

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ә. Бүркітбаев атындағы энергетика және машина жасау институты

Энергетика кафедрасы

Бейсенова Ботагөз Нұрланқызы

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы «Бензол – толуол қоспасын бөлуге арналған ректификациялық қондырғыны жобалау»

6B07101-«Энергетика» мамандығы бойынша

Алматы 2025

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

Ә. Бүркітбаев атындағы энергетика және машина жасау институты

Энергетика кафедрасы

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
НАО «КазНТУ им.К.И.Сатпаева»
Институт энергетики
и машиностроения

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ
Кафедра меңгерушісі
PhD, қауымдастырылған профессор
Е.А. Сарсенбаев
« 5 » 06 2025 ж.

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы: «Бензол – толуол қоспасын бөлуге арналған ректификациялық қондырғыны жобалау»

6B07101-«Энергетика» мамандығы бойынша

Орындаған

Пікір беруші
ЖЭҚ кафедрасының доценті,
тех. ғыл. канд.

М.Е. Туманов

« 9 » 06 2025 ж.

Бейсенова Ботагөз Нұрланқызы

Ғылыми жетекші
PhD, қауым. профессор

Б. Онгар

(КОЛЫ)
« 22 » 05 2025 ж.

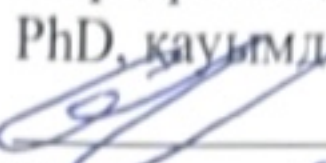
Алматы 2025 ж.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ
Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті
Ә. Бүркітбаев атындағы энергетика және машина жасау институты
Энергетика кафедрасы
6B07101-«Энергетика» мамандығы

«БЕКІТЕМІН»

Кафедра меңгерушісі

PhD, қауымдастырылған профессор

 Е.А.Сарсенбаев

« 30 » 01 2025 ж.

Дипломдық жұмыс орындауға

ТАПСЫРМА

Студент Бейсенова Ботагөз Нұрланқызы

Тақырыбы: «Бензол – толуол қоспасын бөлуге арналған ректификациялық қондырғыны жобалау»

Университеттің Ғылыми кеңесі бекіткен. №26 «29» қаңтар 2025ж.

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі «19» мамыр 2025 ж.

Дипломдық жұмыста қарастырылған мәселелер тізімі:

а) Ректификацияның жылумассаалмасу процесінің теориялық негіздері;

б) Үздіксіз ректификациялық колоннасының технологиялық есебі;

в) Жылулық және гидравликалық есептіктер жүргізу;

Сызбалық материалдар тізімі: Сызбалық материалдарды слайдпен көрсетілген.

Ұсынылатын негізгі әдебиеттер:

1 Скобло А. И., Молоканов Ю. К., Владимиров А. И., Щелкунов В. А. Процессы и аппараты нефтегазопереработки и нефтехимии. Учебник для вузов. – 3-е изд., переаб. и доп. – М.: ООО «Недрабизнесцентр», 2000. – 677 с. ил.

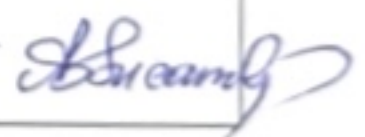
2 Скобло А.И., Трегубова И.А., Молоканов Ю.К. Процессы и аппараты нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. - Москва: Химия, 2012 г.

3 Гусев В.П., Гусева Ж.А.. Процессы и аппараты химической технологии. Физико-химические и термодинамические свойства веществ/ Методическое пособие к выполнению курсового проекта по процессам и аппаратам химической технологии, в 2-х частях / Часть 2. – Т.: ТХТК, 2014. - 69 с.

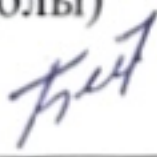
Дипломдық жұмысты дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекші мен кеңесшілерге көрсету мерзімдері	Ескерту
Ректификацияның жылуемассаалмасу процесінің теориялық негіздері	17.02.2025 ж.	Жок
Үздіксіз ректификациялық колоннасының технологиялық есебі	28.03.2025 ж.	Жок
Жылулық және гидравликалық есептіктер жүргізу	21.04.2025 ж.	Жок

Аяқталған жұмысқа қойылған
кеңесшілер мен норма бақылаушының
қолтаңбалары

Бөлім атауы	Ғылыми жетекші, кеңесшілер	Қол қойылған күні	Қолы
Ректификацияның жылуемассаалмасу процесінің теориялық негіздері	Онгар Б. PhD доктор, қауымдастырылған профессор	22.05.2025	
Үздіксіз ректификациялық колоннасының технологиялық есебі	Онгар Б. PhD доктор, қауымдастырылған профессор	22.05.2025	
Жылулық және гидравликалық есептіктер жүргізу	Онгар Б. PhD доктор, қауымдастырылған профессор	22.05.2025	
Норма бақылау	Ә. О. Бердібеков, магистр, аға оқытушы	30.05.2025	

Жоба жетекші  /Б. Онгар /
(қолы)

Тапсырманы орындауға алған студент  / Б.Н. Бейсенова /
(қолы)

Күні « 22 » 05 2025 ж.

АНДАТПА

Бұл дипломдық жұмыста бензол - толуол қоспасын бөлуге арналған ректификациялық қондырғының жобалануының негізгі мақсаты - бұл тиімді бөлу процесін қамтамасыз ету, экологиялық қауіпсіздік пен энергия тиімділігін сақтау. Сонымен қатар, қондырғыны жобалау барысында оның автоматтандырылуы, қауіпсіздігі және экономикалық тиімділігі басты назарда болу.

Орындалған жұмыс процесінде бензол-толуол қоспасын бөлу үшін дистилляциялық қондырғы жобаланды. Жобалау барысында қондырғының шығындарын минимизациялау үшін экономикалық тиімділікті қамтамасыз ету керек. Қондырғының үнемділігі мен жоғары жұмыс өнімділігін қамтамасыз ету үшін технологияларды оңтайландыру қажет.

АННОТАЦИЯ

В данной дипломной работе основной целью проектирования ректификационной установки разделения бензол-толуоловой смеси является обеспечение эффективного процесса разделения, сохранение экологической безопасности и энергоэффективности. Кроме того, при проектировании установки основное внимание должно уделяться ее автоматизации, безопасности и экономической эффективности.

Для разделения бензол-толуоловой смеси была спроектирована ректификационная установка. Экономическая эффективность должна быть обеспечена в процессе проектирования, чтобы минимизировать затраты на установку. Необходимо оптимизировать технологии, чтобы обеспечить экономичность и высокую производительность устройства.

ANNOTATION

In this thesis, the main goal of designing a distillation unit for separating a benzene-toluene mixture is to ensure an effective separation process, maintaining environmental safety and energy efficiency. In addition, the plant design must focus on automation, safety and cost-effectiveness.

A distillation unit was designed to separate the benzene-toluene mixture. Cost-effectiveness must be addressed during the design process to minimize installation costs. Technology must be optimized to ensure cost-effectiveness and high performance of the device.

МАЗМҰНЫ

	Кіріспе	7
1	Ректификацияның жылуассалмасу процесінің теориялық негіздері	9
1.1	Ректификацияның жылуассалмасу процестері мен принциптері	9
1.2	McCabe-Thiele әдісі	13
1.3	Құрылғының элементтері мен жұмыс істеу принципі	15
1.4	Ректификацияның энергия тиімділігі	17
2	Ректификация процесінің технологиялық схемасы	22
2.1	Ректификация процесінің технологиялық схемасының негізгі барысы	22
2.2	Үздіксіз ректификациялық колоннасының технологиялық есебі	25
2.3	Ректификация процесінің технологиялық есебінің материалдық балансы	28
2.4	Жұмыс флегма сандарын анықтау және фазалық диаграммасын салу	32
2.5	Периодтық ректификация процесі	36
2.6	Бензол – толуол қоспасын бөлу кезіндегі бу көлемінің шығынын анықтау	47
3	Жылулық және гидравликалық есептіктер жүргізу	53
3.1	Колонна (баған) құрылғының құрылымдары	53
3.2	Жылулық есебін анықтау	57
3.3	Дефлегматордағы су шығынын және жылу оқшауларын анықтау	63
3.4	Гидравликалық есебін анықтау	64
3.5	Негізгі құрылғының механикалық есебі	67
3.6	Ағындарды беру және түсіру үшін құбырларды есептеу және таңдау, фланецті қосылыстарды таңдау	72
	Қорытынды	80
	Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	81

КІРІСПЕ

Бензол – толуол қоспасы - бұл екі органикалық қосылыстың қоспасы, олар ароматты көмірсутектер класына жатады және химиялық құрылымдары ұқсас. Бұл қоспа көбінесе өнеркәсіпте пайдаланылады, себебі бензол мен толуол өзара араласып, әртүрлі химиялық реакцияларға қатыса алады.

1) Бензол (C_6H_6):

- Физикалық қасиеттері: Бензол түссіз, иіссіз, жеңіл ұшқыш сұйықтық болып табылады. Ол суда ерімейді, бірақ органикалық еріткіштерде жақсы ерігіш.

- Қайнау температурасы: $80,1^{\circ}C$.

- Қолданылуы: Бензол көбінесе өнеркәсіптік процестерде еріткіш ретінде, пластмассалар, синтетикалық талшықтар, және басқа химиялық заттар өндіруде қолданылады.

2) Толуол ($C_6H_5CH_3$):

- Физикалық қасиеттері: Толуол да түссіз, өткір иісті сұйықтық, бензолға ұқсас қасиеттерге ие. Ол бензолдан үлкен молекулалық құрылымға ие, себебі құрамында метил тобы ($-CH_3$) бар.

- Қайнау температурасы: $110,6^{\circ}C$.

- Қолданылуы: Толуол да еріткіш ретінде қолданылады, бірақ оның басты қолданылуы — бензиннің құрамында қосымша компонент ретінде, сондай-ақ әртүрлі химиялық синтездерде.

3) Бензол – толуол қоспасының қасиеттері:

- Бұл қоспа бензол мен толуолдың қайнау температураларының айырмашылығының арқасында ($80,1^{\circ}C$ мен $110,6^{\circ}C$), оны ректификация әдісі арқылы бөлу мүмкін.

- Қоспаның құрамындағы бензол мен толуолдың қатынасына қарай оның физикалық және химиялық қасиеттері өзгеруі мүмкін. Әдетте бұл қоспа бензолды және толуолды бөлудің бастапқы қадамы ретінде қолданылады.

4) Бензол – толуол қоспасын бөлу:

Бұл қоспаны бөлу үшін негізгі әдіс - ректификация. Ректификация - сұйық қоспаны буландырып, қайтадан конденсациялау арқылы компоненттерді бөлу процесі. Бензол мен толуолдың қайнау температураларының арасындағы айырмашылықты пайдаланып, ректификация арқылы бензолды жоғары температурада, ал толуолды төмен температурада бөліп алуға болады.

- Бензолды бөлу үшін оның қайнау температурасы төмен болғандықтан, қоспаның жоғарғы қабатынан бензолды алады.

- Толуолды бөлу үшін оны бағананың төменгі қабатында қалдырып, жоғары қайнау температурасы бар компонент ретінде алады.

Бензол – толуол қоспасын бөлуге арналған ректификациялық қондырғыны жобалаудың мақсаттары мен міндеттері — бұл химиялық өнеркәсіпте маңызды процесс болып табылады, өйткені бензол мен толуолды бөлу көбінесе химиялық және фармацевтикалық өндірістерде қажет [1].

Ректификациялық қондырғының жобалануында оның тиімділігі мен жұмыс қауіпсіздігін қамтамасыз ету қажет.

1) Жобалаудың мақсаты:

Бензол – толуол қоспасын бөлу үшін ректификациялық қондырғының жобалаудың негізгі мақсаты - бұл қоспаның құрамындағы бензол мен толуолды тиімді бөлу, яғни оларды қоспаның бастапқы құрамындағы мөлшеріне байланысты тазарту. Нәтижесінде алынған өнімдер жоғары сапалы, талапқа сай болуы тиіс, ал процесс тиімді әрі экологиялық таза болуға тиіс.

2) Жобалаудың міндеттері:

Бензол және толуолдың тазалығы:

- Қондырғының жұмысының негізгі міндеті - әр компоненттің (бензол мен толуолдың) жоғары тазалық деңгейіне қол жеткізу.

- Бензолды алудың қайнау температурасы төмен болғандықтан, жоғары тиімді ректификация жүйесін жобалау маңызды.

Қондырғының техникалық параметрлерін анықтау:

- Бағананың биіктігі, диаметрі және қабаттардың саны сияқты параметрлерді есептеу.

- Қондырғыдағы газдар мен сұйық фазалардың ағын жылдамдығын дұрыс есептеу.

Энергия тиімділігін қамтамасыз ету:

- Ректификация — энергияны көп қажет ететін процесс, сондықтан энергияны тиімді пайдалану маңызды. Бұл мақсатқа жету үшін, жылу алмастыру жүйесін оңтайландыру және жылу жоғалтуларын минимизациялау қажет.

Қондырғының қауіпсіздігі мен экологиялық стандарттарға сай болуы:

- Бензол мен толуол — токсикалық және экологиялық қауіпті заттар, сондықтан оларды өңдеу кезінде қондырғының қауіпсіздігін қамтамасыз ету қажет.

- Қондырғыны жобалау барысында ауаның ластануын болдырмау, қалдықтарды дұрыс өңдеу жүйесін құру және жұмыскерлердің қауіпсіздігін қамтамасыз ету міндеттері тұрады.

Қондырғының автоматтандырылуын қамтамасыз ету:

- Ректификациялық қондырғының жұмысын автоматтандыру арқылы оның тиімділігін арттыруға болады.

- Температура, қысым және ағынды бақылау жүйелерін енгізу арқылы тұрақты жұмыс жағдайларын қамтамасыз ету маңызды.

Қондырғының экономикалық тиімділігін арттыру:

- Жобалау барысында қондырғының шығындарын минимизациялау үшін экономикалық тиімділікті қамтамасыз ету керек.

- Қондырғының үнемділігі мен жоғары жұмыс өнімділігін қамтамасыз ету үшін технологияларды оңтайландыру қажет.

1 Ректификацияның жылу-масса алмасу процесінің теориялық негіздері

1.1 Ректификацияның жылу-масса алмасу процестері мен принциптері

Ректификация - фазалық жанасу бетінде бөлінетін қоспаның ішінара булану және конденсациялануының бір мезгілде және бірнеше рет қайталанатын процестеріне дейін қайнайтын сұйық қоспаларды бөлу процесі. Түзету көбінесе колонна құрылғыларында жүзеге асырылады.

Ректификациялық колонналар химия, мұнай-химия және басқа салалардағы масса алмасу процестеріне арналған. Колонна құрылғылары диаметрі 400–4000 мм, корпусың тартпада (фланецтерде) конструкциясында 1,6 МПа дейін қысыммен жұмыс істеу үшін, 4,0 МПа дейін қысыммен жұмыс істеу үшін - корпусың толық дәнекерленген конструкциясында дайындалады.

Диаметріне байланысты колонна құрылғылары әртүрлі науалар түрлерімен дайындалады. Диаметрі 400–4000 мм колонна құрылғылары стандартты байланыс және тарату тақталарымен, тіректермен, люктермен, түбі мен фланецтерімен жабдықталған. Толық дәнекерленген аппараттың корпусында плиталарға қызмет көрсетуге арналған люктер бар.

Қалқымалы контакті құрылғыларының алуан түрлілігі оңтайлы қалқымалы дизайнды таңдауды қиындатады. Сонымен қатар, жалпы талаптармен қатар (аппарат көлемінің бірлігіне жоғары қарқындылық, оның құны және т.б.) өндіріс ерекшеліктеріне байланысты бірқатар талаптарды анықтауға болады: жүктемелер фазалар бойынша өзгергенде тұрақты жұмыстың үлкен диапазоны, пластинаның ластанған сұйықтықтар ортасында жұмыс істеу қабілеті, коррозиядан қорғау қабілеті және т.б. Көбінесе бұл қасиеттер әр нақты процесте пайдалану үшін белгілі бір дизайнның жарамдылығын анықтай отырып, басым болады [2].

Ректификациялық колоннаны есептеу оның негізгі геометриялық өлшемдерін анықтауға келеді: диаметрі мен биіктігі. Екі параметр де негізінен бу мен сұйық жүктемелерімен, пластинаның түрімен және өзара әрекеттесетін фазалардың қасиеттерімен анықталады.

Ректификацияның жылу-масса алмасу процесінің теориялық негіздері - бұл қоспаларды бөлу үшін қолданылады және оның тиімділігі жылу мен масса алмасу процестерінің дұрыс жүзеге асуына байланысты. Ректификация процесінде сұйық қоспа бірнеше рет буланып, конденсацияланып, осылайша әртүрлі компоненттер бөлінеді. Бұл процесс көбінесе қайнау температураларының айырмашылығына негізделген. Ректификацияның теориялық негіздері негізінен жылу мен масса алмасудың динамикасы мен тепе-теңдік күйін талдауға сүйенеді.

Жылу-масса алмасудың негізгі принциптері:

Ректификация процесі кезінде сұйық қоспа жоғары температурада буланып, бу фазасына өтеді, содан кейін ол төмен температурада

конденсацияланып, қайтадан сұйық фазасына айналады. Бұл процесс сұйықтық пен бу арасында жылу және масса алмасудың үздіксіз орын алуын қамтиды.

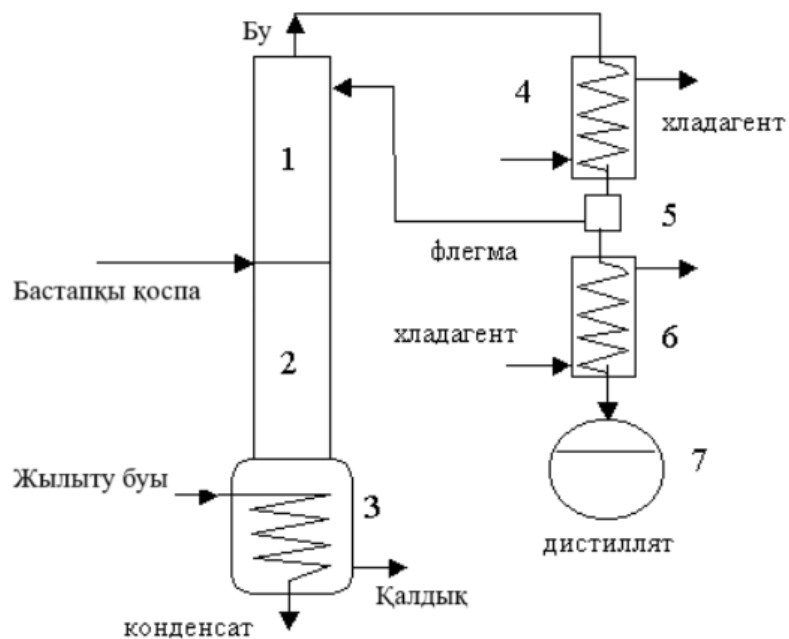
- Жылу алмасу: Буландыру және конденсация процестері жылу алмасу арқылы жүзеге асырылады. Қоспаның сұйық фазасы қыздырылып, бу фазасына өтіп, белгілі бір температура мен қысымда қайтадан конденсацияланады.

- Масса алмасу: Қоспадағы әр компоненттің концентрациясы сұйық және бу фазалары арасында айырмашылық жасайды. Бу фазасынан сұйық фазаға компоненттер беріледі және керісінше, бұл сұйық фазаның құрамын өзгертіп, компоненттерді бөлуге мүмкіндік береді.

Ректификация процесі - бұл сұйық қоспаның компоненттерін бөлу процесі, мұнда сұйық фазадағы қоспа бірнеше рет буланып, жоғары температурада буға айналады, содан соң төмен температурада конденсацияланып, қайтадан сұйық күйге келеді. Бұл процесс компоненттердің қайнау температураларының айырмашылығына негізделген, яғни компоненттер тек белгілі бір температурада буланып, конденсацияланады.

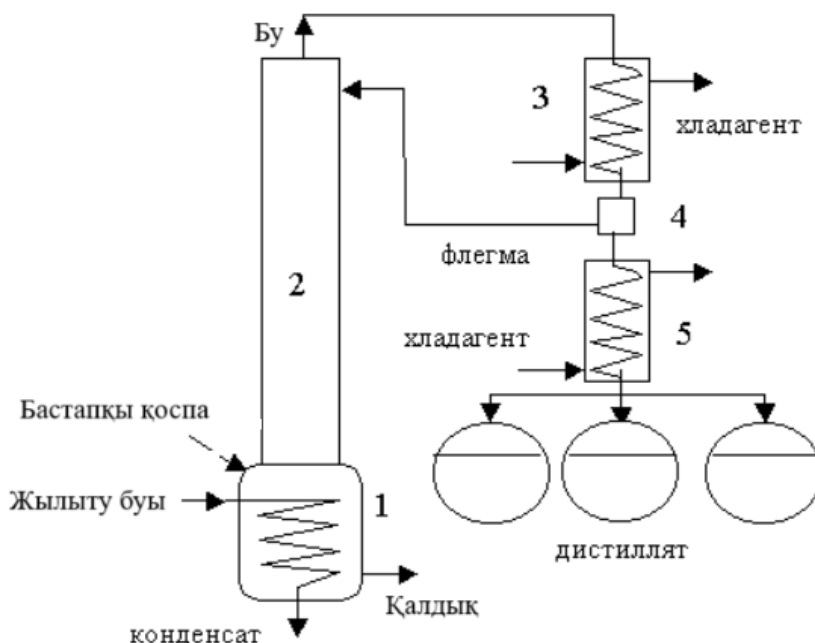
Түзету процесі түзету қондырғысында үздіксіз немесе мерзімді түрде жүзеге асырылады. Бірінші жағдайда, ақ алтынның температурасына дейін алдын ала қыздырылған бөлінетін қоспасы тұрақты қондырғыға беріледі. Ол барлық жабдықты төменгі және үстіңгі бөліктерге бөлетін бағаналы беру пластинасының төменгі жағында жеткізіледі (1.1-сурет). Аппараттың төменгі бөлігі тазартқыш ретінде жұмыс істейді - ол бөлінетін қоспадан ұшпа компонентті жояды, үстіңгі бөлігі күшейту бөлігі ретінде әрекет етеді. Ректификация колоннасының жоғарғы бөлігінде бу фазасы жоғары ұшпа компонентпен байытылған. Бұл жағдайда орнату, әдетте, белгіленген режимде жұмыс істейді, бұл уақыт өте ұшпа компоненттің тұрақты концентрациясы бар өнім мен түбін алуға мүмкіндік береді [3].

Периодты процесс қосылғанда (1.2-сурет) бөлінетін қоспа алдымен буландырғышқа – қозғалмайтын колонналарға құйылады, ақуызға жеткізіледі және буланады. Алынған бу конденсацияланған өнімнің бір бөлігін білдіретін жоғарыдан жеткізілетін рефлюкспен суарылатын колонка арқылы өтеді. Пакеттік қондырғы стационарлы емес режимде жұмыс істейді, яғни жоғары ұшпа құрамдастың концентрациясы және текшедегі ағын уақыт бойынша үздіксіз болады, бұл ретте кері ағынның жылдамдығы тұрақты.



1 – бағанның жоғарғы бөлігі; 2 – колоннаның төменгі бөлігі; 3 – баған текшесі; 4 – ағынды конденсатор; 5 – рефлюкс сепараторы; 6 – тоңазытқыш; 7 – дайын өнімді жинау.

1.1 – сурет - Үздіксіз түзеткіш қондырғысының схемасы



1 – баған текшесі; 2 – айдау колонкасы; 3 – ағынды конденсатор; 4 – рефлюкс сепараторы; 5 – тоңазытқыш; 6 – дайын өнім коллекциялары.

1.2- сурет - Үздіксіз түзеткіш қондырғысының схемасы

Ректификация процесінің кезеңдері:

Сұйық қоспаны буландыру (булану кезеңі):

- Ректификация қондырғысында сұйық қоспа жоғары температураға дейін қыздырылады.

- Қоспаның компоненттері әртүрлі қайнау температураларына ие болғандықтан, олар әртүрлі уақытта буланады. Әдетте, сұйық қоспада жеңіл компонент (қайнау температурасы төмен) бірінші болып буға өтеді, ал ауыр компоненттер (қайнау температурасы жоғары) сұйық күйінде қалады.

- Осылайша, сұйық қоспа әр түрлі компоненттерге бөлінеді, жеңіл компоненттер буға өтіп, ауыр компоненттер төменгі қабаттарда қалады.

Бу фазасын конденсациялау (конденсация кезеңі):

- Бу жоғарыдан төменге қарай көтерілгенде, температура төмендеген сайын, компоненттердің қайнау температурасына сәйкес бу конденсацияланады.

- Конденсациялану процесінде бу сұйық күйге қайта оралады, бірақ оның құрамындағы жеңіл компоненттер көп болады, өйткені олар бірінші болып буланған болатын.

- Бұл компоненттердің бөліктері сұйық фазада қайтадан бірігеді, және жаңа сұйық фазасының құрамында жеңіл компоненттің көп болуы камтамасыз етіледі.

Қайталанатын булану және конденсация:

- Бұл процес бірнеше рет қайталанатын. Ректификация бағанасында әр қабатта сұйық фазасы мен бу фазасы арасында тепе-теңдік орнағанша булану және конденсация жүреді. Әр қабаттың ішінде сұйық және бу фазаларының өзара әрекеттесуі нәтижесінде компоненттердің концентрациялары біркелкі болмайды. Жеңіл компоненттер жоғары қабаттарда, ал ауыр компоненттер төменгі қабаттарда көп болады.

- Әр қабаттағы компоненттердің концентрациясы тепе-теңдік жағдайына жеткен кезде, жоғары қабаттарда жеңіл компоненттер көп болады, ал төменгі қабаттарда ауыр компоненттердің мөлшері көп болады. Осылайша, қоспа біртіндеп таза фракцияларға бөлінеді.

Сұйықтың екі фазасы арасында алмасу (масса алмасу):

- Сұйық пен бу фазалары арасында компоненттер тұрақты түрде алмасып отырады. Сұйық фазасында ауыр компоненттер көп болса, бу фазасында жеңіл компоненттер көп болады.

- Бұл алмасу процесі компоненттердің бөліне бастауына және олардың жоғары сапалы бөлінуіне мүмкіндік береді.

Бағанадағы процесс:

Ректификация бағанасы бірнеше қабаттан тұрады. Әр қабатта:

- Булану: Жеңіл компоненттер сұйық фазадан буға өтеді.

- Конденсация: Бу фазасы суытып, конденсацияланып, қайтадан сұйыққа айналады.

Бұл процесс бірнеше қабаттарда қайталанады, нәтижесінде жоғарыда жеңіл компоненттер, ал төменде ауыр компоненттер жинақталады. Ректификацияның мақсаты — жеңіл компоненттерді жоғары сапалы бөліп алу.

1.2 McCabe-Thiele әдісі

Ректификация процесін математикалық тұрғыдан сипаттау көптеген теңдеулер мен модельдерді қолдануды қажет етеді, өйткені бұл процесс жылу және масса алмасу реакцияларын қамтиды. Ректификацияның математикалық моделі негізінен масса баланстарын, энергетикалық баланстарды, тепе-теңдік қатынастарын және ағындардың сипаттамаларын пайдаланады [4].

Ректификацияның математикалық негіздері:

Ректификация процесін математикалық тұрғыдан сипаттау үшін жылу және масса алмасудың балансын қолданамыз. Бұл үшін әрбір қабаттағы тепе-теңдік шарттары мен ағынды сипаттайтын теңдеулерді пайдалануға болады. Ең кең таралған модельдер — McCabe-Thiele әдісі мен Fenske теңдеуі.

McCabe-Thiele әдісі ректификация бағанасының жұмысын талдау үшін қолданылады. Бұл әдіс тепе-теңдік сызықтарын және аралық фракцияларды сипаттайтын графикалық әдіс болып табылады. Оның негізінде:

- Тепе-теңдік сызығы: Будың құрамын және сұйық фазаның құрамын байланыстыратын сызық.

- Қайнау аймағы: Бұл аймақта жеңіл компонент (мысалы, бензол) буланып, ауыр компонент (мысалы, толуол) жоғарыда қалады.

McCabe-Thiele әдісі бойынша, әрбір қабатта сұйықтықтың құрамын өзгерте отырып, соңғы өнімге дейін толық бөлу процесін жүзеге асыруға болады.

Тепе-теңдік және ауысымдық (diffusion) процестері:

Ректификация кезінде жылу мен масса алмасу тепе-теңдік жағдайлары мен ауысымдық процестер арқылы жүзеге асырылады.

Тепе-теңдік жағдайы. Ректификация процесі кезінде әрбір қабатта тепе-теңдік орнатылып, сұйықтық пен бу арасындағы компоненттер концентрациясының айырмашылығы азаяды. Тепе-теңдік жағдайын көрсету үшін, Raoult заңын қолданамыз. Бұл заң бойынша, әр компоненттің бу қысымы сұйық фазасындағы оның концентрациясына пропорционал болады.

Масса алмасу процесі сұйық және бу фазаларындағы компоненттердің концентрациясының айырмашылығына негізделеді. Масса алмасудың тиімділігін арттыру үшін, бағананың дұрыс дизайны қажет, яғни әр қабаттағы жылу мен масса алмасудың тиімділігі жоғары болуы керек. Бұл үшін жылу өткізгіштігі жоғары материалдар мен тиімді фазалық ауысу аймақтарын қолдану керек.

Тепе-теңдік қатынастар. Ректификация кезінде сұйық және бу фазалары арасында компоненттердің бөлуін сипаттау үшін Рауль заңын пайдалану қажет.

Бұл заң сұйық және бу фазаларындағы компоненттердің концентрациялары мен қысымдары арасындағы байланыс орнатады.

Әр компонент үшін Рауль заңы мына түрде жазылады:

$$P_i = x_i \cdot P_i^0$$

мұндағы, P_i - компоненттің бу фазасындағы қысымы;

x_i - компоненттің сұйық фазасындағы молекулалық бөлімі;

P_i^0 - компоненттің таза күйіндегі бу қысымы (қайнау температурасы бойынша).

Бұл теңдеу компоненттердің бір-бірінен бөлінуі кезінде жылу және масса алмасуды сипаттайды.

Бағананың жұмысын сипаттау. Ректификация процессін сипаттау үшін негізінен McCabe-Thiele әдісі немесе бөлудің теориялық қабаттарын есептеу қолданылады.

McCabe-Thiele әдісі — ректификацияның жұмысын графикалық түрде талдауға арналған әдіс. Бағананың жұмысын сипаттау үшін төмендегідей теңдеулер қолданылады:

Тепе-теңдік сызығы: Бу фазасы мен сұйық фазасы арасындағы тепе-теңдік сызығының теңдеуі:

$$y_p = \frac{\alpha \cdot x}{1 + x \cdot (\alpha - 1)}$$

мұндағы, y_p - бу фазасындағы компоненттің концентрациясы;

x - сұйық фазасындағы компоненттің концентрациясы;

α - компоненттердің салыстырмалы қайнау температурасын сипаттайтын қатынас.

Ағындардың теңдеуі: Бағанадағы әр қабат үшін ағынның теңдеуі мына түрде жазылады:

$$F = D + BF = D + B$$

мұндағы, F - бағанадан келетін бастапқы қоспа ағыны;

D - жоғарыдан алынатын дистилляттың ағыны;

BB - төменнен алынатын қалдықтың ағыны.

Ректификация процесінде энергияның тұтынылуын және бөлінуін есептеу үшін энергетикалық баланс маңызды рөл атқарады. Энергетикалық балансқа сәйкес жылу алмасудың қажеттілігі және қондырғының энергия тұтынуы есептеледі.

Жылу балансын мына түрде жазуға болады:

$$Q=m \cdot \Delta H$$

мұндағы, Q - қажетті жылу энергиясы;

m - ағынның массасы;

ΔH - фазалардың жылу сыйымдылығының өзгеруі (яғни, буландыру немесе конденсация энергиясы).

Бұл теңдеу жылу энергиясын есептеуге мүмкіндік береді, ол сұйық қоспаны буландыру және бу фазасынан конденсациялау кезінде қажет.

Ректификация бағанасы үшін әр қабатта масса баланстарын есептеу маңызды. Әр қабатта сұйық фазасы мен бу фазасы арасында компоненттердің алмасуы жүреді. Осы баланстарды есептеу арқылы бағананың тиімді жұмыс істеуін бағалауға болады.

Ректификация процесін математикалық тұрғыдан сипаттау үшін көп түрлі теңдеулер мен модельдер қолданылады. Бұл теңдеулер сұйық және бу фазалары арасындағы тепе-теңдікті, бағананың қабаттар санын, жылу мен масса алмасуды және ағындардың қасиеттерін сипаттайды. Осы әдістер мен теңдеулер арқылы ректификацияның тиімділігі бағаланып, қондырғының жұмыс параметрлері мен жобалау шешімдері анықталады.

1.3 Құрылғының элементтері мен жұмыс істеу принципі

Ректификация қондырғысында екі негізгі процесс жүреді:

- Буландыру: Жеңіл компоненттер сұйық фазадан буға өтеді.
- Конденсация: Бу фазасы суытып, қайтадан сұйық фазасына айналады.

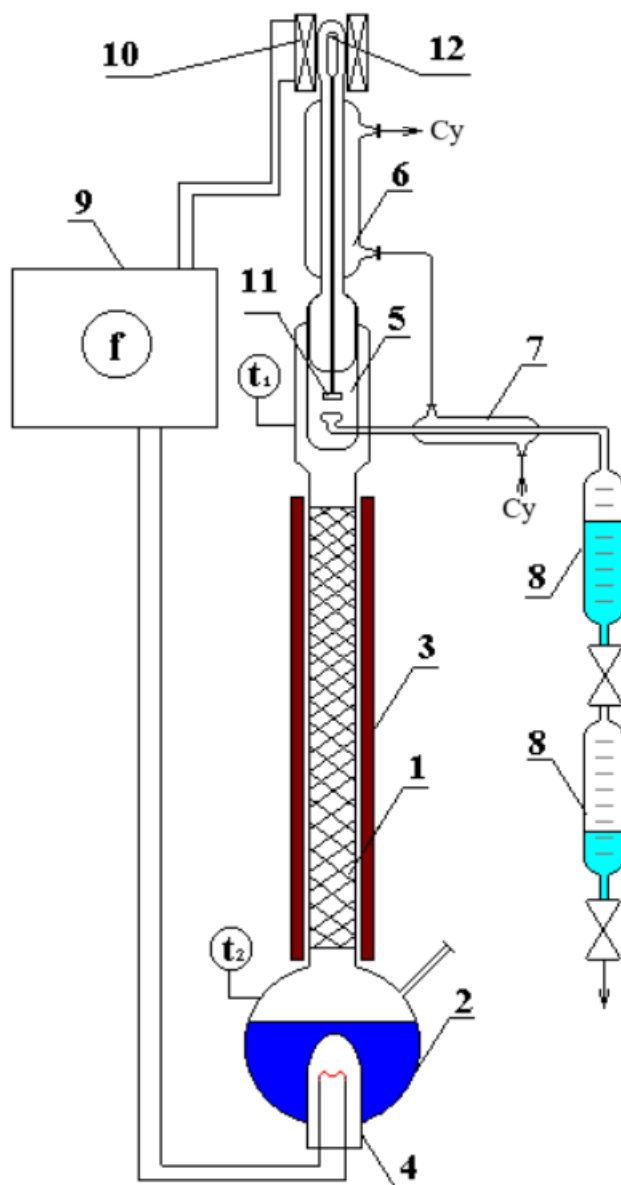
Бұл екі процесс үздіксіз қайталанып, компоненттер бөлу процесі жүреді. Бұл үшін:

- Бағананың биіктігі мен диаметрі: Бағананың дұрыс мөлшері ағын жылдамдығына, температура айырмашылығына және бөлу қажеттілігіне байланысты есептеледі.

- Қабаттар мен жылу алмастыру беттері: Жылу алмастыру беттерінің саны мен тиімділігі бөлу процесінің басты факторы болып табылады.

Орнату диаметрі 30 мм шыны түзеткіш колонкадан (1.3-сурет) тұрады, бір жарым айналымды сым сақиналарынан жасалған саптамамен жабдықталған (бұрылу диаметрі 3 мм, дәнекерлеу сымы 0,2 мм). Қаптама қабатының биіктігі 1 м, анықталған беті $2070 \text{ м}^2/\text{м}^3$. Төменнен бағанға (1) дейін электр қыздырғышпен (4) жабдықталған қосу қазандығы (куб) (2) орналасқан, оның қуаты басқару блогының (9) көмегімен автоматты түрде реттеледі. Өйткені ректификациялық колонна адиабаталық режимде жұмыс істеуі керек, яғни қоршаған ортаға жылуды бермейді немесе алып тастамайды. Сонымен қатар жылу оқшаулаумен (3) жабдықталған, оның ішінде бағананың жоғарғы және

төменгі бөліктерінің компенсациялық жылытқыштары орнатылған, қысымды басқару датчиктерінен автоматты түрде жұмыс істейді.



1.3 – сурет - Тәжірбиелік қондырғысының схемасы

Өлшеу саптамасындағы қысымның төмендеуі сумен толтырылған дифференциалды монотрді және буферлік резервуар арқылы жанасу текшесін (2) пайдалану арқылы жүзеге асады (сызба көрсетілмеген). Бу фазасын флегмаға және оның ішіндегі буды конденсациялауға арналған ауа қаптамасымен жабдықталған тарату бастиегімен (5) қамтамасыз етілген дайын өнімді бөлу үшін қажет. Тарату бастиегінің (5) ішінде өнім мен кері флюкс қалыптастыру үшін буды кетіретін тесіктер бар, олар кезекпен клапанмен (11) жабылады. Соңғы стержень индукциялық катушка (10) ішінде орналасқан өзекке (12) қосылған, ондағы ток белгілі бір уақыт аралығында автоматты түрде қосылады. Олардың өлшемін реттеу арқылы біз таңдалған өнімнің орнын

өзгерте аламыз және флегматикалық бағанға беріледі. Өзек (12) катушкаға (10) тартылған кезде клапан (11) ағынды конденсаторға кіруді жауып, жоғарғы орынды алады және колоннадан шыққан барлық бу конденсаторға (7) жіберіледі, онда ол конденсацияланады, салқындатылады және дайын өнімнің (8) коллекциясына түседі. Катушкадағы (10) ток сөнген кезде клапан ашылады, конденсаторға (7) кіретін есікті жабады және барлық бу ағынды конденсаторға (6) түседі, онда ол конденсацияланады және таратқыш бастиектің қабырғалары бойынша кері ағын түрінде колоннаға түседі.

1.4 Ректификацияның энергия тиімділігі

Жылу мен масса алмасу процесінің тиімділігін арттыру үшін, қондырғының энергия шығынын азайту қажет. Бұл мақсатқа жету үшін:

- Қондырғыда жылу қалдықтарын қайта пайдалану,
- Бағанада жылу алмастыру жүйелерін оптимизациялау,
- Жылу мен масса алмасуды тиімді басқару жүйесін қолдану қажет.

Ректификацияның жылу-масса алмасу процесінің теориялық негіздері ректификацияның тиімділігін арттыру, компоненттерді бөлу процесін оңтайландыру және энергия шығындарын минимизациялау мақсатында маңызды. Мұндай процестерді түсіну және оларды дұрыс есептеу арқылы қондырғылардың жұмысы оңтайландырылып, өнімділік пен экологиялық қауіпсіздік қамтамасыз етіледі [5].

Ректификацияның энергия тиімділігі - бұл ректификациялық процесс кезінде қажетті энергияның мөлшері мен өнімнің сапасына жету үшін қажет энергияның арақатынасы. Ректификация - сұйық қоспаларды компоненттерге бөлу үшін көп жағдайда қолданылатын термиялық процесс, онда сұйықтың қоспаларына жылу беріледі, нәтижесінде бу мен сұйықтың әртүрлі компоненттері бөлек болады.

Ректификацияның энергия тиімділігі көбінесе төмендегідей факторларға байланысты болады:

1) Қоспаның құрамына: Қоспадағы компоненттердің қайнау температурасының айырмашылығы неғұрлым көп болса, соғұрлым энергия шығыны жоғары болады.

2) Бұйымның физикалық қасиеттері: Температура, қысым, фазалық өзгерістер сияқты факторлар процесс кезінде энергияның қаншалықты тиімді пайдаланылатынын әсер етеді.

3) Колоннаның тиімділігі: Ректификация колоннасының дизайн мен жұмыс жағдайлары (құрылыс материалы, ішкі бөлік, жылу алмасу процесі) энергетикалық шығынға әсер етеді.

Қазіргі таңда энергия тиімділігін арттыру үшін әртүрлі әдістер мен технологиялар қолданылуда, мысалы:

- Назар аудару және қайта қолдану: Процестегі артық жылуды қалпына келтіру және басқа процестерде қолдану.

- Ректификация колонналарын оңтайландыру: Қабаттық колонналарды жетілдіру, оларды жоғары тиімділікпен жобалау.

- Энергияны үнемдейтін жабдықтарды қолдану: Жоғары тиімді жылу алмастырғыштар, бу қысымын реттеу және т.б.

Ректификацияның энергия тиімділігі бойынша көрсеткіштер әр түрлі өндірістік жағдайларға байланысты өзгеруі мүмкін.

Ректификация колонналарын оңтайландыру - бұл колоннаның өнімділігін, энергия тиімділігін және жалпы жұмысын жақсарту үшін түрлі әдістер мен технологияларды қолдануды білдіреді. Мұндай оңтайландыру бірнеше бағытта жүзеге асырылуы мүмкін:

1) Колоннаның конструкциясын жақсарту:

- Колоннаның ішкі бөліктерін жетілдіру: Колоннадағы тарелкалар мен толтырғыштарды оптимизациялау арқылы жылу алмасу тиімділігін арттыруға болады. Мысалы, жылуды жақсы өткізетін және бу мен сұйықтың араласуын жақсартатын материалдар қолдану.

- Қысымды басқару: Колоннаның әр түрлі деңгейлерінде қысымды реттеу арқылы бу мен сұйық фазаларының араласу жылдамдығын бақылауға болады, бұл энергияны үнемдеуге көмектеседі.

2) Тұрақты жылу және масса алмасуды бақылау

- Жылу энергиясын қалпына келтіру: Артық жылуды үздіксіз қолдану немесе жылу алмастырғыштар арқылы жылуды қайта пайдалану колоннаның тиімділігін айтарлықтай арттыра алады. Бұл, әсіресе, көп энергия тұтынатын процестер үшін маңызды.

- Ерекше температура профильдерін пайдалану: Колоннадағы температураның әртүрлі деңгейлерінде жылуды басқару арқылы өнімділікті жоғарылатуға болады. Мұнда «Температура-График» сияқты әдістер қолданылады.

3) Процесті басқару және автоматтандыру

- Процесс бақылауы және мониторинг: Заманауи автоматтандырылған жүйелер колоннаның жұмысын үздіксіз бақылап, қажетті параметрлерді өзгертуге мүмкіндік береді (мысалы, температура, қысым, ағын жылдамдығы). Бұл тиімділікті арттырып, энергия шығынын төмендетуге көмектеседі.

- Сигнализация және кері байланыс жүйелері: Колоннадағы кез келген ауытқулар мен ақауларды дер кезінде анықтау үшін арнайы жүйелер енгізу мүмкін.

4) Энергияны үнемдейтін технологиялар

- Қысымның әртүрлі деңгейлерінде жұмыс жасау: Ректификация процесінде көп жағдайларда жоғары қысымда жұмыс жасау энергия тұтынудың артуына әкеледі. Оңтайлы қысым деңгейін анықтап, оны тұрақты ұстап тұру — энергия шығынын азайтуға мүмкіндік береді.

- Бу және сұйық фазалардың ағындарын басқару: Ректификацияда бу мен сұйықтың ағындарын оңтайлы басқару, артық бу немесе сұйық шығарындыларын болдырмау арқылы энергия тиімділігін арттыруға болады.

5) Процесс схемасын жетілдіру

- Көпколлонналық жүйелер: Бірнеше колонналарды параллель немесе тізбектей қосу арқылы процесті тиімді етуге болады. Бұл әр колоннаның жеке жұмысын оңтайландыруға мүмкіндік береді.

- Экономайзерлер мен экстерналды жылу алмастырғыштар: Бу генераторларынан шыққан жылуды қосымша жылу алмастырғыштарда пайдалану, энергия шығындарын азайтуға және өндірістік процестерді тиімдірек етуге мүмкіндік береді.

6) Жаңа технологияларды қолдану

- Микроорганизмдер мен катализаторларды қолдану: Кейбір жағдайларда арнайы катализаторлар немесе микроорганизмдер арқылы компоненттердің бөлінуін жылдамдату, энергияны үнемдеуге мүмкіндік береді.

- Альтернативті энергия көздерін пайдалану: Күн немесе жел энергиясы сияқты жаңартылатын энергия көздерін қолдану да колоннаның энергия тиімділігін арттыра алады.

Ректификация колонналарын оңтайландыру арқылы өндірістегі энергия шығынын едәуір азайтуға және өнімнің сапасын жоғарылатуға болады. Бұл технологиялардың бірігіп қолданылуы жоғары тиімділікке, төменгі шығындарға және экологиялық әсердің азаюына әкеледі [6].

Энергияны үнемдейтін жабдықтарды қолдану - бұл өндіріс процесінде энергия шығындарын төмендетуге бағытталған шаралардың бірі. Бұл жабдықтар энергияны тиімді пайдалану үшін арнайы жобаланған және жаңартылған, оларды қолдану арқылы өндірістің энергия тұтынуын азайтуға, сонымен қатар жұмыс процесінің тиімділігін арттыруға болады. Энергия үнемдеу жабдықтарын қолданудың бірнеше әдістері мен принциптері бар:

1) Жоғары тиімді жылу алмастырғыштар

Жылу алмастырғыштар энергия үнемдеу жүйелерінің негізгі компоненттері болып табылады. Олар жылуды бір ағыннан екінші ағынға тиімді беру арқылы энергияны үнемдеуге мүмкіндік береді.

- Түрлері: Пластиналық, құбырлы, ауа жылу алмастырғыштары.

- Қолдану: Өнеркәсіпте пайдаланылатын жылу алмастырғыштар энергия шығындарын азайтып, артық жылуды қалпына келтіруге мүмкіндік береді. Мысалы, бу қазандықтарынан немесе басқа жылу көздерінен шыққан артық жылуды қайта пайдалану.

2) Энергия тиімді сорғылар мен компрессорлар

Сорғылар мен компрессорлар өнеркәсіптік процестерде көп энергия тұтынады. Энергия тиімді жаңа үлгідегі сорғылар мен компрессорларды пайдалану айтарлықтай энергия үнемдеуге мүмкіндік береді.

- Айнымалы жиілікті жетегі бар сорғылар: Бұл сорғылар энергияны сұранысқа сәйкес реттейді, яғни олардың жұмыс жылдамдығы сұранысқа сәйкес өзгереді.

- Энергия тиімді компрессорлар: Пневматикалық және механикалық жүйелерде тиімділігі жоғары компрессорларды қолдану энергияны аз тұтынуға мүмкіндік береді.

3) Энергия үнемдейтін жылу генераторлары

Жылу генераторларының тиімділігін арттыру үшін арнайы энергия үнемдейтін үлгілер пайдаланылады.

- Конденсациялық қазандықтар: Олар отынның толық жануын камтамасыз етеді және шығарылған түтін газдарын жылумен қайта пайдаланады, бұл олардың тиімділігін арттырады.

- Төмен температурадағы жылу генераторлары: Энергияны көп тұтынатын жылу көздерін төмен температурада жұмыс істеуге бейімдеу.

4) Жоғары тиімді электр қозғалтқыштары

Өнеркәсіпте электр энергиясын тұтынатын құрылғылардың көпшілігі электр қозғалтқыштарын пайдаланады. Жаңа технологиялар негізінде жасалған жоғары тиімді қозғалтқыштар энергия тұтынуды едәуір төмендетеді.

- IE3, IE4 стандарттарына сай қозғалтқыштар: Бұл қозғалтқыштар жоғары тиімділікке ие, олар энергияны үнемдей отырып, жұмыс істейді.

- Қозғалтқыштардың ауыспалы жылдамдығы: Айнымалы жылдамдықпен жұмыс істейтін қозғалтқыштар тек нақты қажеттілікке сәйкес жұмыс істеп, энергияны үнемдейді.

5) Энергияны басқару жүйелері

Энергияны тиімді пайдалану үшін кәсіпорында энергияның пайдаланылуын мониторингілейтін және реттейтін автоматтандырылған жүйелерді қолдану өте тиімді.

- Энергияны басқару жүйелері (EMS): Бұл жүйелер энергия тұтынуын бақылап, қай жерлерде артық энергия пайдаланылып жатқанын анықтап, қажет болған жағдайда энергия тұтынуды автоматты түрде реттейді.

- Интеллектуалды есептегіштер мен сенсорлар: Олар энергия тұтыну деңгейін нақты уақыт режимінде бақылайды және энергия шығындарын оңтайландыруға мүмкіндік береді.

6) Жарықтандыруды энергия үнемдеу жүйелерімен ауыстыру

Жарықтандыру жүйелері де өнеркәсіптегі маңызды энергия тұтынушылардың бірі болып табылады. Энергия үнемдейтін жарықтандыру жүйелерін қолдану өте тиімді:

- LED жарықтандыру: Бұл жарық көздері дәстүрлі шамдарға карағанда әлдеқайда аз энергия тұтынады, олар ұзақ мерзім қызмет етеді және энергия шығынын айтарлықтай азайтады.

- Диафрагмалық және қозғалыс сенсорлы жүйелер: Бұл жүйелер жарықтың қосылуын немесе өшуін автоматты түрде реттейді, тек нақты қажеттілік болғанда ғана жарық береді.

7) Жаңартылатын энергия көздерін қолдану

Жаңартылатын энергия көздері — бұл электр және жылу энергиясын өндірудің экологиялық таза және үнемді тәсілдері. Оларды өнеркәсіпте қолдану жалпы энергия тұтынуды төмендетуге көмектеседі.

- Күн панельдері: Күн энергиясын электр энергиясына айналдыратын панельдер.

- Жел турбиналары: Желдің энергиясын электр энергиясына айналдыру үшін қолданылады.

8) Энергия үнемдейтін өнеркәсіптік желілер мен бу жүйелері

Бу мен газды қайта өңдеу, сондай-ақ өнеркәсіптік желілердің энергия тиімділігін арттыру да маңызды.

- Бу турбиналарының тиімділігі: Жоғары тиімді бу турбиналарының көмегімен электр энергиясын өндіру және артық бу энергиясын пайдалану.

Энергия үнемдейтін жабдықтар өнеркәсіпте энергияны тиімді пайдаланудың негізі болып табылады. Олар тек шығындарды азайтып қана қоймай, сонымен қатар экологиялық әсерді төмендетуге, ресурстарды тиімді пайдалануға және өндіріс процесін оңтайландыруға мүмкіндік береді. Энергия үнемдеу шараларын енгізу өндіріс тиімділігін арттырып, ұзақ мерзімді кезеңде экономикалық пайда әкеледі.

2 Ректификация процесінің технологиялық схемасы

2.1 Ректификация процесінің технологиялық схемасының негізгі барысы

Ректификация процесі - бұл сұйық қоспаларды құрамындағы компоненттер бойынша бөлу үшін қолданылатын термиялық процесс. Ол көбінесе таза компоненттерді немесе олардың қоспаларын алу үшін пайдаланылады, мысалы, мұнай өңдеуде, спирт өндіруде және химия өнеркәсібінде.

Ректификация процесінің технологиялық схемасы бірнеше кезеңдерден тұрады. Бұл схема процесс кезінде температураның, қысымның және ағынның өзгеруін ескере отырып, сұйықтық пен бу арасындағы масса мен жылу алмасуды қамтамасыз ету үшін жобаланады [7].

Ректификация процесінің технологиялық схемасының негізгі барысы:

1) Аралас сұйықтықтың дайындалуы

Процесс басталмас бұрын, ректификацияға жіберілетін сұйықтық қоспасы дайындалады. Бұл қоспа сұйық күйде, оның ішінде бірнеше компонент болуы мүмкін. Сұйықтықтың құрамы процесс барысында бөлінетін компоненттердің қайнау температурасына байланысты маңызды рөл атқарады.

2) Жылу беру

Ректификация процесінде сұйық қоспа жылумен қыздырылады. Бұл үшін арнайы қазандық немесе жылу алмасу жүйелері қолданылады. Сұйықтық қайнау температурасынан жоғары температураға дейін қыздырылып, бу фазасына айналады.

- Қыздыру қондырғысы: Сұйықтыққа жылу беретін аппарат, ол бу фазасына өту үшін қажетті энергияны береді.

3) Ректификация колоннасына беру

Қыздырылған сұйықтық колоннаның төменгі бөлігіне беріледі, онда ол жылу мен масса алмасу процессіне кіреді. Колонна — бұл ұзын тік құрылым, оның ішінде бірнеше қабаттар (тарелкалар) немесе толтырғыш материалдар орналасқан, олар сұйықтық пен бу фазаларының үздіксіз араласуын қамтамасыз етеді.

- Колонна ішіндегі көп сатылы бөлу: Ректификация колоннасында бу жоғары қарай көтеріледі, ал сұйықтық төмен қарай ағызылып, әртүрлі температура мен құрамда компоненттер бөліне бастайды.

- Тарелкалар немесе толтырғыштар: Олар колоннада сұйық және бу фазаларының арасындағы жылу мен масса алмасуды жақсартады. Әрбір тарелка немесе толтырғыш бір бөлу сатысын білдіреді.

4) Бу мен сұйық фазаларының алмасуы

Ректификация колоннасында сұйықтықтың бір бөлігі буға айналып, жоғары қарай көтеріледі, ал жоғарыда орналасқан суық бөлікке қайта конденсацияланады. Бұл процесс компоненттердің әртүрлі қайнау температуралары бойынша бөлінуін қамтамасыз етеді.

- Бу мен сұйық фазаларының тепе-теңдігі: Колоннадағы бу мен сұйық фазаларының араласуы әртүрлі компоненттерді бөлу үшін керек, себебі компоненттердің әрқайсысының қайнау температурасы әр түрлі болады.

5) Конденсация

Ректификация колоннасының жоғарғы бөлігінде жоғары температуралық бу конденсаторға келіп түседі. Конденсатор — бұл компоненттердің қайнау температураларына сәйкес сұйық фазаларға айналатын орын.

- Конденсатор: Бу конденсацияланады және сұйықтыққа айналады. Әдетте конденсатордың екі түрі болады:

- Толық конденсация: Барлық бу сұйықтыққа айналады.
- Бөлектеп (Бірте) конденсиялау: Бу толығымен емес, тек бөліктері конденсацияланады, ал қалған бөлігі қайтадан колоннаға жіберіледі.

6) Сепарация (Бөлу)

Ректификация процесінің мақсаты - қоспадағы компоненттерді бөліп шығару. Бу мен сұйықтық арасындағы қайнау температурасының айырмашылығына байланысты компоненттер әртүрлі биіктікте бөлінеді.

- Жоғарғы өнім: Әдетте, колоннаның жоғарғы бөлігінен жеңіл компоненттер (мысалы, спирт немесе метанол) алынады.

- Төменгі өнім: Төменгі бөліктен ауыр компоненттер (мысалы, су немесе мұнай өнімдері) бөлінеді.

7) Ағындарды бөлу және шығару

Ректификация процесі аяқталғанда, екі ағын шығарылады:

- Жоғарғы ағын (өнім ретінде алынатын жеңіл компоненттер).
- Төменгі ағын (ауыр компоненттер немесе қалдық).

Бұл ағындар соңғы өнім ретінде немесе басқа процестерге қайта өңдеу үшін қолданылады.

8) Жылу қалпына келтіру және энергия үнемдеу

Ректификация процесі өте көп энергия тұтынатын процесс болғандықтан, артық жылуды қалпына келтіру өте маңызды. Ол үшін жылу алмастырғыштар қолданылады, олар колоннадан шығатын артық жылуды қайта пайдалануға мүмкіндік береді.

- Жылуды қалпына келтіру жүйесі: Бу мен сұйықтықтың жылу алмастырғыштар арқылы энергия үнемдеуге мүмкіндік береді, артық жылу өнімдерін басқа орындарда қолдануға болады.

Ректификацияның толық технологиялық схемасы:

- 1) Қоспаны қыздыру — жылу беру.
- 2) Ректификация колоннасына беру — сұйықтықты колоннаға жіберу.
- 3) Бу мен сұйық фазасының алмасуы — компоненттерді бөлу.
- 4) Конденсация — бу фазасын сұйықтыққа айналдыру.
- 5) Бөлу — жеңіл және ауыр компоненттерді шығару.
- 6) Ағындарды бөлу — жоғарғы және төменгі өнімдерді шығару.
- 7) Жылу қалпына келтіру — энергияны үнемдеу жүйесін қолдану.

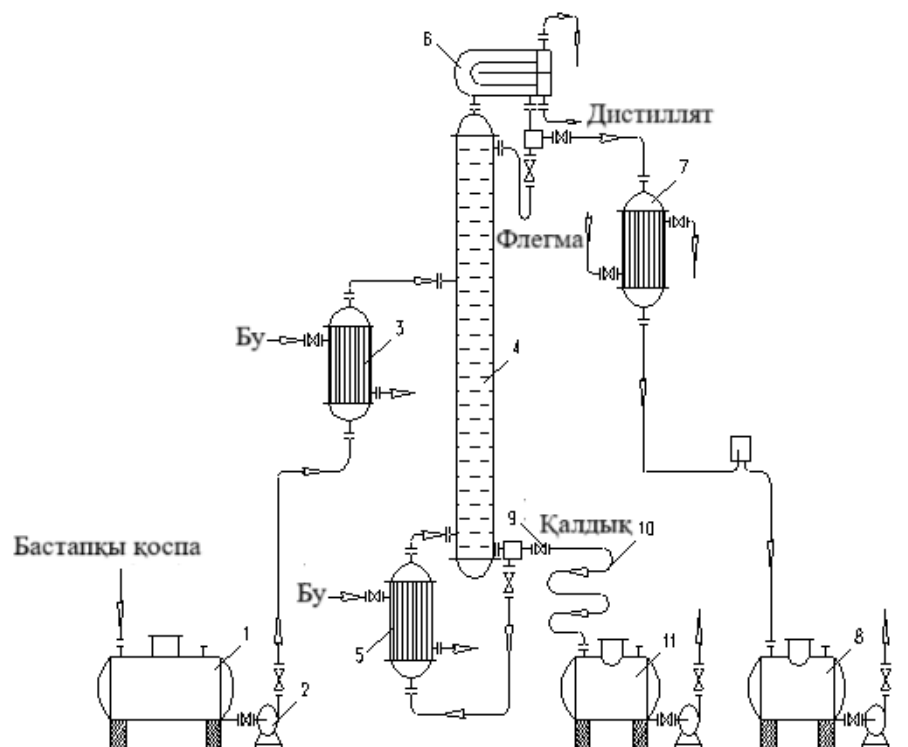
Бұл схема процесс барысында компоненттердің оңтайлы бөлуін қамтамасыз етіп, жоғары сапалы өнім алу үшін қолданылатын әртүрлі қадамдарды көрсетеді.

Аралық резервуар (1) бастапқы қоспасы ортадан тепкіш сорғы (2) арқылы жылу алмастырғыш (3)-ке беріледі, ол қайнау температурасына дейін қызады және сол құрамдағы x_F қоспасы қайнап жатқан пластинаға колоннаға беріледі, яғни колоннаның төменгі толық бөлігінің үстіңгі тақтасында болады. Колоннаның жоғарғы бөлігі оның жоғары ұшпа компонентіне байланысты күшейту деп аталады (2.1 – сурет.).

Ректификациялық колонна (4) ішінде пластиналар немесе қаптамалар түріндегі контактілер бар. Бу сыртқы текшеден – буландырғыштан (қазаннан) (5) (текше – буландырғышты колоннаның астына тікелей қоюға болады) келетін төменнен бағанаға қарай жылжиды. Әрбір пластинада ұшпайтын компоненттің буының ішінара конденсациясы және конденсацияға байланысты жоғары ұшқыш компоненттің ішінара булануы орын алады. Будың бастапқы құрамы шамамен x_W түбінің құрамына тең, яғни ұшпа компоненттерде таусылған. Осылайша, буландырғыш текшеден шығатын және дерлік таза ұшпа емес компонентті білдіретін бу жоғары қарай жылжыған сайын жоғары ұшқыш компонентпен байытылған және жоғары ұшқыш компоненттің таза дерлік буы түрінде колоннадан шығады. Толық байыту (для полного обогащения) үшін колоннаның үстіңгі бөлігін колоннадан шығатын буды конденсациялау арқылы 6 флегматор конденсаторында алынған x_P құрамды сұйықтықпен (флегма) берілген ағындық қатынасқа сәйкес суарады. Бу сумен салқындатылатын флегма конденсаторында конденсацияланады. Конденсаттың бір бөлігі ағынды конденсатордан дайын сепарация өнімі – дистиллят түрінде шығарылады, ол жылу алмастырғышта (7) салқындатылып, аралық резервуарға (8) жіберіледі. Колоннадан төмен ағып, бумен әрекеттесетін флегма ұшпайтын компонентпен байытылады (обогащается).

Төменгі өнім немесе түбінің қалдықтары буландырғыш текшеден шығарылады [8].

Колоннаның төменгі бөлігінен сорғы (9) үздіксіз төменгі сұйықтықты - ұшпайтын компонентпен байытылған өнімді шығарады, ол жылу алмастырғыш (10)-да салқындатылып, контейнер (11)-ге жіберіледі.



1-аралық сыйымдылық; 2-ортадан тепкіш сорғы; 3-жылу алмастырғыш; 4-ректификациялық колонна; 5 - текшелі буландырғыш; 6-дефлегматор; 7-жылу алмастырғыш; 8 - аралық сыйымдылық; 9-сорғы; 10- жылу алмастырғыш; 11-сыйымдылық.

2.1 – сурет - Үздіксіз әрекет ететін ректификациялық қондырғысының құрылымдық схемасы

2.2 Үздіксіз ректификациялық колоннасының технологиялық есебі

Үздіксіз ректификациялық колонна - бұл сұйық қоспаларды үздіксіз негізде бөлу үшін қолданылатын құрылғы. Ол компоненттерді олардың қайнау температураларына сәйкес бөлу арқылы қоспаны сұйық және бу фазаларына бөледі. Мұндай колонна өнеркәсіпте жоғары тиімділікпен жұмыс істейді, себебі оны үздіксіз қолдануға мүмкіндік беретін технологиялық шешімдер мен құрылғылар бар.

Үздіксіз ректификациялық колоннаның құрылымы мен жұмыс принципі:

1) Ректификация колоннасының негізгі құрылымдары:

- Колонна (бөлу қабаты): Бұл колоннаның негізгі бөлігі, ол өте ұзын вертикальды құрылым болып табылады. Оның ішінде бу мен сұйықтықтың үздіксіз алмасуы жүзеге асырылады.

- Тарелкалар немесе толтырғыштар: Колоннада орналасқан әртүрлі тарелкалар немесе толтырғыш материалдар бу мен сұйықтық арасындағы жылу

және масса алмасуды қамтамасыз етеді. Тарелкалар әртүрлі деңгейлерде орналасады және олардың саны колоннаның бөліну тиімділігіне әсер етеді.

- Төменгі бөліктегі сұйықтықтың ағынды енгізілуі: Колоннаның төменгі бөлігінде сұйық қоспа (feed) енгізіледі, ол қыздырылып, жоғары қарай көтеріледі.

- Жоғарғы және төменгі өнімдерді алу: Колоннаның жоғарғы жағынан жеңіл компоненттер (мысалы, метанол, спирт) алынады, ал төменгі жағынан ауыр компоненттер (мысалы, су, ауыр мұнай өнімдері) алынады.

2) Процесс барысы:

Үздіксіз ректификация колоннасында жылу мен масса алмасу үнемі жүріп тұрады. Процесс бірнеше маңызды кезеңдерден тұрады:

1) Сұйықтықтың енгізілуі және қыздырылуы:

Сұйық қоспа колоннаның төменгі бөлігінен үздіксіз беріледі. Бұл қоспа қажетті температураға дейін қыздырылып, буға айналады. Сұйықтық колоннаға берілу кезінде белгілі бір көлемдегі жылу беріледі, ол компоненттердің бір-бірінен бөлу үшін жеткілікті болады.

2) Бу мен сұйықтың үздіксіз араласуы:

Қыздырылған сұйықтық колоннаның төменгі жағынан жоғары қарай көтеріледі. Бұл процессте бу жоғарыға көтерілгенде, ол тарелкалар немесе толтырғыштар арқылы өтеді, сол кезде жоғарыдан төменге қарай сұйықтық ағысы жүреді. Бу мен сұйықтың араласуы нәтижесінде әртүрлі қайнау температурасына ие компоненттер бөлінеді.

- Тарелкалар: Колоннада орналасқан тарелкалар белгілі бір биіктікте орналасқан, олардың ішінде сұйықтықтың белгілі бір мөлшері болады. Әрбір тарелкада сұйықтықтың бөлу сатысы жүзеге асырылады. Бұл сұйықтық пен бу арасындағы жылу мен масса алмасуды жақсартады.

- Толтырғыштар: Колоннаның ішіндегі толтырғыш материалдар (мысалы, металл немесе пластиктен жасалған, арнайы құрылымдары бар бөлшектер) сұйықтық пен бу арасындағы сұйықтықтың беттік ауданын арттырады, бұл бөлу тиімділігін жақсартады.

3) Компоненттерді бөлу:

Бу колоннаның жоғарғы бөлігінде жеңіл компоненттерді құрай отырып, көтеріліп барады. Бұл компоненттер (мысалы, спирт немесе метанол) жоғары температураға жеткенде конденсацияланады және сұйық күйге қайта айналады. Ал ауыр компоненттер, өз кезегінде, төменгі бөлікте қалады және одан шығарылады.

- Жоғарғы өнім: Колоннаның жоғарғы бөлігінен жеңіл компоненттер алынады. Бұл өнімдер жиі ректификацияның мақсаты болып табылады.

- Төменгі өнім: Төменгі бөліктен ауыр компоненттер шығарылады, олар өздерінің қайнау температураларына сәйкес қалған компоненттерден бөлінеді.

4) Жылудың қалпына келтірілуі:

Ректификация процесі көп энергия тұтынатын процесс болғандықтан, артық жылу қалпына келтіру маңызды. Колоннаның төменгі бөлігінен шығарылған бу мен жоғарғы бөліктен шығатын конденсаттың жылуын қайтару

арқылы энергияны үнемдеуге болады. Бұл үшін арнайы жылу алмастырғыштар мен қайта жылу беру жүйелері қолданылуы мүмкін.

5) Процессті реттеу және басқару:

Үздіксіз ректификация процесінде параметрлердің (температура, қысым, ағын жылдамдығы және т.б.) тұрақты түрде бақылануы және реттелуі қажет. Бұл үшін автоматтандырылған басқару жүйелері қолданылады, олар колоннаның жұмысын оңтайландырып, өнімнің сапасын тұрақты сақтайды.

3) Үздіксіз ректификация колоннасының артықшылықтары:

- Үздіксіз жұмыс: Бұл колонналар үздіксіз жұмыс істейді, яғни сұйықтық үздіксіз беріліп, өнімдер үздіксіз алынады.

- Жоғары тиімділік: Үздіксіз жұмыс колонналардың энергия тиімділігін арттырады, себебі олар үнемі оптималды температура мен қысымда жұмыс істейді.

- Өнімнің тұрақты сапасы: Процесс үздіксіз болғандықтан, өнімнің сапасы тұрақты түрде бақыланады және бірқалыпты болады.

- Көлемді өндірістер үшін қолайлы: Үздіксіз ректификация колонналары ірі өндірістер үшін тиімді, себебі олар жоғары өнімділікпен жұмыс істей алады.

4) Қолдану салалары:

- Мұнай өңдеу: Мұнайды өңдеуде мұнайдың фракцияларын бөлу үшін кеңінен қолданылады.

- Химия өнеркәсібі: Әр түрлі химиялық қосылыстардың құрамын бөлу және тазалау үшін.

- Арак өндірісі: Спиртті тазарту және спирт қоспаларын бөлу процесінде.

- Фармацевтика: Жоғары сапалы дәрілік заттарды алу үшін.

Үздіксіз ректификациялық колонна — бұл өнеркәсіпте компоненттерді үздіксіз бөлу үшін қолданылатын тиімді және сенімді құрылғы. Оның жоғары тиімділігі, тұрақты жұмыс мүмкіндігі және үлкен көлемдегі өндіріс үшін қолайлылығы оны көптеген салаларда кеңінен қолдануға мүмкіндік береді.

Колонналық аппараттың негізгі геометриялық өлшемдерін, өнім өнімділігі $P=120$ т/тәулікті анықтаумен бензол-толуол қоспасын бөлуге арналған үздіксіз айдау колоннасын есептеңіз. Баған түрі - диск тәрізді, пластина түрі - қақпақ тәрізді.

Қоспадағы НК мөлшері (мольдік үлес):

Бастапқы қоспаның молярлық концентрациясы: $X_F = 0,4$

Дистилляттың молярлық концентрациясы: $X_P = 0,95$

Төменгі қалдықтың мольдік концентрациясы: $X_W = 0,03$

$P = 1,0$ ата бағанындағы қысым.

Бастапқы қоспасы қайнау температурасына дейін алдын ала қыздырылады. Колоннаның ыстық суаруы қамтамасыз етілген.

Ректификация процесінің технологиялық есебінің негізгі міндеттері дистилляциялық колоннаның негізгі геометриялық өлшемдерін (оның диаметрі мен биіктігі), сонымен қатар колонна текшесіндегі қыздыру буының және кері тоңазытқыштағы салқындатқыш судың шығынын анықтау болып табылады.

2.3 Ректификация процесінің технологиялық есебінің материалдық балансы

Ректификация процесінің технологиялық есебінің материалдық балансы - бұл барлық ағымдар мен ағындардың массаларын есептеу процесі. Материалдық баланс процестің тиімділігін бағалауға, өндірістің энергия тұтынуын есептеуге, сондай-ақ соңғы өнімнің сапасын бақылауға мүмкіндік береді.

Материалдық баланс негіздері. Ректификация процесі кезінде, сұйық қоспа (feed) екі түрлі фракцияға бөлінеді: жеңіл фракция (бу фазасында жоғары көтеріледі) және ауыр фракция (сұйық фазасында төмен түседі). Материалдық баланс бұл компоненттердің әрқайсысының мөлшерін анықтауға көмектеседі.

Ректификацияның материалдық балансының негізі — әрбір ағын үшін компоненттер массасының сақталуы. Яғни, барлық кіріс ағындарының жалпы массасы шығыс ағындарының массасына тең болуы керек. Бұл балансты теңдеу түрінде көрсетуге болады:

$$\text{Массалық баланс} = \text{Кіріс ағындары} - \text{Шығыс ағындары} = 0$$

Мұндай теңдеу әр түрлі фазалар мен ағымдарға қатысты құрылады: сұйық және бу фазалары, жоғарғы және төменгі ағындар.

Ректификация процесі үшін материалдық баланс теңдеулерін құру:

1) Кіріс ағыны (Feed)

Кіріс ағыны - бұл колоннаға енгізілетін сұйық қоспа. Оның құрамында бірнеше компоненттер болуы мүмкін, мысалы, компонент А және компонент В. Кіріс ағынындағы жалпы ағынның массасы F деп белгіленеді.

Егер сұйық қоспада компонент А және компонент В бар болса, онда кіріс ағынының массалық үлесі u_F (компонент А-ның массалық үлесі) және $1-u_F$ (компонент ВВ-ның массалық үлесі) болады.

2) Шығыс ағындары

Ректификация процесінде екі негізгі шығыс ағыны болады: жоғарғы ағын (көбінесе жеңіл компоненттерден тұрады) және төменгі ағын (ауыр компоненттерден тұрады).

- Жоғарғы ағын (Distillate, D): Бұл ағын ректификация колоннасының жоғарғы бөлігінен шығатын сұйықтық, онда жеңіл компоненттердің концентрациясы жоғары. Жоғарғы ағынның жалпы ағыны D деп белгіленеді.

- Төменгі ағын (Bottoms, B): Бұл ағын колоннаның төменгі бөлігінен шығатын сұйықтық, онда ауыр компоненттердің концентрациясы жоғары. Төменгі ағынның жалпы ағыны B деп белгіленеді.

3) Массалық баланс теңдеулері:

Енді массалық балансты құрайық:

- Кіріс ағынының массасы:

$$F = D + B$$

мұндағы, F - кіріс ағынының жалпы массасы;

D - жоғарғы ағынның массасы;

B - төменгі ағынның массасы.

- Компонент А-ның массалық балансы:

Компонент А-ның массалық балансы үшін біз әр ағынның құрамындағы компонент А-ның массалық үлесін қолданамыз.

- Кіріс ағынының компонент А-ның массасы: $F \cdot y_F$;

- Жоғарғы ағынның компонент А-ның массасы: $D \cdot y_D$;

- Төменгі ағынның компонент А-ның массасы: $B \cdot y_B$.

Бұл компонент А-ның балансы үшін массалық теңдеу былай жазылады:

$$F \cdot y_F = D \cdot y_D + B \cdot y_B$$

мұндағы, y_F - кіріс ағынындағы компонент А-ның массалық үлесі;

y_D - жоғарғы ағындағы компонент А-ның массалық үлесі;

y_B - төменгі ағындағы компонент А-ның массалық үлесі.

4) Компонент В-ның массалық балансы:

Компонент В-ның массалық балансы үшін теңдеу келесідей болады:

$$F \cdot (1 - y_F) = D \cdot (1 - y_D) + B \cdot (1 - y_B)$$

мұндағы, $1 - y_F$ - кіріс ағынындағы компонент В-ның массалық үлесі;

$1 - y_D$ - жоғарғы ағындағы компонент В-ның массалық үлесі;

$1 - y_B$ - төменгі ағындағы компонент В-ның массалық үлесі.

5) Балансты шешу:

Енді бізде екі компоненттің (компонент А және компонент В) массалық баланс теңдеулері бар, оларды жүйе ретінде шешуге болады. Бұл теңдеулерден біз әр ағынның массалық ағынын және компоненттердің бөліну коэффициенттерін есептей аламыз.

Ректификация процесінің материалдық балансы арқылы біз әртүрлі ағындардың массаларын және олардың құрамын есептейміз. Бұл есептеулер процестің жұмысын оңтайландыруға және қажетті өнімді алу үшін колоннаның параметрлерін реттеуге мүмкіндік береді. Материалдық баланс теңдеулерін дұрыс құру және шешу ректификацияның тиімділігін арттырып, өндірістің экономикалық тиімділігін жоғарылатуға мүмкіндік береді [9].

Материалдық баланс теңдеуін құрастыру және шешу мақсаты белгісіз материал ағындарын анықтау болып табылады.

$P = 760$ мм сын. бағ. кезінде заттардың қайнау температурасы:

Бензол қайнауы $T_{кип} = 80,2$ °C (НК);

Толуолдың қайнау температурасы $T_{кип} = 110,8$ °C (ВК).

Заттардың молекулалық массалары:

Бензол $M_r=78,11$ кг/кмоль;

Толуол $M_r=92,13$ кг/кмоль.

Есептеуді [1]-де ұсынылған әдіс бойынша жүргіземіз.

Материалдық баланс теңдеуі келесі түрде болады:

$$\begin{cases} F = P + W \\ F \cdot \bar{x}_F = P \cdot \bar{x}_P + W \cdot \bar{x}_W \end{cases}, \quad (2.1)$$

мұндағы, F - қоспаның бастапқы шығыны, кг/с;

P - өнімнің жоғарғы шығыны, кг/с;

W - өнімнің төменгі шығыны, кг/с;

$\bar{x}_F, \bar{x}_P, \bar{x}_W$ – компоненттердің сәйкес массалық үлестер, кг/кг.

$$F = \frac{120000}{86400} = 1,388 \text{ кг/с}$$

$$P = F \cdot \frac{\bar{x}_f - \bar{x}_w}{\bar{x}_p - \bar{x}_w} = 1,388 \cdot \frac{0,4 - 0,03}{0,95 - 0,03} = 0,558 \text{ кг/с}$$

$$W = F \cdot \frac{\bar{x}_p - \bar{x}_f}{\bar{x}_p - \bar{x}_w} = 1,388 \cdot \frac{0,95 - 0,4}{0,95 - 0,03} = 0,823 \text{ кг/с}$$

$$F = 0,558 + 0,823 = 1,387 \text{ кг/с}$$

$$1,388 \cdot 0,4 = 0,558 \cdot 0,95 + 0,83 \cdot 0,03$$

$$0,555 = 0,555$$

Есептеу үшін азықтың, дистилляттың және түбінің концентрациясын мольдік фракциялармен өрнектейміз, X . $M_b = 78$, $M_t = 92$ – сәйкесінше бензол мен толуолдың молярлық массалары.

$$X = (x_{HK} / M_{HK}) / (x_{HK} / M_{HK} + (1 - x_{HK}) / M_{BK}) \quad (2.2)$$

$$X_F = (0,4/78) / (0,4/78 + (1 - 0,4)/92) = 0,0051 \text{ кмоль/кмоль қоспа}$$

$$X_P = (0,95/78) / (0,95/78 + (1 - 0,95)/92) = 0,012 \text{ кмоль/кмоль қоспа}$$

$$X_W = (0,03/78) / (0,03/78 + (1 - 0,03)/92) = 0,00038 \text{ кмоль/кмоль қоспа}$$

F, P, W (кг/с) массалық шығынды молярлық шығынға түрлендіру үшін

олардың әрқайсысын ағын затының сәйкес молярлық массасына бөлу жеткілікті, оны теңдеу арқылы есептеуге болады:

$$M_{cm.} = M_{BK} \cdot x_{BK} + M_{HK} \cdot (1 - x_{BK}) \quad (2.3)$$

мұндағы, x_{HK}, x_{BK} - компоненттің мольдік бөліктері, кмоль/кмоль;
 M_{HK}, M_{BK} - сәйкес компоненттердің молярлық массалары, кг/кмоль;
 $M_{cm.}$ - ағынның молярлық массасы, кг/кмоль.

$$M_{cmF} = 78 \cdot 0.0051 + 92(1 - 0.0051) = 91.928 \text{ кг/кмоль}$$

$$M_{cmP} = 78 \cdot 0.012 + 92(1 - 0.012) = 91.83 \text{ кг/кмоль}$$

$$M_{cmW} = 78 \cdot 0.00038 + 92(1 - 0.00038) = 91.99 \text{ кг/кмоль}$$

$$F_N = \frac{F}{M_{cmF}} \quad (2.4)$$

$$P_N = \frac{P}{M_{cmP}} \quad (2.5)$$

$$W_N = \frac{W}{M_{cmW}} \quad (2.6)$$

мұндағы, F, P, W – массалық шығындао, кг/с;
 F_N, P_N, W_N – мольдық шығындар, кмоль/с.

$$F_N = \frac{1,388}{91,928} = 0,015 \text{ кмоль / с}$$

$$P_N = \frac{0,558}{91,83} = 0,006 \text{ кмоль / с}$$

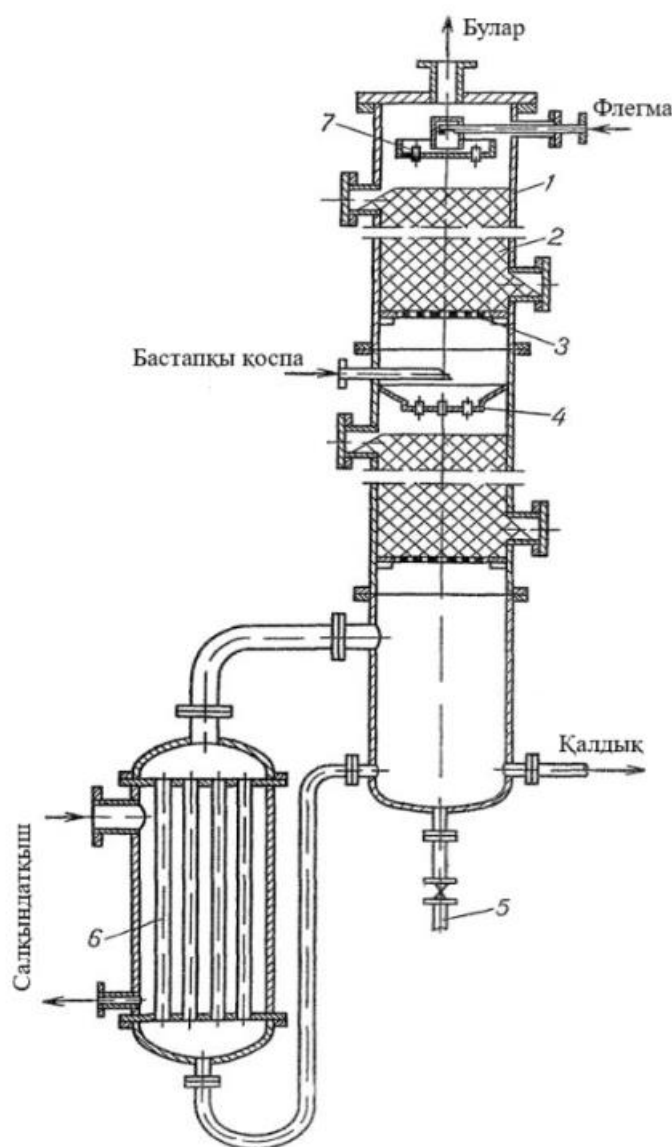
$$W_N = \frac{0,83}{91,99} = 0,009 \text{ кмоль / с}$$

2.4 Жұмыс флегма сандарын анықтау және фазалық диаграммасын салу

Түзету көпіршікті немесе оралған (2.1-сурет) типті колонна құрылғыларында жүргізіледі, оның жұмыс принципі колонкада көтерілетін бу мен ағып жатқан сұйықтық - флегма арасындағы тұрақты жылу және масса алмасу болып табылады. Қалпақ пластинасында флегма пен будың өзара әрекеттесу механизмі. Буландырғыш колонналарында пайда болған бу бірінші науаға түседі және қақпақтардың бу құбырлары арқылы өтеді. Қақпақшалар сұйық фазаның белгілі бір деңгейіне батырылады. Нәтижесінде бу фазасы қақпақтар мен көпіршіктердің саңылаулары арқылы сұйық фазадағы көпіршіктер түрінде өтеді, осылайша бу мен сұйық фазалар арасындағы беттік жанасуды және осы бетте өтетін жылу және масса алмасу процестерін қалыптастырады.

Будың температурасы сұйыққа қарағанда жоғары болғандықтан, сұйық фазамен салқындаған кезде бу салқындап, одан сұйық фазаға қосылатын қатты ұшқыш компонент ішінара конденсацияланады. Осылайша, ол ұшпайтын компонентпен байытылған, сонымен бірге жоғары ұшпа компоненттің мазмұнын қамтамасыз етеді [10].

Бу фазасының конденсация жылуы рефлюксті буландырады және оны ақ температураға дейін қыздырады, рефлюкс қайнайды және ұшпа компонент одан ішінара буланады. Нәтижесінде бу фазасы жоғары ұшқыш компонентпен, ал сұйық фаза жоғары ұшқыш компонентпен байытылады.



2.1 – сурет - Қайта қайнатқышы бар оралған ректификациялық колонна

Ұқсас жылу және масса алмасу процестері оралған колоннаның беткі элементтерінде орын алады.

Осылайша, бу фазасының ішінара конденсациялану және сұйық фазаның ішінара булану процестерінің нәтижесінде колоннаның бүкіл биіктігі бойынша жүреді, конденсатордың жоғарғы бөлігінде дерлік таза, өте ұшқыш компоненттің буы, ал текшеде - құрамы бойынша таза, өте ұшқыш компонентке жақын сұйықтық жиналады.

Ректификациялық бағандарды есептеу кезінде бөлінетін қоспа Троутон ережесіне сәйкес келеді деп есептеледі, оған сәйкес сұт жылуының бөлінуінің барлық сұйықтықтар үшін абсолютті температура тазалығына қатынасы шамамен константа болып табылады. Кез келген қиманың бағандары үшін фазаларды ескере отырып, молярлық ағынның жылдамдығы тұрақты болатынын ескеру қажет.

Ректификациялық бағанды есептеу кезінде қысым мен температура арасындағы тәуелділік өте маңызды. Себебі температура мен қысым арасындағы байланыс жүйенің фазалық күйіне, компоненттердің бөліну қабілетіне және бағандағы бөлу тиімділігіне тікелей әсер етеді.

Ректификациялық бағандардағы температура мен қысым тәуелділігі. Ректификация процесінде температура мен қысымның арасындағы тәуелділік өте маңызды. Бұл тәуелділік, негізінен, қайнау температурасының өзгеруін және булану мен конденсация процестерін сипаттайды.

Қайнау температурасының қысымға тәуелділігі. Ректификация процесі кезінде әр компонент белгілі бір қысымда буланады немесе конденсацияланады. Қысым жоғарылаған сайын сұйықтың қайнау температурасы да өседі, ал қысым төмендегенде — қайнау температурасы төмендейді. Бұл тәуелділік келесі формуламен сипатталады:

$$T = T_0 + \left(\frac{b}{P - a} \right)$$

Мұндағы, T - қайнау температурасы;

P – қысым;

T_0 - бастапқы температура;

a және b - компоненттің қайнау температурасын сипаттайтын тұрақтылар.

Бұл тәуелділік, негізінен, қайнау температурасының өзгеруін есептеу үшін қолданылады.

Көбінесе температура мен қысым арасындағы тәуелділікті сипаттау үшін Антуан теңдеуі қолданылады. Бұл теңдеу жеке компоненттер үшін қаныққан бу қысымын есептеуге мүмкіндік береді және олардың әрқайсысының қайнау температурасын дәл анықтауға көмектеседі. Антуан теңдеуі келесідей жазылады:

$$\log P = A - \frac{B}{N + D}$$

мұндағы, P - қаныққан бу қысымы;

T - температура (K);

A , B , D - компоненттің физикалық сипаттамаларын білдіретін тұрақтылар.

Бұл теңдеу әр компонент үшін жеке-жеке қолданылады және жүйеде әртүрлі фазалардың тепе-теңдігін анықтауға мүмкіндік береді.

Әрі қарай материалдық есептеулерді жүргізу үшін t - x - y диаграммасының тепе-теңдік сызықтарын салу қажет.

2.1-кесте- Өртүрлі температура мен қысымда 760 мм сын.бағ. төмен қайнайтын және жоғары қайнайтын компоненттердің құрамы

T, °C	P _{нк}	P _{вк}	П	x	y
80,2	760	300	760	1	1
84	852	333	760	0,823	0,922
88	957	380	760	0,659	0,83
92	1078	432	760	0,508	0,720
96	1204	493	760	0,376	0,596
100	1344	559	760	0,256	0,453
104	1495	626	760	0,155	0,304
108	1659	705	760	0,058	0,128
110,4	1748	760	760	0	0

Ректификация процесінде қысым мен температураның әсері (2.2 – сурет). Ректификациялық бағанның тиімділігін және өнімдердің бөлінуін басқару кезінде температура мен қысымның өзара байланысы маңызды роль атқарады.

1) Қысымның өзгеруі:

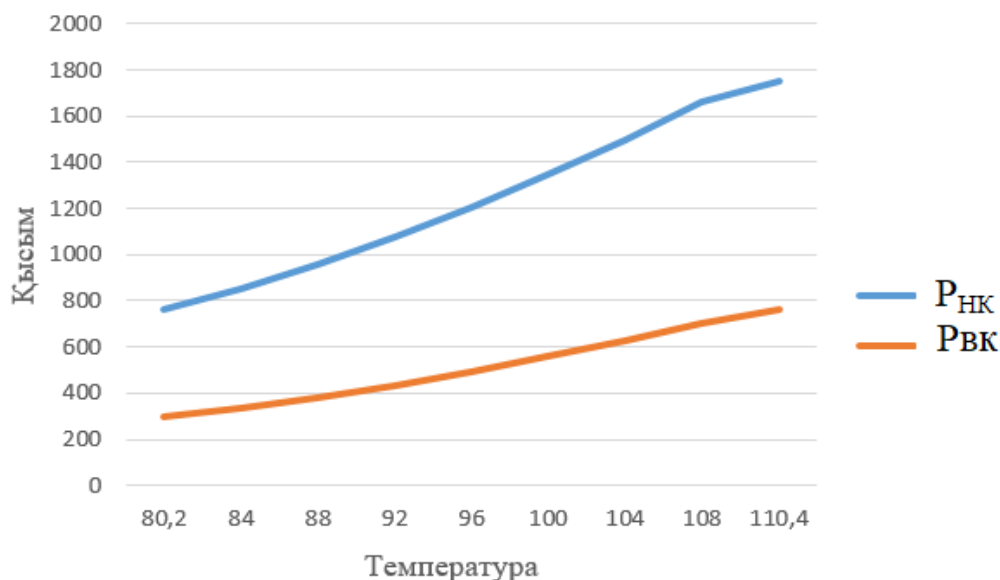
- Бағандағы қысымды өзгерту өнімдердің сапасына әсер етуі мүмкін. Мысалы, жоғары қысым кезінде жеңіл компоненттер жоғарғы қабаттарда конденсацияланып, ауыр компоненттер төменгі қабаттарда тұрады. Сондықтан қысымды төмендету арқылы жеңіл компоненттерді тиімді түрде бөлуге болады.

- Егер қысым төмендесе, онда қайнау температурасы да төмендейді, бұл булану процесін жылдамдатады және өнімнің бөлу тиімділігін арттыруы мүмкін.

2) Температураның өзгеруі:

- Ректификациялық бағандағы температураның өзгеруі компоненттердің фазалық ауысуына және бөліну коэффициентіне (α) әсер етеді. Температура жоғарлаған сайын жеңіл компоненттер жоғарғы қабаттарда көбірек жинақталады, ал төменгі қабаттарда ауыр компоненттер көбейеді.

- Температура мен қысымның комбинациясы жүйенің тепе-теңдік жағдайын анықтайды, ал бұл жағдай сұйық пен бу фазаларының құрамын тікелей өзгертуі мүмкін.



2.2 – сурет - Ректификация процесінде қысым мен температураның әсері

Ректификациялық бағанды жобалау кезінде қысым мен температураны есептеу. Ректификациялық бағанды жобалау кезінде, әдетте, келесі қадамдар орындалады:

1) Қоспаның бастапқы құрамын анықтау: Келіп түскен қоспаның құрамын анықтап, әр компоненттің қаныққан бу қысымын Антуан теңдеуімен есептеу.

2) Тепе-теңдік сызығын құру: Әр компонент үшін сұйық және бу фазаларының тепе-теңдік қатынастарын анықтап, бағанның жоғарғы және төменгі бөлігіндегі температура мен қысымды есептеу.

3) Бағанның кезеңдерін анықтау: Қажетті бөліну коэффициентіне жету үшін қажетті этаптар саны мен температураның өзгеруін анықтау.

4) Температура мен қысымды басқару: Ректификациялық бағанның әр қабатындағы температура мен қысымды бақылап, өнімдер арасындағы бөлінуді қамтамасыз ету.

Ректификациялық бағандағы қысым мен температураның өзгерісі компоненттердің бөліну тиімділігін анықтайды. Температура мен қысым арасындағы тәуелділікті дұрыс есептеу арқылы, қажетті өнімдердің сапасын және шығуын басқаруға болады. Тепе-теңдік қатынастары мен бөліну коэффициентін есептеу - бұл бағанның тиімді жұмыс істеуінің негізгі шарттары.

2.5 Периодтық ректификация процесі

Периодтық ректификация - бұл сұйық қоспаны компоненттеріне бөлу процесі, онда фракциялау колонкасындағы әр түрлі ағындар белгілі бір уақыт

аралығында тоқтап тұрады немесе белгілі бір кезеңдермен қайта іске қосылады. Мұндай процесс әртүрлі температуралық және қысымдық режимдерді қолдану арқылы орындалады, және ол жиі «жолақты ректификация» немесе «тұрақты жұмыс режиміндегі ректификация» деп те аталады [11].

Периодтық ректификация процесінің ерекшелігі - ол үздіксіз емес, белгілі бір кезеңдермен жүргізілетіндігінде. Яғни, колонканы белгілі бір уақыт ішінде іске қосып, содан кейін тоқтатып, қайта қосу керек болады.

Периодтық ректификацияның ерекшеліктері

1) Жүктемелердің өзгеруі: Периодтық ректификацияда жүйенің жүктемесі үнемі өзгеріп отырады. Мұндай жүйеде ағындар мен компоненттер уақыт өте келе әртүрлі фазалық күйде болады, яғни процестің белгілі бір кезеңдерінде компоненттердің бөліну тиімділігі әртүрлі болуы мүмкін.

2) Циклдік жұмыс: Периодтық ректификацияның басты ерекшелігі — жүйе белгілі бір уақыт интервалдарында жұмыс істейді (мысалы, колонканы жартылай толтыру, белгілі бір компоненттің концентрациясын реттеу, соңғы өнімнің тазалығын қамтамасыз ету үшін және т.б.), содан кейін жүйе "демалуға" немесе біршама уақытқа жұмыс істемейді.

3) Температура мен қысымның өзгеруі: Көбінесе, периодтық ректификация процестерінде колонканың температурасы мен қысымы уақыт ішінде өзгереді. Бұл температуралық және қысымдық өзгерістердің арақатынасы өнімдердің бөлінуін жақсартуға мүмкіндік береді.

4) Әртүрлі компоненттердің бөлінуі: Периодтық ректификация арқылы, әдетте, компоненттерді толық немесе аралық тазалықпен бөлуге болады. Мысалы, бір кезеңде жоғары тазалықтағы компонент алынса, келесі кезеңде төмен тазалықтағы компонент бөлінуі мүмкін.

Периодтық ректификация процесінің негізгі кезеңдері

1) Қоспаның колонкаға келіп түсуі: Алдымен, қоспа колонкаға түсіп, бірінші кезеңде буланып, одан кейін конденсацияланып, қайтадан сұйық күйге өтеді. Бұл процесс компоненттердің температурасын өзгерту арқылы жүзеге асырылады.

2) Булану және конденсация: Периодтық ректификацияда, әрбір булану мен конденсация циклдары нәтижесінде компоненттер бір-бірінен бөлініп, колонканың әр қабатында жоғары немесе төмен концентрацияда болады. Жоғарғы қабаттарда жеңіл компоненттер көп болады, ал төменгі қабаттарда ауыр компоненттер басым болады.

3) Өнімдердің жинақталуы: Әрбір цикл соңында өнімдер жинақталады. Мысалы, жоғарғы қабаттағы өнім — бұл жеңіл компоненттердің тазаланған фракциясы, ал төменгі қабаттағы өнім — ауыр компоненттер фракциясы болады.

4) Циклдардың қайта басталуы: Периодтық ректификацияда, колонка жұмыс істегеннен кейін белгілі бір уақытқа тоқтап, қайта іске қосылады. Әр цикл алдында колонканың жұмыс жағдайлары (температура, қысым) қайта орнатылады.

Периодтық ректификацияның артықшылықтары мен кемшіліктері

Артықшылықтары:

1) Үздіксіз емес жұмыс: Периодтық ректификация жүйесінің үзілісті жұмыс режимі кейбір жағдайларда энергияны үнемдеуге және ресурстарды тиімді пайдалануға мүмкіндік береді.

2) Тазалықтың жоғары деңгейі: Бұл процесс кезінде компоненттерді жоғары тазалықпен бөлу мүмкіндігі жоғары.

3) Қарапайым басқару: Процесс кезеңдермен басқарылуы керек болғандықтан, кейбір жағдайларда оны басқару және бақылау оңай болуы мүмкін.

Кемшіліктері:

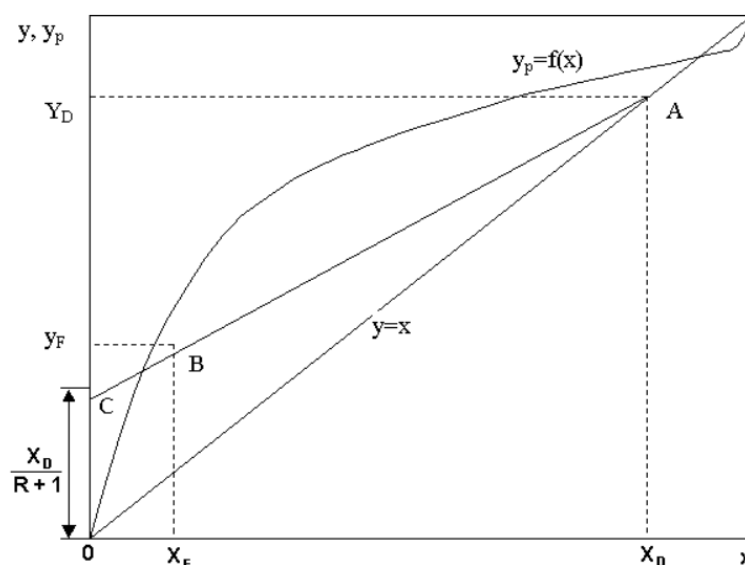
1) Процестің тиімділігі төмен болуы мүмкін: Әдетте, үздіксіз жұмыс істейтін ректификация процесімен салыстырғанда, периодтық процесс әлдеқайда төмен тиімділікке ие болады.

2) Циклдың өзгеруі: Периодтық процесс циклдары арасында өзгерістер болуы мүмкін, бұл әртүрлі компоненттердің бөлінуін қиындатуы мүмкін.

3) Уақыт пен ресурстардың жоғалуы: Периодтық жүйе үнемі іске қосылып, тоқтап тұрғанда, әрбір цикл арасында дайын өнімді алуға уақыт жұмсалады.

Периодтық ректификация - бұл үздіксіз емес, белгілі бір уақыт ішінде қолданылатын әдіс. Бұл процесс жеңіл компоненттерді жоғары тазалықпен бөлуден бастап, ауыр компоненттерді бір мезгілде бөлуді қамтамасыз етуге дейін кең қолданымда болуы мүмкін. Алайда оның тиімділігі мен экономикалық артықшылықтары үздіксіз ректификациямен салыстырғанда төмен болуы мүмкін, себебі процесс әртүрлі уақыт аралықтарында іске қосылып, тоқтап тұрады.

Тұрақты құрамдағы дистиллят алу процесін жүргізу кері ағынның жылдамдығын үздіксіз арттыру арқылы мүмкін болады. Түзету процесін есептеу әдетте графикалық-аналитикалық әдіс арқылы жүзеге асырылады, ол үшін тепе-теңдік қисығы мен процестің жұмыс сызығы диаграммада бейнеленеді (2.3-сурет).



2.3 – сурет - Периодтық ректификация процесі үшін $y(y_p) - x$ диаграммасы.

Материалдық баланс - бұл жүйеге келіп түскен, шыққан және ішкі ағындардың есептері бойынша материалдардың сақталуын көрсететін теңдеу. Ректификация процесінде материалдық баланс келесі түрде қарастырылады:

Жалпы балансқа сәйкес, келіп түскен масса (қоспа) мен шыққан масса тең болуы керек. Яғни, ішкі ағындардың қосындысы кіріс ағынның құрамына тең болады:

Материалдық ағындар бойынша мерзімді түзету процесінің материалдық балансын келесі түрде жазуға болады:

$$G = \Phi + D \quad (2.7)$$

мұндағы $G - t$ уақыт ішінде колонна текшесінде түзілген будың массасы немесе кіріс ағыны (қоспаның жалпы мөлшері), кмоль ;

Φ – жоғарғы шығу ағыны, кмоль;

D – төменгі шығу ағыны, кмоль.

Егер баланс теңдеуінің (2.7) барлық элементтерін өнімнің 1 кмоль-іне жатқызсақ, мына өрнекті аламыз:

$$\frac{G}{D} = \frac{\Phi}{D} + 1 \quad (2.8)$$

$$\frac{G}{D} = R + 1$$

мұндағы $R = \frac{\Phi}{D}$ - дайын өнімнің 1 кг молын алу үшін бағанға қанша кг моль рефлюкс беру керек екенін көрсететін рефлюкс нөмірі. Осы жерде

$$G = D \cdot (R + 1) \quad (2.9)$$

Компоненттер бойынша материалдық баланс. Әр компонент үшін баланс жазылады. Әдетте, ректификацияда бөлінетін екі негізгі компонент болады, мысалы, компонент А және компонент D. Әр компоненттің балансы келесі түрде жазылады:

Ректификация процесінің материалдық балансы (2.7) теңдеуіне ұқсас жазылған және келесі түрде көрсетілуі мүмкін:

$$G \cdot y = \Phi \cdot x + D \cdot x_D \quad (2.10)$$

мұндағы: y - кіріс ағынындағы компоненттің үлесі;

x - жоғарғы шығу ағынындағы компоненттің үлесі;

x_D - төменгі шығу ағынындағы компоненттің үлесі.

Қалдықты анықтау. Келіп түскен ағыннан бөлінген фракциялардан шығатын қалдықты анықтау үшін, әр ағынның құрамын есептеу керек. Бұл есептеулер арқылы әр компоненттің бөлінуін бағалауға болады [12-13].

Ректификацияның кейбір негізгі параметрлері

Тазалық коэффициенті (α): Компоненттердің қайталанған булану және конденсация процесінде бөліну тиімділігін көрсетеді. Бұл коэффициент әр компоненттің қатынасына негізделген.

Тапсырма (N): Процесс барысында өткізілетін дистилляциялық тармақтардың саны.

Тұрақты температура мен қысым: Ректификация процесі белгілі бір температура мен қысымда жүретіндіктен, әр ағынның фазалық күйі мен температурасы белгілі болуы керек.

(2.10) теңдеуінің оң және сол жақтарын D-ге бөліп $\frac{G}{D} = R + 1$, өрнекті аламыз:

$$y = \frac{R}{R+1} \cdot x + \frac{x_D}{R+1} \quad (2.11)$$

мұндағы x_D – концентрациясы (дистиллятта).

Жұмыс (нақты) концентрациясының тәуелділігін білдіретін өрнек (2.11) бу фазасындағы (y) сұйық фазадағы оның мазмұнынан (x), процестің жұмыс сызығының теңдеуі деп аталады. Ол АВ түзу кесіндісі арқылы бейнеленген

(2.3-сурет)

Сұйық фазамен тепе-теңдіктегі будың құрамын сипаттайтын тепе-теңдік сызығы эксперименттік мәліметтер негізінде $y_p - x$ координатасында салынған [14] және тепе-теңдік концентрациясының мәнін анықтауға мүмкіндік береді. Бу фазасында y_p оның сұйық фазадағы ағымдағы мәнінен x келесідей болады:

$$y_p = f(x) \quad (2.12)$$

Егер бөлінетін қоспа Рауль заңына бағынатын болса, онда тепе-теңдік концентрациясы бу фазасындағы (y_p) теңдеу арқылы есептеуге болады:

$$y_p = \frac{\alpha \cdot x}{1 + x \cdot (\alpha - 1)} \quad (2.13)$$

2.1 - кестені пайдалана отырып, бастапқы қоспамен, дистиллятпен және түбімен тепе-теңдік будың құрамын табамыз:

$$y_f = 62 \%;$$

$$y_d = 98 \%;$$

$$y_w = 6,8 \%.$$

Жұмыс (оңтайлы) флегмо саны R колоннасының бу және сұйық жүктемелерін анықтайды және колонна өнімділігімен бірге колонна аппаратының геометриялық өлшемдерін және процеске жылу шығынын анықтайды.

Жұмыс флегмо коэффициентін таңдау кезінде бастапқы нүкте оның ең төменгі мәні $R_{\min}$ болып табылады. Ол келесідей теңдеу бойынша анықталады (Иоффе теңдеуі):

$$R_{\min} = \frac{x_p - y_F^*}{y_F^* - x_F} \quad (2.14)$$

мұндағы x_p - өнімнің молялық бөлігі, кмоль/кмоль.

$$R_{\min} = \frac{x_d - y_f}{y_f - x_f} = \frac{95 - 62}{62 - 40} = 1,5$$

Флегма жұмыстық санының графикалық түрі - бұл ректификация процесіндегі флегма мөлшерінің жұмыс режимдерін немесе жұмыс

жағдайларын графикалық түрде көрсету. Бұл график негізінен, флегма (яғни, сұйық фазаның) әртүрлі жұмыс жағдайларындағы мөлшерін және оның жүйе процесіндегі ролін көрсетеді. Флегма жұмыстық саны графигі ректификациялық бағанның жұмыс тиімділігін, бөліну коэффициентін, температура мен қысымның тәуелділігін көрсетудің маңызды құралы болып табылады.

Флегма жұмыстық санын графикалық түрде көрсету үшін көбінесе McCabe-Thiele әдісі қолданылады. Бұл әдіс ректификацияның жұмысын график арқылы сипаттау үшін көп қолданылатын классикалық әдіс болып табылады. McCabe-Thiele диаграммасы флегма жұмыстық санын анықтауға арналған өте тиімді құрал.

McCabe-Thiele әдісінің көмегімен флегма жұмыстық санын (яғни, флегманың саны) және ректификациялық бағандағы компоненттердің бөлінуін есептеуге болады. Бұл әдіс екі фазалық жүйеде (сұйық және бу фазалары) жұмыс істейді, және ол мынадай элементтерді қамтиды:

1) Сұйықтықтың және будың тепе-теңдік сызығы:

- Бұл сызықтар ректификация процесіндегі фазалар арасындағы тепе-теңдікті көрсетеді. Әдетте, бұл графикте x (сұйық фазадағы компонент концентрациясы) мен y (бу фазасындағы компонент концентрациясы) көрсетіледі.

- Қоспаның құрамы және фазалық өзгеріс. Бұл графикте жүйенің бастапқы жағдайын (қоспаның бастапқы құрамы) және фазалық өзгеріс кезеңдеріндегі температура мен қысымды көрсететін сызықтар болады.

2) Флегма санының есептелуі:

- McCabe-Thiele әдісінде флегма жұмыстық саны ретінде қажетті флегма ағымының көлемі анықталады, оны графиктен есептеуге болады. Флегма саны — бұл жоғарғы және төменгі фазалар арасында компоненттердің бөліну тиімділігін қамтамасыз ететін сұйықтықтың көлемі.

McCabe-Thiele диаграммасында флегма жұмыстық санының графикалық түрі мынадай қадамдармен есептеледі:

- Тепе-теңдік сызығы. Бұл сызық компоненттің сұйық және бу фазалары арасындағы тепе-теңдікті көрсетеді. Бұл сызық $y=x$ теңдігі бойынша жүргізіледі, мұнда x - сұйық фазасындағы компоненттің үлесі, ал y — бу фазасындағы компоненттің үлесі.

1) Қоспаның бастапқы құрамы. Қоспаның бастапқы құрамы диаграммада белгілі бір нүктемен көрсетіледі. Бұл нүкте қоспаның бастапқы бу және сұйық фазасындағы компоненттердің үлесін көрсетеді.

- Сызықтар және флегманың мөлшері. Сызықтар (жоғарғы және төменгі флегма) белгілі бір флегма санына сәйкес келеді. Бұл флегма сызықтары екі фазалық аралықта (сұйық және бу фазалары) орын ауыстыруды білдіреді.

2) Флегманың жұмыс саны:

- Флегма саны графикте бағанның әр кезеңін көрсетеді, яғни флегманың қажетті мөлшерін немесе көлемін есептейді. Әдетте, флегма саны осы жұмыс

кезеңдеріндегі температура мен концентрацияның тәуелділігіне байланысты.

Флегма жұмыстық саны графигін салу:

1) Диаграммада флегма сызықтарын салу: Флегма сызықтары мен тепе-теңдік сызықтары арасындағы арақатынасты көрсетіңіз.

2) Флегма жұмыстық санын анықтау: Флегма сызықтарын қосу арқылы флегма жұмыстық санының мәнін графикалық түрде есептеуге болады. Мұндағы әрбір флегма сызығы — бұл бағандағы әртүрлі жұмыс шарттарының көрсеткіші болып табылады.

McCabe-Thiele әдісін қолданудың мысалы

Мысал ретінде, егер бізде белгілі бір қоспа болса (мысалы, спирт пен судың қоспасы), оның бастапқы құрамын графикте көрсетіп, жоғарғы және төменгі флегма сызықтарымен қосу арқылы қажетті флегма жұмыс санын анықтай аламыз. Бұл графикте флегманың саны мен бағанның тиімді жұмыс кезеңдері көрінеді (2.4 және 2.5 – суреттер).

Флегма жұмыстық санының графикалық түрі - бұл ректификация процесінің тиімділігін басқаруға көмектесетін маңызды құрал. McCabe-Thiele әдісі флегма мөлшерін графикалық түрде есептеуге және әртүрлі жұмыс жағдайларында компоненттердің бөлінуін басқаруға мүмкіндік береді.

Флегманың артық коэффициенті (экстра коэффициенті) - бұл ректификация процесінде флегманың нақты мөлшерін (яғни, сұйықтықтың жұмысшы ағыны) есептегенде қолданылатын маңызды көрсеткіш. Бұл коэффициент флегманың тиімділігін және оның сұйық фазадағы компоненттерді бөлудің тиімділігін көрсетеді. Қысқаша айтқанда, флегманың артық коэффициенті ректификациядағы флегманың жұмыс санына қосымша сұйықтықтың қосылған көлемін сипаттайды.

Флегманың артық коэффициенті (β) келесі формуламен есептеледі:

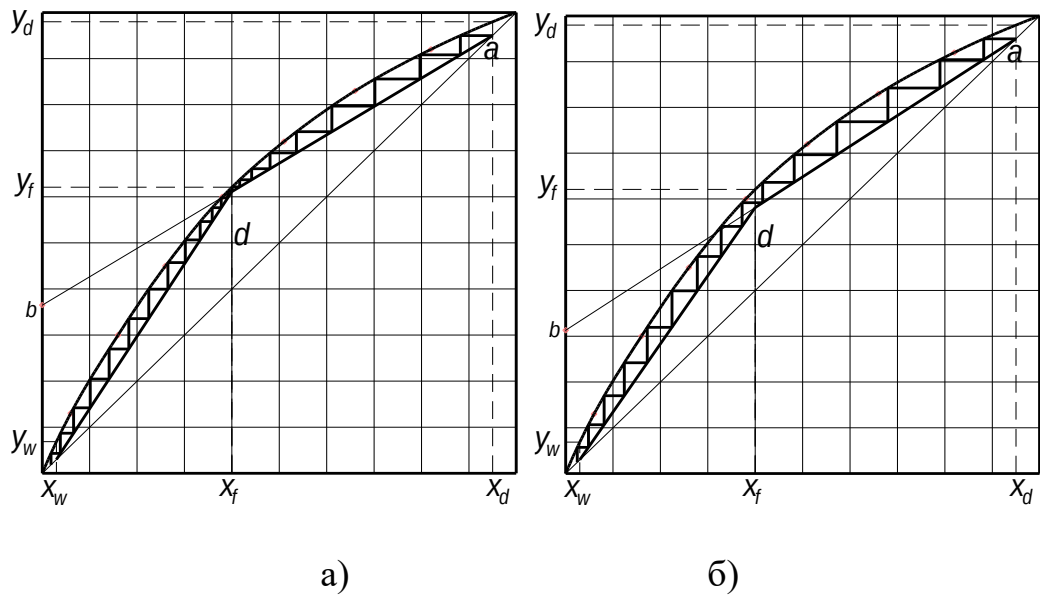
$$\beta = \frac{F}{D} - 1$$

мұндағы, F - флегманың ағыны (яғни, сұйық фазаның жұмысшы ағыны),

D - жоғарғы шығу ағыны (яғни, колонканың жоғарғы бөлігінен алынған өнім, конденсат).

Бұл коэффициент флегманың жұмыстық санын бағалауға көмектеседі. Әдетте флегманың артық коэффициенті тиімді жұмыс үшін оңтайлы жағдайды көрсетуі керек, яғни оның мәні көбінесе 1 мен 3.5 аралығында болады.

Флегманың артық коэффициенті $\beta = 1,07$ және $\beta = 1,36$ болғандағы жұмыстық санын анықтаймыз (2.4 – сурет).



2.4 – сурет - Флегма жұмыстық санын графикалық түрі: а) $N_m = 22$; б) $N_m = 15$

Тепе-теңдік қисығын пайдаланып, теориялық тақталардың санын табамыз (2.4, а-сурет):

$$N_m = 22.$$

$$N_m \cdot (R + 1) = 22 \cdot (1,605 + 1) = 57,3.$$

$$R = R_{\min} \cdot \beta = 1,5 \cdot 1,36 = 2,04.$$

б нүктесі бойынша:

$$B = \frac{x_d}{R + 1} = \frac{95}{2,04 + 1} = 31,3.$$

Тепе-теңдік қисығын тұрғызу (2.4, б-сурет):

$$N_m = 15.$$

$$N_m \cdot (R + 1) = 15 \cdot (2,04 + 1) = 45,6.$$

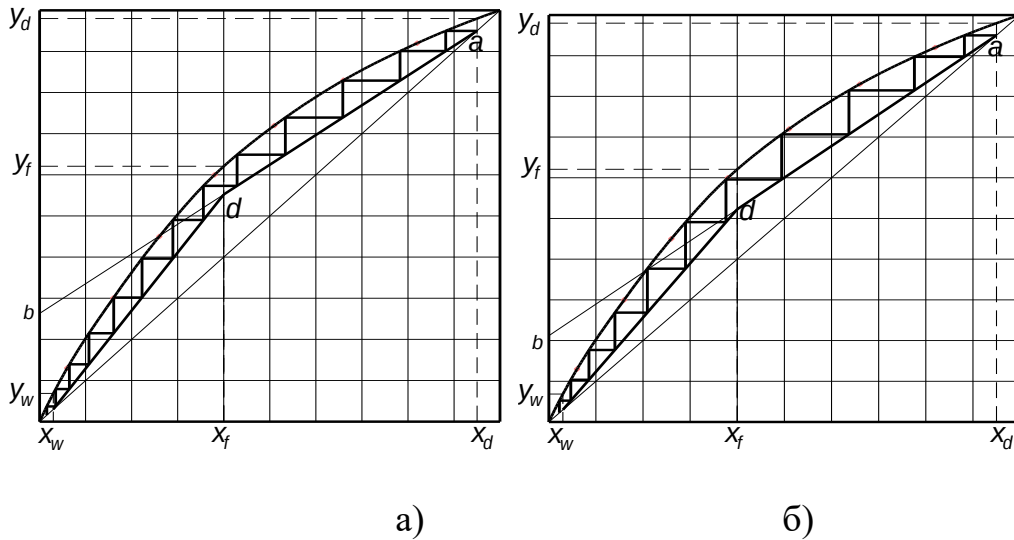
$$\beta = 1,74.$$

$$R = R_{\min} \cdot \beta = 1,5 \cdot 1,74 = 2,61.$$

б нүктесі бойынша:

$$B = \frac{x_d}{R+1} = \frac{95}{2,61+1} = 26,3.$$

Флегманың артық коэффициенті $\beta = 2,33$ және $\beta = 3,3$ болғандағы жұмыстық санын анықтаймыз (2.5 – сурет).



2.5 – сурет - Флегма жұмыстық санын графикалық түрі: а) $N_m = 13$; б) $N_m = 11$

Тепе-теңдік қисығын тұрғызу (2.5, а-сурет):

$$N_m = 13.$$

$$N_m \cdot (R+1) = 13 \cdot (2,61+1) = 46,9.$$

$$R = R_{\min} \cdot \beta = 1,5 \cdot 2,33 = 3,495.$$

б нүктесі бойынша:

$$B = \frac{x_d}{R+1} = \frac{95}{3,495+1} = 21,1.$$

Тепе-теңдік қисығын тұрғызу (2.5, б-сурет):

$$N_m = 11.$$

$$N_m \cdot (R+1) = 11 \cdot (3,495+1) = 49,4.$$

$$R = R_{\min} \cdot \beta = 1,5 \cdot 3,3 = 4,95.$$

Осы нәтижелер бойынша флегма жұмыстық саны (жұмыстық флегма) - бұл заттың немесе материалдың қандай да бір термодинамикалық немесе механикалық жүйеде қызмет көрсету қабілетін сипаттайтын көрсеткіш. Бұл, әдетте, жұмыс істейтін процестерді немесе жүйелерді сипаттауда қолданылатын физикалық немесе математикалық параметрлерге негізделген ұғым болып табылады.

Флегма жұмыстық санын анықтау үшін төмендегі факторлар маңызды:

1) Жұмыс күйінің анықтамасы: Жұмыс істейтін материалдың күйі мен жағдайын анықтаңыз. Бұл заттың температурасы, қысымы, көлемі сияқты параметрлерді қамтуы мүмкін.

2) Энергетикалық көрсеткіштер: Материалдың немесе жүйенің жұмысын бағалауда энергия мен жұмыс байланысын білу қажет. Мысалы, термодинамикалық процестерде энтальпияның, энтропияның өзгеруі немесе басқа энергетикалық параметрлерді пайдалану мүмкін.

3) Механикалық жүйелер: Механикалық жүйелерде флегманың жұмыс қабілетін есептеу үшін қозғалыс, күш және энергия өзгерістері қарастырылады. Мысалы, қозғалтқыштағы немесе турбинадағы жұмыс қабілеттілігі осындай параметрлермен анықталады.

Флегманың артық коэффициентінің мәнінің маңызы:

- Артық коэффициент жоғары болғанда. Флегманың артық коэффициенті жоғары болғанда, ректификация процесі тиімдірек болады, себебі колонкада көбірек флегма болады, және бұл компоненттердің бөлінуіне әсер етеді. Бірақ өте жоғары коэффициент энергия шығындарын көбейтеді, себебі бағанның жұмысы ұзақ уақытқа созылады.

- Артық коэффициент төмен болғанда. Егер флегманың артық коэффициенті төмен болса, онда сұйықтықтың ағыны аз болады, бұл компоненттердің бөлінуінің тиімділігін төмендетуі мүмкін. Мұндай жағдайларда бағанның бөліну қабілеті жеткіліксіз болуы мүмкін.

Флегманың артық коэффициентінің мәнін басқару. Флегманың артық коэффициентін басқару ректификация процесінің тиімділігін арттыруға көмектеседі. Мұны мынадай тәсілдермен жасауға болады:

- Қысым мен температураны өзгерту: Ректификация процессінің температурасы мен қысымы флегманың тиімділігін өзгерте алады. Жоғары температура флегманың көлемін арттырып, бөліну тиімділігін жоғарылатуы мүмкін.

- Бағанның конструкциясы мен жұмыс режимі: Бағанның биіктігі мен оның бөліктерінің саны флегманың жұмыс санын көбейтуге немесе азайтуға әсер етеді.

Флегманың артық коэффициенті - бұл ректификация процесіндегі флегманың жұмыстық ағынындағы қосымша көлемнің көрсеткіші. Оның мәні процесс тиімділігін, энергия шығындарын және компоненттерді бөлудің сапасын анықтайды. Артық коэффициенттің оңтайлы мәнін таңдау, ректификацияның тиімділігін арттыру үшін маңызды фактор болып табылады.

2.6 Бензол – толуол қоспасын бөлу кезіндегі бу көлемінің шығынын анықтау

Бензол- толуол қоспасын бөлу кезіндегі бу көлемінің шығынын есептеу үшін бізге белгілі бір параметрлер мен қадамдар қажет. Бұл есептеулер көбінесе ректификация процесінде сұйық және бу фазалары арасындағы массалық және энергия баланстарын пайдалана отырып жасалады [13].

Бензол – толуол қоспасының ректификациясы. Бензол мен толуолды бөлу үшін ректификациялық колонка қолданылады, себебі олардың қайнау температуралары бір-біріне жақын. Бұл қоспаны бөлу кезінде әр компоненттің қайнау температурасы мен фазалық тепе-теңдігін ескере отырып, сұйық және бу фазаларының ағындарын есептеу қажет.

Бу көлемінің шығынын есептеу. Бу фазасындағы компоненттердің концентрацияларын және ағындарды ескере отырып, бу көлемінің шығынын анықтауға болады. Бу көлемінің шығынын есептеу үшін келесі қадамдарды орындау қажет:

Флегма және бу фазаларының көлемі. Ректификация процесінде флегманың көлемін анықтау үшін McCabe-Thiele әдісін немесе басқа термодинамикалық есептерді қолдануға болады. Флегма мен бу фазалары арасындағы қатынас көбінесе флегманың жұмыстық санына және бағанның тиімділігіне байланысты.

Бу фазасындағы көлемді есептеу үшін, әдетте, келесі тендеулер пайдаланылады:

$$V = L \cdot (y - x)$$

мұндағы, V - бу фазасындағы көлем (моль немесе кубтық метр);

L - сұйық фазасындағы көлем;

y - бу фазасындағы бензолдың немесе толуолдың концентрациясы;

x - сұйық фазасындағы бензолдың немесе толуолдың концентрациясы.

Ректификация бағанында жалпы бу көлемін есептеу үшін барлық фазалар арасындағы баланс жүргізіледі. Әдетте, бұл келесі формула бойынша есептеледі:

$$V = \sum V_i$$

немесе

$$V = \frac{P \cdot (R + 1) \cdot M_{cp.}}{g_{n.cp.}} \quad (2.15)$$

мұндағы, V - барлық компоненттер бойынша бу фазасындағы жалпы көлем.

P – мольдік ағыны, кмоль/с;

R –оптимальды флегмо саны;

M_{cp} – будың орташа молярлық массасы, кг/кмоль;

$\rho_{n.cp}$ – будың тығыздығы, кг/м².

Будың орташа молярлық массасы келесі формула бойынша анықталады:

$$M_{см.} = M_{BK} \cdot y_{cp.} + M_{HK} \cdot (1 - y_{cp.}) \quad (2.16)$$

мұндағы, M_{HK} , M_{BK} - компоненттердің молярлық массалары, кг/кмоль;

y_{cp} – будың орташа молярлық құрамы, кмоль/кмоль.

Будың орташа тығыздығы келесі формула бойынша анықталады:

$$g_{n.cp.} = \frac{M_{cp.} \cdot T_0}{22,4 \cdot T_{cp.}} \cdot \frac{P}{P_0} \quad (2.17)$$

мұндағы $T_0=273K$;

$P_0=760$ мм.сын.бағ.

T_{cp} - колоннаның жоғарғы бөлігінің ортаңғы бөлігіндегі қоспаның орташа қайнау температурасы °C (t-x-y диаграммасынан y_{cp} мәні бойынша анықталады).

Колоннадағы будың көлемдік шығыны колоннаның үстіңгі және астыңғы бөліктері үшін бөлек анықталады.

Бағананың жоғарғы бөлігінің ортаңғы бөлігі. Будың орташа молярлық құрамы формула бойынша анықталады:

$$y_{cp.} = \frac{y_p + y_f}{2} \quad (2.18)$$

мұндағы, y_p және y_f - компоненттердің мольдік үлестері (x-y диаграммасынан анықталады).

$$y_{cp.} = \frac{0,97 + 0,62}{2} = 0,795 \text{ кмоль / кмоль}$$

$$M_{cp.} = 92,13 \cdot 0,795 + 78,11 \cdot (1 - 0,795) = 89,24 \text{ кг/кмоль}$$

$$g_{n.cp.} = 89,24 \cdot 273 / 22,4(273 + 92,2) = 2,97 \text{ кг/м}^3$$

$$V = (0,006 \cdot (2,43 + 1) \cdot 89,24) / 2,97 = 0,62 \text{ м}^3/\text{сек}$$

Бағананың төменгі бөлігінің ортаңғы бөлігі. Будың орташа молярлық құрамы мына формуламен анықталады [3]:

$$y_{cp.} = \frac{y_f + y_w}{2} \quad (2.19)$$

мұндағы y_w және y_f – компоненттердің мольдік үлестері (х-у диаграммасынан анықталады).

$$y_{cp.} = \frac{0,62 + 0,06}{2} = 0,34 \text{ кмоль / кмоль}$$

$$M_{cp.} = 92,13 \cdot 0,34 + 78,11 \cdot (1 - 0,34) = 82,87 \text{ кг/кмоль}$$

$$g_{n.cp.} = 89,24 \cdot 273 / 22,4(273 + 105,95) = 2,66 \text{ кг/м}^3$$

$$V = (0,006 \cdot (2,43 + 1) \cdot 82,87) / 2,66 = 0,64 \text{ м}^3/\text{сек}$$

Ректификациялық қондырғыны жобалау кезінде будың жылдамдығын анықтау үшін бірнеше факторды ескеру қажет. Бұның ішінде бу мен оның фазасының физикалық қасиеттері, қондырғының жұмыс параметрлері, колоннадағы температура мен қысым, бу фазасының ағысы және сұйықтың ағысы сияқты факторлар маңызды.

Ректификация кезінде, әдетте, бу мен сұйықтық арасындағы массалық және жылу алмасу процестері маңызды. Бу мен сұйықтықтың ағысы арасындағы тепе-теңдікті және олардың жылдамдығын анықтау үшін келесі формулаларды қолдануға болады:

Массалық баланс. Бу мен сұйықтықтың ағысы арасындағы массалық баланс негізінде жылдамдықты анықтау үшін, жалпы массалық ағынды, бу фазасының температурасын, қысымын және басқа да физикалық параметрлерін білу қажет.

Бу жылдамдығын есептеу үшін формула:

$$m_{бу} = \frac{Q}{h_{бул}}$$

мұндағы, $m_{\text{бу}}$ - будың массалық ағыны, (кг/сағ);

Q - қондырғыға келетін жылу мөлшері, (кВт);

$h_{\text{бул}}$ - будың салқындатылған немесе қайнаған энтальпиясы, (кДж/кг).

Бу ағысының жылдамдығын анықтау: Егер будың тығыздығы мен көлемдік ағынды білсеңіз, онда келесі формула қолданылады:

$$V_{\text{бу}} = \frac{\dot{V}_{\text{бу}}}{\rho_{\text{бул}}}$$

мұндағы, $V_{\text{бу}}$ - будың жылдамдығы, (м/с);

$\dot{V}_{\text{бу}}$ - будың көлемдік ағыны, (м³/сағ);

$\rho_{\text{бу}}$ - будың тығыздығы, (кг/м³).

Қалпақшалар үшін рұқсат етілген максималды жылдамдық келесі теңдеу арқылы есептеледі:

$$\bar{w} = \frac{0.0155}{d_k^{\frac{2}{3}}} \cdot \sqrt{\frac{\rho_x}{\rho_y} \cdot h_k} \quad (2.20)$$

мұндағы, d_k - қалпақшаның диаметрі, м;

h_k - қалпақшаның үстіңгі жиегінен жоғарыдағы бағанға дейінгі қашықтық, м;

ρ_x, ρ_y – тиісінше сұйық және бу фазаларының тығыздықтары, кг/м³.

Құрылғының жоғарғы бөлігі:

$$\frac{1}{\rho_{\text{ж.}}} = \frac{\bar{x}_{\text{ср.НК}}}{\rho_{\text{НК}}} + \frac{1 - \bar{x}_{\text{ср.НК}}}{\rho_{\text{БК}}} \quad (2.21)$$

мұндағы, $\bar{x}_{\text{ср.НК}}$ – колоннаның жоғарғы бөлігі үшін орташа сұйықтық құрамы, кмоль/кмоль.

$$\bar{x}_{\text{ср.БК}} = \frac{\bar{x}_f + \bar{x}_p}{2} \quad (2.22)$$

$$\bar{x}_{cp.BK} = \frac{0,051 + 0,012}{2} = 0,0315 \text{ кг / кг}$$

$$\rho_{бенз}^{92,2} = 812 \text{ кг / м}^3$$

$$\rho_{тол}^{92,2} = 803 \text{ кг / м}^3$$

$$\frac{1}{\rho_{ж.}} = \frac{0,0315}{812} + \frac{1 - 0,0315}{803} = 0,001244$$

$$\rho_{ж.} = 803,85 \text{ кг / м}^3$$

$$\varpi_{\epsilon} = \frac{0,0155}{60^{2/3}} \sqrt{\frac{803,85}{2,97} \cdot 0,0024} = 0,81 \text{ м/с.}$$

Құрылғының төменгі бөлігі:

$$\bar{x}_{cp.BK} = \frac{\bar{x}_f + \bar{x}_w}{2} \quad (2.23)$$

$$\bar{x}_{cp.BK} = \frac{0,0051 + 0,00038}{2} = 0,00274 \text{ кг / кг}$$

$$\rho_{бенз}^{105,95} = 787 \text{ кг / м}^3$$

$$\rho_{тол}^{105,95} = 782,5 \text{ кг / м}^3$$

$$\frac{1}{\rho_{ж.}} = \frac{0,00274}{787} + \frac{1 - 0,00274}{782,5} = 0,0012779$$

$$\rho_{ж.} = 782,5 \text{ кг / м}^3$$

$$\varpi_{н} = \frac{0,0155}{60^{2/3}} \sqrt{\frac{782,5}{2,66} \cdot 0,244} = 0,84 \text{ м/с.}$$

Жоғарғы және төменгі бағананың диаметрін анықтайыз:

Жоғарғы:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,62}{3,14 \cdot 0,81}} = 0,98 м = 980 мм$$

Төменгі:

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,64}{3,14 \cdot 0,84}} = 0,984 м = 984 мм$$

$D=1000$ мм деп қабылдаймыз.

Бағананың стандартты диаметрін жоғарғы және төменгі бөліктер үшін бірдей және $D = 1$ м тең етіп алайыз.

Ректификациялық қондырғыны жобалау кезінде жоғары және төменгі бөліктердің стандартты диаметрі әртүрлі факторларға байланысты өзгеріп отырады, әсіресе:

Қондырғының түрі мен қабілеті: Ректификациялық колоннаның қабілеті (өңделетін өнімнің көлемі) мен жұмыс жағдайлары (қысым, температура) диаметрді анықтайтын негізгі факторлар болып табылады.

Жоғарғы және төменгі бөліктердің функциялары:

-Жоғарғы бөлік: Әдетте бұл орын сұйықтың жеңіл фракцияларын жинауға арналған. Оның диаметрі колоннаның бүкіл ұзындығы бойынша біркелкі болуы мүмкін, бірақ жоғарғы бөлік әдетте салыстырмалы түрде тар болады.

-Төменгі бөлік: Бұл жерде сұйықтықтың ауыр фракциялары жиналып, фракциялау процесі жүреді. Төменгі бөліктің диаметрі үлкен болуы мүмкін, себебі мұнда сұйықтықтың көп мөлшері жиналады.

Стандартты диаметрлер:

- Жоғарғы бөліктің диаметрі: Әдетте, жоғарғы бөліктердің диаметрі орташа диаметрден 10-20% аз болады. Бұл қабаттың ағымын тиімді басқаруға мүмкіндік береді.

- Төменгі бөліктің диаметрі: Төменгі бөлік әдетте үлкен диаметрге ие, себебі төменгі бөлікке сұйықтықтың көп мөлшері келіп түседі, және оны тиімді өңдеу үшін кеңірек диаметр қажет.

3 Жылулық және гидравликалық есептіктер жүргізу

3.1 Колонна (баған) құрылғының құрылымдары

Бағандық типтегі құрылғылар жұмыс қысымына, технологиялық мақсатқа және контакті құрылғыларының түріне байланысты жіктелуі мүмкін. Қолданылатын қысымға байланысты колонна құрылғылары атмосфералық, вакуумдық және қысымды колонналарға бөлінеді.

Технологиялық мақсаты бойынша колонна құрылғылары атмосфералық және атмосфералық-вакуумдық мұнайды айыру қондырғыларының колонналарына бөлінеді.

Қазіргі уақытта өнеркәсіптік тәжірибеде пластиналардың көптеген әртүрлі конструкциялары белгілі, оларды сұйықты пластинадан пластинаға ауыстыру әдісі бойынша, сұйық және бу (газ) фазаларының өзара әрекеттесу әдісі бойынша, өзара әрекеттесетін фазалардың дисперсиясының сипаты бойынша, сұйыққа буды (газ) енгізу құрылғысының конструкциясы бойынша және т.б.

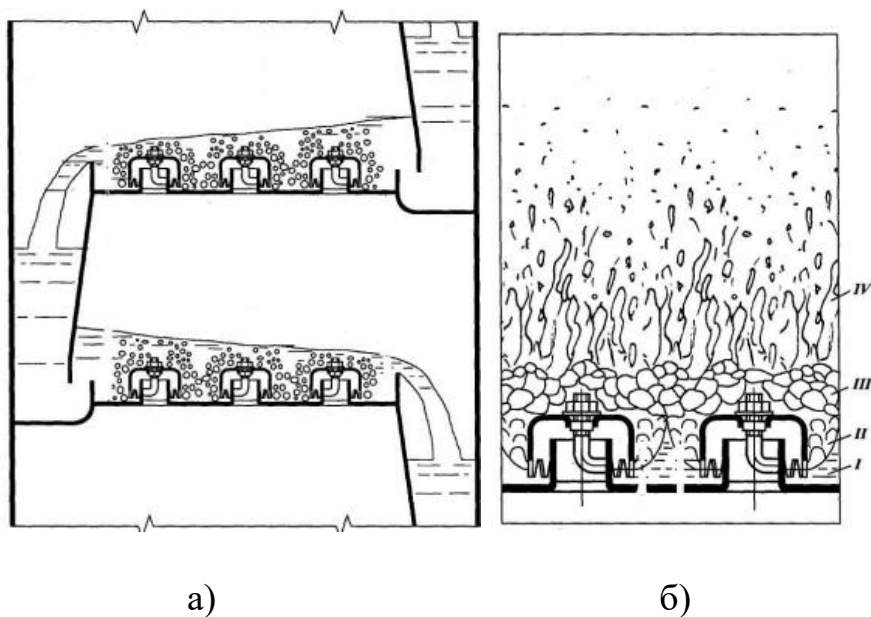
Сұйықтықты беру әдісіне сүйене отырып, арнайы тасымалдау құрылғылары бар науалар мен істен шыққан науалар арасында айырмашылық жүргізіледі.

Өзара әрекеттесетін фазалардың дисперсиясының сипатына қарай көпіршікті және ағынды типтегі науалар бөлінеді.

Сұйықтыққа буды енгізуге арналған құрылғылардың конструкциясына байланысты елеуіш (тесік), қақпақ, клапан, қамыс (қабыршық) және басқа да пластиналар түрлері болады. Пластиналардың кейбір түрлерін қарастырайық [2].

Дөңгелек қақпақтары бар қалпақша және көпіршік пластинасы химиялық аппараттарда, әсіресе ректификациялық колонналарда және реакторларда жиі кездесетін элементтер болып табылады. Олар аппараттың жұмысын жақсартуға, процестерді оңтайландыруға және қауіпсіздікті қамтамасыз етуге көмектеседі.

3.1-суретте көрсетілген дөңгелек қақпақтары бар қалпақшаның мысалын пайдаланып, көпіршік пластинаның жұмыс ерекшеліктерін қарастырайық.



а – пластинаның жалпы көрінісі; б – жанасу аймағындағы газдың көпіршігінің схемасы. I – көпіршіктенбейтін сұйықтық аймағы; II – деформацияланбайтын ағындар аймағы; III – деформацияланатын ағындар аймағы – көбік; IV – сұйықтықтың тоқтатылған тамшылары бар бу кеңістігі аймағы.

3.1 – сурет - Дөңгелек қақпағы бар көпіршікті пластинаның жұмыс схемасы.

1) Дөңгелек қақпақтары бар қалпақша. Қалпақша (немесе қалпақ) - бұл цилиндрлік аппараттың немесе резервуардың үстіңгі немесе астыңғы бөлігін жабатын элемент. Дөңгелек қақпақтар қалпақшаның құрамында әдетте аппараттың ішкі қысымын сақтауға және газ немесе сұйықтықтың ағып кетуін болдырмауға арналған

Жұмыс ерекшеліктері:

- Қысымға төзімділік: Дөңгелек қақпақтар аппарат ішіндегі қысымға тиімді қарсы тұрады, ол оның бүтіндігі мен жұмыс қабілетін сақтауға мүмкіндік береді.
- Құрылымдық беріктік: Қақпақтар мен қалпақшалар материалдардың беріктігіне байланысты жоғары температураға және механикалық жүктемелерге төтеп бере алады.
- Қауіпсіздік: Қалпақша ішкі қысымның артуы кезінде бөлінуі мүмкін арнайы құрылымдармен жабдықталуы мүмкін, бұл аппараттың қауіпсіз жұмысын қамтамасыз етеді.
- Өндеуге жеңілдік: Қақпақтар көбінесе орнату және жөндеу жұмыстарында қолайлы болып табылады, себебі олар алынуы мүмкін және техникалық қызмет көрсету оңай.

2) Көпіршік пластинасының жұмыс ерекшеліктері. Көпіршік пластинасы - бұл колонналарда сұйықтық пен бу фазаларының жанасуын қамтамасыз ету

үшін қолданылатын құрылымдық элемент. Көпіршік пластиналар сұйықтықтың бетінде көпіршіктер жасау үшін қолданылады, бұл бу мен сұйықтықтың арасындағы жылу және масса алмасуды жақсартады.

Жұмыс ерекшеліктері:

- Тиімді газ-сұйықтық байланысы: Көпіршік пластинасы сұйықтықтың үстіне газдың көпіршіктерін шығара отырып, газ бен сұйықтықтың арасындағы контрагентті айырбастау аймағын ұлғайтады. Бұл процестің тиімділігін арттырады.

- Көпіршіктердің қалыптасуы: Көпіршік пластинасы газды сұйықтыққа енгізіп, оның бетіндегі көпіршіктерді тиімді таратады. Бұл жағдай сұйықтықтың парциалды қысымын және температурасын реттеуге мүмкіндік береді.

- Төмен басымдықтағы қысымдар үшін тиімділік: Көпіршік пластиналары әдетте төменгі қысым жағдайларында жақсы жұмыс істейді, себебі олар газдың сұйықтыққа таралуын тиімді қамтамасыз етеді.

- Механикалық беріктік: Көпіршік пластиналары көбінесе коррозияға, механикалық жүктемелерге және басқа да сыртқы әсерлерге төзімді материалдардан жасалады, сондықтан олар ұзақ уақыт бойы тұрақты жұмыс істей алады.

- Жоғары өнімділік: Көпіршік пластиналар колонналардағы масса алмасу процесін жақсартатын маңызды элемент болып табылады, әсіресе ректификация, абсорбция немесе дистилляция процестерінде.

Қолданылуы:

- Ректификациялық колонналар: Ректификация процесінде көпіршік пластиналары бу мен сұйықтық арасындағы массаның тасымалдануын қамтамасыз етеді. Бұл процестің тиімділігін арттырып, колоннаның өнімділігін жоғарылатады.

- Химиялық реакторлар: Қалпақшалар мен көпіршік пластиналары реакторларда температура мен қысымның тұрақты болуын сақтауға, сондай-ақ химиялық реакциялар нәтижесінде түзілетін газдарды немесе сұйықтықтарды тиімді өңдеуге мүмкіндік береді.

Дөңгелек қақпақтары бар қалпақшалар мен көпіршік пластиналары химиялық аппараттардың жұмысын тиімді әрі қауіпсіз ету үшін маңызды рөл атқарады. Қалпақшалар құрылымның беріктігін сақтап, ішкі қысымның көтерілуін алдын алады, ал көпіршік пластиналары газ-сұйықтық байланысын жақсартып, масса алмасуды тиімді түрде жүзеге асырады.

Колоннаның көлденең қимасы бойынша ағындарды біркелкі бөлу есебінен істен шығу науаларының өнімділігі мен тиімділігін арттыру үшін електен жасалған толқынды науалар және ойықтардың жиектері иілген торлы науалар қолданылады. Құбырлы-торлы пластина қызығушылық тудырады, оның торы параллель қатарларда орналасқан құбырлардан жиналған.

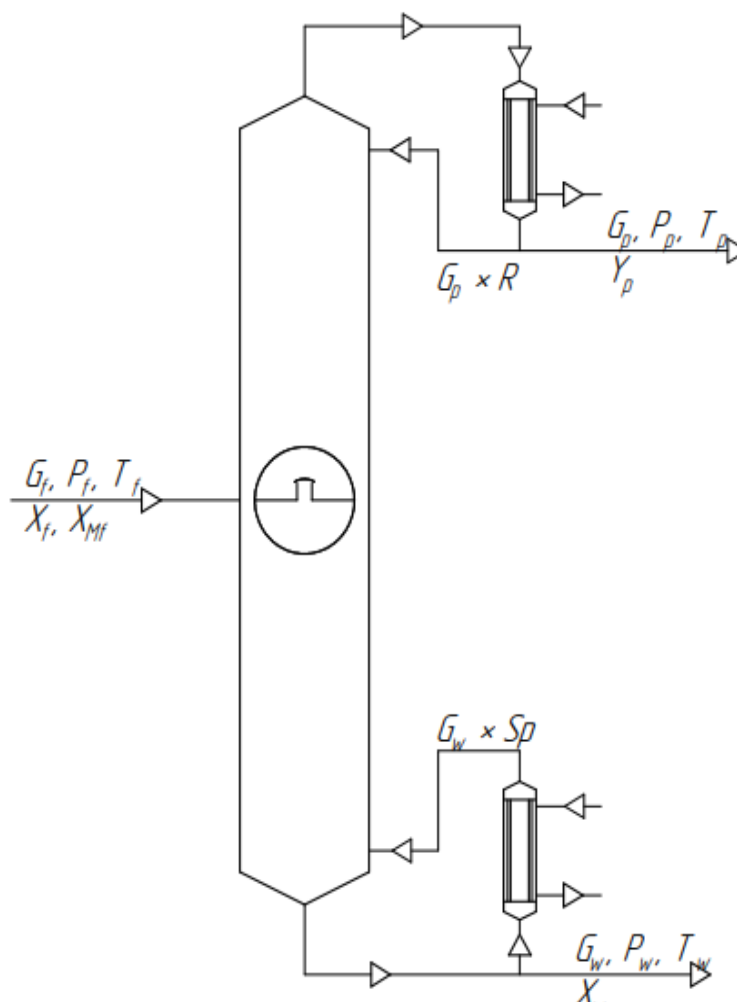
Құбырлар арасындағы аралықта ені саңылаудың өлшеміне тең болатын гофрленген болат жолақ бар. Таспаның көлденең қималары құбырлардың бетінен жоғары шығып тұратын жерлерде құбырлар арасындағы саңылау

арқылы бу өтеді, өйткені бұл жерлерде кедергі ең аз. Таспаның көлденең бөліктері құбырлардың астында орналасқан жерлерде сұйықтық өтеді.

Өзірленіп жатқан технологиялық жабдықтың конструкцияларына ұсынылған шолу негізінде дистилляциялық колоннаның ең қолайлы конструкциясын анықтауға болады - қақпақ тәрізді науалары бар колонна [3].

Колоннадағы орта бензол-толуолдың екілік қоспасы. Бензол, толуол – органикалық химиялық қосылыстар, ерекше тәтті иісі бар түссіз сұйықтық. Ең қарапайым ароматты көмірсутек. Бензол – бензиннің құрамдас бөлігі, өнеркәсіпте кеңінен қолданылады, дәрі-дәрмек, әртүрлі пластмасса, синтетикалық каучук, бояғыштар алу үшін шикізат болып табылады.

Бензол шикі мұнайдың құрамдас бөлігі болғанымен, ол басқа компоненттерден өнеркәсіптік жолмен синтезделеді. Уытты, канцерогенді. Оның айқын коррозиялық қасиеттері жоқ.



3.2 – сурет - Ректификациялық колоннаның технологиялық есебінің схемасы

және жобаның энергия тұтынуын оптимизациялауға мүмкіндік береді.

Колонна түбіндегі қыздыру буының шығынын айдау колоннасының жылу балансының теңдеуін құрастыру және шешу өте маңызды кезең болып табылады. Айдау колоннасының жылу балансы арқылы біз жылу ағынын, қыздыру буының шығынын және оның салдарын анықтай аламыз. Әрине, бұл есептеулер әртүрлі қондырғының жұмыс жағдайына, оның параметрлеріне және фазалық ауысу ерекшеліктеріне байланысты болады.

1) Айдау колоннасының жылу балансының теңдеуін құрастыру. Айдау колоннасының жылу балансының теңдеуі қыздыру буы мен колоннадағы сұйықтықтың өзара әрекеттесуінен тұрады. Колоннада жылу алмасу процесі жүріп жатқанда, қыздыру буы мен сұйықтық арасындағы жылу алмасу нәтижесінде сұйықтық буланып, оның жоғарғы бөлігінде өнімдердің фракциялық бөлуі жүзеге асады.

Айдау колоннасының жылу балансының теңдеуі келесі түрге ие болуы мүмкін:

$$Q_{\text{жылу}} = Q_{\text{қыздыру}} + Q_{\text{суытқыш}}$$

мұндағы, $Q_{\text{жылу}}$ - жалпы жылу қуаты, (Вт);

$Q_{\text{қыздыру}}$ - қыздыру буының колоннаға беруі, (Вт);

$Q_{\text{суытқыш}}$ - салқындатқыш сұйықтықтың жылуды алу қуаты (Вт).

2) Жылу балансы үшін бу мен сұйықтық арасындағы жылу ағынын есептеу. Қыздыру буының жылу беруі (яғни, $Q_{\text{қыздыру}}$) жылу берілу процесінің тиімділігін, жылу ағынының шамасын, сұйықтықтың фазалық ауысуын және колоннадағы температура градиенттерін ескере отырып анықталады.

Қыздыру буы мен сұйықтық арасында жылу берілуі кезінде келесі формуланы пайдалануға болады:

$$Q_{\text{қыздыру}} = m_{\text{бу}} \cdot \Delta h$$

мұндағы, $m_{\text{бу}}$ - қыздыру буының массалық шығыны (кг/с);

Δh - бу мен сұйықтық арасындағы энтальпиялық айырмасы, (кДж/кг).

Жоғарыдағы теңдеуде $m_{\text{бу}}$ - қыздыру буының массалық шығыны, ол көбінесе колоннаның өнімділігі мен қыздыру қуатын қамтамасыз ету үшін есептеледі.

Салқындатқыш сұйықтықтың жылу алуы:

$$Q_{\text{суытқыш}} = m_{\text{су}} \cdot c_{\text{су}} \cdot \Delta T_{\text{су}}$$

мұндағы, $m_{\text{су}}$ - салқындатқыш сұйықтықтың массалық шығыны, (кг/с);

$c_{\text{су}}$ - салқындатқыш сұйықтықтың жылу сыйымдылығы, (кДж/кг·К);

ΔT_{cy} - салқындатқыш сұйықтықтың температура айырмасы, (K).

3) Колоннадағы жылу алмасуды сипаттайтын теңдеулер. Айдау колоннасының жұмыс жағдайына байланысты жылу ағынының таралуын келесі теңдеулер арқылы модельдеуге болады. Әр қабат үшін жылу алмасуды есептеуге болады, және ол келесі түрде болуы мүмкін:

$$Q_{\text{кабат}} = U \cdot A \cdot \Delta T$$

мұндағы, U - жылу алмасу коэффициенті, (Вт/м²·K);

A - қабаттың жылу алмасу бетінің ауданы, (м²),

ΔT - қабаттың температура айырмасы, (K).

Егер A жылу берудің беті ретінде қабаттың ауданын пайдаланатын болсақ, онда жылу алмасу тиімділігін ескере отырып, U -ні есептеуге болады. Бұл коэффициент әдетте тәжірибелік деректермен анықталады және материалдың, бу мен сұйықтықтың қасиеттеріне байланысты болады.

4) Қыздыру буының шығыны мен жылу балансын шешу. Жылу балансын шешу үшін біз алдымен барлық шығындар мен жылу ағындарын санап, олардың арасындағы тепе-теңдікті сақтаймыз:

- Қыздыру буының шығынын және салқындатқыш су шығынын анықтау үшін жылу ағынын, температурасын және жылу сыйымдылығын пайдалану қажет.

- Қыздыру буының температурасы мен қысымын, сондай-ақ колоннадағы әртүрлі қабаттардағы температураларды ескере отырып, жылу берілуінің тиімділігін максимизациялауға тырысамыз.

Егер барлық параметрлер анықталған болса, онда жылу балансын теңдестіріп, қыздыру буының шығынын және жылу алмасу коэффициентін есептеуге болады.

Айдау колоннасының жылу балансының теңдеуін құрастыру кезінде, әрбір қабаттағы жылу ағынын, қыздыру буының шығынын және суытқыш сұйықтықтың ағынын есепке алу маңызды. Бұл есептеулер арқылы біз колоннаның жылу алмасу тиімділігін бағалап, жобалау кезінде қажетті параметрлерді анықтай аламыз.

$$D_{z.n.} (I_{z.n.} - i_{k.}) = P (I_P - I_F) + W (I_W - I_F) + P \cdot R \cdot r_{cp.} + Q_{nom} \quad (3.1)$$

мұндағы, $\gamma_{\text{соды}}$ – буланудың меншікті жылуы, Дж/кг ;

P – үстеме өнімді тұтыну, кг/с;

W – төменгі өнімнің шығыны, кг/с;

R_{opt} – флегмо саны;

I_P, I_F, I_W – ағын энтальпиялары, Дж/кг;

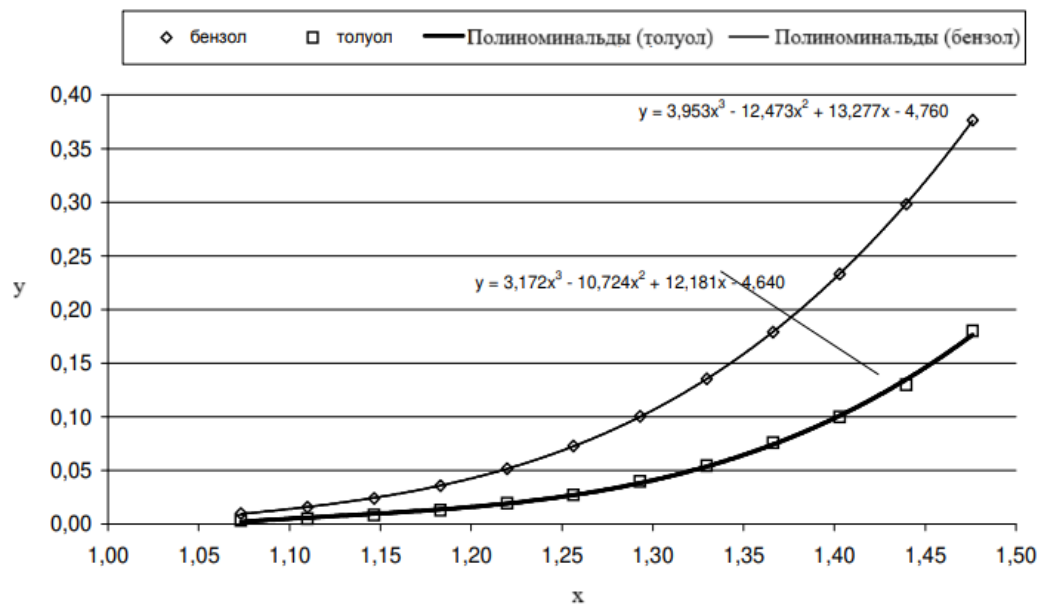
r_{cp} – фазалық ауысудың орташа меншікті жылуы, кДж/кг;

Q_{nom} – жылу шығыны (қыздыру буының жылуынан 3%-дан 5%-ға

дейін) [14]:

$$r_{cp.} = r_{BK} \cdot x_{BK} + r_{BK} \cdot (1 - x_{BK}) \quad (3.2)$$

мұндағы, r – сәйкес компоненттің фазалық ауысуының меншікті жылуы, Дж/кг [15];



3.4 – сурет - Бөлінген компоненттердің қаныққан бу қысымы

$$t_{cp} = 95,4^{\circ}C ;$$

$$r_{HK} = 90$$

$$r_{BK} = 87$$

$$r_{cp} = 90 \cdot 0,4 + 87 \cdot (1 - 0,4) = 88,2$$

$$r_{cp} = 88,2 \cdot 4190 = 369558 \text{ Дж/кг.}$$

$$\begin{cases} x_p = 0,95 \text{ кмоль / кмоль} (T_p = 81^{\circ}C) \\ x_F = 0,4 \text{ кмоль / кмоль} (T_F = 95,4^{\circ}C) \\ x_W = 0,03 \text{ кмоль / кмоль} (T_W = 109,6^{\circ}C) \end{cases}$$

3.1-кесте - Өртүрлі температурадағы компоненттердің жылу сыйымдылықтары [12]

Төмен қайнау компоненті			Жоғарғы қайнау компоненті		
C_{pf} , Дж/кг·К	C_{pp} , Дж/кг·К	C_{pw} , Дж/кг·К	C_{pf} , Дж/кг·К	C_{pp} , Дж/кг·К	C_{pw} , Дж/кг·К
2077	1766	2480	2022	1718	2422

$$C_{p_{cm}} = C_{p_{HK}} \cdot \bar{x}_{HK} + C_{p_{BK}} \cdot (1 - \bar{x}_{HK}) \quad (3.3)$$

мұндағы, $\bar{x}_{HK}$ – компоненттердің массалық үлестер, кг/кг;
 C_p - әр түрлі температурадағы компоненттердің жылу сыйымдылықтары, Дж/кг·К.

$$F : C_{p_{cm}} = 2077 \cdot 0,4 + 2022 \cdot (1 - 0,4) = 1763,3 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К};$$

$$P : C_{p_{cm}} = 1766 \cdot 0,95 + 1766 \cdot (1 - 0,95) = 2044 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К};$$

$$W : C_{p_{cm}} = 2480 \cdot 0,05 + 2422 \cdot (1 - 0,05) = 2424,9 \text{ Дж/кг} \cdot \text{К}.$$

$$I = C_p \cdot T \quad (3.4)$$

мұндағы, I - ағындардың энтальпиялары, Дж/кг;
 T – компонент температурасы, °С.

$$IF = 1763,6 \cdot 81 = 142851,6 \text{ Дж/кг};$$

$$IP = 2044 \cdot 95,4 = 194997,6 \text{ Дж/кг};$$

$$IW = 2424,9 \cdot 109,6 = 265769,04 \text{ Дж/кг}.$$

$$D_{2.n.} \cdot (I_{2.n.} - i_k) = 0,558 \cdot (194997,6 - 142851,6) + 0,83(265769,04 + 142851,6) + 0,558 \cdot 3,16 \cdot 369558 = 1019886,829$$

$$D_{2.n.} = 1019886,829 / (0,97 \cdot 369558) = 2,84 \text{ кг/с}.$$

Буландырғыштың жылу беру бетінің өлшемі жылу беру теңдеуі [5] негізінде есептеледі:

$$F = \frac{Q_{пот} \cdot D_{г.п.} \cdot r_{воды}}{K \cdot \Delta T_{ср.}} \quad (3.5)$$

мұндағы, $Q_{пот}$ - жылу шығыны (жылыту буының жылуының 3%-дан 5%-ға дейін) [11];

$D_{г.п.}(I_{г.п.}-i_k)$ – (3.1) формула бойынша табылған қыздыру буының шығыны;

K - 300-ден 2500 Вт/м²·К диапазонында тәжірибелік мәліметтер бойынша таңдалған жылу беру коэффициенті;

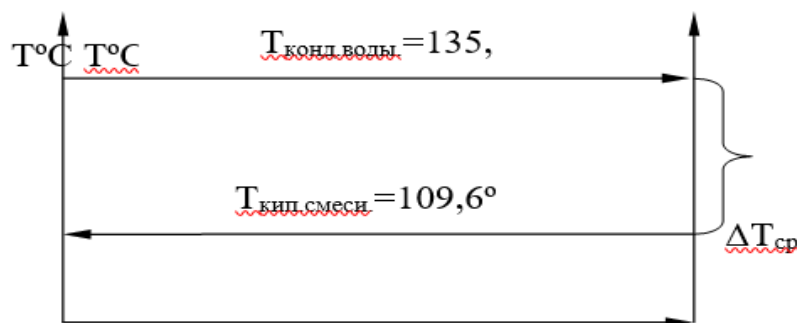
$\Delta T_{ср}$ - жылу алмасу процесінің орташа қозғаушы күші.

$\Delta T_{ср}$ бөлінетін қоспаның температурасы (колонна текшесінде) мен белгілі қысымдағы қаныққан су буының температурасы арасындағы температура айырмашылығымен анықталады. Әдетте, процестің орташа қозғаушы күші $30 \pm 5^\circ\text{C}$ құрайды.

Төменгі қалдық температурасы $T_w=109,6^\circ\text{C}$ (жоғарыдан қараңыз). 3,0 кг/см² қысымдағы қаныққан су буының температурасы $T=135,9^\circ$.

$$\Delta T_{ср} = T_{кип.воды} - T_{кип.смеси} \quad (3.6)$$

$$\Delta T_{ср} = 135,9 - 109,6 = 26,3^\circ\text{C}$$



3.5 – сурет - Жылу алмасу процесінің орташа қозғаушы күшін анықтау үшін температуралық диаграмма

$$F = \frac{0,97 \cdot 1019886,829}{400 \cdot 26,3} = 94 \text{ м}^2$$

Жылу алмасу процесінің орташа қозғаушы күшін (температураның орташа айырмасы) анықтау - жылу алмасу тиімділігін бағалау және жылу алмасу бетінің жұмысын сипаттау үшін өте маңызды. Бұл күш жылу энергиясының бір материалдан екінші материалға берілуіне әсер ететін негізгі факторлардың бірі болып табылады.

Жылу алмасу процесінде қозғаушы күш - бұл температура айырмасы, өйткені жылу әрқашан жоғары температурадан төмен температураға беріледі. Орташа қозғаушы күштің мәні жылу алмасу процесінің тиімділігін бағалауға және тиісті жылу алмасу коэффициентін (U) есептеуге мүмкіндік береді.

Орташа қозғаушы күш - бұл жылу алмасу процесіндегі маңызды параметр, себебі ол жылу алмасудың тиімділігін және оның әртүрлі кезеңдердегі динамикасын сипаттайды. Логарифмдік орташа температура айырмасы арқылы есептелген $\Delta T_{орташа}$ жылу алмасу коэффициентін және жылу алмасу бетінің өлшемін анықтауға мүмкіндік береді.

3.3 Дефлегматордағы су шығынын және жылу оқшауларын анықтау

Қайта тоңазытқыштың жылу балансын есептеу кезінде дистиллят буы толық конденсациядан өтеді деп есептеледі. Сонда салқындату суының шығыны [15] болады

$$G_{в.д.} = \frac{P \cdot (R + 1) \cdot M_{см.р} \cdot r_p}{C_p \cdot (t_k - t_n)} \quad (3.7)$$

мұндағы, P - өнімнің молярлық шығыны, кмоль/с;

R - оптимальды флегмо саны;

$M_{см.р}$ - өнімнің молярлық массасы, кг/кмоль;

r_p - фазалық ауысудың меншікті жылуы, кДж/кг;

C_p - судың жылу сыйымдылығы, кДж/кг*К [12]. $C_p=4190$ Дж/кг*К;

T_k , T_n - суды салқындатудың соңғы және бастапқы температурасы, °С. Алайда $T_n=12$ °С, $T_k=45$ °С деп алынады.

$$r_p = r_{BK} \cdot x_p + r_{BK} \cdot (1 - x_p) \quad (3.8)$$

мұндағы, r_p - белгілі бір компоненттің фазалық ауысуының меншікті жылуы, кДж/кг [12];

$$r_p = 90 \cdot 0,95 + 88 \cdot (1 - 0,95) = 89,9 \cdot 4190 = 376681 \text{ Дж/кг}$$

$$M_{см.р} = 91,83 \text{ кг/кмоль}$$

Және

$$G_{в.д.} = \frac{0,006 \cdot (2,43 + 1) \cdot 91,83 \cdot 376681}{4190 \cdot (45 - 12)} = 5,148 \text{ кг/с}$$

Жылу оқшаулауды есептеудің негізгі мақсаты - жылу оқшаулағыш

материалды таңдау және қоршаған ортаға жылу жоғалтуды азайту және қауіпсіздік талаптарын қанағаттандыру үшін оның қалыңдығын есептеу. Жылу оқшаулау оқшаулаудың сыртқы қабатының 45 °С-тан аспауы керек көрсетілген температурасының шарттары негізінде есептеледі. Жылу оқшаулағыш материал қабатының қалыңдығы мына формуламен анықталады:

$$\delta_{из} = \frac{\lambda_{из}}{Q_{ном}} \cdot F_n (t - t_{cm}) \quad (3.9)$$

мұндағы, t – ішкі оқшаулау қабатының температурасы $t_{ст.}=45^{\circ}\text{C}$.

$\lambda_{из}$ – оқшаулау қабатының жылу өткізгіштігі.

Жылу оқшаулағыштың ішкі қабатының температурасын бағандағы ортаның температурасына $t = 77,4^{\circ}\text{C}$ тең етіп аламыз.

Жылу оқшаулағыш материал ретінде $\lambda_{из} = 0.151$, Вт/м·К етіп таңдаймыз.

Жылу алмасу теңдеуімен қоршаған ортаға жылу шығынын $Q_{ном}$ есептейміз [13]:

$$Q_{ном} = \alpha F_n (t_{cm} - t_{окр}), \quad (3.10)$$

мұндағы, $\alpha = 9.47 + 0.07(t_{cm} - t_{окр})$ - конвекция және сәулелену арқылы жалпы жылу беру коэффициенті, Вт/м²·К.

$$\alpha = 9.47 + 0.07(45 - 20) = 11.22 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{К}.$$

$$\delta_{из} = \frac{0,151 \cdot (77,4 - 45)}{11,22 \cdot 25} = 0,017 \text{ м}.$$

3.4 Гидравликалық есебін анықтау

Гидравликалық есептеудің негізгі мақсаты - дефлегматор конденсаторына түйіспелі құрылғылар арқылы текшеден ректификация колонкасы арқылы будың өтуі кезінде пайда болатын гидравликалық кедергіні анықтау. Барлық айдау бағандары үшін қысымның жоғалуы колонна түбіндегі қоспаның қайнау температурасының қажетті жоғарылауын есептеуге мүмкіндік береді.

Сұйықтықтың (мысалы, судың) ағынды процестерін тиімді және қауіпсіз басқару үшін қажетті параметрлерді анықтау. Бұл есептеулер әдетте сұйықтықтың қозғалысын және оның әсерін талдай отырып, әртүрлі инженерлік жүйелерді (құбырлар, насостар, бассейндер, дренаждық жүйелер,

су қоймалары, т.б.) жобалау және оңтайландыру үшін жүргізіледі.

Гидравликалық есептеудің бірнеше маңызды мақсаты бар:

1) Сұйықтық ағынын және оның жылдамдығын есептеу. Гидравликалық есептеулер сұйықтықтың әртүрлі жүйелердегі ағынын анықтауға мүмкіндік береді. Бұл параметрлер құбырлар мен каналдар жүйесінде сұйықтықтың қозғалысын тиімді басқаруға, ағынның жоғалуларын болдырмауға және қажетті жылдамдықты қамтамасыз етуге көмектеседі.

2) Қысым түзілуін және қысым жоғалуларын анықтау. Құбыр жүйелерінде немесе басқа гидравликалық қондырғыларда қысымның дұрыс сақталуы өте маңызды. Гидравликалық есептеу қысым түзілуін және жүйедегі қысымның жоғалуларын анықтауға мүмкіндік береді. Бұл үшін Darcy-Weisbach немесе Hazen-Williams сияқты формулалар қолданылады.

3) Құбырлар мен арналардың өлшемдерін таңдау. Құбырдың немесе арнаның диаметрі мен ұзындығын дұрыс таңдау өте маңызды, себебі бұл жүйедегі сұйықтықтың ағымына әсер етеді. Гидравликалық есептеулер құбырдың дұрыс өлшемін, оның материалы мен ішкі кедергісін ескере отырып, ағынның тиімділігін қамтамасыз етеді.

4) Энергияның шығынын бағалау. Гидравликалық есептеулер ағынның қуатын, энергияның шығынын және оны сақтап қалудың қажетті шараларын анықтауға мүмкіндік береді. Бұл әсіресе насос станциялары мен су айдау жүйелерінде маңызды. Энергия шығынын есептеу жүйенің тиімділігін арттыруға және энергетикалық шығындарды төмендетуге көмектеседі.

5) Насос және турбина параметрлерін анықтау. Гидравликалық есептеулер насостар мен турбиналардың тиімді жұмыс істеуі үшін қажетті параметрлерді анықтауға көмектеседі. Насостың жұмыс ауқымын және оған қажетті қуатты есептеу, сондай-ақ оның қажетті жұмыс нүктесін таңдау гидравликалық жүйенің дұрыс жұмыс істеуіне ықпал етеді.

6) Гидравликалық соққы және оның алдын алу. Гидравликалық соққы - бұл құбырлар мен арналардағы сұйықтықтың кенеттен тоқтауы немесе жылдамдығының өзгеруінен туындайтын қысымның күрт өзгерісі. Гидравликалық есептеулер жүйедегі соққыларды анықтап, олардың алдын алу үшін арнайы шаралар қолдануға мүмкіндік береді (мысалы, су соққысын болдырмау үшін релефті басқару немесе ауа шығару құрылғыларын орнату).

7) Құбыр жүйелерінің су тасқынын болдырмау және су жинау. Гидравликалық есептеулер су тасқынының алдын алу үшін қажетті ағындар мен су жинау жүйелерін дұрыс жобалауға мүмкіндік береді. Су құбырлары мен дренаждық жүйелерде су көлемін және жылдамдығын есептеу су тасқынының алдын алуға және жүйенің жұмысын жақсартуға көмектеседі.

Гидравликалық есептеудің негізгі мақсаты - сұйықтықтың ағынын, қысымды, энергия шығынын және басқа да гидравликалық параметрлерді тиімді басқару арқылы жүйенің жұмысын оңтайландыру. Бұл инженерлік жүйелерді жобалаудың және оларды дұрыс басқарудың маңызды аспектісі болып табылады.

$$\Delta P = \Delta P_{c.} + \Delta P_{ж.} + \Delta P_{б.} \quad (3.11)$$

мұндағы, $\Delta P_{c.}$ - құрғақ тақта кедергісі, Па;
 $\Delta P_{ж.}$ - сұйық қабатының кедергісі, Па;
 $\Delta P_{б.}$ - сұйықтықтың беттік керілуіне байланысты кедергі, Па;
(сәл елемеуге болады).

$$\Delta P_{c.} = (4 \div 6) \frac{\rho_{н.} \cdot \omega^2}{2} \quad (3.12)$$

мұндағы, ω - қалпақ мойынындағы будың жылдамдығы, м/с; будың көлемдік шығынымен және пластинаның бос қимасымен анықталады, м²/с.

$$\omega = \frac{V}{S} \quad (3.13)$$

Құрылғының жоғарғы бөлігі

$$\omega = \frac{0.62}{0.09} = 6.8 \text{ м/с}$$

$$\Delta P_{c.} = 4 \cdot \frac{2,97 \cdot 6,8^2}{2} = 274,6 \text{ Па}$$

Құрылғының төменгі бөлігі

$$\omega = \frac{0.64}{0.09} = 7.1 \text{ м/с}$$

$$\Delta P_{c.} = 4 \cdot \frac{2,66 \cdot 7,1^2}{2} = 268,18 \text{ Па}$$

Сұйықтық қабатының кедергісі

$$\Delta P_{ж.} = g \cdot \rho_{ж.} \cdot h_{б.} \quad (3.14)$$

мұндағы, $h_{б.}$ - пластинадағы сұйықтың көпіршікті қабатының биіктігі, м;
 $h_{б.}=0,055\text{м}$
 $\rho_{ж.}$ — сұйықтықтың тығыздығы, кг/м³;

g – ауырлық күшінің үдеуі, ($g=9,8\text{м/с}^2$).

Құрылғының жоғарғы бөлігі

$$g_{жс.} = 803,85 \text{ кг} / \text{м}^3$$

$$\Delta P_{жс.} = 803,85 \cdot 9,8 \cdot 0,055 = 433,3 \text{ Па}$$

Құрылғының төменгі бөлігі

$$g_{жс.} = 782,5 \text{ кг} / \text{м}^3$$

$$\Delta P_{жс.} = 782,5 \cdot 9,8 \cdot 0,055 = 383,4 \text{ Па}$$

Колоннаның үстіңгі және астыңғы бөлігінің жалпы гидравликалық кедергісі:

Құрылғының жоғарғы бөлігі

$$\Delta P = (274,6 + 433,3) \cdot 16 = 11326,4 \text{ Па}$$

Құрылғының төменгі бөлігі

$$\Delta P = (268,18 + 383,4) \cdot 16 = 10425,28 \text{ Па}$$

3.5 Негізгі құрылғының механикалық есебі

Ректификациялық колоннаның механикалық есебінің мақсаты - технологиялық орындылық, механикалық беріктік пен тұрақтылық шарттарын қанағаттандыратын колоннаның жеке бөліктері мен элементтерінің өлшемдерін анықтау. Сонымен қатар колоннаның қауіпсіз жұмыс істеуін қамтамасыз ету үшін оның құрылымдық беріктігін, тұрақтылығын және сенімділігін тексеру. Бұл есепте колоннаның жүктемелерге, вибрацияларға, температура мен қысымның өзгеруіне, сондай-ақ басқа жұмыс шарттарына қалай жауап беретіндігі бағаланады.

Негізгі міндеттері:

1) Құрылымдық беріктік. Колоннаның әртүрлі жұмыс режимдерінде (жүктемелер, қысым, температура) механикалық беріктігін тексеру, соның ішінде оның материалдары мен қосылыстарының беріктігін бағалау.

2) Тұрақтылықты бағалау. Колоннаның бұралу, ығысулар және механикалық жүктемелер әсерінен тұрақтылығын тексеру. Бұл колоннаның жойылуы немесе қисайып кетуі сияқты қауіптерді болдырмауға көмектеседі.

3) Вибрациялық жүктемелерді есептеу: Ректификациялық колоннада діріл немесе механикалық тербелістер болуы мүмкін. Бұл тербелістердің құрылымға әсерін және олардың себеп болатын мәселелерді анықтау.

4) Термиялық кеңею мен қысымның өзгеруіне қарсы есептер. Ректификация процесі кезінде температураның жоғары және төмен өзгеруі мүмкін, сондықтан колоннаның термиялық кеңеюін ескеріп, оның жұмыс қабілетін сақтап қалу үшін есептеулер жасалады.

5) Жүйелік қауіпсіздікті қамтамасыз ету. Колоннаның жұмыс жағдайларында кез келген мүмкін болатын ақауларды болдырмау және қауіпсіздігін арттыру мақсатында есептеулер жүргізу.

Механикалық есептер арқылы колоннаның конструкциясы, материалдары және жұмыс режимдеріне сәйкес қауіпсіздік шаралары мен жобалау шешімдері қабылданады.

Қабық - бұл, әдетте, артық ішкі немесе сыртқы қысыммен жұмыс істейтін аппараттың цилиндрлік корпусы.

Қабық қабырғасының қалыңдығы теңдеу арқылы есептеледі:

$$S = \frac{P \cdot D}{2 \cdot [\sigma] \cdot \varphi - P} + C \quad (3.15)$$

мұндағы, P – құрылғының қысымы, МПа;

D – қабықтың диаметрі, мм;

$[\sigma]$ – өндіріс материалы үшін максималды рұқсат етілген кернеу, МПа;

φ – беріктік коэффициентін бірлікке тең қабылдаймыз

$C = C_1 + C_2 + C_3$ – арттыру.

C_1 – коррозия мен эрозияға рұқсат 1,0 мм деп қабылданады;

C_2 – парақ қалыңдығындағы минус ауытқу үшін ұлғайту, 0,7 мм аламыз;

C_3 – технологиялық өсу, 0,51 мм аламыз.

Бұл материал үшін максималды рұқсат етілген кернеу $[\sigma] = 240$ МПа.

$$S = \frac{0,1 \cdot 1000}{2 \cdot 240 \cdot 1 - 0,1} + 1 + 0,7 + 0,51 = 2,42 \text{ мм.}$$

Есептеулер бойынша қабықтың қалыңдығы 2,42, бірақ техникалық талаптарға сәйкес қабырғасының қалыңдығы 10 миллиметрден кем болмауы керек [4].

Тіректерді таңдау үшін құрылғының массасы мен жүктемесін анықтау қажет.

Құрылғының массасын анықтаймыз.

Корпустың массасы:

$$M_K = H \cdot \pi \cdot D \cdot s \cdot \rho \quad (3.16)$$

мұндағы, H – құрылығының биіктігі, м;
 π - геометриялық тұрақтылық, ($\pi = 3,14$);
 D - колонна диаметрі, м ;
 s - қабырға қалыңдығы, м [14];
 ρ - болат тығыздығы, кг/м² [14].

$$M_K = 11,1 \cdot 3,14 \cdot 1,0 \cdot 0,01 \cdot 7850 = 2736,039 \text{ кг.}$$

Қақпақтың және түбінің салмағы:

$$M_{кр} = 2 \cdot D^2 \cdot s \cdot \rho \quad (3.17)$$

мұндағы, D - колонна диаметрі, м ;
 s - қабырға қалыңдығы, м [14];
 ρ - болат тығыздығы, кг/м² [14].

$$M_{кр} = 2 \cdot 1,0^2 \cdot 0,01 \cdot 7850 = 157 \text{ кг.}$$

Пластиналардың салмағы (массасы):

$$M_m = N \cdot m_m \quad (3.18)$$

мұндағы, N - пластиналардың нақты саны;
 m_m - бір пластинаның массасы, кг.

$$M_m = 16 \cdot 57,8 = 924,8 \text{ кг.}$$

Сынақ кезіндегі судың массасы:

$$M_{\epsilon} = \pi \cdot D \cdot s \cdot \rho_{\epsilon} \quad (3.19)$$

мұндағы, π - геометриялық тұрақтылық, ($\pi = 3,14$);
 D - колонна диаметрі, м ;
 s - қабырға қалыңдығы, м [14];
 ρ_{ϵ} - судың тығыздығы, кг/м² [12].

$$M_{\epsilon} = 3,14 \cdot 4,8 \cdot 0,01 \cdot 1000 = 150,72 \text{ кг.}$$

Құрылғының салмағы (массасы):

$$M_{an} = M_K + M_{\kappa p} + M_m + M_{\epsilon} + Mn \quad (3.20)$$

$$M_{an} = 2736,039 + 157 + 924,8 + 150,72 = 3968,056 \text{ , кг}$$

$$M_n = 3968,56 \cdot 0,15 = 595,283 \text{ , кг}$$

$$M_{an} = 3968,56 + 595,283 = 4563,84 \text{ , кг}$$

МН-ға айналдырамыз:

$$Q = \frac{M_{an} \cdot g}{10^6} \quad (3.21)$$

мұндағы, M_{an} – құрылғының массасы, кг;
 g – ауырлық күшінің үдеуі, ($g=9,8\text{м/с}^2$).

$$Q = \frac{4563,84 \cdot 9,8}{10^6} = 0,4 \text{ МН}$$

Құралдарды таңдаймыз:

1.1 – кесте - Колонналық аппараттарға арналған цилиндрлік тіректердің негізгі өлшемдері [14]

Q, МН	Д, мм	D ₁ , мм	D ₂ , мм	D ₆ , мм	S ₁ , мм	S ₂ , мм	S ₃ , мм	d ₂ , мм	d ₆ , мм	Болтт ар саны , Z ₆
0,4	1200	100	200	500	150	240	140	50	45	32

Колонналық аппараттарға арналған цилиндрлік тіректері - колоннаның құрылымдық тұрақтылығын қамтамасыз ету үшін қолданылатын негізгі элементтердің бірі. Олар колоннаның вертикаль орналасуын сақтап, оның жұмыс барысында пайда болатын жүктемелер мен вибрацияларға төтеп береді.

Цилиндрлік тіректердің мақсаты:

1) Колоннаның тұрақтылығын сақтау. Колонналық аппараттың дұрыс жұмыс істеуі үшін оның вертикаль сызық бойымен дұрыс орналасуы керек. Цилиндрлік тіректер колоннаның ығысуын болдырмай, оның тұрақтылығын сақтайды.

2) Жүктемелерді қабылдау. Колоннада жұмыс барысында әртүрлі динамикалық және статикалық жүктемелер пайда болады. Цилиндрлік тіректер колоннаның өз салмағы, орталықтан тепкіш күштер, температуралық кеңею және басқа да факторлардан болатын жүктемелерді қабылдайды.

3) Құрылымдық беріктікті қамтамасыз ету. Цилиндрлік тіректер колоннаның барлық бөлігінен келетін күштер мен деформацияларды тиімді таратады. Бұл құрылымның беріктігін қамтамасыз етеді және апаттық жағдайлардың алдын алады.

4) Динамикалық әсерлерге төзімділік. Құрылымда вибрация немесе динамикалық жүктемелер болған жағдайда цилиндрлік тіректер олардың әсерін тиімді сіңіріп, колоннаның тұтастығын сақтайды.

Цилиндрлік тіректердің негізгі түрлері:

-Тікелей тіректер: Олар колоннаның төменгі бөлігінде орналасып, колоннаның салмағын тікелей қабылдайды.

- Роликті тіректер: Колоннаның сыртқы бөлігінде орналаса отырып, оның айналуына мүмкіндік береді және жүктемелерді қабылдайды.

- Жоғарғы және төменгі тіректер: Бұл тіректер колоннаның жоғарғы және төменгі бөлігінде орналаса алады, және олар колоннаның қозғалысын шектемей, оның вертикаль орналасуын қамтамасыз етеді.

Цилиндрлік тіректердің конструкциясы, материалы мен өлшемдері колоннаның диаметрі, биіктігі және жұмыс жағдайларына байланысты анықталады. Сонымен қатар, тіректердің беріктігі мен төзімділігі олардың дұрыс жұмыс істеуін қамтамасыз ету үшін маңызды болып табылады.

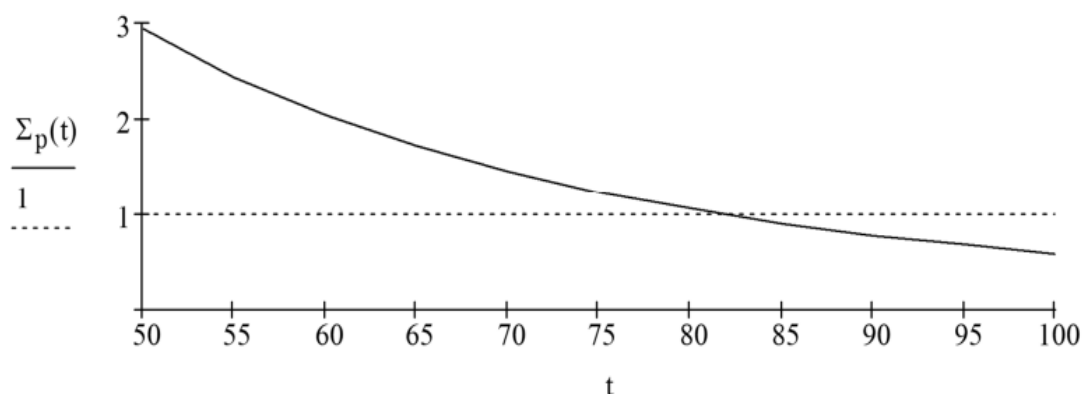
Материалдық балансты есептеу нәтижелерін 3.2 және 3.3 кестелерде қорытындылаймыз.

3.2 – кесте. Дистилляциялық колоннаның материалдық балансы (моль)

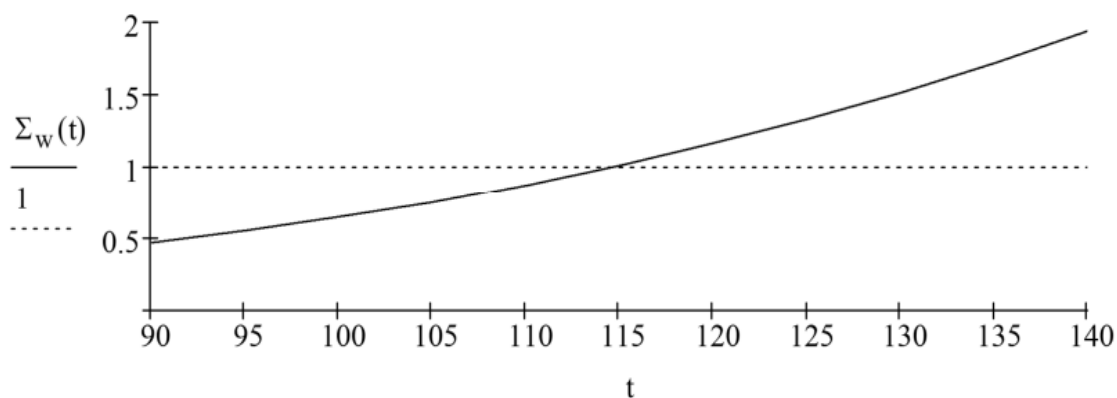
Компонент	Ағын шығыны, кмоль/сағ			Ағынның мольдық құрылымы		
	шикізат	дистиллят	қалдық	шикізат	дистиллят	қалдық
Бензол	128,2	122,3	5,9	0,4402	0,9847	0,0352
Толуол	163,0	1,9	161,1	0,5598	0,0153	0,9648
Барлығы	291,2	124,2	167,0	1	1	1

3.3 – кесте. Дистилляциялық колоннаның материалдық балансы (моль)

Компонент	Ағын шығыны, кг/сағ			Ағынның массалық құрылымы		
	шикізат	дистиллят	қалдық	шикізат	дистиллят	қалдық
Бензол	10000	9541	459	0,4000	0,9820	0,0300
Толуол	15000	175	14825	0,6000	0,0180	0,9700
Барлығы	25000	9716	15284	1	1	1



3.6 –сурет. Колоннаның жоғарғы бөлігі үшін бу фазасының күй изотермасы



3.7 – сурет - Колонна кубы үшін сұйық фаза күйінің изотермасы

3.6 Ағындарды беру және түсіру үшін құбырларды есептеу және таңдау, фланецті қосылыстарды таңдау

Құбыр арматурасын аппаратқа, сондай-ақ әртүрлі сұйық және газ тәріздес өнімдерді жеткізуге және шығаруға арналған технологиялық құбырларға қосу арматура немесе кіріс құбырлары арқылы жүзеге асырылады. Жұмыс жағдайларына байланысты ажыратылатын қосылыстар (фланецті фитингтер)

жиі қолданылады.

Химиялық аппараттарда фланецті қосылыстар, негізінен дөңгелек пішінді, композициялық корпустар мен жеке бөлшектерді ажыратылатын жалғау үшін қолданылады. Фланецтердегі құрылғыларға құбырлар, фитингтер және т.б.

Өнімнің кіріс және шығыс арматурасының номиналды диаметрі (ішкі диаметрі) массалық ағынның теңдеуі негізінде есептеледі және ең жақын стандартты мәнге дейін дөңгелектенеді.

Шығару және кіріс үшін саптамалардың диаметрін есептеу мына теңдеу бойынша жүзеге асырылады:

$$D_{n.} = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{\pi \cdot \rho \cdot \omega}} \quad (3.22)$$

мұндағы, G – ағын шығыны, кг/с;

π – геометриялық тұрақтылық ($\pi = 3,14$);

ω – қысым астында тұтқырлығы төмен сұйықтықтың қозғалыс жылдамдығы, м/с;

ρ – ағынның тығыздығы, белгілі бір жағдайларда, формула (3.17), кг/м³ бойынша анықталады.

Бастапқы қоспаны енгізу:

$$\bar{x}_f = 0,0051 \text{ кг/кг}$$

$$T_f = 95,4 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$w = 2 \text{ м/с}$$

$$\rho_{бенз}^{95,4} = 798,5 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_{тол}^{95,4} = 793 \text{ кг/м}^3$$

$$\frac{1}{\rho_{ж.}} = \frac{0,0315}{798,5} + \frac{1 - 0,0315}{793} = 0,0012607$$

$$\rho_{ж.} = 793,21 \text{ кг/м}^3$$

$$D_{n.} = \sqrt{\frac{4 \cdot 1,388}{3,14 \cdot 2 \cdot 793,21}} = 0,03 \text{ м}$$

Кубоның шығымдылығы:

$$\bar{x}_w = 0,00038 \text{ кг/кг}$$

$$T_w = 109,6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$w = 0,1 \text{ м/с}$$

$$\rho_{\text{бенз}}^{109,6} = 781 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_{\text{тол}}^{109,6} = 777 \text{ кг/м}^3$$

$$\frac{1}{g_{\text{ж.}}} = \frac{0,00274}{781} + \frac{1 - 0,00274}{777} = 0,00128$$

$$g_{\text{ж.}} = 777 \text{ кг/м}^3$$

$$D_{n.} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,83}{3,14 \cdot 0,1 \cdot 777}} = 0,12 \text{ м}$$

Флегма кірісі:

$$\bar{x}_p = 0,012 \text{ кг/кг}$$

$$T_p = 81 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$w = 20 \text{ м/с}$$

$$V = \frac{\Phi}{\rho_{\text{ж.}}} \quad (3.23)$$

$$\Phi = R \cdot P \quad (3.24)$$

мұндағы, R - оңтайлы флегма коэффициенті;

P - өнімнің массалық ағыны, кг/с.

$$\Phi = 2,43 \cdot 0,558 = 1,3559 \text{ кг/с}$$

$$\rho_{бенз}^{81} = 815 \text{ кг} / \text{м}^3$$

$$\rho_{тол}^{181} = 808 \text{ кг} / \text{м}^3$$

$$\frac{1}{\rho_{ж.}} = \frac{0,012}{808} + \frac{1-0,012}{815} = 0,001227$$

$$\rho_{ж.} = 814,9 \text{ кг} / \text{м}^3$$

$$V = \frac{1,3559}{814,9} = 0,00166 \text{ м}^3 / \text{с}$$

$$D_{n.} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,00166}{3,14 \cdot 20}} = 0,01 \text{ м}$$

Будың шығысы:

$$T_p = 81^\circ \text{C}$$

$$w = 30 \text{ м} / \text{с}$$

$$V = \frac{\Phi + P}{\rho_{n.}} \quad (3.25)$$

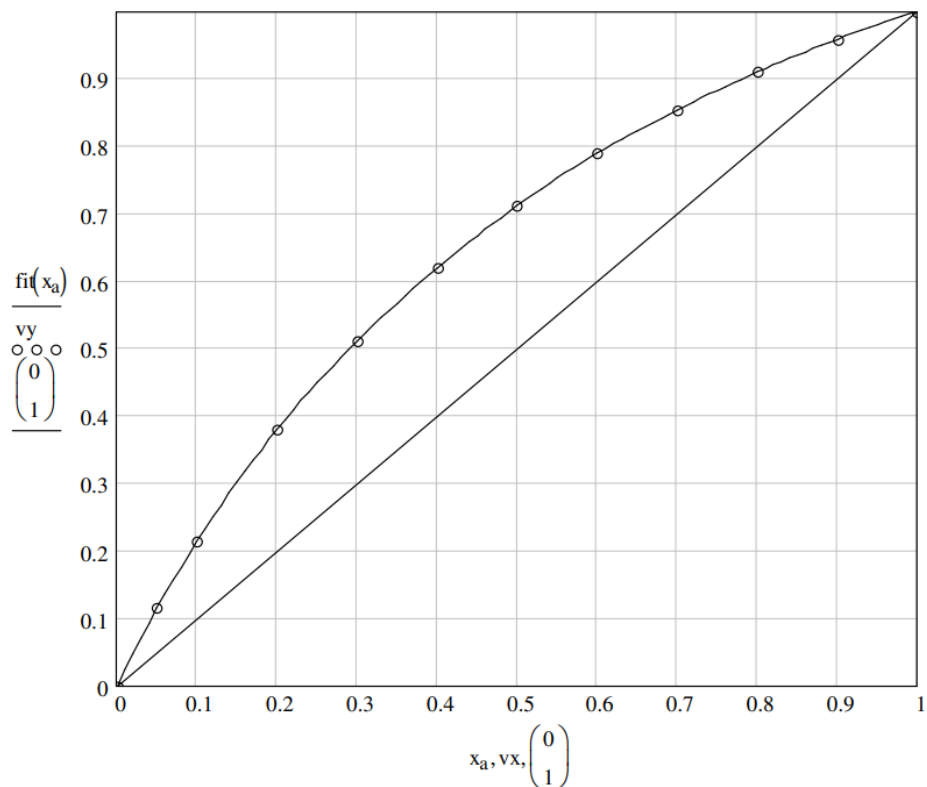
Будың тығыздығы (13) формула бойынша анықталады:

$$\rho_{n.ср.} = \frac{91,83 \cdot 273}{22,4 \cdot 354} \cdot \frac{760}{760} = 3,16 \text{ кг} / \text{м}^3$$

$$V = \frac{1,3559 + 0,558}{3,16} = 0,6 \text{ м}^3 / \text{с}$$

$$D_{n.} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,6}{3,14 \cdot 30}} = 0,16 \text{ м}$$

Флегма және бу сандарын анықтау үшін тепе-теңдік қисығының кестелік мәліметтерін интерполяциялау қажет. Бөлінетін қоспаның кестелік деректері [14].



3.8 – сурет - Бөлінген қоспаның тепе-теңдік қисығы

Текшеден (кубодан) сұйықтықтың шығуы:

$$T_w = 109,6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$w = 1 \text{ м/с}$$

$$V = \frac{F + \Phi}{\rho_{жс.}} \quad (3.26)$$

$$\rho_{жс} = 777 \text{ кг/м}^3$$

$$V = \frac{1,388 + 1,3559}{777} = 0,0035 \text{ м}^3 / \text{с}$$

$$D_{n.} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0035}{3,14 \cdot 1}} = 0,066 \text{ м}$$

Будың кірісі:

$$T_w = 109,6 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$w=25 \text{ м/с}$$

$$V = \frac{W + \Phi}{\rho_n} \quad (3.27)$$

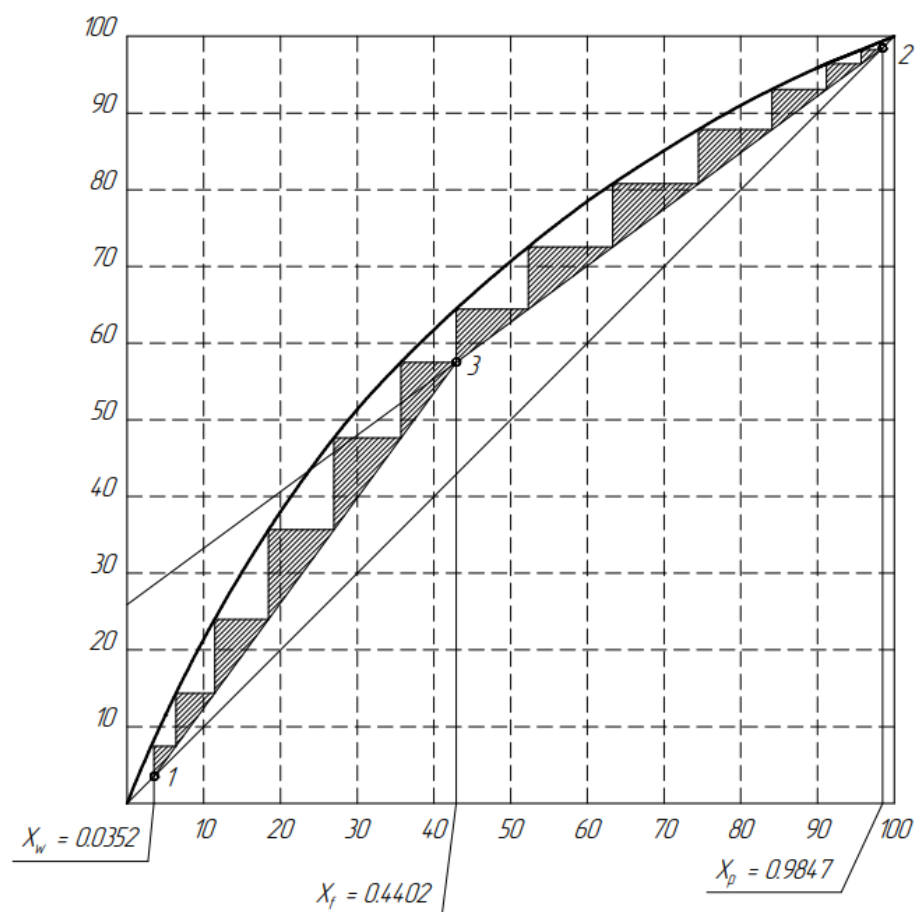
$$\rho_{n.c.p.} = \frac{91,93 \cdot 273}{22,4 \cdot 382,6} \cdot \frac{760}{760} = 2,93 \text{ кг/м}^3$$

$$V = \frac{0,83 + 1,3559}{2,93} = 0,746 \text{ м}^3 / \text{с}$$

$$D_n = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,746}{3,14 \cdot 25}} = 0,2 \text{ м}$$

3.4 – кесте - Ішкі базалық қысымы бар фланецті арматуралардың өлшемдері ОСТ 26-426-79 [14].

Белгіленуі	D _y ,мм	D _f ,мм	D _b ,мм	D,мм	d _н ,мм	h,мм	d _б ,мм	z	s, мм
Будың шығысы	150	315	280	174	160	18	16	8	3,5
Флегма кірісі	32	140	110	38	48	12	14	4	3
Будың кірісі	200	370	355	225	210	20	16	8	3,5
Текшеден (кубо) сұйықтықтың шығуы	80	205	170	97	85	14	16	4	3,5
Текшенің шығымдылығы	125	260	225	148	135	14	16	4	3,5
Бастапқы қоспаны енгізу	32	140	110	38	48	12	14	4	3
Монметр үшін	25	100	75	60	33	8	12	4	3
Деңгей көрсеткіші үшін	20	90	65	50	26	8	12	4	3
Деңгей өлшегішті орнату үшін	25	100	75	60	33	8	12	4	3
Сынапты термометр үшін	25	100	75	60	33	8	12	4	3



3.9 – сурет - Оңтайлы флегма коэффициентін анықтауға арналған график

Төменгілер химиялық аппараттың негізгі элементтерінің бірі болып табылады. Көлденең және тік құрылғылардың цилиндрлік толық дәнекерленген корпустары түбімен шектеледі. Дәнекерленген химиялық аппараттарда түбінің ең көп тараған түрі цилиндрде фланеці бар эллиптикалық пішін болып табылады.

3.5-кесте - Ішкі табанының диаметрлері ГОСТ 6533-78, мм [14] эллипстік фланецті болат түбінің өлшемдері

$D_{\text{вн}}$	$S, \text{мм}$	$h, \text{мм}$	$h_{\text{в}}, \text{мм}$	$F_{\text{в}}, \text{м}^2$	$V_{\text{в}}, \text{м}^3$
1000	4	50	250	1,24	0,17

Дәнекерленген химиялық аппараттарда түбінің ең көп тараған түрі цилиндрде фланеці бар эллиптикалық пішін болып табылады. Бұл түбінің пішіні бірнеше себептерге байланысты жиі қолданылады:

1) Жүктемелерді тиімді бөлу. Эллиптикалық пішін түбінің конструкциясы түбіне түсетін қысымды жақсы таратады. Бұл пішін цилиндрлік аппараттардың ішкі қысымына байланысты пайда болатын күштерді біркелкі бөлуге мүмкіндік береді, соның арқасында аппараттың беріктігі жоғарылайды. Цилиндрдің

қабырғалары мен түбінің арасындағы күштердің арақатынасы жақсы теңдестіріледі.

2) Өндіріс шығындарын төмендету. Эллиптикалық түбін дәнекерлеу және жасау процесі, әсіресе фланеці бар конструкцияларда, басқа пішіндермен салыстырғанда тиімдірек әрі қарапайым болуы мүмкін. Мұндай түбі бар аппараттарды жасау жеңіл және аз күш жұмсалатын процесс болып табылады.

3) Механикалық беріктік. Эллиптикалық түбінің пішіні аппараттың механикалық беріктігін арттырады, себебі ол күштерді бүкіл бетінде біркелкі таратады. Бұл түбтің ортақ құрылымдық беріктігін қамтамасыз етеді және ақаулардың алдын алады. Фланецінің болуы қосымша механикалық беріктік береді, сондай-ақ монтаждауды жеңілдетеді.

4) Жоғары қысымға төзімділік. Эллиптикалық пішін жоғары қысымға төзімді болып табылады, бұл химиялық аппараттарға тән жағдай. Бұл пішін ішкі қысымның аппараттың түбіне және қабырғаларына біркелкі таралуын қамтамасыз етеді, осылайша құрылымның бүтіндігі мен қауіпсіздігі артады.

5) Жұмыс орнындағы әсерлерге бейімделу. Фланеці бар эллиптикалық түбі химиялық аппараттардың көптеген түрлері үшін өте қолайлы болып табылады, себебі ол түбін түйіспе арқылы аппаратқа қосуға мүмкіндік береді. Бұл тәсіл аппараттың модификациясына, жөндеуіне және техникалық қызмет көрсетуге икемділік қосады.

Бұл пішін дәнекерленген химиялық аппараттарда, әсіресе, реакторларда, сепараторларда және басқа да қысым астында жұмыс істейтін аппараттарда жиі кездеседі. Ол көптеген химиялық процестер мен өндірістік жағдайларда сенімді жұмыс істеуді қамтамасыз етеді.

Сонымен, эллиптикалық түбі бар конструкция - химиялық аппараттардың беріктігін, жұмыс қабілетін және қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін қолайлы және кең таралған шешім болып табылады.

ҚОРЫТЫНДЫ

Ректификация - бұл сұйық қоспаларды әртүрлі компоненттерге бөлу процесі, оның негізінде сұйықтың булану және конденсациялану процестері жатыр. Осы процес арқылы жеңіл компоненттер жоғары қабаттарға көтеріліп, ауыр компоненттер төмен қабаттарға қалып қояды. Әрбір қайта булану мен конденсациялау кезінде компоненттердің бөлу дәрежесі артады, бұл сұйық қоспаның таза компоненттерге бөлінуін қамтамасыз етеді.

Бензол мен толуол қоспасы химиялық және физикалық қасиеттері бойынша ұқсас, бірақ олардың әрқайсысының өз қолданыс саласы мен ерекшеліктері бар. Осы қоспаны бөлу және тазарту үшін ректификация әдісі кеңінен қолданылады. Алайда, бұл қосылыстардың токсикологиясы мен экологиялық қауіптері ерекше назар аударуды талап етеді, сондықтан оларды өңдеу мен пайдалану кезінде қауіпсіздік шараларын сақтау өте маңызды.

Бензол - толуол қоспасын бөлуге арналған ректификациялық қондырғының жобалануының негізгі мақсаты — бұл тиімді бөлу процесін қамтамасыз ету, экологиялық қауіпсіздік пен энергия тиімділігін сақтау. Сонымен қатар, қондырғыны жобалау барысында оның автоматтандырылуы, қауіпсіздігі және экономикалық тиімділігі басты назарда болуы тиіс.

Орындалған жұмыс процесінде бензол-толуол қоспасын бөлу үшін дистилляциялық қондырғы жобаланды. Онда келесідей деректер алынды:

баған диаметрі -1000 мм;

баған биіктігі – 11,1 м;

цилиндрлік қабықтың, эллиптикалық түбінің және қақпағының қалыңдығы 10 мм.

ТСК-I пластинасы сұйықтықты қайта таратушы ретінде пайдаланылады.

Қондырғының материалды-жылу балансы есептелді, графиктер мен кестелер құрастырылды.

ПАЙДАЛАНЫЛҖАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Скобло А. И., Молоканов Ю. К., Владимиров А. И., Щелкунов В. А. Процессы и аппараты нефтегазопереработки и нефтехимии. Учебник для вузов. – 3-е изд., переаб. и доп. – М.: ООО «Недрабизнесцентр», 2000. – 677 с. ил.
- 2 Скобло А.И., Трегубова И.А., Молоканов Ю.К. Процессы и аппараты нефтеперерабатывающей и нефтехимической промышленности. - Москва: Химия, 2012 г.
- 3 Гусев В.П., Гусева Ж.А.. Процессы и аппараты химической технологии. Физико-химические и термодинамические свойства веществ/ Методическое пособие к выполнению курсового проекта по процессам и аппаратам химической технологии, в 2-х частях / Часть 2. – Т.: ТХТК, 2014. - 69 с.
- 4 Е.Н. Судаков, Расчеты основных процессов и аппаратов нефтепереработки. Химия, Москва 1979. 568 с.
- 5 Иоффе И.Л. Проектирование процессов и аппаратов химической технологии. - Л.: Химия, 1991.- 352 с.
- 6 Павлов К.Ф., Романков П. Г., Носков А. А. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии, М.: Химия, 1970. – 624 с
- Брисов Г.С., Брыков В.П., Дытнерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию. М.: Химия, 1991. 496с.
- 7 Дытнерский Ю. И. Основные процессы и аппараты химической технологии: пособие по проектированию. — М. : Химия, 1983. — 272 с.
- 8 В.В. Кафаров, Основы массопередачи. Высшая школа, Москва, 1972. 496 с.
- 9 Р. Рид, Дж. Праусниц, Т. Шервуд, Свойства газов и жидкостей. Химия, Ленинград, 1982. 592 с.
- 10 С.Г. Дьяконов, В.В. Елизаров, Д.В. Елизаров, С.А. Мерзляков, Вестн. Казан. технол. ун-та., 3, 1, 57–64 (2009).
- 11 К.Ф. Павлов, П.Г. Романков, А.А. Носков, Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов химической технологии. Химия, Ленин град, 1987. 576 с.
- 12 Гусев В.П. Процессы и аппараты химической технологии. Расчет теплообменных аппаратов/Методические указания к курсовому проектирования для студентов Томского химико-технологического колледжа. – Т.: ТХТК. 1994.- 70 с.
- 13 В. М. Рамм Абсорбция газов. Химия, Москва 1976. 656 с.
- 14 Лащинский А.А., Толчинский А.Р. Основы конструирования и расчета химической аппаратуры. Справочник. – Л.: Машгиз, 1970. – 753 с.
- 15 Фролов В.Ф. Лекции по курсу:”Процессы и аппараты химической технологии”.- СПб: ХИМИЗДАТ, 2003. - 608 с.

16 Основные процессы и аппараты химической технологии /Пособие по проектированию/, Г.С. Борисов, В.П. Брыков, Ю.И. Дытнерский и др. Под. ред. Ю.И. Дытнерского, 2-ое изд. Перераб. и дополнен. М: Химия, 1991 - 496 с.

17 Волжинский А.И., Флисюк О.М. Определение средних физических величин, потоков пара и жидкости: Методические указания. СПбГТИ (ТУ), СПб.: 2001 -6 с.

18 Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии, 8-е изд., М.: Химия, 1971. - 784 с.

19 Яблонский П.А., Озерова Н.В/ Проектирование тепло- и массообменной аппаратуры химической промышленности: Учебное пособие/СПб,1993-92с.

20 Основные процессы и аппараты химической технологии /Пособие по проектированию/, Г.С. Борисов, В.П. Брыков, Ю.И. Дытнерский и др. Под. ред. Ю.И. Дытнерского, 2-ое изд. Перераб. и дополнен. М: Химия, 1991 - 496 с.

21 СТ КазННТУ – 09 – 2023. Работы учебные. Общие требования к построению, изложению, оформлению и содержанию текстового и графического материала.- КазННТУ, 2023.