна m микдордаги трубаларни жойлаштириш имконияти пайдо бўлади. Бунда умумий трубаларнинг сони кўпаяди:

$$n = n_0 + m. \quad (11.24)$$

Одатда $m = (0,1 \div 0,18)n$.

Аппарат қобигининг ички диаметрини аниқлаш. Қобик ичига жойлаштирилган трубади тўрнинг майдони куйидаги тенглама орқали топилади:

$$\Phi = \Phi_{\phi} + \Phi_{\psi} = \frac{\Phi_{\phi}}{4}, \quad (11.25)$$



11.33-расм. Битта труба учун трубади тўрнинг фойдали майдонини аниқлашга доир.

бу ерда Φ_ϕ —трубалар томонидан эгалланган фойдали майдон; Φ_3 —трубалар жойлашмаган эркин майдон; Γ — труба туридан фойдаланиш коэффицента; олтибурчаклар кирралари буйича жойлаштирилганда $-\phi = 0,6$ —куп йулли, $-\phi = 0,9$ —бир йулли аппаратлар учун.

Битта трубанинг фойдали майдони (11.33- раем) $/\sin \alpha$ га тенг (/ — трубаларнинг жойланиш кадами, $\alpha = 60^\circ$ — труба каторларининг марказий чизиклари хосил килган бурчак). Бунда хамма трубалар n учун трубади турнинг майдони:

$$\Phi = \frac{H_M^2}{\sin \alpha} \quad (11.26)$$

(11.20) тенгламага асосан битта йулли трубаларнинг иситиш юзаси ($d_s = d_T$ булганда):

$$F = nnd_T l. \quad (11.27)$$

Бундан

$$\bullet \text{ш-} \quad \langle n - 28 \rangle$$

Агар $\phi = \frac{l}{D_0}$ хисобга олинганда кобикнинг ички диаметри D_0 (м хисобида) куйидаги тенглама билан аникланади:

$$\Gamma) \frac{1}{4\phi} = \frac{14n^2 \sin \alpha}{4F(\sin \alpha)} \quad n \text{ynd } I$$

$$t = \frac{1}{\Gamma \sin \alpha}$$

Аппаратнинг тула баландлигини топиш. Иссиклик алмашиниш аппаратининг баландлиги (ёки узунлиги) куйидаги тенглама билан топилади:

$$\# = \frac{1}{26} + \frac{2}{Z}, \quad (11.30)$$

бу ерда $\frac{1}{Z}$ — трубаларнинг узунлиги; b — турнинг калинлиги, м; h — кировчи ва чикувчи камераларнинг баландлиги, м.

Патрубокларнинг диаметрини аниклаш. Патрубокларнинг ички диаметри берилган мухитнинг сарфига ва ҳаракат тезлигига қараб аникланади:

$$D_n = D / \sqrt[4]{w}, \quad (11.31)$$

бу ерда V — мухитнинг сарфланиш микдори, $\text{м}^3/\text{с}$; w — мухитнинг ҳаракат тезлиги, $\text{м}/\text{с}$.

Хисоблашлар учун куйидаги тезлик кийматларидан фойдаланиш мумкин: суюкликлар 0,1 -1-2,5 м/с; газлар 2-20 м/с; сув буги 154-60 м/с.

Гидравлик хисоблашдан асосий мақсад иссиқлик алмашилиш курилмасидаги ишқаланиш ҳамда маҳаллий қаршилиқларни енгитиш учун кетган босими ва иш мухитини курилмадан утказиш учун керак булган кувватни топишдан иборат.

Қ,обик,-трубали иссиқлик алмашигичнинг трубали қисми ҳамда қундаланг тусиқлари булмаган трубалараро бушлиги учун гидравлик қаршилиқ (ЛЯ, Па) ни куйидаги тенглама орқали аниқлаш мумкин:

$$AP = AP_{\eta} + AP_{\text{мк}} = k_j \cdot p^{\wedge} + \Pi; \wedge f. \quad (11.32)$$

бу ерда AP_{η} — ишқаланиш қаршилиқларини енгитиш учун йукотилган босим, Па; $AP_{\text{мк}}$ — маҳаллий қаршилиқларни енгитиш учун йукотилган босим, Па; K — ишқаланиш коэффициент; l — трубаларнинг битта йули узунлиги, м; ρ — йуларнинг сони; δ — эквивалент диаметр, м; ρ — суюқлик ёки газнинг зичлиги, кг/м³; η — оқимнинг тезлиги, м/с; ξ — маҳаллий қаршилиқ коэффициент.

Ишқаланиш коэффициент % мухитнинг ҳаракат режимига ва труба деворларининг гадир-будирлик даражасига боғлиқ. Ламинар режимда ($Re < 2300$) гадир-будирлик ишқаланиш коэффициентам амалий жихатдан таъсир қилмайди ва думалок кесимли трубалар учун λ нинг киймати куйидаги тенглама билан топилади:

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad (11.33)$$

Турбулент режимда ($2300 < Re < 10^4$) гидравлик текис трубалар (шиша, мис, кургошин) учун:

$$\lambda = \frac{0.3164}{Re^{0.25}} \quad (П.34)$$

Гидравлик гадир-будир трубалар (пулат, чуянли) учун турбулент режимда ($Re > 2300$) λ ни хисоблаш учун куйидаги тенгламадан фойдаланилади:

$$\lambda = \frac{0.046}{Re^{0.2}} \quad (ил)$$

$Re > 10^5$ булганда турбулент режим ута ривожланган булиб, λ нинг киймати Re га боғлиқ булмай қолади. Бундай ҳолат *автомодел режима* деб юритилади. Ушбу режимда λ нинг киймати куйидаги тенглама орқали аниқланади:

$$\lambda = \frac{0.116}{Re^{0.1875}} \quad (11.36)$$

бу ерда $e = k/d$, трубанинг нисбнй 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 қўра ўзгаради. Каналлар қўндаланг кесимининг шаклига қўра эквивалент диаметрнинг қиймати 11.1-жадвалдан фойдаланиб ҳисобланади.

11.1- ж а д в а л. Эквивалент диаметрнинг қийматини аниқлаш

Қўндаланг кесимнинг шакли	Эслатма
Халқасимон $D - d_n$	D — ташки диаметр, d_n — ички диаметр
Квадрат a	a — квадратнинг томони
Тўғри тўртбурчакли $\frac{2a}{a+b}$	a ва b — тўғри тўртбурчакликнинг томонлари
Трубалар орасидаги бўшлик	D — қурилманинг ички диаметри d — трубаларнинг ташки диаметри, n — трубалар сони
$\frac{D^2 - nd}{D - nd}$	

Маҳаллий қаршиликлар коэффициентларининг қиймати тажриба йўли билан аниқланади ва тегишли қўлланмаларда берилган бўлади. Қобик-трубали иссиқлик алмашиниш қурилмалари учун ҳисоблаш пайтида маҳаллий қаршиликлар коэффициентининг қийматини қуйидагича олиш мумкин:

Трубили бўшлиқ

Кирувчи ёки чикувчи камера	—1,5
Йўллар ёки секциялар оралиғида 180° га бурилиш	—2,5
Трубаларга кириш ёки улардан чиқиш	—1,0

Трубиларио бўшлиқ

Трубалараро бўшлиққа кириш ёки ундан чиқиш	— 1,5
Трубалараро бўшлиқдаги тўсик орқали 180° га бурилиш	— 1,5
Трубалараро бўшлиқда 90° га бурилиш	1,0

Иссиқлик алмашгич учун ΔP нинг қиймати аниқлангандан сўнг, суюқликни қурилма орқали ҳайдаш учун керак бўлган насоснинг қуввати (N кВт) топилади:

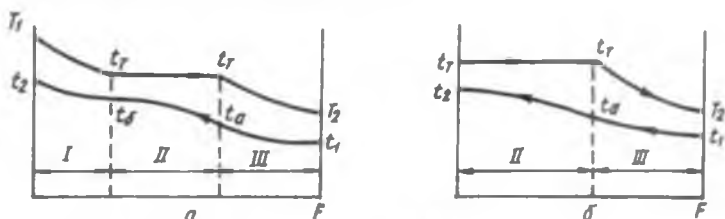
$$N = \frac{G \Delta P}{1000 \eta}, \quad (11.37)$$

бу ерда G — суюқлик сарфи, кг/с; ρ — суюқлик зичлиги, кг/м³; ΔP — насос томонидан ҳосил қиладиган босим фарқи, Па; η — насоснинг фойдали иш коэффициенти.

Иссиқлик алмашиниш 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 қўринишда бўлади: а) ўта қизиган буг; б) тўйинган буг. Конденсацияланиш пайтида температуранинг ўзгариши 11.34-расмда берилган. Ўта қизиган бугни конденсациялашда иссиқлик алмашиниш 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 алмашиниш 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_r да юз беради. Ҳар бир зонада иссиқлик ўтказиш коэффициенти ва иссиқликнинг йўқолиши турлича бўлади. Иссиқлик сарфи Q (Вт) ҳар бир соҳа учун алоҳида топилади:

$$Q_{II} = Dr = Wc(t_2 - t_a), \quad (11.38)$$

$$Q_{III} = Dc_1(t_r - T_2) = Wc(t_a - t_1), \quad (11.39)$$

бу ерда D — конденсацияланаётган бугнинг сарфи, кг/с; c_1 — конденсатнинг солиштирма иссиқлик сигими, Ж/(кг·К); W — совитувчи сувнинг сарфи, кг/с; c — совитувчи сувнинг солиштирма иссиқлик сигими, Ж/(кг·К); t_r — конденсацияланиш температураси, °С; T_2 — конденсатнинг совиш температураси, °С; t_1 ва t_2 — совитувчи сувнинг бошлангич ва охириги 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_s дан юқори бўлса, I соҳада ўта қизиган бугнинг фақат совиши юз беради, бунда бугдан деворга бўлган иссиқлик бериш коэффициенти худди газлар каби аниқланади. $t_d = t_s$ бўлганда конденсацияланиш жараёни бошланади.

Биринчи соҳа учун иссиқлик сарфи қуйидагича топилади:

$$Q_1 = D c_0 (T_1 - t_s), \quad (11.42)$$

бу ерда c_0 — ўта қизиган бугнинг ўртача солиштирма иссиқлик сигими, 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 конденсатнинг 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 солиштира энтальпияси, Ж/кг; c — конденсатнинг солиштира иссиқлик сигими, Ж/(кг·К); t_1 — совитувчи сувнинг температураси, °С; t_2 — барометрик сувнинг температураси, °С; c_1 — сувнинг солиштира иссиқлик сигими, Ж/(кг·К).

(11.44) тенгламадан совитувчи сувнинг солиштира сарфини (1 кг бугни конденсациялаш учун сарф бўлган кг ҳисобидаги сувнинг миқдори) аниқлаш мумкин:

$$m = \frac{W}{D} = \frac{i - ct_2}{cAt_2 - t_1} \quad (11.45)$$

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 бушлиқ юза конденсатор кўндаланг қисми 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 $h_{\text{ср}} = 0,4 D_k$ 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 (м) қуйидаги тенглик билан аниқланади:

$$H = h_a + h_d + 0,5 \quad (11.46)$$

бу ерда h_a — 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 — қўшимча баландлик, бу баландлик босим атмосфера босимидан ортиб кетганда конденсаторнинг буг штуцерига сув кириб кетишининг олдини олиш учун қўшилади.

h_a нинг қиймати (м) қуйидаги нисбат орқали аниқланади:

$$h_a = 10,33 \frac{H}{760} \quad (11.47)$$

бу ерда B — конденсатордаги сийракланишнинг қиймати, мм симоб устуни.

h — баландлиги (м) қуйидаги 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 қуйидаги 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 қурилманинг иш унумдорлиги камаёди. Шу сабабли ҳаво конденсатордан вакуум-насос ёрдамида узлуксиз равишда сўриб турилиши керак. Сўриб олинishi керак бўлган ҳавонинг ҳажми (м³/с) қуйидаги тенглама орқали топилади:

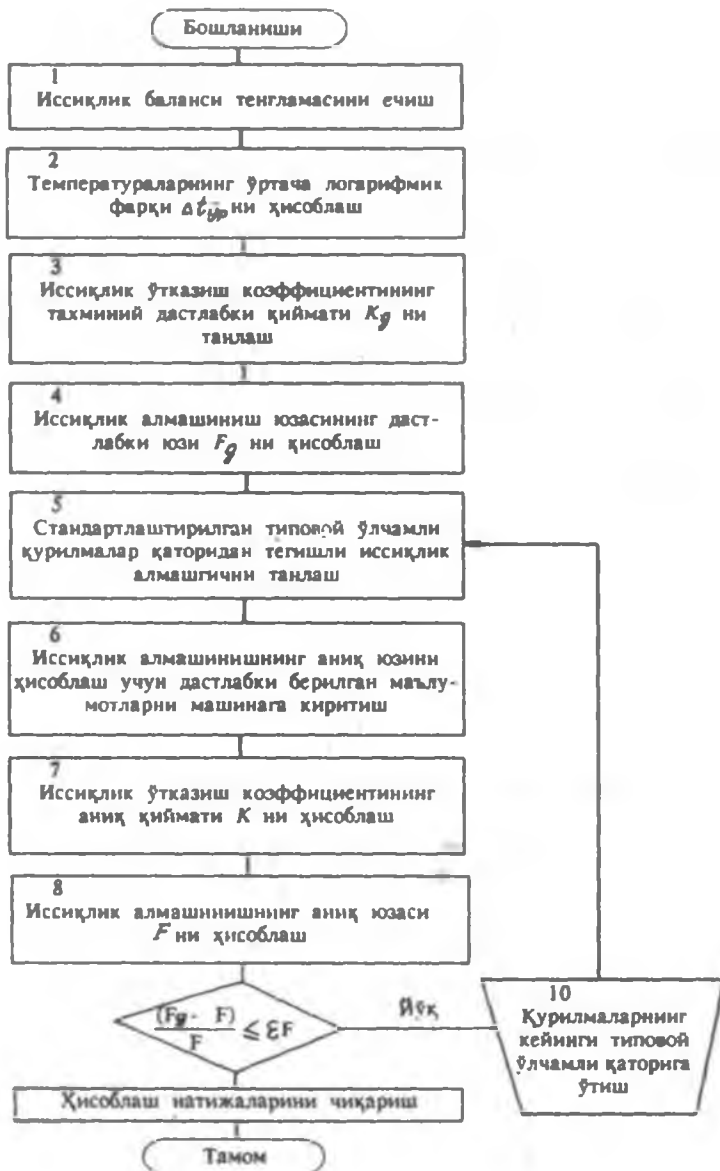
$$V = MD \frac{273 + t}{760 - B}, \quad (11.50)$$

$M = 0,0688$ — бугдаги газ миқдорини характерловчи коэффициент; t — насосга қираётган ҳаво температураси, одатда $t = 25^\circ\text{C}$; B — конденсатордаги сийракланиш (вакуум), одатда $B = 660 \dots 680$ мм с.м. уст.

11.15-§. КОБИҚ-ТРУБАЛИ ИССИҚЛИК АЛМАШГИЧНИ ЭҲМ ЁРДАМИДА ҲИСОБЛАШ

Иссиқлик алмашгични ҳисоблаш одатда маълум бир шароит учун типавий ўлчамли қурилмалардан кераклисини танлаш билан якунланади. Бу ҳисоблашлар анъанавий усулда (ҳисоблаш машиналарисиз) олиб борилганда кўп вақт талаб қилинади. Ҳисоблаш ишларида электрон ҳисоблаш машиналаридан фойдаланилганда зарур бўлган вақт анча камаёди ва иқтисодий жиҳатдан энг тежамли иссиқлик алмашиниш қурилмаларини танлашга эришилади. Шу сабабдан иссиқлик алмашиниш қурилмаларини ЭҲМ ёрдамида ҳисоблаш катта аҳамиятга эга.

Қобик — трубади иссиқлик алмашгични автоматлаштирилган усул билан ҳисоблаш тартибини кўриб чиқамиз. Аввало ҳисоблашнинг мақсади аниқ қилиб олинади. Мисол учун қуйидаги мақсадни қабул қиламиз: талаб қилинган миқдордаги иссиқлик ўтказишни



11.35- расм. Қобик — трубаги иссиқлик алмашигични автомат-
лаштирилган 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:

$$Q' = G_h(i_{\text{нб}} - i_{\text{но}}) = G_c(i_{\text{сб}} - i_{\text{сн}})$$

бу ерда Q' — иссиқлик оқими; G_h ва G_c иссиқ ва совуқ иссиқлик ташувчиларнинг сарфи; $i_{\text{нб}}$ ва $i_{\text{но}}$ — иссиқ иссиқлик ташувчининг бошланғич ва охириги энталпияси; $i_{\text{сб}}$ ва $i_{\text{сн}}$ — совуқ иссиқлик ташувчининг бошланғич ва охириги энталпияси.

2. Иссиқлик ташувчиларнинг ўзаро ҳаракат қилиш усулига кўра температураларнинг ўртача логарифмик фарқи $\Delta t_{\text{фр}}$ ни аниқлаш: қарама-қарши йўналишли ҳаракат учун

$$\Delta t_{\text{фр}} = \frac{(t_{\text{нб}} - t_{\text{сн}}) - (t_{\text{но}} - t_{\text{сб}})}{\ln \frac{t_{\text{нб}} - t_{\text{сб}}}{t_{\text{но}} - t_{\text{сн}}}},$$

тўғри йўналишли ҳаракат учун

$$\Delta t_{\text{фр}} = \frac{(t_{\text{нб}} - t_{\text{сб}}) - (t_{\text{но}} - t_{\text{сн}})}{\ln \frac{t_{\text{нб}} - t_{\text{сб}}}{t_{\text{но}} - t_{\text{сн}}}},$$

аралаш ва кесишган йўналишли ҳаракат учун

$$\Delta t_{\text{фр}} = \Psi \frac{(t_{\text{нб}} - t_{\text{сн}}) - (t_{\text{но}} - t_{\text{сб}})}{\ln \frac{t_{\text{нб}} - t_{\text{сб}}}{t_{\text{но}} - t_{\text{сб}}}},$$

бу ерда $t_{\text{нб}}$ ва $t_{\text{но}}$ — иссиқ иссиқлик ташувчининг бошланғич ва охириги температураси; $t_{\text{сб}}$ ва $t_{\text{сн}}$ совуқ иссиқлик ташувчининг бошланғич ва охириги температураси:

$$\Psi = \frac{\sqrt{R^2 + 1}}{R_1 - 1} \cdot \frac{\ln \frac{1 - R}{1 - PR}}{\ln \frac{2 - P(R + 1 - \sqrt{R^2 + 1})}{2 - P(R + 1 + \sqrt{R^2 + 1})}},$$

$$P = \frac{t_{\text{но}} - t_{\text{сб}}}{t_{\text{нб}} - t_{\text{сб}}}; \quad R = \frac{t_{\text{нб}} - t_{\text{но}}}{t_{\text{сн}} - t_{\text{сб}}}.$$

3. Справочникларда берилган маълумотларга асосан иссиқлик ўтказиш коэффициентининг тахминий дастлабки қиймати K_d қабул қилинади.

4. Иссиқлик алмашинишнинг дастлабки юзасини ҳисоблаш

$$F_A = \frac{Q'}{K_A \Delta t_{fp}}$$

5. F_A нинг қийматига асосан ЭХМ нинг хотирасида жой. қўйилган стандартлаштирилган типавий ўлчамли қурилмалар каторидан тегишли иссиқлик алмашгични танлаш.

6. Аниқ ҳисоблаш учун танланган иссиқлик алмашгичнинг геометрик параметрларини машинага киритиш.

7. Танланган қурилманинг геометрик параметрлари ва ишлаш шартларини 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 ($A = d_i/d_n$ ва $E = 1$ труба-

лардаги иссиқлик иссиқлик ташувчи учун; $A = 1$ ва $E = \frac{d_i}{d_n}$ тру-

балараро бўшлиқдаги иссиқ иссиқлик ташувчи учун; d_i ва d_n и-

ссиқлик алмашгич труба-сининг ташки ва ички диаметрлари;

α_n — иссиқлик ташувчидан деворга иссиқлик бериш коэффициенти;

α_c — девордан совуқ иссиқлик ташувчига иссиқлик бериш коэффи-

циенти; $\sum \Theta$ — термик қаршилликларнинг йиғиндиси.

8. Иссиқлик алмашинишнинг аниқ юзасини ҳисоблаш

$$F = \frac{Q'}{K \Delta t_{fp}}$$

9. Ҳисобланган иссиқлик алмашиниш 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 алмашиниш юзаси ва иссиқлик ўтказиш коэффициенти; қурилманинг асосий конструктив ўлчамлари; труба-ларнинг жойланиш схемалари ва бошқалар.

11.15-§. ИССИҚЛИК АЛМАШИНИШ ҚУРИЛМАЛАРИНИ ТАНЛАШ

Иссиқлик алмашиниш 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 каршилиқларнинг характери; матери-
алнинг тури ва унинг коррозияга бардошлиги; қурилма тузилиши-
нинг соддалиги ва ихчамлиги; иш муҳити ҳаракатининг ўзаро
ўналиши; иссиқлик алмашиниш юзасини ифлосликлардан тоза-
лаш имконияти; ўтказилган иссиқлик бирлигига тўғри келадиган
металл сарфи ва бошқа техникавий-иқтисодий кўрсаткичлар.

Иссиқлик алмашиниш қурилмаларини тайёрлаш учун турли
металлар (темир, чуян, алюминий) ва уларнинг қотишмалари
ишлатилади. Энг кўп пўлат ишлатилади. Таркибида кам микдорда
углеродни ушлаган пўлатлар яхши қолпланиш 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 яхшилайдиган; никел эса мустаҳкамлиги ва
эгилювчанлигини оширади; кремний қўшилган пўлатнинг ўтга
чидамлилиги кучаяди.

Легирловчи элементлар қуйидаги ҳарфлар билан белгиланади:
Х — хром, Н — никел, М — молибден, Г — марганец, С — крем-
ний, Т — титан, Д — мис, Ю — алюминий, Масалан, Х18Н12М2Т
маркали пўлатнинг таркибида қуйидаги элементлар бор (%
хисобиди): углерод — 0,1 дан кам; хром — 18; никел — 12;
молибден — 2; титан — 1 дан кам.

Оддий пўлатлар (масалан Ст. 3) ортик босим билан (6 мПа
гача) иш муҳитлари температуралари — 30°C дан +425°C
бўлганда иссиқлик алмашиниш қурилмалари тайёрлаш учун
ишлатилади. Анча қийин шарт-шароитлар учун қурилмалар
тайёрлаш мақсадида сифати яхшилانган углеродли пўлатлар
(15К ва 20К маркали) ишлатилади. Иссиқликка чидамлилиқ ва
мустаҳкамликни ошириш учун кам легирланган пўлатлар (10Г2С1,
16ГС, 30Х, 40Х) ишлатилади, бундай материаллардан тайёрланган
қурилмаларни иш муҳити 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 — трубади 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-трубади иссиқлик
алмашгичлар углеродли ва зангламайдиган пўлатдан тайёрлана-
ди, бундай қурилмаларнинг иссиқлик алмашиниш юзаси 1 дан
2000 м² гача боради. Қобигининг ташқи диаметри 159—426 мм
бўлган қурилмалар стандартлаштирилган трубалардан тайёрла-
нади. Қобигининг диаметри 400 мм дан катта бўлган иссиқлик
алмашиниш қурилмалари углеродли ва зангламайдиган пўлат
листларини пайвандлаш йўли билан тайёрланади.

U-симон трубади қобик-трубади 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 эмеевикли иссиқлик алмашгичлар кўпинча ректификацион колонналарнинг иситувчи элементлари сифатида ҳамда иситгичлар вазифасида ишлатилади.

Пластинали иссиқлик алмашиниш қурилмаларидан совитгич, иситгич ва конденсаторлар сифатида фойдаланилади. Юзаси $0,2\text{—}1,3\text{ м}^2$ 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 ташки юзасидан иситилиши лозим бўлган ҳаво айланиб ўтади) ишлатилади. Одатда трубаларнинг қирралари мис ёки алюминийли юпка листлардан қилинади.

Спиралсимон иссиқлик алмашгичлар суюқлик ва газларни иситиш ёки совитиш учун фойдаланилади. Бундай иссиқлик қурилмаларининг иш режими қуйидагича бўлади: температуранинг 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 чидамлилик даражасини кучайтириш учун фенолформальдегид смоласи ўрнига кремний-органик смолалар ишлатилади.

Шнекли иссиқлик алмашиниш қурилмалари иссиқлик ўтказувчанлиги кичик бўлган материаллар (масалан, қовушоклиги катта бўлган суюқликлар)ни иситиш ёки совитиш учун ишлатилади.

Аралаштирувчи конденсаторлар буг билан совитувчи сувнинг 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 маҳсулотларни 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°C) бўлганда ишлатилади.

ТАКРОРЛАШ 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. Пластиннали ва спиралсимон иссиқлик алмашгичнинг афзалликлари нимада? Бундай қурилмалар қандай режимда самарали ишлайди?
11. 6. Фиофли 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 истикболли қурилмалар каторига 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 истикболли 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. Кўзали 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-БОБ. 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 суюқликнинг 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 катор суюқ эритмалар буғлатилади. Баъзан буғлатиш ёрдамида тоза эритувчилар ҳам олинади. Айрим

шаронтларда куюклаштирилган эритма кристалланиш жараёнини амалга ошириш учун махсус буглатиш қурилмаларига юборилади.

Куюклаштирилган эритмалар ва буглатиш натижасида ҳосил бўлган каттик 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. Факат айрим ҳолларда эритмани куюлтириш 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 куюклаштиришда 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 тугилади.

Вакуум остида буглатиш камчиликлардан ҳоли 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 куюлтиришда 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. Кичик 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 микдори дастлабки эритма буглатиш аппаратиغا кирази, қуюқлаштирилган эритманинг микдори G_k (кг/с), унинг охирги 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 концентрацияси v_k берилган бўлади. Бунда (12.1) ва (12.2) тенгламалар орқали аппаратнинг иш унуми топилади.

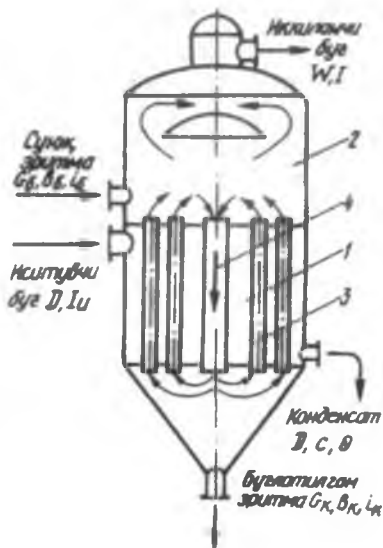
Қуюқлаштирилган эритма бўйича:

$$G_k = \frac{G_6 v_6}{v_k}. \quad (12.3)$$

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_k — унинг энтальпияси; I — 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 трубаси бўлган буглатиш қурилмаси.

1 — иситиш камераси; 2 — сепаратор; 3 — иситиш трубалари; 4 — циркуляция трубаси.

иситувчи буг конденсатининг энтальпияси; c_0 , c_k , c' — дастлабки ва қуюклашган эритма ҳамда конденсатнинг ўртача солиштирма иссиқлик сизимлари; t_0 , t_k , θ — дастлабки ва қуюклашган эритма ҳамда иситувчи буг конденсатининг температуралари.

Иссиқликнинг кириши на унинг сарфланиши қуйидагича бўлади:

Иссиқликнинг кириши
Дастлабки эритма билан ... $G_0 i_0$
Иситувчи буг билан ... $D J_n$
Иссиқликнинг сарфланиши
Қуюклашган эритма билан ... $G_k i_k$
Иккиламчи буг билан ... WJ
Қуюклаштириш иссиқлиги ... $Q_{\text{қош}}$
Атроф муҳитга йўқотилган иссиқлик ... Q_a .

Иссиқлик баланси қуйидагича ифодаланади:

$$G_0 i_0 + D J_n = G_k i_k + WJ + Q_{\text{қош}} + Q_a \quad (12.5)$$

Дастлабки эритма қуюклашган эритма ва буглатилиши лозим бўлган сув аралашмасидан иборат ҳамда дастлабки эритманинг иссиқлик сизими температураси t_0 билан t_k интервалда ўзгармай қолади деб оламиз. Бунда қуйидаги иссиқлик балансини ёзиш мумкин:

$$G_0 c_0 t_k = G_k c_k t_k + Wc''t_k \quad (12.6)$$

бу ерда c'' — температура 0°C дан t_k гача ўзгарган пайтдаги сувнинг ўртача иссиқлик сизими.

t_0 , t_k , i' ва G_0 , c_k нинг қийматини (12.5) тенгламага қўйиб, қуйидаги ифодани оламиз:

$$G_0 c_0 t_k + D J_n = G_0 c_0 t_k - Wc''t_k + WJ + Dc'\theta + Q_{\text{қош}} + Q_a$$

Бу тенгламадан буглатиш аппаратида нақт бирлиги ичида иситувчи буг билан киритилган иссиқлик миқдорини аниқлаймиз:

$$Q = D(J_n - c'\theta) = G_0 c_0(t_k - t_0) + W(J - c''t_k) + Q_{\text{қош}} + Q_a \quad (12.7)$$

(12.7) тенгламанинг унг 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 $Q_{\text{қош}}$ билан ифодаланади. Қуюклаштириш жараёнида иссиқликнинг ютилиши ёки чиқиши содир бўлади. Шунга кўра $Q_{\text{қош}}$ нинг миқдори иссиқлик балансининг кириш ёки сарфланиш қисмлари

оркали 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:

$$D = \frac{G_a t_0(t_k - t_0) + W(J - c''t_k) + Q_{\text{конц}} + Q_a}{J_k - c'\theta} \quad (12.8)$$

• 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:

$$D = \frac{W(J - c''t_k)}{J_k - c'\theta} = \frac{Wr}{r} \approx W, \quad (12.9)$$

бу ерда $J_k - c'\theta = r$ — иситувчи бугнинг конденсацияланиш иссиқлиги; $J - c''t_k = r$ — қайнаб турган эритмалардан сувнинг бугланиш иссиқлиги (тахминан $r = r'$ деб оlinиши мумкин).

(12.9) тенгламага кўра, битта аппаратли буглатиш қурилмасида 1 кг сувни буглатиш учун 1 кг иситувчи буг сарф бўлади. Амалда (атроф муҳитга йўқотилган иссиқликни ҳисобга оlingан тақдирда) 1 кг сувни буглатиш учун кўпроқ иситувчи буг сарф бўлади (1.1—1.2 кг).

Иситиш юзаси. Ўзлуксиз 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 коэффициент; Δt — температураларнинг фойдали фарқи (жараённинг ҳаракатлантирувчи 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 ҳол 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. Тажириба 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 тажириба 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 қаршилик 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

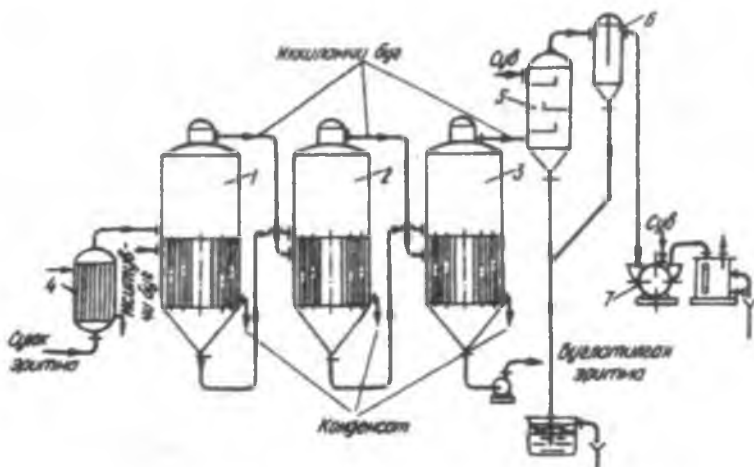
Саноатда эритмаларни қуюқлаштириш учун кўп аппаратли буглатиш қурилмалари кенг ишлатилади. Бундай қурилмалар иситувчи бугнинг иссиқлигидан бир неча бор фойдаланишга асосланган. Бунда биринчи аппаратга иситувчи буг берилса, иккинчи аппаратни иситиш учун биринчи аппаратдан чиқаётган иккиламчи буг ишлатилади, учинчи аппаратни иситиш учун эса иккинчи аппаратдан чиқаётган иккиламчи буг ишлатилади ва ҳоказо. Охирги 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. Охирги аппаратдаги иккиламчи бугнинг босимига 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 ушлағиш; 7 — вакуум-насос.

- 1) бир хил йўналишли қўп аппаратли буглатиш қурилмалари;
- 2) қарама-қарши йўналишли қўп аппаратли буглатиш қурилмалари;
- 3) эритма билан узлуксиз параллел таъминланадиган буглатиш қурилмалари;
- 4) мураккаб схемалар;
- 5) экстра-буг ажратиб олинадиган қўп 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 апаратыни 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 апаратыга 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 иссиқлик ажралиб чиқади; натижада

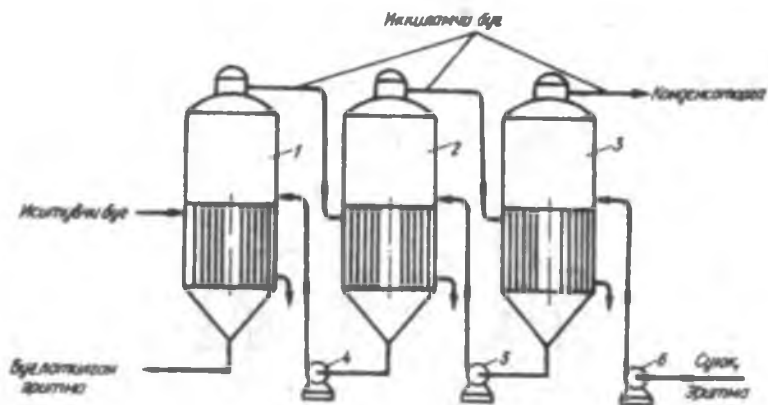
маълум миқдорда қўшимча иккиламчи буг ҳосил бўлади. Қурилманинг ҳамма аппаратларида (биринчидан ташқари) юз берадиган бу ҳол эритманинг *ўз-ўзидан бугланиши* деб юритилади.

Иккинчи аппаратда буглатилган эритма учинчи аппаратга *ўз-ўзича ўтади*. Учинчи аппаратни иситиш учун иккинчи аппаратдан чиқаётган иккиламчи буг ишлатилади. Охирги аппаратдан чиқаётган иккиламчи буг барометрик конденсаторга узатилади. Бу ерда бугнинг конденсацияланиши натижасида тегишли сийракланиш (вакуум) ҳосил қилинади. Ҳаво ва конденсацияланмай қолган газлар иссиқлик алмашиниш жараёнини сусайтиради. Шу сабабли совитувчи агент (сув) билан, аппаратларнинг зичмас жойлари орқали кириб қолган газлар томчи ушлагич 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 охирги аппаратдаги иссиқлик ўтказиш коэффициенти 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:

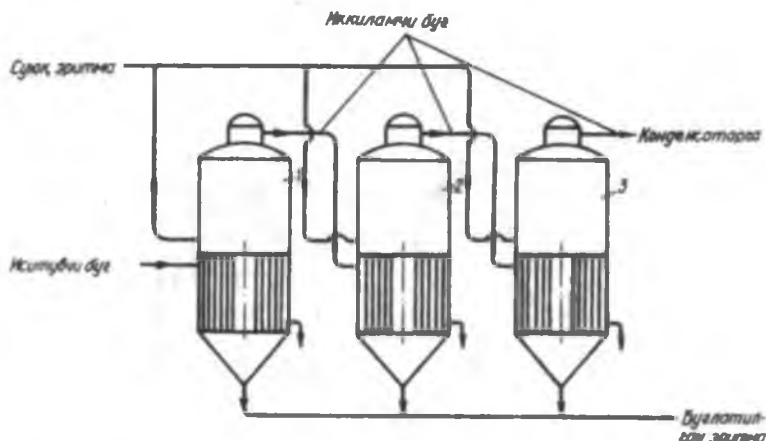
1, 2, 3 — буглатиш аппаратлари, 4, 5, 6 — насослар

ҳаракатланади. 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 ковушоқлиги 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 каттик 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 сунгра 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 қўп аппаратли буглатиш қурилмасининг моддий балансни тузиш мумкин:

$$W = G_0 \left(1 - \frac{\sigma_0}{\sigma_n} \right), \quad (12.14)$$

бу ерда W — ҳамма аппаратларда бугланган сувнинг умумий миқдори; G_0 — дастлабки эритма сарфи; σ_0 — дастлабки эритманинг концентрацияси; σ_n — охириги аппаратдан чиқаётган қуюқлашган эритманинг концентрацияси.

(12.1) ва (12.2) тенгламаларга асосан қўп аппаратли буглатиш қурилмасининг ҳар бир апаратидан чиқаётган эритмаларнинг концентрацияларини аниқлаш мумкин.

Биринчи аппарат учун:

$$\sigma_1 = \frac{G_0 \sigma_0}{G_0 - W_1}. \quad (12.15)$$

Иккинчи аппарат учун

$$\sigma_2 = \frac{G_0 \sigma_0}{G_0 - W_1 - W_2}. \quad (12.16)$$

Учинчи аппарат учун:

$$\sigma_3 = \frac{G_0 \sigma_0}{G_0 - W_1 - W_2 - W_3}. \quad (12.17)$$

n — аппарат учун:

$$\sigma_n = \frac{G_0 \sigma_0}{G_0 - W_1 - W_2 - \dots - W_n}. \quad (12.18)$$

Бугланган сувнинг умумий миқдори ҳамма аппаратлардан ажралиб чиққан иккиламчи буглар миқдорининг йиғиндисига тенг:

$$W = W_1 + W_2 + W_3 + \dots + W_n. \quad (12.19)$$

Исиклик баланси. Уч аппаратли бир хил йўналишда ишлайдиган ва «экстра-буг» ажратиб олинадиган вакуум-буглатиш қурилмасининг исиклик балансини кўриб чиқамиз. Қурилманинг биринчи апарати тўйинган сув буги билан иситилади. Бу бирламчи бугнинг сарфи D ($\text{кг}/\text{с}$), унинг энтальпияси J ,

(кЖ / кг), температураси θ ($^{\circ}\text{C}$). Биринчи аппаратдан сунг 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 куп аппаратли қурилманинг иссиқлик баланси тенгламалари қуйидаги қурилишга эга бўлади:

Биринчи аппарат учун:

$$Q_1 = D(J_n - c_1'\theta_1) = G_6 c_6(t_{n_1} - t_6) + \\ + W_1(J_1 - c_1''t_n) + Q_{\text{конц.1}} + Q_{A_1} \quad (12.20)$$

Иккинчи аппарат учун:

$$Q_2 = (W_1 - E_1)(J_1 - c_2\theta_2) = (G_6 - W_1)c_1(t_{n_2} - t_{n_1}) + \\ + W_2(J_2 - c_2''t_{n_2}) + Q_{\text{конц.2}} + Q_{A_2} \quad (12.21)$$

Учинчи аппарат учун:

$$Q_3 = (W_2 - E_2)(J_2 - c_3\theta_3) = (G_6 - W_1 - W_2)c_2(t_{n_3} - t_{n_2}) + \\ + W_3(J_3 - c_3''t_{n_3}) + Q_{\text{конц.3}} + Q_{A_3} \quad (12.22)$$

бу ерда t_6 , c_6 — дастлабки эритманинг температураси ва ўртача солиштирма иссиқлик сигими; t_{n_1} , t_{n_2} , t_{n_3} — эритманинг аппаратлар бўйича қайнаш температураси; c_1 , c_2 , c_3 — эритманинг аппаратлар бўйича ўртача иссиқлик сигими; 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 сигими; c_1'' , c_2'' , c_3'' — сувнинг ўртача солиштирма иссиқлик сигими (0°C дан аппаратлардаги эритманинг тегишли қайнаш температуралари оралигида); $Q_{\text{конц.1}}$, $Q_{\text{конц.2}}$, $Q_{\text{конц.3}}$ — эритманинг аппаратлар бўйича қуюклаштириш иссиқликлари; Q_{A_1} , Q_{A_2} , Q_{A_3} — аппаратлардан иссиқликнинг атроф муҳитга йўқотилиши.

Умумий ҳолда n та аппаратли буглатиш қурилмаси учун иссиқлик баланси тенгламаси қуйидагича ёзилади:

$$Q_n = (W_{n-1} - E_{n-1})(J_{n-1} - c_n\theta_1) = \\ = (G_6 - W_1 - W_2 - \dots - W_{n-1})c_{n-1}(t_{n_n} - t_{n_{n-1}}) + \\ + W_n(J_n - c_n''t_{n_n}) + Q_{\text{конц.}n} + Q_{A_n} \quad (12.23)$$

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 киздирилган ҳолда берилса (яъни $t_6 = t_{*1}$),

бунда $G_6 c_6(t_{*1} - t_6) = 0$ бўлади. Аппаратлардан атроф муҳитга

йўқотишган иссиқлик сарфи Q_1 , Q_2 ва Q_3 ни 3—5 % деб олиш мумкин. Баъзан (масалан, иситувчи буг ва эритма оқимларни 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 йигиндиси $\sum \Delta$ ҳисобга олинади:

$$\sum \Delta t = T_1 - T'_{\text{конд.}} - \sum \Delta. \quad (12.25)$$

Қурилмадаги аппаратларнинг оралигида уларнинг ишлаш режими га кўра температуранинг умумий фойдали фарқи тақсимланиши керак. (12.10) тенгламага биноан иссиқлик сарфи Q ва иссиқлик ўтказиш коэффициентини K нинг қиймати берилган тақдирда аппаратнинг иситиш юзаси F температураларнинг фойдали фарқи Δt га боғлиқ бўлади. Масалан, қуюқлашаётган эритма қовушоқлигининг ортиши билан иссиқлик ўтказиш коэффициенти K нинг камайишини температураларнинг фойдали фарқи Δt нинг қийматини ошириш йўли билан қоплаш 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 қуйидаги ифодалар билан тақсимланади:

$$\Delta t_1 = \frac{Q_1}{K_1} \cdot \frac{1}{F_1} \quad (12.26)$$

$$\Delta t_2 = \frac{Q_2}{K_2} \cdot \frac{1}{F_2} \quad (12.27)$$

$$\Delta t_3 = \frac{Q_3}{K_3} \cdot \frac{1}{F_3} \quad (12.28)$$

$$\Delta t_n = \frac{Q_n}{K_n} \cdot \frac{1}{F_n} \quad (12.29)$$

Кабул 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 кўриб чиқамиз. Бундай қурилманинг умумий иситиш юзаси қуйидагича топилади:

$$F = F_1 + F_2 = \frac{Q_1}{K_1 \Delta t_1} + \frac{Q_2}{K_2 \Delta t_2}$$

$\sum \Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2$ бўлганлиги сабабли, $\Delta t_2 = \sum \Delta t - \Delta t_1$ деб ёзиш мумкин. Бу ҳолда:

$$F = \frac{Q_1}{K_1 \Delta t_1} + \frac{Q_2}{K_2 (\sum \Delta t - \Delta t_1)} \quad (12.34)$$

Қурилманинг 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:

$$\frac{dF}{d(\Delta t_1)} = -\frac{Q_1}{K_1 \Delta t_1^2} + \frac{Q_2}{K_2 (\sum \Delta t - \Delta t_1)^2} = -\frac{Q_1}{K_1 \Delta t_1^2} + \frac{Q_2}{K_2 \Delta t_2^2} = 0$$

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:

$$\frac{\Delta t_1}{\Delta t_1 + \Delta t_2} = \frac{\Delta t_1}{\sum \Delta t} = \frac{\sqrt{Q_1/K_1}}{\sqrt{Q_1/K_1} + \sqrt{Q_2/K_2}} = \frac{\sqrt{\frac{Q_1}{K_1}}}{\sum \sqrt{\frac{Q}{K}}}$$

Демак, биринчи аппаратдаги температураларнинг фойдали фарқи қуйидагича топилади:

$$\Delta t_1 = \frac{\sum \Delta t \sqrt{\frac{Q_1}{K_1}}}{\sum \sqrt{\frac{Q}{K}}} \quad (12.35)$$

Худди шунингдек, иккинчи аппарат учун:

$$\Delta t_2 = \frac{\sum \Delta t \sqrt{\frac{Q_2}{K_2}}}{\sum \sqrt{\frac{Q}{K}}} \quad (12.36)$$

Хулоса қилиб, n та аппаратдан иборат бўлган буглатиш қурилмасининг m -аппарати учун қуйидаги тенгламани ёзиш мумкин:

$$\Delta t_m = \frac{\sum_{i=1}^m \sqrt{\frac{Q_i}{K_i}}}{\sqrt{\frac{Q_m}{K_m}}} \quad (12.37)$$

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.

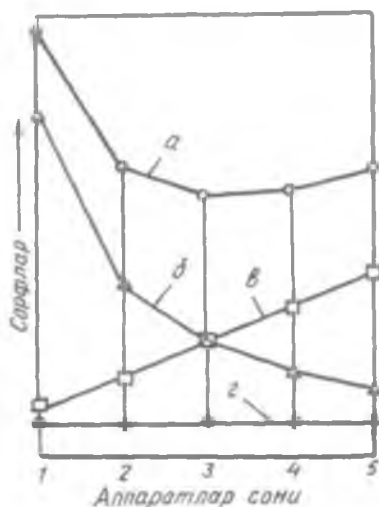
Δt_m ни қурилманинг иситиш юзаси минимал бўлганда тақсимлаш фақат баъзи шаронтларда (масалан, буглатиш аппаратларини қимматбаҳо материаллардан тайёрлаш керак бўлганда) мақсадга мувофиқдир.

Аппаратларнинг оптимал сонини аниқлаш. Кўп 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 кўпаяди. 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 йигиндиси 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 кўриниб турибдики, аппаратларнинг сони кўпайиши билан иситувчи бугнинг қиймати камаймокда (б — эгри чизиги), амортизация сарфи эса кўпаймокда (в — чизик), қурилмани ишлатиш билан боғлиқ бўлган меҳнат сарфи бироз ўзгармокда (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 оргик 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, иссиқлик ташувчи агентларнинг йўналиши, циркуляция тури ва режими ва бошқа бир катор 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, ортикча 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 тўпламидан иборат бўлиб, унинг учи труба турига развальцовка усули билан бириктирилган (12.1-расм). Эритма трубаларнинг ичиди 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 микдорига ҳамда циркуляция контурининг гидравлик қаршилигига боғлиқ. Қуюлтирилган эритма аппаратнинг пастки қисмидан чиқарилади. Иккиламчи буг суюқлик устидаги ҳажми эгаллайди ва сўнгра аппаратнинг юқори 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.

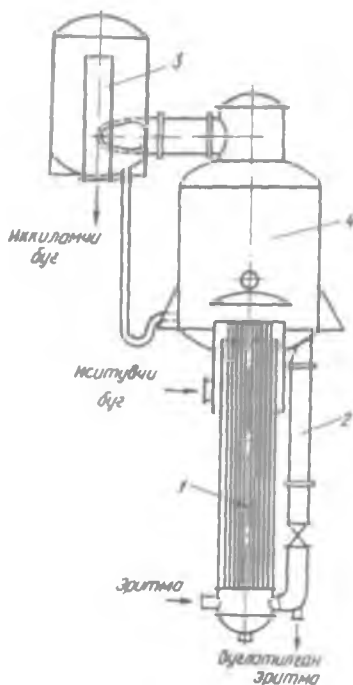
Вакуум билан буглатишда эритманинг қайнаш температураси пасаяди, бу ҳол буглатиш аппаратларини иситиш учун паст босимли бугдан фойдаланиш имконини беради. Бу усул юқори температураларда парчаланиб кетадиган эритмаларни буглатиш учун ишлатилади.

Қуюкланиш пайтида эритманинг физик хоссалари ўзгаради. Концентрация ортиши билан иссиқлик ўтказувчанлик, иссиқлик сигими ва температура ўтказувчанлик камаяди, эритманинг қовушоқлиги ортади. Натижада иситиш юзасидан эритмага иссиқлик бериш коэффициентининг қиймати камаяди.

Иситувчи трубалардаги суюқлик буг аралашмаси билан циркуляция трубасидаги 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 трубасининг диаметри иситувчи камера диаметрининг $1/3$ улушига тенг қилиб олинади. Бундай буглатиш аппаратларининг тузилиши содда ва бугланаётган эритма табиий циркуляция қилинади.

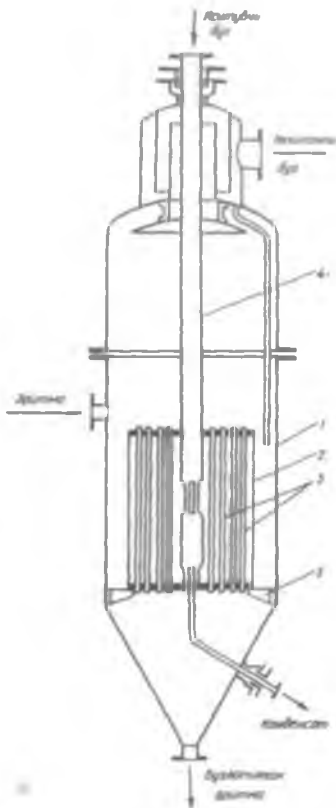
К а м ч и л и к л а р и : трубалар труба турларига маҳкам ўрнатиш билан бўлади, циркуляцияон труба иситиш камераси ичида бўлганлиги сабабли жараён давомида исиб туради. Шу сабабли циркуляцияон трубадаги эритма билан иситувчи трубадаги суюқлик буг аралашмаларининг зичликлари орасидаги фарқ озаяди, натижада буглатиш жараёнининг тезлиги камаяди. Шунинг учун буглатиш аппаратларининг кўпчилигида циркуляцияон труба аппаратнинг ташқи қисмига ўрнатилади.

Ташқи циркуляцияон труба буглатиш аппаратлари. Иситувчи камера юзасининг катта ва иситиш трубаларининг зич бўлишини таъминлаш мақсадида эритмани циркуляция қилиш трубаси буглатиш аппаратининг ташқи томонига ўрнатилади. Бундан ташқари, циркуляция трубаси 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 — трубади буглатиш аппарати:

1 — буг камераси; 2 — циркуляция тру-
баси; 3 — томчи ушлагич; 4 — буг
бушлиги.



12.7-рasm. Осма иситиш каме-
рали буглатиш аппарати:

1 — кобик; 2 — иситиш камера-
си; 3 — иситувчи труба; 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 бушлигидан ташқарида жойлашган бўлади (12.6-рasm).

Бу аппаратларнинг конструктив тузилиши анча мураккаб, ammo бу аппаратда иссиқлик ўтказиш самарадорлиги юқори 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 ҳолда ўрнатилган бўлади (12.7-рasm). Буг труба орқали труба орасидаги бушликқа берилади ва пастки қисмидан конденсат ажратиб олинади. Буглатиладиган эритма ҳалқасимон кўндаланг канал орқали пастга қараб, аппарат кобиги билан осма иситувчи камераларнинг девори бўйлаб ҳаракат

қилади. Эритма иситувчи трубаларнинг баландлиги бўйлаб кўтарилиб, буглатиш процесси эритмани циркуляция қилиш билан олиб борилади.

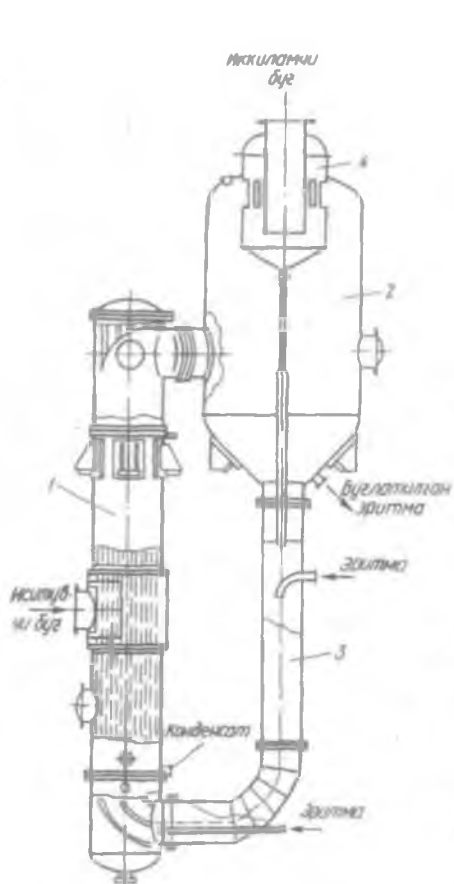
Иккиламчи буг томчи ушлагичдан ўтиб, аппаратнинг юқориги қисмидан чиқиб кетади, иккиламчи бугдан ажралган эритма ва унинг томчилари вертикал труба орқали иситувчи трубаларга оқиб тушади. Аппаратдаги иситувчи трубаларнинг ички ва ташқи юзасида ҳосил бўлган қуйкалар маълум вақт давомида сув билан ювиб турилади.

Осма иситиш камерали буглатиш аппаратларида циркуляция бўладиган эритма юзасининг кўндаланг қесими катта бўлиб, циркуляция 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 бўлган учун трубалар ичида қуйқа ҳосил бўлиши камаяди. Циркуляция трубадаги эритма билан ҳалқасимон кўндаланг қесимдаги буг-суюқлик аралашмалари орасидаги гидростатик босимлар фарқи эритманинг табиий циркуляция бўлишининг ҳаракатлантирувчи кучи ҳисобланади.

Аппаратнинг камчилклари: иситувчи буг ва конденсатнинг трубалардан кириши ва чиқиши қийин: иситиш юзасига сарфланадиган металл, марказий труба буглатгичларга нисбатан кўп, ковушоклиги 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.

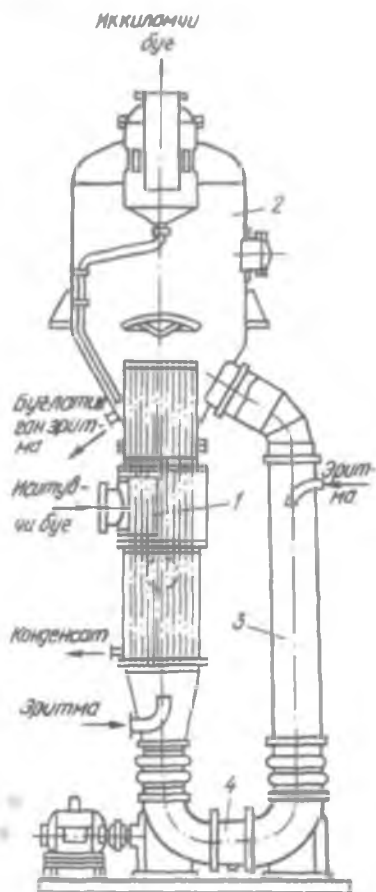
Ажратилган иситкичли буглатиш аппаратлари. Бундай аппаратлар кристалланувчи ва кўпик ҳосил қилувчи эритмаларни буглатиш учун ишлатилади. Буглатгич икки қисмга: иситувчи камера ва сепараторга ажратилган бўлади (12.8- расм). Иситкич трубаларида буг-суюқлик аралашмаси ҳосил бўлади ва сепараторга ўтади. Сепараторда иккиламчи буг ажралади, суюқлик циркуляция трубаси билан иситкич трубаларига қайтади. Иситкич трубаларининг узунлиги 7 метргача етади. Трубалар узунлигининг ортиши билан циркуляциянинг тезлиги ҳам кўнаяди, чунки бунда трубаларда ҳосил бўлган буг суюқлик аралашмаси ва циркуляция трубаси ичидаги суюқлик зичликларн 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 иссиқлик ўтказиш коэффици-



12.8- рasm. Ажратилган иситкичли буглатиш қурилмаси:

1 — иситкич; 2 — сепаратор; 3 — циркуляция труба; 4 — томчи ушлагич



12.9- рasm. Мажбурий циркуляцияли буглатиш қурилмаси:

1 — иситувчи камера; 2 — сепаратор; 3 — циркуляция труба; 4 — циркуляция насоси

енти юқори ва ишлатиш қулай бўлганлиги учун улардан кенг микёсда фойдаланилади.

Ажратилган иситкичли буглатиш қурилмаларида иситкичлар вертикал, горизонтал ва оғма ҳолда ўрнатилади.

Мажбурий циркуляцияли буглатиш қурилмалари. Қуюқ, солиштира оғирлиги катта, қовушоклиги юқори бўлган эритмаларнинг табиий циркуляция тезлиги жуда кам бўлади. Бу турдаги эритмалар юқорида баён қилинган буглатиш аппаратларида буглатилганда иссиқлик ўтказиш коэффициенти ҳам кам бўлиб, аппаратнинг унумдорлиги пасайиб кетади.

Циркуляция тезлигини ва иссиқлик ўтказиш коэффициентини ошириш учун мажбурий циркуляцияли буглатиш аппа-

ратлари ишлатилади. Суюқликларнинг циркуляцияси пропеллерли ва марказдан қочма насослар ёрдамида амалга оширилади.

Дастлабки буглатилиши керак бўлган эритма иситкич трубаларининг пастки қисмига насос орқали берилади, қуюқлашган эритма эса сепараторнинг пастки қисмидан ажратилади (12.9- расм). Иситувчи трубалар ичидаги суюқликларнинг 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. Қўпикланувчи ва иссиқликка чидамсиз эритмалар учун плёнкали буглатиш аппаратлари ишлатилади. Бундай аппаратларда эритма иситиш трубаларининг юзаси бўйлаб юпқа плёнка ҳолида ҳаракат қилади. Плёнкали буглатиш аппаратлари иситиш трубаларида ҳаракатланаётган эритманинг йўналишига қараб икки хил (қўтарилувчи ва пастга йўналувчи плёнкали) бўлади.

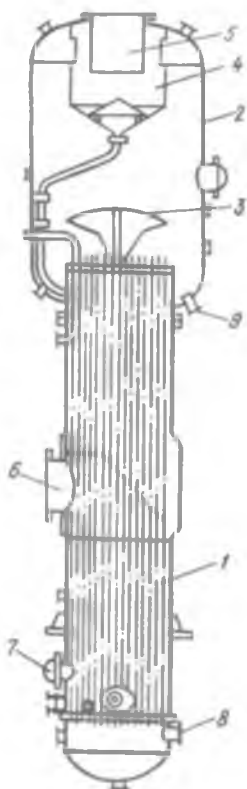
Қўтарилувчи плёнкали буглатиш аппаратининг иситиш камераси труба тўрига ўрнатилган, узунлиги 7—9 метрли трубалар тўпладан ва ажратувчи сепаратордан иборат бўлади (12.10- расм).

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 юқорида қараб трубаларнинг ички юзаси бўйлаб катта тезликда ҳаракат қилади ва бугланади. Иситиш трубаларининг юқори қисмида бугнинг микдори қўпайиб боради ва натижада эритманинг концентрацияси ҳам ошиб боради.

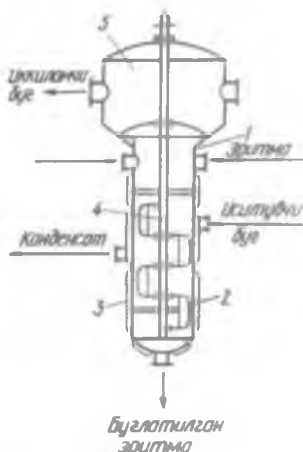
Иситиш трубаларидан чиқаётган иккиламчи бугга аралашган суюқлик томчилари сепаратордаги тўсикка урилиб, пастдаги иситиш трубаларига тушади. Намланган буг томчи ушлагичга тангенциал йўналишда кириб айланма ҳаракат қилади. Томчи ушлагичда иккиламчи буг таркибида қолган сув томчилари марказдан қочма қуч таъсирида унинг деворларига урилиб пастга оқиб тушади, иккиламчи буг эса аппаратнинг юқори қисмидан чиқиб кетади.

Қуюлтирилган эритма сепараторнинг пастки қисмида ўрнатилган штуцер орқали олинади. Қўтарилувчи плёнкали буглатиш аппаратларининг умумий баландлигини камайгириш мақсадида иситиш камераси билан сепаратор алоҳида тайёрланиб, ёнма-ён ўрнатилиши мумкин.



12.10- расм. Қўтарилувчи плёнкали буглатиш қурил- маси:

1 — иситувчи камера, 2 — сепара- тор, 3 — гўсимли диск, 4 — томчи ушлагич, 5, 6, 7, 8, 9 — штуцерлар



12.11- расм. Ротор-плёнкали буглатиш ап- парати:

1 — цилиндрический кобик, 2 — муравчатая, 3 — буг ги- лофи, 4 — ротор, 5 — сепаратор

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 труба- ларининг юзаси бўйлаб юпқа 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 коэффицентига эга. Бу аппаратларнинг иситиш трубалари узун бўлгани учун фойдали температуралар фарқи гидростатик босим ҳисобига камаяди, бу нарсa 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 кийин, иситувчи буг босими ва эритманинг

бошлангич концентрацияси узгарган пайтда буглатиш жараёнини бошқариш қийинлашади, 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 таксимланиб, иситилаётган эритма қобикнинг ички юзасидан юпка плёнка ҳолида 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 юқориги қисмидан чиқиб кетади, сув томчилари эса иситувчи секцияларга оқиб тушади.

Айланма ҳаракатдаги куракчалар марказдан қочма қуч таъсирида эритмани иситилаётган юзага итариб, унинг пастга қараб ҳаракат қилишига имкон тугдиради.

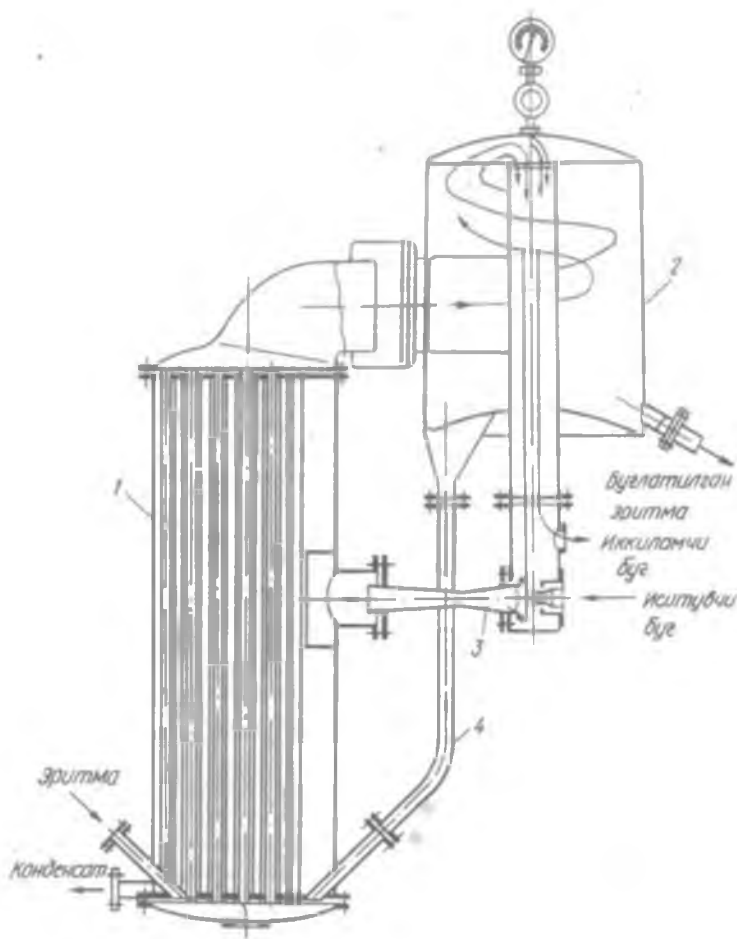
Эритма билан иситилаётган юзанинг контактлашиш вақти эритманинг қовушоқлигига, ротордаги куракчаларнинг турига, айланиш тезлигига ва солиштирма унумдорлигига боғлиқ.

Бундай буглатиш аппаратларида эритма иситиш юзасида кам вақт давомида контакта бўлгани учун иссиқлик ўтказиш коэффициентлари юқори бўлади. Иситиш юзалари куракчалар воситасида тозаланиб турилгани учун кристалланувчи эритмаларни қуруқ 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 поғонали қобикли буглатгичлар (иссиқлик алмашилиш юзаси 0,8 дан 24 м² гача).

Бу аппаратлар камчиликлардан ҳам ҳоли 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-

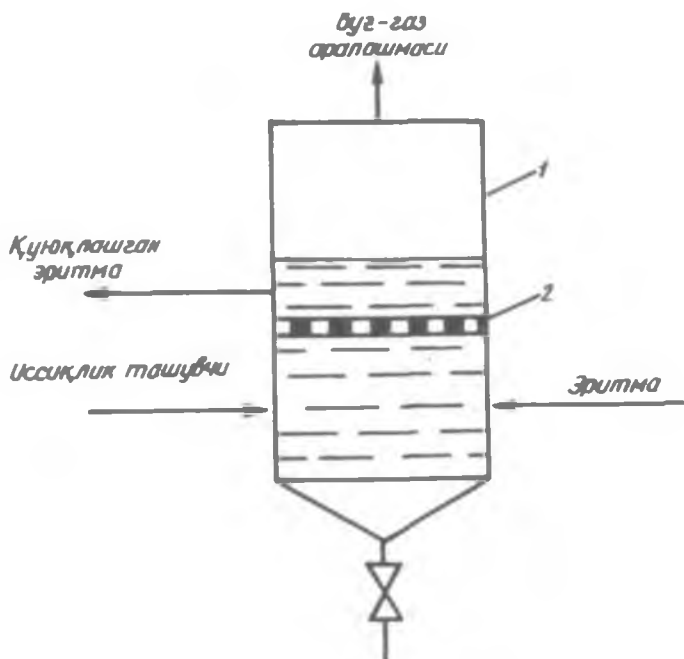


12.12- расм. Иссиқлик насосли буглатиш қурилмаси:

1 — буглатгич, 2 — сепаратор, 3 — буг оқими илжентор, 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 — қобис; 2 — тўр.

Барботажли буглатиш аппаратлари. Юқори температурада қайнайдиған 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 (гишт, 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 алмашилиши юзаси ҳосил бўлади. Бунда эритувчи жадаллик билан бугланишга учрайди. Газ пуфакчалари сув буглари билан тўйингандан сўнг эритманинг юзасига чиқади; бу пуфакчалар ёрилгандан кейин буғ 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. К а м ч и л и г и : ёниш маҳсулотлари таъсирида буглатилаётган эритма ифлосланиб қолиши мумкин.

12.5-§. БУГЛАТИШ ҚУРИЛМАЛАРИНИ ҲИСОБЛАШ

Буглатиш қурилмаларини лойиҳалаш ва ҳисоблаш учун уларнинг иситиш юзаси аниқланади. Саноатда қўп аппаратли буглатиш қурилмалари кенг қўлланилгани учун уч аппаратли буглатиш қурилмасини ҳисоблаш усулларини кўриб чиқамиз. Бир аппаратли қурилмага нисбатан қўп 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_k 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 (P_a) 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 кираётган 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:

$$t_3 = t_3^1 + \Delta_3 + \Delta_3 + \Delta_3; \quad (12.45)$$

б) иккинчи аппаратдаги эритманинг қайнаш температураси:

$$t_2 = t_2^2 + \Delta_2 + \Delta_2 + \Delta_2''; \quad (12.46)$$

в) биринчи аппаратдаги эритманинг қайнаш температураси:

$$t_1 = t_1^3 + \Delta_1 + \Delta_1 + \Delta_1, \quad (12.47)$$

бу ерда t_3^1 , t_2^2 , t_1^3 — учинчи, иккинчи ва биринчи аппаратдаги эритувчининг қайнаш температураси; Δ_3 , Δ_2 , Δ_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 қаршилиқ таъсирида буг температурасининг пасайиши.

Температура, гидростатик ва гидравлик депрессияларнинг қийматлари эритманинг тури ва унинг концентрациясига қура 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 ($H_{\text{опт м}}$) қуйидаги тенглама билан аниқлаш мумкин:

$$H_{\text{опт}} = [0,26 + 0,0014(\rho_v - \rho_c)]H_t \quad (12.48)$$

бу ерда H_t — трубаларнинг иш баландлиги, м; ρ_v — эритманинг охирги концентрацияси бўйича зичлиги, кг/м^3 ; ρ_c — сувнинг қайнаш температураси бўйича зичлиги, кг/м^3 .

7. Ҳар бир аппарат учун иссиқлик ўтказиш коэффициентларини аниқлаймиз. Аппаратдаги эритмаларнинг қайнаш температураси ва концентрациясига қараб махсус справочник адабиётларидан эритманинг физик хоссалари (зичлик, қовушоклик, иссиқлик ўтказувчанлик, иссиқлик сигими ва шу қабилар) аниқланади. Иситиш 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 ($\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$) топилади:

$$K_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1'} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2'}}; \quad K_2 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1''} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2''}}; \quad K_3 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1^{\text{ср}}} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2^{\text{ср}}}} \quad (12.49)$$

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, $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; λ — иситувчи трубалар девори материалининг иссиқлик ўтказувчанлик коэффициенти, $\text{Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$; δ — труба деворининг қалинлиги, м.

8. Ҳар бир аппарат учун талаб қилинадиган иссиқлик миқдори (Q) аниқлаймиз:

а) биринчи аппарат учун:

$$Q_1 = W_1 r_1, \quad (12.50)$$

б) иккинчи аппарат учун:

$$Q_2 = W_2 r_2 - (G_0 - W_1)c_1(t_1 - t_2) \quad (12.51)$$

в) учинчи аппарат учун:

$$Q_3 = W_3 r_3 - (G_0 - W_1 - W_2)c_2(t_2 - t_3) \quad (12.52)$$

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 сигими, $\text{Ж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$; 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:

$$D_1 = \frac{Q_1}{r_1 x}; D_2 = \frac{Q_2}{r_2 x}; D_3 = \frac{Q_3}{r_3 x}. \quad (12.53)$$

бу ерда: x — бугнинг қуруқлик 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:

$$\Delta t_1 = \frac{\frac{Q_1}{K_1} \Delta t}{\sum \frac{Q}{K}}; \Delta t_2 = \frac{\frac{Q_2}{K_2} \Delta t}{\sum \frac{Q}{K}}; \\ \Delta t_3 = \frac{\frac{Q_3}{K_3} \Delta t}{\sum \frac{Q}{K}}. \quad (12.54)$$

Фойдали температуралар фарқи иккинчи усул билан тақсимланганда аппаратлар бўйича Δt қуйидагича аниқланади:

$$\Delta t_1 = \frac{\sqrt{\frac{Q_1}{K_1}} \Delta t}{\sum \sqrt{\frac{Q}{K}}}; \Delta t_2 = \frac{\sqrt{\frac{Q_2}{K_2}} \Delta t}{\sum \sqrt{\frac{Q}{K}}}; \\ \Delta t_3 = \frac{\sqrt{\frac{Q_3}{K_3}} \Delta t}{\sum \sqrt{\frac{Q}{K}}}. \quad (12.55)$$

бу ерда

$$\Delta t = \frac{1}{F} \sum \frac{Q}{K}.$$

11. Ҳар бир аппаратнинг иситувчи юзасини икки хил вариант бўйича топамиз:

$$F_1 = \frac{Q_1}{K_1 \Delta t_1}; F_2 = \frac{Q_2}{K_2 \Delta t_2}; F_3 = \frac{Q_3}{K_3 \Delta t_3}; \quad (12.56)$$

Сунгра 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 топишган юзаларнинг кийматлари асосида буглатиш қурилмасининг аниқ ҳисоби қилинади, бунда атроф муҳитга иссиқликнинг йўқолиши ва аппаратлар бўйича температуралар ва босимларнинг бироз ўзгарган ҳолатдаги тақсимланиши инобатга олинади.

12.6-§. БУГЛАТИШ ҚУРИЛМАЛАРИНИ ТАНЛАШ

Буглатиш қурилмаларининг конструкциялари умуман қуйидаги талабларни қондириши керак: унумдорлиги юқори, кичик ҳажмли аппаратда иложи борица 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 (қовушоқлик, 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 камаяди, 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.

Қовушоқлиги 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 қовушоқликка ($100 \cdot 10^{-3}$ 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 қовушоқлиги $0,05$ Па·с гача бўлган эритмаларни буглатиш учун мажбурий циркуляцияли ёки эркин тушувчи плёнкали буглатгичлардан фойдаланиш мумкин.

Мажбурий циркуляция трубади буглатиш аппаратларидан кристалланувчи ва қовушоқ эритмаларни буглатиш учун ҳам кенг фойдаланилади. Бундай эритмаларни табиий циркуляция билан ишлайдиган, иситиш зонаси ажратилган буглатиш аппаратларида

ҳам буглатиш мумкин. Кўпикланувчи 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 килинган 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 аппаратидаги 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 циркуляцион трубали буглатиш аппаратларининг тузилиши. Бундай қурилмаларнинг афзаллиги нималардан иборат?
- 12.9. Ажратилган иситкичи 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 насоси 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 алмашиниш қурилмалари.

Барботаж (франц.), аралаштириш, суюқлик қатлачидан 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 микдорини золотник ёрдамида ростлайдиган беркитиш — очиш мосламаси.

Вентильатор (лат.), хоналарни шамоллатиш, аэроаралашмаларни грубаларда узатишда ҳаво ёки бошқа газларни ҳайдаш 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 ҳайдаш учун уртача 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 қонунларини ҳамда бу қонунларни инженерлик масалаларини ҳал қилишда татбиқ этиш усулларини ўрганувчи фан.

Гидродинамика (юнон.), гидромеханиканинг сиқилмайдиган суюқликлар ҳаракатини ва уларнинг қаттиқ jismlар билан ўзаро таъсирини ўрганадиган бўлими.

Гидромеханика (юнон.), суюқликнинг мувозанати ва ҳаракатини, шунингдек, суюқликнинг унга ботирилган ёки унда ҳаракатланаётган jisм билан ўзаро таъсирини ўрганади.

Гидростатика (юнон), гидромеханиканинг қўйилган кучлар таъсирида суюқликларнинг мувозанат шароитларини, шунингдек сокин суюқликларнинг уларга ботирилган jisмларга 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 ун ёкиш жойига узатадиган қурилма.

Градирия (нем.), сувни атмосфера ҳавоси билан совитиш қурилмаси

Гранулаш (лат.), моддага майда булаклар (гранулалар) шаклини бериш жараёни.

Дезинтигратор (лат.), кам абразив мўрт материалларни янчиш (дагал майдалаш) машинаси.

Диафрагма (юнон.), тешикли ёки тешиксиз пластина (тўсиқ).

Диспергирлаш (лат.), каттик ёки суюқ жисмларни майин қилиб майдалаш.

Диффузия (лат.), модданинг бир муҳитдан концентрацияси камайиши йўналишида тарқалиши. Диффузия ионлар, атомлар, молекулар, 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 қўзғалувчан элемент.

Змеевик (рус.), иссиқлик алмашинуши қурилмаларида иситувчи ёки совитувчи элтич юбориш учун ишлатиладиган спиралсимон труба.

Клапан (нем.) машиналар ва трубопроводларда газ, буг ёки суюқлик сарфини бошқарадиган деталь. Клапан босимлар фарқини ҳосил қилиш (дроселли клапанлар), суюқликнинг тесқари оқими пайдо бўлишига йўл қўймаслик (тесқари клапанлар), газ, буг ёки суюқлик босими белгилангандан ортганда уларни қисман чиқариб юбориш (саклаш клапанлари), босимни пасайтириш ва уни маромнда тутиб турниш (редукцион клапанлар)да ишлатилади.

Компрессор (лат.), ҳаво ёки газни 0,3 МПа ва ундан юқори босим билан сиқадиган машина.

Конвекция (лат.), муҳит (газ, суюқлик) макроскопик қисмининг 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.), ҳавонинг кондицирлаш системаларида ҳавога ишлов берадиган ва уни ҳайдайдиган агрегат.

Корпус (лат.), машина детали; одатда, машинанинг барча асосий механизмларини қўтарадиган асоси, негизи ҳисобланади.

Кран (гол.), трубадаги беркитиш-очиш учун жўмрак. Унинг қўзғалувчан детали (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 қўзғалмас ўқ атрофида тўлиқ (360°) айланадиган звеноси. Кривошипли механизмлар поршенли насослар ва компрессорларнинг ҳаракат узатмаларида ишлатилади.

Ламинар оқим (лаг.), ёпишқоқ суюқлик (ёки газ)нинг тартибли оқими; суюқлик қўшни катламларининг ўзаро аралашиб кетмаслиги билан характерланади.

Манометр (юнон.), 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, нолга яқин босимларни ўлчаш учун вакуумметрлар ишлатилади.

Машина (лат.), энергия, материаллар ёки ахборотни ўзгартириш мақсадида механик ҳаракат бажарувчи қурилма.

Моделлаш (рус.), мураккаб объектлар, ҳодисалар 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 ҳодисанинг ҳаёлий ёки шартли ҳар қандай тинчлиги: тасвир, баён, схема, график, план ва бошқалар. Масалан, илмий мақсадларда бирон бир қурилма (оригинал)нинг тузилиши ва ишлашини такрорловчи, қўрсатувчи кичик ўлчамли қурилма.

Монтежю (франц.), қолқок ёрдамида зич ёпилган горизонтал ёки вертикал цилиндрсимон идиш бўлиб, ифлосланган, агрессия 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 оқимининг берилган нуктада солиштирма (огирлик бирлигига нисбатан олинган) энергиясини белгиловчи чизикли катталик. Напор узунлик бирлигида ўлчанади.

Насадка (рус.), айрим қурилмаларнинг ичига солиб қўйиладиган ҳар хил шаклли қаттиқ жисмлар. Насадкаларнинг турлари: Рашиг ҳалқалари, керамик буюмлар, кокс, майдаланган кварц, полимер ҳалқалар, металлдан тайёрланган тўрлар, шарлар ва бошқалар.

Насос (рус.), суюқлик (жумладан, қаттиқ ва газсимон аралашмалар)ни босим остида ҳайдайдиган гидромашина.

Оптимал — энг мақбул, муайян шарт ва мақсадларга жуда мос.

Оптималлаш (лат.), мавжуд вариантлардан энг яхшиси, энг мақбулни 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.), матариалларга босим остида ишлов бериш машинаси.

Процесс (лат.), ҳодисаларнинг изчил алмашиниб туриши, бирор нарсанинг таракқиёт ҳолати, жараён. Дарсликда процесс термини ўрнига жараён сўзи ишлатилди. Масалан, гидромеханик жараёнлар (чўктириш, филтрлаш, центрифугалаш ва бошқалар).

Поршень (рус.), машина ёки асбобнинг ҳаракатланувчи детали; цилиндрнинг қўндаланг 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.), озиқ-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 элтикичлар 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 элтувчиларни ажратиб турган девор орқали улар орасида иссиқлик алмашиб туради.

Реология (юнон.), модда деформацияси ва оқувчанлиги ҳақидаги фан. Ҳар хил ёпишқоқ ва пластик материалларнинг қайтмас қолдиқ деформацияси ва оқиш билан боғлиқ жараёнларни ўрганади.

Ротаметр (лат.), суюқлик ва газ тезлигини ёки сарфини ўлчайдиган асбоб.

Ротор (лат.), машиналар, масалан, роторли насослар ва центрифугаларнинг қобиклари ичида жойлашган айланувчи детали.

Сальник (рус.), машиналарнинг қўзғалувчи ва қўзғалмас деталлари (масалан, шток ва цилиндр) орасидаги тиркишни герметик беркитиб турадиган машина деталли.

Сепаратор (лат.), аралашмаларни ажратувчи қурилма; ишлаш принципи аралашма компонентлари физик хоссаларининг турлича бўлишига асосланган.

Сепарация (лат.) суюқ ёки қаттиқ зарраларни газлардан, қаттиқ зарраларни эса суюқликлардан ажратиш; қаттиқ ёки суюқ аралашмаларни таркибий қисмларга ажратиш.

Сопло (рус.), ичида газ ёки суюқлик тезлиги ошадиган ўзгарувчан кесимли канал (қисқа труба).

Скруббер (инглиз.), чангли газларни ювиш йўли билан тозалайдиган қурилма.
Суспензия (лат.), суюқ дисперсион муҳитли ва зарралари броун ҳаракатига тусиклик 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 қўра трубопроводларнинг турлари: газопровод, нефтепровод, водопровод, пульпопровод ва бошқалар.

Турбина (франц.), берилаётган 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 нуқтасида тартибсиз ўзгаради.

Ультрафилтрлаш (лат., франц.), эритмаларни ярим ўтазувчан мембраналар орқали босим билан ўтказиш.

Фаза (юнон.), кимёвий таркиби ва физик хоссалари бўйича термодинамик системанинг бир жинсли бўлган қисми.

Филтр (франц.), қаттиқ ва суюқ фазали ҳар хил жинсли системани говак тусиклардан 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.), суюқлиқни зарраларга айлантирадиган бир ёки бир неча тешикли қурилма.

Цапфа (нем.), ўқ ёки валнинг подшипникка 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 мукаммаллашган тури. Қучли 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 чиқиш патрубокларига пайвандланади, қавшарланади ёки бураб қўйилади. Трубопроводлардаги кичикрок диаметри (10—20 мм) труба бўлагини штучер деб аталади; ундан сув ёки хавонини чиқариб юбориш учун, шунингдек трубопроводдаги 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, беланчаксимон 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 РҲИХАТИ

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. Фильтрование. 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.: «Узбекистон», 1981.
14. А. А. Лашинский. Конструирование сварных химических аппаратов: Справочник. Л.: Машиностроение, 1981.
15. А. К. Морчун, В. П. Градиль, Р. А. Егوشي. 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.: «Узбекистон», 1984.
20. В. Н. Стабников, В. М. Лысянский, В. Д. Попов. 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. Туҗчиев. Химиявий технология процесслари ва аппаратлари. Т.: Ўқитувчи, 1987.
25. И. М. Федоткин. Физико-математические основы интенсификации процессов и аппаратов пищевой и химической технологии. Кишинев: Штиница, 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. Поинкаров, 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. Муиземнек. 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

Қириш

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- § Муқаммал 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
Такрорлаш на мустиқил ишлаш учун саволлар	27
2- боб. Жараёнлар ва қурилмаларни моделлаштириш асослари	28
2.1- §. Ўқшашлик назариясининг аҳамияти	28
2.2- §. Ўқшашлик теоремалари	29
2.3- §. Ўқшашлик мезонлари	31
2.4- §. Ўлчамларни тахлил қилиш	35
2.5- § Моделлаштиришнинг асосий принциплари	37
Такрорлаш на мустиқил ишлаш учун саволлар	39

МЕХАНИК ВА ГИДРОМЕХАНИК ЖАРАЁНЛАР

3- боб Материалларни майдалаш	40
3.1- §. Умумий тушунчалар	40
3.2 § <u>Майдалашнинг асосий қонунлари</u>	42
3.3- § Майдалаш машиналарининг принципиал чизмалари	44
3.4- §. Майдалаш машиналарининг тузилиши	46
3.5- § Майдалаш машиналарини ҳисоблаш	50
Такрорлаш на мустиқил ишлаш учун саволлар	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- §. Суюқлиқнинг тезлиги ва сарфи	64
4.7- §. Оқимнинг ўзгаришлилиги	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-§. Хакикий суюктиктарнинг ҳаракат режимлари	72
4.12-§. Суюклик оқимининг тузилиши.	75
4.13-§. Гидравлик каршиликлар	79
4.14-§. Суюкликларнинг тешиктар орқали оқиб чиқиши	81
4.15-§. Суюкликнинг донасимон катламдаги ҳаракати	83
4.16-§. Мавҳум кайнаш	85
<i>акрорлаш ва мустақил ишлаш учун саволлар</i>	93
- боб. Суюклик 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-§. Бошқа турдаги насослар	107
5.6-§. Газ сиқининг термодинамик асослари	112
5.7-§. Вентиляторлар	116
5.8-§. Марказдан қочма компрессор ва газодувкалар.	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>акрорлаш ва мустақил ишлаш учун саволлар</i>	132
- боб. Суюклик 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>акрорлаш ва мустақил ишлаш учун саволлар</i>	146
- боб. Суюклик турли жинсли системаларни ажратиш	146
7.1 § Турли жинсли системаларнинг турлари ва уларни ажратиш усуллари	146
7.2 §. Гравитацион чуқтириш.	149
7.3-§. Чуқтирувчи қурilmалар	153
7.4-§. Фильтраш	157
7.5-§. Фильтринг асосий турлари	162
7.6-§. Марказдан қочма куч таъсирида чуқтириш	172
7.7-§. Гидроциклонлар	174
7.8-§. Центрифугалар	177
7.9-§. Ультратифтраш	185
<i>акрорлаш ва мустақил ишлаш учун саволлар</i>	189
боб. Газларни чангдан тозалаш.	189
8.1-§. Умумий тушунчалар.	189
8.2 § Чанг чуқтириш камералари	190
8.3-§. Циклонлар	192
8.4-§. Уюрмали чанг ушлагичлар	199
8.5-§. Ротацион чанг ушлагичлар	200

8.6-§ Газюувчи қурилмалар	201
8.7-§ Филтрлар	207
8.8-§ Электрофилтрлар	212
8.9-§ Газ тозалайдиган қурилмаларни танлаш.	216
<i>Такоррлаш ва мустақил ишлаш учун саволлар</i>	<i>218</i>

ИССИКЛИК 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 кийматлари	252
9.11-§. Иссиқлик жараёнларининг ҳаракатлантирувчи кучи	252
9.12-§ Иссиқлик ўтказиш жараёнларини тезлатиш	255
<i>Такоррлаш 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-§. Оддий температураларгача совитиш	269
10.8-§. Буғни конденсациялаш	271
<i>Такоррлаш ва мустақил ишлаш учун саволлар</i>	<i>274</i>

11- боб. Иссиқлик алмашилиш қурилмалари	275
11.1-§. Умумий тушунчалар	275
11.2-§ Кобик турбали иссиқлик алмашгичлар	277
11.3-§. Пластинали ва спиралсимон иссиқлик алмашгичлар	282
11.4-§. Қуш трубади, нақловчи ва змеевикли иссиқлик алмашгичлар.	285
11.5-§. Филофли ва горелкали иссиқлик алмашгичлар.	288
11.6-§. Блокли ва шнекли иссиқлик алмашгичлар	290
11.7-§. Ҳаво билан совитиладиган қурилмалар	293
11.8-§. Юзали ва аралаштирувчи конденсаторлар	295
11.9-§. Генератив иссиқлик алмашгичлар	297
11.10-§. Мавҳум қайнаш қатламли иссиқлик алмашгичлар.	298 ✓
11.11-§. Қобик-трубади қурилмаларда иссиқлик алмашилишини тезлаштириш	300
11.12-§. Истикболли иссиқлик алмашгич	303
11.13-§. Кобик трубади иссиқлик алмашилиш қурилмаларини ҳисоблаш тартиби	307
11.14-§. Конденсаторларни ҳисоблаш	317

11.15-§. Қобик-трубади иссиқлик алмаштириши ЭХМ ёрдамида хисоблаш	320
11.16-§. Иссиқлик алмаштириш қурилмаларини танлаш	323
<i>Такрорлаш ва мустақил ишлаш учун саволлар</i>	<i>326</i>
12- боб. Буғлатиш	326
12.1-§. Умумий тушунчалар	326
12.2-§. Ётти аппаратли буғлатиш қурилмалари	328
12.3-§. Қўп аппаратли буғлатиш қурилмалари	333
12.4-§. Буғлатиш аппаратларининг тузилиши.	343
12.5-§. Буғлатиш қурилмаларини ҳисоблаш	353
12.6-§. Буғлатиш қурилмаларини танлаш	357
<i>Такрорлаш ва мустақил ишлаш учун саволлар</i>	<i>358</i>
Базми терминларнинг таърифи	359
Адабиётлар рўйхати	363

Зокиржон Салимов
**ОСНОВНЫЕ ПРОЦЕССЫ
И АППАРАТЫ ХИМИЧЕСКОЙ
ТЕХНОЛОГИИ**

На узбекском языке

Издательство «Ўзбекистон» — 1994, 700129, Тошкент, Навоий, 30

Кичик муҳаррир *Ш. Соибназарова*
Бадний муҳаррир *Н. Қученкова*
Техник муҳаррирлар *А. Бахтияров, С. Собирова*
Муҳаллиқ *М. Муҳитқужаева*

Ҳарифга берилди 09.07.93. Босишга рухсат этилди 24.05.94. Ёзиғи 60×90¹/16. «Интературная» гарнитурда
кичори босма усулида босилди. Шартли бос т. 23,0. Нашр т. 24.69. 5000 нусхада чип этилди. Буюртма № 485.
Баҳоқен нарғнома асосида.

«Ўзбекистон» нашриёти, 700129, Тошкент, Навоий кўчаси, 30. Нашр № 198-92.

**Ўзбекистон Республикаси Давлат матбуот қўмитасининг ижарадаги
Тошкент матбаа комбинатида териғиб, Тошкент рангли босма фабрикасида
босилди. 700128, Тошкент, У. Юсупов кўчаси, 86.**