

«Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды ұлттық зерттеу университеті»
Коммерциялық емес акционерлік қоғам

ӘОЖ537.528.628

Қолжазба құқығында

ОСПАНОВА ДИДАР АСЫЛҚЫЗЫ

Жылу-масса алмасу динамикасына электргидравликалық эффектінің әсерін зерттеу негізінде жылу алмастырғыштардың тиімділігін арттыратын энергия үнемді технологиясын әзірлеу

8D05303- Жылуфизика және теориялық жылутехника

Философия докторы (PhD) дәрежесін
алу үшін дайындалған диссертация

Ғылыми кеңесшілер:

Сакипова Сауле Еркешевна – физика-математика ғылымдарының кандидаты, академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды ұлттық зерттеу университетінің профессоры (Қазақстан).

Нусупбеков Бекболат Ракишевич – техника ғылымдарының кандидаты, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университетінің профессоры (Қазақстан).

Шрагер Эрнст Рафаилович – физика-математика ғылымдарының докторы, ғылыми зерттеу Томск мемлекеттік университетінің профессоры (Ресей, Томск)

Қазақстан Республикасы Қарағанды, 2026

МАЗМҰНЫ

НОРМАТИВТІК СІЛТЕМЕЛЕР	4
БЕЛГІЛЕУЛЕР МЕН ҚЫСҚАРТУЛАР	5
КІРІСПЕ	6
1 ӨНДІРІС ОРЫНДАРЫНДА ҚОЛДАНЫЛАТЫН ЖЫЛУ АЛМАСТЫРҒЫШТАРДЫҢ ЖЫЛУФИЗИКАЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫ	12
1.1 Жылу алмастырғыштардың түрлері мен оларды қолдану салалары	12
1.2 Жылу тасмалдағыш сапасының негізгі көрсеткіштері	18
1.3 Жылу алмастырғыштарда қатты шөгінділердің пайда болу динамикасы	21
1.4 Қолданыстағы жылу алмастырғыштарды қақ шөгінділерінен тазалау әдістерінің ерекшеліктері	25
1.5 Электргидравликалық эффектінің физикалық процестері	28
1.6 Бірінші бөлімнің қорытындысы	32
2 ЖЫЛУ АЛМАСТЫРҒЫШТЫҢ ЖЫЛУ БЕРУ ТИІМДІЛІГІН АРТТЫРАТЫН ТЕХНОЛОГИЯНЫ ӨЗІРЛЕУ ҮШІН ЭЛЕКТРГИДРАВЛИКАЛЫҚ ЭФФЕКТІНІҢ ГАЗСҰЙЫҚТЫ АҒЫН ҚОЗҒАЛЫСЫНА ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ	33
2.1 Электрогидроимпульстік эффект кезіндегі қосфазалы ағынның гидродинамикалық параметрлерін зерттеуге арналған тәжірибелік қондырғы	33
2.2 Суасты жарылысы кезіндегі газсұйықты ағын қозғалысының гидродинамикалық параметрлерін есептеу әдістемесі	38
2.3 Соққы толқын әсері кезіндегі біртекті емес орта қозғалысындағы импульстік қысым динамикасын зерттеу әдістемесі	42
2.4 Дәстүрлі жылу алмастырғыштардың жылу беру қарқындылықтарын есептеу	45
2.5 Екінші бөлімнің қорытындысы	51
3 ТӘЖІРИБЕЛІК ЗЕРТТЕУДІҢ НЕГІЗГІ НӘТИЖЕЛЕРІ	53
3.1 Соққы толқын кезіндегі гетерогендік ортадағы гидродинамикалық параметрлерін анықтау	53
3.1.1 Газсұйықты ағын динамикасының электргидравликалық эффектiге әсерін зерттеу	53
3.1.2 Соққы толқын кезіндегі гетерогендік ортадағы импульстік қысым амплитудасының таралау заңдылықтары	62
3.1.3 Күрделі формалы құбырдағы қосфазалы ағындардың жылу масса алмасу құбылыстарын модельдеу	70
3.2 Жылу алмастырғыштың ішкі бетінде қалыптасқан қақ шөгінділерінің физика-химиялық зерттеу нәтижелері	77
3.2.1 Өндірістік қақтардың беттік құрылымының ерекшеліктері	78
3.2.2 Қақ шөгінділерінің сандық элементтік құрамын зерттеу нәтижелері	84
3.2.3 Рентгендік дифрактометр арқылы қақ құрылымын зерттеу нәтижелері	93
3.3 Жылу алмастырғыштардың тиімділігін арттыратын	

электрогидроимпульстік технологиясын әзірлеу.....	96
3.4 Беріктілігі төмен материалдан жасалған жылу алмастырғыштарды қақтардан тазалайтын электрогидроимпульстік технологияның тиімді параметрін анықтау.....	109
3.5 Үшінші бөлімнің қорытындысы.....	120
ҚОРЫТЫНДЫ	123
ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ	126
ҚОСЫМША А – Патент	133
ҚОСЫМША Ә – Электрогидроимпульстік қондырғы кешенін дайындаудың техникалық шарты	134
ҚОСЫМША Б - Электрогидроимпульстік қондырғы кешенінің суреті.	136
ҚОСЫМША В – ЭГҚ кешенін сынау АКТ-сі	137

НОРМАТИВТІК СІЛТЕМЕЛЕР

Диссертациялық жұмыста келесідей нормативтік сілтемелер қолданылды:
МЕМСТ 2.105-95 «Жобалау құжаттамасының бірыңғай жүйесі. Мәтіндік құжаттарға қойылатын жалпы талаптар».

МЕМСТ 2.114-95 «Жобалау құжаттамасының бірыңғай жүйесі: Техникалық сипаттамалар».

МЕМСТ 14.201-83 Өнім дизайнының технологиялық тұтастығын қамтамасыз етудің жалпы ережелері.

МЕМСТ 14.205-83 Өнім дизайнының өндірістік жарамдылығы.

МЕМСТ 24444-87 Технологиялық жабдық. Орнатуға қойылатын жалпы талаптар.

МЕМСТ 21623-76 Жабдықты күтіп ұстау және жөндеу жүйесі. Күтіп ұстауды бағалау көрсеткіштері (2023 жылдың 1 шілдесінде жаңартылды).

МЕМСТ 15150-69 Машиналар, аспаптар және басқа да техникалық өнімдер.

МЕМСТ 52931-2008 Технологиялық процестерді бақылау және реттеу құралдары. Технологиялық процестерді бақылау және реттеу құралдары.

МЕМСТ 26828-86 машина жасау және аспап жасау өнімдері. Таңбалау.

МЕМСТ 9.014-78 Коррозиядан қорғаудың және коррозияның алдын алудың бірыңғай жүйесі. Өнімдерді уақытша коррозияға қарсы қорғау.

МЕМСТ 12.1.038-82 Еңбек қауіпсіздігі стандарттарының жүйесі. Электр қауіпсіздігі. Байланыс кернеулері мен токтарының рұқсат етілген шекті мәндері.

МЕМСТ 12.3.002 Еңбек қауіпсіздігі стандарттарының жүйесі. Өндірістік процестер. Жалпы қауіпсіздік талаптары.

МЕМСТ 7.1-84. Кітапханалық және баспалық іс, ақпараттар бойынша стандарттар жүйесі. Құжаттың библиографиялық тізімі. Құрастыру ережелері және жалпы талаптар.

МЕМСТ 7.12-93. Кітапханалық және баспалық іс, ақпараттар бойынша стандарттар жүйесі. Құжаттың библиографиялық тізімі. Орыс тілді сөздердің қысқартылуы. Жалпы талаптар және ережелер.

МЕМСТ 7.54-88. Ақпарат, кітапханалық және баспалық іс бойынша стандарттар жүйесі. Ғылыми-техникалық құжаттардағы заттар мен материалдардың қасиеттері жөнінде сандық мәндердің келтірілуі. Жалпы талаптар.

БЕЛГІЛЕУЛЕР МЕН ҚЫСҚАРТУЛАР

ЭГЭ	Электргидравликалық эффект
ЭГҚ	Электрогидроимпульстік қондырғы
ЭГТ	Электрогидроимпульстік технология
ЖЭО	Жылу электр орталығы
КЭС	Конденсациялық электр орталығы
АЭС	Атом электр станциясы
ЖА	Жылу алмастырғыштар
ЖТ	Жылу тасмалдағыштар
ЕӨ	Ерігіштік өнім
КА	Катион, анион
ТС	Техникалық су
ЖҚЦ	Жоғары қысымды цилиндр
МТ	Механикалық тазалау
ХТ	Химиялық тазалау
АТЕАӨ	Аргументтерді топтастырып есепке алу әдісі
MDL	Minimal Description Length

КІРІСПЕ

Жұмыстың жалпы сипаттамасы. Диссертациялық жұмыста жылу алмастырғыштардың жылу беру тиімділігін арттыратын соққы толқын принципімен жұмыс істейтін көпсатылы LC-реттеу жүйесі бар, электрогидроимпульстік қондырғы технологиясын әзірлеу технологиясы қарастырылған. Жылу алмастырғыштардың тиімділігін арттыру құбырдың ішкі бетін қатты қақ шөгінділерінен тазарту процестерімен негізделеді. Қолданыстағы жылу алмастырғыштар, ұзақ уақыт жоғары температурада әртүрлі жылу тасмалдағыштармен жұмыс істейтін болса, уақыт өте келе құбырдың ішкі беттерінде тұзды тұнбалардан пайда болатын әртүрлі құрылымдағы және қалыңдықтағы қақ қабаттары пайда болады, олар құбырдың жылу беру сипаттамаларын төмендетіп, термикалық кедергілерін арттырады. Құбырдың ішкі беттерінде жинақталған қақ шөгінділері жылу алмастырғыштың геометриясын өзгертіп, құбырдың диаметрін азайтады, соның нәтижесінде құбыр арнасының қимасы цилиндрлік формада сақталмай, белгілі бір аймақта тарылып немесе кеңеюі мүмкін. Яғни, жылу алмастырғыштың ішкі бетінде қалыптасқан қақ қабаты, құбыр арнасының геометриясын диффузорлы немесе конфузорлы формадағы қима түрінде қалыптастырады. Жылу тасмалдағыш қозғалысы әсерінен пайда болатын қатты қақ шөгінділері құбырдың жылу беру тиімділігіне ғана емес, сонымен қатар ағынның гидродинамикалық заңдылықтарына да әсерін тигізеді.

Сондықтанда, жұқа қабатты түсті металдардан жасалған жылу алмастырғыштардың тиімділігін арттыратын электрогидроимпульстік қондырғы кешенін әзірлеу үшін әртүрлі қимадағы газсұйықты ағын қозғалысына электргидравликалық эффектінің әсері кезіндегі газсұйықты ағынның гидродинамикалық заңдылықтарын зерттеу қажет. Сол себепті, диссертациялық жұмыста жылу алмастырғыштың тиімділігін арттыратын қондырғы кешенін құрастыру үшін диффузор немесе конфузор құбырлардағы газсұйықты ағынның гидродинамикалық заңдылықтары тәжірибелік тұрғыда зерттеліп, нәтижесінде газсұйықты ағындағы сұйық және газ жылдамдықтары анықталды, гетерогендік ағын жылдамдығының газ концентрациясына тәуелділігі алынды, диффузор және конфузор құбырларының гидравликалық кедергілері есептелінді, газсұйықты ағын қозғалысына ЭГЭ-нің әсері кезіндегі импульстік қысым амплитудаларының таралу заңдылықтары зерттелді. Сонымен қатар, газсұйықты ағын қозғалысына ЭГЭ-нің әсері кезіндегі жылу-масса алмасу заңдылықтары модельденді.

ЖА-дың тиімділігін арттыратын ЭГҚ кешенін әзірлеу құбырды тазалау кезінде түзілетін гетерогендік ортаның гидродинамикалық заңдылықтарына ғана емес, сонымен қатар жылу алмастырғыштың ішкі бетінде түзілетін қақ құрылымының ерекшеліктеріне де тәуелді. Сол себепті, диссертациялық жұмыста физика-химиялық талдау әдістері негізінде қақ шөгіндісінің беттік құрылымдары мен сандық элементтік құрамы зерттеліп, рентгендік дифрактограммалары алынған. Осы зерттеу жұмыстарының нәтижесінде,

құбырларды қак шөгіндісінен тазалайтын резисторлық тізбектермен, коммутирлік релелермен және бақылау аспаптарымен жабдықталған, көпсатылы LC-реттеу жүйесі бар, қорғанис жүйесі жоғары дәрежеде сақталған, әмбебап, энергия үнемді, заманауи талаптарған сай орындалған, соққы толқыны негізінде жүргізілетін электрогидроимпульстік технологиясы жаңадан құрастырылып әзірленді. Жылу алмастырғыштарды қак шөгінділерінен тазалу процесін арттыру мақсатында ұсынылған ЭГҚ кешенімен қатар, құбыр ішіне 5-8% мөлшердегі газ концентрациясын қосу жұмыстары тәжірибелік түрде жүргізілді, нәтижесінде жылу алмастырғыштарды тазалау қарқындылығы 10-20%-ға артады.

Диссертациялық жұмыстың өзектілігі: Жылу алмастырғыш құбырлары жылуэнергетика облысындағы кез келген өндіріс орындарының негізгі құрылғылары болып табылады. Сондықтанда, жылу алмастырғыштардың тиімді жұмысы өндіріс орындағы отын қорын үнемді пайдалануға мүмкіндік береді, яғни энергия шығынын азайтады.

Қазіргі уақытта жылуэнергетика саласында энергия тиімділігін арттыру мәселелері, мемлекетіміздің ресурстарын үнемдеу мен жылу-техникалық процестерді оңтайландыру технологиялардың маңыздылығымен тікелей байланысты. Жылуэнергетика саласында жылу алмасу процесінің үлесі өте жоғарғы, сондықтанда жылу алмастырғыш қондырғыларының тиімділігін арттыру өндірістік шығындарды азайтудың негізгі бағыттарының бірі болып табылады. Қолданыстағы (дәстүрлі) құбырлардың конструкциялық және технологиялық мүмкіндіктері шектеулі болған кезде, олардың жылу-масса алмасу процестерін арттырудың жаңа технологияларын іздестіру бүгінгі күннің өзекті мәселелерінің бірі болып табылады. Осы уақытқа дейін өндіріс орындарында жылу алмастырғыштарды тазалаудың бірнеше әдістері қолданылады (гидродинамикалық, механикалық, химиялық және т.б.), дегенменде әрбір әдіс өзіндік артықшылықтары мен кемшіліктеріне ие. Сондықтанда, диссертациялық жұмыста жылу алмастырғыштардың жылу беру қарқындылығын арттыратын энергия үнемді суасты жарылысы негізінде жұмыс істейтін электрогидроимпульстік технологиясын әзірлеу ұсынылады.

Электргидравликалық эффект сұйық ортада кавитациялық процестің артуынан соққы толқындардың пайда болуымен негізделеді. Соңғы жылдары әртүрлі технологиялық процестерді ЭГЭ-нің әсерімен тиімді ету көп қызығушылықты тудырып келеді [1]. Сұйық ортаға берілетін электр разряды импульстік қысым толқындарын, кавитациялық құбылыстарды және турбуленттік ағындарды күшейтіп, жылу-масса алмасу тиімділігін арттырады. Яғни, сұйық ортадағы бұл құбылыстар жылу алмастырғыш беттеріндегі шекаралық қабатты бұзып, құбырдың ішкі бетіндегі қак қабаттарын жоюға жұмсалады, соның нәтижесінде жылу алмастырғыштың ұзақ мерзімді және сенімді жұмысы қамтамасыз етіледі. Дегенменде, осы уақытқа дейін ЭГЭ-нің сұйық ағынының жылу-масса алмасу динамикасына әсері жеткілікті деңгейде теориялық және тәжірибелік тұрғыда толық зерттелмеген, әсіресе ЭГЭ-нің қабырғасы жұқа, түсті металдардан жасалатын ЖА-дың энергетикалық

тиімділігіне байланысты зерттеулер толық ашылмаған. Барлық өндірісте қолданылатын ЖА-дың біраз бөлігі энергияны көп тұтанумен және жылулық жоғалтулармен сипатталады. Бұл мәселе энергия қорларының экономикасына және өндірістік процестердің тұрақсыздығына байланысты ерекше өзектілікке ие. Сондықтанда, жылуэнергетика салаларында жылу алмасу процестерін қарқындатудың энергия үнемді, инновациялық әдістері мен заманауи қондырғыларды әзірлеу – бүгінгі күннің ғылым мен техниканың маңызды проблемаларының бірі болып табылады. Сондықтанда, диссертациялық жұмыста ЭГЭ-нің сұйық ағынының жылу-масса алмасу динамикасына әсерін зерттеу, оның ЖА-дың қызмет ету қабілеттілігіне әсерін анықтау және энергия үнемді заманауи талаптарға сай жаңа технологияны әзірлеу жұмыстары қарастырылады. Яғни, ЖА-дың жылу беру қарқындылығын арттыруға бағытталған энергия үнемді электрогидроимпульстік технологиясы ұсынылады. Ұсынылып отырған ЭГҚ кешені өз кезегінде жылуэнергетика саласының басқа да аймақтарында қолданылуы мүмкін.

Диссертациялық жұмыстың мақсаты көпсатылы LC-реттеу жүйесі бар, энергия үнемді оңтайландырылған электрогидроимпульстік қондырғының көмегімен жылу алмастырғыштардың жылу беру тиімділігін арттыру болып табылады.

Осы мақсатқа сәйкес келесі **міндеттер** қойылды:

1 Жылу алмастырғыштардағы газсұйықты ағын қозғалысының динамикасы мен оның қасиеттеріне электргидравликалық эффектінің әсерін талдау және құбырлардың ішкі беттерінің ластану дәрежесін ескере отырып, қосфазалы ағынның гетерогенік параметрлері бойынша жылу-масса алмасу процесін модельдеу.

2 Жылу алмастырғыштардың тиімділігін арттыру үшін құбырдың ішкі бетін қатты қақ шөгінділерден тазалау технологиясын құрастыру мақсатында газсұйықты ағын қозғалысына соққы толқын әсері кезіндегі импульстік қысым амплитудасының таралу заңдылығын тәжіриелік түрде зерттеу.

3 Физика-химиялық талдау әдістері негізінде жылу алмастырғыштардың ішкі беттерінде қалыптасқан қатты қақ шөгінділерінің беттік құрылымын және сандық элементтік құрамын зерттеп, рентгендік дифрактограммаларын алу.

4 Жылу алмастырғыштардың жылу беру тиімділігін арттыруға мүмкіндік беретін көпсатылы LC-реттеу жүйесі бар энергия үнемді электрогидроимпульстік қондырғының тәжірибелік-зертханалық үлгісін жинақтау, әзірлеу және сынау жұмыстарын жүргізу.

Зерттеу нысаны. Қабырғасы жұқа түсті металдардан жасалынған жылу алмастырғыштардың ішкі беттерін қатты қақ шөгінділерінен электрогидроимпульстік технологиямен тазалау кезіндегі газсұйықты ағын қозғалысының жылу-масса алмасу процестері.

Зерттеу әдіснамасы. ЖА-дың ішкі беттерінде түзілген қатты қақ шөгінділерінің беттік құрылымы сканерлеуші электрондық микроскоп әдісімен зерттелді. Қақ шөгінділерінің сандық элементтік құрамы атомдық сіңіру спектрометрия әдісі арқылы анықталды. Қақ құрылымының рентгенфазалық

талдауы XPERT-PRO диффрактометр жүйесі арқылы жүргізілді. Диффузор және конфузор формалы құбырларда газсұйықты ағындағы импульстік қысым амплитудасының таралуы пьезометрлік дачиктер арқылы өлшенді, құбыр ішіндегі белгілер PC-500 сандық осциллографының көмегімен қабылданды, PCLab2000 қолданбалы бағдарламасы арқылы өңделді. Соққы толқын әсері кезіндегі гетерогендік ортадағы жылу-масса алмасу процесінің өзгеру заңдылықтары аргументтерді топтық есепке алу әдісімен (АТЕАӘ) модельденді. Өзірленген тәжірибелік-зертханалық кешенінің техникалық құжаттары нормалық стандартқа сәйкес дайындалды (МЕМСТ 21.623-23). ЖА-дың жылу беру тиімділігін арттыратын электрогидроимпульстік қондырғы кешені МЕМСТ 14.201-83 және МЕМСТ 14.205-83 мемлекетаралық стандарттар бойынша дайындалды.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы:

1 Алғаш рет, газсұйықты ағынның гетерогендік дәрежесін 8,56%-дан 31,12%-ға дейін артқанда импульстік әсер нәтижесінде сұйық жылдамдығы диффузорда 0,43м/с-қа дейін конфузорда 0,19м/с-қа дейін артатыны және газ концентрациясын 12,3%-дан 18%-ға дейін артқанда керсінше ағын жылдамдығы диффузорда 0,1м/с-қа конфузорда 0,05м/с-қа төмендейтіні тәжірибелік түрде дәлелденді.

2 Бірінші рет, соққы толқыны әсері кезінде газсұйықты ағынның гетерогендік дәрежесін 8,5%-дан 34% артқан кезде импульстік қысым амплитудасының өзгерісі 1-ден 0,25-0,35-ке дейін төмендейтіні зерттеу жұмыстары негізінде анықталды.

3 АТЕАӘ негізінде Рейнольдс санының $Re=(5000-6000)$ аралығында құбыр қимасы 20^0 -тан кіші жылу алмастырғыштардағы газсұйықты ағынның жылу беру коэффициенті (Нуссельт саны) құбырдың барлық қимасы бойынша 10-15%-ға артатыны анықталды.

4 Қатты қақ құрамындағы кальций оксидінің түзілуі жылу алмастырғыш жабдықтарының $60-70^0C$ -дан жоғары температурада, ұзақ уақыт бойы жұмыс істеуі нәтижесіне, ал аргониттік қосылыстардың пайда болуы жылу тасмалдағыштың жылу алмасу тиімділігін арттыратын ағынның турбуленттілік тәртібіне байланысты екені дәлелденді.

5 Физика-химиялық талдау әдістері бойынша пикті бойлерденн алынған қақ шөгінділерінің беттік құрылымы көпіршікті, жұмсақ, құм тәріздес екені, ал турбоагрегат конденсаторынан алынған қақ шөгінділерінің беттік құрылымы қатты, тығыз, цемент тәрізді екені анықталды. Сандық элементтік құрамын зерттеу бойынша қақ құрамы 33 элементтен тұратыны анықталды, оның ішінде мыс (Cu) элементі 2% шамасында, мырш (Zn) және фосфор (P) элементтері 8000 мг/кг, марганец (Mn) элементі 3000 мг/кг және бор (B) элементтері 1500 мг/кг мөлшерінде кездесетіні, нәтижесінде қақ құрылымы біртекті емес көп фазалы жүйе екені дәлелденді.

6 Бірінші рет, ішкі диаметрі 5мм-ден 100-мм-ге дейінгі және ластану дәрежесі 95%-ға дейін жететін түсті металдардан жасалынған жылу алмастырғыш құбырларын 90-98% тиімділікпен, энергия үнемдей отырып,

құбыр материалын зақымдамай тазалауды қамтамасыз ететін көпсатылы LC-реттеу жүйесі бар әмбебап электрогидроимпульстік қондырғы кешені құрастырылып әзірленді.

7 Жылу алмастырғыштардың жылуберу тиімділігін арттыру процесіне 5-8% мөлшерде газ концентрациясын қосу арқылы құбырларды тазалау қарқындылығын 10-20%-ға арттыруға болатыны дәлелденді.

Қорғауға ұсынылатын негізгі қағидаттар:

1 Газсұйықты ағынның гетерогендік дәрежесі 8,56%-дан 31,12%-ға дейін артқанда су жылдамдығы конфузорда 0,19 м/с-қа дейін жоғарласа, диффузорда 0,43 м/с-қа дейін артады, осы кездегі импульстік қысым амплитудасының шамасы 1-ден 0,25-0,35-ке дейін төмендейді және Nu саны 10-15%-ға артады. Бұл энергияның көлемдік тығыздығы мен қысым импульсі қарқындылығының құбыр қимасына тәуелді екенін көрсетеді.

2 Қақ (шөгінді) құрамындағы кальций оксиді жылу алмастырғыштардың жұмыс температурасы 60-70⁰С-тан жоғары кезде және ұзақ мерзімді тоқтаусыз жұмысы әсерінен түзілетіні, ал аргонит қоспалары – оның турбулентті қозғалысы мен жылдам қыздыру процестері кезінде пайда болатыны анықталды.

3 Ішкі диаметрі 5 мм-ден 100 мм-ге дейінгі жұқа, әрі ластанған (қақ) түсті металл құбырларын 5-8% газ көпіршіктерін қосу арқылы зақымдамай тазалайтын, энергоүнемді көпсатылы LC-реттеу жүйесі бар, электрогидроимпульстік технология кешені әзірленді.

Автордың жеке үлесі. Диссертациялық жұмыста ұсынылған барлық негізгі нәтижелер автордың жеке жүргізілген зерттеулердің нәтижесі болып табылады. Автор диссертациялық жұмыстың мақсаты мен міндеттерін тұжырымдап, тәжірибелік зерттеу жұмыстарын жүргізді, алынған нәтижелерге есептеулер мен талдау жасап, ғылыми қорытындылар мен ұсыныстарды қалыптастырды.

Жұмыстың мемлекеттік ғылыми бағдарламалар жоспарымен байланысы. Диссертациялық жұмыстың негізгі зерттеу нәтижелері №191/30-22-24 «Өнеркәсіптік жылу алмастырғыштардың жылу беру тиімділігін арттырып энергия үнемдейтін қондырғыны жасау» тақырыбындағы Қазақстан республикасының Ғылым және жоғары білім министрлігінің гранттық қаржыландыру ғылыми-зерттеу жобасы аясында орындалды, мемлекеттік тіркеу нөмірі AP14870433 (2022-2025) [3].

Жұмыстар мен жарияланымдардың апробациясы. Диссертациялық жұмыстың негізгі нәтижелері 4 халықаралық конференцияларда баяндалып, талданды: 1. Қазіргі әлемдегі өзекті ғылыми зерттеулер. Халықаралық ғылыми журнал. 10(90) шығарылым. 1 бөлім. (2022ж.); 2. XI Халықаралық ғылыми-практикалық конференция материалдары/Көлік және энергетиканың өзекті мәселелері: оларды инновациялық шешу жолдары. (Астана.2023); 3. «Жастардың заманауи тенденциялары: артықшылықтары мен елеулі кемшіліктері» атты XI Халықаралық ғылыми-практикалық конференция. (Испания. 2024); 4. XXII Халықаралық ғылыми-практикалық конференцияның ғылыми-зерттеу жұмыстарының әдістемесі мен ұйымдастырылуы. (Берлин,

Германия 2024.).

Жарияланымдар. Диссертацияның қорытындысы негізінде зерттеу жұмыстарының негізгі нәтижелері 8 баспа беттерінде жарияланды: Thomson Reuters және Scopus базасына кіретін журналда 3 мақала (1 мақала – Eurasian Physical Technical Journal, 2023, Scopus, квантиль Q-3, процентиль-25%; 1 мақала - Latvian journal of physics and technical sciences, 2023, Scopus, Q-3, процентиль - 43; 1 мақала - Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2023, Scopus, Q-3, процентиль-47), ҚР ҒЖБМ-нің ғылым және жоғары білім саласындағы сапаны қамтамасыз ету комитеті ұсынған журналдарда 1 мақала және халықаралық конференциялардың материалдарында 4 мақала жарияланды. Сонымен қатар, 19.04.2024 ж. №9019 «Құбырды тазалауға арналған электргидравликалық құрылғы» ҚР-ның пайдалы модельге патенті алынды (Қосымша А) және отандық ғылыми кеңесшілерімен бірге 2024 жылы «Электрогидроимпульстік технологияны өндірісте пайдалану жолдары» атты монографиясы (ISBN 978-601-362-288-0) шығарылды.

Жұмыстың практикалық құндылығы. Диссертациялық жұмыста жылу алмастырғыштардың жылу беру қарқындылығын аттыру үшін құрастырылып жинақталған электрогидроимпульстік қонырғы кешені су асты жарылысы негізінде құбыр ішіндегі сұйық ортаға 5-8% мөлшердегі газ концентрациясын қосу бойынша жүзеге асырылады. Сондықтанда, ұсынылып отырған ЭГҚ кешені ЖА-тың құрылымдық тұтастығын бұзбай (құбыр материалын зақымдамай) құбырларды тиімді тазалауды қамтамасыз етеді және ол құбыр қабырғасының қалыңдығы жұқа, түсті металдардан жасалынған ЖА-дың ішкі беттерін құрылымдары мен қалыңдықтары әртүрлі қақ шөгінділерінен тазалау үшін қолданылады. ЭГТ құбыр ішінде жоғары қысымды соққы толқынның пайда болуымен жүргізіліп, ЖА-тың ағын геометриясын қалпына кетіреді және жылу беру тиімділігінің артуына ықпал етеді. Аталған технология ЖА жабдықтарының энергия тиімділігін арттыруға, өндірістік шығындарды азайтуға, жылу алмастырғыш жабдықтарының пайдалану мерзімін ұзартуға және өндірістің аппараттық тоқтау ықтималдылығын төмендетуге мүмкіндік береді [4]. Электргидравликалық эффект негізінде жинақталып ұсынылған ЭГҚ кешені «AirLogistic» ЖШС-нің мекемесінде тәжірибелік сынақтан өткізілді.

Алынған мәліметтердің дұрыстығы мен сенімділігі. Зерттеу жұмыстарының нәтижелері Scopus базасына енгізілетін журналдарда шығарылған ғылыми мақалалармен, халықаралық конференцияларда жасалынған баяндамалармен, алынған ҚР-ның пайдалы модельге патентімен және жүргізілген тәжірибелік зерттеулер бойынша алынған негізгі мәліметтердің жеткілікті үлкен көлемімен расталады.

Диссертацияның құрылымы мен көлемі. Диссертациялық жұмыстың құрылымы қойылған барлық талаптарға сай орыналды және оның құрылымы кіріспеден, 3 бөлімнен, қорытындыдан, пайдаланған әдебиеттер тізімінен және қосымшадан тұрады. Диссертациялық жұмыс 137 бетті, 67 суретті, 10 кестені және 99 пайдаланған әдебиеттер тізімін қамтиды.

1 ӨНДІРІС ОРЫНДАРЫНДА ҚОЛДАНЫЛАТЫН ЖЫЛУ АЛМАСТЫРҒЫШТАРДЫҢ ЖЫЛУФИЗИКАЛЫҚ СИПАТТАМАЛАРЫ

Өндіріс орындарындағы жылу алмастырғыштар техникалық процестердің ажыратылмас бір бөлігі болып табылады. Жылу алмастырғыш қондырғылары температуралары әртүрлі қыздырылған екі орта арасындағы жылуды тасымалдауға арналған техникалық құрылғы. Жылу алмастырғыштағы жылудың тасымалдану процестері ішкі энергияның алмасуы бойынша жылуөткізгіштік пен конвективтік жылуалмасу процестері арқылы жүзеге асырылады.

Өндіріс орындарындағы жылу алмастырғыштар әртүрлі металдардан жасалынған үлкен және кішілі диаметрлі құбырлар, ЖА-дағы жылу таралу процестері бір немесе көпфазалы жылу тасымалдағыштар арқылы жүргізіледі. ЖА-тың негізгі сипаттамасы гомогендік немесе гетерогендік ағыс геометриясынан тұратын ЖТ қозғалысының салыстырмалы үлгісі болып табылады. Жылуэлектр орталықтарындағы және де басқа да өндіріс орындарындағы барлық техникалық процестердің іске асырылуы жылу беру қарқындылығымен сипатталатын жылу алмастырғыш қондырғылары арқылы жүргізіледі. Сондықтанда, ЖА-дың тиімділігін арттыру бүгінгі күннің жылу энергетикасы салалары бойынша жұмыс істейін инженерлер үшін өзекті мәселелерінің бірі болып табылады.

1.1 Жылу алмастырғыштардың түрлері мен оларды қолдану салалары

ЖА қондырғылары бір ортадан екінші ортаға жылудың таралуын қамтамасыз ететін қондырғы. Ал мұндағы жылуды тарататын ортаның агрегаттық күйі өзгеруіде немесе өзгермеуіде мүмкін (жылу тасымалдағыш түрі). Жылу алмастырғыштар әртүрлі параметрлерге байланысты жіктеледі. Мысалы қолдануы бойынша ЖА түрлері қыздырғыштар, буландырғыштар, буөндіргіштер, конденсаторлар, суытқыштар, радиаторлар, калориферлар және тағыда басқалары деп бөлінеді.

Жылу беру процестеріне байланысты жылу алмастырғыштар беттік және араластырғыш болып екіге бөлінеді. Беттік жылу алмастырғышта жылудың алмасуы құбыр қабырғасының беті арқылы жүзеге асырылады. Беттік жылу алмастырғыштардың 2 түрі бар рекуперативті және регенеративті [5].

Рекуперативті жылу алмастырғыш – жылу тасымалдағыштар арасында температуралық өрістің таралуы құбырлардың жұқа қабырғалары арқылы жүзеге асырылады. Рекуператор сөзі латын тілінде «recuperator» сөзінен аударғанда кері алу, қайтару мағынасын білдіреді. Сондықтан да, рекуперативті жылу алмастырғыштар шығарылатын сұйық немесе газдардың жылуын пайдалануға арналған беттік типтегі қыздырғыштар, мұндағы жылу алмасу процесі жылу тасымалдағыштар арасындағы қатты қабырға арқылы жүзеге асырылады. Мысалы, рекуперативті ЖА-ға бу қыздырғыштар, пикті бойлерлер, ауа қыздырғыштар, сулы экономайзерлер және де тағыда басқа жылу тарату қондырғылары жатады.

Рекуперативті ЖА көбінесе пластиналық қыздырғыштар деп аталады, яғни екі жазық пластина ортасында құбырлар орнатылған қыздыру беттері (құбыр ішімен қыздырылған жылу тасмалдағыш өтсе, құбыр сыртымен қыздырылатын жылу тасмалдағыш өтеді). Жылу тасымалдағыштың қозғалыс бағыты бойынша рекуперативті ЖА қарама-қарсы, араласқан және тура деп үшке бөлінеді. Құрылымдары бойынша рекуперативті ЖА-тар құбырлы, пластиналы және қырлы деп үшке бөлінеді. Дайындалу материалдары бойынша ЖА-ды металдық, мембраналық және пластиктік деп жіктейміз.

Рекуперативті ЖА-тар жазық бетті, құбырлы және блокты деп 3 түрге жіктеледі. Жазық бетті ЖА-да жылудың берілу процесі қыздырғыш беті арқылы үздіксіз жүреді және олар пластиналы, спиральды және екі қабырғалы болып үш түрге бөлінеді.

Пластиналық ЖА-та жылудың таралуы екі орта арасындағы арнайы тақтасы арқылы жүргізіледі [6]. Құрылымдарына байланысты пластиналық ЖА-тар өздігінен жиналмалы, дәнекерленген және жартылай дәнекерленген деп бөлінеді. Жиналмалы пластиналы рекуперативті ЖА екі негізгі қысым пластиналарынан тұрады: жылжымалы және корпусқа бекітілген. Екі пластинада бірнеше саңылаулар бар, осы саңылаулар арқылы әртүрлі диаметрлі кіріс және шығыс құбырлары қосылады. Екі қысым пластиналарының ортасында қалыңдығы 0,5 мм, тот баспайтын, суық штамптау әдісі арқылы дайындалған титаннан немесе болаттан жасалынған бірнеше пластиналар орналасқан. Екі қысым пластинасының ортасындағы бірнеше пластиналардың барлық қабаттары жұқа арнайы нығыздағыш резеңкемен қысылып бекітілген. Нығыздағыш резеңке материалы жоғары температураға және төзімділікке ие. Соның салдарынан, жұмыс арналары толығымен нығыздалып бекітіледі.

Спиральды рекуперативті ЖА-ның қыздыру беттері спираль түрінде оралып екі жұқа металл пластина ортасында орнатылған (1.1-сурет). Спираль түрінде оралған қыздыру беттері әртүрлі диаметрлі, жоғары температураға төзімді болат құбырлар, оралған спиральды қыздыру беттерін жабатын екі жұқа металл пластиналар жылудың таралуын қамтамасыз етеді [7].

Корпусты-құбырлы рекуперативті ЖА-дағы жылудың таралу процесі температуралары әртүрлі жылу тасмалдағыштар арасында корпус ішіне орнатылған бірнеше құбырлар арқылы жүзеге асырылады (1.2-сурет). Корпусты-құбырлы ЖА-дағы жылу тасмалдағыштардың біреуі корпус ішінде орнатылған құбырлар арқылы берілсе, екінші жылу тасмалдағыш корпус ішімен беріліп, құбыр ішіндегі бірінші жылу тасмалдағышты қыздырады. Екі жылу тасмалдағыш екі түрлі агрегаттық күйдегі орта бола алады, мысалы құбыр ішіндегі орта техникалық су болса, құбыр сыртындағы жылу тасмалдағыш қыздырылған бу болуы мүмкін. Көп жағдайда, корпусты құбырлы регенеративті ЖА-ға жылуэлектр орталықтарында қолданылатын жоғарғы және төменгі қысымды қыздырғыштар жатады. Сондай ақ, қарама-қарсы бағытты ЖТ-та жұмыс істейтін корпусты-құбырлы ЖА кеңінен қолданылады, себебі ЖТ-дың қарама-қарсы қозғалысы кезінде жылу беру пәрменділігі артады.

Корпусты-құбырлы ЖА-да жылу тасымалдағыштардың аз шығыны мен жоғары қысымы болады. Мұндай техникалық процестерде жұмыс істейтін ЖА-дың негізгі мақсаты кез-келген ЖТ ортаны жылыту немесе салқынлату болып табылады.



Сурет 1.1- Спиральды жылу алмастырғыш



Сурет 1.2- Корпусты-құбырлы жылу алмастырғыш

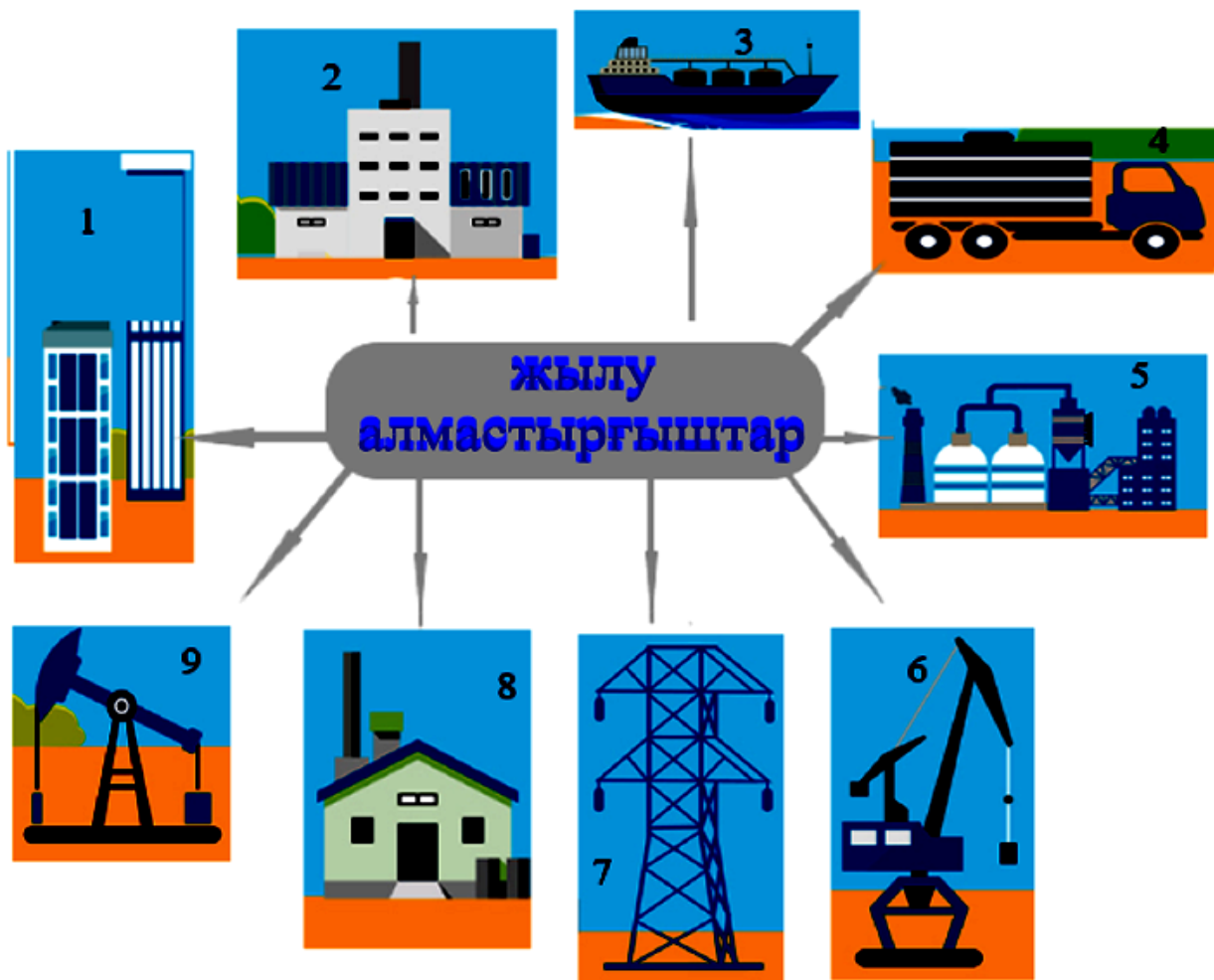
Корпусты-құбырлы рекуперативті ЖА аппараттық жағдайда жоғары төзімділікпен ерекшеленеді. Ол тұтастықты сақтайды және сұйықтың белсенді қозғалысының 12 балдық шкаласының 7 ұпайға дейінгі жұмысын жалғастыра алады [8].

Регенеративті ЖА қарапайым, жоғары тиімділікте жұмыс істейтін қондырғылар. Регенератор сөзі латын тілінен «regenerate» жаңа өмір беру қайта туылу мағынасын білдіреді. Сондықтанда, регенеративті ЖА-да жылудың таралу процесі әртүрлі температурадағы жылу тасымалдағыштар құбырдың бірдей беттерімен кезектесіп жанасуы арқылы жүзеге асырылады. Жылу тасымалдағыштың берілуі бойынша регенеративті ЖА мерзімді және үздіксіз болып екіге бөлінеді. Мерзімді регенеративті ЖА-тар бір немесе бірнеше камерадан тұрады, оларға кезекпен кезек «ыстық» және «суық» ЖТ-таркеліп түсіп отырады. Үздіксіз регенеративті ЖА-тар жылудың таралу беттеріне байланысты қозғалмалы және тұрақты деп екіге бөлінеді. Қозғалмалы үздіксіз регенеративті ЖА-тарда ЖТ-тар қыздыру беттеріне кезекпен кезек енгізіліп отыру арқылы жүргізіледі. Ал, тұрақты үздіксіз регенеративті ЖА «ыстық» және «суық» ЖТ-ға арналған құбырлары бар арнайы роторлар арқылы жұмыс жасайды.

ЖА-дың аралас түрі суық және ыстық ЖТ-дың тікелей байланысы бойынша жүргізіледі. Аралас ЖА-да құбыр бетінің іші мен сырты ластанбайды, себебі мұндай жылу алмастырғыштарда жылудың берілу қарқындылығы өте жоғары болады. Көбінесе, аралас ЖА-тар химия, металлургия, энергетика және т.б. үлкен өндіріс орындарында кеңінен қолданылады. Мысалы, аралас ЖА-ға

салқындату мұнаралары, конденсаторлар, соплолы қыздырғыштар және т.б. қыздырғыштар мен суытқыштарды жатқызуға болады.

ЖА өнеркәсіпте, коммуналдық шаруашылықта, мұнай өндірісінде, химия және де тағыда басқа үлкенді кішілі өндіріс салаларында кеңінен қоданыста, яғни ЖА күнделікті тұрмыстық техникадан бастап, үлкен ауқымды өндіріс орындарының барлық салаларында пайдаланылады. ЖА-ды қолдану аймақтары 1.3-суретте келтірілген [9].



Сурет 1.3 – Жылу алмастырғыштарды қолдану салалары

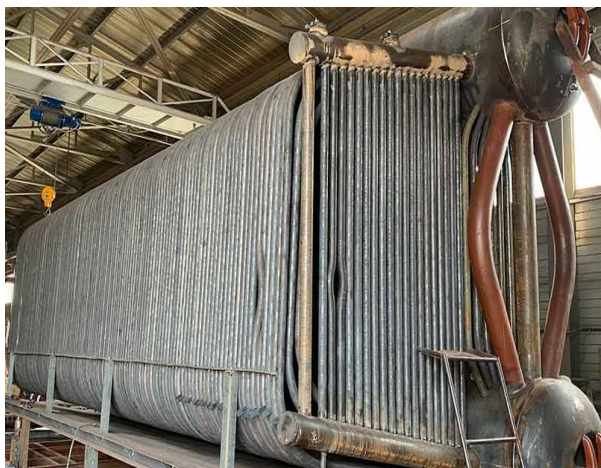
1-тұрғын үй коммуналдық шаруашылығы; 2-тамақ өнеркәсібі; 3-кеме жасау саласы; 4-машина жасау өндірісі; 5-химия өндірісі; 6-металлургиялық кәсіпорны; 7-жылуэнергетика облысы; 8-қағаз өндіріс орны; 9- мұнай шаруашылығы.

Жылуэнергетика саласы бойынша ЖА-тар көбінесе жылуэлектр орталықтарында (ЖЭО), конденсациялық электр станцияларында (КЭС), негізгі тарату электр станциясында (НТЭС), гидроэлектр станциясында (ГЭС), атом электр станциясында (АЭС) және де т.б. станцияларында кеңінен қолданылады.

Жылуэлектр орталықтары – энергетикалық отындарды қолдана отырып, отынның жылулық энергиясын электр энериясы мен жылу энергиясына

айналдыратын станция [10]. ЖЭО-ы будың жылулық энергиясын электр энергиясына түрлендіретін турбиндік цехтан, отынның жылулық энергиясын будың жылулық энергиясына айналдыратын қазандық цехынан, өндірілген электр энергиясын тұтынушыларға жіберетін электр цехынан және станцияның барлық жүйесінің техникалық процестері көрсетілетін басқару цехынан тұрады. ЖЭО-ғы конденсациялық электр станциясы (КЭС) сияқты конструктивті түре ұйымдастырылған. ЖЭО-ғы мен КЭС-ның арасындағы басты айырмашылық жылу мен электр энергиясының өндіру үлесінде және станцияда қолданылатын бу турбинасының түрлеріне байланысты болды. Яғни, КЭС-да электр энергиясын ғана өндіретін конденсациялық турбиналар, ал ЖЭО-да электр энергиясымен қатар жылуды өндіретін реттеу мен сұрыптауы бар жылуландыру турбиналары қолданылады. Турбоагрегаттар жылуэлектр орталықтарының басты қондырғысы болып табылады [11]. Турбоагрегат турбинадан және электр генераторынан тұрады, олар бір біліктің бойында орналасқан. Қарапайым турбиндік қондырғы біліктен, дискідан, жұмыстық қалақшадан және соплодан тұрады, жұмыстық қалақшалар бекітілген диск білікке орнатылған. Қыздырылған бу сопло арқылы жұмыстық қалақшаға беріліп, білікті айналдырады, яғни бу турбиндік қондырғы дегеніміз будың жылулық энергиясы біліктің айналу негізінде механикалық энергияға айналдыратын құрылғы. Қазандық цехындағы бу қазандықтары ЖЭО-ның негізгі құрылғысы, бу қазандығының негізгі мақсаты энергетикалық отындарды пайдалана отырып суды буға айналдыратын қондырғы [12]. Қазандық цехы отын дайындау бөлімінен, су дайындау құрылғысынан, ошақтан және көмекші қондырғылардан тұрады. Отын дайындау қондырғысы ЖЭО-ның негізгі отын түрі болып табылатын қатты отынды (көмірді) шаң түріндегі отын түріне айналдырады. Судайындау қондырғылары қазандыққа келіп түсетін қоректі судың сапасын ЖЭО-ның нормалық стандарты бойынша дайындайды. Бу қазандығының ошақ құрылғысы оттықтан, экрандық құбырлардан, барабаннан және суық воронкадан тұрады. Экрандық құбырлар жоғары температураға төзімді, диаметрі 20-24 мм құбырлардан тұрады, олар әрқашан ошақтың қабырғалары бойымен 5-6 мм арақашықтықта орналасады. Экрандық құбырларды жоғары көтерілу құбырлары деп атаймыз, себебі сулы-буға айналған жылу тасмалдағыш осы экрандық құбырлары арқылы жоғарғы көтеріліп, барабандағы сепарациялық құрылғыға беріледі. Жоғары көтерілу құбырларына параллель ошақ сыртында төмен түсіру құбырлары орналасады, бұл екі құбыр жоғарғы жағынан барабанға, төменгі жағынан коллекторға жалғанған (1.4а-сурет). Экрандық қыздыру беттері ошақта орналасқандықтан сәулелік жылуды қабылдайды, сондықтан да олар жоғары температураға төзімді «болат 20» маркалы материалдан жасалады. Бу қыздырғыштар қазандық агрегатының басты элементі, себебі турбинаға қажет параметрдегі бу осы қондырғыларда қыздырылады [13]. Орналасуы бойынша бу қыздырғышты 3 түрге бөлеміз, конвективті, радиациялық және жартылай радиациялық. Радиациялық бу қыздырғыштар ошақ ішінде орналасады және сәулелік жылумен қыздырылады, конвективті бу қыздырғыштар конвективтік шахтада

орналасады және түтінді газдардың жылуымен қыздырылады. Жартылай радиациялық бу қыздырғыштардың бір бөлігі ошақ ішінде бір бөлігі конвективті шахтада орналасады. Бу қыздырғыштар минимальды 435°C -дан максимальды 570°C -ға дейінгі температурада жұмыс істейді, сондықтан мұндай ЖА «болат 22» маркалы көміртекті болаттан жасалынады (1.4ә-сурет).



а) Экрандық қыздырғыштар



ә) Бу қыздырғыштар



Б) Ауа қыздырғыш



В) Пикті бойлер

Сурет 1.4 - Жылуэлектр орталықтарындағы жылу алмастырғыштар

Аралық қыздырғыштар қазандық қондырғысының конвективті шахтасында бу қыздырғыш пен сулы экономайзердің арасында орналасады. Аралық қыздырғыш қазандық қондырғысында орналасқанымен турбинаның жоғарғы

қысымды цилиндрінен (ЖҚЦ) келетін будың температурасын көтеру үшін қолданылатын жылу алмастырғыш. Аралық қыздырғыштар барлық қазандық қондырғыларында бола бермейді, тек қана үлкен қысымда және аса критикалық параметрлерде жұмыс істейтін қазандық агрегаттарында болады. Сулы экономайзер қазандық агрегатының конвективтік шахтасында орналасады. Олар барабанға берілетін қоректі суды түтінді газдардың жылуымен қыздыратын құрылғы. Сулы экономайзерлер қайнайтын және қайнамайтын деп екіге бөлінеді. Қайнайтын экономайзерлерде қоректі судың 20% буға айналады және мұндай сулы экономайзерлер айналым саны 1-ге тең тура ағынды қазандықтарда қолданылады. Қайнамайтын экономайзерлер табиғи және мәжбүрлі қазандықтарында қолданылады. Бу қазандығының ошағында отынның жану процесін қарқындататын ыстық ауаны өндіретін ауа қыздырғыштар түтінді газдардың төменгі температураларында жұмыс істейді (1.4б-сурет). Ауа қыздырғыштардың 2 түрі бар: рекуперативті және регенеративті. Ауа қыздырғышқа келіп түсетін атмосфералық ауа жағылатын отынның агрегаттық күйіне байланысты анықталады, шамамен 200⁰С-дан 400⁰С-ға дейін [14].

Пикті бойлер ЖА-тары жылулық энергияны өндіреді және тұтынушыларды жылумен қамтамасыз ететін құрылғы (1.4в-сурет). Пикті бойлер ЖА-тар турбинадан шығарылатын өңделген будың көмегімен қыздырылады, олардағы техникалық судың минимальды температура 60⁰С-тан максимальды 150⁰С-қа дейін болады [15].

ЖА-дың жылу беру пәрменділіктері құбырдың ішкі бетінде пайда болатын қақ шөгінділерінің құрылымы бойынша анықталады. Көбінесе ЖЭО-ның қыздыру беттерінде пайда болған қақ шөгінділері қоректі және техникалық су сапасының көрсеткіштері негізінде анықталады. Сондықтанда, келесі тарауда жылу тасмалдағыш сапасының көрсеткіштерін қарастырамыз.

1.2 Жылу тасмалдағыш сапасының негізгі көрсеткіштері

ЖА-да жылуды тарататын сұйық немесе газ түріндегі жылу тасымалдағыштар қолданылады. ЖЭО-да қолданылатын қоректі су сапасы техникалық судың қаттылығы, сілтілігі, қышқылдығы және рН көрсеткіші бойынша анықталады [16].

ЖЭО-дағы қоректі судың рН көрсеткіші судық тұрақтылығымен, қақ түзілуімен және коррозиялық қасиеттерімен анықталады, табиғи суда болатын химиялық және биологиялық процестерді болжау үшін маңызды критерийлердің бірі.

Техникалық судың қышқылдығы мен сілтілігін бағалау үшін сутегі иондарының концентратының теріс оң логарифміне тең рН көрсеткішін қолдану ыңғайлы. Сулы ертінділердің рН мәні олардың құрамынағы әлсіз қышқылдардың немесе диссоциациялану тиімділігін анықтайды. Табиғи суда шамамен рН мәні 6-8 аралығында болады және негізінен НСО₃ пен Н₂СО₃ концентратының судағы қатынасы бойынша анықталады.

ЖЭО-да қолданылатын техникалық судың қаттылығы кальций (Ca) мен (Mg) магий иондарының құрамымен анықталады, себебі қоректі судағы иондардың жалпы мөлшері ЖТ-дағы басқа иондар мен олардың қосылыстарына қарағанда салыстырмалы түрде көп болады. Кальций (Ca) мен (Mg) магий иондарының құрамы қоректі судың қаттылығын береді. Карбонаттың қаттылығы кальций (Ca) мен (Mg) магий гидрокарбонаттарына байланысты болады. Қоректі және техникалық судың қаттылық дәрежесі ЖА-тың ішкі беттерінде тығыз шөгінділерді түзіп, құбырдың жылу беру қарқындылығын төмендетеді. Сондықтан, техникалық және қоректі судан кальций (Ca) мен (Mg) магий иондарын шығару процестері жүргізіледі, бұл процесс жұмсарту деп аталады. Жалпы ЖЭО-да болсын, басқа да өндіріс орындарында болсын техникалық судың қаттылығы метрикалық титрлеу кешені бойынша, корбанаттық қаттылығы қышқылдық-негіздік титрлеу бойынша, корбанаттық емес қаттылығы жалпы немесе корбанат арасындағы айырмашылық бойынша анықталады.

ЖЭО-дағы техникалық және қоректі судың жалпы сілтілігі (Щ_0) әлсіз қышқылдар мен гидрооксид иондарының барлық анион концентраттарының қосындысы деп аталады [17]. Анион түріне байланысты сілтіліктер биокорбанатты, карбонатты, силикатты, гидратты және фосфатты болып бірнеше түрге жіктеледі.

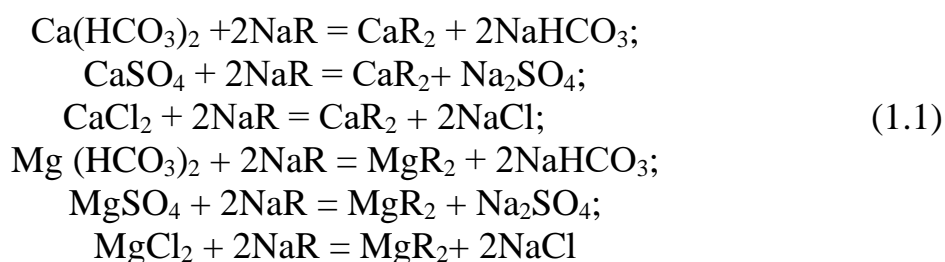
Өндірісте қолданылатын техникалық немесе қоректі суда қышқылдық болады, сондықтан ЖТ-дағы қышқылдық күшті, әлсіз және көп негіздегі қышқылдар деп 3-ке бөлінеді. Күшті қышқылдарға тұздар мен күкірт қышқылдары жатады, әлсіз бен көп негіздегі қышқылдарға көмір, кремний және фосфорлар жатады. Титрлі зат – техникалық немесе қоректі су ертінділеріндегі қышқылдар, олар титрлі сілтілік болып табылады.

ЖЭО-да қолданылатын техникалық немесе қоректі суда еріген газдардың концентраты көптеген факторларға байланысты, мысалы олардың табиғатына, жұмыс температурасына, минералдану дәрежесіне, судағы газдың парциальдық қысымына және рН мәніне тәуелді. Сол себепті, көптеген жағдайда өндіріс орындарында техникалық немесе қоректі судың технологиялық процестерін аналитикалық анықтау біршама қиындықтарды тудырады, сондықтан қазіргі кезде ЖЭО-да қолданылатын техникалық суды қазандыққа қажет қоректі суға келтіру үшін арнайы талдау әдістері қолданылады. Техникалық су құрамында оттегі мен көмірқышқыл газдары жиі кездеседі, яғни техникалық судағы CO_2 концентраты көмірқышқыл газының тепе-теңдік дәрежесіне тәуелді және 293К температурада шамамен $0,5 \text{ мг/дм}^3$ ($10^{-5} \text{ моль/дм}^3$) мөлшерін құрайды. Техникалық судағы оттегінің (O_2) концентраты органикалық заттар мен температураға байланысты анықталады және өндірістегі резервуардың қалыпты жұмысы үшін техникалық судағы оттегінің (O_2) шамасы $4-6 \text{ мг/дм}^3$ -тен төмен болмауы қажет [18].

Жылуэнергетика саласындағы қолданылатын техникалық судың жалпы сипаттамаларына аналитикалық талдау жасау үшін ҚР-ның 5 негізгі ірі жылуэлектр станцияларының қатарына жататын Қарағанды қаласының

«Караганда Энергоцентр» жауапкершілігі шектеулі серіктестігінің ЖЭО-3 өндіріс орны қолданатын техникалық су сапасына аналитикалық талдау жасалынды. Аналитикалық талау негізінде ЖЭО-3 өндіріс орны қолданылатын техникалық судағы құрғақ қалдығы 420-667 мг/л, сульфаты 62-102 мг/л, хлоры 84-116 мг/л, нитриті 3-19 мкг/л, нитраты 205-805 мкг/л, сілтілігі 1,7-2,7 мг/л, көмірқышқыл газы 1,9 мг/л, натрий 50-93 мг/л және мыс 3-17 мкг/л мөлшерлерінде кездеседі, сонымен қатар техникалық судағы рН мәні 7,8-8,4 шамасында және қаттылығы 2,5-5,5 мг-экв/л-ге тең.

ЖЭО-ның ЖА беттерінде қатты қақ шөгінділері пайда болмас үшін ион алмасу әдісі негізінде Na-катион сүзгілерін қолданып, техникалық судан тұздарды шығару арқылы суды жұмсарту процесі жүргізіледі. Өндірісте Na-катион сүзгілерін қалпына келтіру үшін 8-10% мөлшеріндегі ас тұзының ерітіндісі қолданылады. ЖА-дың жылу беру қарқындылығын арттыру мақсатында ЖЭО-3 өндіріс орнында қолданылатын техникалық су сапасын қоректі су көрсеткішінің талаптарына сәйкес техникалық судың қаттылық дәрежесін азайтатын, кальций (Ca) және магний (Mg) концентратын төмендету мақсатында Na-катион сүзгілерін қалпына келтіретін (1.1) негізгі ионалмасу теңдеулері құрылады [19]:



мұндағы

R-катиониттің аниондық (теріс зарядты) функциональдық тобы немесе катион алмастырғыш шайырдың матрицасы.

ЖЭО-да техникалық су құрамындағы сілтілік, қаттылық, тотығу және хлор шамалары сандық титрлеу қондырғысы бойынша, ал техникалық судағы темір, кремний, сульфаттар, нитриттер, нитраттар, натрий және мыс мөлшерлері фотоколориметр құрылғысы арқылы анықталады. ЖА беттерінде пайда болатын қақ шөгіндісі ЖЭО-3 өндіріс орнында қолданылатын техникалық су құрамына қосылатын тұзды ертінділерінің толықтай ерімеу салдарынан болуы мүмкін. Сондықтанда, ЖЭО-3 өндіріс орнынан алынған техникалық су құрамындағы еріген зат массасының концентрациясын анықтау мақсатында Сәрсен Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университетінің «ұлттық ұжымдық пайдалану» зертханасында «Winner-2005» қондырғысымен зертханалық жұмыстар жүргізілді. Зерттеу жұмыстары үшін ЖЭО-3 өндіріс орнынан 3 түрлі техникалық және қоректі су үлгілері алынды. Бірінші су үлгісі - химиялық цехқа келіп түсетін ТС, екінші су үлгісі – деаэраторға келіп түсетін ТС, үшінші су үлгісі – қазандыққа келіп түсетін қоректі су. Зерттеу нәтижесі бойынша химиялық цехқа келіп түсетін ТС-дағы еріген тұздардың

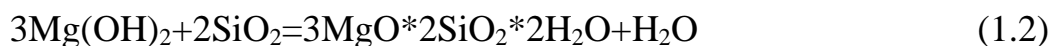
концентрациясының шамасы 2,40-3 миллилитрді, деаэраторға келіп түсетін ТС-дағы тұздардың концентрациясы 1-1,3 миллилитрді, қазандыққа келіп түсетін қоректі судағы тұздардың концентрациясы 0,7-1 миллилитрді көрсетті. Қондырғының техникалық шарты бойынша су құрамындағы тұздардың концентрация көрсеткіші 10 миллилитрді көрсетуі қажет. Сондықтан да зерттеу нәтижесі бойынша ЖЭО-3 өндіріс орнынан алынған техникалық судағы тұзды ертінділердің концентрациясы 10 миллилитрға дейін жетпеді, яғни бұл дегеніміз техникалық суға қосылатын барлық тұздар толығымен еріп кетеді.

ЖЭО-дағы ТС-ды қоректі су талаптарына сай дайындау кезінде қоректі су құрамында ешқандай артық бөлшектер болмайды, ТС-ға қосылатын барлық тұзды ертінділер толығымен еріп кетеді. Сондықтанда, ЖА беттерінде қатты қақ шөгінділерінің пайда болу заңдылықтарын қарастырамыз.

1.3 Жылу алмастырғыштарда қатты шөгінділердің пайда болу динамикасы

ЖЭО-да қолданылатын ЖА-дың жылулық процестері құбырдың ішкі беттерінде пайда болатын қатты қақ шөгінділерінің әсерінен төмендейді. Сондықтанда, ЖЭО-дағы ЖА-дың ішкі беттерінде қақ шөгіндісінің пайда болу динамикасын қарастырамыз.

Қазандық агрегаттарында пайда болатын қатты қақ шөгінділерінің құрамында кальций карбонатты (CaCO_3), магний гидрокарбонатты ($\text{Mg}(\text{OH})_2$ және MgCO_3), магний фосфаты $\text{Mg}(\text{PO}_4)_2$, темір оксидтері ($\text{Fe}_2\text{O}_3, \text{Fe}_3\text{O}_4$), мыс оксидтері ($\text{CuO}, \text{Cu}_2\text{O}$), органикалық заттар және т.б. қосылыстар пайда болады. Бу қаздықтардағы ЖТ-ның құрамында кремний қышқылы болса, онда ол магний гидроксидімен қосылысқа түсіп, серпентин түзеді, ол әдетте жоғары дисперсті шлам түрінде болады [20]:



ЖА-да пайда болатын қатты қақ шөгінділерін азайту үшін ЖЭО-дағы қоректі суға қойылатын нормалар қатаң түрде сақталу қажет. Осы мақсатта ЖЭО-на келіп түсетін техникалық су терең химиялық тазартудан өтіп, судайындау қондырғыларында дистилляцияға ұшырайды.

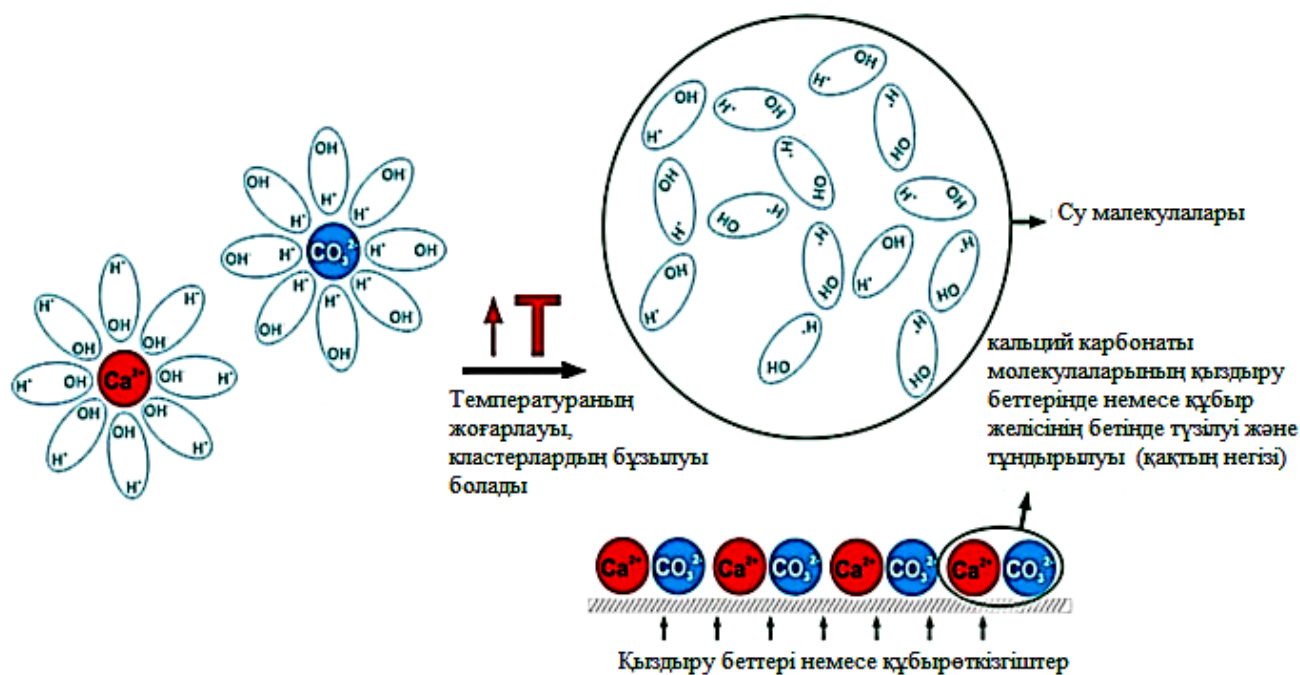
Жалпы қазандық агрегатында пайда болатын қатты қақ шөгінділері химиялық құрамына байланысты үш негізгі топқа бөлінеді [21]:

- 1 Сілтілі жергілікті қақ шөгінділері;
- 2 Темірлі немесе темір тотықты қақ шөгінділері;
- 3 Мысты, металл мысты және мыс оксидті.

Сілтілі жергілікті қақ шөгінділерінің құрамы $\text{CaCO}_3, \text{CaSO}_4, \text{CaSiO}_3, \text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2, \text{Mg}(\text{OH})_2$ қосылыстары басым болатын карбонатты, сульфатты, силикатты, фосфатты, кальций және магнийдан тұрады. Темірлі қақ шөгінділерінің құрамына темір тотықты ($\text{Fe}_2\text{O}_3, \text{Fe}_3\text{O}_4$), темір фосфатты ($\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$ және NaFePO_4) және темір силикатты ($\text{Na}_2\text{O}, \text{Fe}_2\text{O}_3, \text{SiO}_2$) қатты

қалдықтар кіреді. Мысты қақ түрлеріне металл мысты және мыс оксидті (CuO , Cu_2O) қақ шөгінділері жатады.

Көп жағдайда қатты қақ шөгінділері аралас сипатқа ие. Қазіргі өндірістегі ЖА беттерінде қатты қақ шламдар физика-химиялық процестердің нәтижесінен пайда болады (1.5-сурет). ЖА-дың ішіндегі физика-химиялық процестердің негізгі жүйесі қатты фазалардың қалыптасу нәтижесі болып табылады және олар көп қосылысты тұзды ерітінділерден қатты фазаның бөлінуімен сипатталады.



Сурет 1.5- Көп компонентті тұзды ерітінділерден қатты фазаның қалыптасу процесі

Тұз ерітіндісінен қатты фазаның бөлінуі оны қыздыру және қайнату кезінде әртүрлі жолдармен жүруі мүмкін, мысалы тұздың қаныққан ерітіндісінен алдымен металл бетінің жеке бөліктеріне бастапқы қалдық қатты заттар шөгілуі мүмкін, содан кейін олар үлкейіп өседі. Құбыр қабырғасының материалы мен қатты шөгінділер арасындағы байланыс металдың беткі қабатының кедір-бұдырлығымен түсіндіріледі. ЖА бетіндегі көптеген кедір бұдырлар қаныққан ерітіндіден қатты фазаның түзілу орталықтары болып табылады. Сонымен қатар, ЖА-тың қыздыру беті әдетте металл мен ерітіндіден пайда болатын шөгінділер арасындағы цементтеу қабаты ретінде оксидтер қабатымен жабылады. Қақ шөгінділерін түзетін негізгі компоненттерге кальций сульфаты, кальций силикаты және күрделі алюминий ферросиликаттары жатады.

Бу қазандықтардағы ЖА-да қатты шламның түзілуі кальций мен магний ертінділерінен тұзды тұнбаның нәтижесінен пайда болады [22]. ЖА-тың ішкі бетінде түзілетін ертінді тұнбасында тұздың бірнеше молекулалары жинақталып, уақыт өткен сайын тұзды тұнбалар өсе бастайды, осылайша құбыр

ішіндегі тұзды тұнбалар субмикроскопиялық өлшемдерден микроскопиялық өлшемдерге ауысады. ЖА-тың ішкі бетінде түзілген тұнба аморфты немесе жасырын қатты құрылымға ие болады, кішігірім тұнба түріндегі қақ бөлшектері бірігіп, уақыт өте келе қатты шөгінділер немесе қабыршалы қақ қабатын түзеді. Қатты қақ шламдарын түзуші қоспалар магний силикаты (серпенит), гидроксипатит және кальций карбонаты болып табылады.

Ерітіндіден бөлінетін кейбір қатты фазалар қыздыру немесе суыту беттерінде қатты түрде қалыптасады, қыздыратын немесе суытылатын ЖА бетінде түзілетін қақ шөгіндісі берік және тығыз болады. Ерітіндідегі басқа қосылыстар су бағанына суспензия бөлшектері ретінде түседі. Қыздыру немесе суыту ЖА-дағы тұзды тұнбалардың қатты түрде пайда болу құбылысы құбыр бетінің бірінші қақтану процесі деп аталады. Қазандықтағы қоректі су қоспасына түскен бөлшектердің құбыр бетіндегі тұзды тұнбаға түсіп, қыздыру бетіне берік жабысатыны екінші қақтану процесі деп аталады.

Ерімейтін заттың қаныққан ерітіндісінде ион концентратының өнімі берілген температурада заттың ерігіштік шегін сипаттайды және заттың температурасы мен химиялық табиғатына тәуелді ерігіштік өнімнің (ЕӨ) мәніне жетеді. Егер КА шамасымен қиын еритін тұздарды белгілейтін болсақ, онда тұздардың қаныққан ерітіндісі келесі түрде жазылады [23]:

$$(C_{K^+} \cdot C_{A^-}) = E\Theta_{KA} \quad (1.2)$$

мұндағы

C_{K^+} және C_{A^-} - катион мен анионға сәйкес концентрация шамасы, олардың өлшемі ерітіндінің текше дециметріндегі грамм иондарының санымен көрсетіледі (г-ион/дм³);

K^+ - катион;

A^- - анион.

Кальций сульфатының, көмірқышқыл газының және кремний қышқылының қаныққан ерітінділері келесі өрнекпен сипатталады:

$$\begin{aligned} C(Ca^{2+}) \cdot C(SO_4^{2-}) &= E\Theta(CaSO_4), \\ C(Ca^{2+}) \cdot C(CO_3^{2-}) &= E\Theta(CaCO_3), \\ C(Ca^{2+}) \cdot C(SiO_3^{2-}) &= E\Theta(CaSiO_3). \end{aligned} \quad (1.3)$$

Тұзды ерітінділердің құрамына кіретін иондар концентрациясының көбейтіндісі ерігіштік көбейтіндісінің мәнінен асқан жағдайда ғана тұзды ерітінділер ЖА бетіне түсе бастайды.

Бір ионның концентраты артқан кезде басқа ионның концентраты төмендейді, себебі берілген температура үшін ЕӨ-нің мөлшері өзгеріссіз қалады. Егер қандайда бір тұздың қаныққан ерітіндісіне катион немесе анион түрінде бірдей электролит қосылса, онда ерітіндінің тепе-теңдігі тұздың ерігіштігін азайту бағытында қозғалып, оның артық мөлшерін қатты фазаға шығарады. Мысалы, қаныққан $CaSO_4$ ерітіндісіне Na_2SO_4 электролиті немесе

CaCl_2 қосылған кезде CaSO_4 ерігіштігінің төмендеуіне қарай тепе-теңдік бұзылады, оның артық мөлшері қатты фазаға бөлінгеннен кейін ерігіш өнім өзгермейді (CaSO_4), бірақ Ca^{2+} және SO_4^{2-} иондары концентрациясының өзгеруімен жаңа тепе-теңдік күйі орнатылады.

Қазандық агрегатының ошағында орналасқан экрандық құбырландың (ЖА) ішкі бетінде мыс қақтарының түзілуі қоректі су құрамындағы мыс қосылыстарының бу генераторына түсуімен байланысты болуы мүмкін [24]. Бу қазандықтарына берілетін қоректік су бу өндіру жүйесіне түспес бұрын ЖЭО-ның конденсаторы, салқындатқышы, деаэраторы және регенеративті қыздырғыштары сияқты ЖА арқылы өтіп, қазандықтағы сулы экономайзерге келіп түседі. ЖЭО-ның конденсатор, деаэратор және регенеративті ЖА-ы көбінесе мыс немесе мыс қорытпаларынан жасалғандықтан, құбырларды қолдану барысында коррозиялық-эрозиялық процестер нәтижесінде мыс иондары мен ұсақ дисперсті бөлшектер қоректі сумен бірге келесі этаптарға өте береді. Сондықтанда, құрамында мыс иондары бар қоректі су бу қазандығына келіп түскен кезде жоғары температура мен қысымның әсерінен мыс қосылыстарының тұнбаға түсуі және металл беттеріне адсорбциялануы жүреді. Нәтижесінде бу қазандығының экрандық ЖА-ның ішкі беттерінде мыс шөгінділері жиналып, жылу беру тиімділігін төмендетеді, құбыр материалының қызып кету қаупін арттырады және қондырғының сенімділігі мен тиімділігіне кері әсерін тигізеді.

ЖЭО-дағы қоректі суда сілтілік мыс еріген кезде күрделі қосылыстар пайда болады және олар ыдырап, металл мысына дейін тотықсыздануға қабілетті мыс иондарын құрайды, яғни $\text{Cu}^{2+} + 2e = \text{Cu}^0$. Бұл кезде электрондар көзі темір металы болып табылады, ол 2 валентті темір түріне аусады: $\text{Fe}^0 = \text{Fe}^{2+} + 2e$.

Бугенераторындағы булану процесінде әдетте суда еритін заттардың қоспалары болады: сульфаттар, хлоридтер, фосфаттар, силикаттар және натрий гидроксиді, олар қоректік суға қосымша сумен келіп түседі (конденсаттармен және конденсаторлардағы салқындатқыш су сорғышымен) [25].

Қазандықтағы қоректі судың терең булануы және натрий қосылыстарының ерігіштігінен жоғары мөлшердегі концентрацияға жеткен кезде олар қатты қалыпқа келіп, қыздыру беттерінде қатты шөгінділер түзеді [26]. Қазандық агрегатындағы қоректі су құрамында натрий қосылыстары болған кезде ерітіндінің қайнау температурасы таза сумен салыстырғанда жоғары болуы керек. Яғни натрий тұздың бір компоненті ерітіндінің қайнауы кезінде еріген заттың қатты фазада шөгуі үшін жүйенің температурасы таза судың қайнау температурасынан едәуір мәнде жоғары болуы қажет. Бұл процесс ерітіндідегі еріген зат концентрациясына байланысты қайнау температурасының артуымен түсіндіріледі. ЖА-дағы жылу тасмалдағыш температурасының жоғарлауы нәтижесінде ерітіндіде қанығу процесі пайда болып, тез еритін заттар қатты түрге ауысып, құбыр бетінде қақ шөгінділерінің түзілуі күшейеді. Қазандықта гидродинамикалық қателіктер болмаған кезде және көпіршікті қайнау режимі сақталған уақытта құбыр қабырғасындағы қызып кеткен сұйық қабат пен қазандық суының негізгі көлемі арасындағы жылу-масса алмасу процесі тиімді

түрде жүргізіледі. Сондықтан, осындай жылу-масса алмасу процесінде қыздыру бетінен бу көпіршіктері уақытылы ажырауы салдарынан, құбырдың ішкі қыздыру бетінің және қабырға маңындағы су қабаты температурасының жергілікті үлкен болуы айтарлықтай байқалмайды. Дегенмен, қазандықтағы айналым еселігінің төмендеуі және қос фазалы ағындағы бу мөлшерінің артуы көпіршікті қайнау процесінен қауіпті қабықшалы қайнау тәртібіне ауысу жүреді. Бұл процесс қайнау дағдарысы деп аталады. Мұндай кезде ЖА-тың қыздыру бетінен бу көпіршіктері уақытылы ажырап үлгермегендіктен, құбыр қабырғасында бу оқшаулағыш қабат түзіледі. Соның нәтижесінде құбыр қабырғасының маңындағы қабат пен ағын ядросы арасындағы масса алмасу бұзылып, ерітіндінің құбыр қабырғасына жұқаруы немесе толық булануы жүреді, осы кезде құбырдың температуралық тәртібі күрт төмендейді. Нәтижесінде, ЖА-тың ішкі бетінде барлық тұздардың, соның ішінде жеңіл еритін натрий қосылыстарының қарқынды тұну процесі байқалады. Құбырдың ішкі бетіндегі осы тұнбалар уақыт өте келе қатты қақ шөгінділеріне айналады. ЖА-тың жылулық кернеуі жоғары аймақтарда шоғырланған натрий қосылыстары қазандық металдарының оксидтерімен топ химиялық реакцияларға түсіп, соның нәтижесінде ерімейтін аралас қақтарға айналуы мүмкін. Яғни, ЖА-дағы белгілі бір қолайсыз гидродинамикалық және жылулық жағдайларда натрий қосылыстары қауіпті қақ түзуші факторға айналады.

ЖА-дың ішкі бетінде пайда болған қатты қақ шөгінділерінің құбыр жұмысына әсері [27]:

- құбырдың термикалық кедергісін арттырып, жылу беру тиімділігін төмендетеді;
- температуралық кернеуді арттырады;
- құбыр қимасының тарылуына байланысты гидравликалық кедергіні жоғарлатады;
- отын мен жылулық энергия шығынын арттырады.

Сондықтан, ЖЭО-да ЖА-дың жылу беру тиімділігін арттыру мақсатында құбырдың қыздыру беттерін мерзімді түрде тазалау және өндірістегі бу-су тәртібін тұрақты бақылау қажет. Қазіргі кезде ЖА-ды тазалайтын бірнеше әдістүрлері бар, олардың артықшылықтары мен кемшіліктерін келесі тарауда қарастырамыз.

1.4 Қолданыстағы жылу алмастырғыштарды қақ шөгінділерінен тазалау әдістерінің ерекшеліктері

Жылуэнергетика саласының және ЖЭО-ның барлық жүйелерінде ЖА-тар кең ауқымда қолданылады [28]. ЖА-ды қолдану барысында жұмыс ортасы температурасының өзгеруіне байланысты жылу тасымалдағыштар құрамындағы химиялық қосылыстары құбыр металл бетімен әсерлесе отырып, құбыр ішінде қақ түріндегі қатты тұнбаларды түзеді. Құбырдың ішкі бетінде түзілген қатты қақ шөгінділері морфологиялық құрылымына байланысты әртүрлі қоспада кездеседі, мысалы ЖЭО-ның ЖА-да көбінесе сілтілі жергілікті, темірлі және мысты қақ шөгінділері түзіледі [29].

Қазіргі кезде ЖЭО-да қолданылатын ЖА-да қақ шөгінділерінің пайда болуын алдына алу мақсатында, қазындық агрегатына келіп түсетін қоректі суды химиялық әдістер бойынша дайындау жұмыстары жүргізіледі [30]. Қоректі суды дайындау суды жұмсарту, тұзсыздандыру, деаэрациялау және химиялық әдістермен өңдеу процестері негізінде жүргізіледі. Қоректі суды дайындау процестерінің нәтижесінде ЖЭО-дағы ЖА-да қақ шөгінділерінің пайда болу динамикасын төмендетеді, дегенменде қоректі судағы тұзды ерітінділер тұнбасы ЖА-тың жұмыс ортасы температурасының өзгерісі салдарынан пайда болады. Сондықтанда, ЖА-дың жылу беру қарқындылығын арттыру мақсатында оларды зақымдамай тазартудың тиімді технологиясын қарастыру қажет.

Өндіріс орындарында және ЖЭО-да қақ шөгінділерімен ластанған ЖА-ды тазалаудың бірнеше әдістері қолданылады, мысалы механикалық, гидрокавитациялық, ультрадыбыстық, гидромеханикалық және электргидроимпульстік. Әрбір әдістің тиімділігі қақ шөгінділерінің құрамы мен қалыңдығына, құбыр материалына және ЖА-дың қолдану жағдайына тәуелді. Сондай ақ, ЖА-ды қақ шөгінділерінен тазалайтын әрбір әдіс өзіндік кемшіліктер мен артықшылықтарға ие. Сол себепті, жылуэнергетика салаларында қолданылатын ЖА-дың сенімділігі мен ұзақ мерзімді жұмысын қамтамасыз ету үшін құбырларды қақ шөгінділерінен тазалау әдістерін жетілдіру және оларды қолдану тәртіптерін қалыптастыру бүгінгі күннің өзекті мәселелерінің бірі болып табылады.

ЖА-ды қақ шөгінділерінен механикалық тазалау (МТ) ең қарапайым әдісі болып табылады және оның кемшіліктеріне қарамастан кез келген өндіріс орындарында кең ауқымда қолданылатын әдіс [31]. ЖА-ды қақ шөгінділерінен МТ әдісінің артықшылығына техникалық қызмет көрсету процесі оңай, әрі ыңғайлығын, қызметкерге қойылатын талаптың төмендігін, қақ шөгінділерінің кез келген түрін тазалау мүмкіндігінің жоғары дәрежесін жатқызуға болады. Бірақ, ЖА-ды қатты қақ шөгінділерінен тазалаудың кемшіліктеріне адам еңбегінің үлкен мөлшерін, тазалау кезіндегі құбыр материалының зақымдану ықтималдылығының жоғары болуын және ЖА-тың ішкі бетін толық тазалау мүмкін еместігін айта кетуге болады.

Қатты қақ шөгінділерімен ластанған ЖА-ды гидрокавитациялық тазалау әдістері РФ-ның «Зевс құбыр» ЖШС-нің «Торнадо» деп аталатын құрылғысында қолданылады [32]. «Торнадо» қондырғысы қақтармен толықтай бітелген ЖА-ты жоғары жылдамдықпен тиімді тазалауды қамтамасыз етеді. Қондырғыдағы кавитатордың айналу жылдамдығының диапазоны 100-1200 айн/мин. Кавитатордың айналуы 100 айн/мин болған кезде тазартылатын құбырдың ішінде төменгі жиілікті резонанстар пайда болып, ЖА-тағы қақтардың бұзылуын тездетеді. Ал кавитатордың айналу жылдамдығы 1200 айн/мин жоғары болғанда, құбыр ішіндегі қақтарды бұзу процесінде кавитацияның пайда болуына жол бермейтін құйынды экран пайда болып, ЖА-тағы қақ шөгінділерінің бұзылу жылдамдығын бірден төмендетеді. Сұйық ортада жұмыс істейтін кавитаторы бар «Торнадо» құбыр тазартқыш құрылғысы

электр немесе пневматикалық айналу жетегімен жабдықталған. ЖА-ды қақ шөгінділерінен тазалайтын «Торнада» қондырғысы қолжетімді және 1,5 кВт қуатта, 0,2-0,4 МПа қысымда диаметрі 30 мм-ге дейінгі болат материалынан жасалынған құбырларды қақтардан жылдам, әрі тиімді тазартуға мүмкіндік береді.

Өндіріс орындарындағы ЖА-ды ультрадыбыстық тазалау әдісі құбыр мен қақ бетіндегі ультрадыбыстық тербелістердің пайда болуымен негізделеді. [33]. Құбыр металының және қақ құрылымының әртүрлі физика-механикалық қасиеттеріне байланысты ультрадыбыстық тербеліс жарықтары ЖА бетіндегі қақ қабатына түсірілгеннен кейін қатты шөгінділер құбыр металынан бөлініп шығарылады. Ультрадыбыстық әдісі ЖА-тың сыртқы бетін тазалауға жарамды жалғыз әдіс болғанымен ерекшеленеді. Ультрадыбыстық әдістің кемшіліктері ЖА-ды қақ шөгінділерінен тазалау 2,5-3 айға созылатыны, аппараттық жағдайда электр желісінің кернеуі жоғалған кезде генератор қуатының ажырауы және қақпен толықтай ластанған құбырды тазалау мүмкін еместігі болып табылады.

ЖА-ды химиялық тазалау әдістері елімізде кеңінен қолданылатын технологиялардың бірі болып табылады [34]. Құбырларды тазалауда қолданылатын бұл әдіс гидродинамикалық құралдарды қолдану немесе арнайы тазарту машиналарының көмегімен ЖА-дағы қақтарды тазалау мүмкін болмаған жағдайда қолданылады. Құбырларды химиялық тазалау (ХТ) әдісі әртүрлі реагенттерді қолдану арқылы жүргізіледі және кагулянттардың көмегімен ЖА-ды химиялық жуу процестерімен негізделеді. ХТ әдісінің артышылығына конфигурациясы күрделі құбырларды тазалау мүмкіндігін және реагенттерді дұрыс таңдау бойынша тазалау тиімділігінің жоғары дәрежесін айта кетуге болады. ХТ әдісінің негізгі кемшіліктеріне реагенттердің қымбаттылығын, тазалау процесінен кейін ағынды суларды бейтараптандыру мәселелерін және өте жоғары біліктілікті қызметкерді қажет ететіндігін жатқызуға болады.

Өндіріс орындарындағы және ЖЭО-дағы ЖА-ды қатты қақ шөгінділерінен тазалау әдісін таңдау келесі талаптар бойынша таңдалады:

- қуаттың аз тұтыну;
- қондырғының шағын өлшемі мен оны орнату салмағы, әмбебаптығы;
- орнату элементтерінің жоғары қоры;
- жұмыстық ортаның аз шығыны (сұйықтық);
- қауіпсіздігінің сенімділігі;
- экологиялық қауіпсіздігі;
- тазалау қондырғысының қолжетімділігі;
- ЖА материалының механикалық зақымдануы.

Жоғарыдағы қарастырылған, ЖА-ды қатты қақ шөгінділерінен тазарту әдістерінің өздеріне тән кемшіліктері мен артықшылықтары бар, сондықтанда, қолданыстағы әдістерді өзара салыстыра отырып, дәстүрлі әдістердің артықшылықтары мен кемшіліктеріне талдау жасай келе, диссертациялық жұмыста ЖА-дың жылу беру тиімділігін арттыратын электрогидроимпульстік технологиясы ұсынылады.

Электрогидроимпульстік технологиясы (ЭГТ) сұйық ортада жоғары қысымда соққы толқын негізінде жүзеге асырылатын электргидравликалық әдіс болып табылады [36]. Соққы толқын процесі негізінде жүргізілетін электрогидроимпульстік технологиясының негізгі артықшылығына құбырды тазалау жылдамдығының жоғары дәрежесін, экологиялық жағынан тазалығын, қауіпсіздігі жағынан жоғары сенімділігін, құбыр материалы сапасының сақталуын жатқызуға болады. ЖА-ды қатты қақ шөгінділерінен тазалайтын ЭГТ-сы негізінде жасалған қондырғы кешенін құбырды тазалайтын басқа да әдістермен салыстыратын болсақ, ХТ әдісімен салыстырсақ реагенттің қымбатшылдығын, адамға қауіпсіздігін және экологиялық тазалығын айта кетуге болады, МТ әдісімен салыстыратын болсақ, құбыр материалының зақымдалуы мен толықтай тазалау мүмкін еместігін қарастыруға болады, ультрадыбыстық әдіспен салыстыратын болсақ, құбырды тазалау жылдадығы төмен екенін көрсетуге болады. Диссертациялық жұмыста ЖА-ды қақ шөгінділерден тазалау үшін ұсынылып отырған электрогидроимпульстік қондырғы кешені ХТ әдістерге қарағанда экологиялық таза, МТ әдістеріне қарағанда құбыр материалын зақымдамайды, ультрадыбыстық тазалау әдісіне қарағанда құбырды тазалау қарқындылығының жоғары болуымен ерекшеленеді. Сондықтанда, қазіргі уақытта өндірістегі және ЖЭО-дағы ЖА-ды қақ шөгінділерінен тазалау процесінде электргидравликалық эффектіні қолдануға байланысты ғылыми жұмыстар көптеп кездеседі. Мысалы, [37-39] әдебиеттерде ЖА-дың қыздыру беттерін қақ шөгінділерінен тазалау жұмыстары келтірілген, яғни ғалымдар ЖА-ды тазалауға байланысты өзіндік әдістерін ұсынған. Осы уақытқа дейінгі ЖА-ды тазалау әдістері көбінесе беріктігі мен төзімділігі жоғары болат материалынан жасалынған құбырларға арналған. Бірақ қазіргі кезде ЖЭО-дағы регенеративті қыздырғыштардың көбісі қабырғасы жұқа түсті металдардан жасалынған құбырлардан тұрады. Сол себепті, қоғамның дамуына байланысты заманауи талаптарға сай, нормалық стандарттар бойынша қабырғалары жұқа түсті металдардан жасалын ЖА-ды қақ шөгінділерінен тазалау әдістеріне негізделген ғылыми жұмыстар әліде зерттеуді қажет етеді. Сондықтанда, диссертациялық жұмыста ЖА-тың ішкі беттерін қатты қақ шөгінділерінен тазалау үшін қолданылатын, соққы толқын әдісі бойынша жұмыс істейтін қондырғы кешенінің ЭГТ-сы қарастырылады. ЭГТ-сы Юткин эффектісі негізінде жүргізілгендіктен, келесі тарауда жоғары қысымды соққы толқынының физикалық процестерін қарастыруымыз қажет.

1.5 Электргидравликалық эффектінің физикалық процестері

Қазіргі кезде электргидравликалық эффект құбылысы техника мен технологияның барлық өндіріс салаларында кеңінен қолданылуда. Электрогидроимпульстік технология су асты электр жарылысы құбылысына негізделген және қазіргі өндірісте қолданылып жүрген перспективалы технологиялық процестердің бірі болып табылады. Бұл әдістің физикалық мәні – сұйық ортада жоғары кернеулі электр разряды нәтижесінде қысқа мерзімді, бірақ өте қуатты соққы толқындарының түзілуімен түсіндіріледі. Аталған

толқындар жоғары қысым мен импульстік әсер туғызып, өңделетін материалға механикалық және физика-химиялық ықпал етеді.

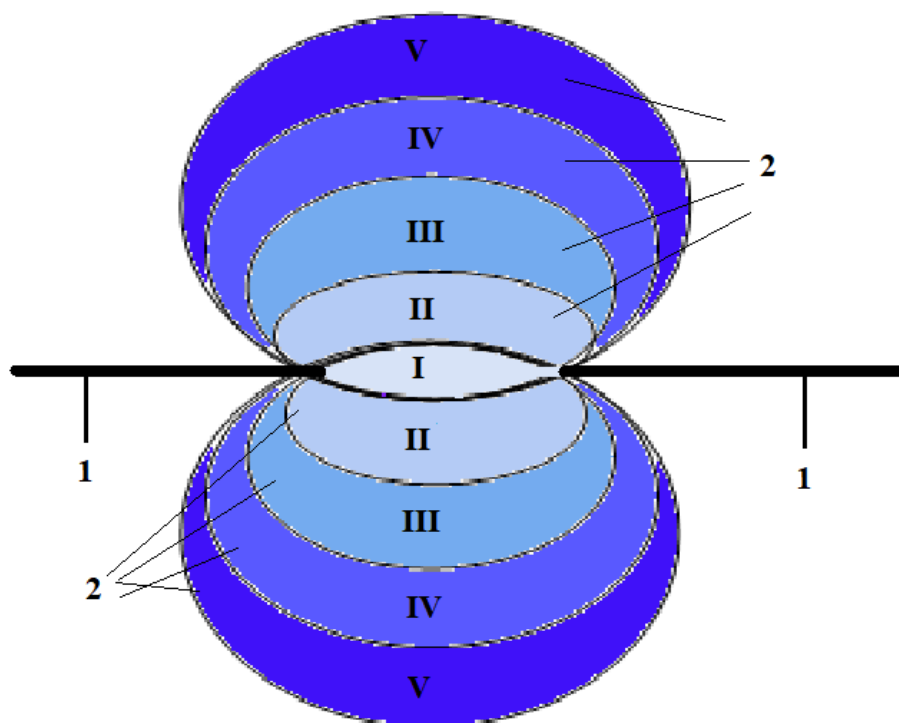
Электрогидроимпульстік әсер кезінде электр энергиясы қысқа уақыт ішінде плазмалық арна арқылы бөлініп, су ортасында кавитациялық және соққы толқын құбылыстарды қалыптастырады. Нәтижесінде импульстік қысым, турбуленттік ағын және микрожарылыстар пайда болып, қатты денелердің құрылымына қарқынды әсер етеді. Осы ерекшеліктеріне байланысты ЭГТ өндірістік процестерде металдарды өндеуде, тау жыныстарын ұсақтауда, дисперсті материалдарды дайындауда және бірқатар химиялық реакциялардың кинетикасын арттыруда қолданыс табады.

Электрогидравликалық эффект тұжырымдамасын ең алғаш рет 1950 жылы Л.А. Юткин ұсынған болатын, ғалымның айтуынша сұйық ішінде жоғары импульсті электр разряды туындаған кезде жоғары қысымдар дамиды, яғни электр энергиясы механикалық энергияға айналады [40]. Л.А. Юткиннің тұжырымдамасы бойынша «Электрогидравликалық эффект (ЭГЭ) - электр энергиясын механикалық энергияға айналдырудың жаңа өндірістік әдісі, тиімділігі жоғары механикалық байланыстар арқылы жүзеге асырылады. Яғни, ашық немесе жабық ыдыста орналасқан сұйықта қалыптасқан импульстік электрлік (ұшқын, кисть және басқа формалар) разрядты туындағын кезде электр ұшқынының айналасында пайдалы механикалық жұмыс жасайтын, физикалық және химиялық құбылыстар кешенінен тұратын өте жоғары гидравликалық қысым пайда болады». Сондықтан, электрогидравликалық эффект негізінде құрылған электрогидроимпульстік технологиясы қоғамның әртүрлі салаларында кеңінен қолданыс табады [41].

Электрогидравликалық қондырғыдағы ток импульсының ұзақтығы микросекундпен өлшенеді, сондықтан ток импульсының қуаты жүздеген мың киловаттқа жетуі мүмкін. Ток импульсы разряд арнасының ұлғаю жылдамдығын анықтайды. Разрядты электродтарға бірнеше ондаған киловольт кернеу бергенде импульстағы токтың амплитудасы ондаған мың амперге дейін жетеді. Бұның барлығы өз кезегінде разрядтың қуатты механикалық әрекетін тудыратын сұйықтағы қысымның кенеттен өсуін көрсетеді. Сұйық ішіндегі разрядтар арақашықтығында диаметрі қуат импульсына пропорционал жоғары қысымды аймақ туындайды. Электродтар арасында туындаған жоғары импульсті қысым 1.6-суретте келтірілген [42].

1.6-суретте көрсетілгендей разряд арнасының айналасында жоғары қысымды аймақтары пайда болады, түсінікті болу үшін жоғары қысымды аймақтарды сызбалық түрде бірқатар бөлімдерге бөлеміз: I – ұшқын разряды аймағы; II – бұзылу аймағы; барлық дерлік материалдар дисперсті бөлшектерге ыдырайды, ал ондағы сұйықтық қатты, бұзылғыш зат денесінің қасиеттеріне ие болады, сол себепті III - тойтарма аймағы пайда болады. Көптеген материалдар бұзылады, металдар жабысады, сұйықтық қатты, серпімді дене күйінде болады, яғни IV- серпімді әсер ету аймағы туындайды. Бөлшектердің шығарылуы орын алады, күшті итергіш әрекет пайда болады, сұйықтық өте серпімді сұйық дене күйінде болады, сондықтан процесс V- қысу аймағында болады. Қысым

пайда болу көзінен қашықтықтың артуымен өте тез төмендейді. Осы кезде сұйықтың үлкен көлемді қозғалысы байқалады. Яғни, сұйық ортадағы разрядтың өлшемі бойынша туындаған жоғары гидравликалық қысымның әсерінен сұйық жылдамдығы артады, соның салдарынан разрядтар аралығында шар тәрізді ауалық көпіршік пайда болады, оны кавитациялық аймақ деп атаймыз.



Сурет 1.6 - Бастапқы кезеңде ұшқын разрядының айналасындағы қысым аймақтарының формасы мен орналасуы: 1-электродтар; 2-қысым аймақтары

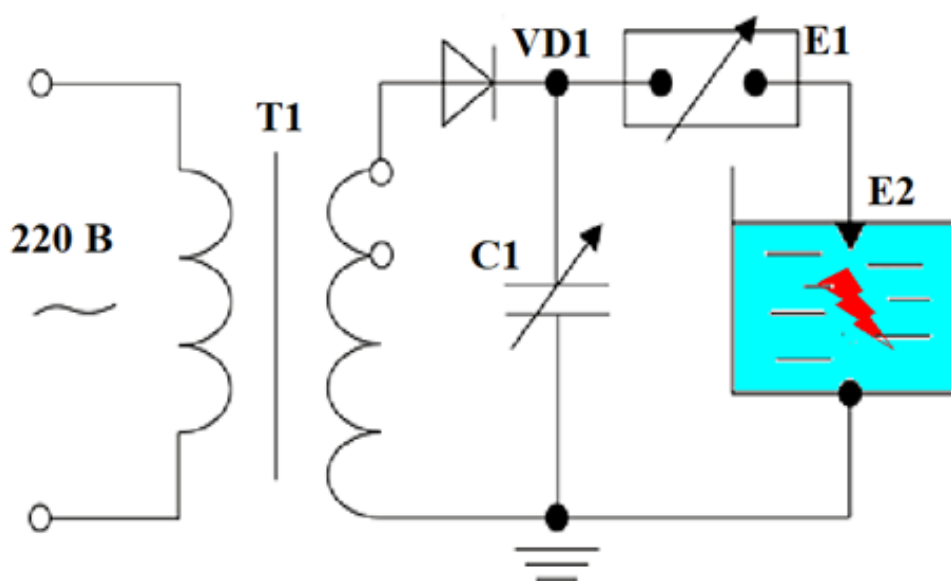
Кавитациялық аймақ көлемі бойынша көпіршіктер разрядты тудырады да, алғашқы гидравликалық соққы пайда болады. Содан кейін, көпіршік жоғары жылдамдықпен екінші кавитациялы гидравликалық соққыны құра отырып жарылыс процесін жалғастыра береді. Осымен электрогидравликалық эффектінің бірлік циклы аяқталады және ол разрядтың тізбегіндегі берілген жиілікке сәйкес шексіз сандар реті бойынша қайталанып отыруы мүмкін.

Электргидравликалық соққы кавитациялық көпіршіктің алдыңғы разряды жабылған кезде болуы мүмкін және ол электргидравликалық қондырғы разрядының максимальды жиілігін анықтауға мүмкіндік береді [43].

Электргидравликалық соққы өте үлкен сұйық көлемі кезінде 10 және 100 мыңдық атмосферадағы қысымды тудыруға мүмкіндік береді, разряд арнасындағы қысымнан 2 немесе 4 есе үлкен болады. Разряд аралығында көрсетілген жоғарғы қысымдар барлық арна бойымен бірқалыпты таралмай, тек қана орташа қысым ретінде болып, электргидравликалық соққы кезіндегі сұйық қысымы критикалық жылдамдық бойынша ұлғаятын разряд арналарындағы

сұйық энергиясына ауысқан уақытта құбыр ішіндегі қысымның 2 немесе 4 есе үлкен болмауы мүмкін. Разряд арасындағы қысымның ұлғаюы ток импульсының бастапқы жартылай толқын фронтының ұзақтығына қарағанда жылдам орындалатын процесс болып табылады. Бұл кезде разрядтар өзінің магнит өрісінің жылдам таралуын іске асырып, бірден скин эффектiсiнiң пайда болуын тудырады. Скин эффектiсi - құбыр ішіндегі разряд арнасындағы барлық энергия сол арна шеттеріне беріліп, скиндік қабықшаны тудырады. Арна шетіндегі скиндік қабықшадан разряд ортасына қысымдар жылдам беріледі. Кей кездері разряд ортасына жылдам берілетін қысымның әсерінен арна ортасында вакуум пайда болуы мүмкін.

Сұйық ішінде электр разрядын тудыратын электрогидроимпульстік технологияның қарапайым сызбасы 1.7-суретте келтірілген.



Сурет 1.7 – Соққы толқын тудыратын электрогидроимпульстік қондырғының қарапайым сызбасы

Су асты жарылысын тудыратын электрогидроимпульстік қондырғының қарапайым сұлбесі T1-жоғарлатқыш трансформаторынан, C1-электр энергиясын жинақтайтын конденсатор батареясынан, E1-ауа аралық разрядтауыштан, E2 - тәжірибелік аймақтан және VD1-жоғары вольтті түзеткіштен құралған.

Электрогидроимпульстік қондырғыда электр энергиясын жинақтаушы құралы ретінде әртүрлі мкФ-ты конденсатор сыйымдылығы қолданылады. Конденсаторда жинақталған барлық энергия сұйықтықтағы жұмыс ортасына келіп түсіп, үлкен қуатты қысқа электр импульсі түрінде шығарылады. Әрі қарай, берілетін сыйымдылық пен кернеудегі процесс электрод аралық жұмыстық ортаға трансформатор қуатына және жұмыстық ортаның электрофизикалық сипаттамаларына байланысты жиілікпен қайталанып отырады.

1.6 Бірінші бөлімнің қорытындысы

Диссертациялық жұмыстың бірінші тарауында өндіріс орындарында және ЖЭО-да қолданылатын ЖА-дың түрлері мен олардың жіктелулері, қазандық агрегаттарында пайдаланылатын ЖТ-дың негізгі көрсеткіштері келтірілген. Сонымен қатар, ЖА-дың ішкі бетінде қатты қақ шөгіндісінің пайда болу динамикасы мен қақ шөгінділерімен ластанған ЖА-ды тазалау әдістері бойынша әдебиеттік шолу мен құбырларды тазалау әдістері негізінде аналитикалық талдау жұмыстары жүргізіліп, ЖА-дың жылу беру тиімділігін арттыратын, қабырғалары жұқа, түсті металдардан жасалатын ЖА-ды тазалауға арналған электрогидроимпульстік технологиясы ұсынылды. Сондай ақ, жұмыстың бірінші бөлімінде ЭГТ-ның жұмыс істеу принципін түсіну мақсатында электргидравликалық эффектiнiң физикалық мағынасы қарастырылды.

Жалпы ЖА-тар кез келген өндіріс орындары мен ЖЭО-ның бөлінбейтін технологиялық жүйесі болып табылады. Сондықтан, ЖЭО-ның және өндіріс орындарының сенімді жұмысы ЖА пәрменділігінің жоғары болуына тәуелді.

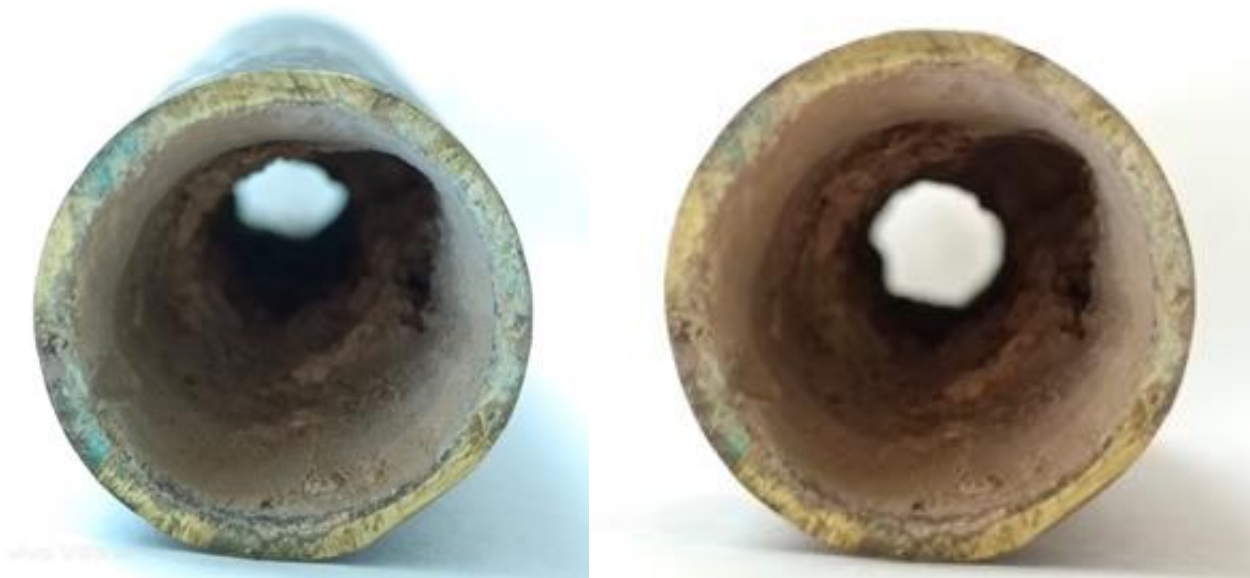
ЖА-дың жылу беру қарқындығының төмен болуы құбырдың ластануына, оқшаулану жүйелеріне байланысты болады. ЖА-дың қыздыру беттерінде тұзды ертінділерінің тұнбасынан пайда болған қақ шөгінділері құбыр қабырғасының термикалық кедергі коэффициентін арттырып, жылу беру пәрменділігін төмендетеді. Сол себепті, ЖА-тың ішкі бетін тиімді, жылдам, құбыр материалын зақымдамай тазалау қазіргі кездегі негізгі мәселелердің бірі болып табылады [44].

Сондықтанда, диссертациялық жұмыста ЖА-дың жылу беру тиімділігін арттыратын, қабырғалары жұқа, түсті металдардан жасалған құбырларды қақ шөгінділерінен тазалайтын, соққы толқын негізінде жұмыс істейтін электрогидроимпульстік технологиясын әзірлеу жұмыстары қарастырылған.

2 ЖЫЛУ АЛМАСТЫРҒЫШТЫҢ ЖЫЛУ БЕРУ ТИІМДІЛІГІН АРТТЫРАТЫН ТЕХНОЛОГИЯНЫ ӘЗІРЛЕУ ҮШІН ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИКАЛЫҚ ЭФФЕКТІНІҢ ГАЗСҰЙЫҚТЫ АҒЫН ҚОЗҒАЛЫСЫНА ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ

2.1 Электрогидроимпульстік эффект кезіндегі қосфазалы ағынның гидродинамикалық параметрлерін зерттеуге арналған тәжірибелік қондырғы

ЖА-тың ішкі беттерінде түзілген қатты қақ шөгінділері құбырдың жылу беру қарқындылығына ғана емес, сонымен қатар ЖА ішіндегі газсұйықты ағынның гидродинамикалық заңдылықтарына да әсерін тигізеді [45-46]. Құбырдың ішкі бетінде ЖТ-дың тұзды ертінділерінің тұнбасы ретінде пайда болған қақ қабаттары уақыт өте келе біртіндеп жиналып, ЖА геометриясын өзгертіп, құбырдың тиімді диаметрін азайтады. Соның нәтижесінде газсұйықты ағын жүретін құбыр қимасы бастапқы цилиндрлік қалыпта сақталмай, белгілі бір аймақта тарылуы немесе кеңеюі мүмкін. ЖА-тың ішкі бетінде қалыптасатын қақ қабаттары құбыр бойымен біркелкі түрде жинақталмай, құбырдағы жұмыстық ортаның температурасы мен ЖТ-тың жылдамдықтарына байланысты, белгілі бір бағытта қақ қабатының қалыңдығы өзгеріп отырады, яғни ЖА-дың геометриясы жинақталып түзілген қақ қалыңдықтарына байланысты бір жерлерде диффузольді сипатқа ие болса, басқа жерлерде кофузорлы формада болуы мүмкін [47]. ЖА-тың ішкі бетінде қақ шөгінділерінің біртіндеп жинақталу формасы 2.1-суретте келтірілген.



Сурет 2.1 – Жылу алмастырғыштағы қақ шөгіндісінің жинақталуы

ЖА-дың ішкі бетінде қалыптасқан қақ қабаты құбырдың тиімді гидравликалық диаметрін ғана емес, сонымен қатар қосфазалы ағынның

конфигурациясын да өзгертеді. Сол себепті, әртүрлі қалыңдықтағы қақ шөгінділермен ластанған ЖА-дың ішкі беттерін гидродинамикалық тұрғыдан, шартты түрде диффузор немесе конфузор сипаттағы қимасы ретінде қарастырамыз.

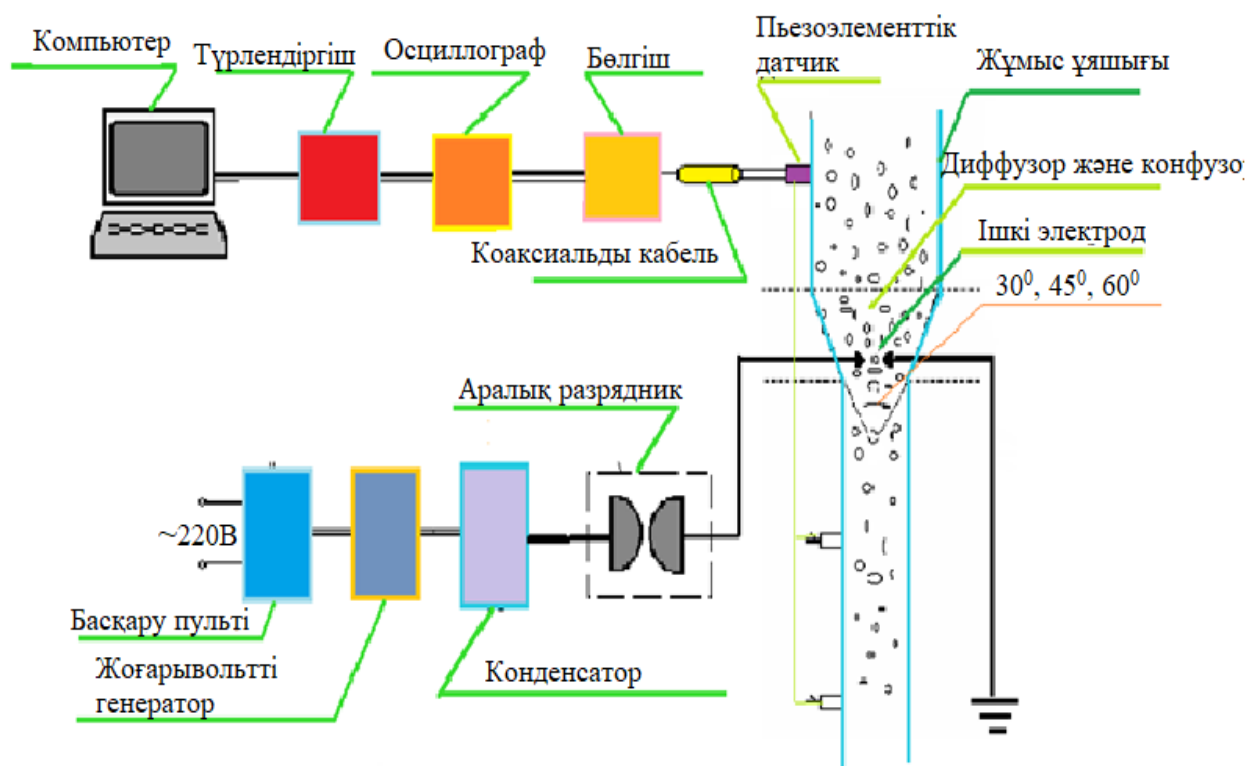
Диссертациялық жұмыста ұсынылған ЖА-дың жылу беру тиімділігін арттыратын электрогидроимпульстік қондырғы кешені су асты жарылысы негізінде соққы толқынның пайда болуымен жүргізіледі. Яғни, қақ шөгіндісімен ластанған ЖА-ты электргидравликалық тазалау кезінде жоғары кернеулі импульс разряды құбыр ішіндегі сұйық ортада плазмалық арнаны түзіп, аз уақыт ішінде жоғары қысымды соққы толқындар мен кавитациялық көпіршіктердің пайда болуына ықпал етеді [48]. ЖА ішінде пайда болған көпіршіктердің ұлғаюы мен жарылу процесі құбыр қабырғасындағы берік, әрі тығыз орналасқан қақ шөгінділерін босатып, олардың құбыр бетінен ажырауын қамтамасыз етеді. ЖА-ды қатты тығыздалған қақ шөгінділерінен электргидравликалық технологиямен тазалау кезінде құбыр ішінде өте жоғары мөлшерде соққы толқындар пайда болады (жоғары мөлшердегі разряд кернеуіне байланысты), бұл соққылар төзімділігі берік болат материалынан жасалынған құбырлар үшін тиімді әдіс болып табылады. ЖЭО-да қолданылатын регенеративті ЖА-дың көбісі түсті металдардан жасалған болғандықтан, сондықтан мұндай құбырларды қақ шөгінділерінен тиімді тазалау технологиясын қарастыруымыз қажет. Түсті металдардан жасалатын ЖА-ды өте үлкен мөлшердегі разряд кернеуін беру арқылы тазалау мүмкін емес, себебі түсті металдан жасалынған құбырдың қабырғалары өте жұқа, зақымдалу қауіпі жоғары. Сондықтан да, диссертациялық жұмыста қабырғалары жұқа түсті металдардан жасалатын ЖА-ды электрогидроимпульстік технологиясымен тазалау процесіне белгілі бір мөлшердегі газ концентрациясын қосу арқылы құбырдың жылу беру қарқындылығын арттыру әдістері ұсынылады.

Электрогидроимпульстік әдіс арқылы (разряд кернеуі аз болған кезде) ЖА-ды тазалау кезінде құбыр ішіне қосылатын газ концентрациясы сұйық ортаны газсұйықты ағын түріне алмастырып, газ көпіршіктерінің қозғалысы сұйық ағынымен бірге турбуленттілікті күшейтеді. Соның нәтижесінде, құбырдың ішкі беттеріндегі қақ шөгінділері бұзылып, олардың механикалық ажыратылуын қамтамасыз етеді. ЖА ішіндегі газсұйықты ағындағы газ фазасы құбыр ішіндегі кавитациялық процесті қарқындытып, соққы толқынның әсер ету аймағын ұлғайтады.

ЖА-ды ЭГҚ-мен тазалау процесіне газ концентрациясын қосу арқылы келесі нәтижелерге қол жеткіземіз, біріншіден – газ концентрациясы құбыр ішіндегі ағынның турбуленттілік дәрежесін арттырады, екіншіден – ЖА қабырғасындағы гидродинамикалық кернеулер жоғарлайды, үшіншіден – газсұйықты ағындағы кавитациялық процесс күшейтіледі, төртіншіден – құбырдағы босаған қақ шөгінділері жеңіл түрде тасымалданады. Осы процестердің нәтижесінде қабырғасы жұқа, түсті металдардан жасалынған ЖА-ды ЭГҚ кешенімен тазалау жылдамдығы артады. Сол себепті, ЖА-дың жылу

беру тиімділігін арттыратын ЭГТ кешенін әзірлеу үшін электргидравликалық эффектінің газсұйықты ағын қозғалысына әсерін зерттеп алуымыз қажет.

Қималары әртүрлі ЖА-дағы электргидравликалық эффект кезіндегі газсұйықты ағын қозғалысының динамикалық параметрлерін зерттеуге арналған тәжірибелік қондырғысы жинақталып, зерттеу жұмыстары жүргізілді. Жоғары вольтті разряд кезіндегі газсұйықты ағын қозғалысының гидродинамикалық заңдылықтарын зерттеуге арналған тәжірибелік қондырғысы профессор Ж.С. Ақылбаев атындағы инженерлік жылу физикасы кафедрасының «Гетерогендік ортада импульстік құбылыстың физикасы» зерханасында жинақталды және оның принципиялық сұлбесі 2.2-суретте көрсетілген.

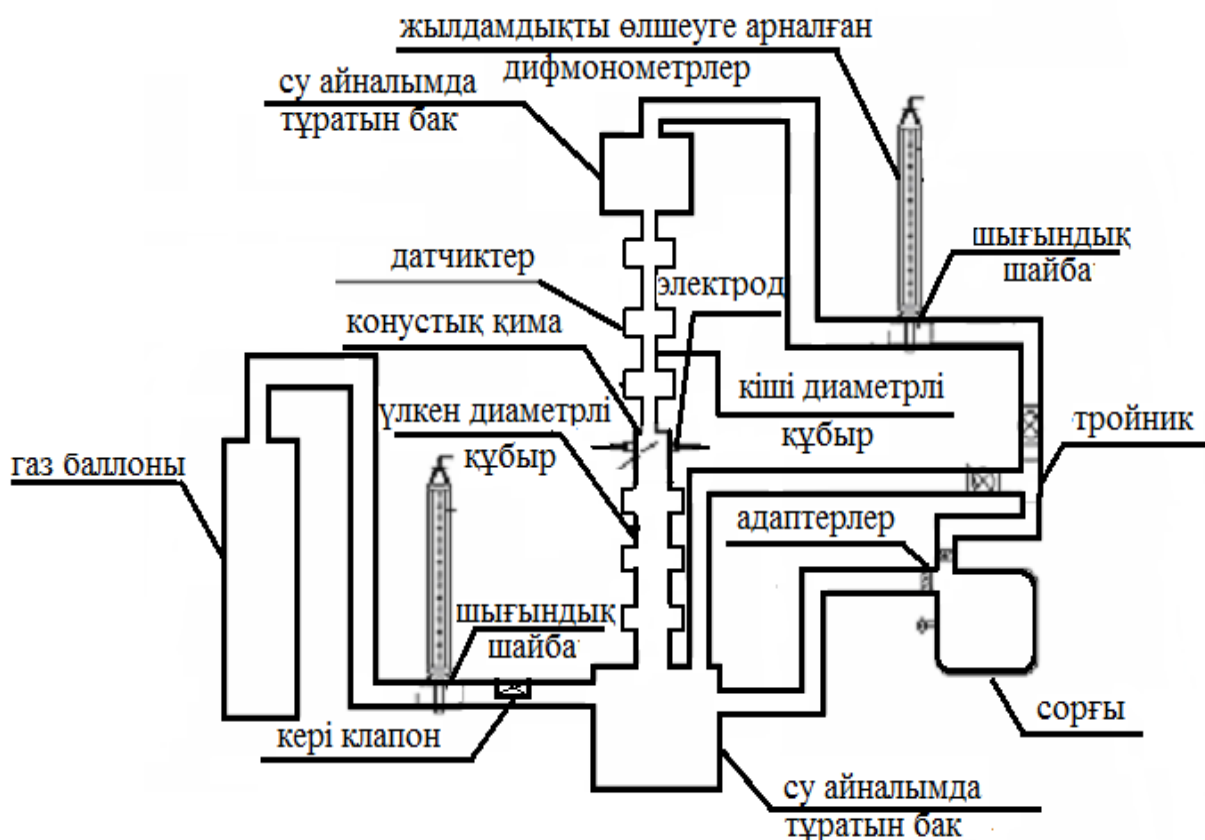


Сурет 2.2 – Электргидравликалық технологиямен жұмыс істейтін газсұйықты ағындағы гидродинамикалық параметрлерді зерттейтін тәжірибелік қондырғының сызбасы

Электргидравликалық эффект кезіндегі газсұйықты ағын қозғалысының гидродинамикалық параметрлерін зерттеуге арналған қондырғы қималары әртүрлі құбырлары бар тәжірибелік аймақтан, соққы толқынын тудыратын ЭГҚ-нан, құбыр ішіндегі импульстік қысым амплитудасының таралуын зерттейтін сандық осциллографынан, түрлендіргіштен, компьютердан, күшейткіштен және коаксиальды кабельден тұрады [49].

2.2-суретте келтірілген қондырғыда электр энергиясын жинайтын конденсаторға басқару пульті арқылы жоғары вольтті кернеу беріледі. Содан

кейін, белгілі бір уақыт ішінде электр энергиясы разряд аралыққа жіберіліп, соның салдарынан разряд аралықтарында ұшқын пайда болады. Пайда болған ұшқынның энергиясы тәжірибелік аймақтағы конфузордың немесе диффузордың ішінде орналасқан электродқа бағыттталып, жоғарғы кернеуге жеткеннен кейін тәжірибелік аймақтағы сұйықта энергияның көп мөлшерде бөлінуі нәтижесінде соққы толқындар пайда болады. Газсұйықты ағында пайда болған соққы толқынның таралуы құбыр бойымен орналасқан пьезоэлементтік датчиктің көмегімен қабылданып, есте сақтағыш қасиетке ие сандық осциллографқа беріледі. Сандық осциллограф тікелей компьютерге жалғанған және арнайы бағдарламаның көмегімен сандық осциллографтан келіп түскен белгілердің диаграммалары маркердің белгілеулерімен өңделіп отырады. Техникалық қауіпсіздігі үшін қондырғы қорғану жүйесімен, апшатық сөндірумен және қалған кернеуді жою жолдарымен жабдықталған. Электргидравликалық қондырғыда ток импульсінің генераторын қоректік тізбекке қосқанда кернеу ұлғаяды және зарядты ток жинағышы түзетеді. Разрядтағыш импульс конденсаторда қалған жоғары вольтты кернеуді алу үшін қолданылады. Электргидравликалық қондырғысындағы тәжірибелік аймақтың блок сұлбесі 2.3-суретте келтірілген.



Сурет 2.3 – Газсұйықты ағындағы гидродинамикалық параметрлерін анықтауға арналған тәжірибелік аймақтың блок сұлбесі

2.3-суреттегі тәжірибелік аймақ сорғыдан, пьезоэлементтік датчиктен, монометрден, шығындық шайбалардан, жұмыстық құбырлардан, краниктерден, газ баллонынан, электродтардан, бұрылу бұрыштары әртүрлі конфузор мен диффузордан тұрады.

Тәжірибелік аймақта диаметрлері әртүрлі екі цилиндрлік құбыр, бұрылу бұрыштары 30° , 45° және 60° -қа тең конфузор немесе диффузор формалы қималар, газсұйықты ағында электр разрядын тудыратын электродтар жұбы және импульсті қысымды тіркейтін пьезоэлементтік датчик орналасқан [50]. Үлкен құбырдың ішкі диаметрі 30 мм, кіші құбырдың ішкі диаметрі 20 мм. Процестің жүргізілуін байқау үшін бұрылу бұрыштары әртүрлі айнымалы қималы арналар бастапқыда, оргшыныдан жасалынған, бірақ оргшыны құбырлары жұқа болғандықтан, олар жарылысқа шыдамсыз. Сондықтанда, құбылысты сонына дейін бақылау мақсатында айнымалы қима арналары жарылысқа шыдамды капролан материалынан жасалынды. Тәжірибелік аймақтағы жұмыстық дене ретінде газсұйықты ағын қозғалысы, сол себепті сұйық орта ретінде техникалық су және газ көпіршігі ретінде көмірқышқыл газы қолданылды. Электргидравликалық қондырғыдағы тәжірибелік аймақтың бейнесі 2.4-суретте көрсетілген.

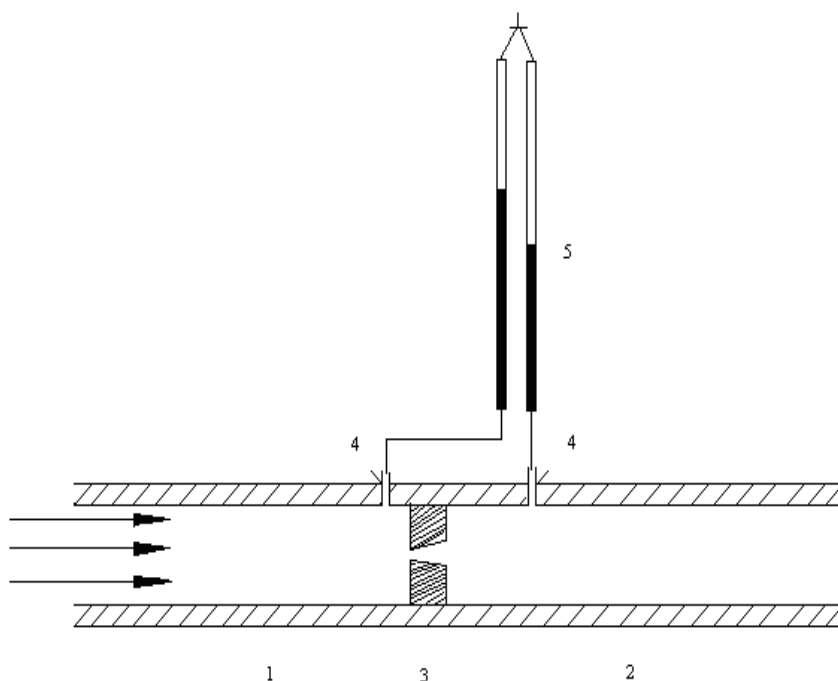


Сурет 2.4 - Электргидравликалық қондырғыдағы тәжірибелік аймақтың бейнесі

Газсұйықты ағындағы гидродинамикалық параметрлерін анықтауға арналған тәжірибелік аймақтың жұмыс істеу тәртібі келесі жағдайда орындалады: сорғының көмегімен конфузорлы және диффузорлы құбыр бойымен сұйықтың циркуляциялық қозғалысы жүргізіледі, диаметрлері әртүрлі құбырларда газсұйықты ортаны туындыру үшін арнайы баллонынан көмірқышқыл газы беріледі. Осы кездегі сұйық пен газ жылдамдығы диффометрге жалғанған шығындық шайбалардың көмегімен монometrдегі сұйық деңгейінің белгілі бір уақыт аралығында тіркеуі арқылы анықталады. Құбыр бойына орнатылған пьезоэлементтік датчик арқылы диффузор мен конфузорлардағы қысым амплитудасының таралу заңдылығы зерттеледі.

2.2 Суасты жарылысы кезіндегі газсұйықты ағын қозғалысының гидродинамикалық параметрлерін есептеу әдістемесі

Газсұйықты ағын қозғалысының жылдамдығын өлшеу әдісі. Тәжірибелік қондырғыдағы бұрылу бұрыштары әртүрлі конфузор немесе диффузорлы құбырдағы газсұйықты ағынның жылдамдығын өлшеу орташа массалы шығын әдісі негізінде анықталады [51]. Газсұйықты ағыстың орнатылған режимі кезінде өлшеу ыдысына жұмыс бөлігі беріліп, сұйықтың іріктелуі жүргізіледі. Сол кездегі іріктеу уақыты секундометрмен өлшеніп, өлшеуіш шайбадағы манометр қысымының құлама мәні тіркеледі. Газсұйықты ағындағы сұйық және газ жылдамдығы шығындық шайбалары арқылы өлшенеді. Қондырғыдағы тәжірибелік аймақтың шығын өлшегіш шайбасының сызбасы 2.5-суретте келтірілген.



1-2 – түзу құбырлар , 3 – ауыстырмалы шайбалар, 4 – штуцерлер, 5 – жылдамдықты өлшеуге арналған дифманометрлер

Сурет 2.5 – Қондырғыдағы шығын өлшегіш шайбасының сызбасы

Алдымен су қоспасының үлгілеу графигін тұрғызу үшін манометрден таңдап алынған сан мәндер бойынша сұйықтың шығынын өлшеп аламыз. Содан кейін 10 секундтық шығыны келесі өрнек бойынша есептеп алынады:

$$g=G/t \quad (2.1)$$

мұндағы

G – құбырдағы сұйық шығыны, м³;

t – іріктеу уақыты, с.

Құбырдағы сұйықтың жылдамдағы:

$$U=g/S \quad (2.2)$$

мұндағы

g - секундтық шығын, м³/с;

S - құбырдың ауданы, м².

Құбырлардың диаметрлері әртүрлі болғандықтан, екі құбыр бойынша судың жылдамдығы жеке-жеке есептелінеді. Сұйық және газ концентрациясы араласқаннан кейін құбырдағы қоспаның жылдамдығы анықталады:

$$U_{\text{кoc}}=U_{\text{H}_2\text{O}}+U_{\text{C}_2\text{O}} \quad (2.3)$$

мұндағы

$U_{\text{H}_2\text{O}}$ – құбырдағы су жылдамдығы, м/с;

$U_{\text{C}_2\text{O}}$ –құбырдағы газ жылдамдығы, м/с.

Қоспаның орташа жылдамдығын анықтаудың қателігі 4%-дан аспайды.

Газ шығынын есептеу әдісі. Тәжірибеде қолданылатын жұмыстық дене гетерогендік орта болып табылады, сондықтанда диаметрі әртүрлі екі құбырда да газдың жылдамдықтарын есептейміз [52]. Алдымен газдың секундтық шығынын, одан кейін жылдамдықтарын анықтаймыз. Газ фазасының шығыны айырбасталатын шығын өлшегіш шайбалардың көмегімен анықталды. Газдың шығынын өлшей алмайтындықтан, алдымен мензурка арқылы газдардың биіктігін анықтап, одан кейін мензурканың көлемін есептеп, оны цилиндрдің көлемі ретінде қарастырамыз. Цилиндр көлемі:

$$V=\pi R^2 H \quad (2.4)$$

мұндағы

R^2 – цилиндрдің радиусы, м;

H –цилиндрдің биіктігі, м.

Цилиндрдің көлемін газ шығынына тең деп қарастырып, секундтық шығын анықталады. Диффузорлы және конфузорлы құбырдағы газ жылдамдықтарын есептейміз [53]. Газсұйықты ағындағы газ құрамы екі түрде болады, біріншісі,

газ шығыны, ол β әріпімен белгінеді, екіншісі нақты газ құрамы, оны γ әріпімен белгілейміз. Газсұйықты ағындағы газ шығыны:

$$\beta = \left(\frac{g_{CO_2}}{g_{CO_2} + g_{H_2O}} \right) \cdot 100 \quad (2.5)$$

мұндағы

g_{H_2O} - судың секундтық шығыны, м³/с;

g_{CO_2} - газдың секундтық шығыны, м³/с.

Нақты газ құрамын анықтау үшін құбырдың қандайда бір бөлігін бөліп алып, ондағы газ құрамынның нақты шығынын есептеп аламыз:

$$\beta = \left(\frac{g_{нақты}}{g_{CO_2} + g_{H_2O}} \right) \quad (2.6)$$

мұндағы

$g_{нақты}$ – құбырдың бөліп алған бөлігіндегі газдың нақты шығыны, м³/с;

Газсұйықты ағындағы су мен газдың бағыттары бірдей болған кезде газ шығыны нақты газ құрамынан әрқашанда кіші болады, яғни $\beta < \gamma$. Ал, газсұйықты ағын қозғалысындағы газ бен судың бағыттары бір-біріне қарама қарсы болған кезде, керсінше газ шығыны газ құрамынан үлкен болады, яғни $\beta > \gamma$.

Газсұйықты ағын қозғалысының гетерогендік дәрежесін анықтау әдістемесі. Тәжірибелік қондырғының жұмыс бөлігіндегі газсұйықты ағыны техникалық су мен көмірқышқыл газын араластыру жолымен алынады. Газсұйықты ағындағы гетерогендік дәрежені анықтау үшін, алдымен құбырлардың радиустарына байланысты жылу алмастырғыштың көлемдерін анықтап аламыз [54].

Құбыр радиусына байланысты ЖА-тың көлемі:

$$V = \pi r^2 H \quad (2.7)$$

мұндағы

r - құбыр радиусы, м;

H - құбыр биіктігі, м.

Тәжірибиелік қондырғыдағы газсұйықты ағыс қозғалысы әрқашан циркуляциялық айналымда жүреді, сондықтанда тәжірибелік қондырғының жоғарғы және төменгі жақтарында судың артық қоры болатын бактар орналасқан. Газсұйықты ағындағы газ құрамын анықтау үшін алдымен тәжірибелік қондырғының жоғарғы және төменгі бактарының көлемдерін анықтап алуымыз қажет [55].

Тәжірибиелік қондырғыдағы жоғарғы және төменгі бак көлемі:

$$V = a * b * c \quad (2.8)$$

мұнағы

a, b, c – сәйкесінше бак қабырғаларының өлшемдері, м.

Тәжірибелік қондырғыдағы жоғарғы бактың көлемі $V_p = 0.0002 \text{ м}^3$ шамасында алынады. Теориялық зерттеулерге сәйкес газсұйықты ағындағы газдың құрамы:

$$\varphi = \frac{\Delta V}{V_0} \quad (2.9)$$

мұндағы

ΔV - сұйықтықтың жалпы көлемінен ығысқаннан кейінгі көлемнің айырымы;

V_0 - сұйықтықтың жалпы көлемі

Тәжірибелік қондырғыда қолданылатын айналымдағы сұйықтың жалпы көлемі:

$$V_0 = V_{\text{үлген}} + V_{\text{кіші}} + V_{\text{бак}} + V_p \quad (2.10)$$

Диффузорлы және конфузорлы құбырдағы газсұйықты ағынның гидравликалық кедергісін есептеу әдістемесі. Жергілікті гидравликалық кедергіні анықтау үшін диффузор және конфузор түріндегі тәжірибелік аймақ қолданылған. Құбыр диаметрі 20/30 мм. Ережедегідей бұл тәжірибелік аймақ алдын ала қосылған гидродинамикалық тұрақтану аймағына ие. Диффузорлы құбырдағы гидравликалық кедергісінің толық жоғалуы [56]:

$$G_{\text{диф}} = G_k + G_p \quad (2.11)$$

мұндағы

G_p - үйкелуге кеткен жоғалу.

Диффузордағы гидравликалық ұлғаю кедергісі:

$$G = \frac{\lambda_T}{8 \cdot \sin(\alpha/2)} \left(1 - \frac{1}{n^2}\right) k \frac{g_1^2}{2\gamma} \quad (2.12)$$

мұндағы

λ_T - диффузордың үйкеліс коэффициенті;

k - жұмсару коэффициенті, $\alpha=5 \dots 60$, $k=\sin\alpha$;

g_1 - құбырдағы газсұйықты ағын жылдамдығы, м/с;

n - диффузордың ұлғаю коэффициенті;

γ – газсұйықты ағын үдеуі ($9,8 \text{ м/с}^2$).

Газсұйықты ағынның гидравликалық кедергісі:

$$\zeta = \left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right)^2 \kappa \frac{g_1^2}{2\gamma} \quad (2.13)$$

мұндағы

S_1 – қондырғыдағы үлген құбыр ауданы;

S_2 - қондырғыдағы кіші құбыр ауданы;

Диффузордағы гидравликалық кедергісі [57]:

$$\zeta_{\text{диф}} = \left[\frac{\lambda_T}{8 \cdot \sin(\alpha/2)} \left(1 - \frac{1}{n^2}\right) + \kappa \left(1 - \frac{1}{n}\right)^2 \right] \frac{g_1^2}{2\gamma} = \zeta_{\text{диф}} \frac{g_1^2}{2\gamma} \quad (2.14)$$

Диффузордағы гидравликалық кедергі коэффициенті:

$$\xi_{\text{диф}} = \frac{\lambda_T}{8 \cdot \sin(\alpha/2)} \left(1 - \frac{1}{n^2}\right) + \sin \alpha \left(1 - \frac{1}{n}\right)^2 \quad (2.15)$$

Конфузордағы газсұйықты ағының толық жоғалуы құбырдың кіре берісіндегі ағынның үйкелісімен және айнымалы кеңістікте ағынның сығылатын аймағында құйынның пайда болумен анықталады [58]:

$$G_{\text{кон}} = \zeta_{\text{кон}} \frac{g_1^2}{2\gamma} \quad (2.16)$$

мұндағы

$\xi_{\text{кон}}$ - конфузордағы гидравликалық сығылу кедергісі

Конфузордағы газсұйықты ағын жылдамдығының ұлғаюымен және қысымның төмендеуімен жүреді. Үйкеліс кезіндегі конфузордағы жоғалулар:

$$\zeta_{\text{кон}} = \frac{\lambda_T}{8 \cdot \sin(\alpha/2)} \left(1 - \frac{1}{n^2}\right) \quad (2.17)$$

мұндағы

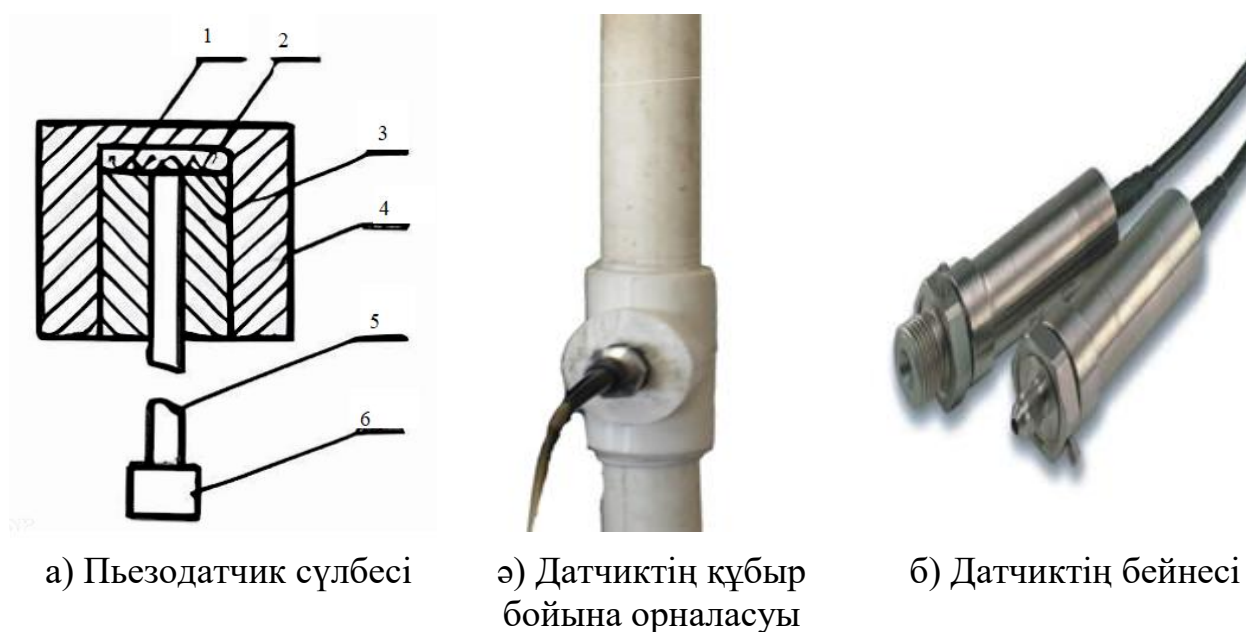
$n = \frac{S_1}{S_2}$ - сұйықтың сығылу дәрежесі.

2.3 Соққы толқын әсері кезіндегі біртекті емес орта қозғалысындағы импульстік қысым динамикасын зерттеу әдістемесі

Тәжірбиелік жұмыстар «соққы құбыр» типті қондырғыда жүргізілді. Қысым толқындары электргидравликалық қондырғының көмегімен алынды. Қысым толқындарының амплитудалары құбыр бойында орналасқан 15кГц резонанстық

жиілікке ие болатын 1 пьезоэлементтік қысым бергіштері арқылы тіркелді. Импульстік қысымдарын өлшеуге арналған жүйе тәжірибелік қондырғының жұмыс бөлігіне бекітілген пьезометрлік қысым бергіштен, коаксиалды кабельден РК-50, және осциллографтан құрылады. Қысым бергіші 50 бар-ға дейінгі амплитудасымен импульстік қысымды өлшеуге мүмкіндік береді. Өлшенетін қысым импульстерінің ұзақтылығы шамамен 0,001 ÷ 0,005 с құрайды.

Заманауи техникалардың жиілігін тұрақты етуде, пьезоэлектрлік аспаптар алдыңғы қатарда тұр. Сондықтанда, электргидравликалық эффект кезіндегі газсұйықты ағындағы соққы толқын қысымдарының таралуын зерттеу мақсатында пьезодатчиктер қолданылды. Қарапайым пьезодатчик сұлбесі, құбыр бойына орналасуы және бейнесі 2.6-суретте келтірілген.



Сурет 2.6 – Пьезоэлементтік қысым датчигі

Қарапайым пьезоэлементтік қысым датчигі корпустан, серпімді элементтен, пьезоэлементтен және тірек элементінен тұрады. Пьезодатчик корпусында серпімді элемент, пьезоэлемент, тұрақты магнит түріндегі бекіту элементі және тірек элементі орналасқан. Датчиктің серпімді элементі, әдетте серіппе түрінде жасалады және тірек элементі мен корпустың негізі арасында орналасады. Пьезоэлемент өлшеу құралына қосылу үшін тірегі мен терминалдары бар модульдік типте жасалады. Бекіту элементі, сақина тәрізді тұрақты магнит түрінде болады. Тірек элементі, бақыланатын заттың бетімен жанасады және оның тербелістерін пьезоэлементке жібереді [59].

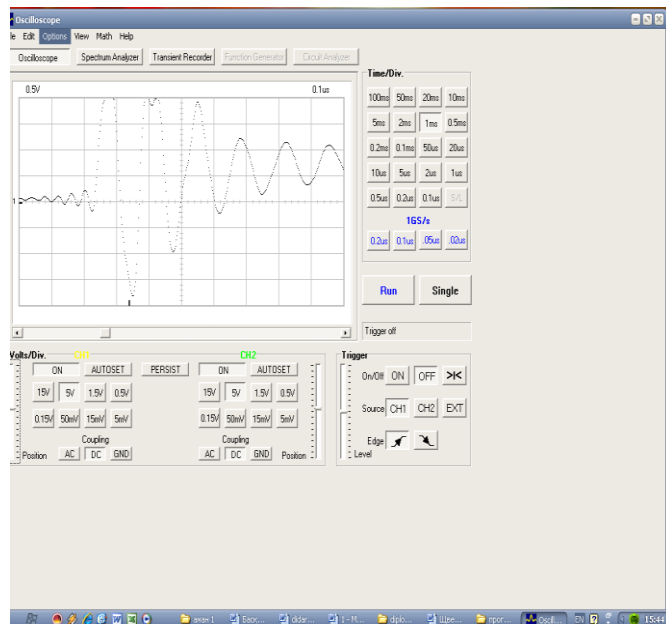
Қатты қақ шөгінділерімен ластанған диффузор және конфузор формалы ЖА-ғы газсұйықты ағын қозғалысындағы импульстік қысым амплитудасының таралуы PCS500 маркалы сандық осциллографтың көмегімен жүргізіледі (2.7-сурет). Тәжірибелік аймақтағы құбыр бойына орнатылған пьезоэлементтік қысым датчигі бөлгіш арқылы сандық осциллографқа қосылған. PCS500 сандық

осциллографы компьютерлік жүйеге жалғанған. Тәжірибелік аймақтағы құбыр бойына орнатылған датчик электр зарядын өткізбейтін капралан түріндегі материалдан жасалынған [60].

Осциллограф электр сигналдарын өлшеу және бақылау үшін таптырмайтын құрылғы болып табылады. Оның негізгі ерекшелігі басқа сигналдармен салыстыру немесе тізбекті белгілерді үздіксіз қабылдау мүмкіндіктерін алу болып табылады. ЖА-да орнатылған датчик арқылы қабылданған сигнал разряд кернеуінің уақытқа тәуелділігі бойынша электронды түрде көрсетіліп, құбыр ішіндегі соққы толқындар шындар бойынша белгіленіледі (2.8-сурет). Сонымен қатар, құбыр бойындағы датчик қабылдаған белгілер осциллографқа жіберілгеннен кейін компьютер жадысында сақталады. Компьютер жадысындағы белгілердің сандық мәндері арнайы қолданбалы пакеттер арқылы өңделіп, диффузор мен конфузор формалы ЖА-да импульстік қысымның таралу амплитудасының тәуелділіктері алынады.



Сурет 2.7 - PCS500 маркалы сандық осциллографы

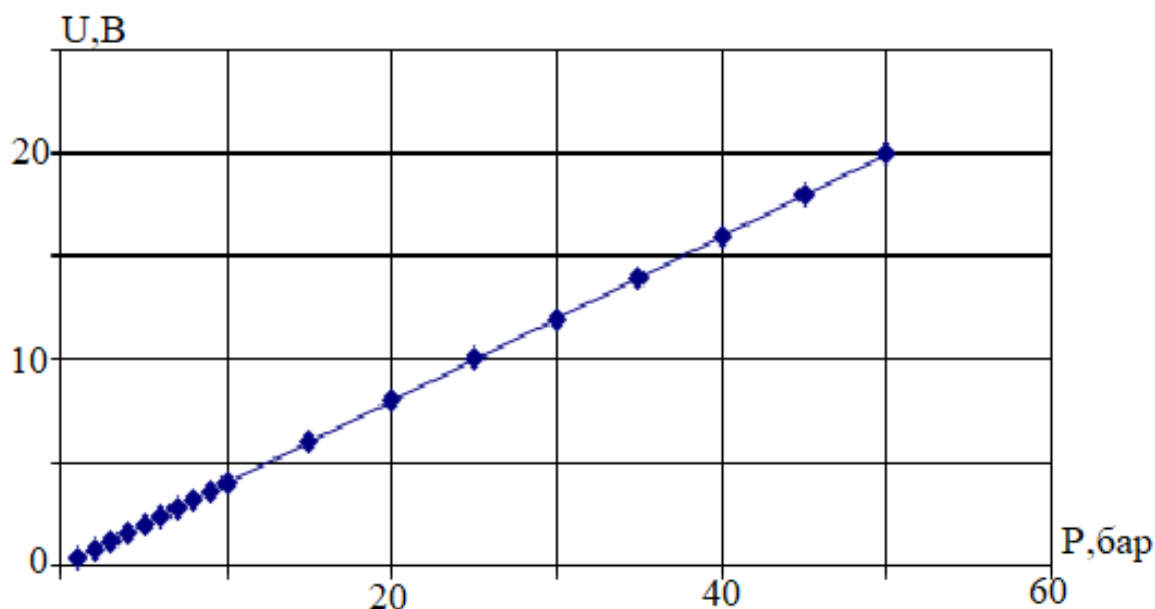


Сурет 2.8 – Қабылданған белгінің электрондық көрнісі

Сигналдағы жилақтарді маркердің көмегімен анықтауға және оларды әртүрлі жағдайда қарастыруға болады. Сондай-ақ, олардың сан мәндерін орташа квадраты немесе басқа түрде ала аламыз, сонымен қатар ондағы процестің жүру уақытының осциллографқа берілген кернеуге байланысты өзгерту мүмкіндіктері мен тәуелділіктерін алуға болады.

Соққы толқын кезіндегі құбыр ішіндегі импульстік қысымның таралу тарировкасы динамикалық әдіс негізінде анықталады [61]. Үлгілеу кезінде жұмыс бөлігінің қақпасы цилиндр мен поршеньнен құрылатын құрылғымен айырбасталынды. Поршень соққысының белгілі гидравликалық күші кезінде пьезометрлік бергіштен берілетін электрлік дабылдар есте сақтаушы

осциллографтың көмегімен тіркеледі. Құбыр ішіндегі импульстік қысымның үлгілеу графигі профессор Ж.С. Ақылбаев атындағы инженерлік жылу физикасы кафедрасының «Гидродинамика және жылуалмасу» зертханасында тәжірибелік жұмыстары нәтижесінде алынды (2.9 – сурет).



Сурет 2.9-Пьезодатчиктің үлгілеу графигі

Жүйеленген зерттеулердің нәтижелері бойынша тәжірибелік нүктелердің салыстырмалы орналасуы 5-7% құрайды.

2.4 Дәстүрлі жылу алмастырғыштардың жылу беру қарқындылықтарын есептеу

ЖА-тар күнделікті тұрмыстық жағдайдан бастап, үлкен өндіріс орындарының барлық салаларында кең ауқымда қолданылатын қондырғылардың бірі. ЖЭО-дағы барлық техникалық жүйелердің іске асырылуы ЖА-ғыш қондырғылары арқылы жүреді [62]. Сондықтан да, ЖА-дағы жылу-масса алмасу процестерінің пәрменділігін арттыру жылуэнергетика саласы бойынша жұмыс істейтін инженерлер үшін өзекті проблемалардың бірі болып табылады. Кез келген өндіріс орындарында және ЖЭО-да қолданылатын ЖА-тың ішкі беттерінде жұмыстық орта температурасының өзгерісі мен ағын жылдамдығына байланысты және ЖТ-тың тұзды ерітінділерінің тұнбасынан пайда болатын қақ шөгінділері өте қарқынды түрде жүреді. Қатты минеральдардан түзілетін қақ шөгінділерінің табиғаты мен қасиеттерін анықтау үшін физика-химиялық талдау әдістерімен кешенді түрде зерттеу жұмыстары жүргізілуі қажет.

ЖЭО-да қолданылатын ЖА-дың жылу беру тиімділігі көбінесе құбырдың ішкі қыздыру беттерінде түзілетін қақ қабаттардың сипатына тәуелді болады [63]. Құбыр бетінде қақ шөгінділерінің түзілуі, біріншіден, қоректі суды

дайындау жүйесінің сапасына, екіншіден, ЖА-дың жұмыс істеу принциптеріне, үшіншіден, қазандық қондырғысына келіп түсетін қоректі судың физика-химиялық құрамына тікелей байланысты болады. Мысалы, қазандық агрегатына келіп түсетін қоректі суды қыздыру кезінде оның құрамындағы еріген тұздар (кальций, магний карбонаттары, сульфаттары және т.б.) жұмыстық орта температурасына байланысты ерігіштігін жоғалтып, ЖА-тың ішкі бетінде тұнба түрінде шөгіледі. Бу тасмалдау жүйелерінде бу құрамындағы қатты бөлшектер мен коррозиялық қосылыстардың әсерінен металл бетінде тығыз қақ қабаттары қалыптасады.

ЖЭО-дағы ЖА-да пайда болған қақ шөгінділерін зерттеу және дәстүрлі ЖА-дың жылу беру тиімділіктерін есептеу мақсатында 2022 жылдың 16 қыркүйегінде №78/2-22 материалдық құжатына сәйкес Қарағанды қаласындағы «Қараганда Энергоцентр» ЖШС-нің ЖЭО-3 өндіріс орнынан әртүрлі қалыңдықтағы қақ шөгінділерімен ластанған 2 түрлі ЖА алынды. Бірінші ЖА, ЖЭО-да желілік суды қыздыруға арналған, 1 жыл жылыту маусымында, техникалық суда жұмыс жасайтын пикті бойлер. Екінші ЖА, буды суға айналдыратын турбоагрегат конденсаторы, жұмыс уақыты 1 жыл, жұмыстық денесі қыздырылған бу.

Пикті бойлер ЖЭО-да жылулық желідегі суды қыздыруға арналған құбырлар шоғыры, олар тек қана жылыту маусымында жұмыс жасайды. Пикті бойлерде ЖТ-шы ретінде техникалық су қолданылады. Пикті бойлерден алынған ЖА қалыңдығы 2 мм жез материалынан жасалынған, Пикті бойлердің сырқы диаметрі 16 мм, ішкі диаметрі 12 мм. Құбыр ұзындығы 1500 мм. ЖЭО-нан алынған пикті бойлер 1 жыл жылыту маусымы кезінде тоқтаусыз жұмыс істеген. Пикті бойлердің ішкі бетінде қалыптасқан қақ қалыңдығы біркелкі емес, яғни ЖА бетіндегі қақ қалыңдығының минимальды мәні 2,7 мм және максимальды мәні 4,8 мм (2.10-сурет).



Сурет 2.10 – Пикті бойлер жылу алмастырғышы

Пикті бойлердің ішкі бетінде қалыптасқан қак шөгіндісіне визуалды бақылау жұмыстары жүргізіліп, морфологиялық белгілері анықталды. Визуальдық бақылау нәтижелері бойынша пикті бойлердің ішкі бетіндегі қак шөгіндісі сарғыш түсті, құрылымы жағынан жұмсақ, әрі көпіршікті екені байқалды (кұм тәрізді). Сонымен қатар, пикті бойлердегі қак құрылымының құбыр бетімен адгезиялық байланысы әлсіз екені байқалды, бұл дегеніміз құбыр бетіндегі қак шөгіндісі қабырғаға тығыз жабыспай, бос күйде орналасқанын білдіреді.

Турбоагрегат конденсаторы ЖЭО-дағы турбинадан шығарылған қыздырылған буды салқындату процесі бойынша суға айналдыру үшін қолданылады. Жалпы ЖЭО-дағы турбиндік қондырғылары будың жылулық энергиясын біліктің айналуы негізінде механикалық энергияға айналдыратын қондырғы. Турбина білігіне электр генераторы жалғанған, сондықтанда бұл қондырғы турбоагрегат деп аталады. Конденсатордың негізгі қызметі буды суға айналдыру.

Турбина сатыларынан шығарылатын өңделген буды салқындатқыш мұнараларына жіберетін турбоагрегат конденсаторы құбырының қалыңдығы 2 мм, жез материалынан жасалынған. (2.11-сурет).



Сурет 2.11 - Турбоагрегат конденсаторы жылу алмастырғышы

Турбоагрегат конденсаторының сыртқы диаметрі 28 мм, ішкі диаметрі 24 мм, құбыр ұзындығы 1500 мм. ЖЭО-ның турбоагрегат конденсаторы 1 жыл көлемінде үздіксіз жұмыс істеген (12 ай), турбоагрегат конденсаторы құбырының ішкі бетінде қатты қак шөгіндісі құбыр бойымен әртүрлі қалыңдықта орналасқан, ЖА-тағы қак қалыңдығының минимальды мәні 0,9 мм, максимальды мәні 2 мм-ді құрайды. Турбоагрегат конденсаторындағы қак құрылымына визуальдық бақылау жүргізе отырып, қак шөгіндісінің морфологиялық болжамы жасалды. Морфологиялық болжам нәтижесі бойынша турбоагрегат конденсаторындағы қак шөгіндісі сарғыш түсте, құрылымы

жағынан қатты және бір біріне тығыз орналасқаны байқалады (цемент тәрізді). Сонымен қатар, турбоагрегат конденсаторының ішкі бетіндегі қақ шөгіндісінің құбыр бетімен байланысы өте күшті, қақ құрылымы құбыр қабырғасына тығыз қатты байланысқан (2.11-сурет).

ЖЭО-нан алынған ЖА-дың жылу беру тиімділігін анықтау мақсатында құбыр бетіндегі қақ қалыңдықтарға байланысты ЖА-дың жылу беру коэффициенттерін есептейміз [64-65].

ЖА-тың жылу беру коэффициенті Ньютон-Рихман теңдеуі бойынша анықталады:

$$k = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{\text{қақ}}}{\lambda_{\text{қақ}}} + \frac{\delta_{\text{құб}}}{\lambda_{\text{құб}}} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (2.18)$$

мұндағы

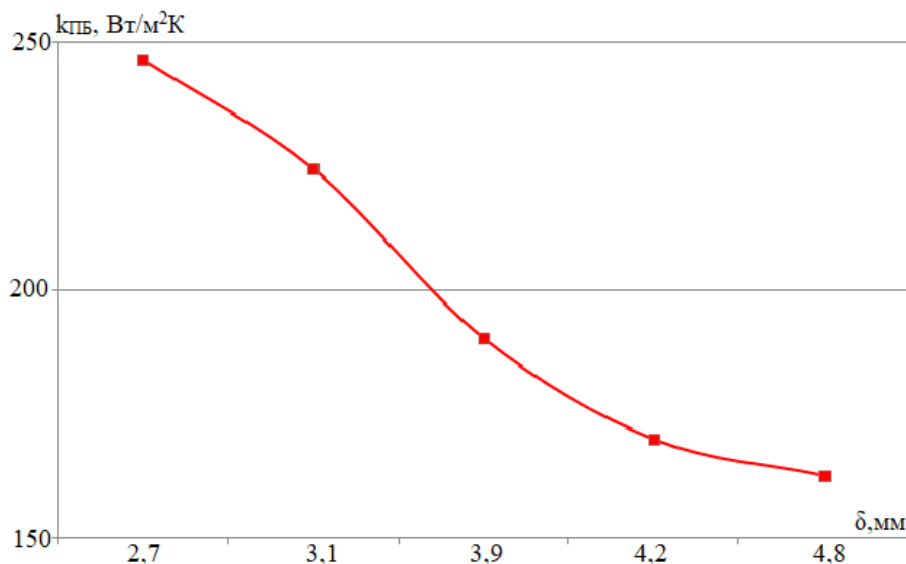
α_1 – бірінші ортаның жылу беру коэффициенті, Вт/м²К;

α_2 – екінші ортаның жылу беру коэффициенті, Вт/м²К;

δ – қалыңдық, м;

λ – жылуөткізгіштік коэффициенті, Вт/мК.

Пикті бойлердің жылу беру тиімділігі ЖА-тағы қақ қалыңдығының 2,7-4,8мм аралығына есептелініп, жылу коэффициентінің қақ қалыңдығына байланысты тәуелділігі 2.12-суретте келтірілген.

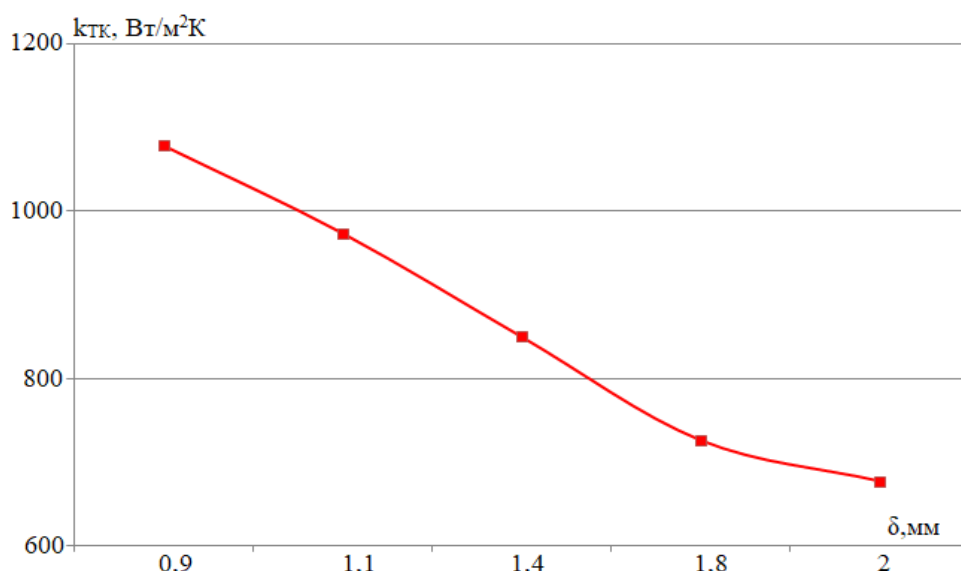


Сурет 2.12- Пикті бойлердің қақ қалыңдығына байланысты жылу беру тиімділігі

Пикті бойлердегі қақ қалыңдығы неғұрлым қалың болған сайын, солғұрлым ЖА-тың жылу беру коэффициенті төмен болады. Есептеу нәтижелері бойынша, пикті бойлер ЖА-дағы қақ қалыңдығы 2,7 мм-ден 4,8 мм-ге дейін өскен кезде, құбырдың жылу беру коэффициенті 246 Вт/м²К-нен 162 Вт/м²К-ге дейін

төмендейді. Яғни, пикті бойлердің 1 жыл жылыту маусымындағы жылу беру қарқындылығы 34-35%-ға кемиді.

Турбоагрегат конденсаторы ЖА-ның жылу беру коэффициенті қалыңдығының 0,9-2мм аралығына есептелініп, турбоагрегат конденсаторының жылу беру тиімділігінің қалыңдығына тәуелділігі 2.13-суретте көрсетілген.



Сурет 2.13 – Турбоагрегат конденсаторының қалыңдығына байланысты жылу беру тиімділігі

Есептеу нәтижелері бойынша турбоагрегат конденсаторындағы қалыңдығы 0,9 мм-ден 2 мм-ге дейін өскенде, құбырдың жылу беру тиімділігі 1080 Вт/м²К-нан 680 Вт/м²К-ға дейін төмендейді. Турбоагрегат конденсаторының жылу беру тиімділігі 1 жыл жұмыс уақытында 37%-ға төмендеді.

ЖА-дың төменгі жылу беру коэффициенті құбыр ішіндегі термикалық кедергі коэффициентін арттырады, соның нәтижесінде ЖА-дағы жылу ағынының тығыздығы төмендейді. ЖА-дағы жылу ағынының тығыздығы жылу-масса алмасу заңдылығының 3-ші текті шекаралық шарты бойынша анықталады [66-67]:

$$q = k(t_{орта1} - t_{орта2}) \quad (2.19)$$

мұндағы

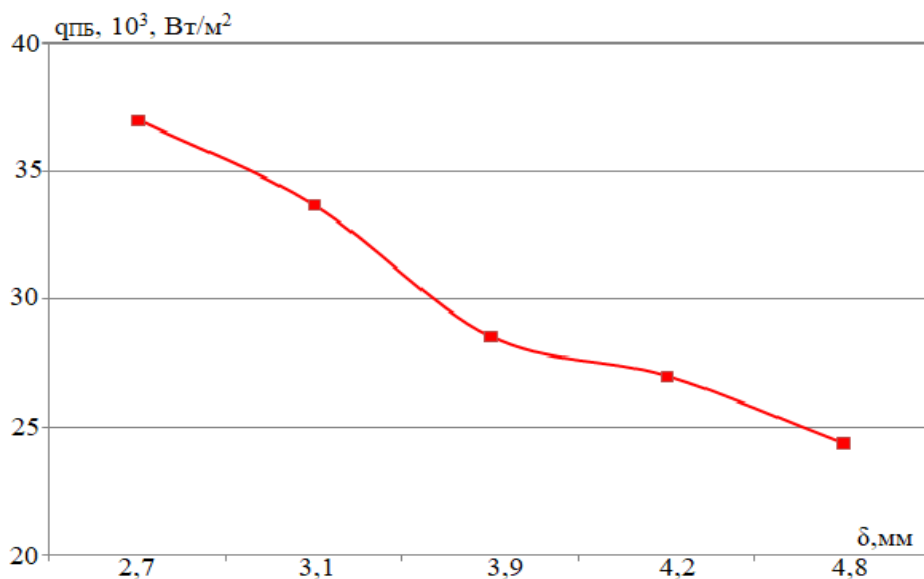
k – ЖА-дың жылу беру коэффициенті, Вт/м²К;

$t_{орта1}$ – құбыр ішіндегі ортаның температурасы, °С;

$t_{орта2}$ – құбыр сыртындағы ортаның температурасы, °С.

Есептеу нәтижелері бойынша пикті бойлердегі жылу ағыны тығыздығының қалыңдығына тәуелділігі 2.14-суретте келтірілген. Пикті бойлер

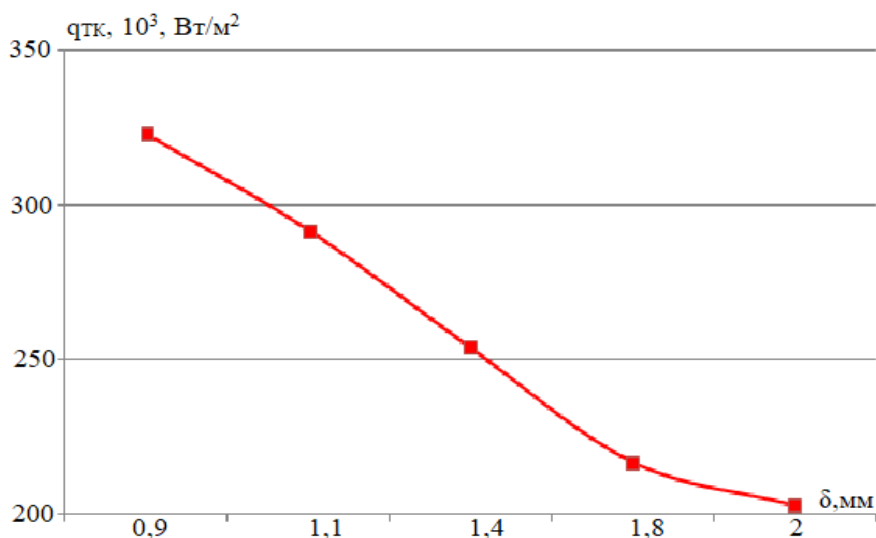
құбырының ішкі бетінде түзілген қақ қабатының қалыңдығы 2,7 мм-ден 4,8 мм-ге дейін өскен кезде, ЖА-тағы жылу ағыны тығыздығының шамасы 37023 Вт/м²-тан 24384 Вт/м²-қа дейін төмендейді.



Сурет 2.14 – Пикті бойлердегі жылу ағынының тығыздығы

Пикті бойлердегі жылу ағыны тығыздығының төмендеуі, ЖА бетінің термикалық кедергі коэффициентін арттырады, соның нәтижесінде жоғары температуралы будың жылулық энергиясы пикті бойлер құбырындағы суды қыздыруға жеткіліксіз мөлшерде беріледі. Сол себепті, пикті бойлер ЖА-ның жылу беру қарқындылығы төмендеп, ЖЭО-да энергия шығынын арттырады.

Турбоагрегат конденсаторының ішкі бетіндегі қақ қабатының қалыңдығы 0,9 мм-ден 2 мм-ге дейін өскен уақытта турбоагрегат конденсаторының ішіндегі жылу ағынының тығыздығы 323*10³ Вт/м²-тан 203*10³ Вт/м²-қа дейін төмендейді (2.15-сурет).



Сурет 2.15 – Турбоагрегат конденсаторындағы жылу ағынының тығыздығы

ЖЭО-ның турбоагрегат конденсаторы ЖА-шы бірде қызған бірде салқын ЖТ-мен жұмыс істегендіктен, құбырдағы температура айырымы өте жоғары болады. Соның нәтижесінде ЖА бетінде түзілетін қақ шөгіндісі құбыр қабырғасына берік түрде тығыз қалыптасқандықтан, қақ шөгіндісі жалпы термикалық кедергінің құрамдас бір бөлігіне айналады.

Пикті бойлерге қарағанда турбоагрегат конденсаторының жылу беру қарғындылығы өте жоғары, себебі турбоагрегат конденсаторы ЖА-ның жылу-масса алмасу заңдылықтары құбыр ішіндегі газсұйықты ағынның динамикасына ғана емес, сонымен қатар ЖА-тың ішкі бетінде түзілген қақ қабатының қалыңдығы мен құрылымына да байланысты болады.

Сондықтанда, диссертациялық жұмыстың мақсаты бойынша ЖА-дың жылу беру тиімділігін арттыратын электрогидроимпульстік қондырғы кешенін әзірлеу үшін алдымен, диффузорлы және конфузорлы құбырлардағы соққы толқыны кезіндегі газсұйықты ағын қозғалысының гидродинамикалық және жылу-масса алмасу заңдылықтарын зерттеп алуымыз қажет. Сонымен қатар, ЖА-дың ішкі беттерінде түзілген қақ шөгінділеріне физика-химиялық талдау әдістері негізінде зерттеу жұмыстарын жүргізуіміз қажет.

2.5 Екінші бөлімнің қорытындысы

Өндірісте және ЖЭО-да қолданылатын дәстүрлі ЖА-дың ішкі бетінде жұмыстық орта температурасы мен жылдамдығының өзгеруіне байланысты, ЖТ-дан тұзды ерітінділердің тұнбасы ретінде түзілетін қақ шөгіндісі құбыр бойымен бірдей қалыңдықта емес, белгілі бір бағыттарға байланысты әртүрлі қалыңдықта қалыптасады. Құбыр бетінде қалыптасқан қақ қалыңдығы ЖА-тың бастапқы диаметрін сақтамайды, яғни ЖА-тың ішкі бетінің геометриясын ғана өзгертіп қоймай (диффузор немесе конфузор), сонымен қатар жылу тасмалдағыштың гидродинамикалық заңдылығы мен құбырдың жылу беру тиімділігіне де әсерін тигізеді. Сондықтанда, қақ шөгінділерімен ластанған ЖА-ды тазалау процесін арттыру мақсатында электрогидроимпульстік технологиясымен қатар құбыр ішіне газ көпіршіктерін енгізе отырып кавитация процесін жоғарлату әдісі ұсынылады. Сол себепті, диссертациялық жұмыстың екінші бөлімінде ЖА-дың жылу беру қарқындылығын арттыратын қондырғы кешенін әзірлеу үшін электргидравликалық эффектiнiң газсұйықты ағын қозғалысына әсерін зерттеу жұмыстары қарастырылады. Ол үшін алдымен диффузорлы немесе конфузорлы құбырлардағы газсұйықты ағын қозғалысына ЭГЭ әдісінің әсерін зерттейтін тәжірибелік қондырғы жинақталып, зерттеу жұмыстарының нәтижелері негізінде есептеу жұмыстары жүргізілді. Атап айтатын болсақ, суасты жарылысы кезіндегі газсұйықты ағын қозғалысының гидродинамикалық параметрлерін есептеу әдістері қарастырылды, яғни газ және сұйық механикасының негізгі теңдеулері бойынша қосфазалы ағындағы газ және сұйық жылдамдықтарын анықтау, газсұйықты ағындағы гетерогендік дәрежесін анықтау, газсұйықты ағындағы газ концентрациясын есептеу және диффузор немесе конфузор формалы құбырлардың гидравликалық кедергілерін анықтау әдістері келтірілді.

Диффузорлы және конфузорлы ЖА-дағы соққы толқын әсері кезіндегі газсұйықты ағын қозғалысындағы импульстік қысым амплитудасын өлшеу әдісі талданып, қосфазалы ағын қозғалысы кезіндегі соққы толқын жарылысының қысым амплитудасының таралуы PCS500 маркалы сандық осциллографымен анықталып, газсұйықты ағынның қозғалысына байланысты импульстік қысымның таралу заңдылықтары қарастырылды.

ЖА-дың жылу-масса алмасу тиімділігін анықтау мақсатында ЖЭО-нан алынған пикті бойлер мен турбоагрегат конденсаторының ішкі бетінде пайда болған қақ қабаты қалыңдығына байланысты жылу беру қарқындылықтары есептелінді.

Диссертациялық жұмыстың екінші бөлімі бойынша негізгі қорытындысы:

1 ЖА бетінде қалыптасқан қақ шөгінділері құбыр геометриясын, ЖТ-тың гидродинамикалық заңдылықтарын, құбырдың жылу-масса алмасу процестерін өзгертеді.

2 ЖА-ды қақ шөгінділерінен тазалау процесінің тиімділігін арттыру мақсатында электргидравликалық технологиямен қатар газ-сұйықты ағындарды қолдану әдісі ұсынылды.

3 ТӘЖІРИБЕЛІК ЗЕРТТЕУДІҢ НЕГІЗГІ НӘТИЖЕЛЕРІ

3.1 Соққы толқын кезіндегі гетерогендік ортадағы гидродинамикалық параметрлерін анықтау

Қабырғалары жұқа, түсті металдардан жасалынған, әртүрлі қалыңдықтағы қақ шөгінділерімен ластанған ЖА-дың жылу беру тиімділігін арттыратын соққы толқыны негізінде жүргізілетін, электрогидроимпульстік технологиясын әзірлеу үшін газсұйықты ағын динамикасының электргидравликалық эффектiге әсерін зерттеп алу қажет. Себебі, құбырды тазалау процесін қарқындату үшін әзірленген электрогидроимпульстік технологиясын қолданумен қатар құбыр ішіне газ концентрациясы қосқан кезде тазаланылатын ЖА-тың ішінде газсұйықты ағыны пайда болады. Сондықтанда, ЭГТ-сын дайындау мақсатында электргидравликалық эффектiнің газсұйықты ағын қозғалысына тәуелді гидродинамикалық және жылу-масса алмасу заңдылықтарын анықтап алуымыз керек. Себебі, біріншіден, тазалау процесін арттыру үшін қосылатын газ концентрациясы құбыр ішінде газсұйықты ағынды тудырады, екіншіден, ЖА-тың ішкі бетінде қалыптасқан қақ шөгінділері құбырдың геометриясын өзгереді (диффузор және конфузор), үшіншіден, құбырдың ішкі диаметрлерінің өзгеруіне байланысты газсұйықты ағын қозғалысының гидродинамикалық және жылу-масса алмасу қасиеттері өзгереді [68].

3.1.1 Газсұйықты ағын динамикасының электргидравликалық эффектiге әсерін зерттеу

ЖА-ды тазалау процесіне соққы толқын кавитациясын арттыру мақсатында газсұйықты ағыны қолданылады. Электргидравликалық эффект кезіндегі газсұйықты ағын қозғалысының гидродинамикалық параметрлерін анықтау үшін диссертациялық жұмыстың 2 бөлімінде көрсетілген тәжірибелік қондырғысы жинақталып, зерттеу жұмыстары жүргізілді. Зерттеу нәтижелері бойынша шығын өлшеуіш шайбаларының үлгілеу тәуелділіктерін алу үшін газсұйықты ағындағы сұйықтың және газдың жылдамдықтары анықталды. Шығын шайбаларының үлгілеу тәуелділігі орташа массалық шығын әдісі негізінде анықталды. Ағын қозғалысының орныққан тәртібінде арнайы кран көмегімен дифманометрде қысымның белгілі айырымы орнатылады. Дифманометрдегі қысымның әрбір айырымы үшін қарастырылған уақыттағы сұйықтың көлемдік шығыны өлшенеді. Сұйықтың көлемдік шығыны белгілі бір уақытта (әрбір 10 минут сайын) қондырғыдағы газ жіберу процесі тоқтатылып, тәжірибелік қондырғының жоғарғы жағында орнатылған бактағы судың деңгейі бойынша анықталды. Зерттеу жұмыстары кезінде уақыт (10 минут) секундомердің көмегімен қойылды, тәжірибелік қондырғыдағы газды тоқтату процесі арнайы ашпалы және жаппалы крандар арқылы жүзеге асырылды. Есептеу жұмыстары бойынша соңғы мәндерден бастапқы көрсеткіштерді алып тастап, сол уақыттағы негізгі шығынды аламыз. Дифманометрдегі қысым айырымының 5 мәні алынады (40-тан 180-ге дейін) және осы қысым айырымының 5 мәніне сәйкес жылдамдық мәні алынады. Зерттеу нәтижелері

бойынша алынған тәжірибелік мәндер 3.1-теңдеуі бойынша есептелініп [69], есептеу нәтижелері 3.1-кестеге енгізілді.

$$g = \frac{G}{t} \quad (3.1)$$

мұндағы

g – судың секундтық шығыны, м³/с;

G – сұйық шығыны, м³;

t - уақыт, с.

Диффузор және конфузор формалы құбырлардағы су жылдамдықтары 3.2-теңдеуі бойынша есептелініп, есептеу нәтижелері 3.1-кестеде көрсетілген.

$$\vartheta = \frac{g}{S} \quad (3.2)$$

мұндағы

ϑ – су жылдамдығы, м²/с;

g – судың секундтық шығыны, м³/с;

S – құбыр ауданы, м².

Кесте 3.1 – Газсұйықты ағындағы сұйықтың секундтық шығыны мен жылдамдықтарының есептеу нәтижелері

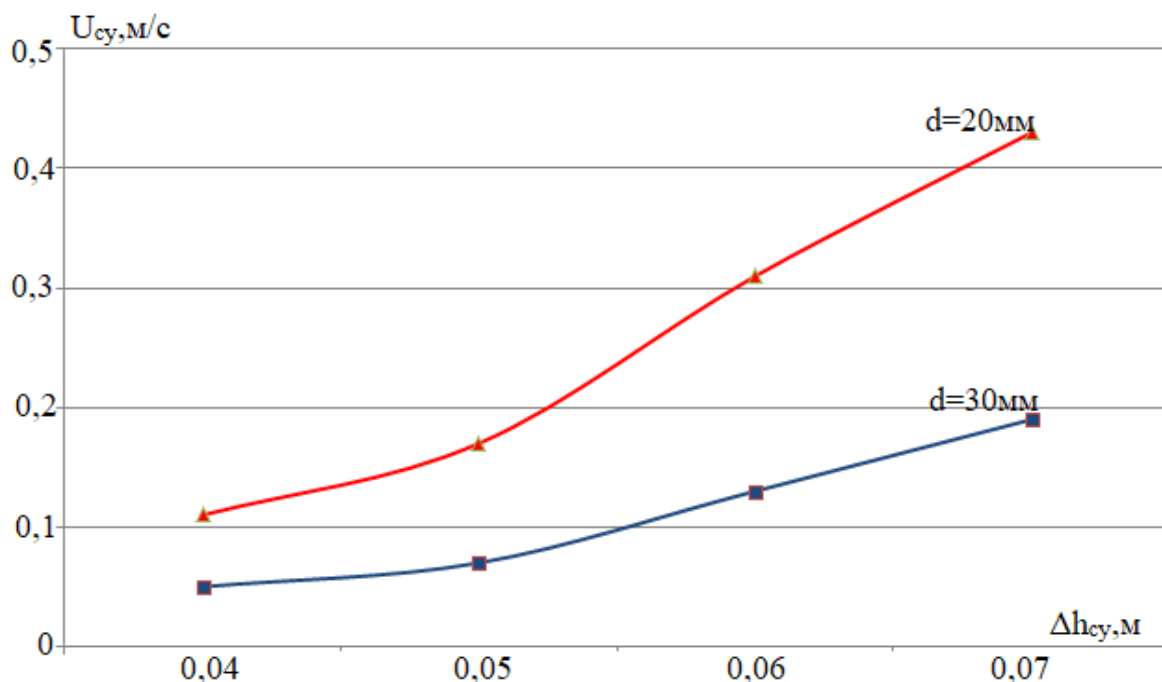
Судың жалпы шығыны (G_1), м/с	Судың секундтық шығыны (g_1), м/с	Су жылдамдығы, м/с ($d=30$ мм)	Су жылдамдығы, м/с ($d=20$ мм)
$345 \cdot 10^{-6}$	$34,5 \cdot 10^{-6}$	0,0488	0,1098
$545 \cdot 10^{-6}$	$54,5 \cdot 10^{-6}$	0,077	0,17
$980 \cdot 10^{-6}$	$98 \cdot 10^{-6}$	0,138	0,31
$1365 \cdot 10^{-6}$	$136,5 \cdot 10^{-6}$	0,19	0,43

3.1-кестедегі есептеу нәтижелері бойынша су жылдамдығының диффометрдің биіктігіне тәуелділігі ($U_{cy}=f(\Delta h_{cy})$) 3.1-суретте келтірілген.

Диаметрі 20 мм, диффузорлы құбырдағы су жылдамдығы диаметрі 30 мм конфузорлы құбырдағы су жылдамдығына қарағанда жоғары болады. Диффометр биіктігі 0,04 м-ден 0,07 м-ге дейін артқан уақытта диаметрі 20 мм диффузорлы құбырда су жылдамдығы 0,1 м/с-тан 0,43 м/с-қа дейін артады, себебі, құбырдың ішкі диаметрі кіші, сондықтанда мұндағы сұйық ағынының жылдамдығы артып, үлкен ауыспалы шамамен өзгереді. Диффометр биіктігі 0,04 м-ден 0,07 м-ге дейін артқан кезде диаметрі 30 мм конфузорлы құбырдағы су жылдамдығы 0,05 м/с-тан 0,19 м/с-қа дейін жоғарлайды. ЖА-дың диаметрі неғұрлым кіші болса, соғұрлым газсұйықты ағындағы су жылдамдығы жоғары болып табылады.

Жалпы теорияға сәйкес диффузорлы емес конфузорлы құбырларда су жылдамдығы көп болуы керек, бірақ тәжірибелік зерттеулер бойынша керсінше

диффузорлы құбырлардағы су жылдамдығы конфузольы құбырлардағы су жылдамдығына қарағанда көп болып тұр. Бұл теориялық зерттеулерде сұйық ағыны гомогенді орта болғандықтан, мұнда диффузорлыға қарағанда конфузольы құбырда су жылдамдығы жоғары болып табылады. Тәжірибелік зерттеулердегі жұмыс ортасы газсұйықты ағындар, сондықтанда қосфазалы ағындарда қосымша құбылыстар пайда болады, мысалы фазалардың сырғуы, көпіршіктердің ұлғаюы, ағынның турбулентті араласу сияқты факторлар әсер етеді. Соның нәтижесінде, сұйық жылдамдығы салыстырмалы түрде конфузольы емес диффузорлы жоғары болып табылады.



Сурет 3.1 – Диффузорлы және конфузольы құбырлардағы су жылдамдығының үлгілеу графигі

Гетерогендік ортадағы газ құрамының жалпы шығыны [70]:

$$G = \pi r^2 \Delta h \quad (3.3)$$

мұндағы

r – құбыр радиусы, м;

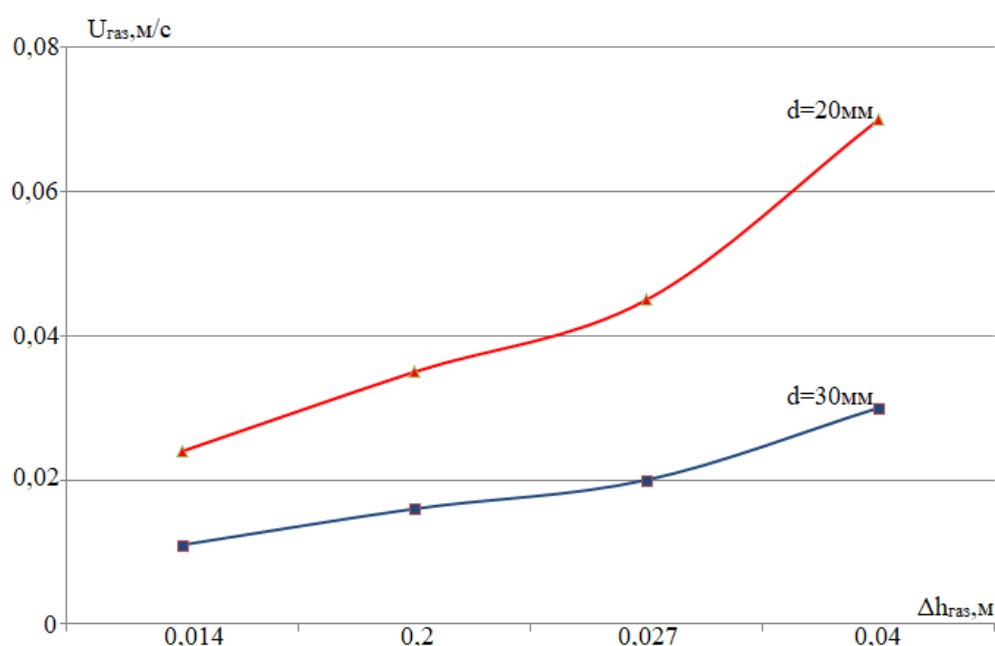
Δh – диффометр биіктігі, м.

Газсұйықты ағындағы газдың секундтық шығыны 3.1-теңдеу бойынша есептеліп, есептеу нәтижелері 3.2-кестеде көрсетілген. Сонымен қатар, диффузорлы және конфузольы құбырлардағы газсұйықты ағын қозғалысындағы газ жылдамдығы 3.2-теңдеуімен есептеліп, есептеу мәндері 3.2-кестеде келтірілген.

Кесте 3.2 – Газсұйықты ағындағы газдың секундтық шығыны мен жылдамдықтарының есептеу нәтижелері

Газдың жалпы шығыны (G_1), м ³	Газдың секундтық шығыны (g_1), м ³ /сек	Газ жылдамдығы, м/с, (d=30)	Газ жылдамдығы, м/с, (d=20)
$0,077 \cdot 10^{-3}$	$0,077 \cdot 10^{-4}$	0,011	0,024
$0,11 \cdot 10^{-3}$	$0,11 \cdot 10^{-4}$	0,016	0,035
$0,14 \cdot 10^{-3}$	$0,14 \cdot 10^{-4}$	0,020	0,045
$0,22 \cdot 10^{-3}$	$0,22 \cdot 10^{-4}$	0,030	0,07

3.2-кестедегі есептеу нәтижелері бойынша газ жылдамдығының диффометр биіктігіне тәуелділігі ($U_{\text{газ}}=f(\Delta h_{\text{газ}})$) 3.2-суретте көрсетілген.



Сурет 3.2 – Диффузор және конфузор құбырларындағы газ жылдамдығының үлгілеу графигі

Диаметрі 30 мм конфузорлы құбырларға қарағанда диаметрі 20 мм диффузорлы құбырлардағы газ жылдамдығы үлкен болады. Диффометр биіктігі 0,014 м-ден 0,027 м-ге дейін артқанда кезде диффузорлы құбырдағы газ жылдамдығы 0,024 м/с-тан 0,045 м/с-қа дейін бірқалыпты артады. Ал, диффометр биіктігі 0,027 м-ден 0,04 м-ге өскен кезде диаметрі 20 мм диффузорлы құбырдағы газ жылдамдығы 0,045 м/с-тан 0,7 м/с-қа дейін бірден жылдам жоғарлайды. Диаметрі 30 мм конфузорлы құбырдағы газ жылдамдығы диффометр биіктігінің артуына байланысты 0,011 м/с-тан 0,030 м/с-қа дейін бірқалыпты өседі.

Газсұйықты ағын қозғалысы кезіндегі газ мөлшерін есептеу қажет, себебі ЖА-ды тазалау процесін қарқындату мақсатында құбыр ішіне

электрогидроимпульстік технологиясымен қатар газ концентрациясы қосылады. Сондықтанда, тәжірибелік зерттеу жұмыстары бойынша газсұйықты ағынның гетерогендік дәрежесін анықтаймыз. Ол үшін алдымен тәжірибелік қондырғыдағы құбырлардың радиустарына байланысты көлемдерін анықтап аламыз. Құбыр көлемі:

$$V = \pi r^2 \Delta h \quad (3.4)$$

мұндағы

r – құбыр радиусы, м;

Диаметрі 30 мм ЖА-тың радиусы 0,015 м-ге тең, сондықтанда диаметрі үлкен құбыр көлемі 3.4-теңдеуі бойынша есептеліп, нәтижесінде диффузорлы құбыр көлемі 0,000826 м³ құрайды. Ал диаметрі 20 мм ЖА-дың радиусы 0,01 м-ге тең. Кіші құбыр көлемі 3.4-теңдеуі бойынша анықталып, конфузорлы құбыр көлемі 0,00031 м³-қа тең.

Тәжірибелік қондырғыдағы төменгі бак көлемі 0,00252 м³-қа тең. Ал, зерттеу жұмыстарындағы газсұйықты ағынның жалпы көлемі 0,004 м³-ты құрайды. Осы берілгендер бойынша газсұйықты ортаның гетерогендік дәрежесі келесі өрнек бойынша анықталады:

$$\varphi = \frac{\Delta V_n}{V_0} \quad (3.5)$$

мұндағы

ΔV_n – судың жалпы шығыны, м/с;

V_0 – газсұйықты ағынның жалпы көлемі, м³.

Газсұйықты ағындағы газ концентрациясы:

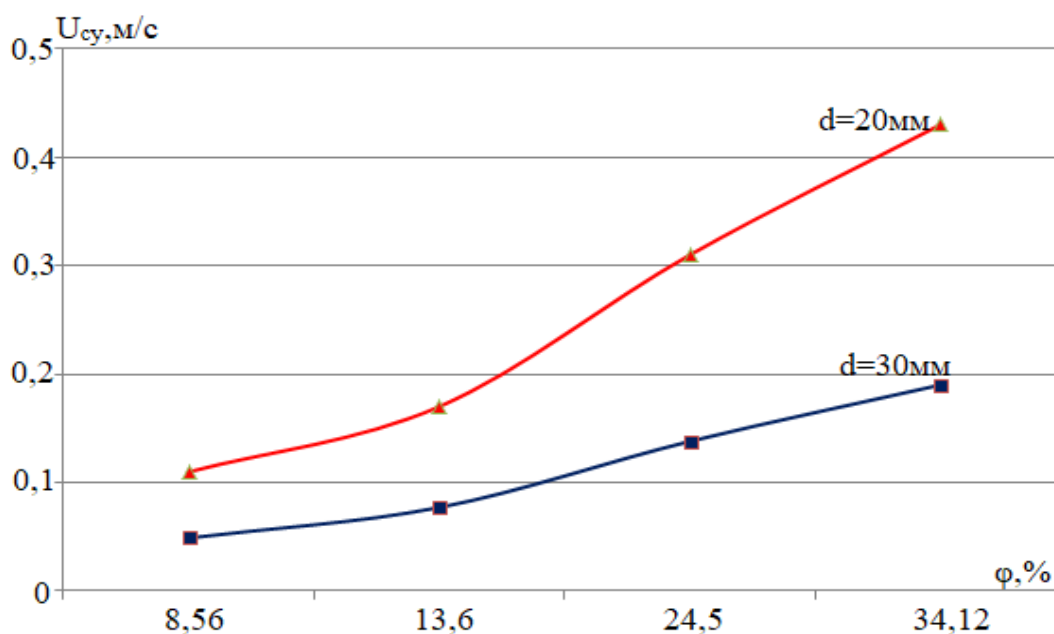
$$\beta = \left(\frac{g_{CO_2}}{g_{CO_2} + g_{H_2O}} \right) 100\% \quad (3.6)$$

Тәжірибелік зерттеу мәндері бойынша газсұйықты ағынның гетерогендік дәрежесі 3.5-теңдеуі бойынша есептелініп және гетерогендік ортадағы газ концентрациясы 3.6-теңдеу бойынша анықталып, есептеу нәтижелері 3.3-кестеде келтірілген.

Кесте 3.3 – Газсұйықты ортаның гетерогендік дәрежесі мен газ құрамы

Су жылдамдығы, м/с (d=30мм)	Су жылдамдығы, м/с (d=20мм)	Гетерогендік дәрежесі, φ , %	Газ концентрациясы, β , %
0,0488	0,1098	8,56	18
0,077	0,17	13,6	16,7
0,138	0,31	24,5	12,5
0,19	0,43	34,12	12,3

3.3-кестеде келтірілген есептеу нәтижелері бойынша диффузор және конфузор құбырлардағы су жылдамдығының газсұйықты ағын қозғалысының гетерогендік дәрежесіне байланысты тәуелділігін $U_{cy}=f(\varphi)$ аламыз (3.3-сурет).

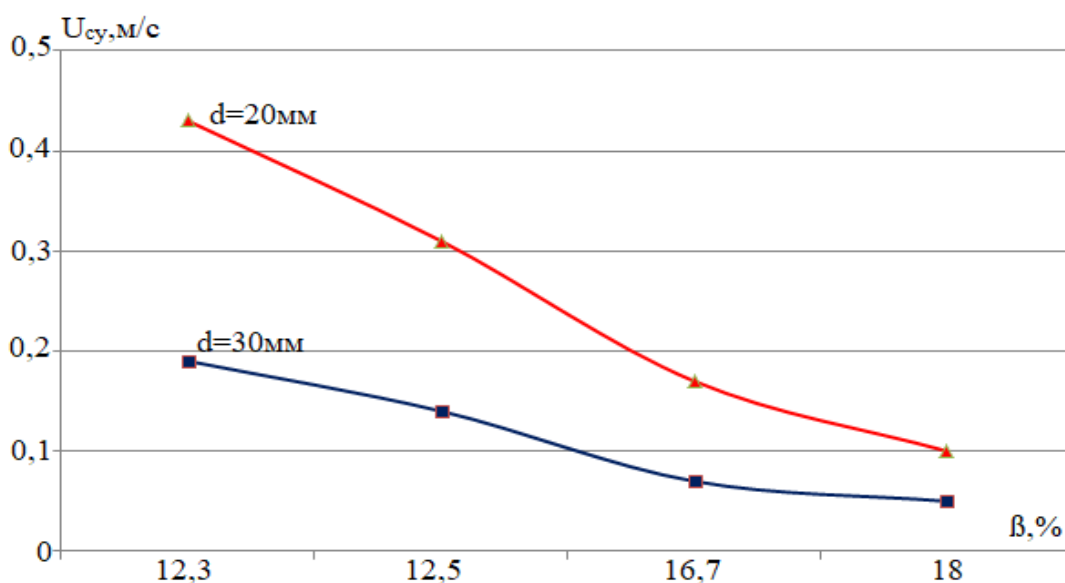


Сурет 3.3 – Су жылдамдығының газсұйықты ортаның гетерогендік дәрежесіне тәуелділігі

Диффузор және конфузор құбырларындағы газсұйықты ағынның гетерогендік дәрежесі артқан сайын су жылдамдығыда артады. Диффузорлы құбырларда гетерогендік дәрежесі 8,56%-дан 13,6%-ға дейін ағын жылдамдығы 0,11 м/с-тан 0,17 м/с-қа дейін бірқалыпты өседі, ал гетерогендік дәрежесі 13,6%-дан 34,12%-ға дейін өскен кезде су жылдамдығы 0,17 м/с-тан 0,43 м/с-қа дейін бірден жылдам тез өседі. Конфузорлы диаметрі 30 мм құбырдағы ағын жылдамдығы гетерогендік дәрежесіне байланысты 0,05 м/с-тан 0,19 м/с-қа дейін бір қалыпты артады. Барлық жағдайда диаметрі кіші диффузорлы құбырдағы ағын жылдамдығы әрқашан үлкен болады, себебі энергияның көлемдік тығыздығы мен қысым импульсінің тиімділігі құбыр қимасына тәуелді. Яғни бұл процесс ЖА-ды электрогидроимпульстік технологиясымен тазалау кезінде құбыр ішіне берілетін разряд нәтижесінен туындайтын импульстік қысым толқыны мен кавитациялық құбылыстың газсұйықты ортада таралу ерекшелігімен түсіндіріледі. Газсұйықты ағындағы газ концентрациясының өсуі қоспаның орташа тығыздығын азайтып, газсұйықты ағынның сығылғыштық қасиетін арттырады, соның нәтижесінде құбыр ішінде газ көпіршіктерінің әсерінен қысым импульсінің таралуы күшейеді. Газ көпіршіктерінің ұлғайып немесе сығылуы газсұйықты ағын жылдамдығының генерациясын тудырып, сұйықтың үдеуін көбейтеді. Осылайша, электргидравликалық эффект кезіндегі газсұйықты ортадағы гетерогендік дәреженің артуы ЖА ішіндегі импульс энергиясының сұйық ортаға берілуі

қарқындылығын арттырып, ағынның орташа жылдамдығын жоғарлатады. Диффузорлы құбырдағы газсұйықты ағынның гетерогендің дәрежесінің өсуінен су жылдамдығының арту процесі импульстік үдеудің жоғарлауымен және ЖА диаметрінің кіші болған кезеде су жылдамдығының артуы энергияның шоғырлануы есебінен болатыны анықталды. Бұл нәтижелер ЖА-ды электргидравликалық өңдеу процестерінде газсұйықты ортаның құрылымдық параметрлері ағын динамикасын зерттейтін негізгі факторлардың бірі екенін дәлелдейді.

3.3-кестеде келтірілген есептеу нәтижелері бойынша диффузорлы және конфузорлы құбырдағы су жылдамдығының газ концентрациясына байланысты тәуелділігін саламыз (3.4-сурет).



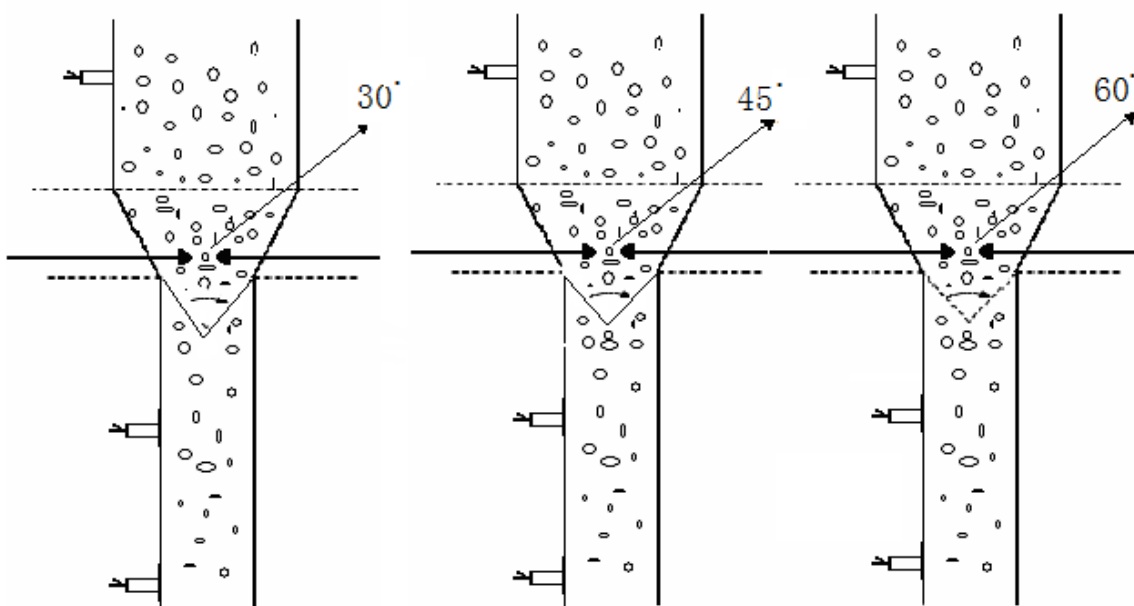
Сурет 3.4 – Газсұйықты ағындағы су жылдамдығының газ концентрациясына тәуелділігі

Газсұйықты ағындағы газ концентрациясы артқан сайын, ағын жылдамдығы төмендейді. Диффузорлы, диаметрі 20 мм құбырларда газ концентрациясы 12,3%-дан 16,7%-ға дейін артатын болса, онда ағын жылдамдығы 0,43 м/с-тан 0,17 м/с-қа дейін жылдам кемиді, ал газ концентрациясы 16,7%-дан 18%-ға дейін өскен кезде су жылдамдығы 0,17 м/с-тан 0,11 м/с-қа дейін монотонды түрде төмендейді. Диаметрі 30 мм конфузорлы құбырда газ концентрациясы 12,3%-дан 18%-ға дейін жоғарлағанда ЖА-тағы ағын жылдамдығы 0,19 м/с-тан 0,05 м/с-қа дейін төмендейді. Конфузор мен диффузор құбырларын салыстыратын болсақ, онда конфузорлы құбырларға қарағанда диффузорлы құбырдағы ағын жылдамдығы салыстырмалы түрде жоғары болады.

Газсұйық ағындағы газ концентрациясының артуына байланысты ағын жылдамдықтарының төмендеуі соққы толқын кезіндегі қысым импульсінің газсұйықты ортада таралу заңдылығымен түсіндіріледі. Қосфазалы ортадағы газ концентрациясының артуы ағынның орташа тығыздығын кемітеді, бірақ

ортаның сығылғыштық қасиетін арттырып, импульс энергиясының бір бөлігі газ көпіршіктерін сығуға жұмсалады. Соның нәтижесінде импульстік қысымның газсұйықты ортаға беретін үлесі азайып, ағынның гидродинамикалық үдеуін төмендетеді. Сондай ақ, газсұйықты ағындағы газ мөлшерінің артуы турбуленттік диссипация процесін арттырып, сонымен қатар, ағын ішіндегі энергия шығындарын көбейтеді, осының нәтижесінде су жылдамдығы төмендейді. Диаметрі кіші құбырларда энергияның меншікті көлемдік тығыздығы жоғары болады, соның нәтижесінде құбыр ішіндегі қысым градиенті өседі де диффузорда ағын жылдамдығы конфузорға қарағанда үлкен болады. Алынған нәтижелер, газсұйықты ағынның гидродинамикалық теорияларына сәйкес келеді және электрогидроимпульстік технологияда газ концентрациясы ағын жылдамдығын басқаратын маңызды фактор екенін дәлелдейді.

Диффузорлы және конфузорлы құбырлардағы газсұйықты ағынның гидравликалық кедергілерін есептеу үшін бұрылу бұрыштары әртүрлі (30° , 45° және 60°) ЖА-тар алынады (3.5-сурет).



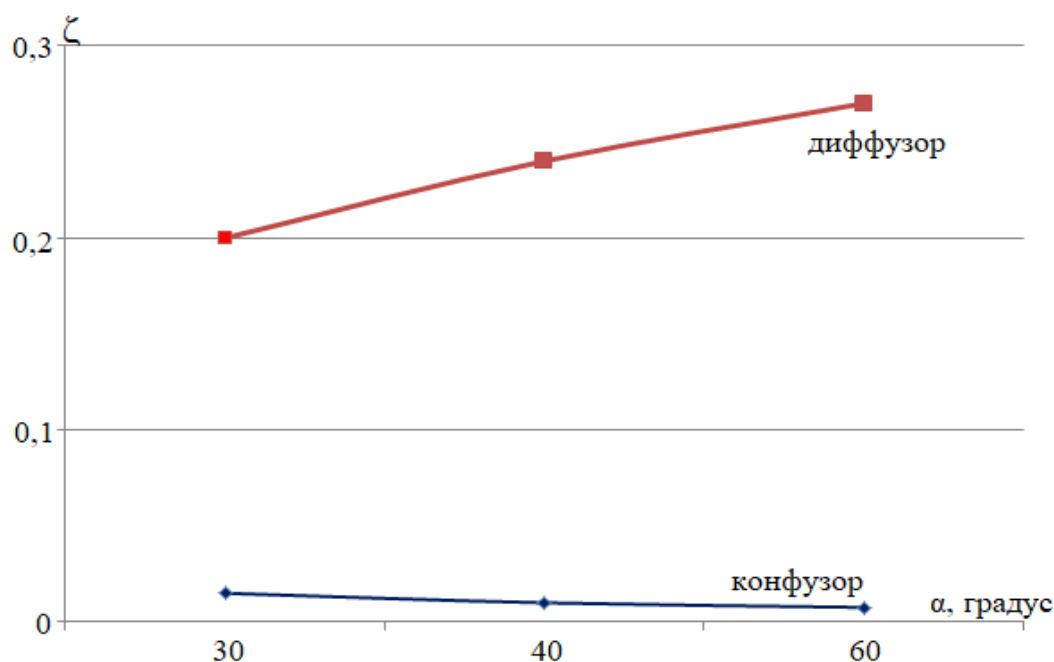
Сурет 3.5 – Қимасы 30° , 45° және 60° диффузорлы және конфузорлы жылу алмастырғыштар

Қимасы 30° , 45° және 60° конфузорлы және диффузорлы құбырлардың гидравликалық толық жоғалулар 2.11-тендеумен есептелді және гидравликалық кедергілері 2.13-тендеумен анықталып, есептеу нәтижелері 3.4-кестеде көрсетілді.

Кесте 3.4 – Диффузор және конфузор жылу алмастырғыштарындағы толық жоғалулар мен гидравликалық кедергілерді есептеу нәтижелері

Құбыр қимасының бұрылу бұрыштары α , градус	Диффузор		Конфузор	
	Гидравликалық кедергі коэффициенті, $\zeta_{\text{диф}}$	Гидравликалық толық жоғалуы, $G_{\text{диф}}$	Гидравликалық кедергі коэффициент $i, \zeta_{\text{диф}}$	Гидравликалық толық жоғалуы, $G_{\text{диф}}$
30	0,20	$2,4 \cdot 10^{-5}$	0,015	$1,3 \cdot 10^{-4}$
45	0,24	$7,1 \cdot 10^{-5}$	0,01	$1,15 \cdot 10^{-4}$
60	0,27	$2,6 \cdot 10^{-5}$	0,0076	$1,25 \cdot 10^{-4}$

3.4-кестеде келтірілген есептеу нәтижелері бойынша диффузор және конфузор құбырларындағы гидравликалық кедергі коэффициентінің құбыр қимасына байланысты тәуелділігі алынды (3.6-сурет).



Сурет 3.6 – Гидравликалық кедергі коэффициентінің құбыр қимасына тәуелділігі

Конфузорлы құбырларға қарағанда диффузорлы құбырларда гидравликалық кедергі коэффициенті үлкен. Диаметрі кіші құбырларда арна қимасы артқан сайын гидравликалық кедергі коэффициенті артады, ал диаметрі үлкен ЖА-да керсінше құбыр қимасы артқан сайын гидравликалық кедергі коэффициенті кемиді. Құбыр қимасы 300-дан 600-қа артқан кезде диффузордағы гидравликалық кедергі 0,2-ден 0,27-ге дейін өседі, ал конфузорда 0,015-тен 0,007-ге дейін төмендейді, яғни бұл процесс құбыр

арнасының қимасына байланысты энергия шығындарының әртүрлі болатынымен негізделеді.

ЖА-тағы газсұйықты ағын құрылымы құбырдың геометриялық сипатына тікелей байланысты, мысалы диффузорда қиманың ұлғаюы болады да, онда ағынның жылдамдығы төмендеп, қысым бір қалыпты болады, бірақ құбыр қимасының ұлғаюымен газсұйықты ағын құбыр қабырғасының бойымен ажырауы мүмкін. Ағын қозғалысы құбыр қабырғасынан ажыраған кезде ЖА ішінде құйындар пайда болып, турбуленттік ағыс артады және импульс шығындары өседі. Соның нәтижесінде диаметрі кіші құбырларда гидравликалық кедергі коэффициенті артады. Құбырдың қимасы үлкейген сайын газсұйықты ағынның тұрақсыздығы жоғары болады, осыған байланысты энергияның қайтымсыз шығындары артады.

Конфузорлы құбырларда құбыр қимасының тарылуы ағын жылдамдығын арттырып, құбыр қабырғасының бойындағы ажырау ықтималдылығын төмендетеді. Сол себепті, құбыр қимасының аз бұрыштарында гидравликалық кедергі коэффициенті минимальды мәнге ие болады. Алынған нәтижелер, импульстік және газсұйықты ағындарды басқаруға, сонымен қатар, ластанған құбырларды тазалайтын электргидравликалық технологияларын жобалауда геометриялық параметрлерді оңтайландырудың маңыздылығын көрсетеді.

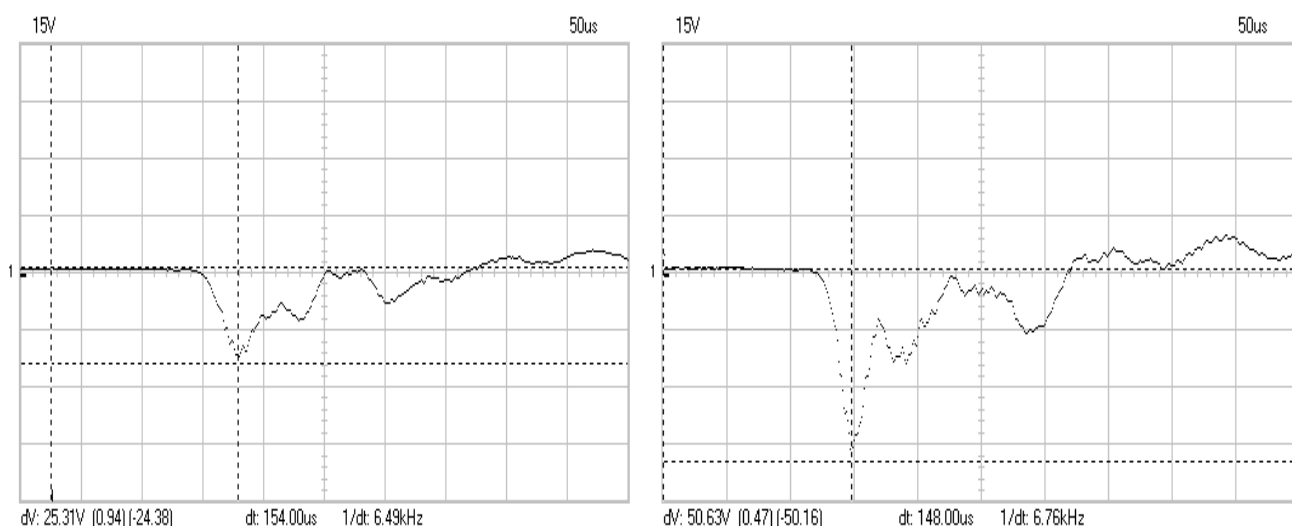
3.1.2 Соққы толқын кезіндегі гетерогендік ортадағы импульстік қысым амплитудасының таралау заңдылықтары

Диффузорлы және конфузорлы құбырларда электргидравликалық эффект кезіндегі газсұйықты ағын қозғалысының импульстік қысым амплитудасының таралу заңдылығын зерттеу үшін диссертацияның 2-бөлімінде тәжірибелік қондырғы жинақталып, зерттеу жұмыстары жүргізілді.

Газсұйықты ағын қозғалысы кезіндегі диффузорлы және конфузорлы құбыр ішіндегі соққы толқын қысымын бақылау үшін құбыр бойына пьезоэлементтік датчигі орнатылады. ЖА-да орнатылған қысым датчигі PCS500 маркалы сандық осциллографына қосылған. PCS500 маркалы сандық осциллографтың максималды қабылдау кернеуі 100 кВ, сондықтан да құбырда орнатылған қысым датчигі мен сандық осциллографының ортасын арнайы реттегіші бар бөлгіш (делитель) арқылы жалғанады [71]. Сандық осциллографы арнайы компьютерге жалғанды.

Диффузор және конфузор құбырдағы газсұйықты ағын қозғалысы кезіндегі импульстік қысым амплитудасының таралуын анықтау үшін электргидравликалық қондырғысының разряд контурының индуктивтілігі мен жұмыстық құбыр ішіндегі электродтар арақашықтығы тұрақты. Тәжірибелік зерттеу жұмыстарында разряд кернеуі 3 кВ-тан 15 кВ-қа дейін, конденсатор сыйымдылығы 0,1 мкФ-тан 0,25 мкФ-қа дейін, разрядтауыш электрод арақашықтығы 1 мм-ден 5 мм-ге дейін өзгеріп отырды. Диффузорлы құбырдың диаметрі 20 мм, ұзындығы 0,5 м, конфузорлы құбырдың диаметрі 30 мм, ұзындығы 0,5 м.

Тәжірибе барысында диффузор және конфузор ішіндегі соққы толқын жарылысының белгілері құбыр қабырғасында орналасқан пьезоэлементтік датчик арқылы қабылданып, PCS500 маркалы сандық осциллографына арнайы бөлгіш арқылы беріліп отырды [72]. Сандық осциллограф қабылданған белгілер компьютердің жадысында сақталып PCLab 2000 қолданбалы бағдарламасы арқылы өңделіп отырды. Тәжірибелік жұмыстар негізінде алынған ЖА ішінде электр разрядынан пайда болатын соққы толқыны кезіндегі белгілер 3.7-суретте келтірілген.



а) разряд кернеуі 3кВ,
разрядтауыш арақашықтығы 1 мм

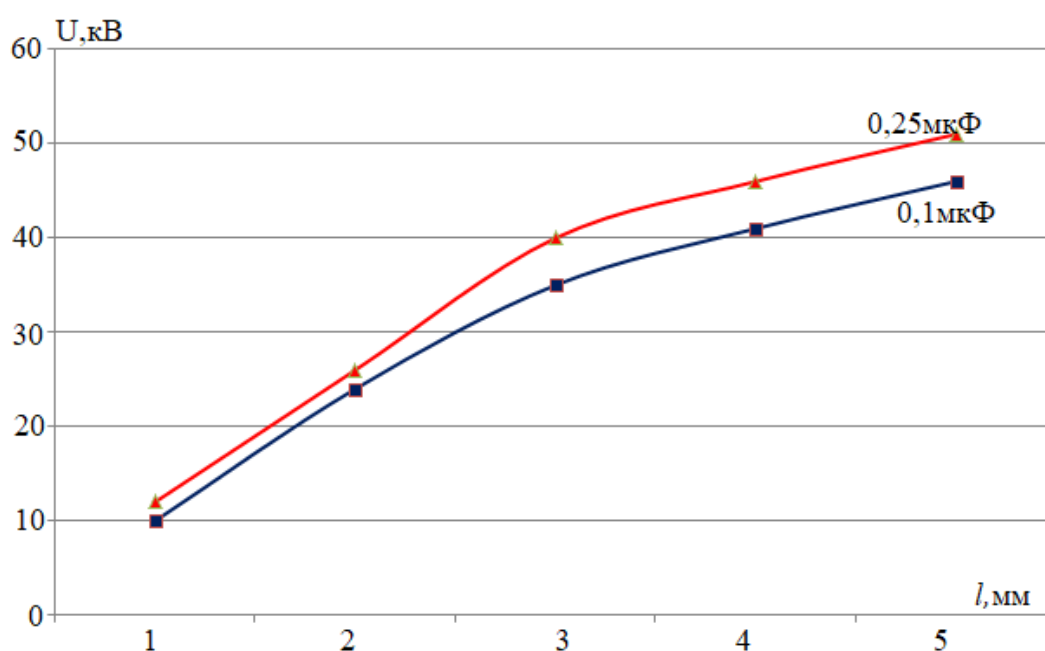
б) разряд кернеуі 12кВ,
разрядтауыш арақашықтығы 5мм

Сурет 3.7- Құбыр ішіндегі соққы толқын кездегі белгінің кіріс кернеуінің уақыт бойынша өзгерісі

3.7-суретте диффузорлы және конфузорлы құбыр ішіне электр разряды әсерінен пайда болатын соққы толқынын пьезоэлементтік қысым датчигі қабылдаған белгілердің тербелістері көрсетілген. Бұл құбылыс ЖА ішіне берілетін электр разрядының нәтижесінде конденсаторлық энергияның плазмалық арна бойынша босатылуымен және сұйық ортада жоғары қысымды соққы толқынның пайда болуымен анықталады. Диффузорлы және конфузорлы құбыр ішінде электр разряды басталған кезде электр тізбегінің эквиваленттік кедергісі бірден төмендеп, соның салдарынан кернеу импульсі азаяды. Осы кезде құбыр ішіндегі сұйық ортада импульстік қысымның жоғары градиенті пайда болып, соққы толқынны құбыр бойымен таралады. Нәтижесінде соққы толқыны құбыр қабырғалары мен фазалық шекараларымен шағылып, кернеу белгілерінде әлсіз тербелістер пайда болады [73]. Зерттеу жұмыстары барысында разряд кернеуі 3кВ, разрядтауыш арақашықтығы 1мм, конденсатор сыйымдылығы 0,25 мкФ кезінде кіріс кернеуі 25 В шамасында, импульс ұзақтығы 154 мкс-қа және тербеліс жиілігі 6,5 кГц-ке тең.

Электргидроимпульстік қондырғының бұл тәртібінде, разряд кернеуі салыстырмалы түрде төмен, сол себепті құбыр ішіндегі соққы толқын қысымының амплитудасы мен газсұйықты ағынның гидродинамикалық әсері шектеулі (3.7а-сурет). Разряд кернеуі 12 кВ, разрядтауыш арақашықтығы 5 мм, конденсатор сыйымдылығы 0,25 мкФ кезінде электргидравликалық қондырғыдағы кіріс кернеуі 50 В мөлшерінде, импульс ұзақтығы 148 мкс және тербеліс жиілігі 6,8 кГц шамаларына тең және құбыр ішінде пайда болатын жоғары разряд плазмалық арнаның температурасы мен қысымын жоғарлатып, сұйық ортадағы соққы толқын тиімділігін арттырады. Соның нәтижесінде, кернеу тербелісінің амплитудасы жоғары және оладың қалыпқа келу процесі күрделі болып табылады (3.7ә-сурет).

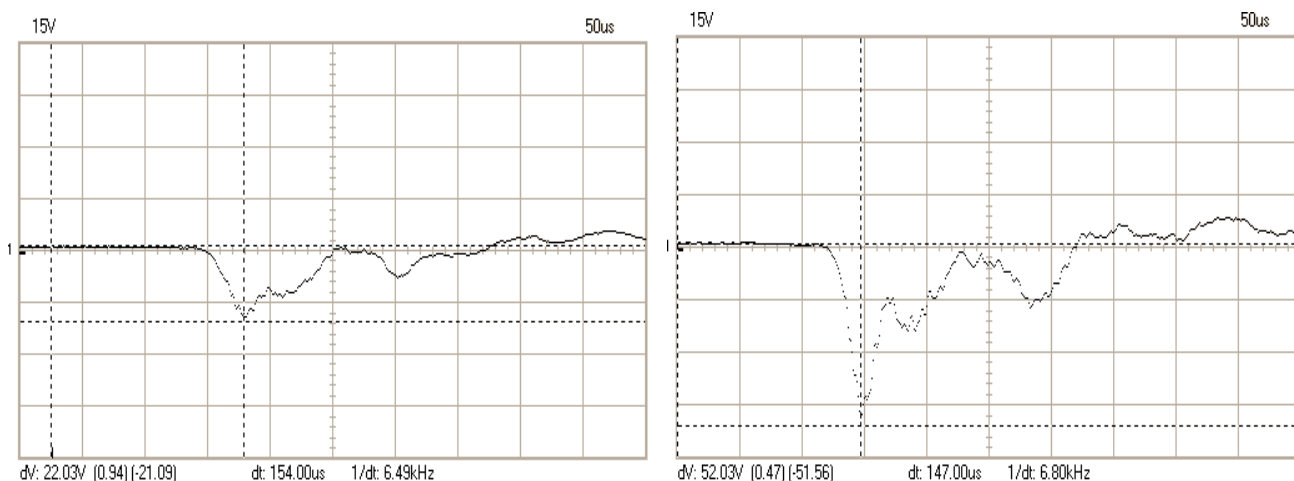
Конденсатор сыйымдылығы 0,1 мкФ - 0,25 мкФ кезіндегі разряд кернеуінің разрядтауыш арақашықтығына тәуелділігі 3.8-суретте келтірілген.



Сурет 3.8-Конденсатор сыйымдылығы 0,1 мкФ және 0,25 мкФ кезіндегі разряд кернеуінің разрядтауыш арақашықтығына тәуелділігі

Электргидравликалық қондырғымен жұмыс жасау кезінде жұмыстық ортадағы импульс энергиясы разряд кернеуіне, конденсатор сыйымдылығына және разрядтауыш арақашықтыққа байланысты өзгеріп отырады. Сол себепті, тәжірибелік жұмыста 0,1 мкФ және 0,25 мкФ-ты конденсатор сыйымдылығы қолданылады. Конденсатор сыйымдылығы 0,25 мкФ кезінде разрядтауыш арақашықтығын 1 мм-ден 5 мм-ге дейін көбейтетін болсақ, қондырғыдағы разряд кернеуі 12 кВ-тан 51 кВ-қа дейін артады. Конденсатор сыйымдылығы 0,1 мкФ кезінде разрядтауыш аралығы 1 мм - 5 мм шамаларында разряд кернеуі 10 кВ-тан 46 кВ-қа дейін өседі.

Диффузор және конфузор құбырларда тыныштық күйдегі газсұйықты ортаның импульстік қысым амплитудасының таралу заңдылықтарын зерттеу үшін тәжірибелік жұмыстар жүргізілді және кіріс кернеуінің импульс ұзақтығына байланысты тәуелділігі алынды (3.9-сурет).

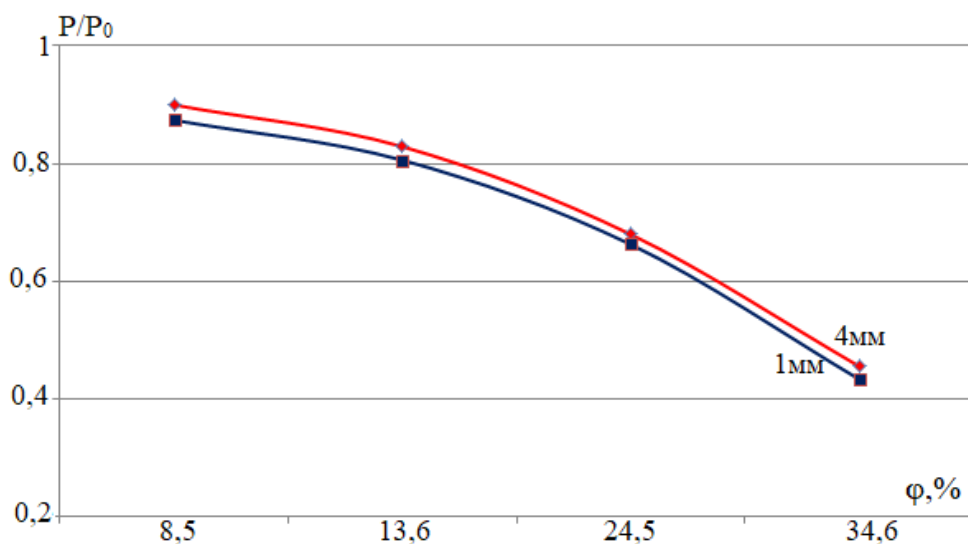


а) разряд кернеуі 1кВ,
разрядтауыш арақашықтығы 1мм

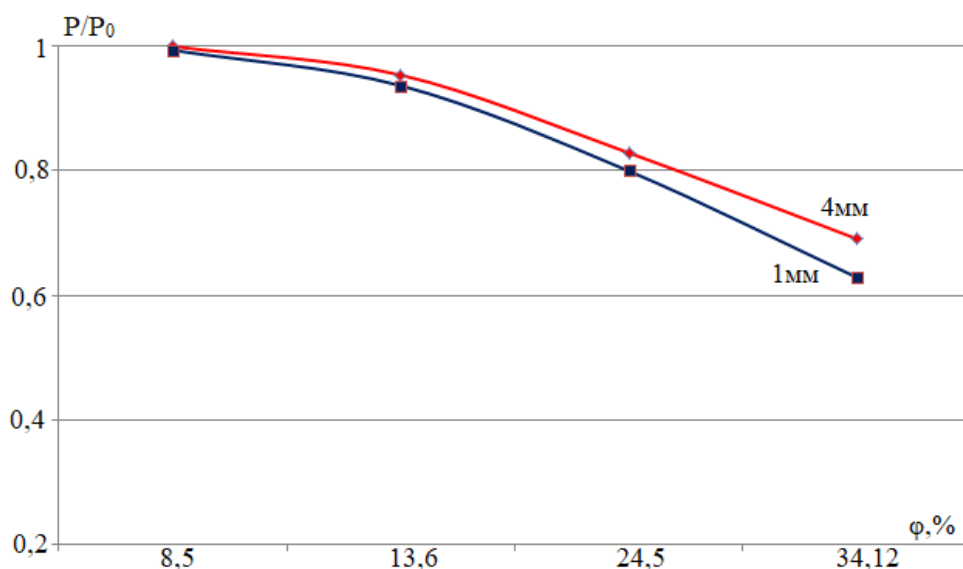
б) разряд кернеуі 12кВ,
разрядтауыш арақашықтығы 5мм

Сурет 3.9 – Тыныштықтағы газсұйықты ортаның кіріс кернеуінің импульс ұзақтығына тәуелділігі

Тыныштық күйдегі газсұйықты ортадағы қысым амплитудасының таралу заңдылықтарын зерттеу жұмыстары тәжірибелік қондырғының разряд кернеуі 3 кВ - 12 кВ аралығында, разрядтауыш электродтардың арақашықтығы 1 мм – 5 мм шамаларында және конденсатор сыйымдылығы 0,25 мкФ параметрлері негізінде жүргізілді. Құбыр ішіне 3 кВ разряд кернеуі берілген кезде кернеудің төмендеу амплитудасы 22 В шамасында, осы кездегі импульс ұзақтылығы 154 мкс-қа және тербеліс жиілігі 6,5 кГц-қа тең. Яғни диффузор және конфузор құбырларына берілетін разряд кернеуі (3кВ) аз болғандықтан, құбыр ішіндегі газсұйықты ортаның соққы толқын қысымының амплитудасының тербелісі аз. Себебі, біріншіден, құбыр ішіндегі газсұйықты орта қозғалыста емес тыныштық күйде, екіншіден, берілетін разряд кернеуі төменгі шамада (3.9а-сурет). Разряд кернеуі 12 кВ кезіндегі, кернеудің төмендеу амплитудасы 52 В, осы кезде конфузор және диффузор құбырлардағы газсұйықты ортаның импульстік қысым амплитудасы біршамаға артады, себебі құбыр ішіне берілетін разряд кернеуіде (12 кВ) және разрядтаушы электрод арақашықтығы (5 мм) жоғары болады (3.9б-сурет). Осы зерттеу жұмыстарының нәтижесі бойынша, аралық разрядтың әртүрлі арақашықтығы кезіндегі диффузор және конфузор құбырларындағы тыныштықтағы газсұйықты ағынының салыстырмалы импульстік қысым амплитудасының газ қоспасына тәуелділігі алынады (3.10-сурет).



а) диффузор



ә) конфузор

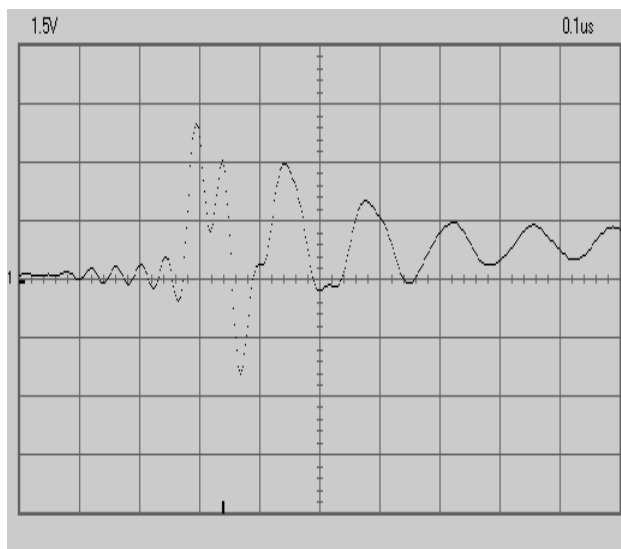
Сурет 3.10 –Тыныштықтағы газсұйықты ортадағы импульстік қысым амплитудасының гетерогендік дәрежесіне тәуелділігі

Тыныштық күйдегі диффузор және конфузор құбырларында газсұйықты ағынның гетерогендік дәрежесінің артуымен импульстік қысым амплитудасының төмендеуі болады. Яғни бұл процесс газсұйықты ортаның сығылуымен және энергия таралуының артуымен негізделеді. Газсұйықты ортаның гетерогендік дәрежесі көбейген сайын соққы толқынның импульстік энергиясының бір бөлігі газ көпіршіктерін сығуға жұмсайды, соның нәтижесінде газсұйықтағы импульстік қысымның нақты амплитудасы кемиді. Электргидравликалық қондырғыдағы аралық разрядтауыш арақашықтығының ұлғаюы (1 мм - 5 мм) құбыр ішінде разряд энергиясының таралу көлемін арттырып, электродтар арасындағы плазмалық арна ұзындығын кеңейтеді,

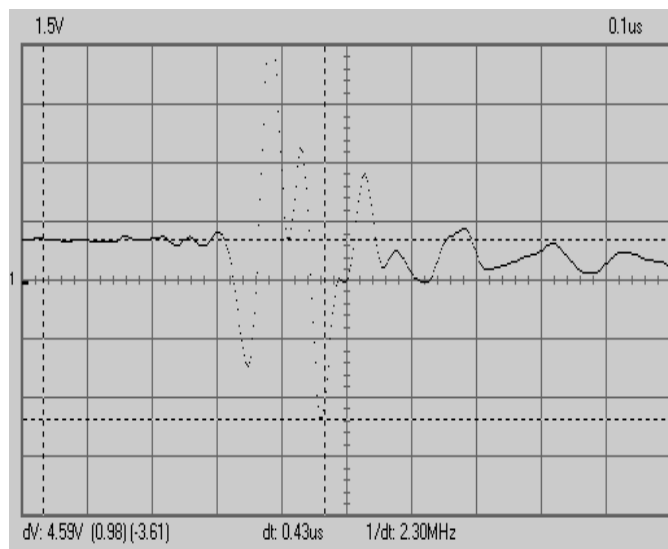
соның салдарынан бастапқы қысым импульсі кеңірек көлемге таралып, сәйкесінші импульстік қысым амплитудасы төмендейді. Диффузор құбырда газсұйықты ағынның гетерогендік дәрежесін 8,5%-дан 34,12%-ға дейін көбейсе, онда тыныштық күйдегі газсұйықты ортада импульстік қысым амплитудасының салыстырмалы төмендеуі 0,9-0,43 аралығында болады. Аралық разрядтауыш арақашықтығына байланысты ауалық разрядтауыш арақашықтығы неғұрлым үлкен болған сайын, салыстырмалы түрде соғұрлым сұйық ортадағы импульстік қысым амплитудасы жоғары болады. Конфузорлы құбырда газсұйықты ортаның гетерогендік дәрежесін 8,5%-дан 34,12%-ға артқан кезде импульстік қысым амплитудасының төмендеуі 1-0,6 аралығына тең. Яғни, конфузорлы құбырдағы газсұйықты ортадағы импульстік қысым амплитудасы диффузолы құбырға қарағанда салыстырмалы түрде жоғары болады. Себебі, құбыр қимасының тарылуы ағын жылдамдығын арттырады, ол құбыр ішіндегі соққы толқынның шоғырлануына әсер етіп, соның нәтижесінде газсұйықты ортадағы импульстік қысым амплитудасының төмендеуі диффузорға қарағанда баяу жүреді.

Диффузор және конфузор құбырларындағы газсұйықты ағынның қозғалысының электргидравликалық эффектiге әсерін зерттеу жұмыстары жүргізіледі. Газсұйықты ағын қозғалысындағы газ бен сұйық ағындарының бағыттары бірдей және қарама-қарсы кезіндегі импульстік қысым амплитудаларының таралу заңдылықтарын қарастырамыз [74].

Тәжірибелік жұмыстардың нәтижесіндегі диффузор және конфузор құбырлардағы газсұйықты ағын қозғалысының газ және сұйық бағыттары бірдей кездегі импульстік қысым амплитудасының осциллограммалық диаграммасы 3.11-суретте келтірілген.



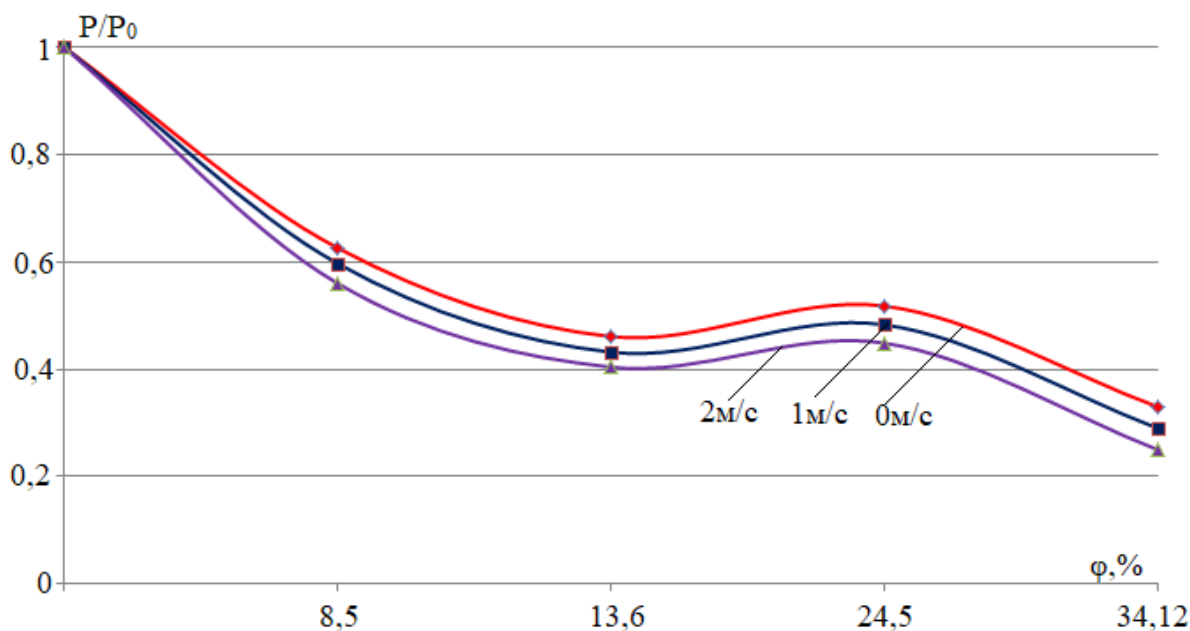
а) разряд кернеуі 3кВ,
разрядтауыш арақашықтығы 1мм



ә) разряд кернеуі 9кВ,
разрядтауыш арақашықтығы 3мм

Сурет 3.11 – Газсұйықты ағындағы газ және сұйық бағыттары бірдей кездегі кіріс кернеуінің импульс уақытына байланысты тәуелділігі

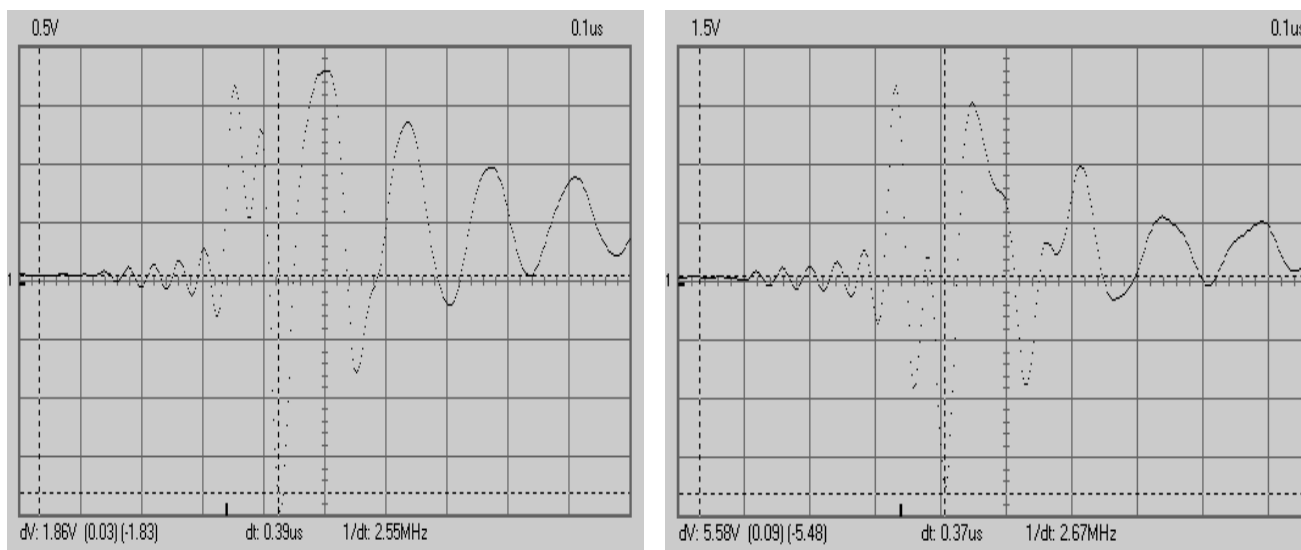
Диффузор және конфузор құбырларындағы газсұйықты ағын ішіндегі разряд кернеуінен пайда болатын соққы толқынның таралу диаграммасындағы бастапқы белгілер құбыр ішіндегі газ көпіршіктерінің екі электрод арасындағы стримерлерге соқтығысып қыздырылып, одан кейін олар бірден суытылып жарылуы әсерінен түзіледі. Құбыр ішіндегі соққы толқын жарылысы диаграммада үзік сызықпен белгіленген. Алынған осциллограммалық диаграммалар бойынша газ және сұйық бағыттары бірдей газсұйықты ағын қозғалысындағы импульстік қысым амплитудасының гетерогендік дәрежесіне тәуелділігі алынады (3.12-сурет).



Сурет 3.12 – Газ және сұйық қозғалыстарының бағыттары бірдей кездегі импульстік қысым амплитудасының газ құрамына тәуелділігі

Диффузорлы және конфузорлы құбырдағы газ және сұйық қозғалыстарының бағыттары бірдей кездегі газсұйықты ағынның гетерогендік дәрежесін арттыратын болсақ, онда құбыр ішіндегі газсұйықты ортаның импульстік қысым амплитудаларының таралуы төмендейді. Газсұйықты ағынның гетерогендік дәрежесін 8,5%-дан 34,12%-ға дейін артқан уақытта ондағы импульстік қысым амплитудасының таралуы 1-ден 0,33-0,25 аралығына дейін төмендейді. Яғни, құбыр ішіндегі газсұйықты ағын жылдамдығының артуы сұйық ортада разряд кернеуінен пайда болатын соққы толқынның таралуына қосымша инерциялық күш береді. ЖА-да ағын жылдамдығы артқан кезде газсұйықты ортадағы толқын аймағының таралуы қарқынды түрде жүреді [75]. Соның нәтижесінде құбыр ішіндегі қысым амплитудасының әлсіреуі баяу болады, сол себепті газсұйықты ағын жылдамдығын арттыратын болсақ, ондағы импульстік қысым амплитудасының таралуы салыстырмалы түрде төмендейді (3.12-сурет).

Сандық осцилографы негізінде алынған газ және сұйық қозғалыстары қарама-қарсы бағыттағы газсұйықты ағындағы кіріс кернеуінің импульс ұзақтығына байланысты тәуелділігі 3.13-суретте келтірілген.



а) Разряд кернеуі 3 кВ,
разрядтауыш арақашықтығы 1 мм

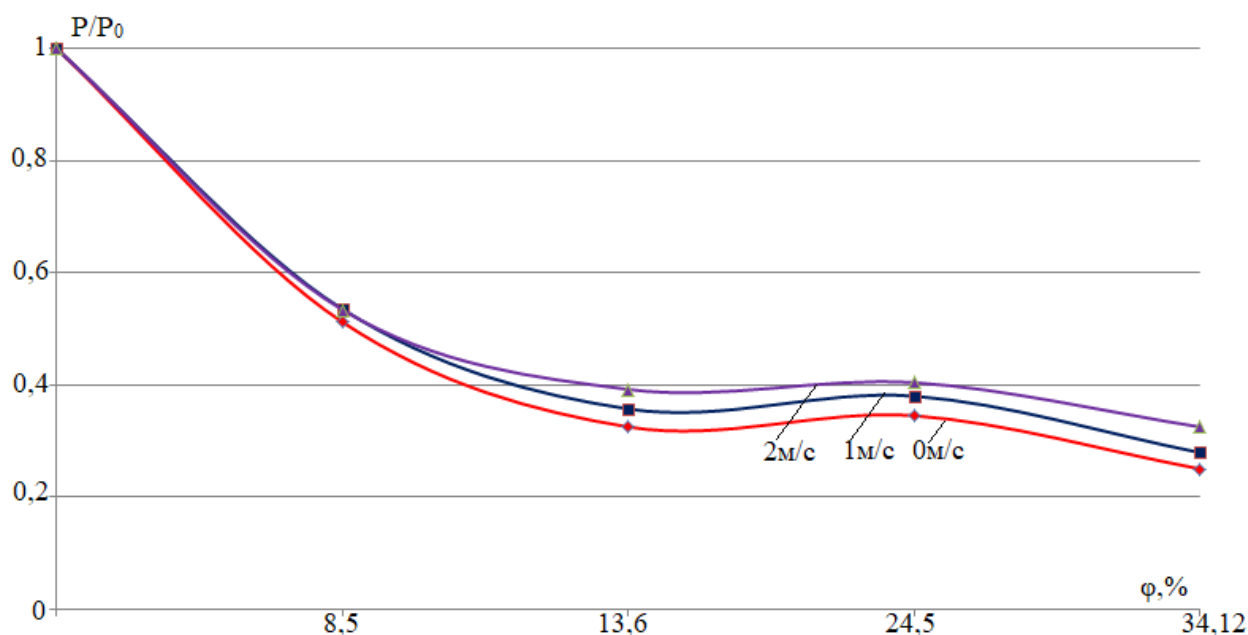
ә) Разряд кернеуі 9 кВ,
разрядтауыш арақашықтығы 3 мм

Сурет 3.13 – Газ және сұйық қозғалыстары қарама-қарсы бағыттағы газсұйықты ағынның кіріс кернеуінің импульс уақытына тәуелділігі

Газ және сұйық қозғалыстары қарама-қарсы бағыттағы газсұйықты ағынның соққы толқын тербелістері газ және сұйық бағыттары бірдей ағынның тербелістеріне қарағанда қарқынды түрде болады [76]. Себебі, газсұйықты ағын қозғалысындағы газ және сұйық бағыттары қарама-қарсы болған кезде, құбыр ішіндегі ағынның турбуленттік араласуы жоғары болуымен, сонымен қатар газ көпіршіктері стримерлер арқылы қыздырылып, одан кейін суыған уақытта жарылу процестерімен де түсіндіріледі. Сандық осциллографтың көмегімен алынған құбыр ішіндегі газсұйықты ағын қозғалысы заңдылықтарын зерттеу нәтижелері бойынша газ және сұйық қозғалыстары қарама-қарсы бағыттағы газсұйықты ағынның импульстік қысым амплитудасының гетерогендік дәрежесіне байланысты тәуелділігі алынды (3.14-сурет).

Газ және сұйық қозғалыстары қарама-қарсы бағыттағы газсұйықты ағынның гетерогендік дәрежесін 8,5%-дан 34,12%-ға арттыратын болсақ, құбыр ішіндегі импульстік қысым амплитудасы 1-ден 0,25-0,32 аралығына дейін төмендейді. Газсұйықты ағын фазаларының қарама-қарсы бағыты, құбыр ішінде импульстік энергия шашырауының артуы салдарынан ағындағы импульстік қысым амплитудасын төмен болады. Газсұйықты ағында гетерогендік дәреженің артуы, ағынның орташа тығыздығын кемітіп, газсұйықты ортаның сығылғыштық қасиетін арттырады. Соның нәтижесінде ЭГЭ әсерінен пайда болатын соққы толқын энергиясының біраз мөлшері газ

көпіршіктерін сығуға жұмсайды, соның салдарынан газсұйықты ағын қозғалысындағы импульстік қысым амплитудасы төмендейді.



Сурет 3.14- Газ және сұйық қозғалыстарының бағыттары қарама-қарсы кездегі импульстік қысым амплитудасының гетерогендік дәрежесіне тәуелділігі

Газсұйықты ағындағы газ және сұйық бағыттары бірдей кезде ағын жылдамдығы өскен сайын құбыр ішіндегі қысым амплитудасының таралуы салыстырмалы түрде төмендейді. Ал, газ және сұйық бағыттары қарама қарсы қозғалыстағы газсұйықты ағын жылдамдығы көбейген сайын, құбыр ішіндегі қысым амплитудасының артуы болады. Газсұйықты ағындағы газ және сұйық фазаларының қарама-қарсы бағыты құбыр ішінде турбуленттік ағынды тудырады, соның нәтижесінде ағын жылдамдығына байланысты импульстік қысым амплитудадағы салыстырмалы түрде жоғарлайды.

Алынған нәтижелер, диффузор және конфузор құбырларында газсұйықты ағындардың гидродинамикалық параметрлерін реттеуге және басқаруға мүмкіндік береді, сонымен қатар, қақ шөгінділерімен ластанған ЖА беттерін тазалайтын электргидравликалық технологияларын жобалауда геометриялық параметрлерді оңтайландырудың маңыздылығын көрсетеді.

3.1.3 Күрделі формалы құбырдағы қосфазалы ағындардың жылу-масса алмасу құбылыстарын модельдеу

Соққы толқын әсері кезіндегі конфузорлы және диффузорлы құбырдағы газсұйықты ағын қозғалысының жылу-масса алмасу заңдылықтарының өзгерісі аргументтерді топтық есепке алу әдісі бойынша жүргізілді.

Аргументтерді топтық есепке алу әдісі (АТЕАӘ) күрделі процестерді модельдеудің математикалық әдісі болып табылады. Аргументтерді топтық есепке алу әдісінің негізгі ерекшелігі модельдеу жұмыстары жүргізілетін

процестердегі маңызды параметрлерді автоматты түрде таңдап, полиномдық байланыстарын құрайды және процестегі қажетсіз параметрлерді алып тастап процестің физикалық маңыздылығын сипаттайтын модельді алады. АТЕАӘ жылу-масса алмасу сияқты күрделі процестердің және көп факторлар әсер ететін физикалық құбылыстардың математикалық моделін анықтайтын әдіс болып табылады.

Конфузор және диффузор құбырлардағы газсұйықты ағындағы жылу және масса алмасу процесі өте күрделі, себебі бір уақытта немесе бір мезгілде айнаымалы қималы құбыр ішіндегі процеске жылу алмасу, масса алмасу (булану, конденсация), турбуленттілік, фазалық өзара әрекеттесу құбылыстары әсер етеді. Осы процестерге соққы толқын әсерінен болатын электргидравликалық эффектін қосатын болсақ, онда қарастырып отырған газсұйықты ағын қозғалысының гидродинамикалық процестерін одан әрі күрделендіре түседі. Электргидравликалық эффект сұйық ортадағы қуатты электр разрядын соққы толқынның пайда болуына және ортаның қарқынды түрде араласуына әсер етеді. Нәтижесінде, құбыр ішіндегі сұйық ортада жылу мен масса алмасу процесі күрт артып, соның салдарынан импульстік қысым пайда болады және газсұйықты ағын қозғалысы тұрақсыз болады. Конфузорлы құбырда, яғни құбыр диаметрінің тарылуы кезінде ағын жылдамдығы, турбуленттілігі және жылу беру коэффициенті артып, қысымы төмендейді. Диффузорлы құбырда, яғни құбыр диаметрінің кеңеюі кезінде ағын жылдамдығы төмендеп, қысымы артады, осы кезде құйындар мен ағынның бөлінуі мүмкін және фазалық таралу әсер етеді.

Конфузор және диффузор құбырларындағы электргидравликалық разрядтар кезіндегі газсұйықты ағын қозғалысының жылу-масса алмасу өзгерісін анықтау үшін негізгі құбылыстар қосылған күрделі процесс болып табылады. Сондықтанда, қарастырылған процеске ондаған параметрлер әсер етеді, мысалы газсұйықты ағын жылдамдығы, импульстік қысым амплитудасы, ЭЭ кезіндегі сұйық ортаның температурасы, құбыр геометриясы, разряд энергиясы және т.б. шамалар. Сол себепті, электргидравликалық әсер кезіндегі конфузор және диффузор құбырлардағы газсұйықты ағынның жылу және масса алмасу процесі көп параметрлі, сызықты емес және мұндай процестерді аналитикалық түрде сипаттауға мүмкін емес, сондықтанда АТЕАӘ қолдану арқылы тәжірибелік жұмыстың нәтижелеріне негізделген адекватты полиномдық тәуелділіктерді алуға мүмкіндік береді.

Сандық модельдеу жұмыстары тәжірибелік зерттеулер бойынша алынды, зерттеу жұмыстары қималары 30^0 , 45^0 және 60^0 градусты конфузорлы және диффузорлы құбырлардағы газсұйықты ағынның әртүрлі газ концентрациясының жылу-масса алмасу процесіне әсерін анықтау негізінде жүргізілді. Көптеген технологиялық қондырғыларда өтпелі құрылғылар әдетте қысқа болады, сол себепті ағынды ортада жылу алмасудың өте аз бөлігін құрайды. Жергілікті кіріс кедергілері құбырлардағы ағын динамикасын қиындатып, құбырдың барлық ұзындығы бойынша жылу алмасу процесіне айтарлықтай әсерін тигізеді. Сондықтанда, әртүрлі құбыр қималары мен

газсұйықты ағындағы әртүрлі газ мөлшерлері үшін Nu коэффициентін анықтау үшін АТЕАӘ қолданамыз. АТЕАӘ-сі кез келген тәжірибелік берілгендерді өңдеу бойынша таңау критерийі ретінде MDL критерийі қолданылады. MDL - Minimal Description Length – бұл критерий процестің қысқартылған сипаттамасын көрсетеді. Әрбір деңгейде АТЕАӘ-сі тұрақты сан мәндерінен тұратын, әрбір шаманы белгілейтін коэффициенттерден құралған және процесті сипаттайтын кіріс айнымалылары бар полиномды құрастырады. Модельдеудің бірінші кезеңінде көлденең және көлбеу құбырлардан көлденең қима бойынша газ концентрациясының таралуындағы асимметрияны ескеру қажет болғандықтан, тік байланыстағы ағындарды қарастырамыз. Құбыр қимасының (l/d) әртүрлі қашықтықта өлшенген тәжірибелік нәтижелері мен бұрылу бұрышы 20^0 -қа тең диффузорлы құбыр бойынша жасалынған тәжірибелік нәтижелерін АТЕАӘ-де модельдейміз. Соның нәтижесінде, соққы толқыны әсері кезіндегі диффузорлы құбыр ұзындығы бойынша газсұйықты ағындағы жылу беру коэффициентін сипаттайтын моделі алынды:

$$Nu = 101.5 - 14.5 \frac{l}{d} + 445\varphi^2 + 0.75 \left(\frac{l}{d}\right)^2 + 39.5\varphi \left(\frac{l}{d}\right) + 0.01\alpha^3\varphi \left(\frac{l}{d}\right) - 13\alpha\varphi^2 \left(\frac{l}{d}\right) \quad (3.7)$$

мұндағы

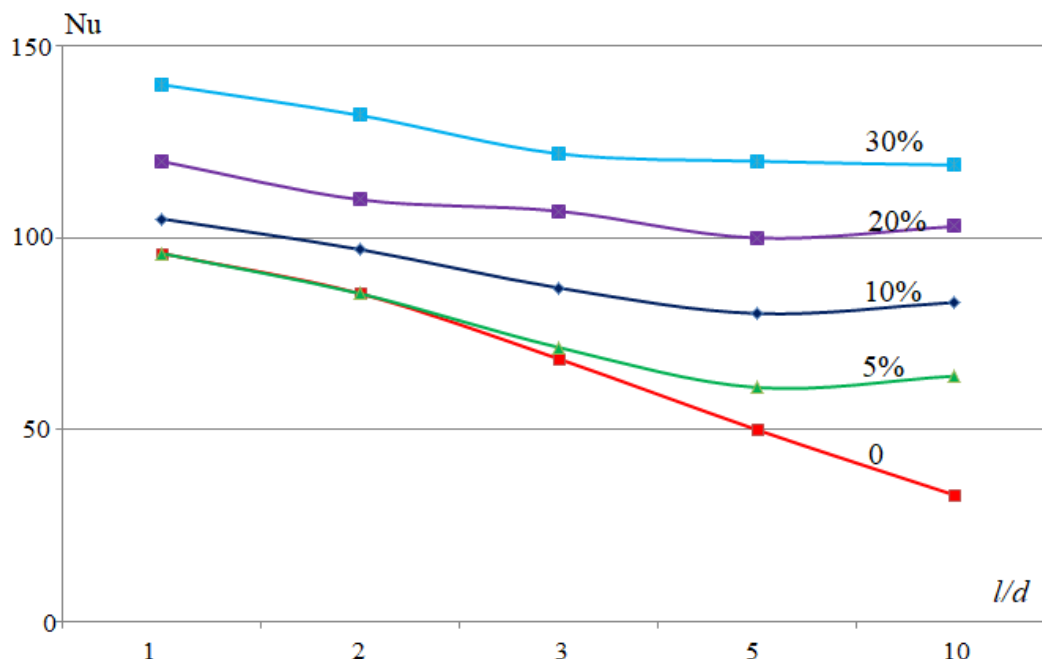
α – құбырдың тарылу немесе кеңею бұрышы, градус;

l/d – құбыр ұзындығының арақашықтығы;

φ – газсұйықты ағынның гетерогендік дәрежесі, %.

Газсұйықты ағын қозғалысындағы жылу беру коэффициентін сипаттайтын модель процестегі әр параметрдің жеке үлесін және олардың синергиясын ескереді, соның нәтижесінде барлық факторлар бірлесіп әсерлеседі. Алынған жылу беру коэффициентін сипаттайтын модель негізінде соққы толқыны кезіндегі диффузорлы құбырдағы газсұйықты ағындағы жылу беру процесін сипаттайтын полиномды тәуелділікті аламыз (3.15-сурет). Тәжірибелік нәтижелер бойынша алынған жылу-масса алмасу заңдылығын сипаттайтын 3.7-моделі бойынша газсұйықты ағын қозғалысындағы жылу беру коэффициентінің диффузор құбыр қимасына тәуелділігін аламыз. 3.15-суреттен байқайтынымыз, соққы толқыны кезіндегі құбыр ұзындығының қимасы артқан сайын газсұйықты ағын қозғалысындағы Nu санының кемейтінін байқаймыз. Себебі, құбырдың басында жылу беру процесі қарқынды түрде болады, одан кейін құбыр ішінде шекаралық қабат пайда болып, газсұйықты ағындағы жылу беру қарқындылығы төмендейді. Таза сұйық ортадағы Nu саны құбыр қимасы бойынша 100-ден 40-қа дейін біртіндеп төмендейті, яғни сұйық ортадағы жылу беру тиімді түрде жүргізіледі. Таза сұйық ортасына 5% газ концентрациясын қосатын болсақ Nu саны құбыр қимасы бойымен 100-ден 60-ға дейін төмендейді, ал концентрациясын 10%-ға дейін арттыратын болсақ, Nu саны құбыр қимасы бойымен 105-тен 80-ге дейін төмендейті. Газсұйықты ағындағы газ концентрациясын 30%-ға көтерген кезде Nu саны құбыр қимасы бойымен 140-тан 120-ға дейін төмендейті. Яғни, таза сұйыққа қосатын газ

концентрациясын арттыратын болсақ, газсұйықты ағындағы жылу беру коэффициенті артады, бірақ құбыр қимасы өскен кезде газсұйықты ағындағы жылу беру коэффициенті төмендейті.



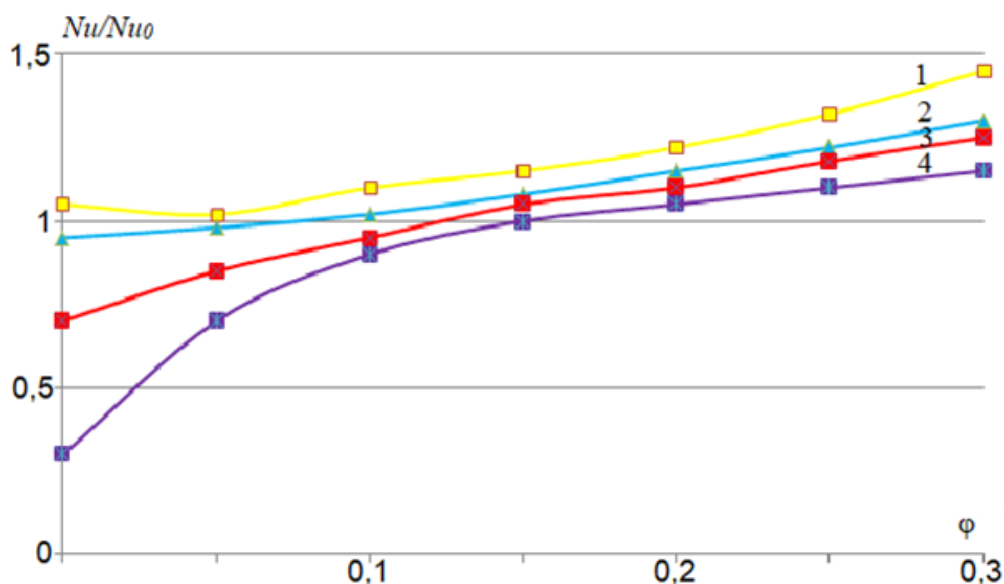
Сурет 3.15 – Электргидравликалық эффект кезіндегі газсұйықты ағындағы Nu санының құбыр ұзындығының қимасына тәуелділігі

Құбыр ұзындығы артқан сайын жылу шекаралық қабаттың дамуына байланысты төмендейді. Таза сұйық ортасында газ фазасы концентрациясының жоғарлауы аралас әсерге әкеледі, бір жағынан газсұйықты ағынның жылуөткізгіштігін төмендетіп, екінші жағынан ағынның турбуленттілігін арттырады. Газсұйықты ағындағы газ концентрациясы 20%-ға жеткен уақытта ағынның турбуленттілік әсері жылу берудің төмендеуін ішінара өтейді, нәтижесінде құбыр шығысында Nu саны тұрақтанады немесе аздап артады.

Электргидравликалық эффект кезіндегі газсұйықты ағындағы жылу беру коэффициентінің газ концентрациясына байланысты тәуелділігі алынатын негізгі модель:

$$Nu = 99,4 + 0,37Re - 0,15Re \left(\frac{l}{d}\right) - 1,64\varphi Re + 0,94\varphi^2 Re + 0,009Re \left(\frac{l}{d}\right)^3 - 2,88\varphi^2 Re + 0,15\varphi Re \left(\frac{l}{d}\right) - 0,024\varphi Re \left(\frac{l}{d}\right)^2 + 3,76\varphi^4 Re - 0,44\varphi^2 Re \left(\frac{l}{d}\right) \quad (3.8)$$

3.8-моделі арқылы әртүрлі құбыр қимасы бойынша газсұйықты ағындағы газ концентрациясының салыстырмалы жылу беру коэффициентінің әсері 3.16-суреттегі тәуелділікте көрсетілген.



Сурет 3.16 – Соққы толқын әсері кезіндегі газсұйықты ағындағы салыстырмалы жылу беру коэффициентінің газ концентрациясына тәуелділігі

Газсұйықты ағындағы газ концентрациясының 0-0,05 төменгі мәнінде құбыр ұзындығы бойынша салыстырмалы жылу беру коэффициенті төмен болады, себебі газ концентрациясы ортаның жылу өткізгіштігін төмендетеді және осы кезде ағын құрылымы толық қалыптаспағандықтан. Таза сұйық ортада газ концентрациясының 0,05-тен 0,3-ге арттыратын болсақ, құбыр қимасы 1-ге тең кезде салыстырмалы жылу беру коэффициенті 1,45 тең болады, ал құбыр қимасы 2-ден 10-ға дейін өсен кезде салыстырмалы жылу беру коэффициенті 1,3-1,35 аралығында өзгереді, яғни газсұйықты ағындағы жылу беру коэффициенті таза сұйыққа қарағанда жоғары болады. Құбыр ұзындығының төменгі қимасында ($\frac{l}{d} = 1$) жылудың берілуі максимальды артады, құбыр кірісіндегі құбылыстардың әсері күшті болады және газсұйықты ағынның араласуы қарқынды түрде жүреді. Құбыр ұзындығының жоғары қималарында ($\frac{l}{d} = 10$) бастапқыда жылудың берілуі нашарлап, содан кейін біртіндеп қалыпқа келеді және газ концентрациясы қатты байқалмайды. Салыстырмалы жылу беру коэффициентінің газ құрамына тәуелділігі сызықты емес, газ концентрациясының төменгі мәндерінде қоспаның жылу өткізгіштігінің нашарлауына байланысты жылу беру төмендейді. Дегенменде, газ концентрациясы артқан сайын газсұйықты ортададағы турбуленттілік пен араластыру әсері күшейіп, жылу беру коэффициентінің жоғарлауына және оның мәндерінің бір фазалы ағынның мәндерінен асып кетуіне әкеледі.

Газсұйықты ағын қозғалысындағы жылу-масса алмасу процестері ағынның турбуленттілігінің әсерінен артады. Сол себепті, соққы толқын кезіндегі газсұйықты ағындағы жылу-масса алмасу заңдылықтары электргидравликалық қондырғының негізгі параметрлерін АТЕАӘ негізінде модельдеу арқылы анықтаймыз. Электргидравликалық эффект кезіндегі газсұйықты ағындағы

жылу-масса алмасу процесі электрогидроимпульстік разрядтар жиілігі бойынша анықтаймыз, әрбір разряд газсұйықты ағын қозғалысында соққы толқынын тудырып, жергілікті қысымның артуына әкеледі, сонымен қатар газсұйықты ортада микроаралас процесі пайда болады. Соққы толқын кезіндегі жиілік неғұрлым жоғары болса, солғұрлым газсұйықты ағын қозғалысында шайқалыс көп болады. Газсұйықты қалыпты ағыны кезінде құбырдың ішкі бетінде жылулық шекаралық қабат пайда болып, жылудың берілу процесін төмендетеді. Соққы толқыны кезінде құбырдың ішкі бетінде қалыптасқан шекаралық қабат бұзылып, құбыр қабырғасындағы сұйықтық жаңарады, соның нәтижесінде жылудың берілу процесі артады. Электргидравликалық эффект кезіндегі жиіліктің артуы газсұйықты ағындағы турбуленттіліктің артуына және жылдамдық пульсацияларының пайда болуына әкеледі, соның салдарынан газсұйықты ағындағы жылу-масса алмасу процесі артады.

Разряд жиілігінің төменгі шамасында жылу беру әлсіз болады, разряд жиілігінің жоғары шамасында керсінше күшейеді, ал разряд жиілігі f өте үлкен болған кезде, эффект қарқынды немесе өте нашар болуы мүмкін. Зерттеліп отырған жүйеміз газсұйықты ағыннан, конфузор немесе диффузор құбырлардан және электргидравликалық эффектіден тұрады, сол себепті разряд жиілігі газсұйықты ағындағы энергияның қарқындылығын, фазалық араласу тәртібін және ағынның бұзылу дәрежесін анықтайды. Сондықтан, газсұйықты ағындағы жылу-масса алмасу процесін модельдеу соққы толқын кезіндегі разряд жиілігін бойынша жүргізіледі.

Тәжірибелік нәтижелерді сандық модельдеу негізіндегі Нуссельт критерийлері:

$$\frac{Nu}{Nu_0} = 0,56 + 1,19 * 10^{-5} f q - 1,41 * 10^{-4} q + + 0,43 * 10^{-8} q Re - 1,09 * 10^{-6} f^2 q + 3,01 * 10^{-8} f^3 q \quad (3.9)$$

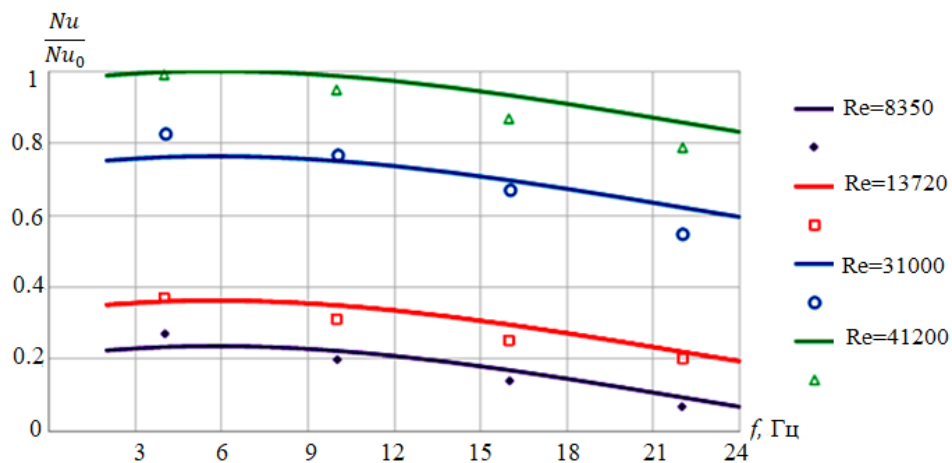
мұндағы

f – разряд жиілігі, Гц;

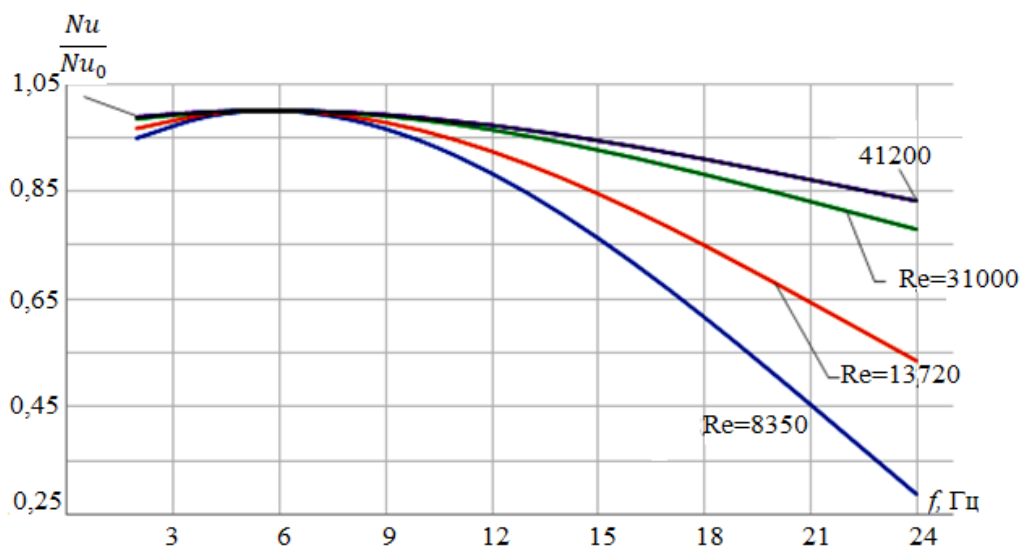
q – жылу ағыны, Вт/м²;

Re – Рейнольдс саны.

Тәжірибелік зерттеу жұмыстары кезінде жылу ағыны 3393 Вт/м² шамасына тең, сондықтан бұл мән тұрақты, тек қана разряд жиілігі өзгеріп отырады. Разряд жиілігі газсұйықты ағын қозғалысындағы жылу-масса алмасу процесіне әсері сызықты емес, себебі 3.9-формулада разряд жиілігінің екі және үш дәрежелері кездеседі. Сондықтан, электргидравликалық разряд жиілігі газсұйықты ағындағы гидродинамикалық бұзулардың қарқындылығына тікелей әсер еткендіктен анықтаушы параметр болып табылады. Разряд жиілігінің артуы соққы толқындары мен пульсациялардың пайда болуын тудырып, жылулық шекаралық қабаттың бұзылуына ықпал етеді және жылу-масса алмасуды күшейтеді. Разряд жиілігінің өзгеруінен Нуссельт коэффициентінің салыстырмалы динамикасы 3.17-суретте көрсетілген.



а) Салыстырмалы жылу беру коэффициентінің разряд жиілігіне тәуелділігі



б) Газсұйықты ағынның әртүрлі тәртібіндегі салыстырмалы жылу беру коэффициентінің разряд жиілігіне тәуелділігі

Сурет 3.17 – Газ сұйықты ағын қозғалысындағы соққы толқыны кезіндегі разряд жиілігіне байланысты жылу-масса алмасу процесінің өзгерісі

Соққы толқыны кезіндегі разряд жиілігі 3 Гц-тан 24 Гц-ке дейін артқан уақытта салыстырмалы Нуссельт саны ақырындап, біртіндеп кемиді. Жылу берудің ең жоғарғы мәні, разряд жиілігінің төменгі шамасында байқалады, себебі төменгі жиілікте импульстар ағын құрылымын сақтай отырып, шекаралық қабатты тиімді бұзады. Электргидравликалық эффект кезінде газсұйықты ағында разряд жиілігі артқан сайын импульстік әсерлер қабаттасады, бұл олардың тиімділігінің төмендеуіне және ағынның тұрақтануына әкеледі, бұл процесс жылу беру қарқындылығын төмендетеді. Сонымен қатар, Рейнольдс санының артуымен газсұйықты ағын турбуленттілігінің артуы және жылу берудің күшеюіне байланысты

салыстырмалы Нуссельт шамасы артады (3.17а-сурет). Осылайша, газсұйықты ағындағы соққы толқын кезіндегі разряд жиілігі жылу беру процесіне әсер етеді және жылу-масса алмасудың максимальды тиімділігі 3-6 Гц кезінде байқалады.

Салыстырмалы жылу беру коэффициентінің әртүрлі Рейнольдс сандарындағы разряд жиілігіне байланысты тәуелділігінде барлық ағын тәртібінде газсұйықты ағындағы Нуссельт саны төмендейді (3.17б-сурет). Жылу берудің максимальды қарқындылығы шамамен 4-6 Гц жиілік диапазонында қол жеткізіледі, содан кейін жылу беру коэффициентінің төмендеуі байқалады. Рейнольдс саны артқан сайын жиіліктің әсері азаяды.

3.2 Жылу алмастырғыштың ішкі бетінде қалыптасқан қақ шөгінділерінің физика-химиялық зерттеу нәтижелері

ЖА-дың жылу беру тиімділігін арттыратын электрогидроимпульстік технологиясын әзірлеу тек қана электргидравликалық эффектiнiң әсерi кезiндегi диффузорлы және конфузорлы құбырлардағы газсұйықты ағын қозғалысына гидродинамикалық заңдылықтарына ғана емес, сонымен қатар ЖА-дың ішкі беттерінде түзілетін қатты қақ шөгінділерінің беттік құрылымдары мен олардың сандық элементтік құрамына тәуелді болады. Сол себепті, ЖА беттерінің температуралық және гидродинамикалық өзгерістеріне байланысты жылу тасмалдағыштардың тұзды ерітінділерінің тұнбасынан пайда болатын әртүрлі қосылыстағы қақ шөгінділерінің беттік құрылымдары мен сандық элементтік құрамын зерттейміз.

Қақ шөгінділерінің беттік құрылымдары мен сандық элементтік құрамын зерттеу үшін Қарағанды қаласының «Қарағанда Энергоцентр» ЖШС-ның ЖЭО-3 мекемесінен қақтармен ластанған диаметрі әртүрлі қолданыстағы жылу алмастырғыштар алынды. Өндіріс орнынан алынған ЖА-дың жалпы сипаттамалары 3.5-кестеде келтірілген.

Кесте 3.5 – Қақ шөгіндісінің беттік құрылымы мен сандық элементтік құрамын зерттеу үшін алынған өндірістік ЖА-дың техникалық сипаттамалары

ЖА түрі	ЖА материалы	ЖА-тың қызмет ету мерзімі	ЖА диаметрі, мм	ЖА қалыңдығы, мм	ЖА ұзындығы, мм	ЖА-тағы қақ қалыңдығы, мм	Ластану дәрежесі, %
Пикті бойлер	Жез	1 жыл, маусымдық жұмыс, (6 ай)	16	2	1500	4,8	80
Турбоагрегат конденсаторы	Жез	1 жыл толық, (12 ай)	28	2	1500	2	20

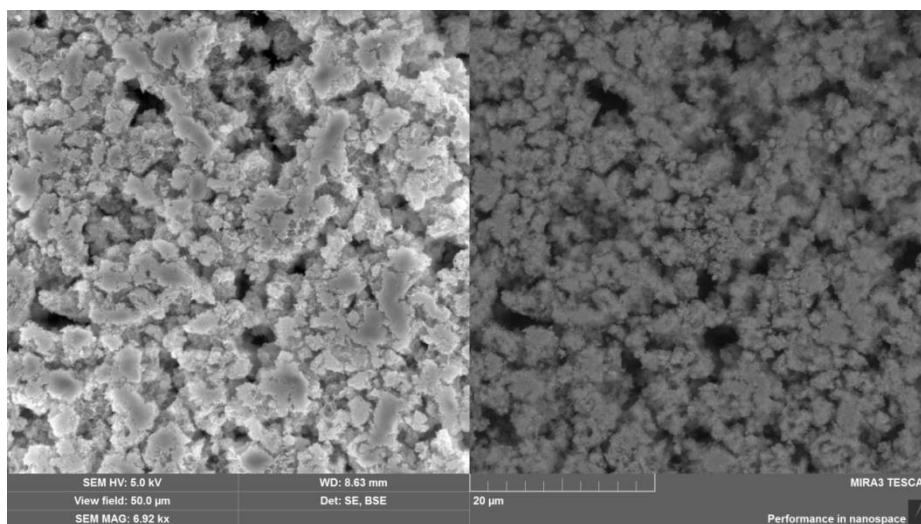
Зерттеуге үшін алынған қақ шөгінділері өндірістік жылу алмастырғыштардан қарапайым түрде механикалық жолмен алынды.

3.2.1 Өндірістік қақтардың беттік құрылымының ерекшеліктері

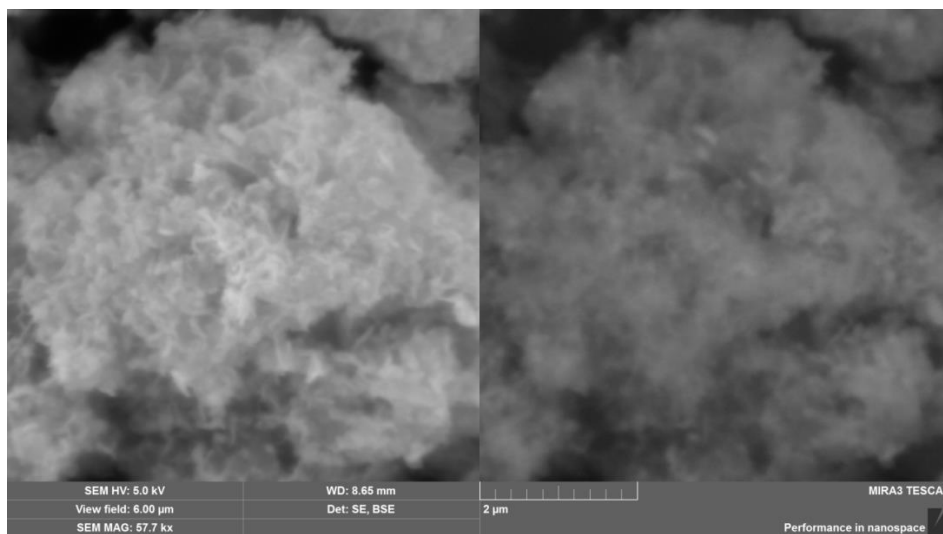
ЖЭО-да қолданылған дәстүрлі ЖА-тың ішкі беттерінде түзілген қақ шөгіндісінің беттік құрылымы Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды ұлттық зерттеу университетінің «Молекулалық нанопотоника институтында» сканерлеуші электрондық микроскоп әдісімен зерттелді [80].

Сканерлеуші электронды микроскоп әдісі - кеңістіктік ажыратылымдылығы жоғары, яғни 0,4 нанометрге дейінгі объект бетінің бейнесін, сондай-ақ зерттеу бетіне жақын қабаттардың құрамы, құрылымы және кейбір басқа қасиеттері туралы ақпаратты алуға арналған электрондық микроскоп класындағы аспап.

Өндірістік ЖА-тан алынған қатты қақ шөгінділері 5-7 кВ үдеткіш кернеуде, топографиялық контрастты көрсететін екінші электронды детекторы (SE детекторы) және композициялық контрастты көрсететін кері шағылысқан электронды детекторы (BSE детекторы) негізінде зерттелді. ЖЭО-ның пикті бойлерінен алынған қақ шөгіндісінің әртүрлі шамада үлкейтілген беттік құрылымдары 3.18-суретте келтірілген.



а) қақ құрылымының 6,92кx мөлшерінде үлкейтілген

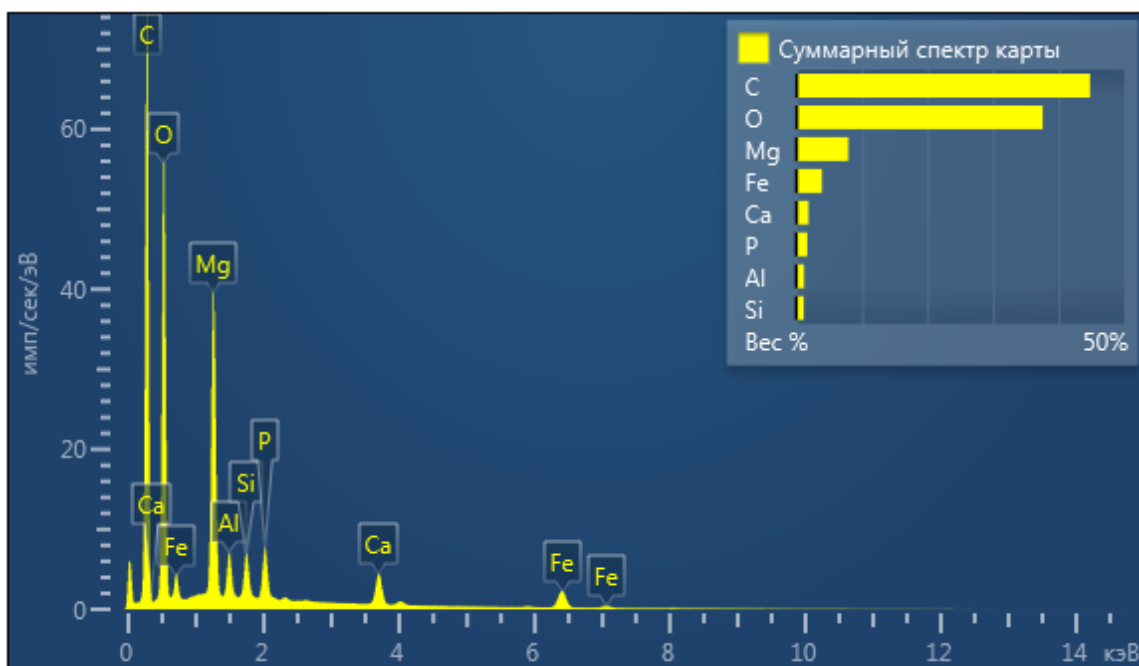


б) қақ үлгісі 57,7 кx шамасында ұлғайтылған

Сурет 3.18 – Пикті бойлерден алынған қақ шөгіндісінің беттік құрылымы

ЖА-да қақ шөгінділері жұмыстық ортаның температурасы мен гидродинамикалық сипаттамаларының өзгеруіне байланысты жылу тасмалдағыштардағы тұзды ерітінділердің тұнбасынан пайда болады [81]. Сканерлеуші электронды микроскоп әдісі бойынша пикті бойлерден алынған қақ 2,40 кх шамасынан 57,7 кх шамасына дейін ұлғайтылып жасалынған. 3.18-суреттен көріп тұрғанымыздай, қақ шөгіндісінің беттік құрылымы жапырақшалы түрде, түйіршікті түрде, кеукеті және көпіршікті болып келген. Пикті бойлердің ішкі беттерінде жинақталған қақ тұнбасы жұмыстық ортаның температурасы мен гидродинамикалық параметрлерінің өзгерісі салдарынан желілік су құрамындағы тұзды ерітінділер қоспасынан пайда болады. Пикті бойлердің қыздыру температурасы 100⁰С-тан басталып 150⁰С-ға дейін барады, ал ондағы желілік судың жылдамдығы 110 м/с құрайды. Соның нәтижесінде пикті бойлердің ішкі бетінде жұмсақ, көпіршікті, құм тәріздес және құбыр қабырғасына бос орналасқан кеукеті қақтар пайда болады.

Пикті бойлерден алынған қақ шөгіндісінің беттік құрамын анықтайтын спектр 3.19-суретте келтірілген.



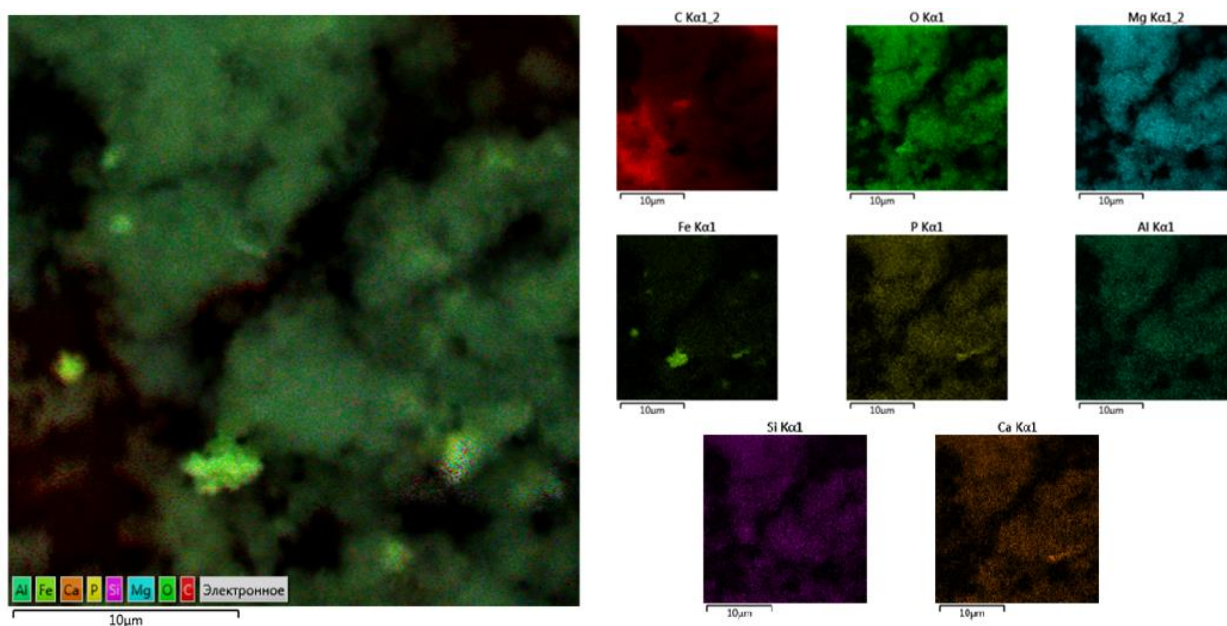
Сурет 3.19 – Пикті бойлерден алынған қақ шөгіндісінің беттік құрамындағы элементтер қатары

3.19-суреттегі X осінде қақтың беттік құрамындағы элементіне тән кванттық энергиясы (кэВ) көрсетілген, ал Y осінде қақ шөгіндісінің беттік құрамындағы элементтердің салыстырмалы шыңдары көрсетілген.

Өндірістік қақ шөгіндісінің беттік құрамында органикалық және карбонатты қосылыстарының табиғаты басым болғандықтан, пикті бойлерден алынған қақ шөгіндісінің беттік құрамында көміртегі және оттегі элементтері басым болып келеді. Пикті бойлер қондырғысы желілік суды 100⁰С - дан 150

^{13}C -ға дейін қыздыратындықтан, қақ шөгіндісінің беттік құрамында магний мен кальций элементтерінің мөлшері айтарлықтай шамада кездеседі. Пикті бойлер қондырғысындағы желілік су 110 м/с-тан жоғары жылдамдықта қозғалатындықтан, қақ шөгіндісінің беттік құрамында темір, алюминий, кремний және фосфор элементтері аз мөлшерді кездеседі.

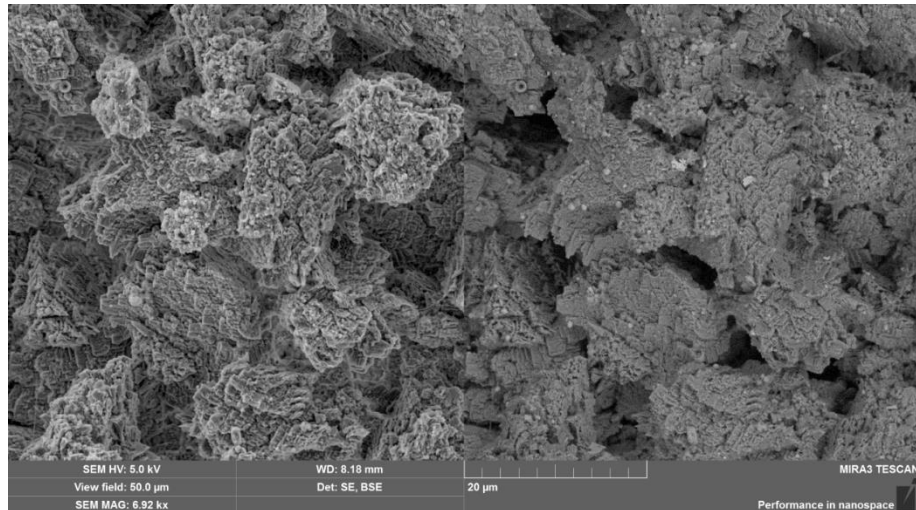
Энергетикалық дисперсиялық рентгендік спектроскопияны қолдана отырып, пикті бойлерден алынған қақ шөгіндісінің беттік құрамының элементтік картаға түсіру нәтижесі алынды (3.20-сурет).



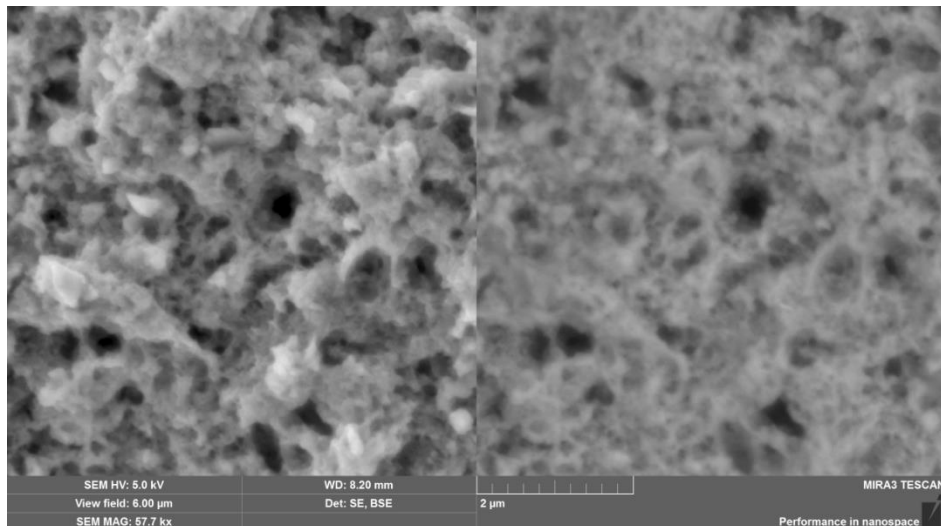
Сурет 3.20 – Пикті бойлерден алынған қақ шөгіндісінің беттік құрамындағы элементтік карталарының электрондық бейнесі

Бұл әдіс рентген сәулесінің сипаттамалық қарқындылығын немесе қақтың беттік құрылымындағы құрамдас элементтердің таралуын визуальды түрде көрсетеді [82]. 3.20-суреттен көріп тұрғанымыздай пикті бойлерден алынған қақ шөгіндісінің беттік құрамында 8 түрлі элемент кездеседі. Оларға алюминий (Al), көміртегі (C), темір (Fe), кальций (Ca), кремний (Si), оттегі (O), магний (Mg), фосфор (P) элементтері жатады. Қақ шөгіндісінің беттік құрамындағы әрбір элементтер өзіне тән түстермен белгіленген. Сондықтанда, пикті бойлердің ішкі бетінде пайда болған қақ шөгіндісін беттік құрылымы бойынша карбонатты қақтардың қатарына жатқызуға болады.

ЖЭО-ның турбоагрегат конденсаторының ішкі бетінен алынған қақ шөгіндісінің әртүрлі шамада үлкейтілген беттік құрылымдары 3.21-суретте келтірілген. Сканерлеуші электронды микроскоптың көмегімен турбоагрегат конденсаторының ішкі бетінен қақ шөгіндісінің беттік құрылымы 2,40кx-57,7кx аралығындағы шамаларда ұлғайтылып көрсетілген. 3.21-суреттен көріп тұрғанымыздай, қақ шөгіндісінің 6,92кx шамасындағы және 57,7кx мөлшеріндегі ұлғайтылған беттік құрылымы келтірілген.



а) қақ үлгісі 6,92kx мөлшерінде үлкейтілген



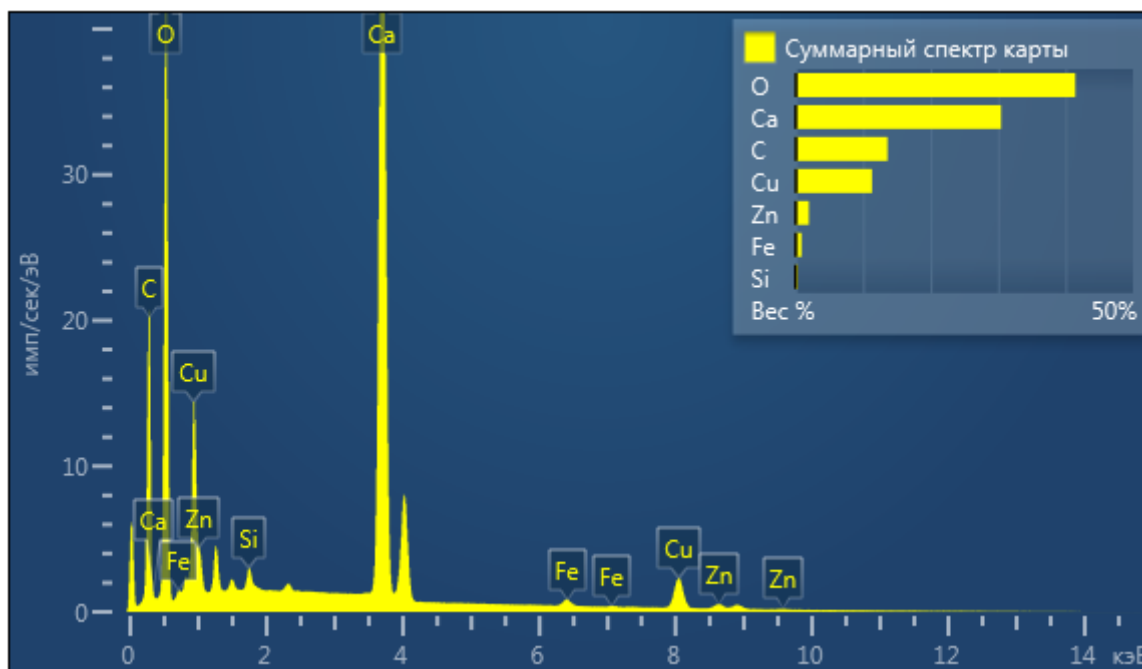
ә) қақ үлгісі 57,7kx мөлшеріне дейін ұлғайтылған

Сурет 3.21 – Турбоагрегат конденсаторынан алынған қақ шөгіндісінің беттік құрылымы

Турбоагрегат конденсаторынан алынған қақ шөгіндісінің беттік құрылымы қатты, ірі түйіршікті түрде, біркелкі емес, тығыз және цементі тәрізді болып келген. Турбоагрегат конденсаторының ішкі беттерінде жинақталған қақ тұнбасы жұмыстық ортаның температурасы мен ЖТ жылдамдықтарының өзгерісі нәтижесінен қыздырылған бу құрамындағы тұзды ерітінділер қоспасынан пайда болады [83].

ЖЭО-дағы турбоагрегат конденсаторы турбинадан шығарылатын қыздырылған буды салқындату мақсатында қолданылатын қондырғы, сондықтан да турбоагрегат конденсаторы 300⁰С температурасынан жоғары температурада жұмыс істейді және ондағы қыздырылған бу ағынының жылдамдығы 200 м/с құрайды. Сол себепті, турбоагрегат конденсаторының ішкі бетінде қатты, тығыз, цемент тәріздес және құбыр қабырғасына берік орналасқан қатты қақ шөгінділері пайда болады.

Турбоагрегат конденсаторынан алынған қақ шөгіндісінің беттік құрамын анықтайтын спектр 3.22-суретте келтірілген.

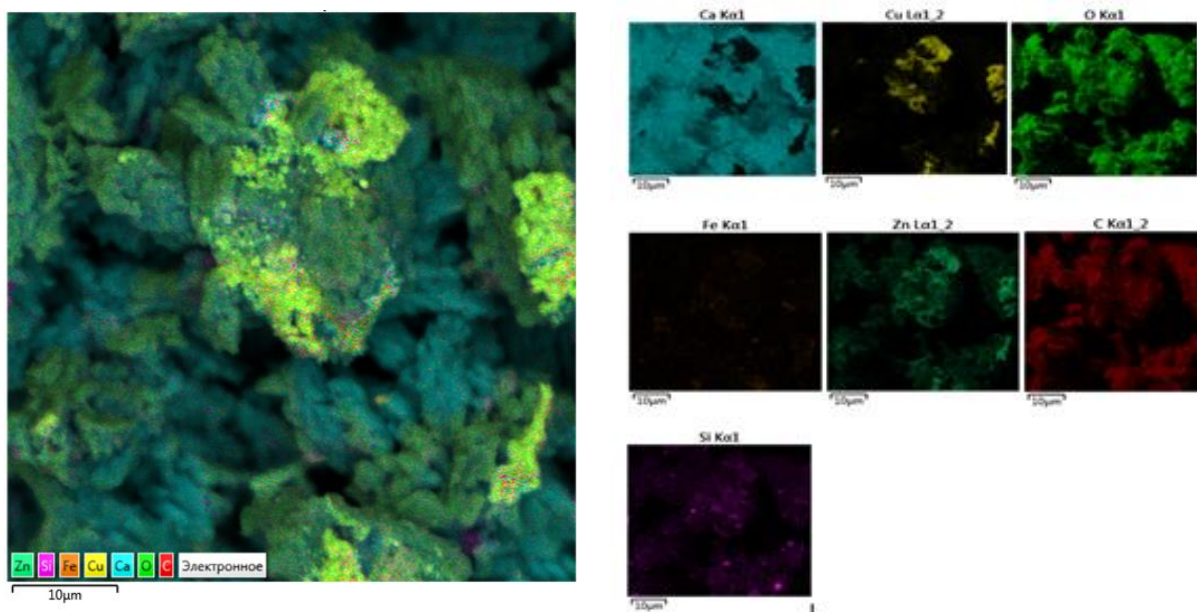


Сурет 3.22 – Турбоагрегат конденсаторынан алынған қақ шөгіндісінің беттік құрамындағы элементтер қатары

3.22-суреттегі қақ шөгіндісінің беттік құрамын анықтайтын спектрдағы X осінде қақтың беттік құрамындағы элементіне тән кванттық энергиясы (кэВ) көрсетілген, ал Y осінде қақ шөгіндісінің беттік құрамындағы элементтердің салыстырмалы шыңдары көрсетілген.

Өндірістік қақ шөгіндісінің беттік құрамында органикалық және карбонатты қосылыстарының табиғаты басым болғандықтан, турбоагрегат конденсаторынан алынған қақ шөгіндісінің беттік құрамында көміртегі, кальций және оттегі элементтері басым болып келеді. ЖЭО-ның турбоагрегат конденсаторы турбинадан келетін қыздырылған буды суға айналдыратын қондырғы болғандықтан, мұндағы жұмыстық орта температурасы 300⁰С-тан жоғары температурада болады, сол себепті қақ шөгіндісінің беттік құрамында кальций элементтерінің мөлшері көп шамада кездеседі. Турбоагрегат конденсаторындағы жылу тасмалдағыш ағынының жылдамдығы 200 м/с тең, соның салдарынан қақ шөгіндісінің беттік құрамында темір, мырш, кремний және мыс элементтері аз мөлшерді кездеседі.

Энергетикалық дисперсиялық рентгендік спектроскопияны қолдана отырып пикті бойлерден алынған қақ шөгіндісінің беттік құрамының элементтік картаға түсіру нәтижесі алынды (3.23-сурет).



Сурет 3.23 – Турбоагрегат конденсаторынан алынған қақ шөгіндісінің беттік құрылымындағы элементтердің электрондық бейнесі

3.23-суретте турбоагрегат конденсаторынан алынған қақ шөгіндісінің беттік құрылымындағы құрамдас элементтерінің таралуы визуальды түрде көрсетілген [84]. ЖЭО-ның турбоагрегат конденсаторынан алынған қақ шөгіндісінің беттік құрамында 7 элемент түрі кездеседі. Оларға көміртегі (C), темір (Fe), кальций (Ca), кремний (Si), оттегі (O), мырш (Zn) және мыс (Cu) элементтері жатады. Қақ шөгіндісінің беттік құрамындағы әрбір элементтер өзіне тән түстермен белгіленген. Сондықтанда, турбоагрегат конденсаторының ішкі бетінде пайда болған қақ шөгіндісін беттік құрылымы бойынша карбонатты және мысты қақтардың қатарына жатқызуға болады.

Пикті бойлерден алынған қақ шөгіндісінің беттік құрылымы турбоагрегат конденсаторынан алынған қақ шөгіндісінің беттік құрылымына қарағанда жұмсақ, кеуекті түрде болады, себебі пикті бойлер қондырғысындағы жылу тасымалдағыш 60-70 °С-тан жоғары температурадағы техникалық су болып табылады. Сонымен қатар, пикті бойлердің ішкі бетіндегі қақ шөгіндісі құбыр қабырғасына қатты жабыспай, бос орналасқан. Ал, турбоагрегат конденсаторындағы қақ шөгіндісі қатты, тығыз цемент тәрізді түрде, себебі турбоагрегат конденсаторы турбинадан шығарылатын 300 °С-тан жоғары температурадағы қыздырылған буды тасымалдайды, соның нәтижесінде турбоагрегат конденсаторының қыздыру бетінде қабырғаға тығыз, әрі берік орнатылған қатты қақ түрі пайда болады. Көп жағдайда мұндай қатты шөгінділер мысты қақтар деп аталады.

3.2.2 Қақ шөгінділерінің сандық элементтік құрамын зерттеу нәтижелері

Өндірістік қақ шөгінділерінің сандық элементтік құрамы Қарағанды қаласындағы «Геоаналит орталығы» ЖШС-нің «Аналитикалық зерттеу зертханасында» атомдық-эмиссиалық (спектральдық) әдіс арқылы анықталды.

ЖА-тан алынған қақ шөгінділері «Aanalyst-400» атомдық сiңiру спектрометрiнде жүргiзiлдi. Атомдық сiңiру спектрометрi элементтердiң негiзгi тобы анықталатын ең көп таралған әдiстердiң бiрi болып табылады [85].

Атомдық сiңiру спектрометрия (ASS) газ күйiндегi қозбаған бос атомдардың оптикалық диапазондағы сәулеленудi сiңiруiне негiзделген. Сондықтан атомдық сiңiрудiң анықтамаларының маңызды алғышарты - анықталатын затты атом буына аудару. Қазiргi уақытта атомдық сiңiру әдiсi периодтық жүйенiң 40-ке жуық элементтерiн, металдарды да, бейметалдарды да анықтауға мүмкiндiк бередi. Анықталатын элементтердiң көпшiлiгi үшiн салыстырмалы түрде төмен анықтау шектерiне қол жеткiзуге болады: жалын нұсқасында – ондаған және жүздеген мкг/л дейiн; электротермиялық нұсқада – мыңнан онға дейiн мкг/л. жалында анықтаудың абсолюттi шектерi 10-1-105 нг, электротермиялық нұсқада – 10-5-10 нг құрайды. Атомдық сiңiру әдiсiнiң артықшылықтары, жоғарыда айтылғандармен қатар, талдаудың әртүрлi объектiлерiне қатысты оның әмбебаптығын, сондай-ақ сынамаларды зерттеу үшiн де, күрделi композиция үлгiлерiндегi негiзгi компоненттердi сенiмдi және дәл анықтау үшiн де қолдану мүмкiндiгiн қамтуы керек.

Пиктi бойлер мен турбоагрегат конденсаторынан алынған қақ шөгiндiлерiнiң сандық элементтiк құрамының нәтижелерiн «Геоаналит орталығы» ЖШС-i сынау хатамалары бойынша бердi (3.24-сурет).

Өндiрiстiк қақ шөгiндiсiнiң сандық элементтiк құрамында 40 элементтiң 30 элементi кездеседi, қалған 10 элемент мүлдем кездеспейдi.

Жылуэлектр орталығындағы желiлiк суды қыздыратын пиктi бойлер мен турбинадан шыққан қыздырылған буды суытатын турбоагрегат конденсаторынан алынған қатты қақ шөгiндiлерiнiң құрамында скандий (Sc), фосфор (P), сурьма (Sb), марганец (Mn), қорғасын (Pb), титан (Ti), цирконий (Zr), мышьяк (As), галлий (Ga), вольфрам (W), хром (Cr), никель (Ni), германий (Ge), висмут (Bi), барий (Ba), бериллий (Be), ниобий (Nb), молибден (Mo), қалайы (Sn), ванадий (V), литий (Li), кадмий (Cd), мыс (Cu), иттербий (Yb), иттрий (Y), күмiс (Ag), кобальт (Co), стронций (Sr) және бор (B) элементтерi кездеседi. Өндiрiстiк қақ шөгiндiлерiнiң құрамында алтын (Au), гафний (Hf), сынап (Hg), индий (In), платина (Pt), тантал (Ta), теллур (Te), торий (Th), талий (Tl), уран (U) элементтерi кездеспейдi. Қақ құрамындағы элементтердiң сандық талдауы жасалынды, яғни өндiрiстiк қақтағы элементтердiң мөлшерi миллиграмм шамасында өлшенген.

Испытательный центр ТОО «Центргеоаналит»
100008, г. Караганда, Проспект Нурсултана Назарбаева,
строение 12, н.п. 3; тел/факс: 8(7212) 42-60-39
Лаборатория физических методов исследования
100008, г. Караганда, Проспект Нурсултана Назарбаева,
строение 12, н.п. 3; тел: 8 (7212) 42-60-37

Всего листов 1
Лист 1

Наименование заказчика, адрес, контактные данные: Карагандинский университет им. академика Е.А. Букетова
физико-технический факультет, кафедра ИТФ им. профессора Ж.С. Акылбаева
Регистрационный номер заказа: 1738-2-22
Характеристика проб: пробы накипа
Акт отбора образцов: -
Метод определения: атомно-эмиссионный (спектральный)
Дата поступления проб в лабораторию: 03.11.2022г.
Дата проведения испытаний: 07.11-15.11.2022г.
Дата оформления протокола: 16.11.2022г.

Протокол испытаний

№	№	№ пробы	Sc	P	Sb	Mn	Pb	Ti	Zr	As	Ga	W	Cr	Ni	Ge	Bi	Ba	Be	Nb	Mo	Sn	V	Li	Cd	Cu	Yb	Y	Zn	Ag	Co	Sr	B
п/п	лаб	заказчика	мг/кг	мг/кг	мг/кг	мг/кг	мг/кг	мг/кг	мг/кг	мг/кг	мг/кг	мг/кг	мг/кг	мг/кг	мг/кг	мг/кг	мг/кг	мг/кг	мг/кг	мг/кг	мг/кг	мг/кг	мг/кг	мг/кг	мг/кг	мг/кг	мг/кг	мг/кг	мг/кг	мг/кг	мг/кг	
1	1	проба №№№№ 2	4	###	<15	###	120	300	15	<100	3	<5	80	50	<1.5	<2	400	0,5	5	3	500	15	<10	<5	2%	0,5	5	###	1,2	6	150	1500
2	2	проба №№№№ 3	≤1	500	<15	###	10	30	5	<100	<1	<5	5	250	<1.5	<2	600	<0.3	<3	≤1	12	5	<10	<5	###	<0.5	<5	800	<0.05	3	###	<300

1ppm=1мг/кг=1г/т=0.0001%

Элементы Au, Hf, Hg, In, Pt, Ta, Te, Th, Tl, U не обнаружены

Протокол распространяется только на образцы, подвергнутые испытаниям

Сурет 3.24 – «Геоаналит орталығы» ЖШС-нің сынау хаттамалары

«Геоаналит орталығы» ЖШС-нің сынау хаттамалары бойынша пикті бойлерден алынған қақ шөгіндісі құрамында кездесетін элементтердің сандық шамасы 3.6-кестеде көрсетілген.

Кесте 3.6 – Пикті бойлерден алынған қақ шөгіндісіндегі элементтердің сандық құрамы

№	Элементтер атауы	Элементтің белгіленуі	Өлшем бірлігі	Мөлшері
Сандық мөлшері 1000 мг/кг жоғары элементтер тізімі:				
1	Мыс	Cu	%	2
2	Фосфор	P	мг/кг	8000
3	Мырыш	Zn	мг/кг	8000
4	Марганец	Mn	мг/кг	3000
5	Бор	B	мг/кг	3000
Сандық мөлшері 100 мг/кг-нан 1000тмм/кг-ға дейінгі элементтер тізімі:				
6	Қалайы	Sn	мг/кг	500
7	Барий	Ba	мг/кг	400
8	Титан	Ti	мг/кг	300
9	Стронций	Sr	мг/кг	150
10	Қорғасын	Pb	мг/кг	120
Сандық мөлшері 10 мг/кг-нан 100 мг/кг-ға дейінгі элементтер тізімі:				
11	Мышьяк	As	мг/кг	<100
12	Хром	Cr	мг/кг	80

13	Никель	Ni	мг/кг	50
14	Ванадий	V	мг/кг	15
15	Цирконий	Zr	мг/кг	15
16	Сурьма	Sb	мг/кг	<15
Сандық мөлшері 1мг/кг-нан 10 мг/кг-ға дейінгі элементтер тізімі:				
17	Литий	Li	мг/кг	<10
18	Кобальт	Co	мг/кг	6
19	Йттрий	Y	мг/кг	5
20	Ниобий	Nb	мг/кг	5
21	Кадмий	Cd	мг/кг	<5
22	Вольфрам	W	мг/кг	<5
23	Скандий	Sc	мг/кг	4
24	Молибден	Mo	мг/кг	3
25	Галлий	Ga	мг/кг	3
26	Висмут	Bi	мг/кг	<2
27	Германий	Ge	мг/кг	<1,5
28	Күміс	Ag	мг/кг	1,2
1мг/кг-нан төмен элементтер тізімі:				
29	Бериллий	Be	мг/кг	0,5
30	Иттербий	Yb	мг/кг	0,5

Пикті бойлерден алынған қақ шөгіндісінде мыс элементі 2% шамасында, фосфор, мырыш, марганец және бор элементтері 1000 мг-кг-на жоғары мөлшерде кездеседі. 100 мг/кг-нан 1000 мг/кг-ға дейінгі аралықтағы мөлшерде кездесетін элементтерге мышьяк, хром, никель, ванадий, цирконий және сурьма жатады. Қақ шөгіндісінің ең аз мөлшеріндегі элементтерге бериллий мен иттербий жатады, олардың әрқайсының мөлшері 0,5мг/кг-ды құрайды құрамындағы қалған 12 элемент 1мг/кг-нан 10 мг/кг-ға дейінгі мөлшерде кездеседі [86].

3.24-суреттегі сынақ хаттамасына сәйкес ЖЭО-ның турбоагрегат конденсаторынан алынған қақ шөгіндісінің сандық элементтік құрамы 3.7-кестеде келтірілген.

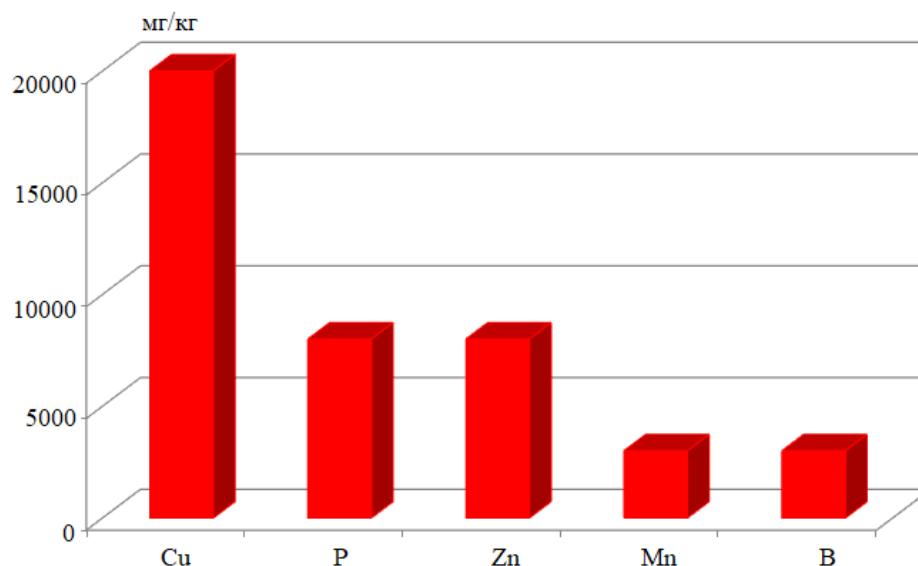
Кесте 3.7 – Турбоагрегат конденсаторынан алынған қақ шөгіндісіндегі элементтердің сандық құрамы

№	Элементтер атауы	Элементтің белгіленуі	Өлшем бірлігі	Мөлшері
Сандық мөлшері 1000 мг/кг жоғары элементтер тізімі:				
1	Мыс	Cu	мг/кг	5000
2	Марганец	Mn	мг/кг	3000
3	Стронций	Sr	мг/кг	1500
Сандық мөлшері 100 мг/кг-нан 1000 мг/кг-ға дейінгі элементтер тізімі:				

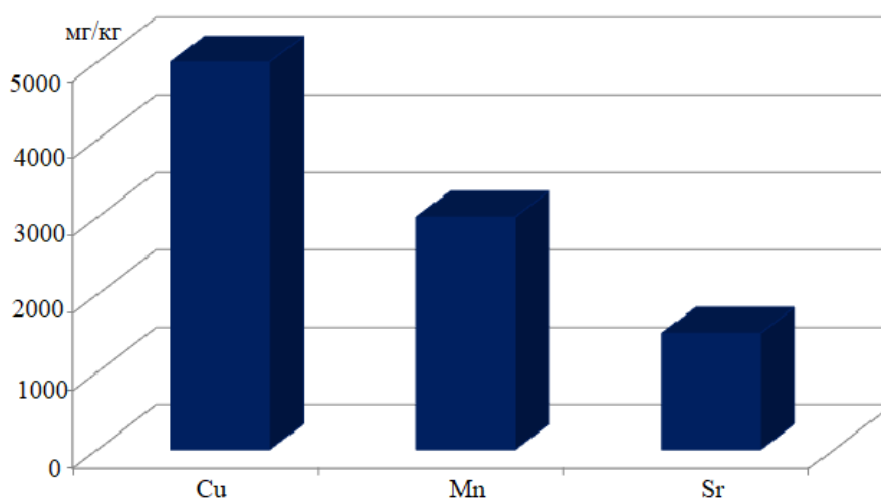
4	Мырыш	Zn	мг/кг	800
5	Барий	Ba	мг/кг	600
6	Фосфор	P	мг/кг	500
7	Бор	B	мг/кг	<300
8	Никель	Ni	мг/кг	250
Сандық мөлшері 10 мг/кг-нан 100 мг/кг-ға дейінгі элементтер тізімі:				
9	Мышьяк	As	мг/кг	<100
10	Титан	Ti	мг/кг	30
11	Сурьма	Sb	мг/кг	<15
12	Қалайы	Sn	мг/кг	12
13	Қорғасын	Pb	мг/кг	10
Сандық мөлшері 1мг/кг-нан 10 мг/кг-ға дейінгі элементтер тізімі:				
14	Литий	Li	мг/кг	<10
15	Хром	Cr	мг/кг	5
16	Цирконий	Zr	мг/кг	5
17	Ванадий	V	мг/кг	5
18	Вольфрам	W	мг/кг	<5
19	Кадмий	Cd	мг/кг	<5
20	Йттрий	Y	мг/кг	<5
21	Кобальт	Co	мг/кг	3
22	Ниобий	Nb	мг/кг	<3
23	Висмут	Bi	мг/кг	<2
24	Германий	Ge	мг/кг	<1,5
1мг/кг-нан төмен элементтер тізімі:				
25	Скандий	Sc	мг/кг	<1
26	Галлий	Ga	мг/кг	<1
27	Молибден	Mo	мг/кг	<1
28	Иттербий	Yb	мг/кг	<0,5
29	Бериллий	Be	мг/кг	<0,3
30	Күміс	Ag	мг/кг	<0.05

ЖЭО-ның турбоагрегат конденсаторынан алынған қақ шөгіндісінің құрамында мыс элементі 5000 мг/кг, марганец элементі 3000 мг/кг және стронций элементі 1500 мг/кг шамаларында кездеседі. Өндірістік қақ құрамына 100 мг/кг-нан 1000 мг/кг-ға дейінгі өлшемдігі элементтер қатарынаа мырыш, барий, фосфор және никель жатады. Турбоагрегат конденсаторынан алынған қақ шөгіндісінің құрамында 1мг/кг-нан төменгі мөлшердегі элементтер қатарына скандий, галлий, молибден, иттербий, бериллий және күміс жатады.

Турбоагрегат конденсаторынан және пикті бойлерден алынған өндірістік қақ шөгіндісінің құрамында 1000 мг/кг-нан жоғары өлшемде кездесетін элементтері диаграммасы 3.25-суретте келтірілген.



а) Пикті бойлерден алынған қақ құрамындағы элементтер



ә) Турбоагрегат конденсаторынан алынған қақ құрамындағы элементтер

Сурет 3.25 - Қақ шөгіндісінің құрамында 1000 мг/кг-нан жоғары өлшемде кездесетін элементтер диаграммасы

Пикті бойлерден алынған қақ шөгіндісінің құрамында 30 элемент түрі кездеседі, оның ішіне ең жоғары мөлшерде кездесетін элементтер қатарына мыс, мырыш, фосфор, марганец және бор жатады. Желілік суды қыздыратын ЖА қондырғыларынан алынған қақ құрамында мыс элементі 2% шамасында, фосфор мен мырыш элементі 0,8%, марганец элементі 0,3% және бор элементі 0,15% мөлшерінде кездеседі. Көп мөлшерде кездесетін элемент мыс, яғни пикті бойлер құбырларында пайда болған қақ құрамындағы мыс элементі құбыр материалының коррозиясынан болуы мүмкін, қалған элемент мөлшерлері

құбырдағы жұмыс ортасының температурасы мен жылу тасымалдағыштың гидродинамикалық заңдылықтарынан болуы мүмкін.

Турбоагрегат конденсаторынан алынған қақ шөгіндісінің құрамында мыс, марганец және стронций элементтері көп мөлшерде кездеседі. 300 °С-тан жоғары температурада және 200 м/с ағын жылдамдығында жұмыс істейтін турбоагрегат конденсаторынан алынған қақ шөгіндісінің құрамында мыс элементі 0,5 % шамасында, марганец элементі 0,1 % мөлшерінде және стронций элементі 0,15 % өлшемінде кездеседі. Өндірістік қақ шөгіндісіндегі мыс, марганец, стронций және де т.б. элементтерінің пайда болуы құбыр ішіндегі ЖТ сипатының қаттылығына, рН көрсеткішіне, сонымен қатар, жұмыстық ортаның қыздырылу мен суытылу процестеріне, сондай-ақ ағын жылдамдығының турбуленттік диссипациясына байланысты болады.

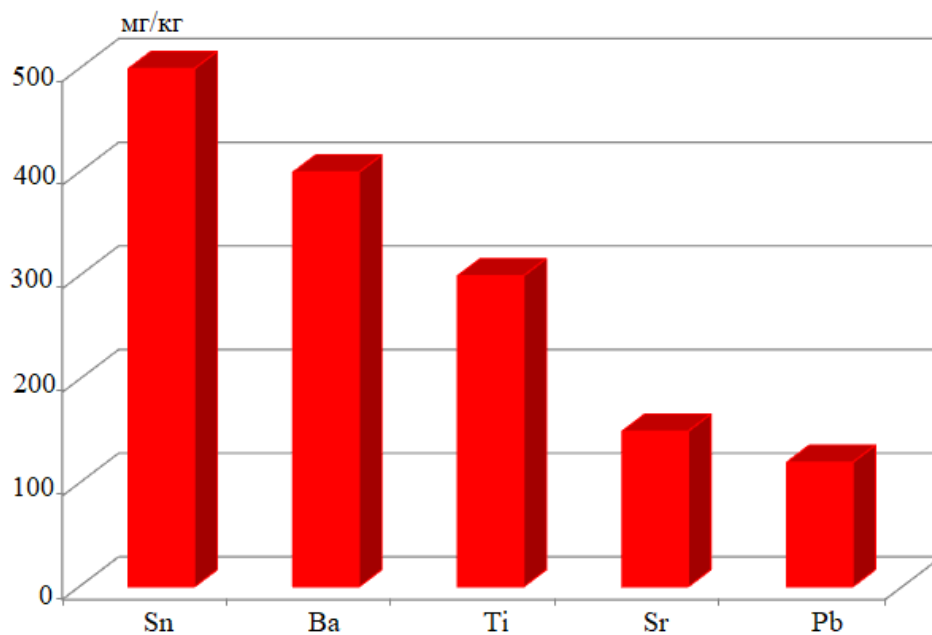
ЖЭО-ның пикті бойлерінен және турбоагрегат конденсаторынан алынған қақ шөгіндісінің құрамындағы 100 мг/кг-нан 1000 мг/кг-ға дейінгі мөлшерде кездесетін элементтер диаграммасы 3.26-суретте келтірілген.

ЖЭО-ның пикті бойлерінен алынған қақ шөгіндісі құрамында сандық мөлшері 100 мг/кг-нан 1000 мг/кг-ға дейінгі аралық шамасында 5 элемент түрі кездеседі, яғни оларға қалайы, барий, титан, стронций және қорғасын элементтері жатады. Пикті бойлерден алынған қақ құрамындағы элементтердің нақты сандық мөлшерін көрсететін болсақ, қалайы элементі 500 мг/кг, барий 400 мг/кг, титан 300 мг/кг, стронций элементі 150мг/кг және қорғасын элементі 120 мг/кг шамаларында болады.

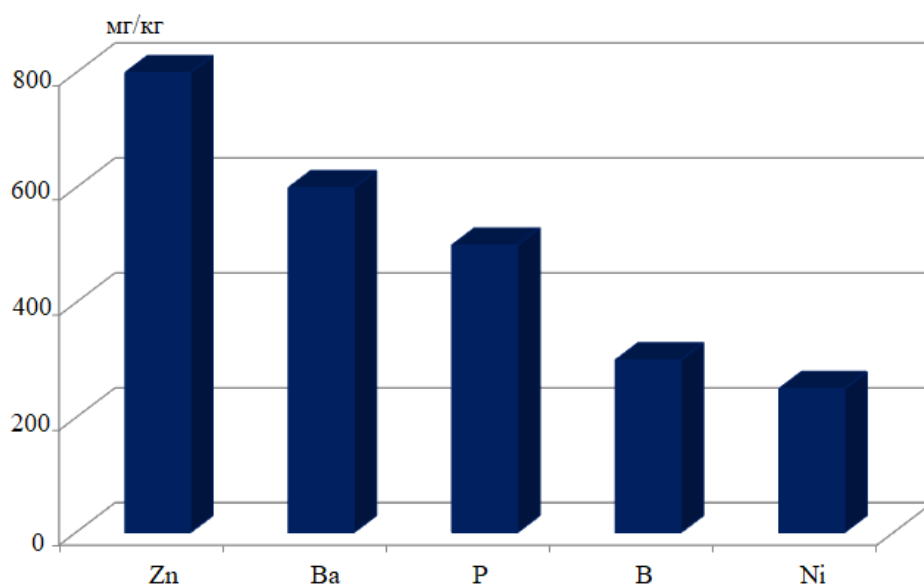
Пикті бойлерден алынған құрамында жоғарыдағы элементтердің берілген мөлшерде болуы, ол жылулық желіде қолданылатын ЖА құбырларының ескі екенін, дәнекерлеу арқылы бір біріне қосылғанын және пикті бойлердің коррозиясынан болуы мүмкін. Көп жағдайда пикті бойлерден алынған қақ шөгіндісінің құрамында қалайы элементі дәнекерлеу кезінде қосылыстан түзілуі мүмкін, қорғасын элементі пикті бойлер құбырының ескірген жағдайында пайда болуы мүмкін және титан элементі құбыр материалының бетінен алынуы мүмкін.

Турбоагрегат конденсаторынан алынған қақ шөгіндісінің құрамындағы мырыш, барий, фосфор, бор және никель элементтерінің сандық мөлшері 100 мг-кг-нан 1000 мг/кг-ға дейінгі аралықта кездеседі. Турбоагрегат конденсаторынан алынған қақ құрамындағы элементтердің нақты сандық мөлшерін көрсететін болсақ, мырыш элементі 800 мг/кг, барий элементі 600 мг/кг, фосфор элементі 500 мг/кг, бор элементі 300 мг/кг және никель элементі 250 мг/кг шамаларында кездеседі.

Турбоагрегат конденсаторынан алынған қақ шөгіндісі құрамында барий және бор элементтері суыту үшін қолданылатын техникалық суды дайындау кезінде қосылатын химиялық реакциялар әсерінен түзілуі мүмкін, фосфор элементі техникалық суға қосымша химиялық реагент ретінде қосылуы нәтижесінде пайда болуы мүмкін, ал никель және мырыш элементі ЖА-дың коррозиясы әсерінен туындауы мүмкін.



а) Пикті бойлерден алынған қақ құрамындағы элементтер



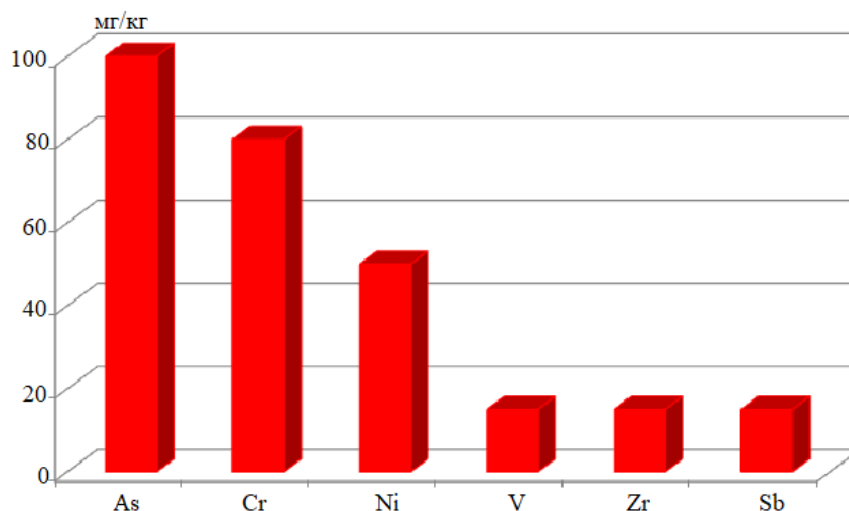
ә) Турбоагрегат конденсаторынан алынған қақ құрамындағы элементтер

Сурет 3.26 - қақ шөгіндісінің құрамындағы 100мг/кг-нан 1000мг/кг-ға дейінгі мөлшерде кездесетін элементтер диаграммасы

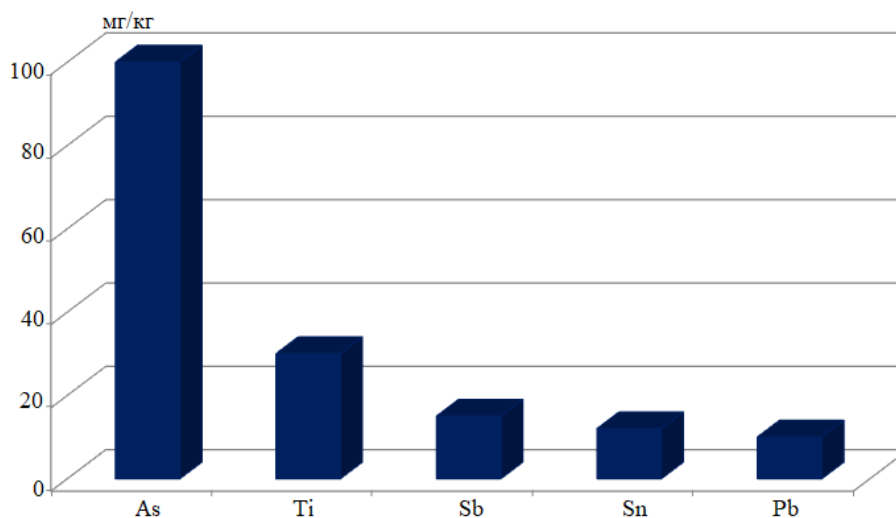
ЖЭО-дағы пикті бойлер мен турбоагрегат конденсаторынан алынған қақ шөгіндісінің құрамында сандық шамасы 10 мг/кг-нан басталып 100 мг/кг-ға дейінгі мөлшердегі элементтер тізімі 3.27-суретте келтірілген. Пикті бойлерден алынған қақ құрылымында мышьяк элементі 100 мг/кг-нан төмен, хром элементі 80 мг/кг, никель 50 мг/кг, ванадий және цирконий элементтері 15 мг/кг және сурьма элементі 15 мг/кг-нан төмен мөлшерінде кездеседі.

Турбоагрегат конденсаторынан алынатын қақ шөгіндісінің құрамында мышьяк элементі 100 мг/кг-нан төмен, титан элементі 30мг/кг, сурьма элементі

15 мг/кг-нан төмен, қалайы элементі 12 мг/кг және қорғасын элементі 10 мг/кг мөлшерінде кездеседі. Жұмыстық ортаның қыздырылу температурасы мен ағынының гидродинамикалық параметрлеріне сәйкес ЖТ-ның тұзды ерітіндінің тұнбасы ретінде түзілетін қас шөгіндісінің құрамында жоғарыдағы элементтердің кездесуі негізінен, ЖТ-ды дайындау кезінде қолданылатын химиялық реагенттердің қосындысынан және ЖА құбырларының коррозиясынан пайда болуы мүмкін.



а) Пикті бойлерден алынған қас құрамындағы элементтер

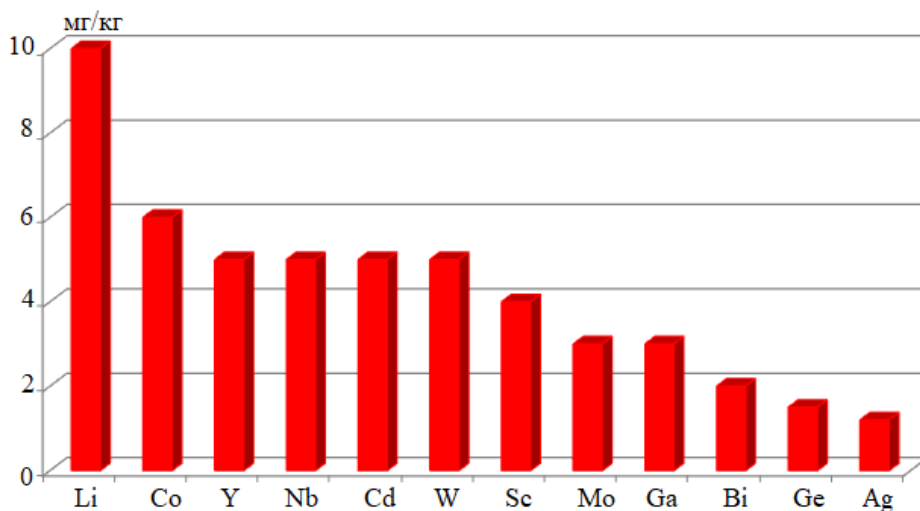


ә) Турбоагрегат конденсаторынан алынған қас құрамындағы элементтер

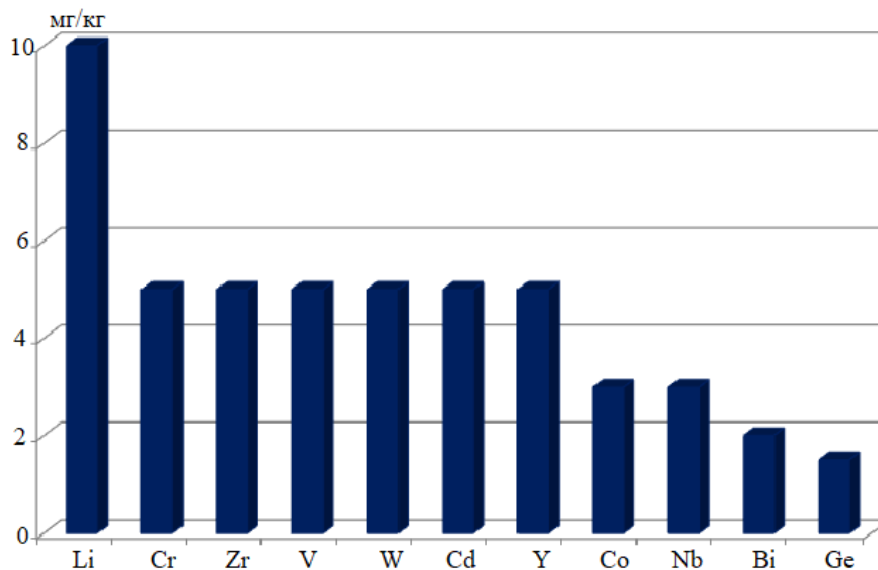
Сурет 3.27 - қас шөгіндісінің құрамындағы 10 мг/кг-нан 100 мг/кг-ға дейінгі мөлшерде кездесетін элементтер диаграммасы

ЖЭО-дағы пикті бойлер мен турбоагрегат конденсаторынан алынған қас құрамындағы сандық шамасы 1 мг/кг-нан басталып 10 мг/кг-ға дейінгі мөлшердегі элементтері тізімі 3.28-суретінде келтірілген. ЖЭО-нан алынған пикті бойлер мен турбоагрегат қас құрамындағы көптеген элементтердің сандық мөлшері 1 мг/кг мен 10 мг/кг шамаларында кездеседі. Мысалы, пикті

бойлерден алынған өндірістік қақ шөгіндісінің құрамында литий элементі 10 мг/кг-нан төмен, кобальт элементі 6 мг/кг, йттрий және ниобий элементтері 5 мг/кг, кадмий және вольфрам элементтері 5 мг/кг-нан төмен, скандий элементі 4 мг/кг, молибден және галлий элементтері 3 мг/кг, висмут элементі 2 мг/кг-нан төмен, германий элементі 1,5 мг/кг-нан төмен және күміс элементі 1,2 мг/кг шамаларында кездеседі.



а) Пикті бойлерден алынған қақ құрамындағы элементтер



ә) Турбоагрегат конденсаторынан алынған қақ құрамындағы элементтер

Сурет 3.28 - қақ шөгіндісінің құрамындағы 1мг/кг-нан 10 мг/кг-ға дейінгі мөлшерде кездесетін элементтер диаграммасы

Турбоагрегат конденсаторының ішкі бетінде қыздырылған будың температурасы мен ағын жылдамдықтарының өзгерісі нәтижесінен түзілетін тұзды тұнбалардың (қатты қақ шөгіндісінің) құрамында литий элементі 10 мг/кг төмен, кобальт элементі 6 мг/кг, йттрий және ниобий элементтері 5мг/кг, кадмий және вольфрам элементтері 5 мг/кг-нан төмен, скандий элементі 4

мг/кг, молибден және галий элементтері 5 мг/кг, висмут элементі 2 мг/кг-нан төмен, германий элементі 1,5 мг/кг-нан төмен және күміс элементі 1,2 мг/кг шамаларында кездеседі.

Пикті бойлер мен турбоагрегат конденсаторынан алынатын өндірістік қақ шөгіндісінің құрамында әртүрлі сандық мөлшердегі 33 элемент түрі кездеседі, оның ішінде мыс элементі пикті бойлерден алынған жұмсақ кеуекті қақ құрамында 2% шамасында, ал турбоагрегат конденсаторынан алынған қатты тығыз цемент тәрізді қақ құрамында 5000 мг/кг мөлшерінде кездеседі. Мырыш, марганец, фосфор және стронций элементтері 1000 мг/кг-нан жоғары мөлшерде болады. Яғни, өндірістік ЖА-дан алынған қақ құрамы тек қана кальций карбонаттары мен магний қосылыстарынан ғана емес, бірнеше элементтердің қосылыстарынан тұратын көп фазалық гетерогендік орта болып табылады. Жалпы негізі біртекті ортаға қарағанда гетерогендік ортаның құрылымы күрделі болып келеді, сондықтан ЖА-ды гетерогендік құрылымдағы қақ шөгіндісінен тазалау бірнеше мәселелерді тудыруы мүмкін.

3.2.3 Рентгендік дифрактометр арқылы қақ құрылымын зерттеу нәтижелері

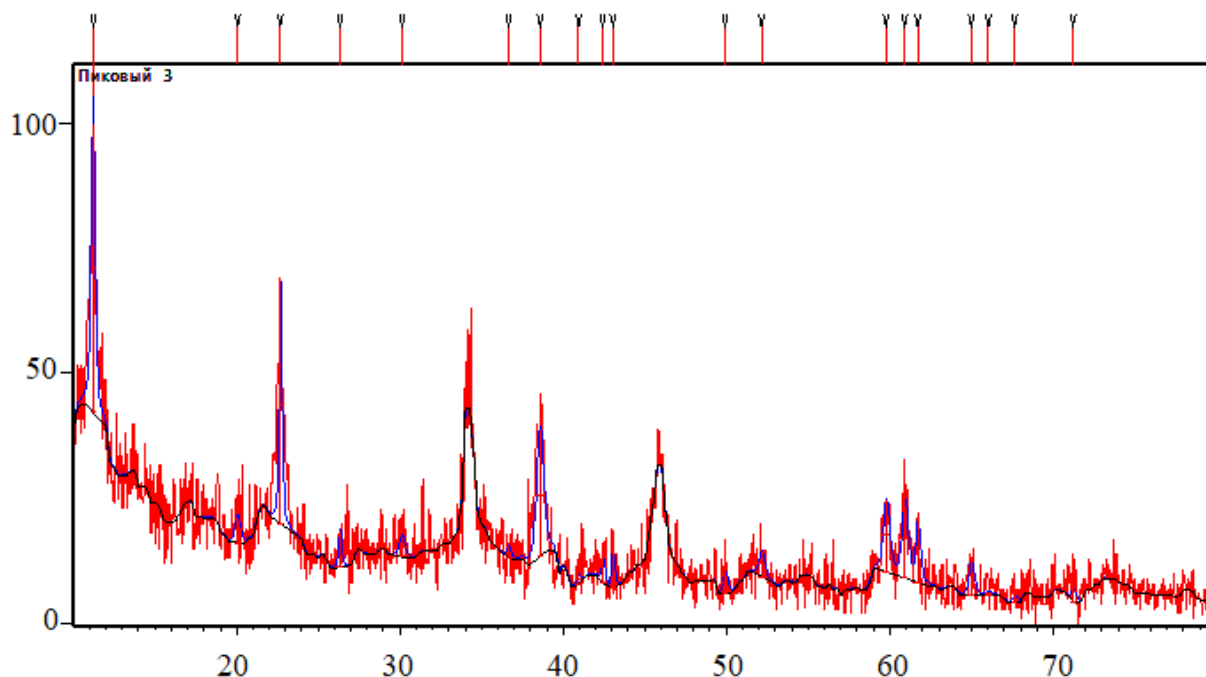
Пикті бойлерден жән турбоагрегат конденсаторынан алынған қақ шөгінділерінің рентгенфазалық талдауы XPERT-PRO дифрактометр әдісі негізінде жүргізілді [87]. Рентгендік құрылымдық талдау қатты тор параметрлерін, симметриясын және бірлік ұяшықтағы атомдардың орналасу жүйесін анықтау бойынша қатты заттың құрылымын зерттеуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, қатты зат құрылымына фазалық талдау жасау мүмкіндігін жасайды. Көп жағдайда бұл әдіс қатты зат құрылымының кемшіліктерін, когерентті шашырау аймақтарының көлемін және микрокернеу шамасын зерттеу мақсаттарында қолданылады.

Дифрактометрдің жұмыс принципі спектрометр өсі бойынша орнатылатын үлгіге бағытталған рентген сәулесінің үлгімен дифракциялану процесімен негізделеді. Қатты дене бетіне түсірілетін рентген сәулесінің дифракциясы нақты заңға бағынып, белгілі бір толқын ұзындығының сәулесі қатты дене беттерінен тек оған түсудің анықталған бір бұрыштарында шағылсады. Бұл кезде қатты дене бетіне түсірілген сәулелер бір-бірін өзара күшейтеді немесе әлсіретеді. Panalytical X PERT PRO MRD Extended рентгендік дифрактометрі қалыңдығы бірнеше нанометрден бірнеше микронға дейінгі жеке қатты денелерді және гетероэпитаксиалды пленкалардың жұқа құрылымдық ерекшеліктерін зерттеуге арналған. Prefix жүйесі нақты зерттеу міндеттеріне байланысты қосымша түзетусіз бастапқы монохроматорларды өзгертуге мүмкіндік береді.

ЖЭО-нан алынған пикті бойлер мен турбоагрегат конденсаторынан алынған өндірістік қақ шөгіндісінің беттік құрамының рентгенфазалық зерттеу жұмыстары Сәрсен Аманжолов атындағы Шығыс Қазақстан университетінің «Ұлттық ұжымдық пайдалану» зертханасында жүргізілді. Зерттеу жұмысы жүргізілген X'Pert PRO қондырғысының негізгі параметрлері: сәуле

арақашықтығы 10^0 -тан басталып 80^0 аралығында (2θ), қадамы $0,05^0$, сәулелену элементі мыс, кальций (Cu, Ca), толқын ұзындығы $1,54\text{Å}$, түсіру уақыты 14 минут.

Пикті бойлерден алынған қақ шөгіндісінің рентгенфазалық зерттеу жұмысының нәтижесі 3.29-суретінде келтірілген.

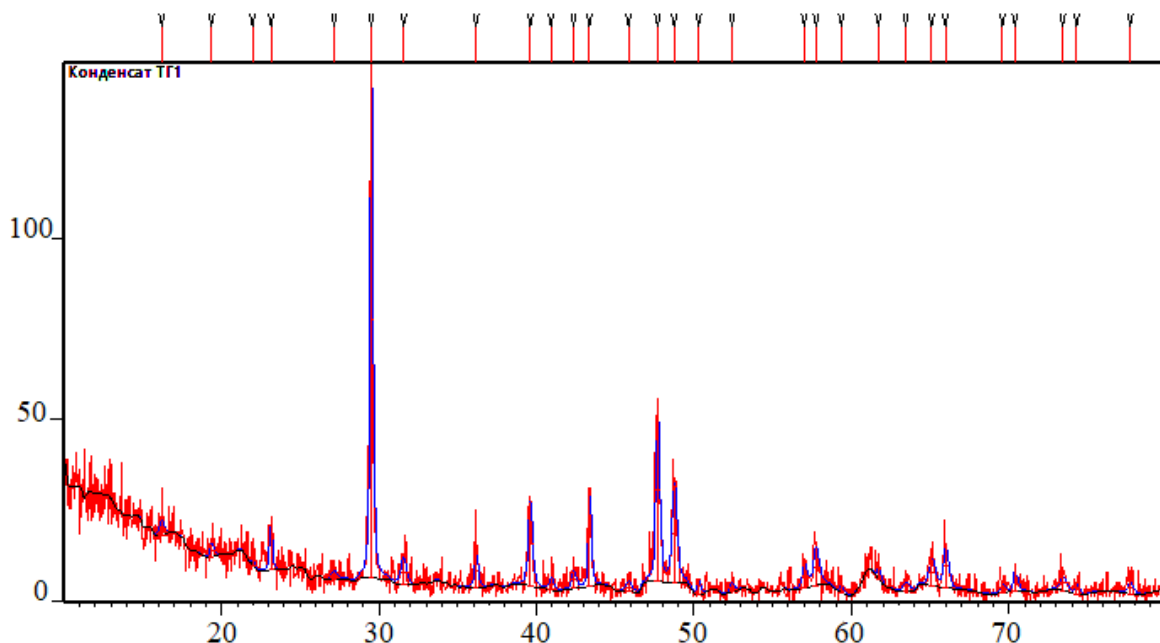


Сурет 3.29- Пикті бойлерден алынған қақ шөгіндісінің рентгенфазалық зерттеу нәтижесі

3.29-суреттегі пикті бойлерден алынған қақтың рентгенфазалық дифрактограммасының ордината өсінде шағылу бұрышы (2θ , градус), ал абцисса өсінде импульс қарқындығы келтірілген. Дифрактограммадағы қызыл сызық қақ шөгіндісінің рентген дифракциясын, ал көк сызық шыңдардың сәйкестігін білдіреді. Дифрактограммадағы әрбір шың атом жазықтықтарындағы рентгендік шағылысу болып табылады. Бұл Брэг заңымен сипатталады, әрбір шыңның орналасуы қандай фаза екенін, ал шың биіктігі қанша фазадан құрылғанын көрсетеді. Сондықтанда, 3.29-суреттегі айқын шыңдар пикті бойлерден алынған қақ шөгіндісінің беттік құрамында қатты заттардың бар екенін білдіреді және жоғары фоны бар қызыл түсті шулы сызықтар қақ құрамында фазалар қоспасының, аморфты компоненттердің және ластаушы заттардың бар екенін түсіндіреді. Пикті бойлерден алынған қақ шөгіндісінің беттік құрылымы таза минералдан емес тұздардан және металл оксидтерің қосындысынан тұрады.

ЖЭО-да бутурбинасынан шығарылатын қыздырылған буды суыту мақсатында қолданылатын турбоагрегат конденсаторынан алынған қақ шөгіндісінің рентгенфазалық зерттеу жұмысының нәтижесі 3.30-суретте көрсетілген [88]. Турбоагрегат конденсаторынан алынған қақ шөгіндісінің рентгендік дифрактограммасындағы айқын шыңдар қақ шөгіндісінің беттік

құрамында қатты заттардың бар екенін білдіреді. Дифрактограммадағы жоғары фоны бар қызыл түсті шулы сызықтар қақ құрамындағы фазалар қоспасы мен аморфты компоненттердің бар екенін түсіндіреді, яғни турбоагрегат конденсаторыан алынған қақ шөгіндісінің беттік құрылымы тек қана минералдан емес тұздардан және металл оксидтері қосындысынан тұрады.



Сурет 3.30 – Турбоагрегат конденсаторынан алынған қақ шөгіндісінің рентгенфазалық зерттеу нәтижесі

Турбоагрегат конденсаторынан алынған қақ шөгіндісінің рентгенафазалық нәтижесін PDF-2 дерекқорымен (ICDD) салыстыру бойынша қақ құрамында кальциттің (CaCO_3 , PDF№05-0586) бар екенін растайды. Фазаны анықтау негізгі дифракциялық максимумдардың ($2\theta=29,5^0; 39,5^0; 43,3^0; 47,6^0$) орналасуының анықтамалық мәндермен сәйкес келуіне, сонымен қатар салыстырмалы қарқындылықпен және жазықтық аралық кеңістіктердің (d аралық) сәйкес келуімен негізделеді. Қосымша әлсіз шыңдар аргонитке (PDF№41-1475) және темір оксидтеріне сәйкес келуі мүмкін, яғни мұндай сәйкестіктер қақ құрамында аз мөлшерде кездеседі [89].

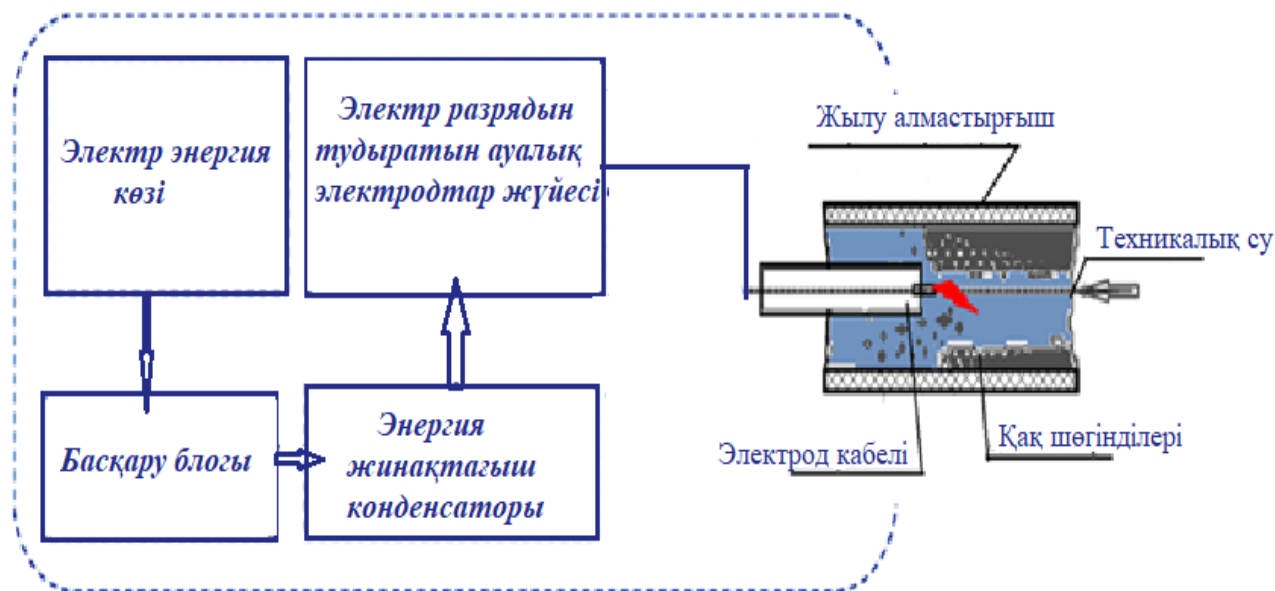
ЖА-дан алған қақ шөгінділерінің беттік құрылымын, элементтік құрамын және рентгендік құрылымын зерттей отырып, құбырлардың жылу беру тиімділігін арттыратын электрогидроимпульстік технологиясын әзірлейміз.

3.3 Жылу алмастырғыштардың тиімділігін арттыратын электрогидроимпульстік технологиясын әзірлеу

Қазіргі уақытта электргидравликалық эффектін қолданудың әртүрлі түрлері қарастырылуда, себебі соққы толқын негізінде жүргізілетін электрогидроимпульстік технологиясы кез келген процестердің оңтайлы шешімдерінің бірі болып табылады [90]. Сондықтанда, жылуэнергетика

саласының дамуына байланысты ЖА-дың жылу беру пәрменділіктерін арттыру мақсатында қолданылады, яғни ЖЭО-дағы ЖА-дың ішкі беттерін қатты қак шөгінділерінен тазалау үшін.

ЖА-ды қатты қак шөгінділерінен тазалауға арналған электргидравликалық қондырғының қарапайым сұлбесі 3.31-суретте келтірілген.



Сурет 3.31- Жылу алмастырғыштарды тазалауға арналған электргидравликалық қондырғының қарапайым сұлбесі

ЖА-ды тазалауға арналған электргидравликалық қондырғысы құрылымы жағынан 2 бөліктен тұрады, бірінші бөлігі суасты жарылысын тудыратын соққы толқын негізінде жұмыс жасайтын электргидравликалық қондырғының негізгі құрылғылары орналасқан жұмыстық бөлімі болып табылса, екінші бөлігі ЖА-ды тазартатын тәжірибелік аймақ. Электргидравликалық қондырғының жұмыс бөлігі генератордан, басқару блогынан, энергия жинақтағыш конденсатордан және аралық разрядтаушы электродтардан тұрады, тәжірибелік аймақ әртүрлі диаметрлі ластанған ЖА-дан және құбыр ішіне жіберілетін электродтан құралады. 3.31-суреттегі электргидравликалық қондырғының жұмыс істеу принциптері [91-93] әдебиеттер тізімінде берілген мақалаларда келтірілген. ЖА-дың ішкі беттерін қатты қак шөгінділерінен тазалайтын электрогидроимпульстік технологиясы сұйықтағы жоғары вольтты разряд кезінде көпіршіктердің жарылуы негізінде туындайтын соққы толқын мен кумулятивті әсерді пайдалану принципі бойынша жүзеге асырылады. ЖА-дың ішкі бетіндегі қатты қак шөгінділерінің бұзылуы мен шайылуы келесі факторлар негізінде жүреді:

- ЖА-дың қабырғасындағы және құбыр ішіндегі қатты қак шөгіндісі бойындағы соққы толқын әртүрлі жылдамдықта таралады;

- Соққы толқын аймағында құбыр қабырғасының бетімен және қатты қақ шөгінділерінің арасындағы шекараға жеткен кезде ЖА бетінен соңғы қақ қалдықтарын жоюға мүмкіндік беретін жоғары кернеулер пайда болады;

- ЖА-тың ішкі бетіндегі қақ шөгінділеріне түскен газ көпіршіктер Кумулятивті эффект негізінде соққы толқын әсерінен жарылып, құбыр ішінде екінші ретті соққы толқыны пайда болып, соның салдарынан қатты қақ шөгінділерінің бұзылуы жүзеге асырылады;

- ЖА-дың ішкі бетінде пайда болған соққы толқынынан кейін құбыр ішінде гидравликалық ағындар таралып, қақ шөгінділерін шайып, тазалау жұмыстары жүргізіледі.

Электрогидроимпульстік қондырғысының разрядтағыш генераторы аппараттың негізгі функционалдық блоктарының бірі болып табылады. Разрядтағыш генераторының негізгі жұмысы кірістегі айнымалы (реттелетін) кернеуді және шығыстағы тұрақты жоғары кернеуді түрлендіруімен негізделеді. Генератор шығысындағы жоғарғы кернеу энергияны жинақтайтын, импульстік энергия сақтағыш конденсаторларына параллель беріледі және конденсаторда кернеу белгіленген мәніне жеткен кезде разрядтағыш электрод-кабеліне жоғары кернеудің импульстік берілуін қамтамасыз етеді, нәтижесінде жинақталған энергия ЖА-тың ішкі бетінде соққы толқынды тудыру үшін жұмсалады. Электрогидроимпульстік қондырғысының басқару тізбегі құрылғаның жұмыс тәртібін қосуды және сөндіруді, аппараттың жұмыс тәртібін қосу мен қоректендіру кернеуінің сигналдарын беруді, сонымен қатар құрылғының негізгі жұмыс параметрлерін бақылауды қамтамасыз етеді. ЭГҚ-ның қорғаныс жүйелері конденсаторда белгіленген қауіпсіз жұмыс разряды кернеуінен асатын кернеу шамасы пайда болған кезде аппараттың жұмыс тәртібін өшіреді. ЖА-ды қақ шөгіндісінен тазалайтын ЭГҚ-ның жұмыс тәртібі «Бастау» батырмасын басу арқылы іске қосылған кезде магниттік стартер қуат көзіне қосылып, жұмысын бастайды. Осы кезде қондырғының «жұмыс» тәртібінің индикатор шамы жағылып, желі қуаты жоғары вольтты генераторға беріледі. Қондырғының қоректендіру кернеуі вольтметрмен бақыланылады және басқару пультімен реттеледі. Микроамперметр конденсаторда жоғары кернеудің бар екенін көрсетеді. ЭГҚ-сын жұмыс тәртібінен шығару үшін «тоқтату» батырмасын басамыз, осы кезде стартердің қоректендіру тізбегі ашылады, соның нәтижесінде генератордың қуат тізбегі ажыратылады. Қондырғының жұмыс тәртібі аппараттың қауіпсіз жүйесі іске қосылған кезде де өшірілуі мүмкін. Қондырғы жұмысы белгіленген қауіпсіз кернеуден асқан уақытта аппараттың қосымша разрядтағышы іске қосылып, трансформатордың бастапқы орамы мен кедергі тізбегін қалыптастырады. Трансформатордың екінші орамынан келетін айнымалы кернеу реттеліп (түзетіліп) релеге жіберіледі, ол іске қосылған кезде қондырғының жұмыс тәртібі сөндіріледі.

ЖА-дың ішкі бетін қатты қақ шөгінділерінен тазалайтын электрогидроимпульстік қондырғысының жоғары вольтты генераторы. Жоғары вольтты импульстік ток генераторы ЭГҚ кешенінің негізгі элементтерінің бірі болып табылады, сондықтанда оның негізгі міндеті бір

поляры ток импульстарын өндірумен негізделеді. Жоғары вольтты ток генераторы өндіретін импульстар энергия сақтағыш конденсаторларын тез әрі жылдам зарядтауға жеткілікті жоғарғы кернеуге ие болуы мүмкін. Жоғары вольтты ток генераторы күшейткіш трансформатордан және жоғары вольтты түзеткіш көпірден (мосттан) тұрады.

Трансформатор дегеніміз бір негізгі айнымалы ток жүйесін, атап айтқанда, тұрақты жиілікте басқа кернеуі мен басқа тогы бар екінші реттік жүйеге түрлендіруге арналған статикалық электромагниттік құрылғы. Трансформатордың басты жұмысы өзара индукция құбылысымен және басқа тізбектегі ток өзгерген кезде бір тізбектегі электр қозғаушы күшінің индукция процесімен негізделеді. Бір катушканың орамдарынан өтетін ток магнит ағынын тудырады, магнит ағынының бір бөлігі екінші катушканың орамдарына еніп, өзара индукцияның ағындық байланысын түзеді. Жоғары вольтты ток генераторы біріншілік орамнан, екіншілік орамнан және магниттік өзектен тұрады. Генератордағы екі орам да магниттік өзекке оралған. Индуктивті катушканың бірінші орамасы екінші жоғары вольтты орамаға қарағанда магниттік өзекке жақын оралған. Жоғары вольтты және төмен вольтты орама бір-бірінен жақсы оқшауланған. Жоғары вольтты орамдар эмаль-жібек оқшаулағышы бар сымға оралған (ПЭЛШО, ПЭЛШД). Орамдар қабаттарының арасы лакталған мата қаптамалары арқылы жасалған. Магниттік өзек екі жағынан лакталған, құрамы 4-5% кремнийден тұратын трансформаторлық болат пластиналардан жинақталған. Брондалған трансформаторларда Ш тәрізді пластиналар қолданылады.

Төменгі жиілікті трансформаторларда бірінші орамының магнит ағыны екінші орамды катушкаларға толығымен енгізіледі. Трансформатордың ішіндегі орамдар индукцияланған электр қозғаушы күші, олардың санына пропорционал болады. Орамдардың (катушкалардың) қатынасы ЭҚК-нің қатынасына пропорционал, егер орамдардағы кернеудің төмендеуін ескерсек, онда орамдардың қатынасы кернеулер қатынасына пропорционал болады. Трансформация коэффициенті деп бірінші орамдардағы орама санының екінші орамдардағы орама санына қатынасын айтамыз. Орамдардың қатынасы ЭҚК қатынасына пропорционал, егер орамдардағы кернеудің төмендеуін ескерсек, кернеулер қатынасына пропорционал болады. Трансформатордағы энергия шығындарын ескермей, орамдардағы токтардың қатынасын кернеулер қатынасына кері пропорционалды деп қарастыруға болады:

$$n = \frac{w_1}{w_2} = \frac{E_1}{E_2} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad (3.10)$$

мұндағы

w_1 және w_2 – бірінші және екінші орамдардағы орам саны;

E_1 және E_2 – орамдарға бағытталған ЭҚК;

U_1 және U_2 – орамдардағы кернеу;

I_1 және I_2 – орамдардағы ток.

Трансформатордың екінші орамдарындағы орам саны бірінші орамдағы орам санына қарағанда көбірек, сондықтан олар күшейткіш трансформаторлары деп аталады.

Ток генераторының жоғары вольтты түзеткіш көпірі. Қондырғыдағы жоғары айналы кернеуді түзету үшін көпір (мостовая) сұлбесі қолданылады. Генератордағы көпір сұлбесі бір фазалы токтың екі жарты толқынды түзетуі жүзеге асырылады, яғни мұндай сұлбедегі трансформаторды пайдалану коэффициенті жоғары, ал клапандардың жұмыс тәртібі бір жарты толқынды тізбекке қарағанда оңайырақ болып табылады.

Генератордың көпір сұлбесінде СДЛ-140 маркалы жоғары қуатты селенді (селеновые) жартылай өткізгіш клапандар (диодтар) қолданылды. Жоғары қуатты селенді клапандар жиілігі 1000 Гц-қа дейінгі айнымалы токты түзетуге арналған. Жоғары қуатты селенді түзеткіштер бағандарға жинақталған дөңгелек түзеткіш элементтерден тұрады. Жинақталған бағанның әрбір элементі орташа ток тығыздығы 50 мА/см² мөлшерін және кері кернеуі 20-60 В шамасына тең. Жоғары кернеуді түзету үшін бағандағы түзеткіш элементтері тізбектей жалғанады.

ЖА-дың жылу беру қарқындылығын арттыратын электрогидроимпульстік қондырғысының реттеуші разряднигі. Реттеуші разряднигі жоғары вольтты коммутацияның негізгі бір элементі болып табылады. Қондырғының реттеуші разряднигі жүйенің әртүрлі жұмыс тәртібінде (кернеу және жиілік бойынша) аппараттың тұрақты жұмысын қамтамасыз етеді. Реттеуші разряднигін пайдалану қажеттілігі құбыр ішіндегі жұмыс ортасының (техникалық су) бұзылу кернеуі аппараттың жұмысы үшін қажет кернеуден әлде қайда төмен болуымен негізделеді. Аппараттың ауа аралық саңылауы бұзылғаннан кейін жоғары кернеу бірден жұмыстық арақашықтыққа беріледі. Ең бастысы, аппарат жұмыс саңылауына қажет кернеуді беру мүмкіндігіне ие. Реттелетін разрядтағы ауа саңылауын арттыру немесе азайту арқылы құбыр ішіне берілетін жұмыс кернеуін қажетті дәлдікпен реттеуге болады.

Импульстік энергияны сақтау құрылғысы. Қондырғыдағы энергияны сақтау үшін импульсті энергия жинақтағыш құрылғысы қолданылады. Ол бір немесе бірнеше жоғары вольтты импульсті конденсаторлардан тұрады.

Бірнеше конденсаторларды пайдаланған кезде қондырғыға қажет сыйымдылық пен жұмыс кернеуіне байланысты конденсаторлардың қосылуы әртүрлі болуы мүмкін (параллель, тізбектей және параллель-тізбектей). Бірақ, конденсаторларды параллель қосқан кезде ағып кеткен токтар жинақталады, сондықтан мұндай жүйелерде қолданылатын конденсаторлар санына шектеулер қойылады.

ЖА-дың ішкі бетін қатты қақ шөгінділерінен тазалайтын электрогидроимпульстік қондырғыларда ИК-50-0,1 және ИКУ-50-0,5 импульстік конденсаторлары қолданылады. ИК-50-0,1 және ИКУ-50-0,5 маркалы импульстік конденсаторлары импульстік электргидравликалық қондырғы жүйелерінің жұмысына арналған.

ИК-50-0,1 және ИКУ-50-0,5 конденсаторларының техникалық сипаттамасы мен жұмыс тәртібі 3.8-кестеде келтірілген.

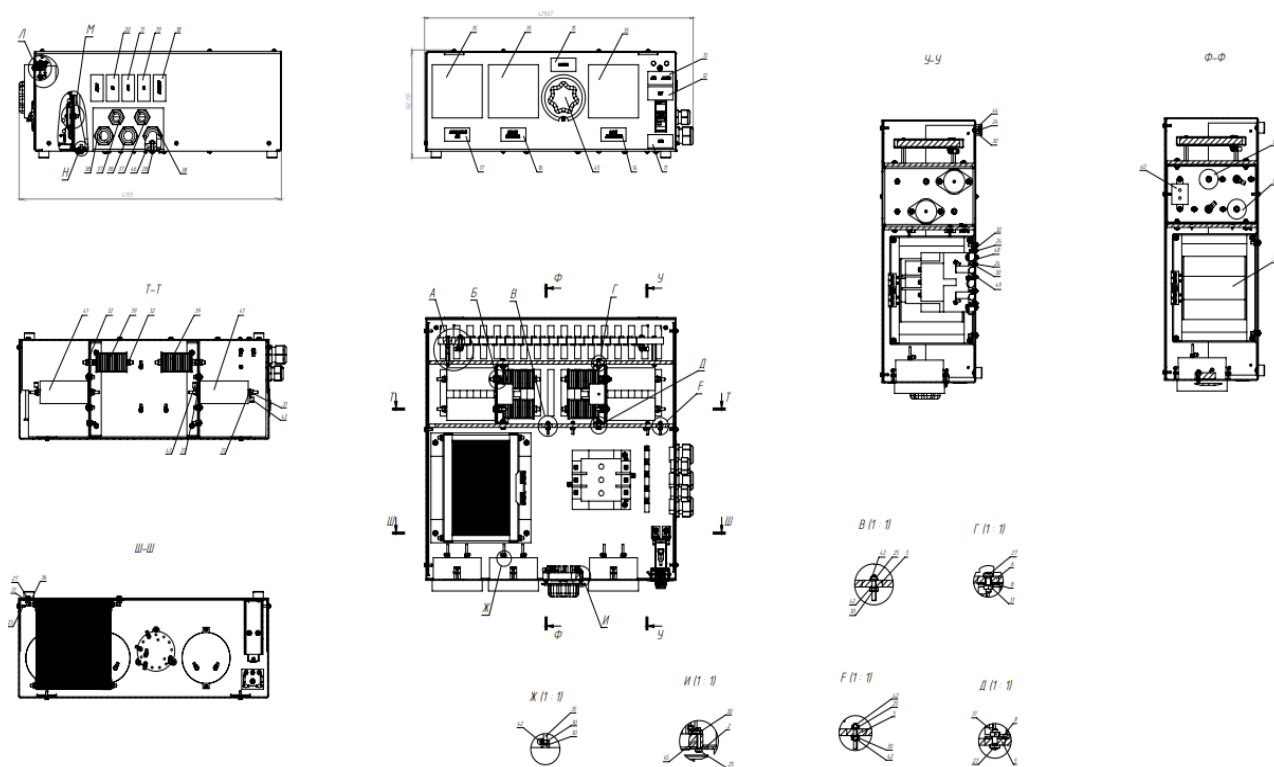
Кесте 3.8 - ИК-50-0,1 және ИКУ-50-0,5 конденсаторларының техникалық сипаттамасы мен жұмыс тәртібі

№	Негізгі параметрлері	ИК-50-0,1	ИКУ-50-0,5
	Техникалық сипаттамалары:		
1	Қалыпты кернеуі, кВ	50	50
2	Номинальды сыйымдылығы, мкФ	0,1	0,5
3	Индуктивтілігі, нГн	800 артық емес	500 артық емес
4	Орташа ресурс, зарядтар-разрядтар	10 ⁹ артық емес	10 ⁸ артық емес
5	Салмағы, кг	31	31
	Жұмыс тәртібі:		
6	Зарядтау мен разрядтауды қайталау жиілігі, Гц	100 артық емес	10 артық емес
7	Разряд тогының мәні, кА	1,5 артық емес	5 артық емес
8	Разряд тогы тербелістерінің төмендеуі	10 артық емес	10 артық емес
9	Разряд тогы периоды, мкс	50	50

Электрогидроимпульстік қондырғысының басқару пульті. Құрылғы жұмысын басқару және бақылау үшін басқару пульты жобаланып құрастырылды, яғни аппаратың басқару пульті әртүрлі жұмыс тәртіптерін орнату мен жұмыстың өзін бақылау үшін қолданылады. Басқару пультінің құрамы элементтері сызбасы 3.32-суретте келтірілген.

Қондырғының басқару пульті аппараттың жұмысын басқару, қорғау және бақылау элементтерін қамтитын металл шкаф ретінде жасалынған. 3.32-суретте көрсетілген басқару пультінің құрастыру сызбасы басқару панелінің жалпы көрінісін, компоненттердің ішкі орналасуын, көлденен қималарды және бекіту мен қосу нүктелерін көрсетеді. Басқару пультіне корпус, бекіту панелі, қондырғының алдыңғы басқару панелі және электр құрылғылары жатады. Қондырғының алдыңғы панеліне басқару батырмалары (қосу және тоқтату), жұмыс тәртібін ауыстырып қосқыштары, белгі шамдары және өлшеу құралдары кіреді.

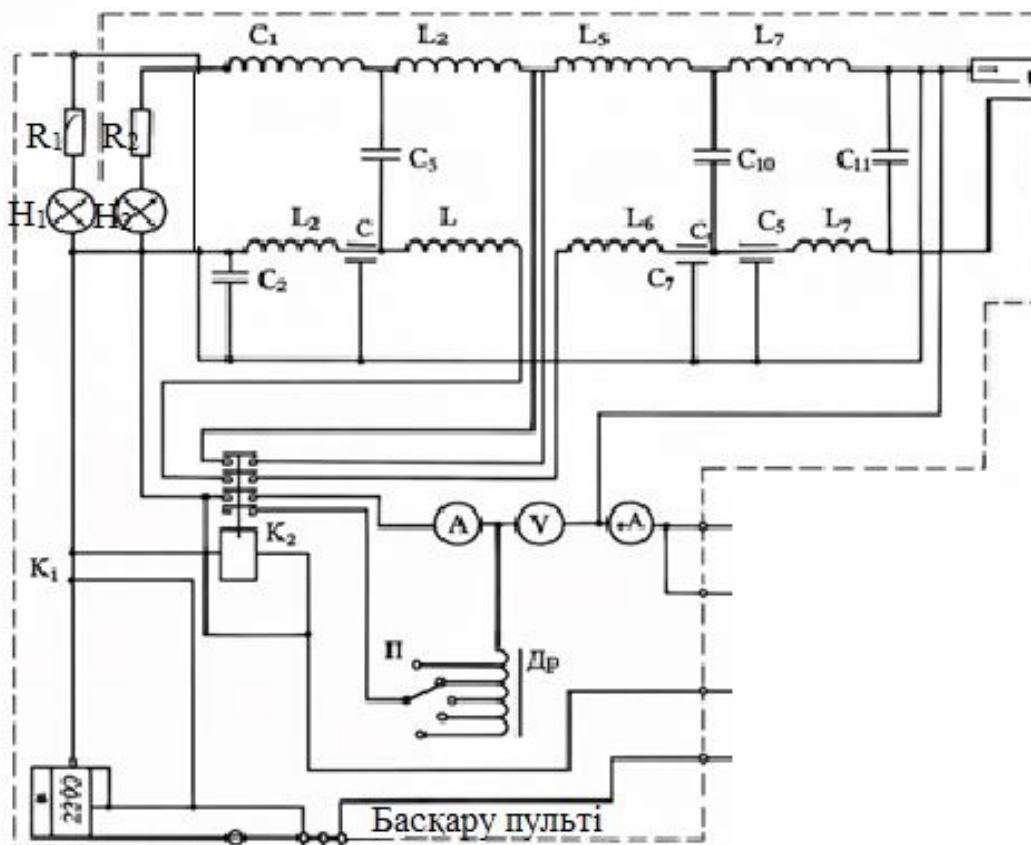
Басқару пультіне корпус, бекіту панелі, қондырғының алдыңғы басқару панелі және электр құрылғылары жатады. Қондырғының алдыңғы панеліне басқару батырмалары (қосу және тоқтату), жұмыс тәртібін ауыстырып қосқыштары, белгі шамдары және өлшеу құралдары кіреді. Басқару пультінің ішінде контактілер, релелер, қуат көзі, терминал блоктары және сақтандырғыштар орналасқан.



Сурет 3.32 – Басқару пульттің құрастырушы элементтерінің сызбасы

ЖА-ды қатты қақ шөгінділеінен тазалайтын ЭГҚ-ның басқару панелі аппаратты қосу мен өшіру, жұмыс тәртібін таңдау, процесс параметрлерін бақылау, жабдықты шамадан тыс жүктемелерден қорғау және аппараттық өшіру жұмыстарын қамтамасыз етеді. Қондырғының басқару панелі аппараттың жұмыс сенімділігін, жұмыс қауіпсіздігін, техникалық қызмет көрсетудің қарапайымдылығын, сыртқы әсерлерге төзімділігін және электр қауіпсіздігі талартарына сәкестігін қамтуы керек. Әзірленіп дайындалған басқару панелі ЖА-ды тазалайтын электргидравликалық қондырғысының тиімді және қауіпсіз жұмысын қамтамасыз етеді, жабдықтың сенімділігін арттырады және техникалық қызмет көрсету шығындарын азайтады [94]. ЭГҚ-ның басқару пультінің электрлік сұлбесі 3.33-суретте келтірілген.

ЖА-дың ішкі бетіндегі қақ шөгінділерін тазалайтын электргидравликалық қондырғысы 220 В, 50 Гц айнымалы ток электр желісінен қоректенеді. Электр энергиясы K_1 және K_2 коммутациялық аппараттары арқылы басқару пультіне беріліп, негізгі тізбекке жіберіледі. Басқару пультіндегі K_1 және K_2 коммутациялық аппараттары қондырғыны іске қосу, тоқтату және аппараттық жағдайларда ажырату қызметін атқарады. Электрогидроимпульстік қондырғының басқару жүйесінің кіріс бөлігінде L_1-L_7 индуктивті катушкалар мен C_1-C_{11} конденсаторлардан тұратын LC-реттеу сұлбесі орнатылған. Басқару пультінің негізгі функциясы болып табылатын LC-реттеу сұлбесі электр желісінен келетін пульсациялар мен жоғары жиілікті электромагниттік кедергілерді әлсіретеді және қорек көзінің тұрақтылығын қамтамасыз етеді.



Сурет 3.33- Электрогидроимпульстік қондырғының басқару пульттің сұлбесі

LC-реттеу жүйесінен өткен кернеу T_p трансформатор арқылы жоғары кернеуге түрлендіреді. Айнымалы ток диодты түзеткіш (V, VD) арқылы тұрақты токқа айналдырады. Түзеткіш арқылы өткен тұрақты ток жоғары сыйымдылықты конденсаторларда (C_1-C_{12}) және жинақтаушы конденсатор блогы жинақталады. Энергия жинақтаушы конденсаторларында жинақталған энергия K_3-K_4 коммутациялық элементі арқылы разрядтау тізбегіне жібереді. Разряд электродтар арасындағы сұйық ортада (техникалық суда) жүзеге асырылады. Қондырғы жұмысында кернеу шекті мәнге жеткен кезде разряд пайда болып, электрлік ұшқын қалыптасады, бұл процесс плазмалық арнаның түзілуімен қатар жүреді. Разряд нәтижесінде құбыр ішіндегі сұйық ортада плазмалық арнаның күрт кеңеюі, жергілікті температураның ($\approx 10^4 K$) бірден артуы және жұмыстық ортадағы импульстік қысымының (ондаған және жүздеген МПа) өсуі болады, соның нәтижесінде ЖА-тың ішіндегі сұйық ортада күшті соққы толқыны пайда болады. Бұл құбылысты Юткин эффектісі (электргидравликалық эффект) деп айтамыз. Құбыр ішіндегі сұйық ортада қалыптасқан соққы толқыны ЖА-тың ішкі қабырғасында түзілген қатты қақ шөгінділеріне әсерін тигізеді. Импульстік жүктеменің әсерінен құбырды ішкі бетінде түзілген қақтарда кішігірім жарықтар пайда болып, адгезиялық байланыстар әлсірейді және соның нәтижесінде қатты қақ шөгінділері үгітіледі, яғни қақ қабаты құбыр қабырғасынан ажыратылады. 3.33-суреттегі

электргидравликалық қондырғының басқару пультінің электрлік сұлбесінде ток пен кернеуді бақылайтын өлшеу аспаптары (А, V) және қорғау релелері орналасқан. Электр схемасындағы өлшеу аспаптары мен қорғау релелері конденсаторлардың артық зарядталуын, разряд тізбегінің ақауларын және окшаулауыш жүйелерінің бұзылуын болдырмайды. Қауіпті апат болған жағдайда ЭГҚ-сы автоматты түрде электр желісінен ажыратылады. Қондырғының басқару пульті арқылы импульс жиілігі, зарядтау кернеуі және разряд уақыты реттеліп отырады. ЖА-дың жылу беру тиімділігін арттыратын ЭГҚ-ның негізгі параметрлері құбыр диаметріне, ластану дәрежесіне, қақ қалыңдығына, құбыр материалына және құбыр қабырғасының қалыңдығына байланысты таңдалуы қажет [95].

Жинақталып, әзірленген электргидравликалық қондырғының басқару пультінің электрлік сұлбесін дәстүрлі ЭГҚ-ның электрлік схемасымен салыстыратын болсақ, келесідей ерекшеліктерін атап өтуге болады:

Біріншіден, дәстүрлі ЭГҚ-да қорек көзі көбінесе қарапайым түзеткішпен немесе бір-екі конденсатордан тұратын жүйе арқылы бақыланылады, ал жинақталып құрастырылған электр сұлбесінде L_1-L_7 және C_1-C_{11} элементтерден тұратын көпсатылы LC-реттеу жүйесі қолданылады. Көпсатылы LC-реттеу жүйесі құрылғыдағы кернеу пульсациясын азайтады, зарядтау процесінің тұрақтылығын арттырады және разряд параметрінің қайталағыштығын қамтамасыз етеді, соның нәтижесінде аппараттағы импульс энергиясы нақтырақ бақыланылады.

Екіншіден, классикалық ЭГҚ-дағы заряд кернеуі тұрақты немесе шамамен ғана реттеліп, өлшеніп отырады, ал көпсатылы LC-реттеу жүйесі бар ЭГҚ кешеніндегі R_3-R_5 резистор тізбектері, K_3-K_4 коммутациялық релелері және бақылау өлшеу аспаптары арқылы конденсаторлардың зарядталу кернеуі реттеп отырады.

Үшіншіден, қорғау жүйесінің жетілдірген құрылымы. Дәстүрлі құрылғыда қорғау көбінесе сақтандырғышпен немесе бір реле арқылы ғана жүзеге асырылады. Ал, ұсынылған электр сұлбесінде токтан, кернеуден, кері ЭҚК-тен, қысқа тұйықталудан сақтайтын кешенді қорғаныс блогы бар. ЭГҚ-ның қорғаныс блогы аппараттың сенімділігін арттырады.

Төртіншіден, импульс параметрлерінің тұрақты қайталануы. Қолданыстағы электргидравликалық қондырғы жүйелерінде разряд параметрлері желі кернеуінің ауытқуына, температураға және жүктеме кедергісіне тәуелді болады. Ал, әзірленген сұлбеде көпсатылы LC-реттеу жүйесі мен тұрақтандыру нәтижесінде әрбір импульс шамалас энергиямен беріледі. Бұл процесс ЖА-ды тазалау сапасының біркелкі болуын қамтамасыз етеді.

Бесіншіден, басқару пультінің автоматтандырылған жүйесі, яғни бұрынғы қондырғыларда басқару элементтері көбінесе шашыранқы, қолмен реттеу басым болып келетін. Ал, жинақталған басқару пультінің электрлік сұлбесінде барлық басқару элементтері бір корпусқа біріктірілген, соның нәтижесінде оператордың жұмысы жеңілдейді.

Алтыншыдан, қауіпсіздік деңгейінің жоғары болуы. Ескі қондырғыларда жоғары кернеулі бөліктер көбіне ашық орналасатын. Ал, қарастырылып отырған электр сұлбесінде қауіпті тізбектер оқшауланған, автоматты ажырату мен жерге қосу жүйелері қарастырылған, соның нәтижесінде қондырғыны пайдалану қауіпсіздігі өте жоғары.

Жетіншіден, жүктемеге бейімделу қабілетінің болуы, яғни ЭГҚ кешені әртүрлі диаметрлі және құбыр қабырғасының қалыңдығы 2 мм-ден басталатын ЖА-ды әртүрлі қаттылықтағы қақ шөгінділерінен тазалау процесіне бейімделе алады, яғни қондырғыда импульс параметрлері реттелетін болғандықтан, бір құрылғы бірнеше тәртіпте жұмыс істей алады.

Сегізіншіден, энергияны үнемді пайдаланады, яғни қондырғының импульстік режимі мен тұрақтандырылған зарядтау жүйесі артық энергия шығынын азайтады. ЖА-ды тазалау жүйесінің бір қалыпты жүруі, энергия тұтынуын төмендетеді.

ЖА-ды қатты қақ шөгінділерінен тазалауға арналып, жинақталған көпсатылы LC-реттеу жүйесі бар электрогидроимпульстік қондырғының ерекшеліктері 3.9-кестеде келтірілген [96].

Кесте 3.9 – Көпсатылы LC-реттеу жүйесі бар электрогидроимпульстік технологиясының негізгі ерекшеліктері

№	Қондырғының артықшылығы	Жинақталып әзірленген «Электрогидроимпульстік қондырғы кешені»
1	Реттеу жүйесі	Көпсатылы LC
2	Энергияны реттеу	Нақты
3	Қорғау	Кешенді
4	Импульс тұрақтылығы	Жоғары
5	Басқару	Орталықтандырылған
6	Қауіпсіздік	Жоғары
7	Әмбебаптық	Жоғары
8	Энергия үнемділігі	Жоғары

ЭГҚ кешенінің жұмысы сұйықта жоғары вольтты электр разряды кезінде ауа көпіршіктерінің жарылуынан пайда болатын соққы толқынның әсерінен кавитациялық процестің жүргізілуімен негізделеді. Құбыр ішінде сұйықта пайда болатын соққы толқыны ЖА-тың ішкі беттеріндегі қатты шөгінділердің бұзылуына және олардың құбырдан шығарылуына әсер ететін фактор болып табылады. ЖА ішіндегі қатты қақ шөгінділердің бетімен және құбыр қабырғасы бойымен таралатын соққы толқын жылдамдықтары әртүрлі болады. Соққы толқын фронты ЖА бетіндегі қақ шөгінділерінің интерфейсі арқылы өткен кезде құбыр ішін қатты қалдықтардан тазалауға қажет үлкен кернеу пайда болады. Сонымен қатар, құбыр ішіндегі қақ қабаттарына газ көпіршіктері түскен кезде, соққы толқын әсерінен кумулятивті процесс орын алады, соның

нәтижесінде құбыр ішінде қайталама соққы толқынның пайда болуы жүреді. ЖА ішінде пайда болған соққы толқын әсерінен бұзылған қатты қақ қалдықтары құбырдан гидравликалық ағындардың көмегімен шығарылып жұмыстарын аяқтайды.

Жинақталып, әзірленген электрогидроимпульстік қондырғы кешені. Ішкі диаметрі 5 мм-ден 100 мм-ге дейінгі ЖА-ды қатты қақ шөгінділерден тазалау үшін қолданылатын электрогидроимпульстік қондырғының зертханалық кешені келесі құрылғылардан жинақталып құрастырылған:

- қондырғыға берілетін төмен кернеуді жоғары кернеуге түрлендіретін, сонымен қатар разрядты тудыратын электр энергиясын беретін және импульстік тәртіптегі электр өрісін қалыптастыратын жоғары вольтты трансформатор-генераторынан;

- қажетті кернеу деңгейіне жеткен уақытта электрлік тізбекті тұйықтап, жинақталған энергияны аз уақыт ішінде жұмыс аймағына импульстік разряд түрінде беретін, разряд амплитудасы мен жиілігін бақылауды жүзеге асыратын ауа аралық реттегіш разрядтағыштан;

- электр энергиясын жинақтап, оны аз уақыт аралығында жоғары қуатты импульс түрінде шығаратын, соққы толқынын қалыптастыратын аппараттың негізгі элементі болып табылатын, энергия жинақтағыш конденсаторынан;

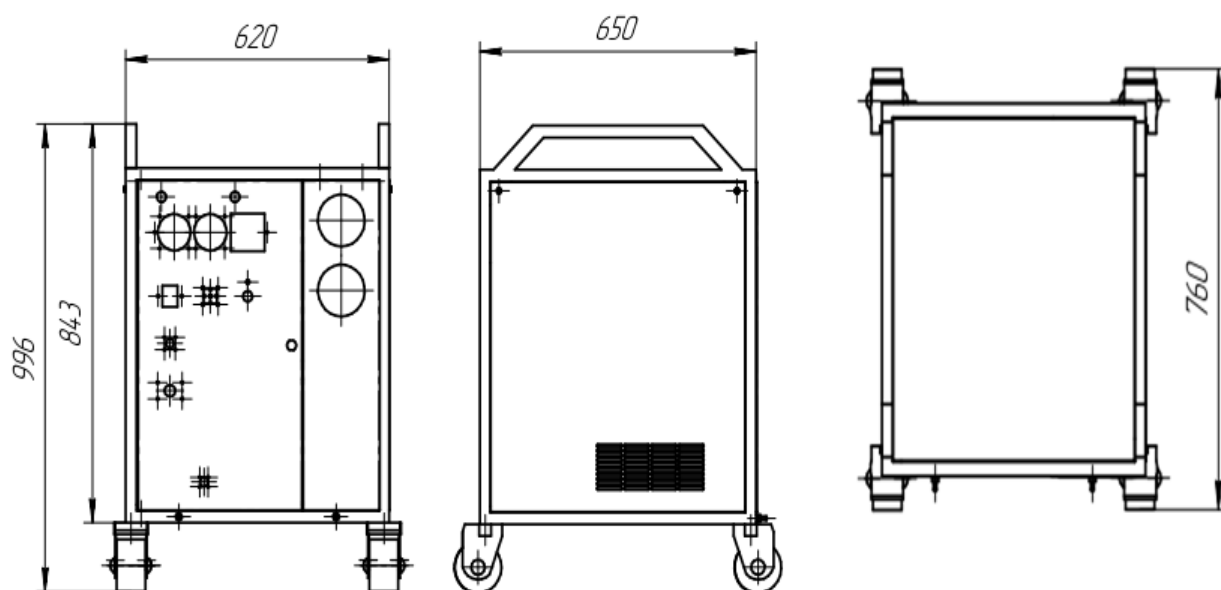
- жұмыс ортасындағы импульс жиілігін, кернеу шамасын, разряд аралығын және жұмыс тәртібін реттейтін, қондырғының бірқалыпты және тұрақты режимін қамтамасыз ететін басқару блогынан;

- қондырғының жұмысы кезіндегі артық кернеуден, қысқа тұйықталудан және шамадан тыс ток жүктемесінен қорғайтын, кернеу пульсациясын төмендетіп, аппараттың сенімділігі мен қауіпсіздігін арттыратын қорғанғыс жүйесінен.

Электрогидроимпульстік технологиясы электр энергиясын жинақтап, түрлендіретін, оны импульстік разрядқа айналдырып, құбыр ішіндегі сұйық ортада соққы толқынын қалыптастыратын жүйе. ЖА-дан қатты қақ шөгінділерін тазалау процесін қарқындату мақсатында құбыр ішіне сұйық ортамен қатар газ көпіршіктері енгізіледі. Осыған сәйкес, қатты қақ шөгінділерімен ластанған құбырларды электргидравликалық технология негізінде тазалау барысында газ-сұйықты ағынды қолдану ЖА-дың жылу беру тиімділігін арттырудың ғылыми негізделген әдістерінің бірі болып табылады. Бұл әдіс құбыр ішіндегі сұйық ортаның соққы толқындарының әсерін күшейтіп, қақ шөгінділерінің бұзылуын жылдамдатады және ЖА-дың ішкі беттерін қалпына келтіру тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді [97].

Жинақталып әзірленген ЭГҚ кешені ауа температурасы 278-313 К аралығында, қоршаған ортаның салыстырмалы ылғалдығы 80%-дан жоғары болған жағдайда жұмыс істеуге арналған. Сонымен қатар, қондырғылардың және ток өткізгіш сымдарының оқшаулануын бұзатын химиялық белсенді заттардың булауы мен қоршаған ортада ток өткізгіш шындарының болмауы қажет. Электрогидроимпульстік қондырғы кешенін дайындаудың техникалық шарты Қосымша Б келтірілген.

Зертханалық ЭГҚ кешені корпусының сызбалық сұлбесі 3.34-суретте келтірілген.



Сурет 3.34 – Электрогидроимпульстік қондырғы кешенінің сыртқы корпусы

ЭГҚ кешенінің корпусы модульдік принцип бойынша жобаланып, қондырғы элементтерінің қауіпсіздігі мен тиімді жұмысын қамтамасыз етуге бейімделген. Қондырғы корпусы тік бұрышты кеңістікті қаңқа негізінде 620×650×995мм өлшемдер шамасында құрастырылған. Яғни, бұл қондырғыны кез келген жерде, өндірістік жағдайда болсын, зертханалық жағдайда болсын қолдануға ыңғайлы етіп орналастыруға мүмкіндік береді. Қондырғы корпусы металл профильден жасалынған қатты материалдан және қорғаныш панельдерден тұрады. Корпустың ішкі кеңістігіне трансформатор-генераторы, конденсаторлар блогы, көпсатылы LC-реттеу жүйесі бар басқару пульті мен қорғаныс элементтері функциональдық аймақтарға бөлініп орналастырылған. Қондырғының мұндай құрылымы электр жүктемелердің біркелкі таралуын болдырады және құрылғы ішіндегі электромагниттік әсерлерді төмендетуге мүмкіндік береді. Электрогидроимпульстік қондырғы кешенінің төменгі бөлігінде дірілге төзімді тірек платформасы және тасымалдауға ыңғайлы қозғалмалы дөңгелектері орналасқан. Қондырғының бүйір бетінде іштегі құралдардың жылулық тәртіптерін тұрақтандыруды қамтамасыз ететін желдету торлары орнатылған. Корпустың алдыңғы бетінде қондырғыдағы элементтерді басқару және бақылау құралдары мен индикациялық жабдықтары орнатылған.

Соққы толқын негізінде жұмыс істейтін электрогидроимпульстік қондырғының корпус құрылымы жоғары кернеулі элементтердің оқшаулануын, қызметкердің электр қауіпсіздігін, импульстік разрядтан пайда болатын механикалық және электромагниттік әсерлерден қорғауды қамтамасыз етеді. Сондай-ақ, қондырғы корпусы техникалық қызмет көрсету мен жөндеу жұмыстары жеңіл жүргізілетіндей жағдайда жасалынған. Сондықтанда,

жинақталып әзірленген ЭГҚ кешенінің корпус сұлбесі қондырғының сенімділігін, энергия үнемділігін арттыруға бағытталып, зертханалық түрде қолдануға бейімделген. ЖА-дың жылу беру қарқындылығын арттыру мақсатында қолдануға ұсынылып отырған ЭГҚ кешенінің бейнесі Қосымша В-да келтірілген.

Қабырғалары жұқа, түсті металдардан жасалынған ЖА-ды қатты қақ шөгінділерінен тазалайтын электрогидроимпульстік қондырғы кешенінің техникалық сипаттамасы 3.10-кестеде келтірілген.

Кесте 3.10 – Электрогидроимпульстік қондырғы кешенінің техникалық сипаттамасы

№	Шамалардың атаулары мен өлшем бірлігі	Сан мәндері
1	Тазартылатын жылу алмастырғыштардың өлшемі: - құбырдың ішкі диаметрі, мм - құбыр қабырғасының қалыңдығы, мм - құбыр ұзындығы, м	5-100 2 кем емес 50 дейін
2	Жылу алмастырғыштың ішкі бетінде пайда болатын қақ қалыңдығы, мм	0,5-тен құбырдың өту қимасының толықтай қақтанғанға дейін
3	Құбырды қақтан тазалау жылдамдығы, м/мин	0,5-10 қақтың беріктігі мен қалыңдығына байланысты
4	Қондырғының жұмыс істеуге рұқсат етілген жиілігі, Гц	5 көп емес
5	Жұмыс ортасы	Техникалық су
6	Қуат желісінің параметрлері: - кернеу, В - жиілік, Гц	220 50
7	Номинальды қуат (тұтынылатн), кВт	2,8
8	Қондырғыкешенінің өлшемдері: - салмағы, кг - жалпы өлшемі, мм	170 996x620x650

Қондырғының оң және сол электродтары аппарат корпусының артқы жағында арнайы ұяшықта орналасқан. ЭГҚ кешенінде Ф7х12000 және Ф8х12000 электродтар қолданылады. ЖА-дың ішкі бетін қатты қақ шөгінділерінен тазалау үшін диаметрі 7-9 мм ұзындығы 12000 мм немесе 12 м электрод кабельдері қолданылады. Электрод параметрі разряд қуатына, электр тұрақтылығына және разрядаймағына әсер етеді, яғни электрод диаметрі қалың болған сайын жоғары токты өткізу қабілеттілігі жоғары болады және электродтың тозу жылдамдығы төмендейді. Ұзын көлемдегі электродтар үлкен көлемде жұмыс істеуге мүмкіндік береді. Қондырғының оң электродты қақ

шөгінділерін ыдырату үшін құбырдың ішкі қуысына арнайы ұзындықтағы электрод кабелі негізінде орналастыруы қажет. Өртүрлі құрылымдағы және қалыңдықтағы қатты қақтармен ластанған ЖА электрогидроимпульстік қондырғы кешенінің жұмыс ұяшықтары болып табылады. Сондықтанда, жұмыс ұяшықтарын тазалайтын электрод кабельдері арнайы окшаулағыш материалдармен қапталған болуы керек. Қондырғының теріс электродтары аппараттың және аппаратпен жұмыс істейтін оператордың қауіпсіздігі үшін арнайы өткізгіш материалдары арқылы жерге тұйықталады.

ЭГҚ кешенінің жұмыс істеу принципі сұйық ортада жоғары вольтты разрядтың туындауы негізінде соққы толқынның пайда болуы бойынша жүргізіледі, яғни электрогидроимпульстік технологиясы Юткин эффектісі бойынша жүзеге асырылады.

Электрогидроимпульстік қондырғы кешенінің жұмыс істеу принципі. ЖА-ды қатты қақ шөгінділерінен тазалау мақсатында қолданылатын ЭГҚ кешенін жұмысқа қоспас бұрын, оны дайындап алу қажет, яғни соққы толқын негізінде жүргізілетін электргидравликалық қондырғы жұмысын толықтай тексеру мен бақылаудан өткізу қажет. Алдымен қондырғыны 220 В-ты және 50 Гц-ті қуат желісіне қосып аламыз, яғни қондырғы корпусының алдыңғы бетінде орналасқан «сеть» деп аталатын жасыл батырманы басамыз. Осы кезде қондырғы кешенінің қорғаныс жүйесі «күту» тәртібіне өтеді. Қондырғының «жилік» батырмасын «0» күйіне орнатамыз, корпусының алдыңғы панельінде орнатылған «частота, Гц» деген қара бұрағышты 0-ге келтіріп қоямыз. «Желі» қосқышын іске қосамыз, қондырғының алдыңғы панельінде орналасқан сары қосқышты қосқанда, «желі» шамы жанып, вольтметр көрсеткіші 220 В-ті көрсетуі қажет. Қондырғыдағы кабель-электродтың бір ұшы жұмыс ұяшығында орнатылған қақ шөгінділерімен ластанған құбырдың ішкі бетіне орналастырылады. Тазартылатын құбырдың екінші жағынан газ концентрациясымен араласқан техникалық су жіберілуі қажет. Қондырғының техникалық қауіпсіздік сақтау мақсатында ЭГҚ кешенімен жұмыс жасайтын оператор диэлектрлік қолғап пен қорғаныс көзелдірігін қолану қажет. Құбыр корпусының алдыңғы панельінде орналасқан «Жиліктің» шамасын 1-ге ауыстыра отырып, басқару пультінің «бастау» батырмасын басамыз, осы кезде қондырғының «жұмыс» шамы жанып, қақ шөгіндісімен ластанған құбырдың ішкі бетінде жилігі 1-2 Гц мөлшердегі разрядтар пайда болады. «Жилік» батырмасын 2 Гц-тан 9 Гц-қа дейін ауыстырғанда, қондырғының алдыңғы панельінде орналасқан амперметрдің көрсеткіші көбейіп отырады. Микроамперметр конденсатордағы жоғары кернеудің шамасын кильвольт өлшемінде көрсетеді. Қондырғының параметрлерін реттей отырып, оператор құбырды тазалаудың тиімді жылдамдығын таңдайды. ЭГҚ кешенін «тоқтату» батырмасы арқылы және «сеть» батырмасын өшіру негізінде сөндіреміз. Осы кезде қондырғы өздігінен конденсатордың бойындағы жинақталған энергияны автоматты түрде жерге тұйықтау арқылы қауіпсіз режимге ауыстырған уақытта микроамперметрдің көрсеткіші 0 санын көрсетуі қажет және «жилік» батырмасы 0 күйіне қайтарылуы керек. Ауа аралық разрядтауыштың

арақашықтығы және қондырғының жұмыс тәртібі операторың көмегімен таңдалады. Жұмыс саңылауының шамадан тыс ұлғаюы тазартылатын құбыр қабырғасындағы қақ шөгіндісінің бұзылуына әкелуі мүмкін. ЖА-ды қатты қақ шөгінділерінен тазарту жұмысын жүргізу үшін ЭГҚ кешенімен жұмыс істеуге рұқсаты бар 2-3 адамнан тұратын бригада қажет. Олардың бірі аға оператор болуы қажет. Электр қауіпсіздігі бойынша рұқсат беру тобы кемінде 3 адамнан, қалған топтар 2 адамнан кем болмауы қажет.

ЖА-ды қатты қақ шөгінділерінен тазарту жұмыстары ЭГҚ кешендегі барлық талаптары мен ережелерін қатаң түрде сақтай отырып жүргізілуі қажет. Біріншіден, басшыдан ЖА-ды тазалауға байланысты тапсырманы алып, техникалық қауіпсіздік ережелеріне байланысты арнайы рұқсатнаманы алуы керек. ЭГҚ кешенімен жұмыс істемес бұрын аппараттың және тазартылатын құбырлардың электр өткізгіштері жерге тұйықталуы қажет, сондықтанда қондырғының электр сұлбалері толықтай тексерістен өтуі керек. Қондырғының жұмыс ұяшығында орнатылған құбырдың ішкі беті алдын ала сумен ылғалдандырылып отыруы қажет (24 сағат бойы немесе қақ құрамына байланысты одандан көп уақытты қажет етуі мүмкін). Тазартылатын уақытта ЖА-тың ішкі беті 80%-ға дейін ылғалды болуы қажет. Тазартылған жылу алмастырғыштар сипаттамасы мен пайдалануы бойынша нұсқаулыққа сәйкес тексеріледі. Сондықтан, ЖА-дың жылу беру тиімділігін арттыру мақсатында жинақталып әзірленген электрогидроимпульстік қондырғы кешені «AirLogistic» ЖШС мекемесінде сынау жұмыстарынан өткізілді.

3.4 Беріктілігі төмен материалдан жасалған жылу алмастырғыштарды қақтардан тазалайтын электрогидроимпульстік технологияның тиімді параметрлерін анықтау

Конфузордағы және диффузордағы газсұйықты ағын қозғалысының электрогидравликалық эффектiге әсерін зерттей отырып және құбыр ішінде пайда болатын қатты қақ шөгінділерінің құрылымдық және элементтік құрамына талдау жасай отырып, ЖА-дың жылу беру қарқындылығын арттыратын көпсатылы LC-реттеу жүйесі бар электрогидроимпульстік қондырғы кешені соққы толқыны негізінде жүргізіледі. Жоғары вольтты электр разряды бойынша жұмыс жасайтын ЭГҚ-сы қазіргі кезде металдарды өңдеуде, қатты материалдарды бөлшектеу мен ұсақтауда, тау-кең және мұнай өнеркәсіптерінде кеңінен қолданысқа ие [98].

Академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды ұлттық зерттеу университетінің профессор Ж.С. Ақылбаев атындағы инженерлік жылу физикасы кафедрасының «Гидродинамика және жылу масса алмасу» зерханасында заманауи талаптарға сәйкес ішкі диаметрі 5 мм-ден 100 мм-ге дейінгі құбыр қалыңдығы 2 мм-ден басталатын, ластану дәрежесі 20-95% аралығындағы құбырларды қатты қақ шөгінділерінен тазалайтын соққы толқын негізінде жүргізілетін көпсатылы LC-реттеу жүйесі бар электрогидроимпульстік қондырғы кешені жинақталып әзірленді. Әзірленген LC-реттеу жүйесі бар ЭГҚ кешені жоғарывольтты трансформаторлы-

генераторынан, ауа аралық реттегіш разрядтағышынан, энергия жинақтағыш конденсаторынан, көпсатылы реттеу жүйесі бар басқару пультінен және стандарттық нормаға сәйкес келетін қорғаныс жүйесінен тұрады.

Электрогидроимпульстік технология бойынша жұмыс істейтін көпсатылы LC-реттеу жүйесі бар қондырғы кешені кез келген материалдан жасалынған ЖА-ды қатты қақ шөгінділерінен тазалау мақсатында қолданылады, дегенменде осы уақытқа дейін ЭГҚ кешенімен ластану дәрежесі 10%-дан басталып 98%-ға дейін жететін, төзімділігі жоғары болат материалдарынан жасалынған құбырлар тазаланды. Сол себепті, түсті металдардан жасалынған қабырғалары жұқа ЖА-ды ЭГҚ кешенімен тазалау әліде зерттелуде.

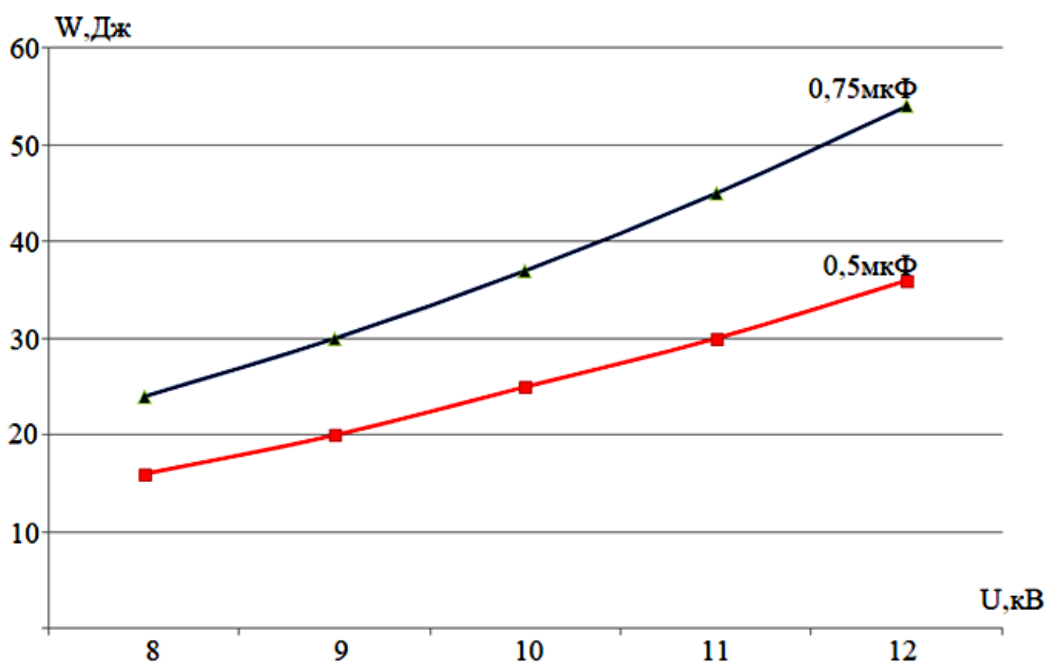
Қазірге кезде ЖЭО-да қолданылатын ЖА-тар жылу беру пәрменділігі өте жоғары түсті металдан жасалынған жез құбырлары болып табылады. Жез құбырларының ең негізгі кемшілігі жарылғыштығы, яғни төзімділігі өте төмен жылу алмастырғыштар, сондықтанда жез материалынан жасалынған құбырларды қақ шөгінділерінен тазалау технологиясын іздестіру бүгінгі күннің өзекті мәселесі болып табылады. Сол себепті, қабырғалары жұқа, түсті металдардан жасалынған ішкі диаметрі 5 мм-ден басталатын 100 мм-ге дейінгі құбырларды ешқандай зақымдаусыз тазалайтын ЭГҚ кешені әзірленді. Құбырларды қатты қақ шөгінділерден тиімді тазалау мақсатында газ қоспаларын пайдалану әдістері ұсынылды. Әзірленіп дайындалған ЭГҚ кешені «AirLogistic» ЖШС мекемесінде сынаудан өткізіліп, тәжірибелік жұмыстар жүргізілді. Яғни, тәжірибелік жұмыстар үшін 2 түрлі ЖА-тар алынды, 1-пикті бойлер, 2-турбоагрегат конденсаторы.

ЖЭО-ның пикті бойлерін қатты қақ шөгіндісінен тазалау бойынша жүргізілген тәжірибелік жұмыстардың нәтижелері. Пикті бойлердің негізгі сипаттамасы: құбыр материалы жез, құбырдың сыртқы диаметрі 16 мм, ішкі диаметрі 12 мм, құбыр қалыңдығы 2 мм, қақ қалыңдығы 4,8 мм, құбыр ұзындығы 1500 мм. Пикті бойлердің ішкі бетінде қалыптасқан қақ түрі кальций карбонатты (CO_3), қақ құрылымы кеуекті, көпіршікті, жұмсақ және құбыр қабырғасына бос орнатылған.

Пикті бойлерді қатты қақ шөгіндісінен тазалау үшін ЭГҚ кешенінің негізгі параметрлері: конденсатор сыйымдылығы 0,5-0,75 мкФ, разряд кернеуі 8 кВ-12 кВ, разрядтауыш электрод арақашықтығы 5-6 мм.

ЭГҚ кешенінің энергия жинақтағыш конденсатор сыйымдылығы 0,5-0,75 мкФ кезіндегі импульс энергиясының разряд кернеуіне тәуелділігі 3.35-суретте келтірілген.

ЖЭО-да пикті бойлер желілік суды қыздыратын құрылғы, яғни мұндағы жұмыстық орта температурасы 60-70 °С-дан жоғары, ағын жылдамдығы турбулентті. Тазартылатын құбыр ұзындығы 1500 мм, құбыр қалыңдығы 2 мм, құбыр материалы жез және қақ қалыңдығы 4,8 мм, яғни құбыр қалыңдығы жұқа және мұндағы қатты қақ қалыңдығы қалың болғанмен, оның құрылымы кеуекті және жұмсақ. Сондықтанда, пикті бойлердегі қақ шөгіндісін тазарту үшін разряд кернеуінің тиімді шамасы 8 кВ-12 кВ аралығы болып табылады.



Сурет 3.35 – Конденсатор сыйымдылығы 0,5-0,75 мкФ кезіндегі импульс энергиясының разряд кернеуіне тәуелділігі

Конденсатор сыйымдылығы 0,5 мкФ кезіндегі импульс энергиясының шамасы 16 Дж-дан 36 Дж-ға дейін артады, ал конденсатор сыйымдылығы 0,75 мкФ кезінде импульс энергиясы 24 Дж-дан 54 Дж-ға дейін өседі. Конденсатор сыйымдылығы артқан кезде құбыр ішіндегі электр заряды артып, бөлінетін энергия шамасы көбейеді, сол кезде соққы толқын қысымы күшейеді. Конденсатор сыйымдылығы 0,75 мкФ болған жағдайда разряд энергиясы 0,5 мкФ-ға қарағанда біршамаға жоғары болады, сондықтанда соққы толқын энергиясы артып, қақ құрылымын тиімді бұзуға мүмкіндік береді. Конденсатор сыйымдылығы 0,75 мкФ кезінде ЭГҚ кешенінің жұмыс тәртібі жұмсақ режимде жұмыс жасайды. Бұл тәртіп пикті бойлерден қақ құрылымын тиімді тазартуға мүмкіндік береді.

Электрогидроимпульстік технологияның жұмсақ тәртібінде конденсатордағы энергия салыстырмалы түрде аз, разряд арнасындағы қысым орташа, сол себепті соққы толқын құбыр қабырғасына зақым келтірмейді, қақтың кеуекті құрылымы тиімді түрде бұзылып, пикті бойлер қарқынды түрде тазаланылады. Пикті бойлерде жұмыстық ортаның температурасы мен гидродинамикалық заңдылықтарының өзгерісінен пайда болған тұзды тұнба түрі карбонатты, ал қақ құрылымы кеуекті және құбыр қабырғасына бос орналасқан, сонымен қатар пикті бойлер жез материалынан жасалынған. Сондықтанда, ЭГҚ кешенінің пикті бойлерді тазалаудағы тәртібі құбыр материалын зақымдамайды, қақ құрылымын тиімді бұзады және энергия шығыны аз кетеді. 3.35-суреттегі алынған тәжірибелік сынақ көрсеткіштері бойынша, конденсатор сыйымдылығы 0,5 мкФ мен 0,75 мкФ кезіндегі ЭГҚ кешенін салыстыратын болсақ, конденсатор сыйымдылығы 0,5 мкФ кезінде

пикті бойлер құбыры зақымдалмайды, энергия шығыны аз, құрылымы кеуекті құбыр қабырғасына бос орналасқан қақ шөгіндісі үшін жеткілікті, бірақ пикті бойлердің ішкі бетінде қалыптасқан қақ қалыңдығына байланысты тазалау уақыты ұзақ болуы мүмкін. Ал сыйымдылығы 0,75 мкФ кезінде, құбыр ішінде соққы толқыны күштірек болады, қалың қақ қабаты аз уақытта бұзылады, тазалау уақыты қысқарады, бірақ энергия шығыны жоғары болып, жұқа немесе әлсіз құбырды зақымдау қауіпі өте жоғары. Сондықтанда, пикті бойлердің ішкі бетінде пайда болған кеуекті қақ құрылымын тазарту үшін ЭГҚ кешенінің тиімді параметрлері: разряд кернеуі 8-11кВ, импульс энергиясы 16-30 Дж, конденсатор сыйымдылығы 0,5 мкФ, разрядтауыш арақашықтығы 5 мм.

ЭГҚ кешенінің энергия үнемділігін анықтау мақсатында импульс энергиясының уақытқа байланысты тәуелділігін анықтаймыз. ЭГҚ кешеніндегі импульстік разрядта ток пен энергия өте қысқа уақыт ішінде (микросекунта) бөлінеді. Разряд уақыты 10^{-5} - 10^{-4} , яғни 10-100 микросекунда.

ЭГҚ кешеніндегі разряд уақыты:

$$E(t) = E_{max}(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad (3.11)$$

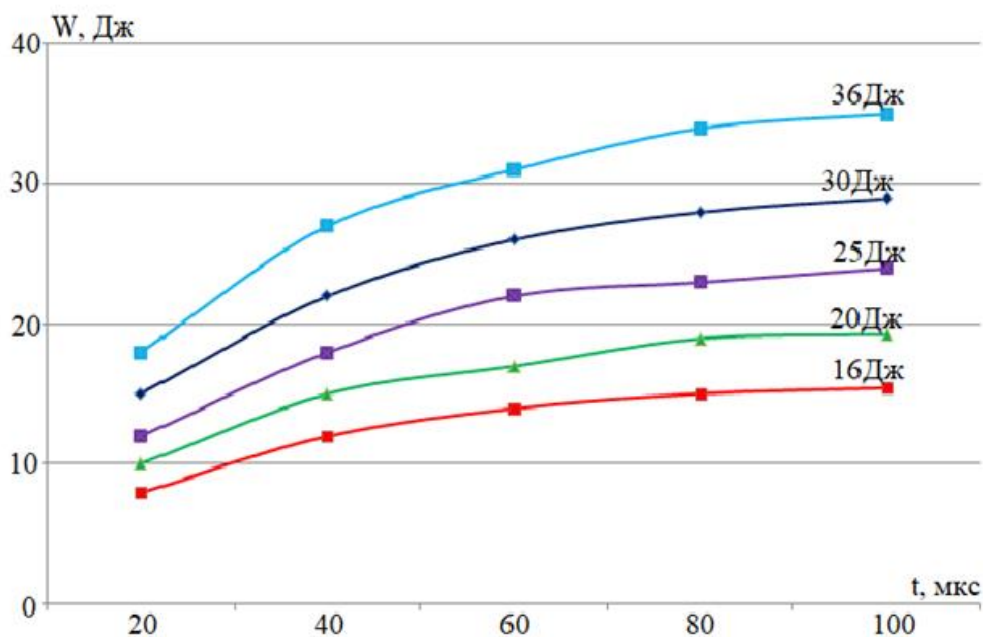
мұндағы

E_{max} – максимал энергия (16-36Дж);

τ – уақыт тұрақтысы (≈ 30 мкс);

t – уақыт (мкс).

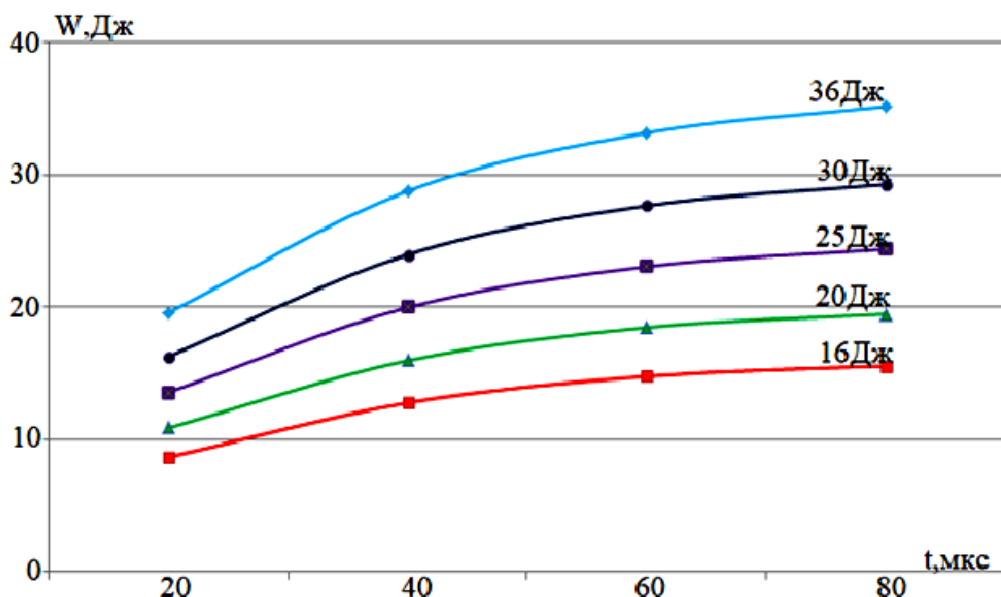
Конденсатор сыйымдылығы 0,5 мкФ, разряд кернеуі 8-12 кВ кезіндегі импульс энергиясының разряд уақытына тәуелділігі 3.36-суретте келтіріген.



Сурет 3.36- Пикті бойлерді тазалау кезіндегі импульс энергиясының разряд уақытына тәуелділігі

ЭГҚ кешенімен пикті бойлерді тазалау кезіндегі разряд уақыты 20 мкс болғанда, құбыр ішіндегі энергия өседі, разряд уақыты 20 мкс-тан 60 мкс-қа дейін артқанда энергия бөлініп шығады, ал разряд уақыты 60 мкс-тан 100 мкс-қа дейін өскен кезде энергия максимум мәнге жетеді. Пикті бойлерді тазалау кезінде разряд уақыты 60 мкс кезінде шамамен 31,6 Дж энергия мөлшері бөлініп шығады, ал разряд уақыты 80 мкс-тан 100 мкс-қа дейін өскен кезде импульс энергиясының өзгерісі 33 Дж-дан 35 Дж-ға дейін жетеді. ЭГҚ кешенінің бұл тәртібі тиімді болғанымен, пикті бойлердегі қақ қалыңдығына байланысты тазалау уақытында өзгеріп отырады, сондықтанда разряд уақытын қысқартып, энергия шығынын азайту мақсатында тазалау процесін қарқындату үшін құбыр ішіне 5-8% мөлшердегі газ концентрациясын қосу әдісі қарастырылады.

Пикті бойлерді ЭГҚ кешенімен тазалау процесіне 5-8% мөлшеріндегі газ концентрациясын қосу кезіндегі импульс энергиясының разряд уақытына байланысты тәуелділігі 3.37-суретте көрсетілген. Пикті бойлерді тазарту процесіне қосылған газ көпіршіктері ЭГҚ кешеніндегі энергия үнемділігін 10-20%-ға арттырады. Газ концентрациясын қосқан кездегі ЭГҚ кешеніндегі разряд уақытының тұрақтысы 25 мкс деп алынады.



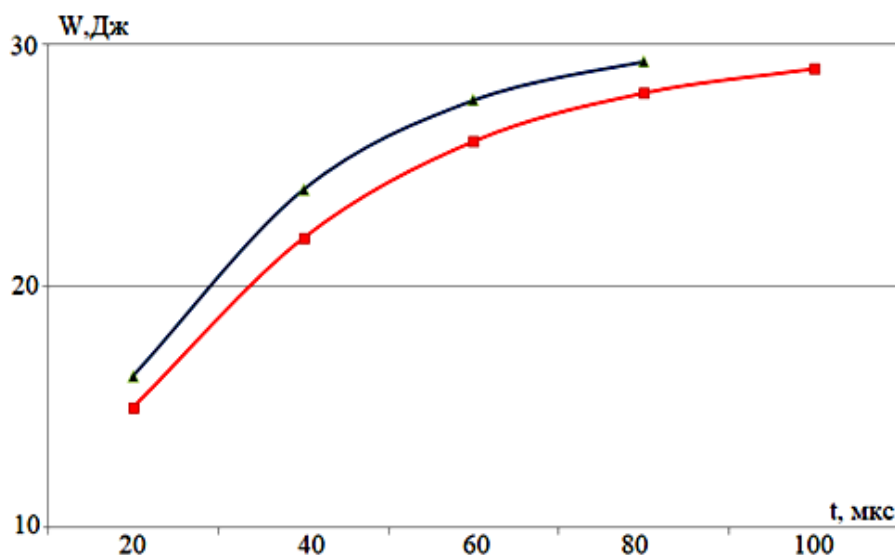
Сурет 3.37- Газ көпіршіктері кезіндегі импульстік энергияның разряд уақытына тәуелділігі

Ластанған ЖА-ды ЭГҚ кешенімен тазалау кезінде қосылатын газ көпіршіктері разряд арнасындағы қысымды арттырады, соның нәтижесіне кавитациялық процестер пайда болып, құбыр ішіндегі соққы толқынын күшейтеді. Сол себептен құбырдың ішкі бетіндегі қақ шөгінділері тез бұзылып, тазалау процестері қарқындайды, сонымен қатар құбыр қалыңдығы 2 мм, жез материалынан жасалынған құбырлар тазалау процесі кезінде зақымдалмайды.

ЭГҚ кешенінің разряд кернеуі 8-11кВ, конденсатор сыйымдылығы 0,5мкФ, импульс энергиясы 30Дж кезіндегі газ қоспасына байланысты импульс энергиясының разряд уақытына тәуелділігі 3.38-суретте келтірілген.

Газ көпіршіктері сұйық ортада электр кедергісін арттырады, соның нәтижесінде разряд арнасы тез арада қалыптасады, осы кезде энергияның көп бөлігі плазмалық арнада шоғырланады. Сонымен қатар, газ көпіршіктері құбыр ішінде кавитациялық процесті күшейтеді, яғни қосымша соққы толқындарын тудырады. Соның нәтижесінде, құбыр ішіндегі сұйық ортада қысым амплитудасы артып, импульс энергиясының әсері күшейеді.

Газсыз ортада импульс энергиясының бір бөлігі сұйықты қыздыруға және турбуленттік қозғалыстың пайда болуына жұмсалса, ал газ-сұйықты ағында энергияның көп мөлшері соққы толқынға айналады. Газ концентрациясын 5%-дан төмен мөлшерде қосатын болсақ, онда эффект әлсіз болады, ал 8%-дан артық қосатын болсақ, разряд тұрақсыз болады. Сондықтанда, қабырғалары жұқа түсті жез материалынан жасалынған пикті бойлерді тазалау үшін газ концентрациясының 5-8% аралығындағы мөлшері жеткілікті болып табылады.



Сурет 3.38 – Газ қоспасына байланысты салыстырмалы импульс энергиясының разряд уақытына тәуелділігі

Құбыр ішіндегі қақ шөгіндісінің бұзылу дәрежесінің импульс энергиясына тәуелділігі 3.39-суретте келтірілген.

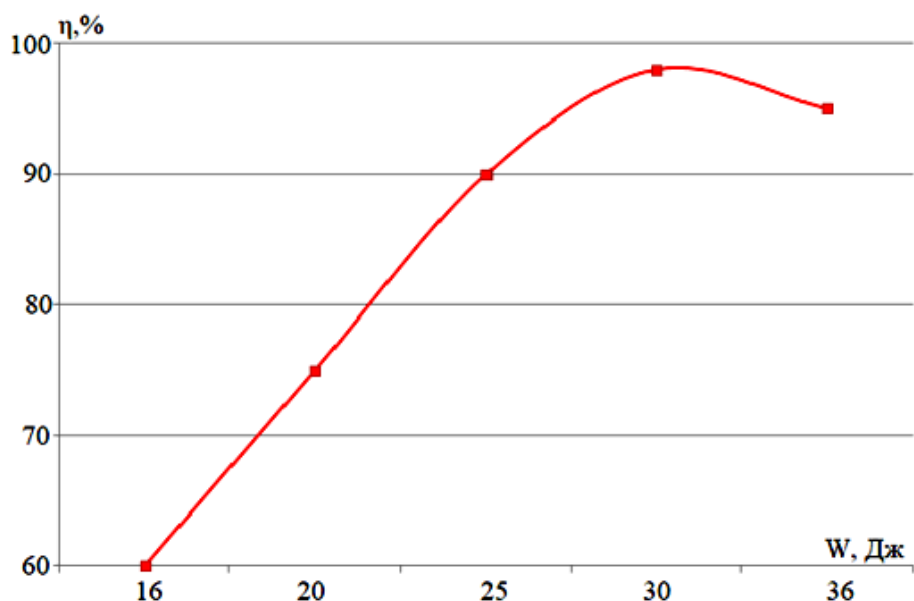
Пикті бойлердегі қақты тазалау дәрежесі қақ қалыңдығы бойынша анықталады:

$$\eta = \frac{\delta_0 - \delta_1}{\delta_0} \quad (3.12)$$

мұндағы

δ_0 – бастапқы қақ қалыңдығы, мм;

δ_1 – тазаланғаннан кейінгі қақ қалыңдығы, мм.

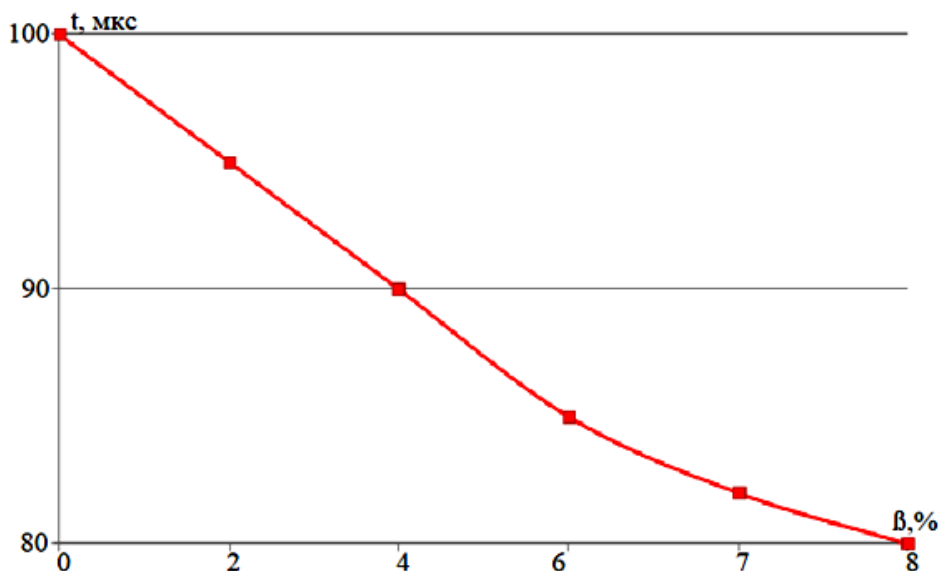


Сурет 3.39 – Пикті бойлердегі қақтың бұзылу дәрежесінің импульс энергиясына тәуелділігі

Пикті бойлердегі қақ қалыңдығы 4,8 мм, тазаланғаннан кейінгі қақ қалыңдығы 0,2 мм, сондықтанда пикті бойлерді тазалау дәрежесі 95 %-ды құрайды.

Пикті бойлерді тазалау процесі кезінде ЭГҚ кешенінің импульс энергиясы 16 Дж-дан 25 Дж-ға дейінгі аралықта қақ шөгіндісінің бұзылу қарқындылығы тез өседі, энергия мөлшері 30 Дж-ға жеткенде, тазалау дәрежесінің тиімділігі ең жоғарғы мәнге жетеді, шамамен 98%-ға тең. Қондырғының импульс энергиясы 36 Дж кезінде қақтың бұзылуы төмендейді, себебі энергияның бір бөлігі жылу мен турбуленттік шығындарға жұмсалады. Сол себепті, пикті бойлерді тазалауға қажет импульс энергиясының тиімді шамасы 30Дж-ға тең.

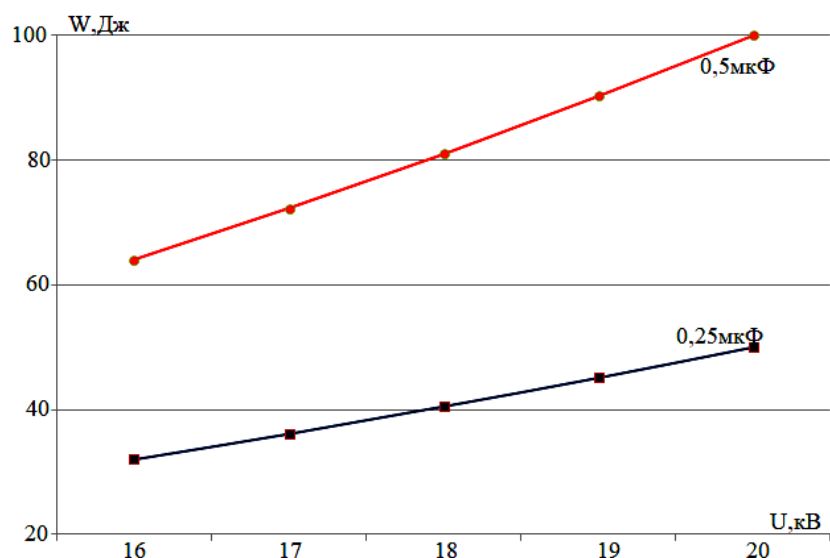
Қақтың бұзылу дәрежесінің газ концентрациясына байланысты тәуелділігі 3.40-суретте келтірілген. Пикті бойлерді ЭГҚ кешенімен тазалау процесіне газ көпіршігін қоспаған кезде разряд уақыты шамамен 100 мкс-ті құрайды, ал тазалау процесіне газ концентрациясының 4-5% қосатын болсақ, онда разряд уақыты 85-90 мкс-қа тең. Ал газ концентрациясын 6-8%-ға арттыратын болсақ, онда разряд уақыты 80-82 мкс-қа кемиді, яғни газ көпіршіктерін қолдана отырып, қақ қалыңдығына қарамастан пикті бойлердің тазалау процесін арттыруға болады, соның салдарынан қондырғының энергия мәні төмендейді.



Сурет 3.40 – Қақтың бұзылу дәрежесінің газ концентрациясына тәуелділігі

ЖЭО-дағы турбоагрегат конденсаторын ЭГҚ кешенімен тазалау кезіндегі тәжірибелік жұмыстарыдың нәтижелері. ЖЭО-да турбинадан шығарылатын қыздырылған буды суыту мақсатында турбоагрегат конденсаторлары қолданылады, олар 300 °С-дан жоғары температурада немесе қыздырылған және суытылған температураларда жұмыс істейді. Турбоагрегат конденсаторы жез материалынан жасалынған, құбырдың сыртқы диаметрі 28 мм, ішкі диаметрі 24 мм, құбыр қалыңдығы 2 мм, құбыр ұзындығы 1500 мм. Турбоагрегат конденсаторының ішкі бетінде түзілген қақ алындығы 2 мм, қақтың түрі кальций карбонатты (CO_3), қақ құрылымы тығыз, қатты және цемент тәрізді, сонымен қатар қақ қабаты құбыр қабырғасына берік орналасқан. Турбоагрегат конденсаторының ішкі бетінде қалыптасқан қақ шөгінділерін тазартуда қолданылатын ЭГҚ кешенінің разряд кернеуі 16-20 кВ, конденсатор сыйымдылығы 0,25-0,5 мкФ. Өртүрлі конденсатор сыйымдылығы кезіндегі импульс энергиясының разряд кернеуіне тәуелділігі 3.41-суретте келтірілген.

Турбоагрегат конденсаторын ЭГҚ кешенімен тазалау кезінде конденсатор сыйымдылығы 0,25 мкФ кезінде разряд кернеуі 16 кВ-тан 20 кВ-қа өзгерген уақытта импульс энергиясы 32 Дж-дан 50-Дж-ға дейін артады, ЭГҚ кешенінің мұндай тәртібін орташа импульстік режим деп айтамыз, яғни 32-50 Дж аралығындағы импульс энергиясы жез материалынан жасалынған турбоагрегат конденсаторы үшін қауіпсіз болып табылады. Бірақ, турбоагрегат конденсаторының ішкі бетіндеге қақ құрылымы тығыз цемент тәрізді және құбыр қабырғасына берік орналасқан, сондықтанда мұндай құрылымдағы қақтардан тазалау ұзақ уақытты қажет етеді, яғни энергия шығыны артады. Ал, конденсатор сыйымдылығын 0,5 мкФ кезінде разряд кернеуі 16 кВ-тан 20 кВ-қа артқан кезде импульс энергиясының шамасы 64 Дж-дан 100 Дж-ға дейін артады.

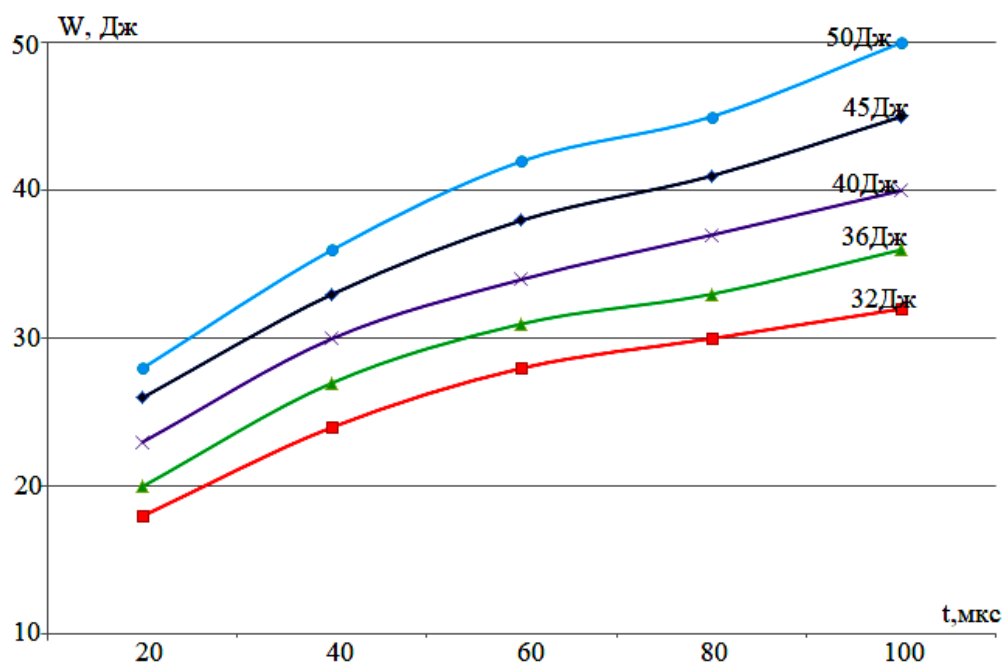


Сурет 3.41 - Конденсатор сыйымдылығы 0,25-0,5мкФ кезіндегі импульс энергиясының разряд кернеуіне тәуелділігі

ЭГҚ кешенінің бұл тәртіді қатты импульстік режимі деп аталады, сондықтан мұндай тазалау процесі жез құбырлары үшін қауіпті болып табылады. Турбоагрегат конденсаторын ЭГҚ кешенімен тазалау кезінде аппаратың импульс энергиясы 0,5 мкФ-ға қарағанда 0,75 мкФ-да жоғары болып табылады, яғни ЭГҚ кешенінің қатты тәртібінде энергия шығыны көп болады және жез материалынан жасалынған құбырлар үшін қауіпті болып табылады. Сондықтан, турбоагрегат конденсаторын тазалау үшін қолданылатын ЭГҚ кешенің тиімді параметрлері разряд кернеуі 16кВ-19кВ, конденсатор сыйымдылығы 0,25мкФ, импульс энергиясы 32-45Дж болып табылады.

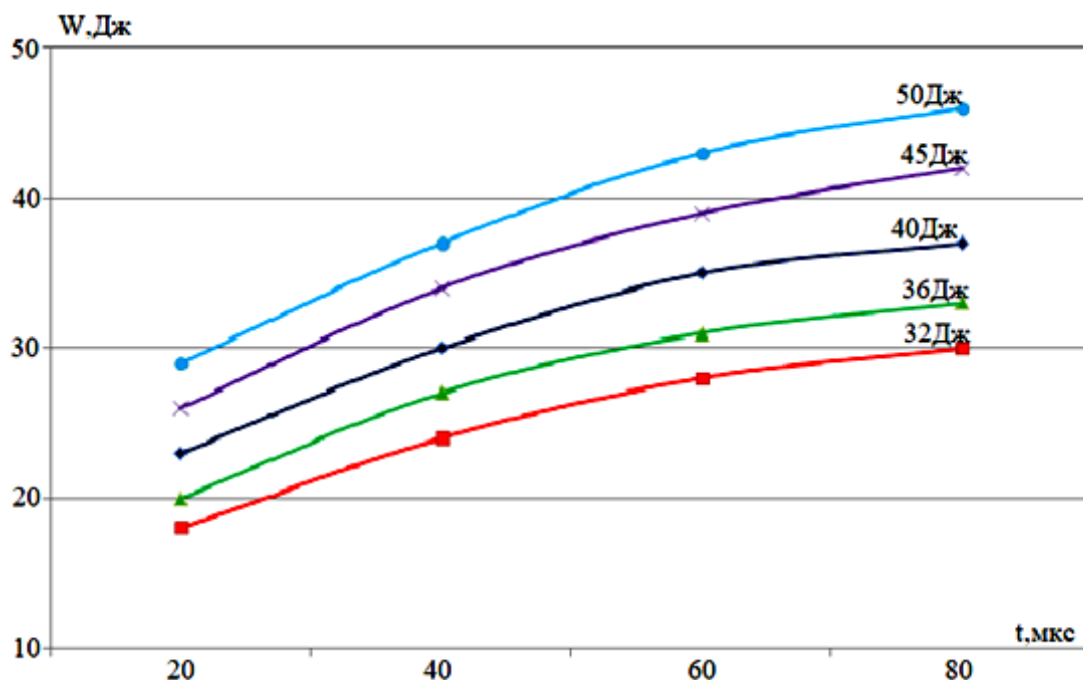
ЭГҚ кешенінің энергия үнемділігін анықтау мақсатында импульс энергиясының разряд уақытына тәуелдігін анықтаймыз. Разряд уақыты жоғарыдағы 3.19-теңдеуі бойынша анықталды, мұндағы уақыт тұрақтылы 30 мкс-қа тең. Турбоагрегат конденсаторындағы импульс энергиясының разряд уақытына тәуелділігі 3.42-суретте келтірілген.

Турбоагрегат конденсаторын тазалау процесінде разряд уақыты өскен сайын импульс энергиясының бөлінуі артады, яғни құбыр ішіндегі сұйықта соққы толқыны күшейіп, соның нәтижесінде қатты карбонатты қақ шөгінділерінің бұзылу процесі қарқындайды. Разряд уақыты 20 мкс-тан 100 мкс-қа дейінгі аралығында импульс энергиясы артады. Турбоагрегат конденсаторын қатты тығыз қақтардан тазалау үшін ең тиімді импульс энергиясы 40-45Дж болып табылады, себебі бұл аралықта соққы толқын энергиясы қатты карбонатты қақ шөгіндісін бұзу үшін жеткілікті болып табылады. Дегенменде, бұл параметрлер турбоагрегат конденсаторындағы қатты тығыз қақ шөгінділерін тазалау процесін ұзартады, яғни турбоагрегат конденсаторын тазалау уақыты ұзақ болғандықтан, ондағы энергия шығыны да көп болып табылады.



Сурет 3.42 – Турбоагрегат конденсаторын ЭГҚ кешенімен тазалау кезіндегі импульс энергиясының разряд уақытына тәуелділігі

Сондықтанда, энергия шығынын үнемдеу үшін турбоагрегат конденсаторын ЭГҚ кешенімен тазалау процесіне газ көпіршіктерін қосу процестері қарастырылады. Турбоагрегат конденсаторын тазалау процесіне газ көпіршіктерін қосу кезіндегі импульс энергиясының разряд уақытына тәуелділігі 3.43-суретте көрсетілген.

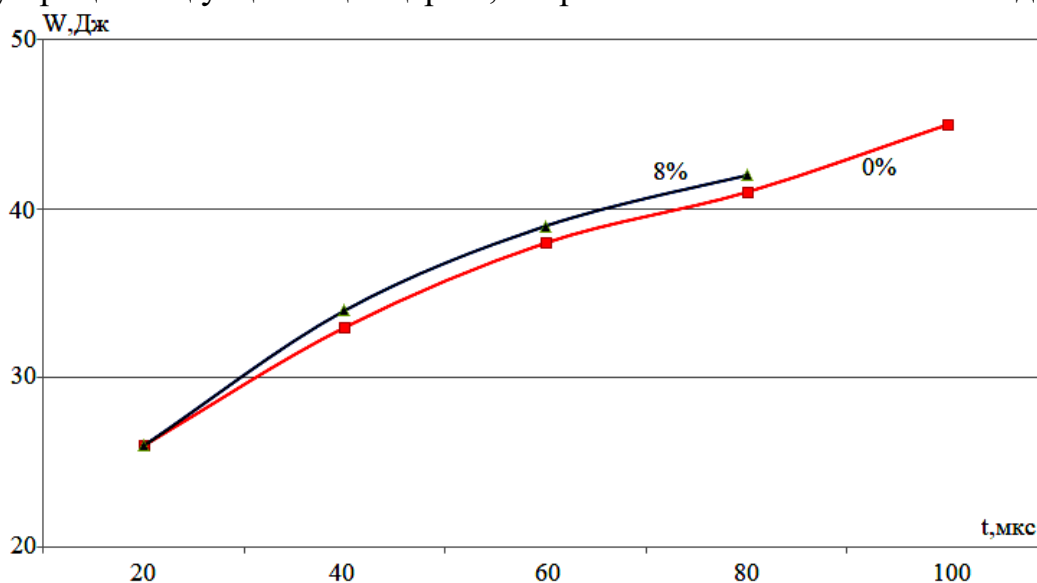


Сурет 3.43 – Турбоагрегат конденсаторын тазалау процесіне газ көпіршіктерін қосқан кездегі импульс энергиясының разряд уақытына тәуелділігі

Турбоагрегат конденсаторын ЭГҚ кешенімен тазалау процесі кезінде разряд уақытының артуы салдарынан құбыр ішіндегі сұйықта импульс энергиясының мәні біртіндеп артады. Яғни, турбоагрегат конденсаторы ішіндегі сұйық ортаға жоғары вольтты разряд берілген кезде бөлінетін энергия плазмалық арнаның пайда болуына, соққы толқынның туындауына және гидродинамикалық қозғалыстардың дамуына жұмсалады. Турбоагрегат конденсаторын ЭГҚ кешенімен тазалау процесіне 5-8% газ концентрациясын қосатын болсақ, онда құбыр ішіндегі разряд тиімділігі артады. Тазалау процесіне қосылатын газ концентрациясы разряд аймағындағы қысымның локальды өзгерістерін тудырып, кавитациялық процестерді арттырады және соққы толқынның таралуына ықпал етеді. Соның нәтижесінде, импульстік әсер күшейіп, құбыр бетіндегі қақ шөгіндісінің бұзылуы мен бөлінуі қарқынды түрде жүреді.

Турбоагрегат конденсаторын ЭГҚ кешенімен тазалау кезіндегі тиімді импульс энергиясы 40-45 Дж-ға тең, сондықтанда турбоагрегат конденсаторын тазалау процесіне газ концентрациясын қосқан кездегі салыстырмалы тәуелділігі 3.44-суретте келтірілген.

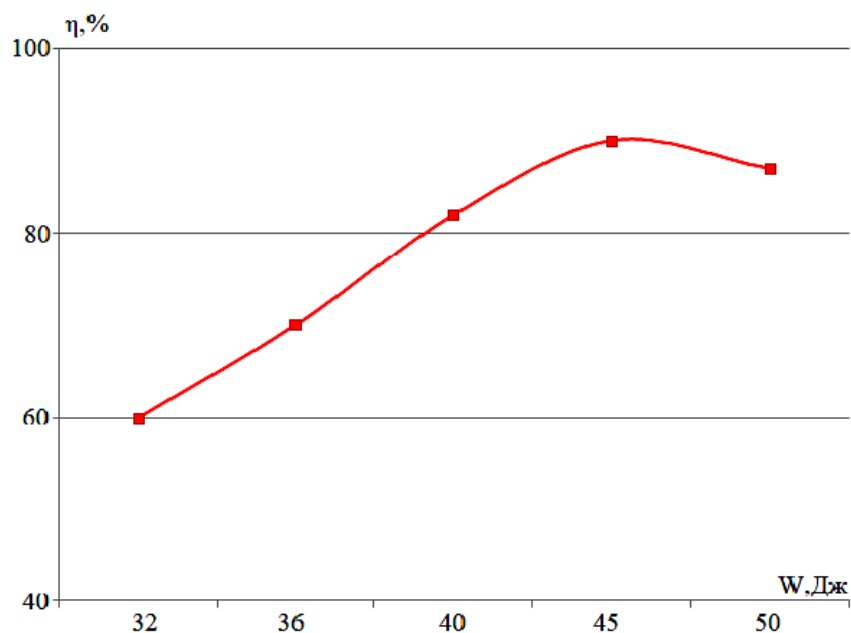
Қақ шөгінділерімен ластанған турбоагрегат конденсаторын ЭГҚ кешенімен тазалау процесіне 5-8% мөлшердегі газ концентрациясын қосатын болсақ, тазалау процесінің уақыты қысқарып, энергия шығыны 20%-ға төмендейді.



Сурет 3.44 – Турбоагрегат конденсаторын ЭГҚ кешенімен тазалау процесіне газ концентрациясын қосқан кездегі импульс энергиясының разряд уақытына тәуелділігі

Турбоагрегат конденсаторын электрогидроимпульстік қондырғы кешенімен тазалау тиімділігінің импульс энергиясына тәуелділігі 3.45-суретте келтірілген. Турбоагрегат конденсаторындағы бастапқы қақ қалыңдығы 2 мм-ді құраса, тазаланғаннан кейінгі турбоагрегат конденсаторындағы қақ қалыңдығы 0,15мм-

ге тең, сонықтанда турбоагрегат конденсаторындағы қақ шөгінділерінің бұзылу коэффициенті 3.20-тендеу бойынша анықталады.



Сурет 3.45 – Турбоагрегат конденсаторын ЭГҚ кешенімен тазалау коэффициентінің импульс энергиясына тәуелділігі

Турбоагрегат конденсаторын қатты қақ шөгінділерінен ЭГҚ кешенімен тазалау процесіне газ көпіршіктерін қолдану, құбырдағы қақ шөгінділерінің бұзылу коэффициентін 10-15%-ға арттырады, яғни турбоагрегат конденсаторын тазалау қарқындылығы 92%-ды құрайды. ЭГҚ кешенімен жүргізілетін тазалау процесіне қосылатын газ көпіршіктері құбыр ішіндегі разряд арнасын тез арада қалыптастыруға мүмкіндік береді, соның нәтижесінде газсұйықты ортада кавитациялық процестер пайда болып, соққы толқын қысымы 1,3-1,5 есе артады, сол кезде қақ шөгіндісі мен құбыр бетінің арасындағы байланыс әлсірейді.

3.5 Үшінші бөлімнің қорытындысы

Диссертациялық жұмыстың үшінші тарауында тәжірибелік зерттеу жұмыстарының негізгі нәтижелері мен олардың физикалық түсіндірмелері келтірілді.

Диссертациялық жұмыстың негізгі мақсаты көпсатылы LC-реттеу жүйесі бар, энергия үнемді оңтайландырылған электрогидроимпульстік қондырғының көмегімен жылу алмастырғыштардың жылу беру тиімділігін арттыру, сондықтанда диссертациялық жұмыста қабырға қалыңдығы жұқа, түсті металдардан жасалынған ЖА-ды қатты қақ шөгінділерінен тазалайтын, соққы толқыны әдісі бойынша жұмыс істейтін LC-реттеу жүйесі бар электрогидроимпульстік қондырғысы әзірленді. LC-реттеу жүйесі бар, энергия үнемді оңтайландырылған электрогидроимпульстік қондырғысын дайындамас

бұрын, газсұйықты ағын қозғалысына электргидравликалық эффектiнiң әсерi кезiндегi гидродинамикалық параметрлерi зерттелiп, газсұйықты ағындағы импульстік қысым амплитудаларының таралу заңдылықтары анықталды.

Конфузор мен диффузордағы соққы толқын кезіндегi гетерогендік ортадағы гидродинамикалық параметрлердi анықтау бойынша тәжірибелiк қондырғы жинақталып, зерттеу жұмыстары жүргізілді. Соның нәтижесінде, газсұйықты ағын динамикасының электргидравликалық эффектiге әсерi зерттелді, соққы толқын кезіндегi гетерогендік ортадағы импульстік қысым амплитудасының таралу заңдылықтары анықталды және күрделi формалы құбырдағы қосфазалы ағындардың жылумассаалмасу құбылыстары модельденді.

Физика-химиялық талдау әдістері негiзінде жылу алмастырғыштардың iшкi беттерінде қалыптасқан қатты қақ шөгiндiлерiнiң беттік құрылымы және сандық элементтік құрамы зерттелiп, рентгендік дифрактограммалары алынды. Зерттеу нәтижелері бойынша ЖЭО-ның пикті бойлер мен турбоагрегат конденсаторынан алынған қақ шөгiндiлерiнiң беттік құрылымының ерекшелiктерi анықталды, өндiрiстiк қақ шөгiндiлерiнiң сандық элементтік құрамы зерттелді және рентгендік дифрактометр арқылы қақ шөгiндiсiнiң беттік құрылымда пайда болған қатты қақ фазаларының салыстырмалы жұмыстары жүргізілді.

Жоғарыдағы зерттеу жұмыстары негiзінде ЖА-дың тиiмдiлiгiн арттыратын электрогидроимпульстік технологиясы әзірленiп, сынақтан өткізілді. ЭГҚ кешенінің жұмысы сұйықта жоғары вольтты электр разряды кезінде ауа көпiршiктерiнiң жарылуынан пайда болатын соққы толқынның әсерінен кавитациялық процестің жүргізілуімен негiзделедi. Құбыр ішінде сұйықта пайда болатын соққы толқыны ЖА-тың iшкi беттеріндегi қатты шөгiндiлердiң бұзылуына және олардың құбырдан шығарылуына әсер ететiн фактор болып табылады. ЖА ішіндегi қатты қақ шөгiндiлердiң бетiмен және құбыр қабырғасы бойымен таралатын соққы толқын жылдамдықтары әртүрлі болады. Соққы толқын фронты ЖА бетіндегi қақ шөгiндiлерiнiң интерфейсі арқылы өткен кезде құбыр ішін қатты қалдықтардан тазалауға қажет үлкен кернеу пайда болады. Сонымен қатар, құбыр ішіндегi қақ қабаттарына газ көпiршiктерi түскен кезде, соққы толқын әсерінен кумулятивті процесс орын алады, соның нәтижесінде құбыр ішінде қайталама соққы толқынның пайда болуы жүредi. ЖА ішінде пайда болған соққы толқын әсерінен бұзылған қатты қақ қалдықтары құбырдан гидравликалық ағындардың көмегімен шығарылып жұмыстарын аяқтайды. ЭГҚ кешенін сынақтан өткізу мақсатында берiктiлiгi төмен материалдан жасалған жылу алмастырғыштарды қақтардан тазалайтын электрогидроимпульстік технологияның тиiмдi параметрлерi зерттеу жұмыстары негiзінде анықталды. ЖА-ды ЭГҚ кешенімен тазарту процесін арттыру мақсатында, құбырды тазарту процестеріне 5-8% мөлшердегi газ көпiршiктерiн қосу әдістері ұсынылды. ЭГҚ кешенімен жүргізілетiн тазалау процесiне қосылатын газ көпiршiктерi құбыр ішіндегi разряд арнасын тез арада қалыптастыруға мүмкiндiк бередi, соның нәтижесінде газсұйықты ортада кавитациялық процестер пайда болып, соққы толқын қысымы бiрнеше есе

жоғарлап, қақ шөгіндісі мен құбыр бетінің арасындағы байланыс әлсіреп, құбырды тазалау дәрежесі артады.

Диссертациялық жұмысты орындау барысында келесідей нәтижелер алынды:

1 Алғаш рет, газсұйықты ағынның гетерогендік дәрежесін 8,56%-дан 31,12%-ға дейін артқанда импульстік әсер нәтижесінде сұйық жылдамдығы диффузорда 0,43 м/с-қа дейін конфузорда 0,19 м/с-қа дейін артатыны және газ концентрациясын 12,3%-дан 18%-ға дейін артқанда керсінше ағын жылдамдығы диффузорда 0,1 м/с-қа конфузорда 0,05 м/с-қа төмендейтіні тәжірибелік түрде дәлелденді.

2 Бірінші рет, соққы толқыны әсері кезінде газсұйықты ағынның гетерогендік дәрежесін 8,5%-дан 34% артқан кезде импульстік қысым амплитудасының өзгері 1-ден 0,25-0,35-ке дейін төмендейтіні зерттеу жұмыстары негізінде анықталды.

3 АТЕАӘ негізінде Рейнольдс санының $Re=(5000-6000)$ аралығында құбыр қимасы 20^0 -тан кіші жылу алмастырғыштардағы газсұйықты ағынның жылу беру коэффициенті (Нуссельт саны) құбырдың барлық қимасы бойынша 10-15%-ға артатыны анықталды.

4 Қатты қақ құрамындағы кальций оксидінің түзілуі жылу алмастырғыш жабдықтарының $60-70^0C$ -дан жоғары температурада, ұзақ уақыт бойы жұмыс істеуі нәтижесіне, ал аргониттік қосылыстардың пайда болуы жылу тасмалдағыштың жылу алмасу тиімділігін арттыратын ағынның турбуленттілік тәртібіне байланысты екені дәлелденді.

5 Физика-химиялық талдау әдістері бойынша пикті бойлерден алынған қақ шөгінділерінің беттік құрылымы көпіршікті, жұмсақ, құм тәріздес екені, ал турбоагрегат конденсаторынан алынған қақ шөгінділерінің беттік құрылымы қатты, тығыз, цемент тәрізді екені анықталды. Сандық элементтік құрамын зерттеу бойынша қақ құрамы 33 элементтен тұратыны анықталды, оның ішінде мыс (Cu) элементі 2% шамасында, мырыш (Zn) және фосфор (P) элементтері 8000 мг/кг, марганец (Mn) элементі 3000 мг/кг және бор (B) элементтері 1500 мг/кг мөлшерінде кездесетіні, нәтижесінде қақ құрылымы біртекті емес көп фазалы жүйе екені дәлелденді.

6 Бірінші рет, ішкі диаметрі 5 мм-ден 100 мм-ге дейінгі және ластану дәрежесі 95%-ға дейін жететін түсті металдардан жасалынған жылу алмастырғыш құбырларын 90-98% тиімділікпен, энергия үнемдей отырып, құбыр материалын зақымдамай тазалауды қамтамасыз ететін көпсатылы LC-реттеу жүйесі бар әмбебап электрогидроимпульстік қондырғы кешені құрастырылып әзірленді.

7 Жылу алмастырғыштардың жылуберу тиімділігін арттыру процесіне 5-8% мөлшерде газ концентрациясын қосу арқылы құбырларды тазалау қарқындылығын 10-20%-ға арттыруға болатыны дәлелденді.

ҚОРЫТЫНДЫ

Электргидравликалық әсердің жылу және масса алмасу динамикасына әсерін зерттеу арқылы жылу алмастырғыштардың тиімділігін арттыру үшін энергия үнемді технологияны әзірлеудің өзектілігі бірнеше факторларға тәуелді. Қазіргі кезде көптеген үлкен ірі өндіріс орындары энергия ресурстарының қымбаттауы салдарынан энергияны үнемдеу процестері мен технологиялық жүйені оңтайландыру жұмыстарына көп көңіл бөлуде, себебі, өндіріс орнының тұрақты дамуы энергия шығынының төмендеуіне тікелей байланысты. Өндіріс орындарында қолданылатын жылу алмастырғыштар заманауи өндіріс талаптарына сәйкес келетін қажетті өнімділік пен тиімділік деңгейін деңгейін қамтамасыз ете алмайды. Бұл энергияны шамадан тыс тұтынуға, энергияның жоғары шығындарына және күрделі өндірістік процестерді біріктіріп жұмыс істеуін шектеуі мүмкін. Сондықтан, соққы толын кезіндегі газсұйықты ағын қозғалысындағы гидродинамикалық және жылуалмасу заңдылықтарын зерттей отырып, ЖА-дың тиімділігін арттыратын энергия үнемді жаңа технологияны әзірлеу жұмыстарын қарастырамыз.

Заманауи өндірісте қолданылатын жылу алмастырғыштар өнеркәсіптік жүйелердің энергия тиімділігіне байланысты маңызды рөл атқарады және әртүрлі жылу тасымалдағыштар арасында жылу-масса алмасу процесінің жүргізілуін қамтамасыз етеді. Өндіріс орындарында қолданылатын ЖА-тар жылу шығынын азайтады және энергия тиімділігін барынша арттырады. ЖА-дың тиімділігін төмендететін бірнеше факторлар бар, ең негізгі факторы ол ЖА-ғыш бетінің қатты қақ шөгіндісімен ластануы болып табылады, яғни құбыр бетінде түзілген қақ шөгіндісі жылу кедергісін тудырып, ЖА-тың жылу беру коэффициентін төмендетеді. Сол себепті, диссертациялық жұмыста өндіріс орындарында және ЖЭО-да қолданылатын ЖА-дың қарқындылығын арттыру мақсатында, оларды зақымдамай тиімді түрде тазалайтын көпсатылы реттеу жүйесі бар электрогидроимпульстік технологиясын әзірлеу жұмыстары ұсынылады.

Электрогидроимпульстік технологиясы жоғары вольтты электр разряды көмегімен суасты жарылысы негізінде соққы толқынын пайда болуымен түсіндіріледі және ол экологиялық таза әдіс болып табылады. Электрогидроимпульстік технологиясы тығыздығы өте жоғары үлкен қалыңдықтағы қақ шөгіндісін бұзуға қабілетті, құбыр металына кері әсерін тигізбей тазалауды жүзеге асыратын әдіс. Электрогидроимпульстік технологиясының осы ерекшеліктерін ескере отырып, қабырғалары жұқа түсті металдардан жасалынған ЖА-дың жылу беру тиімділігін арттыратын, жоғары вольтты разрядтан пайда болатын соққы толқыны негізінде жүргізілетін көпсатылы LC-реттеу жүйесі бар электрогидроимпульстік қондырғы кешені әзірленді.

Жылу алмастырғыш бетін қатты қақ шөгіндісінен тазалайтын электрогидроимпульстік қондырғысының оңтайлы қарапайым дизайнын

эзірлеу үшін конфузорлы және диффузорлы құбырдағы газсұйықты ағын қозғалысына электргидравликалық эффектiнiң әсерi зерттелiп, құбыр бетiнде пайда болатын қатты қақ шөгiндiсiнiң физика-химиялық талдауы жүргiзiлдi.

Соққы толқыны кезiндегi газсұйықты ағын қозғалысының гидродинамикалық заңдылықтары тәжiрибе жүзiнде зерттелiп, тәуелдiлiктерi алынды. ЖА-тағы газсұйықты ағын құрылымы құбырдың геометриялық сипатына тiкелей байланысты, себебi құбырдың ұлғаюы немесе тарылу кезiнде газсұйықты ағын қозғалысындағы негiзгi параметрлер физиканың заңдылықтарына байланысты өзгерiп отырады. Диаметрi кiшi құбырларда гидравликалық кедергi коэффициентi диаметрi үлкен құбырларға қарағанда жоғары болады. Диффузорлы құбырларда ағынның жылдамдығы ағынның сығылғыштық қасиетiне байланысты конфузорлы құбырларға қарағанда жоғары болады. Диффузорлы және конфузорлы құбырдағы газ және сұйық қозалыстарының бағыттары бiрдей кездегi газсұйықты ағынның гетерогендiк дәрежесiн арттыратын болсақ, онда құбыр iшiндегi газсұйықты ортаның импульстiк қысым амплитудаларының таралуы төмендейдi. Яғни, газсұйықты ағынның гетерогендiк дәрежесiн 8,5%-дан 34,12%-ға дейiн артқан уақытта ондағы импульстiк қысым амплитудасының таралуы 1-ден 0,33-0,25 аралығына дейiн төмендейдi. Бұл құбыр iшiндегi газсұйықты ағын жылдамдығының артуы сұйық ортада разряд кернеуiнен пайда болатын соққы толқынның таралуына қосымша инерциялық күш бередi. ЖА-да ағын жылдамдығы артқан кезде газсұйықты ортадағы толқын аймағының таралуы қарқынды түрде жүредi. Соның нәтижесiнде құбыр iшiндегi қысым амплитудасының әлсiреуi баяу болады, сол себептi газсұйықты ағын жылдамдығын арттыратын болсақ, ондағы импульстiк қысым амплитудасының таралуы салыстырмалы түрде төмендейдi.

Электргидравликалық эффект кезiндегi газсұйықты ағын қозғалысындағы жылу-масса алмасу динамикасы АТЕАӨ негiзiнде модельдендi, яғни Рейнольдс санының $Re=(5000-6000)$ аралығында құбыр қимасы 20^0 -тан кiшi жылу алмастырғыштардағы газсұйықты ағынның жылу беру коэффициентi (Нуссельт саны) құбырдың барлық қимасы бойынша 10-15%-ға артады.

Физика-химиялық талдау әдiстерi бойынша пиктi бойлерден алынған қақ шөгiндiлерiнiң беттiк құрылымы көпiршiктi, жұмсақ, құм тәрiздес екенi, ал турбоагрегат конденсаторынан алынған қақ шөгiндiлерiнiң беттiк құрылымы қатты, тығыз, цемент тәрiздi екенi анықталды. Сандық элементтiк құрамын зерттеу бойынша қақ құрамы 33 элементтен тұратыны анықталды, оның iшiнде мыс (Cu) элементi 2% шамасында, мырыш (Zn) және фосфор (P) элементтерi 8000 мг/кг, марганец (Mn) элементi 3000 мг/кг және бор (B) элементтерi 1500 мг/кг мөлшерiнде кездесетiнi, нәтижесiнде қақ құрылымы бiртектi емес көп фазалы жүйе екенi дәлелдендi. Сонымен қатар, ЖА-дың iшкi бетiнде пайда болатын қатты қақ құрамындағы кальций оксидiнiң түзiлуi жылу алмастырғыш жабдықтарының 60-70⁰С-дан жоғары температурада, ұзақ уақыт бойы жұмыс iстеуi нәтижесiнен және аргониттiк қосылыстардың пайда болуы жылу

тасмалдағыштың жылу алмасу тиімділігін арттыратын ағынның турбуленттілік тәртібіне байланысты екені дәлелденді.

Осы зерттеу жұмыстарының негізгі нәтижелері бойынша академик Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды ұлттық зерттеу университетінің профессор Ж.С. Ақылбаев атындағы инженерлік жылу физикасы кафедрасының «Гидродинамика және жылуалмасу» зерханасында ішкі диаметрі 5 мм-ден 100 мм-ге дейінгі құбыр қабырғасының қалыңдығы 2 мм-ден басталатын, ластану дәрежесі 20-95% аралығындағы жылу алмастырғыштарды қатты қақ шөгінділерін соққы толқын негізінде тазалайтын, көпсатылы LC-реттеу жүйесі бар электрогидроимпульстік қондырғы кешені жинақталып әзірленді. Әзірленген LC-реттеу жүйесі бар электрогидроимпульстік қондырғы кешені жоғарывольтты трансформаторлы-генераторынан, ауа аралық реттегіш разрядтағышынан, энергия жинақтағыш конденсаторынан, көпсатылы реттеу жүйесі бар басқару пультінен және стандарттық нормаға сәйкес келетін қорғаныс жүйесінен тұрады. Электрогидроимпульстік технология бойынша жұмыс істейтін көпсатылы LC-реттеу жүйесі бар қондырғы кешені көпсатылы LC-реттеу жүйесімен, кешенді қорғаныс блогымен, энергия үнемділігімен, әмбебаптылығымен және жоғарғы қауіпсіздігімен ерекшеленеді.

Қазірге кезде ЖЭО-да қолданылатын ЖА-тар жылу беру пәрменділігі өте жоғары түсті металдан жасалынған жез құбырлары болып табылады. Жез құбырларының ең негізгі кемшілігі жарылғыштығы, яғни төзімділігі өте төмен жылу алмастырғыштар, сондықтан жез материалынан жасалынған құбырларды қақ шөгінділерінен тазалау технологиясын іздестіру бүгінгі күннің өзекті мәселесі болып табылады. Сол себепті, қабырғалары жұқа, түсті металдардан жасалынған ішкі диаметрі 5 мм-ден басталатын 100 мм-ге дейінгі құбырларды ешқандай зақымдаусыз тазалайтын ЭГҚ кешені әзірленді.

Құбырларды қатты қақ шөгінділерден тиімді тазалау мақсатында газ қоспаларын пайдалану әдістері ұсынылды. Әзірленіп дайындалған ЭГҚ кешені «AirLogistic» ЖШС мекемесінде сынаудан өткізіліп, тәжірибелік жұмыстар жүргізілді. Сынау жұмыстары 2 түрлі жылу алмастырғыштарға жүргізілді, пикті бойлерді тазалау үшін қолданылатын ЭГҚ кешенінің тиімді параметрлері разряд кернеуі 8-11кВ, импульс энергиясы 16-30 Дж, конденсатор сыйымдылығы 0,5 мкФ, разрядтауыш арақашықтығы 5 мм болып табылады.

Турбоагрегат конденсаторын тазалау үшін қолданылатын ЭГҚ кешенінің тиімді параметрлері разряд кернеуі 16кВ-19кВ, конденсатор сыйымдылығы 0,25мкФ, импульс энергиясы 32-45Дж болып табылады. ЖА-дың қарқындылығын арттыру үшін қатты қақ шөгіндісімен ластанған құбырды ЭГҚ кешенімен тазарту процесіне 5-8% мөлшерде газ концентрациясын қосу әдісі ұсынылады. ЭГҚ кешеніне 5-8% мөлшердегі газ концентрациясын қосу нәтижесінде ЖА-ды тазалау тиімділігін 10-20%-ға артады.

ПАЙДАЛАНҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Юткин Л.А. Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. Л.: Машинстроение», 1986. 254с.
- 2 МЕМСТ 2.114-95 «Жобалау құжаттамасының бірыңғай жүйесі: Техникалық сипаттамалар».
- 3 МЕМСТ 2.105-95 «Жобалау құжаттамасының бірыңғай жүйесі. Мәтіндік құжаттарға қойылатын жалпы талаптар».
- 4 Иванов А.Н., Белоусов В.Н., Смородин С.Н. Теплообменное оборудование промпредприятий: учебное пособие / ВШТЭ СПбГУПТД. – СПб., 2016. 184с.
- 5 Лебедев П.Д., Шукин А.А. Теплоиспользующие установки промышленных предприятий. М.: Энергия, 1970. 480с.
- 6 Мовсесян В.Л., Мурзич А.Ф., Иванов А.Н. Профильно-пластинчатые теплообменники. СПб.: «Рид», 2002. 320с.
- 7 Барановский Н.В., Коваленко Л.М., Ястребенецкий А.Р. Пластинчатые и спиральные теплообменники. М.: Машиностроение. 1973. 288с.
- 8 Мигай В.К., Повышение эффективности современных теплообменников. Л.: Энергия. 1980. 144с.
- 9 Никитина Н.К. Справочник по трубопроводом тепловых электростанций. М.: Энергоатомиздат. 1983. 176с.
- 10 Тепловые и атомные электрические станций: Справочник/ Под общей ред. Григорьева В.А., Зорина В.М. М.: Энергоатомиздат. 1982. 624с.
- 11 Марушкин В.М., Иващенко С.С., Вакуленко Б.Ф. Подогреватели высокого давления турбоустановок ТЭС и АЭС. М.: Энергоатомиздат. 1985. 136с.
- 12 Сидельковский Л.Н., Юренев В.Н. Парогенераторы промышленных предприятий. М.: Энергия. 1978. 336с.
- 13 Кузнецов Н.В., Рабочие процессы и вопросы усовершенствования конвективных поверхностей котельных агрегатов. М.: Госэнергоиздат. 1958. 172с.
- 14 Добряков Т.С., Мигай В.К., Назаренко В.С. и др. Воздухоподогреватели котельных установок. Л.: Энергия. 1977. 184с.
- 15 ГОСТ 108.081-02-75. Котлы стационарные паровые и водогрейные и трубопроводы пара и горячей воды. Нормы расчета на прочность.
- 16 Ривкин С.Л., Александров А.А. Теплофизические свойства воды и водяного пара. М.: Энергия. 1980. 424с.
- 17 Чиж В.А., Карницкий Н.Б., Денисов С.М., Нерезько А.В. Водоподготовка и водно-химический режимы ТЭС и АЭС. 2015. 215с.
- 18 Водоподготовительные установки и водно-химический режим ТЭС, условия создания, нормы и требования. Некоммерческое партнерство «Инновации в электроэнергетике». Москва. 2008. 75с.
- 19 Космодамианский В.Е., Момедова А.М. Обратный осмос и схема глубокого обессоливания добавочной воды на ТЭС. // Научный журнал «Энергосбережение водоподготовка». 2010. С.45-47.

- 20 Давидсон М.И. Накипеобразование внутри труб при постоянной тепловой нагрузке. //Теплоэнергетика. 2007. №5. С.64-67.
- 21 Тарасенко Н.В., Гунько И.В., Родионова Т.В. Влияние отложений накипи на надежность и эффективность работы теплообменного оборудования. //Сборник статей 11-ой международной научно-практической конференции «Наука и инновации в 21 веке: актуальные вопросы, открытия и достижения». БГТУ. 2018. С.24-26.
- 22 Гунько И.В., Тарасенко Н.В., Никулин Н.Ю. Факторы, влияющие на скорость образования накипи. //Сборник статей международной научно-технической конференции молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. БГТУ. 2015.С.1040-1044.
- 23 Высоцкий С.П., Варивода А.В. Предотвращение накипеобразования и снижение сброса засоленных стоков в системах теплофикации. //Восточно-европейский журнал передовых технологий. 2013. №5/6(65). С.4-7.
- 24 Балабан-Ирменин Ю.В., Богловский А.В., Васина А.Г. и др. Закономерности накипеобразования в водогрейном оборудовании систем теплоснабжения. //Энергосбережение и водоподготовка. 2004. №3. С.10-16.
- 25 РД 153-34.0-37.533-2001. Методические указания по определению марки и оптимальной концентрации антинакипина для обработки подпиточной и сетевой воды системы теплоснабжения М.: ОАО «ВТИ». 2003. 16с.
- 26 Высоцкий С.П., Варивода А.В. Накипеобразование в оборотных системах. //Восточно-европейский журнал передовых технологий. 2013. №6/6. С.57-61.
- 27 Телин Н.В. Кинетика накипеобразования на поверхности теплообмена. //Вестник Череповецкого государственного университета. 2015. №8.С.35-37.
- 28 Зимняков А.М., Наумов Р.В. Анализ химических отложений теплового оборудования и способы их очистки. //Известия Пензенского государственного педагогического университета имени В.Г. Белинского. Естественные науки. 2010. №17. С.104-108.
- 29 Фесак Д.В., Литвиненко А.А. Проблема засорения трубопроводов теплообменника и методы ее решения. //Современные научные исследования и инновации. 2012. №4.
- 30 Пантелеев А.А., Рябчиков Б.Е., Хоружий О.В. и др. Технологии мембранного разделения в промышленной водоподготовке. ДеЛи плюс. 2012. 429с.
- 31 РД 153-34.1-37.410-00. Методическое указания по безреагентным способам очистки теплообменного оборудования от отложений. М.: АОТ «ВТИ». 2000. 25с.
- 32 Шевейко А.Н. Влияние материала поверхности на отложения в теплообменном оборудовании систем технической воды. //Теплоэнергетика. 2002. №7. С.62-66.
- 33 Волк Г.М., Галутин В.З. Исследование эффективности применения ультразвуковой технологии предотвращения накипеобразования в деаэраторе атмосферного давления. Энергетик. 1999. №5. С.31-32.

- 34 Балабан-Ирменин Ю.В. Взаимосвязь между воднохимическим режимом составом и структурой отложений на внутренней поверхности трубопроводов теплосети. //Теплоэнергетика. 1998. №7. С.43-47.
- 35 Жарков В.В., Курбанов Х.К., Оразглыджов А.Т. Способ очистки поверхностей теплообменников котельных установок от накипи. //Наука и техника в Туркменистане. –А.: Академия науки Туркменистана. №6. 2010. С.24-30.
- 36 Кусаиынов К.К., Сакипова С.Е. Айтпаева З.К., Оспанова Д.А., Дуйсенбаева М.С. Особенности структуры накипных отложений на поверхностях теплообменных аппаратов. //Вестник КарГУ. Серия: Физика. 2010. №1(57). С.30-35.
- 37 Сакипова С.Е., Кусаиынов К.К., Нусупбеков Б.Р., Жуандыкова Г.А., Ботпаев Н.К. Электрогидроимпульсная технология восстановления эксплуатационных свойств теплообменников. //Современная наука: исследования, идеи, результаты, технологии. 2013. №2(13). С.86-91.
- 38 Уалиев Е.Б., Мухамедин С.М., Жанабаев З.Ж., Сакипова С.Е., Кусаиынов К.К. Устройство для очистки внутренних поверхностей труб теплообменников от твердых и сверхтвердых отложений. Патент. №12247. 14.20.2005.
- 39 Мухамедин С.М., Уалиев Е.Б., Жанабаев З.Ж., Сакипова С.Е., Кусаиынов К.К. Способ очистки труб полностью забитых твердыми отложениями. Патент. №10528. 15.08.2001.
- 40 Литунов С.Н. Об опыте применения электрогидравлического эффекта. //Известия ТулГУ. Технические науки. 2024. Вып. 10. С.34-35. DOI: 10.24412/2071-6168-2024-10-34-35.
- 41 Кусаиынов К., Нусупбеков Б.Р. Разрушение материалов подводным электрическим взрывом. К.: Издатсервис. 2010. 250с.
- 42 Зельдович Я.Б., Рейзер Ю.П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М.: Наука. 1966. 688с.
- 43 Аганин А.А., Ильгамов М.А., Топорков Д.Ю. Зависимость сжатия пара в кавитационных пузырьках в воде и ацетоне от давления жидкости. //Вестник Башкирского университета. 2015. Т.20. №3. С.807-812.
- 44 Бордов Ю.М., Рябчиков А.Ю., Аронсон К.Э. Исследование ряда методов интенсификации теплообмена в энергетических теплообменных аппаратах. //Труды РНКТ-3. Т.6. Интенсификация теплообмена. М.: МЭИ. 2002. С.49.
- 45 Конахин А.М., Конахина И.А. Поверхностные теплообменники. Учеб.пособие /А.М. Конахин, .А. Конахина. К.:Казан.гос.энерг.ун-т. 2007. 107с.
- 46 Давидзон М.И.Образование накипи внутри трубок теплообменных устройств в условиях постоянной температуры стенки. //Теплоэнергетика. МЭИ. 2007. №9. С.61-64.
- 47 Кусаиынов К. Гидродинамика, теплообмен и электрогидравлические явления при движении двухфазных сред в трубах: автореферат диссертации доктора технических наук. 01.04.14. А.: 1998. 47с.

- 48 Нусупбеков Б.Р. Качественная оценка эффективности влияния электрогидроимпульсного способа очистки поверхности. //Қарағанды университетінің хабаршысы. Физика сериясы. 2010. №1. С.20-24.
- 49 Оспанова Д.А., Айтпаева З.К., Нургалиева Ж.Г., Несіпбек Ж.С. Гидроимпульстік процесс кезіндегі газсұйықты ағын қозғалысының динамикалық қиыметтерін зерттеу. //Бейсызық жүйелердегі хаос және құрылымдар. Теория және тәжірибе: 11-ші халықаралық ғылыми конференцияның материалдары. Қ.: ҚарМУ баспасы. 2019. С.257-260.
- 50 Оспанова Д.А., Торегельдин М.М., Сельдюгаев О.Б., Шуюшбаева Н.Н. Экспериментальные исследования подводного электрического взрыва в каналах переменного сечения. //«Технические науки - от теории к практике». Сборник статей по материалам LVIII международной научно-практической конференции. №5(53). Часть II. Н.: Изд. АНС «СибАК». 2016. С.125-133.
- 51 Кусаиынов К.К. Гидродинамика, теплообмен и электрогидравлические явления при движении двухфазных сред в трубах. К.: Изд-во КарГУ. 1998. 112с.
- 52 Беляев М.М., Попов А.И. Измерение покомпонентного расхода газожидкостной среды тепловым методом. //Измерительная техника. 2020. №10. С.43-48.
- 53 Валуева Е.П., Свиридов В.Г. Введение в механику жидкости и газа. М.: МЭИ.2001. 211с.
- 54 Андрижиевский А.А. Механика жидкости и газа. Минск.: Высшая школа. 2014.206с.
- 55 Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. Минск.: Дрофа. 2003. 840с.
- 56 Киселев П.Г. и др. Справочник по гидравлическим расчетам. М.: Энергия. 1994.
- 57 Кусаинов К., Сакипова С.Е. Динамика гетерогенного потока при электроимпульсном воздействии. Устойчивость течений гомогенных и гетерогенных жидкостей. Материалы 8-ой международной конференции. Н.: 2001. С.99-101.
- 58 Идельчик И.Е. Справочник по гидродинамическим сопротивлениям/Под ред. М.О.Штейнберга. -3-е изд., перераб. И доп. М.: Машиностроение, 1992. 672с.
- 59 Оспанова Д.А. Исследование распределения импульсного давления ударной волны газожидкостного потока. // Наука, Новые технологии и инновации Кыргызстан: №2 Республиканский научно-теоретический журнал. Бишкек.: 2017. С.9-14.
- 60 Арсентьев В.В., Арсентьев Е.Л., Ищенко Ж.Н. Исследование давлений на стенку трубы при электрогидравлическом деформировании. К.: Наукова думка. 1978. С.89-97.
- 61 Сакипова С.Е. К расчету импульсного давления при электроразрядном воздействии в неоднородной жидкости. //Вестник ТГУ. 2009. №1(5). С.74-81.
- 62 Елизаров Д.П. Теплоэнергетические установки электростанций. М.: Энергоиздат. 1982. 264с.
- 63 Делягин Г.Н., Лебедев В.И., Пермяков Б.А. Теплогенерирующие установки. М.: Стройиздат. 1986. 559с.

- 64 Исаченко В.П., Осипова В.А. Теплопередача. М.: Энергоатомиздат. 1981. 416с.
- 65 Краснощенко Е.А., Сукомел А.С. Задачник по теплопередаче. М.: Энергия. 1980. 288с.
- 66 Белосельский Б.С., Александров А.А., Клименко А.В. и др. Теплоэнергетика и теплотехника справочник. М.: Издательский дом МЭИ. 2007. 564с.
- 67 Барилевич В.А. Основы технической термодинамики и теории тепло-и массообмена. Учебное пособие. М.: 2017. 432с.
- 68 Сақыпова С.Е., Шуюшбаева Н.Н., Оспанова Д.А., Төсекбай А.Ә. Айнымалы кималы арнада электрогидроимпульстік эффект кезінде қозғалатын газ сұйықты ағынның параметрлерін зерттеу. //Қарағанды университетінің хабаршысы. Физика сериясы. 2015. №2(78). С.61-67.
- 69 Оспанова Д.А., Дүйсенбаева М.С. Соққы толқын әсері кезіндегі қозғалыстағы газ сұйықты ағынның динамикасын зерттеу. //Е.А.Бөкетов атындағы ҚарМУ аспиранттары, магистранттарының және студенттерінің 33-ші ғылыми-тәжірибелік конференциясының материалдары. Қарағанды.: 2010. С.157-160.
- 70 Оспанова Д.А., Дүйсенбаева М.С., Уксикбаева А.М. Электрогидроимпульстік эффект кезіндегі соққы толқындарының гетерогендік ортадағы газ құрамына әсерін зерттеу. //И.Жансүгіров атындағы Жетісу мемлекеттік университетінің «Жаңа әлемдегі жастар және ғылым» атты 3-ші Республикалық ғылыми-практикалық конференциясының материалдары.
- 71 Нусупбеков Б.Р., Сатыбалдин А.Ж., Айтпаева З.К., Оспанова Д.А. Исследование влияния ударной волны на движение газожидкостного потока по каналам переменного сечения. //Научный журнал Физика №2. Бишкек. 2016. С.162-168.
- 72 Кусаиынов К.К., Сакипова С.Е., Оспанова Д.А., Курмашева К.Е. Исследование динамики импульсного давления при движении неоднородной жидкости по каналам переменного сечения. //Современные достижения физики и фундаментальное физическое образование: Сборник труды 6-й международной научной конференций, посвящ. 75-летию КазНУ им. Аль-Фараби. Алматы.: 2009. С.25.
- 73 Оспанова Д.А., Айтпаева З.К., Бакиева Ж.К., Рымбекова И.Б., Шапай М. Күрделі құбырлардағы соққы толқын құбылыстарын зерттеудің тәжірибелік нәтижелері. //11-ші халықаралық ғылыми конференция материалдары «Бейсызық жүйелердегі хаос және құрылымдар. Теория және тәжірибе». Қарағанды.: ҚарМУ баспасы. 2019. С318-321.
- 74 Оспанова Д.А. Электрогидравликалық эффект кезіндегі гетерогендік ортадағы импульстік қысым амплитудасын анықтау. //Гидродинамика, теплообмен и электрогидравлические явления в гетерогенных средах. Труды университета (КарГУ). Караганда.: 2010. С.55-69.
- 75 Кусаиынов К.К., Сакипова С.Е., Оспанова Д.А. Особенности измерения импульсного давления подводного взрыва при наличии конического диффузора.

//Вестник КарГУ. Серия: Физика. Караганда.: Изд-во КарГУ. 2008. №4(52). С.36-40.

76 Сакипова С.Е., Оспанова Д.А., Ахмерова К.Е. Исследование гидродинамики газожидкостного потока при электро разрядном воздействии. //Промышленная теплотехника. Международной научно-прикладной журнал. Киев.: 2011. С.35.

77 Оспанова Д.А., Нусупбеков Б.Р., Сакипова С.Е., Танашева Н.К., Рахманкызы А. Численный расчет коэффициента теплоотдачи газожидкостного потока по длине трубы с переменным сечением. //Известия вузов Кыргызстана. №2 Республиканский научно-теоретический журнал. Бишкек.: 2017. С.11-14.

78 Афанасьев В.Н. и др. Задачник по технической термодинамике и теории тепломассообмена. Учебное пособие 2-е изд. Петербург.: Спб.:БХВ.2011. 384с.

79 Sakipova S.E., Shaimerdenova K.M., Nussupbekov B.R., Ospanova D.A., Kutum V.B. Modeling the dynamics of heat and mass transfer processes in a tubular heat exchanger under pulsed influences // Eurasian Physical Technical Journal. –2023. – Volume20 – No.1(43). – P.51-55. (Scopus, quartile Q-4, percentile - 25%) <https://doi.org/10.31489/2023No1/51-55>.

80 Демидова Л.А. Электронно-микроскопические исследования эргонасыщенных материалов. М.: РХТУ им. Д.И.Менделеева. 2013.155с.

81 Оспанова Д.А., Кутум Б.Б., Нусупбеков Б.Р. Жылуэнергетикалык объектилердеги коректи суду тазартудун ерекшеликтери. //Казирги элемдеги нақты ғылыми зерттеулер. халықаралық ғылыми журнал. №10(90). 1-бөлім. 2022. С.138-144.

82 Ospanova D., Turlybekova R., Nurtilipov K. Investigation of heat exchanger scale structure. //The XI International Scientific and Practical Conference «Modern trends of youth: advantages and significant disadvantages». Spain.: 2024. P.196-201.

83 Ospanova D., Turlybekova R., Abduvakhidov M. Dissolution of reagent particles during technical water treatment. methodology and organization of scientific research.//Abstracts of XXII International Scientific and Practical Conference Berlin, Germany. 2024. P.384-388.

84 Ospanova D.A., Nussupbekov B.R., Kutum V.B., Oshanov Y.Z. Research of process water of a thermal power plant //Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Volume 2. Issue 6(122). 2023. P.53–61. (Scopus, quartile Q-3, percentile 47%) <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.276486>.

85 Гарифзянов А.Р. Эмиссионная фотометрия пламени и атомно-абсорбционная спектроскопия. Электронное учебное пособие для студентов 2 курса ХИ им. А.М.Бутлерова. Казань: Казан.ун-т. 2019.121с.

86 Sakipova S.E., Nussupbekov B.R., Ospanova D.A., Shaimerdenova K.M., Kutum V.B. Analysis of the heat exchanger energy efficiency of variable cross section with an inhomogeneous coolant //Latvian journal of physics and technical sciences. №6. 2023. P.142-150. <https://doi.org/10.2478/lpts-2023-0051> (Scopus, quartile Q-3, percentile -43).

87 Рентгеновские методы анализа. Методические указания к лабораторной работе: Метод.указания/Казан.нац.иссл.технол. ун-т; Сост.: И.Д. Твердов. Казань, 2021. 16с.

- 88 Кусаиынов К., Нусупбеков Б.Р., Турлыбекова Р.С. Изучение микроструктуры котельных накипей. //Вестник развития науки и образования. 2009. №2. С.7-10.
- 89 Нүсіпбеков Б.Р. Жылуалмастырғыштарды қалпына келтірудің жаңа технологиясы. //ҚарМУ хабаршысы. Физика сериясы. 2017.№1(85). С.67-72.
- 90 Sakipova S.E., Nussupbekov B.R., Ospanova D.A., Khassenov A. And Sakipova Sh.E. Effect of electric pulse processing on physical and chemical properties of inorganic materials. //IOP Conference Series Materials Science and Engineering.- 2015. №81. P.12051-12056. DOI:10.1088/1757-899X/81/1/012051.
- 91 Nussupbekov B.R., Kussaynov K., Khassenov A.K. Electro-impulse method of surface cleaning //European Researcher. 2013. Vol. 38, №1-1. P.11–14.
- 92 Kussaiynov K., Sakipova S.E., Nussupbekov B.R., et al. Electro-hydro-pulse technology for restoring the performance properties of heat exchangers. //Modern science: research, ideas, results, technologies. 2013. №.2 (13). P.86-91.
- 93 Кусаиынов К., Нусупбеков Б.Р., Сакипова С.Е. и др. Электроимпульсный метод избирательного разрушения материала в жидкой среде. Инновационный патент РК на изобретение. №29005. Опубликовано:15.10.2014.
- 94 Nussupbekov B.R., Sakipova S.E., Ospanova D.A., Kutum B.B., Shaimerdenova K.M., Bekturganov Zh.S.. Some technological aspects of cleaning pipes of heat exchangers from solid scale deposits. //Journal «Bulletin of the Karaganda University», series «Physics». №4(108). 2022. P.106-114.
- 95 Сакипова С.Е., Нусупбеков Б.Р., Оспанова Д.А. Влияние твердых накипных отложений на внутренних поверхностях труб на эффективность теплообменников. //Материалы XI международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы транспорта и энергетики: пути их инновационного решения». Астана. 2023. С.466-470.
- 96 Нусупбеков Б.Р., Оспанова Д.А., Дуйсенбаева М.С., Нусупбеков М.Б. Құбырларды тазалауға арналған электрогидравликалық құрылғы. Пайдалы модель №9019, (21)2023/1252.2, (22) 22.12.2023, (45) 19.04.2024.
- 97 Sakipova S.E., Nussupbekov B.R., Ospanova D.A., Turlybekova R. Modeling the generator of electro-pulse discharges. //Journal of Theoretical and Applied Physics (JTAP). Volume 18. №1. 2024. <https://doi.org/10.57647/J.JTAP.2024.1801.09> (Scopus, quartile Q-2, percentile -58).
- 98 Нусупбеков Б.Р. Исследования эффективности очистки поверхностей электрогидравлическим методом. //Труды КарГТУ. №3(32). 2008. С.67.
- 99 Нусупбеков Б.Р., Сакипова С.Е., Оспанова Д.А. Электрогидроимпульстік технологияны өндірісте пайдалану жолдары. Монография. Қарағанды.: Академик Е.А.Бөкетов атындағы Қарағанды университетінің баспасы. 2024. 201б.

ҚОСЫМША А

Патент

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ

РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

ПАТЕНТ
PATENT

№ 9019

ПАЙДАЛЫ МОДЕЛЬГЕ / НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ / FOR UTILITY MODEL



(21) 2023/1252.2

(22) 22.12.2023

(45) 19.04.2024

(54) Құбырларды тазалауға арналған электр гидравликалық құрылғы
Электрогидравлическое устройство для очистки труб
Electrohydraulic device for pipe cleaning

(73) Нусупбеков Бекболат Рахисевич (KZ)
Nussupbekov Bekbolat Rakhishevich (KZ)

(72) Нусупбеков Бекболат Рахисевич (KZ) Nussupbekov Bekbolat Rakhishevich (KZ)
Оспанова Дидар Асылловна (KZ) Ospanova Didar Asylovna (KZ)
Дуйсенбаева Молдир Серикбековна (KZ) Duisenbayeva Moldir Serikbekovna (KZ)
Нусупбеков Мирас Бекболатович (KZ) Nusupbekov Miras Bekbolatovich (KZ)



ЭЦҚ қол қойылды
Подписано ЭЦП
Signed with EDS

А. Артыкова
А. Артыкова
A. Artykova

«Ұлттық зияткерлік меншік институты» РМК директорының м.а.
И.о. директора РГП «Национальный институт интеллектуальной собственности»

ҚОСЫМША Ә

Электрогидроимпульстік қондырғы кешенін дайындаудың техникалық шарты

Жылу алмастырғыштағы қатты қақтарды тазалауға арналған электрогидравликалық қондырғыны дайындап құрастыру үшін, ең алдымен моноблоқтың техникалық шарты жасалды. Осы шартқа сәйкес, ЭГҚ моноблогы диаметрі 5-100 мм болатын өндірістік жылу алмастырғыш құбырларының ішкі қуыстарын механикалық және химиялық шөгінділерден тазартуға арналған қондырғы. Қондырғының техникалық шартында жобаланылған құрастырылған электрогидроимпульстік технологияның еңбек сыйымдылығы туралы мәліметтер бар. Техникалық шарттар МЕМСТ2.105-95; МЕМСТ14.201-83; МЕМСТ14.205-83; МЕМСТ 21.623-23 нормативтік құжаттарына сәйкес жасалған. Жоғары вольтты соққы толқын негізінде жүргізілетін электрогидроимпульстік қондырғылары бір блокқа жинақталып құрылған. Электрогидроимпульстік қондырғы моноблогын жинақтап құрастыру жұмыс уақыты (T_n) 9569 есептік/сағ. құрайды.

Технологиялық процесті жүзеге асыру мен қондырғыны дайындау кезіндегі шығындар сомасы технологиялық тұрғыдығы өзіндік құн (C_T) ретінде анықталады:

$$C_T = C_M + C_3 + C_{cp}$$

мұндағы

C_M – өндіріске жұмсалған материалдардың құны;

C_3 – өндірістік жұмысшылардың жалақысы;

C_{cp} – цех шығындары.

Қондырғының материалды қолдану коэффициенті ($K_{пм}$) құрылымның жалпы массасындағы өнімдегі осы материалдың жиынтық массасының қатынасы ретінде анықталады:

$$K_{пм} = \frac{M_{ом}}{M} = \frac{128}{170} = 0,75$$

мұндағы

$M_{ом} = 128$ кг – материалдың массасы;

$M = 170$ кг – қондырғының жалпы салмағы.

Жылу алмастырғыш құбырын тазалауға арналған қондырғыны құрастыру коэффициенті ($K_{сб}$):

$$K_{сб} = \frac{E}{E + D} = \frac{32}{32 + 80} = 0,28$$

мұндағы

$E = 32$ – құрастыру бірліктерінің саны;

$D = 80$ – қондырғыдағы бөлшектер саны.

Бөлшектерді өңдеудің тазалығы мен дәлдігі технологиялық жабдықтау құралдарының техникалық деректеріне сәйкес келеді. Қондырғыны дайындау мен құрастыру техникалық талаптар, стандарттар, нормалар және техникалық шарттар негізінде жасалған. Қақтармен ластанған құбырларды тазалау үшін қолданылатын электрогидроимпульстік қондырғы құрылысы қолдануға ыңғайлы, сонымен қатар қондырғының құрамдас құрал-жабдықтары оңай ауыстырылады, сондай-ақ олар қолжетімді және жеңіл болып келеді.

Моноблоқты қолданудың техникалық шарты бойынша ЭГҚ-ны қолданудың климаттық шамасы MEMCT15150 нормасына сәйкес суық немесе қоңыр салқын жерде орналасуы керек. Яғни, қондырғы қоршаған ауаның температурасы $+10^{\circ}\text{C}$ -тан $+35^{\circ}\text{C}$ -қа дейінгі шамасында және салыстырмалы ылғалдылығы 80%- дан $+30^{\circ}\text{C}$ -қа дейінгі көрсеткіште жұмыс істейді.

Жылу алмастырғыш пәрменділігін арттыру үшін құрастырылған электрогидроимпульстік қондырғысын алдын ала сынау жұмыстары Қарағанды қаласындағы «AirLogistic» жауапкершілігі шектеулі серіктестігінің арнайы зертханасында жүргізілді. Сынау жұмыстары импульстік ток генераторына; қорғау жүйесі бар энергия жинақтағышына; коммутациялық жоғары вольтты ажыратқышқа; қондырғының аппараттық қорғау жүйелеріне және жоғары вольтты кернеуді бақылау жүйесіне жүргізілді. Сынау жұмыстарының нәтижесі бойынша арнайы хаттама құрылып, АКТ құжаттамасы толтырылды (№3 11.09.23 ж.). Құрастырылған электрогидроимпульстік қондырғы моноблогын сынау жұмыстарынан өткізгеннен кейін соққы толқын әсері кезінегі қондырғылардың негізгі параметрлерін есептеу жұмыстары жүргізілуі керек, оны келесі тарауда қарастырамыз.

ҚОСЫМША Б

Электрогидроимпульстік қондырғы кешенінің бейне суреті



Электрогидроимпульстік қондырғы кешенінің қосымша жабдықтары

№	Атауы мен белгіленуі	Саны	Жалпы өлшемі, мм	Салмағы (кг),
1	ЭГҚ зерттеу блогы	1	996×620×650	170
2	Электрод кабелі	1	Φ 7×12000	2
		1	Φ9×12000	2
3	Паспорт	1		
4	Технологиялық жабдықтар жиынтығы	1		4

ҚОСЫМША В

Электрогидроимпульстік қондырғы кешенін сынау АКТ-сі

А К Т №3

от «19» 08 2024 г.

сдачи-приемки работ по соглашению о вкладе
со стороны частного партнера» от 04.04.2022 года

Мы, нижеподписавшиеся, от Заказчика: Член Правления, и.о. проректора по научной работе Зейниденов А.К. и Исполнитель (и) работ: директор ТОО «AirLogistic» Рябов А.И. (М03В6F7 (050059)), Республика Казахстан, г.Караганда, ул. Каракумская 60, Тел/факс: 8 (701) 311-66-11; ИИК KZ27914052203KZ003A9, ЗАО «Bereke Bank», БИК BRKEKZKA, БИН 190140020361) составили настоящий акт в том, что безвозмездное оказание услуг по проведению испытаний опытно-промышленного образца электрогидроимпульсной установки согласно «Соглашения о вкладе со стороны частного партнера» от 04.04.2022 года.

Результаты, полученные в ходе выполнения работ по научному гранту Министерства науки и высшего образования РК по теме «Создание энергосберегающей установки для повышения эффективности теплоотдачи промышленных теплообменников» (номер проекта AP14870433) на безвозмездной основе оказаны следующие услуги:

- проведено испытание генератора импульсных токов;
- проведено испытание накопитель энергий с системой защиты;
- проведены испытания коммутационного высоковольтного разрядника;
- проведены испытания на системы аварийной защиты установки;
- проведены испытания на систему контроля высоковольтного напряжения;
- проведены испытания на регистрации установки.

Стоимость безвозмездного оказания услуг по соглашению составляет 1 080 000 тг (Один миллион восемьдесят тысяч тенге, 00 тиын).

Сдал (и):

Исполнитель:

(ф.и.о., подпись)



А.И. Рябов

Принял:

Член Правления,

и.о. проректор по научной работе

А.К. Зейниденов

(ф.и.о., подпись)



Руководитель проекта AP14870433

Б.Р. Нусупбеков

(ф.и.о., подпись)

Ответственный исполнитель проекта AP14870433

Ж.С. Бектурганов

(ф.и.о., подпись)

Исполнитель проекта AP14870433

Д.А. Оспанова

(ф.и.о., подпись)