

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ

Металлургия және Өнеркәсіптік инженерия институты

«Технологиялық машиналар мен жабдықтар» кафедрасы

Маркс Нұржан Жанатұлы

**Ағынды сораптарды тіреуіш ретінде қолдануын есепті-экспериментальды
зерттеу**

МАГИСТРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ

6M072400 – Технологиялық машиналар мен жабдықтар мамандығы

Алматы 2020

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

СӘТБАЕВ УНИВЕРСИТЕТІ

Металлургия және Өнеркәсіптік инженерия институты

«Технологиялық машиналар мен жабдықтар кафедрасы

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ

Кафедра меңгерушісі

техн. ғыл. канд.,

ассоц. профессор

_____ К.К.Елемесов

« _____ » _____ 2020 ж.

**МАГИСТРЛІК ДИССЕРТАЦИЯ
ТҮСІНІКТЕМЕЛІК ЖАЗБА**

Диссертация тақырыбы: «Ағынды сораптарды тіреуіш ретінде қолдануын есепті-экспериментальды зерттеу»

6M072400 – Технологиялық машиналар мен жабдықтар

Орындаған:

Маркс Н.Ж.

Пікір беруші

_____ 2020 ж.
« _____ » _____

Ғылыми жетекші,
техника ғылымдарының
кандидаты, доцент

_____ Мырзахметов Б.А.
« _____ » _____ 2020 ж.

Алматы 2020

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

О.А.Байқоңыров атындағы тау-кен металлургия институты

Технологиялық машиналар және жабдықтары кафедрасы

БМ072400 – «Технологиялық машиналар мен жабдықтар»

Ағынды сораптарды тіреуіш ретінде қолдануын есепті-экспериментальды зерттеу

БЕКІТЕМІН

Кафедра меңгерушісі
техн. ғыл канд.,
ассоц. профессор

_____ К.К. Елемесов
«__» _____ 2019 ж.

**Магистрлік диссертацияны орындауға
ТАПСЫРМА**

Магистрант Маркс Нұржан Жанатұлы

Тақырыбы Ағынды сораптарды тіреуіш ретінде қолдануын есепті-экспериментальды зерттеу

Университет басшысының _____ б бұйрығымен бекітілген.

Аяқталған жобаны тапсыру мерзімі _____ 2020ж.

Дипломдық жобада қарастырылатын мәселелер тізімі:

а) Ортадан тепкіш сораптардың жұмыс принциптері және оларды қолданылуы. Ортадан тепкіш сораптардың негізгі параметрлері мен олардың істен шығу себептері;

б) Ағынды сораптардың жұмыс режимдері

в) Ағынды сораптарда кавитацияны зерттеу және есептеу.

г) ОСС сораптар үшін тірек ретінде ағынды сорап қондырғыларын қолдану технологиясын таңдау және негіздеу;

д) Құрама сорап қондырғысының құрамында пайдалану үшін ағынды сорапты есептеу әдістемесі;

е) Эксперименттерді жоспарлау. Математикалық модельдеу

Презентациялық материалдар тізімі:

а) ағынды және ортадан тепкіш сораптардың жалпы көрінісі;

б) сорап қондырғыларының пайдалану-техникалық сипаттамаларын зерттеуге арналған жалпы түрі;

в) обций вид элементов аппаратурного оформления стенда;

г) функцияльды жүйе схемасы;

д) эксперимент жоспарының матрицасы

е) графиктік кескіндемелер

Ұсынылатын негізгі материалдар:

1 Соколов Е.Я., Зингер Н.Л. Струйные аппараты, М. : Энергоатомиздат, 1989.

2 Тищенко И.Т., Гумерский Х.Х., Марьенко В.П. Струйные насосы для добычи нефти. М. : Нефть и газ, 1996.

3 Дроздов А.Н., Вербицкий В.С., Деньгаев А.В. и др. Погружные насосы и насосно-эжекторные системы – новые возможности в нефтегазодобыче, нефтеотдаче и нефтегазосборе // Вестник НК «ЮКОС». – 2004. – № 10. – С. 3–9.

4 Инструкция по управлению процессом гидроструйной эксплуатации скважин с использованием блока распределения, измерения и фильтрации//БРИФ-1-100-20-700-1-6-1-1. ОАО «ТНК-Нягань», 2012 г.

5 Шерстюк А.Н., Анникова Ю.Н., Ермолаева Т.А. и др. Режим работы погружного центробежного насоса для добычи нефти // Химическое и нефтегазовое машиностроение – 2005. - №8. - С.18-20.

6 Каменев, П.Н. Гидроэлеваторы в строительстве. – М. : Стройиздат, 1970. – 172 с.

7 Берман Л. Д., Ефимочкин Г.И. Методика расчета водоструйного эжектора. - Теплоэнергетика, 1964. - №8. С. 92-95.

8 Шамаков Н.П., Дядин А.Н., Лабинский А.Ю. Двухфазные струйные аппараты. - Л. : Судостроение, 1989. – 240 с.

9 Берман Л. Д., Ефимочкин Г.И. Расчетные зависимости для водоструйных эжекторов. - Теплоэнергетика, 1964. - №7. С. 44-48.

10 Дроздов А.Н., Демьянова Л.А. Исследование работы струйного аппарата при различных длинах камеры смешения и эжектировании струей жидкости газожидкостной смеси// Нефтепромысловое дело, 1994. - №6. - С.47.

АНДАТПА

Диссертациялық жұмыста "Ағынды сорап + ОСС" құрамында құрамдастырылған сорап қондырғыларын қолдануды негіздеу бойынша есептеу-эксперименталды және аналитикалық зерттеулердің нәтижелері ұсынылған.

Ағынды сорапты есептеудің әдістемелері қарастырылып, оның негізгі сипаттамалары және геометриялық параметрлері зерттелді. Құрамдастырылған сораптарды бірлесіп жұмыс істеу мүмкіншіліктері негізделді. Оларды алдағы таңда тірек ретінде қолдану тиімділіктері мен мүмкіншіліктері негізделді.

Алынған нәтижелер жаңа конструкция және ағынды сорғыларды пайдаланудың басқа да шарттары үшін ғылыми және практикалық қызығушылық тудыруы мүмкін.

АННОТАЦИЯ

В диссертационной работе представлены результаты расчетно-экспериментальных и аналитических исследований по обоснованию применения комбинированных насосных установок в составе «Струйный насос + ЦНС».

Рассмотрены методики расчета поточного насоса, изучены основные его характеристики и геометрические параметры. Обоснованы принципиальные возможности и преимущества их применения в качестве подпорных.

Полученные данные могут вызвать научный и практический интерес для новой конструкции и других условиях использования струйных насосов.

ANNOTATION

The dissertation paper presents the results of computational, experimental and analytical studies to justify the use of combined pumping units as part of the "Jet pump + CPS".

The methods of calculating the flow pump are considered, its main characteristics and geometric parameters are studied. The principal possibilities and advantages of their application are substantiated.

The data obtained can cause scientific and practical interest for the new design and other conditions of use of jet pumps.

Анықтамалар

Геометриялық сипаттамалары – негізгі геометриялық өлшемдері.

Инжектелетін ағын-эжекторға сорылатын орта.

Инжекция коэффициенті – жұмысшы шығыстарының және инжектелетін ағындар қатынасы.

Негізгі геометриялық параметр-араластыру камерасының цилиндрлік бөлігінің қимасы және соплдың критикалық қимасы аудандарының қатынасы.

Жұмыс сипаттамасы-өндірістік сынақтар нәтижесінде алынған эжектордың сипаттамасы.

Қысу дәрежесі-ағынды аппараттағы қысымның жоғарылау дәрежесі.

Ағынды аппарат – сопло, қабылдау камерасы, араластыру камерасы және эжектордың диффузоры. Тиімді қима-аралас камерадағы виртуалды қима, онда инжектелетін ағын дыбыс жылдамдығына дейін айдалады.

Қысқартулар

ҚҚҰ –Қабат қысымын ұстау тұру

ОСС –ортадан тепкіш секционды сорап

ПӘК –пайдалы әрекет коэффициенті

ҚҚ – қабат қысымы

АҚҚ – аномальды қабат қысымы

АЖҚҚ – аномальды жоғарғы қабат қысымы

АТҚҚ – аномальды төменгі қабат қысымы

РВ - резервуар вертикальды

ТВО - құбырлық суайырғыш

НС – айдау ұңғымалары

МСП - ұңғыма аралық айдау жүйесі

АС – ағынды сорап

Шартты белгіленулері

A-аудан, м²

D-диаметр, м

K –үйкеліске қысым жоғалту коэффициенті

M – эжекция коэффициенті, Q_2/Q_1

M_c– кавитациялық эжекция коэффициенті

N –қысымдар қатынасы

P – қысым, МПа

P_v – қаныққан бу қысымы, МПа

Q –сұйықтықтың көлемдік шығыны, м³/с

S –аудандар қатынасы, $\frac{\rho_1}{\rho_2} = 1$

V – ағын жылдамдығы, м/с

Z – динамикалық арын, кПа

a – сопло ауданының диффузор алаңына қатынасы

b - сопло ауданының араластыру камерасының ауданына қатынасы

c – коэффициент, $\frac{1-b}{b}$

sr- сопло және араластыру камерасы арасындағы қашықтық

η - ағынды сораптың ПӘК-і

$\rho_{ж}$ - сұйықтық тығыздығы

МАЗМҰНЫ

Кіріспе	6
1 Ортадан тепкіш сораптың құрылымы	10
1.1 ОСС сораптардың жұмыс принциптері және оларды қолданылуы	10
1.2 Ортадан тепкіш сораптардың негізгі параметрлері мен олардың істен шығу себептері	12
2 Ағынды аппараттардың теориясының даму тарихы және практикалық қолданылуы	16
2.1 Ағынды сорап: принциптік схема және жұмыс процесі	18
2.2 Ағынды сораптардың жұмыс режимдері	23
2.3 Ағынды сораптарда кавитацияны зерттеу және есептеу	24
2.4 Ағынды сораптарды есептеудің әдістемелеріне шолу	26
3 Ортадан тепкіш сораптар үшін тірек ретінде ағынды сорап қондырғыларын қолдану технологиясын таңдау және негіздеу	34
3.1 Ортадан тепкіш сорапты біріктіріп ағынды сорап моделінің негізгі элементтері мен тораптарын есептеу әдістемесі мен бастапқы параметрлерін таңдау және негіздеу	39
3.2 Құрама сорап қондырғысының құрамында пайдалану үшін ағынды сорапты есептеу әдістемесі	46
3.3 MAPLE бағдарламалық кешенін пайдалана құрамдас ағынды сорап қондырғысының виртуалды моделін есепті-эксперименталдық модельдеу	50
4 Эксперименттерді жоспарлау	54
4.1 Ағынды сораптың сақиналы соплосының оңтайлы геометриялық өлшемдерін таңдау	56
Қорытынды	57
Пайдаланылған әдебиеттер тізімі	58

КІРІСПЕ

Өнеркәсіптік жабдықтың гидравликалық жүйелерінде технологиялық және эксплуатациялық үнемділіктен көрінетін дайындау мен пайдаланудың қарапайымдылығының арқасында ортадан тепкіш сораптар кеңінен қолданылады.

Мұнай саласында қабаттық қысымды ұстап тұру жүйесі (ҚҚҰ) энергияны көп қажет ететін болып табылады және мұнай өндірудің өзіндік құнына айтарлықтай әсер етеді. Мамандардың бағалауы бойынша, ППД жүйесі мұнай өндіруге жұмсалатын 30-дан 40% - ға дейін электр энергиясын тұтынады. Бұл ретте ҚҚҰ жүйесінде электр энергиясының 80% - ға жуығы қабатқа су айдау үшін сорап агрегаттарын (СА) пайдаланады, олардың бірлі-жарым қуаты орташа қуаты 1,0 МВт болғанда 1,6 МВт-қа жетеді.

Игерілетін кен орындарының табиғи сарқылуы жағдайында ППД әдістерін, оның ішінде мұнайды қабаттан айдау ұңғымаларына айдалатын сумен ығыстыру әдісін қолдана отырып, мұнай өндіру процестерінің энергетикалық оңтайлылығы неғұрлым зор маңызға ие болады.

Ірі мұнай компанияларының ҚҚҰ жүйесін талдау оның тиімділігі мынадай факторларға байланысты екенін көрсетеді:

- қабатқа суды айдаудың қабылданған технологиясы;
- сорап жабдығының техникалық параметрлерінің технология талаптарына сәйкестігі;
- қабатқа су айдаудың оңтайлы режимдерін таңдау;
- сорап жабдықтарына техникалық қызмет көрсету және жөндеу жүйелері.

Су қабатына айдау үшін негізінен ортадан тепкіш секциялық сораптар (ОСС) қолданылады. Сораптарды қолдану тиімділігі, әсіресе шағын беріліске есептелген ($Q < 80 \text{ м}^3/\text{сағ}$), төмен. Су айдауға жұмсалатын үлестік энергетикалық шығындар $1 \text{ м}^3 - 12 \text{ кВт-сағатқа}$ жетеді. Күкіртті сутегі бар минералдандырылған сулардағы сораптардың күрделі жөндеуге дейінгі жұмысы кезінде 4000 сағаттан аспайды.

Мұнай компанияларының көпшілігінде қабатқа су айдау технологиясының ерекшеліктерін ескеретін және "сораптық станциялары-құбыр желісі - айдау ұңғымалары" жүйесінің оңтайлы жұмыс режимін қамтамасыз ететін жүйесі үшін сораптарды таңдау әдістемесі жоқ.

Жаңа сораптардың конструкциясын әзірлеу және қолданыстағыларын жаңғырту ҚҚҰ жүйесінде олардың жұмыс ерекшеліктерін ескермей жүргізіледі, сораптардың сипаттамалары қабатқа суды айдаудың оңтайлы технологиясының талаптарын қанағаттандырмайды. Қабат қысымын ұстау жүйесіне арналған сораптардың параметрлік қатары жоқ, бұл зауыт жүйесін жобалау кезінде таңдау міндетін және дайындау кезінде сертификаттауды қиындатады. Сораптардың техникалық деңгейін бағалау, техникалық аудит жүргізу және күрделі жөндеуге шығару үшін өлшемдер әзірленбеген.

Бұл кемшіліктерді жою үшін айдау технологиясын жетілдіру, сораптарды оңтайлы таңдау әдістемесін әзірлеу және қолдану, сораптардың параметрлік

қатарын әзірлеу және қолдану, сорап агрегаттары жұмысының үнемді режимін таңдау, техникалық жай-күйі бойынша сораптарға техникалық қызмет көрсету мен жөндеудің ұтымды жүйесін енгізу қажет.

Бұдан басқа, ортадан тепкіш және гидро-арынды сораптарды бірлесіп қолдану сорап жабдықтары серияларының функционалдық мүмкіндіктерін айтарлықтай кеңейтуге мүмкіндік береді. Ол арынды немесе беруді, ортадан тепкіш сораптарды сородың рұқсат етілген вакуумметриялық биіктігін айтарлықтай арттыруға, осы сораптармен гидроқоспалар мен газды айдауға, вакуум жасауға және сығылған ауаны алуға, сұйық, қатты және газ тәрізді орталарды араластыруды жүзеге асыруға және басқа да көптеген технологиялық процестерді орындауға мүмкіндік береді. Сорап-эжекторлық қондырғыларды қолдану жеке қолданылатын ағынды сораптың ПӘК-мен салыстырғанда үлкен ПӘК алуға мүмкіндік береді. ПӘК-ті көтеру ағынды эжектор орталықтан тепкіш сорапты орындай алмайтын технологиялық процестерді орындайды. Оның көмегімен өзіндік сору, кавитацияны басу, 30°C астам қыздырылған газдар мен сұйықтықтарды айдау жүзеге асырылады.

Мақсаты сыртқы батырмалы эжекторы бар ортадан тепкіш жер үсті сораптарын қолданудың тиімділігін арттыру, оларды қолданудың оңтайлы саласын анықтау. Ағынды сораптарды тірек ретінде пайдалану тиімділігін негіздеу. Ағынды сорапты орнату арқылы ортадан тепкіш сораптың сору желісінде кавитацияны жою болып табылады.

Қойылған мақсатқа жету үшін диссертацияда келесі тапсырмалар шешілді:

1. Қолданылатын әдістері негізделген және қандай да бір әдісті таңдау бойынша ұсынымдар тұжырымдалған.

2. Қондырғының негізгі параметрлерін таңдау әдісі әзірленді, яғни таңдалған оңтайландыру критерийлеріне неғұрлым әсер ететін және өзгеріп таңдалатын геометриялық параметрлер.

3. Есептеу гидродинамикасы әдістерінің негізінде сораптың сипаттамаларын есептеудің математикалық моделі әзірленді. Математикалық модельдің рұқсат етулері мен шектеулері негізделген.

4. Сораптың әртүрлі сипаттамаларының (энергия тиімділігі, сенімділігі, кавитациялық сапасы және т.б.) әртүрлі типтегі ағын бөліктерінің геометриялық параметрлерінен өзгеру заңдылықтары анықталды.

5. Қолданылатын математикалық модельдердің барабарлығына тәжірибелік тексеру жүргізілді. Есептеу жолымен алынған нәтижелерді верификациялау жүргізілді (интегралды, дифференциалды сипаттамалары).

6. Тәжірибелік жолмен әзірленген әдісті қолдану тиімділігі расталды. Есептерді шешу есептеуіш гидродинамика әдістерін қолдануға және эксперименттік зерттеулерге негізделеді.

Зерттеудің негізгі міндеттері:

- ортадан тепкіш секциялы сораптарға талдау жасау олардың құрылымы мен негізгі параметрлерін қарастыру

- әртүрлі теориялар мен әдістерге негізделген ағынды эжекторларды есептеу әдістерін талдау;

- жүйенің жұмысының математикалық моделі-теңдеуін құрастыру: "судың динамикалық деңгейі төмен ауыспалы ұңғыма-сорап-эжекторлы қондырғы-тұтынушы желісі»;

- осы мақсатта құрылған MAPLE жүйесінде есептеу бағдарламасын пайдалана отырып және құрастырылған математикалық модельді қолдана отырып, сорап-эжекторлы қондырғылардың гидравликалық сипаттамаларын есептеуді жүргізу;

- тұтынушы желісіне кіре берістегі гидравликалық кедергілер мен су жинағыш ұңғымалардың сипаттамаларын ескере отырып, циркуляциялық сорап-эжекторлық қондырғыны тиімді қолдану шарттарын анықтауға мүмкіндік беретін тәуелділік кестесі мен кестелерін құру;

- байланыс көрсететін нақты өндірістік, теориялық тәуелділіктерді, жерасты суларының динамикалық деңгейін, тұтынушыға қысымды және сорғы-эжекторлық қондырғының өнімділігін имитациялайтын жағдайларда тәжірибелік тексеру.

- алынған нәтижелерді жинақтау және осы негізде ұңғымадан суды соруға арналған циркуляциялық сорап-эжекторлық қондырғыларды жинақтауды таңдау алгоритмі;

- суды соруға арналған циркуляциялық сорап-эжекторлық қондырғыларды қолданудың экономикалық нәтижелерін бағалау.

Қойылған міндеттерді шешу үшін талдау және синтездеу әдістеріне негізделген ғылыми зерттеулер әдістемесінің жалпы принциптері қолданылды. Гидродинамикада қолданылатын ғылыми зерттеулер мен математикалық әдістер қолданылды. Есептеулерді орындау кезінде MAPLE және EXCEL жүйесіне біріктірілген сандық әдістер алгоритмдері қолданылды. Есеп нәтижелері эксперименталды тексерілді.

Зерттеу объектісі болып: техникалық құрал-терең динамикалық деңгейі бар шағын диаметрлі ұңғымалардан суды көтеруге арналған циркуляциялық сорапты-эжекторлық қондырғы табылады.

Жұмыстың практикалық мәні олардың маңызды жалпы техникалық міндеттерді шешудің бір тәсілдерін технологиялық қарастыру. Сериялық сорап жабдығының қолданылу аймағын кеңейту.

Ортадан тепкіш сораптарды сыртқы батырмалы гидро-ағынды эжекторлармен жабдықтау жолымен стандартты сорап жабдығын пайдалану кезінде сору тереңдігін арттыру мүмкіндігін талдау жүзеге асырылады.

Әрбір нақты жағдайда терең динамикалық деңгейі бар ұңғымалардан суды сору үшін циркуляциялық сорап-ағынды қондырғыларды қолдану мақсаттылығын бағалауға және өнімділікті есептеуге мүмкіндік беретін алгоритм құраушылары теориялық негізделген және эксперименталды расталған. Жұмыста ұсынылған графикалық тәуелділіктер өндірістік жағдайларда практикалық қолдануға ұсынылады.

Материал және зерттеу әдістері. Өндірістік жағдайда ОСС типті ортадан тепкіш сораптарының зерттеуі көрсеткендей, олардың кавитациясыз жұмыс істеуі тек жұмысшы берілістерінің сол жақ шекарасынан сипаттаманың шектеулі номиналдыдан сәл асатын берілістерге дейін жұмыс істейді.

Эксперименталды зерттеулер экспериментті жоспарлау теориясын қолдана отырып жүргізілді. Зерттеу жүргізу барысында стандартты жалпы қабылданған әдістемелер қолданылды. Өртүрлі геометриялық сипаттамаларды өлшеу үшін арнайы құрастырылған құрылғылар мен дифференциалды манометрлер қолданылды. Теориялық зерттеулердің негізіне Д. Бернулли теңдеуі алынды.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы. Жұмыста ғылыми негізделген:

- ортадан тепкіш және ағынды сораптардың бірлескен жұмысын есептеу әдістемесі

- жоғары ПӘК бар ағынды сораптардың геометриялық және гидравликалық параметрлерінің оңтайлы параметрлерін анықтау үшін математикалық тәуелділіктерді анықтау;

- ортадан тепкіш және ағынды бірлескен сораптардың жұмыстың технологиялық процесі.

- сораптарды есептеудің әзірленген әдісі жақсартылған сипаттамалары бар жаңа сорап агрегаттарын жобалау процесінде де, ескі құрылымдарды жаңғырту үшін де пайдаланылуы мүмкін. Әзірленген әдіс жобалау мерзімін айтарлықтай қысқартуға және қажетті нәтижеге қол жеткізуге мүмкіндік береді.

Жұмыстың практикалық маңыздылығы.

Диссертациялық жұмыста баяндалған геометриялық және гидравликалық параметрлерді есептеу әдістемесі және сорап станциялары үшін жоғары энергетикалық сипаттамалары бар ағынды сорап элементтерінің гидравликалық кедергілерінің коэффициенттерін анықтау бойынша зерттеу нәтижелері жобалық ұйымдар жағдайында практикалық есептерді тексеруге мүмкіндік береді.

Алынған нәтижелерді апробациялау. Зерттеу нәтижелері кафедраның ғылыми семинарларында баяндалды. Халықаралық конференциялардың еңбектерінде баяндама жарияланды.

Жұмыстың құрылымы мен көлемі. Диссертация кіріспеден, бес тараудан, қорытындыдан, 60 атаудан тұратын әдебиеттер тізімінен тұрады, машинкамен басылған мәтіннің 48 беттен, 12 суреттен, 11 кестеден тұрады.

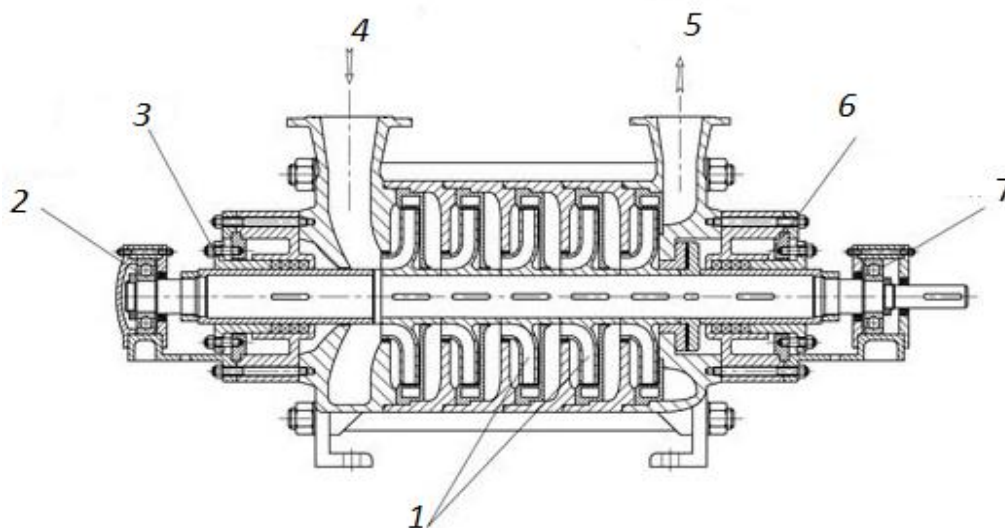
1 Ортадан тепкіш сораптың құрылымы

1.1 ОСС сораптардың жұмыс принциптері және оларды қолданылуы

Ортадан тепкіш секциялық сораптар (ОСС) тұтқырлығы мен белсенділігі бойынша сумен ұқсас қасиеттері бар әртүрлі сұйықтықтарды, сондай-ақ химиялық белсенді, абразиві бар және басқа да сұйықтықтарды айдау үшін пайдаланылады. Бұл мұнай мен суды айдау үшін мұнай және газ кәсіпшіліктерінде қолданылатын ортадан тепкіш сораптардың ең көп таралған түрлерінің бірі. Олар су түбіндегі сорап станцияларында (ДНС), мұнай мен газды жинайтын және дайындайтын орталық пункттерде (ОППН), өнімді қабаттарға су айдау үшін қустты сорап станцияларында (КСС), су және жылумен жабдықтау жүйелерінде пайдаланылады [1, 4,].

Сораптардың кең таралуы олардың уақыт өте келе өзгеріп отыратын құбыржолдардағы қажетті қысымымен технологиялық процестерге жақсы бейімделуімен түсіндіріледі. Бір сатының әрбір секциясына орналастыру кезінде сораптардың секциялық орындалуы сатылы, бірақ салыстырмалы түрде аз аралықпен, сорғыны оңтайлы арынға жақынырақ үнемді бейімдеуге мүмкіндік береді. Салыстыра отырып, шамалас бірдей техникалық көрсеткіштер бір сатылы ортадан тепкіш сораптар, ЦНС типті сораптар аз диаметрльды жалпы габаритті, көлемдері мен массасын жекелеген тораптары мен бөлшектерін, сондықтан олар пайдалануға ыңғайлы, қызмет көрсету және жөндеу. Алайда кавитация құбылысының пайда болуына байланысты сораптың шектеулі биіктігі сияқты кемшіліктер бар.

ЦНС типті сораптар көп сатылы ортадан тепкіш сораптардың бір түрі болып табылады. Қазіргі уақытта белгілі ортадан тепкіш секциялық сораптардың әр түрлілігі ұсынылған бір жалпы конструктивтік сұлба бойынша дайындалған. 1.1.



1-жұмысшы дөңгелек; 2-мойынтірек торабы; 3-білік нығыздауыш;
4-айдалған сұйықтықтың кірісі; 5- айдалған сұйықтықтың шығысы; 6- білік
нығыздауышы; 7- мойынтірек торабы.

1.1 Сурет –Секцонды ортадан тепкіш сорап қондырғысы

ЦНС типті әр сорапқа тән:

- секциялық корпус, әр секцияда жұмыс дөңгелегі мен бағыттаушы аппарат бар;

- тартпалы шпилькалардың көмегімен секциялар тартылған алдыңғы және артқы қақпақтардың болуы (сызбада көрсетілмеген));

- алдыңғы және артқы қақпақтар келтеқұбырлармен сәйкес келетін (соратын) және бұратын (арынды));

- біліктің көлденең орналасуы;

- бір жақты кіріспен жұмыс дөңгелектерінің дәйекті орналасуы;

- шығарылатын подшипникті жұмыстардың болуы;

- біліктің соңғы екі тығыздауышының болуы;

- осьтік күштерді түсіруге арналған құрылғының болуы.

Жұмыс дөңгелегі бағыттаушы аппаратпен бірге сорап сатысы деп аталады, ал корпусқа орнатылған сорап сатысы тығыздаушы элементтермен бірге сорап секциясы деп аталады.

Көпсатылы ортадан тепкіш секциялық сораптың жұмыс принципі мынадай:

Алдыңғы қақпағы (1.1- сурет.) оның ішкі қуысына өтеді және одан кинетикалық энергия қорын алатын қалақшадан жұмыс дөңгелегіне түседі. Одан әрі сұйықтық бағыттаушы аппаратқа қимасында кеңейетін арналармен өтеді, онда ағынның жылдамдығы азаяды және Д. Бернулли тендеуіне сәйкес кинетикалық энергияның әлеуетті энергияға түрленуі жүреді (жылдамдық арыны манометриялық энергияға ауысады). Бірінші сатыдан кейін сұйықтық екінші, үшінші және кейінгі сатылардан өтеді, олардың әрқайсысында манометрлік арынның ұлғаюы болады. Көп сатылы ортадан тепкіш сорап үшін ол дамытатын арын жұмыс дөңгелектерімен дамытатын арынның суммасын ұсынады. Соңғы сатыдан кейін сұйықтық артқы қақпақтың қуысына түседі және сол жерден бұрғыш келте құбыр арқылы айдау құбырына жіберіледі.

Жұмыс дөңгелектерімен білікке берілетін гидростатикалық қысымның солға бағытталған осьтік күштерін теңестіру үшін сорапта артқы қақпақтың 5қуысында камерада білікке отырғызылған жүк түсіретін құрылғы диск түріндегі (гидропята) және қақпақтың корпусында орнатылған жастықтар (подпятник) бар. Сораптың соңғы сатысынан кейінгі сұйықтықтың қысымы біліктің қорғаныс жейдесі мен қақпақтағы саңылаудың ішкі беті арасындағы саңылау арқылы түсіру дискісіне беріледі және осьтік күш дискіге оңға шығады. Түсіру дискісі мен тіреуіш арасындағы саңылаудың еніне байланысты диск алдындағы және одан кейінгі қысымның ауытқуы өзгереді, нәтижесінде теңдеуші күш де өзгереді. Осыған байланысты, жоғары қысымды сорғыштарда ОСС ротор тіректерде сырғанау подшипниктері түрінде орнатылған, бұл оған осьтік бағытта араласуға және әртүрлі жаққа әрекет ететін күштердің теңгерімсіздігін автоматты түрде жоюға мүмкіндік береді.

Тесік арқылы өтетін сұйықтық алдыңғы қақпақтың қуысына құбыр бойынша шығарылады. білікке арналған саңылауларды герметизациялау үшін алдыңғы және артқы қақпақтарда тығыздама немесе бүйірлік тығыздауыштар орнатылады.

1.2 Ортадан тепкіш сораптардың негізгі параметрлері мен олардың істен шығу себептері

ОСС-180 сорабының конструкциясы бір корпустық негізде 10,5-тен 19 МПа-ға дейін айдау қысымымен төрт модификацияны құруды ескере отырып әзірленген.

Сорап ОСС-180 ортадан тепкіш, көлденең, секциялық, бір жақты орналасқан жұмыс дөңгелектері, гидравликалық бесінші, сырғанау мойынтіректері және соңғы-алдыңғы және артқы-құрамдастырылған типті тығыздағыштар (АГ-1 МЕСТ 5152-77 маркалы жұмсақ тығыздама толтырғышы бар саңылаулы тығыздағыштар және тығыздағыштар), сондай-ақ сорап бөлшектерін өзгертпей тығыздаманың корпусын тығыздағышқа ауыстыру арқылы орнатылатын Т-2-105 типті бүйір (торцалы) тығыздағыштары бар пайдалануға есептелген.

1 Кесте – ОСС типті сораптардың негізгі жұмысшы параметрлері

№ П/П	Көрсеткіштің атауы	Көрсеткіштің мәні мен мағынасы
1	2	3
1	Сораптың жұмыс режимі	Периодты / үздіксіз
2	Сораптың номиналды арыны, м	44 - тен 880 дейін
3	Сораптың номиналды берілісі, м ³ /сағ	13, 38, 60,105, 110, 180, 300, 500, 850, 1000
4	Сораптың кірісіндегі қысым, МПа (кгс/см ²)	0,03 (0,3) - 0,6 (6,0) - 3,1 (31)* дейін
5	Білік нығыздаушының түрі	Сальникті. Торцалы бір жақты. Торцалы екі жақты.
6	Бөлшектің материалына байланысты сораптың орындалуы	0 – Жалпы орындалу; И –тозуға төзімді орындау; К – коррозияға төзімді орындау.
7	Осьтік ығысуды жеңілдетіліп орындалу	Гидропят түріндегі ротордың осьтік Күшін гидравликалық түсіру;
8	Сорап ПӘК, %**	ЦНС 13 - 70...350 сораптар үшін 48% кем емес ЦНС 38 - 44...220 сораптар үшін 69% кем емес ЦНС 60 - 66...330 сораптар үшін 71% кем емес ЦНС 180 - 85...425 сораптар үшін 70% кем емес ЦНС 500 - 160...880 сораптар үшін 71% кем емес
9	Кавитациялық қор, м.	3 - 6 (өндірушіге байлаысты)

Ескертпе:*ЦНС 110*550 және ЦНС 180 * 650 сораптары үшін.

Ескертпе: **ПӘК көрсеткіштері температурасы 25°C, тығыздығы 997 кг/см³ су үшін көрсетілген.

Саңылаулы нығыздауыш сорап жұмыс істеуі кезінде 0,6-тен 3 МПа-ға дейінгі кіріс келте құбырындағы қысым кезінде қысымсыз сыйымдылыққа су бұрумен тығыздаманы түсіруге арналған. Егер кіріс келте құбырындағы қысым 0,1 МПа-дан кем болса, ауа өткізгіш қуысына тығыздамалар арқылы кіруді жою үшін, сондай-ақ тығыздаманы салқындату үшін соңғы тығыздағыштарға су беру көзделеді.



1.2 Сурет – ОСС сораптарының істен шығу себептері

1.2 суреттің графигінде көрсетілгендей зауыттық брак және технологияның бұзу соңғы орын алады,. Берілген сипаттамалар техникалық құжаттамада көрсетілген [Б қосымшасы] - ге сәйкес келмейді. Осыдан жабдықты дұрыс таңдаудың келесі проблемасы туындайды. Дұрыс пайдаланбаумен байланысты. Тексерілген сорап агрегаттарының шамамен 30% - ы қабатқа суды айдайтын циклдық режимде жұмыс істейді. Су айдайтын циклдық режим кезінде бастапқы кезеңде сораптар төмен арынмен жұмыс істейді және ҚҚҰ жүйесінде есептік режимге шығару үшін жоғары шығындар талап етіледі.

Көпсатылы сораптың құрылымы оның корпусында жеке секциялар бар, олардың саны жұмыс доңғалақтарының санына қарағанда бір бірлікке аз. Бұл жұмыс дөңгелектерінің бірі алдыңғы қақпақта орналасуына байланысты. Сорап корпусының осындай конструкциясының арқасында сол берілісте арынды ұлғайту және азайту мүмкіндігі бар. Әр жұмыс дөңгелегін жасайтын арынды есептеуге болады.

Осы әлемдегі барлығы сияқты, бұл сораптардың конструкциясы өзіндік кемшіліктеріне ие. Жұмыс кезінде олар есептеу деп саналатын қасиеттерді көрсете алмайтынына байланысты, өз мақсатына сәйкес келетін құрылғыны

таңдау қиын. Болашақ сораптың параметрлерін дұрыс емес пайдалану және дұрыс таңдау оның істен шығуына әсер етуі мүмкін.

Бұл туралы куәландырады:

- сұйықтықтың аз қысымы;
- діріл және шу қажет деңгейден көп

Жалпы жұмыс параметрлері:

- 30-дан 1000 м³/сағ дейінгі диапазонда сұйықтық беру;
- сұйықтық қысымы: 2300 м дейін;
- сорап пәк: 83% дейін;
- корпуста пайда болатын максималды қысым 270 кгс/см² құрайды.

Тұрақты ұзақ уақыт жұмыс істеу үшін ортадан тепкіш ОСС сорап 2-6 метр тіреуішпен қоректендіру қажет. Мұндай тіреусіз кавитация есебінен осы сораптардың тез бұзылуы болады. Егер су температурасы + 45°С жоғары болса, тіреуді пропорционалды түрде арттыру қажет. Қабат қысымын ұстау жүйесінде тығыздығы 1200 кг/м³ дейінгі агрессивті температурасы 80°С дейін күкіртті сутегі бар мұнай кәсіпшілігі суларын мұнай қабаттарға айдау үшін ОСС – 180 типті орталдан тепкіш сораптар кеңінен қолданылады. Олар:

- (жоғары қысымды) қабаттық қысымды ұстап тұру мақсатында ұңғымаға суды айдауға арналған. ОСС 180 типті сораптардың конструкциясы бір корпустық базада 9,5-19 МПа айдау қысымымен үш модификацияны құруды ескере отырып әзірленген.

- роторды міндетті динамикалық теңгере отырып, бекіту өлшемдерін өзгертпей, басу төлкелерін орнатып, сатылар санын азайту арқылы (2-ден артық емес) жұмыс сипаттамасының өзгеруіне жол береді.

Артықшылықтары:

- 1) біркелкі беру және тұрақты қысым;
- 2) құрылғының қарапайымдылығы және қызмет көрсету жеңілдігі;
- 3) жылдам, жеңіл;
- 4) реттеу қарапайымдылығы;
- 5) сорудың жоғары биіктігі;
- 6) ластанған сұйықтықтарды айдау мүмкіндігі;
- 7) беріліс пен арынды өзгертудің шектері.

Кемшіліктер:

- 1) айдалатын сұйықтықты алдын ала құю қажет;
- 2) сору желісін жоғары герметизациялау қажет;
- 3) беріліс пен арынның үздіксіз байланысы;
- 4) ПӘК-ің беріліс пен арынға тәуелділігі;
- 5) Аз беріліс мәні және үлкен тұтқырлықты ұйықтықтар кезінде төмен

пәк.

Кез келген ортадан тепкіш конструкция диск қалақтарының өзара әрекеттесуі принципі бойынша негізделеді, ол айналу және суды айдау. Айналмалы диск сұйықтықты шығу тесігіне итереді. Босаған қуыс сұйықтықпен қайтадан толтырылады. Ол қысыммен орнату мен құбырға түседі. Қондырғыдан су шыққаннан кейін, ол аппараттық арналар арқылы өтіп, дөңгелектерге қысыммен түседі. Содан кейін су айдау құбырына түседі.

Сорап жұмыс кезінде сұйықтық қысымы күшейтіледі. Бұл күш роторды сору жағына тартады. Бұл факторды болдырмау үшін аппаратта түсіру элементі орнатылады. Бұл элемент білік сақинасынан, төлкеден тұрады. Ротордың айналуын электр мотормен жүзеге асырады. Электрқозғалтқышы төлкелі типті муфтасы арқылы сораптың корпусына орнатылған. Ротор сорапқа қатысты сағат тілі бойынша айналуы тиіс.

2 Ағынды аппараттардың теориясының даму тарихы және практикалық қолданылуы

Өнеркәсіпте ағынды сораптарды қолдану біздің елде де, шетелде де белгілі, әрі кең таралды. Мұнай өнеркәсібінде ағынды сораптарды қолдану туралы алғашқы жарияланым 1933 жылы АҚШ-та пайда болды. Бірақ алғашқы сынақтар Техаста 1970 жылы ғана өткізілді. Екі ұңғымада жұмыс сұйықтығы ретінде мұнай, ал үш ұңғымада су пайдаланылды. Сұйықтық өндіру 13 – 160 м³/тәулік құрады. 1975 жылы ұңғымаларда 200 ағынды сорғы жұмыс істеді. 1988ж.ұңғымалық ағынды қондырғы құрылды. Қондырғыда ағынды сорап және пакер бар.

Пакер сорап-компрессорлық құбырлар колоннасына орнатылды. Мұндай қондырғының конструкциясы қондырғы жұмыс істеп тұрған кезде пакерлік аймақта жұмыс істеуге мүмкіндік бермейді, сондықтан мұндай қондырғыны пайдалану мүмкіндігі шектеулі. Қазіргі уақытта АҚШ фирмалары ұңғымаларды игеру кезінде, жоғары газ факторы бар мұнай өндіру кезінде, көлденең ұңғымаларды пайдалану кезінде, Теңіз кен орындарында ауыр мұнай көтеру үшін ағынды сораптарды қолданады.

Ағынды сораптарды өнімді суландыру басталған кезде қолдануға болады. Қабатқа депрессия артты. Ол 2,4 МПа-ға жетті, осыған байланысты ұңғымада сұйықтықты іріктеу 320 м³/тәулікке дейін артты. 1992 жылы Ұлыбританияда қат аймағында түрлі технологиялық жұмыстарды жүргізуге мүмкіндік беретін ұңғымалық ағынды қондырғы әзірленді. Бұл қондырғыда қайта айдалатын ортаны өндіруді арттыру мақсатында қабатқа әсер ету мүмкіндігі қарастырылмаған, себебі энергия беру мүмкіндіктері шектеулі.

Демек, ұңғыма аралық аймақты тазалау жұмыстарын тиімді жүргізуге мүмкіндік жоқ. 1996 жылы ПӘК жоғарылататын ұңғымалық ағынды қондырғы әзірленді. Бұл қайта айдалатын ортаның біркелкілігін арттыру есебінен болады. Осы уақыт кезеңінде ұңғыманы игеру және пайдалану тәсілі әзірленген, ол қабаттық сұйықтықтың дебитін өлшеуді және әр түрлі режимдерде забой қысымын бақылауды жүзеге асыруға мүмкіндік береді. Игеру үшін қашықтан тереңдік манометр қолданылады.

Ақпаратты жіберу каротаж станциясын пайдалана отырып, кабель бойынша жер бетіне жүзеге асырылады. Өкінішке орай, бұл тәсілді қолдану жоғары материалдық-техникалық және еңбек шығындарын талап етеді, соның салдарынан оны қолдану саласы тарылады. 1997 жылы забой қысымын реттеуге мүмкіндік беретін ұңғымалық ағынды сорап қондырғысы ойлап тапты. 1999 жылы Ұңғымаларды жууға арналған ағынды сорап әзірленді. Сорғының тығыздағыш пакетінің қарапайым құрылымы бар. Пакермен орындалған ағынды сорғыш шөгінділер аймағынан шығаруға болады, сондықтан оның ластанған ұңғымаларда жұмыс қабілеттілігі артады.

Ресейдің мұнай өнеркәсібінде ағынды сораптарды қолдану 1958 жылы Әзірбайжанда басталды. Мұнай ұңғымаларындағы құмды тығындарды жууға арналған жерүсті және батырмалы жабдықтардың жылжымалы кешені құрылды. Кешеннің негізгі элементтері гидромониторды саптамасы бар ағынды

сорап және екі қатарлы лифт болды. А. А. Богданов пен З. С. Помазкованың әзірлеген ағындық сорғыны есептеу әдістемесіне сәйкес эмпирикалық тәуелділік негізінде, $P_p/P_n = 26,3$ ағындық сорапқа кіре берістегі жұмыс және инжектелетін сұйықтықтар қысымының арақатынасы. Ұңғымаларда жұмыс жүргізу кезінде бұл арақатынас орын алды. Сондықтан есептеу әдістемесі практика талаптарын қанағаттандырды.[14] Шығару проблемасы қатты фазаның ұңғымадан көмегімен ағынды сорғыларды өзекті болып табылады және қазіргі уақытта. Ю. А. Цепляевтің басшылығымен 70-жылдары Гипротюменнефтегаз институтында мұнай ұңғымаларын пайдалану үшін ағынды сорғыларды қолдану мүмкіндіктері туралы зерттеулер басталды. Су ағатын сорғылардың алғашқы кәсіптік сынағы Батыс Сібірдің кен орындарында (4 мұнай ұңғымасында) 1969-1971 ж.ж. жүргізілді. Сынақтар мұнай ұңғымаларын пайдалану үшін сораптарды қолданудың принципті мүмкіндігін көрсетті.

И. М. Губкин атындағы Мұнай кен орындарын игеру және пайдалану кафедрасында мұнай өндіру кезінде ағынды сораптарды қолдану әдістерін әзірлеу және жетілдіру бойынша зерттеулер жүргізілді. И. Т. Мищенко басшылығымен "ЭОТС-АК" типті тандемді қондырғыларды жетілдіру бойынша жұмыстар жүргізілді, пайдаланудың күрделі жағдайларында ұңғымалардан сұйықтықты көтеру үшін жерүсті жетегі бар ағынды сорғы қондырғыларын жетілдіру бойынша жұмыстар жүргізілді. Ұңғымаларды игеру және мұнай өндіру үшін ағынды сорғыларды қолдану теориялық және практикалық қызығушылық тудырады. Ағынды сорғылар жинақы, күшті, коррозияға және абразивті тозуға төзімді жылжымалы бөліктері жоқ.

2.1 Ағынды сорап: принциптік схема және жұмыс процесі

Екі жүз жылдан астам ағынды сораптарды техниканың түрлі салаларында пайдаланады. Осы уақыт аралығында есептеу әдістемесі, конструкция үнемі жетілдірілді; техниканың қандай да бір саласында қолданудың жаңа тәсілдері ұсынылды; аппарат жұмысының оңтайлы режимдері негізделді. Ағынды сораптың эволюциясы оның тиімділігін арттыруға және қолдану саласын кеңейтуге мүмкіндік берді.

Ағынды сорап (АС) сұйық орта ағынымен орындалатын жұмыс есебінен сұйық орталарды айдауға арналған құрылғы болып табылады. Ғылыми-техникалық және патенттік әдебиетте бұл құрылғылардың басқа да әртүрлі атаулары бар, мысалы, сұйық эжекторлар, инжекторлар, гидро-арынды сораптар, гидроэлеваторлар және т.б. алайда олардың "ағынды сораптар" атауын дұрыс деп санаған жөн, ол олардың эжекторлық жұмыс принципін іске асыратын ағынды аппараттардың неғұрлым кең тобына жататынын сипаттайды.

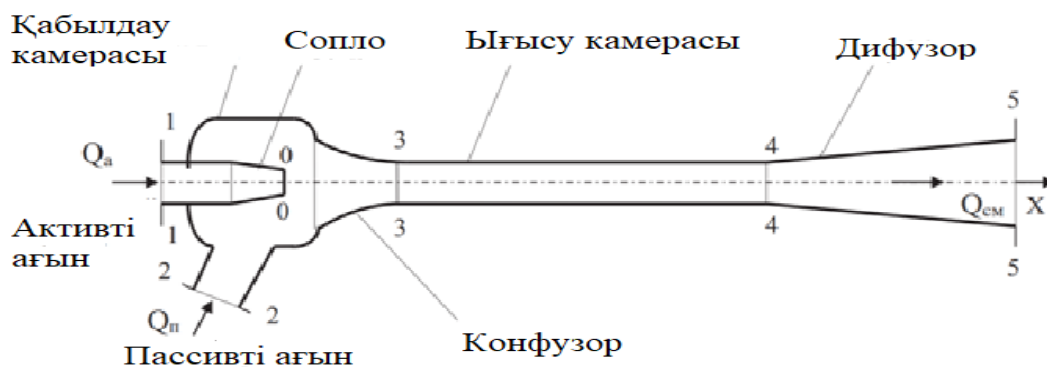
Олардың басты артықшылығы бөлшектер мен тораптардың істен шығуына, сондай-ақ сұйықтықтың қалыпты айдалуын бұзатын әсер ету кезінде

тұрақты жұмыс істеу қабілетіне байланысты ерекше сенімділік болып табылады.

Тек ағынды сораптар ғана айдалатын ортада газ және қатты қосылыстардың болуына аз сезімталдыққа ие, бұл құрамында газ бар және ластанған сұйықтықтарды айдау кезінде өте маңызды болып табылады. Олар кез келген ортаға, соның ішінде агрессивті және радиоактивті ортада пайдаланылуы мүмкін. Жұмыс кезінде ластанған орталарда [37, 39, 43, 56] олар сүзгілерді орнату қажет емес, айтарлықтай пайдалану шығындарын төмендетеді.

Ағынды сораптың жұмыс процесі қоршаған ортаның қозғалысын жоғары жылдамдықты ағынға бастау қабілетіне негізделген. Физикалық құбылыс-эжекция (француз сөзінен "ejection"), егер соплодан сұйықтық немесе газ ағысын босатса, ол айналасында газдың, сұйықтықтың немесе қатты сусымалы материалдардың бағытталған қозғалысын жасайды. Ағыс пен арынның өзара әрекеттесуінің периметрі бойынша қарқынды масса және ағындардың энергия алмасуы, сондай-ақ олардың өзара араласуы жүреді. Жоғары жылдамдықты ағын (белсенді ағын) және бағытталған ағын (пассивті ағын) - сұйықтық

Ағынды сорап келесі негізгі элементтерді қамтиды: сопло, қабылдау камерасы, конфузур, жұмыс камерасы және диффузор. Ағынды сорапты ағын бөлігін схемасы 1.1. суретте көрсетілген. Онда тән сипаттық тірі қималар ($i=0,1...5$) - оның жекелеген элементтерінің шекараларында көрсетілген.



2.1 Сурет – Ағынды сораптың принциптік схемасы

Белсенді ағын ағынды сорапқа сопло арқылы келіп түседі, өзінмен қабылдау камерасынан пассивті ағынды алып келеді. Қоршаған ортаны бағытталған қозғалысқа тарту ағындағы қозғалу күші есебінен жүреді, бұл ретте қабылдау камерасында қысым төмендейді, бұл оған пассивті ортаның келуін қамтамасыз етеді.

Жұмыс камерасында араласу процесінде белсенді және пассивті ағындар арасындағы қозғалыс санымен алмасу жүреді және нәтижесінде белсенді ағыннан пассивті ағынға энергияның бір бөлігін беру. Нәтижесінде араластыру камерасының шығуында қоспа ағыны қалыптасады. Жұмыс камерасынан кейін диффузор өтіп, онда кинетикалық энергия деңгейін арттыра отырып, жалпы ағын тұтынушыға тасымалданады. Белсенді және пассивті ағындарды

карқынды турбулентті араластыру ағынның шекаралық қабатында жүзеге асырылады, ол эжектирленетін жоғары жылдамдықты ағыннан кинетикалық энергияның ішінара берілуімен сүйемелденеді.

Эжектирленетін ортаның бөлшектері ағынның шекаралық қабатына үздіксіз тартылады, соның арқасында сұйықтықтың ағыстағы жалпы шығыны шүмектің кесігінен алып тасталуына қарай өседі. Кейбір қимада шекаралық қабаттың өсуі оның жұмыс камерасының қабырғасымен шектелуіне байланысты тоқтатылады. Бұл қимадан бастап, белсенді сұйықтық ағысына эжектелетін ортаның жаңа массаларын тарту тоқтатылады, алайда ағындар арасындағы энергия алмасу сақталады, бұл ретте аралас орта ағынының жылдамдықтарын біртіндеп теңестіру жүреді.

Жүйедегі ағынды сорғының жұмысы келесі параметрлерді көрсетеді: белсенді Q_a , пассивті Q_p және жалпы Q_{cm} ағындардың көлемдік шығыстары; арын аппарат алдындағы белсенді H_1 , пассивті ағын H_2 , Шығыстағы қоспа ағыны ағынды сорғы H_5 .

Ағынды сорап жұмысының негізгі көрсеткіштері болып табылады: қолда бар қысымы белсенді ағынының $H_{1-2} = H_1 - H_2$ - асып меншікті энергиясы белсенді ағынының алдында сопло үстінен меншікті энергиясын пассивті ағынның қабылдау камерасында; қысымы ағынды сораптың $H_{5-2} = H_5 - H_2$ - айырмасы үлестік энергия пассивті ағынның шығу және кіріс бөлігі; өнімділік (егер қарауға аппараты ретінде сорап, онда ескеру керек шығыны пассивті ортаның Q_p , ал егер аппарат ретінде араластырғышты қарастырсақ, онда шығыны қоспаны Q_{cm} газдың асқын ағыны ұлғайтқышқа өтеді).

Механикалық сорапқа қарағанда, оның жұмысы әдетте екі параметрмен сипатталады: сораптың қысымы және оны беру, ағынды сораптың жұмысы төрт параметрмен сипатталады: сорап қысымы, белсенді ағынның қысымы, белсенді және эжектелетін ағынның шығыны. Бұл ретте пассивті ағынның қысымы мен шығыны аппараттың ағынды бөлігінің геометриясына ғана емес, сонымен қатар қолда бар Арынға және белсенді ағынның шығынына да байланысты. Сондықтан жүйедегі ағынды сораптың жұмысын талдау, оның сипаттамаларын зерттеу және есептеу, әдетте, өлшемсіз координаттарда орындалады. Келесі зерттеулер мен есептерде келесі өлшемсіз параметрлерді қолданамыз: салыстырмалы қысым:

$$h = \frac{H_{5-2}}{H_{1-2}} = \frac{H_5 - H_2}{H_1 - H_2}, \quad (2.1)$$

эжекция коэффициенті (катыстық шығын):

$$q = \frac{Q_p}{Q_a}, \quad (2.2)$$

Соплоның катыстық шығыны:

$$\Omega = \frac{A_0}{A_3}, \quad (2.3)$$

мұндағы A_0 —соплонның шығу қимасының ауданы;

A_3 – ығысу камерасының кіру қимасының ауданы.

Салыстырмалы параметрлердің өзгеру диапазоны шектелген: салыстырмалы қысым $0 \leq h \leq 1$, Эжекция коэффициенті $0 \leq q < (1-\Omega)/\Omega$. Сиялы сорғының маңызды геометриялық параметрі-осындай сорғылардың жиынының негізгі геометриялық параметрі болып табылатын және $0 \leq \Omega \leq 1$ шегінде өзгереді.

Салыстырмалы өлшемсіз параметрлердің байланысы:

$$q = \frac{\varphi \cdot (1-\Omega)}{\Omega}, \quad (2.4)$$

мұндағы $\varphi = v_{32}/v_{31}$ – сырғу коэффициенті, ол $0 < \varphi < 1$ шегінде өзгереді. Мұнда v_{32} және v_{31} -жұмыс камерасының кіріс қимасында эжектелетін және белсенді ағындардың жылдамдығы.

Эжектор жұмысының тиімділігі пайдалы әрекет коэффициентімен сипатталады (пәк):

$$h = \frac{Q_n \cdot H_{5-2} + K \cdot Q_a \cdot H_{1-2}}{Q_a \cdot H_{1-2}}, \quad (2.5)$$

мұндағы K – белсенді ағынның қалдық энергиясын пайдалы пайдаланудың өлшемсіз коэффициенті, $0 \leq K \leq 1$. Өлшеусіз параметрлердің өзара байланысы $h=f(q, \Omega)$, ағынды сорғының маңызды сипаттамасы болып табылады.

2.2 Ағынды сораптардың жұмыс режимдері

Ағынды сорап пен гидравликалық жүйе параметрлерінің өзгеру қарқынына байланысты АС жұмысының барлық режимдерін стационарлы және стационарлы емес деп бөлуге болады. Стационарлы режимдер сораптың барлық параметрлерінің уақыт бойынша өзгермеуімен сипатталады. Алайда, мұндай режимдерде жұмыс істеу сирек кездеседі, өйткені әрдайым кездейсоқ ауытқулар бар.

Пассивті ағынның шығысы ұлғаятын өтпелі режимдер екпінді болып табылады, ал азаю кезінде - тиісінше тежелу режимдері болып табылады. Жылдам режимдері құрады өсуі шығының белсенді ағынының азаюы гидравликалық кедергі соратын немесе айдау құбыры АС, сондай-ақ қысымының төмендеуі шығу АС немесе оның кірісіндегі қысымы. Тежеудің өтпелі режимдері гидравликалық жүйенің көрсетілген параметрлерінің қарама-қарсы өзгеруі кезінде орын алады. Стационарлы емес кезеңдік режимдер сондай-ақ гидрожүйенің анықтаушы параметрлерінің циклдік өзгеруі кезінде немесе сорап пен жүйенің ағынды бөлігінде тұрақсыз гидромеханикалық процестердің пайда болуы нәтижесінде АС-да қалыптастырылады.

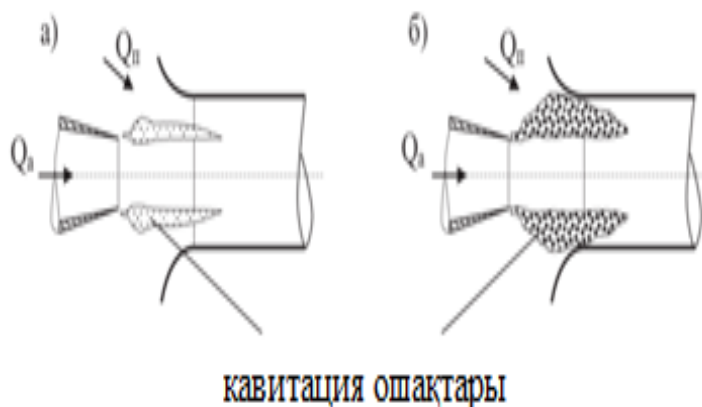
АС параметрлерінің динамикалық өзгерістері араластыру камерасының шектелген кеңістігіндегі жерсеріктік ағынымен турбулентті эжекторлы ағыстың өзара әрекеттесуі нәтижесінде болады.

АС жұмысы ортаның бүтіндігін бұзбай немесе сұйықтықта каверналар пайда болатын жарылыстардың пайда болуымен жүргізілуі мүмкін. Кавитация кавернаның өсу және лақтырудың динамикалық процесін білдіретін стационарлы емес құбылыстарға жатады [21, 22, 36], ол өз кезегінде ағын сорабының параметрлерінің стационарлы емес өзгерістеріне әкеледі [17].

2.3 Ағынды сораптарда кавитацияны зерттеу және есептеу

Ағынды сораптарды есептеудің маңызды міндеттерінің бірі оның ағын бөлігінде кавитация - ағынның бұзылуы, сондай-ақ кавитациялық құбылыстардың даму деңгейін саналы анықтайтын сандық бағалауды (параметр) таңдау пайда болатын жағдайларды анықтау болып табылады.

Көп жағдайларда кавитация теріс құбылыс болып саналады, өйткені ол жабдыққа үлкен зиян келтіреді. Көптеген жұмыстар кавитация және оның жабдыққа әсерін зерттеуге арналған. Негізгі нәтижелері кітаптарында ұсынылған Ж. Биркгофа және Э. Сарантелло [24], В. М. Ивченко [31], Р. Кнэпп [29], Г. В. Логвинович [49], А. Д. Перник [40], В. В. Рождественский [85] және т. б. [25, 22, 40, 50, 55, 56].



2.2 Сурет – Кавитация кезіндегі ағынды сораптың жұмыс камерасының кіріс учаскесіндегі ағынның құрылымы

Ағынды сораптарда дамыған кавитацияны зерттеу жұмыстарының нәтижелері параметрдің тәжірибелі мәндері көрсетілген 1.1-кестеде келтірілген (1.30) формуласы бойынша есептелген кавитация, салыстырмалы алаңның мәні кавитацияның пайда болу және даму себептері және т. б. 1.1-кесте сондай-ақ, ағынды сораптағы кавитация эксперименталды зерттеу нәтижелері мақаласында келтірілген [15].

2.1 Кесте – Ағынды сораптарда кавитация зерттеулерінің тәжірибелік деректері

Автор		сұйықтық	Кавитация параметрлері		Кавитация басталуының себебі
			Формула	Мәні	
Кавитация					
Bonnington S.T. [8]	0,25; 0,561	Су	(1.30)	1-1,5	P ₂ және P ₅ төмендеуі
Gosline J.E., O'Brien M.P. [9]	0,25; 0,327; 0,418	Су		1,02-1,67	P ₂ төмендеуі
Cunningham R.G. [15]	0,1-0,6	Май		1,35-1,67	P ₂ төмендеуі
Cunningham R.G. [15]	0,174	Май		0,83	v ₀ жоғарылауы
Vogel R. [24]	0,334	Су		1,37-1,54	P ₂ төмендеуі және v ₀ ұлғаюы
Schulz F., Fasol K. H. [10]	0,107	Су		1,22-1,37	P ₅ төмендеуі
Maslin A. B. [11]	0,351; 0,41; 0,425; 0,48; 0,53	Су		1,05-1,25	P ₅ төмендеуі
Murdoch J. W. [13]	0,0236; 0,0511	Май		1,74-2,12	P ₂ төмендеуі
Mueller N. H. [22]	0,2	Су		1,1-8	P ₅ төмендеуі
Lewis R. A. [17]	0,055	Ртуть		1,39	P ₂ төмендеуі
La Verne M. E. [16]	0,107	Су		0,625	v ₀ ұлғаюы
Hansen A. G., Na T. Y. [11]	0,25	Су		1,36	төмендеуі P ₂
Sanger N. L. [17]	0,066; 0,197	Су		0,8-1,33	төмендеуі P ₂
Cunningham R.G., Hansen A. G., Na T.Y. [15]	0,295; 0,34; 0,5	Су		0,1-1,33	төмендеуі P ₅
Brown F. B. [8]	0,129- 0,157	Май		0,8-1,5	төмендеуі P ₂

2.1-кестеде ұсынылған деректерді талдау көптеген авторлардың деректері бойынша дамыған кавитация параметрінің тәжірибелік мәндері бірліктен асып, 1,05 құрайды..1,67, дұрыс деп тану керек. Шынында да, өрнек Д. Бернулли теңдеуі болып табылады, қабылдау және араластыру камераларына кіру қималары арасындағы учаскеде пассивті ағын үшін жазылған. Теңдеуден дамыған кавитация параметрінің мәні бірліктен аз болмауы керек, өйткені егер дамыған кавитация параметрін бірліктен аз алса, онда араластыру камерасына кіру кедергісінің коэффициенті теріс болуы тиіс, бұл физикалық тұрғыдан мүмкін емес.

2.4 Ағынды сораптарды есептеудің әдістемелеріне шолу

Инженерлік практикада есептеудің эмпирикалық әдістерінің пайда болуы және қолданылуы ағынды сораптың жұмыс процесінің күрделілігіне байланысты. Бұл есептеу әдістеріне Фридманның жұмысы арналған [48].

Фридманды есептеу әдісінің негізіне h_ϕ сораптың салыстырмалы қысымы мен Ω геометриялық параметрі арасындағы тәжірибелік тәуелділік алынған:

$$h_\phi \cdot \frac{1}{\Omega} = 1 \text{ немесе } \frac{H_5 - H_2}{\varphi_H^2 \cdot H_1} \cdot \left(\frac{d_3}{d_0}\right) = 1, \quad (2.6)$$

сонымен қатар, салыстырмалы арын h_ϕ мен эжекция коэффициентінің q өзара байланысын білдіретін қисықтар тобы. Бұл жерде $\varphi_H^2 \cdot H_1$ – жұмыс ағынының жылдамдық арыны, сопло қимасында; φ_H – сопло жылдамдығының коэффициенті; H_1 – сорап алдындағы жұмыс ағынының толық арыны; d_3 – араластырғыш камераның диаметрі; d_0 – сопақ шығыстық қимасының диаметрі.

Есептеудің эмпирикалық әдістерінің артықшылығы оларды инженерлік есептеулерде қолданудың салыстырмалы қарапайымдылығы мен анықтығы, ал кемшілігі – эксперименттік зерттеулермен қамтылған жұмыс параметрлері мен режимдерінің диапазондарын пайдаланудың шектеулілігі болып табылады. Сонымен қатар, эмпирикалық әдістер (мысалы, ағынды бөлік элементтерінің кедергі коэффициенттері) негізінде құрылған кейбір нақты деректер басқа әдістерде де пайдаланылады.

Ағынды сорапты есептеу әдістерінің келесі тобы аппараттың жұмыс камерасында ағындардың араласу теориясына негізделеді. Ағындарды араластыру теориясы араластыру камерасының контуры шегінде бақылау бөлігіне қозғалыс санының теңдеуін, жеткізуші құрылғылардағы белсенді, пассивті ағындарға арналған Бернуллі теңдеулерін, диффузордағы қоспа ағынын және ағын бөлігі элементтерінің кедергі коэффициенттері үшін эмпирикалық тәуелділіктерді қолдануда құрылады.

Араластырғыш камерада болатын процестер күрделі және тиісті математикалық сипаттаманы талап етеді. 1870 жылы Рэнкин алғашқылардың бірі эжекторды есептеу үшін қозғалыс санының теңдеуін қолданды. Бұдан әрі мұндай тәсілді көптеген авторлар қолданды: Цейнер, Бержерон, тақырып, Ненько, Берман, Гибсон, Баяулин, Коржаев, Теперин, Свидерский, Каменев және басқалар. Өз үлгілерінде олар бақылау тірі қималардағы қысымды біркелкі, ал жылдамдық эпюралары – тікбұрышты [28, 35, 37] бөледі.

Бержеронның, Тиме, Берманның кейінгі жұмыстары Сейнердің теориясының дамуы болып табылады. Л. Бержерон Г. Цейнердің жұмысына негізделе отырып, өз зерттеулерінде Бержеронның, Тиме, Берманның кейінгі жұмысының ағын жылдамдығының ең тиімді мәнін айқындады Цейнер теориясының дамуы болып табылады. Л. Бержерон Г. Цейнердің жұмысына негізделе отырып, өз зерттеулерінде Бержеронның, Тиме, Берманның кейінгі жұмысының ағын жылдамдығының ең тиімді мәнін айқындады Цейнер

теориясының дамуы болып табылады. Л. Бержерон, г. жұмысына негізделе отырып Цейнер өз зерттеулерінде айнымалы бойынша энергия жоғалту теңдеуінен жеке туынды алып, қоспа ағынының жылдамдығының ең тиімді мәнінің өрнегін анықтады.

Л. Д. Берман, Сейнерден, Бержероннан және Тимедан айырмашылығы конфузор мен диффузордағы энергия шығынын қосымша есепке алады. Автор сорап жұмысын өлшемсіз параметрлермен сипаттайды және ағынды сораптың негізгі қысымды сипаттамасын шығарады:

$$h_B = \frac{H_5 - H_2}{\varphi_H^2 \cdot H_1} = \frac{2 \cdot \frac{1}{\Omega} + \tau \cdot \left(2 \cdot \frac{1}{1-\Omega} - \left(\frac{1}{1-\Omega} \right)^2 \right) q^2 \cdot \delta^2 - (2 + \varepsilon - p')(1+q)(1+q \cdot \delta)}{\left(\frac{1}{\Omega} \right)^2 - \tau \cdot \left(\frac{1}{1-\Omega} \right)^2 \cdot q^2 \cdot \delta}, \quad (2.7)$$

мұндағы $\delta = \rho_n / \rho_a$ – пассивті ағынның салыстырмалы тығыздығы;
 ρ_n – пассивті ағынның тығыздығы;
 ρ_a – активті ағынның тығыздығы;
 ε – конфузордағы араластыру камерасында және диффузордағы шығындарды есепке алатын кедергінің қосынды коэффициенті;
 p' - қысымды қалпына келтіру коэффициенті.

А. Гибсон ұсынған ағынды сорап теориясы да қозғалыс санының теңдеуіне негізделеді. Автор ағынды сорапты есептеу әдісін ұсынады, ол берілген диаметральды мөлшерлерде және толық жинақтарда кіру және шығу кезінде ағындардың жылдамдығы мен шығындарын анықтауға мүмкіндік береді. Ол энергия шығыны тежеудің төмендеуіне байланысты деп санайды. Эжекция коэффициентінің ұлғаюында азаяды. А. Гибсон теориясы және оған негізделген есептеу әдісі [8] берілген параметрлерге ағынды сорғыны жобалауға, оның жұмысының теориялық сипаттамасын құруға мүмкіндік бермейді. Автор сораптың ұзына бойлық өлшемін анықтау үшін ұсынымдарды келтірмейді.

К.К. Баулин өзінің теориясында ағынды сораптың қозғалыс саны теңдеуімен негіздейді. Автор эжекция коэффициенті мен салыстырмалы арын арасындағы байланысты орнатпайды, нәтижесінде аппаратты есептеу қиындайды. К. К. Баулиннің айтуынша, ағынды сораптың пәк-нің төмен мәні (0.25-тен артық емес) Эжекция табиғатымен алдын ала анықталады, яғни физикалық процестің мәнімен және аппараттың геометриялық формаларының жетілмегендігі есебінен едәуір аз дәрежеде жатқызылуы мүмкін. Мұндай бекіту қате, себебі ПӘК практикада 0.25 артық болуы мүмкін, ал ағынды сораптың геометриялық пішіні, әсіресе оның диаметральды және сызықтық өлшемдері тиімді аппаратты алу үшін шешуші мәнге ие.

Ағынды сораптардың жоғарыда аталған барлық аналитикалық зерттеулерінде есептеу модельдері жұмыс камерасындағы ағындарды араластыру кезінде энергия шығынын азайтуға бағытталған. Бұл тәсіл шектеулі, өйткені ол эжектордың ағымдық бөлігінде болатын құбылыстардың барлық түрін ескермейді. XX ғасырдың екінші жартысы эжекторларды есептеудің неғұрлым жетілдірілген әдістерінің құрылуымен ерекшеленді.

Есептеу әдістемесі сорғы жұмысы кезінде гидродинамикалық құбылыстарды сипаттайтын теориялық теңдеулерге, сондай-ақ эксперименталды деректерге негізделді. Ағынды сораптарды есептеудің ең көп қолданылатын әдістерін келесі авторлар ұсынады: Е. Соколов және Н.М. Зингер[27]; Л.Г. Подвидз және Ю.Л. Кирилловский [28]; В.К. Темнов, Э.Ф. Ложков және Е.К. Спиридонов [19]; R.G. Gunningham [5, 15]. Е.А. Соколов және Н.М. Зингер ұсынған әдістеме гидро-арынды сораптардың гидравликалық сипаттама теңдеуі қосымша эмпирикалық коэффициенттерді енгізе отырып, басқа орталарға қолданылатын импульстер заңына негізделеді

Бірақатар авторлар ағынды сораптың жұмыс процесінің аналитикалық зерттеулерін орындады, теңдеулердің базалық жүйесін спутникті ағында турбулентті ағыстың таралу заңдылықтарымен толықтырады. Екі ағынның беттерінде, белсенді және пассивті құйын пайда болады, себебі қысым төмендейді және қоршаған ортаны қызықтырады. Осылайша, белсенді ағынға ие энергия ағынның шекаралық қабатындағы құйынды түзуге, пассивті ағынның қозғалу хабарламасына және гидравликалық кедергіні еңсеруге жұмсалады [8].

Еркін ағыстар теориясы бойынша алғашқы жұмыстарды В. Н. Гончаров, Н. А. Ржаницын, Н. И. Телерен, К. М. Леонович, Е. А. Замарин жазған, оның негізінде а. Я. Миловичтің қозғалмайтын сұйықтықта ағыстың таралуы туралы теориясы жатыр, бұл қате болып табылады. Ф. Д. Цейтлиннің, И. М. Коноваловтың, А. Г. Полюшковтың, Г. Е. Мускевичтің, Г. Н. Абрамовичтің авторларының әрі қарайғы зерттеулері су басқан ағыстың кинетикалық энергияға қарағанда қозғалыс санының тұрақтылығына ие екенін куәландырады. Бұл жағдайда пассивті ағынның жылдамдығымен елемеу өрескел жақындау болып табылады. Осы зерттеулерге сәйкес, соплдан ағатын сұйықтық ағысы үш шартты учаскеге бөлінуі мүмкін: бастапқы, аралық, негізгі.

Осылайша, ұзақ уақыт бойы ағынды сорапты есептеудің көптеген әдістері әзірленді, жаңа құрылымдар ұсынылды, жұмыстың оңтайлы режимдері негізделді, нәтижесінде өнімділігі жоғары тиімді аппараттарды құруға алып келді. Сонымен қатар, теориялық деректер сораптың типтік өлшемдерінің кең ауқымында тәжірибемен жиі расталмайды, сондықтан әртүрлі әдістемелер бойынша ағынды сораптарды есептеу нәтижелері бір-бірінен айтарлықтай ерекшеленеді.

3 Ортадан тепкіш сораптар үшін тірек ретінде ағынды сорап қондырғыларын қолдану технологиясын таңдау және негіздеу

Гидро-ағынды сораптардың елеулі кемшіліктері бар, олардың қатарына ең алдымен мыналар жатады: автономды жетектің болмауы, қысым сұйықтығының бөгде көзін әкелу үшін пайдалану қажеттілігі; сораптың төмен ПӘК-і ең жақсы конструкцияларда 0,35-0,4 мәнінен аспайтын; жұмыс (белсенді) ортасы ретінде пайдаланылатын сұйықтықтың көп мөлшерінің біржола төгілуі және т. б.

Жеке орнатылған ортадан тепкіш немесе гидро-ағынды сорапқа тән аталған кемшіліктердің көбі ортадан тепкіш және ағынды сораптарды бірлесіп қолданатын қондырғыларды құру және пайдалану кезінде жойылуы мүмкін. Мұндай қондырғылар жеке гидро-ағынды немесе ортадан тепкіш сорапқа ие емес көрсеткіштер кешеніне ие. Ең алдымен, бұл сериялық ортадан тепкіш сораптардың мүмкіндіктерін кеңейтуге қатысты.

Атап айтқанда, ортадан тепкіш және ағынды сораптардың бірлесіп қолдану негізінде келесі артықшылықтарға қол жеткізуге мүмкіндік беретін қондырғылар құрылуы мүмкін:

- ортадан тепкіш сораптардың жұмыс сипаттамаларын кең ауқымда өзгерту (олар жасайтын арынды немесе берілісті бірнеше есе ұлғайту);

- сұйықты резервуардан (көзден) жоғары орналасқан ортадан тепкіш сораптармен көтеруге болатын тереңдікті ондаған, тіпті жүз метрге дейін ұлғайту);

- сородың вакуумметриялық биіктігінде жұмыс істейтін ортадан тепкіш сораптарда, сондай-ақ қыздырылған немесе тез қайнайтын сұйықтықтарда жұмыс істейтін сораптарда кезде кавитацияны болдырмау;

- қатты және (немесе) газ тәрізді қосылыстары бар гидрокоспаларды айдау;

- вакуум құру және газды сору(ағынды вакуум-сораптар), газ қысымын құру (ағынды компрессорлар));

- ауаны (газды) қоспалардан (сұйықтықтың диспергирленген ағысы бар ағынды қондырғылар) салқындату немесе тазарту; сұйық, қатты және газ тәрізді орталарды араластыру және ерітуді жүзеге асыру және басқа да көптеген функцияларды орындау.

Екінші жағынан, гидро-арынды және ортадан тепкіш сораптары бар әмбебап қондырғыларды құру сенімділік, дайындау және конструкцияның қарапайымдылығы, өздігінен сороды қамтамасыз ету, сұйық, қатты және газ тәрізді орталарды айдау мүмкіндігі бөлігінде ағынды сораптардың технологиялық артықшылықтарын барынша толық пайдалануға ғана емес, сонымен қатар ағынды сораптардың пәк-мен салыстырғанда қондырғылардың ПӘК-ін ұлғайтуға мүмкіндік береді, егер сұйықтықты (гидрокоспаларды) айдау бойынша жұмыстың көп бөлігін жоғары ПӘК бар ортадан тепкіш сорап жасайтын болса, ортадан тепкіш және ағынды сораптары бар қондырғылардың ПӘК жоғарылауына қол жеткізуге болады. Ағынды сорап ортадан тепкіш сорап жүзеге асыра алмайтын технологиялық функцияларды ғана орындайды

(өздігінен соруды жүзеге асыру, кавитацияны басу, газдар немесе қатты заттарды айдау).

Сораптар мен қондырғылардың негізгі көрсеткіштері. Техникалық әдебиетте келтірілген сораптар мен қондырғылардың көрсеткіштері мен сипаттамаларының алуан түрлілігі оларды пайдалану кезіндегі қиындықтар мен бірқалыпты емес. Сондықтан сораптар мен қондырғылардың жұмысын сипаттайтын негізгі көрсеткіштерді қарастыру қажет: технологиялық, эргономикалық және сенімді.

Әдетте, сорап (қондырғы) пайдаланылуы тиіс және сорапты (қондырғыны) пайдаланудан ең жоғары экономикалық әсерге сәйкес келетін оңтайлы көрсеткіштерді ажыратады. Ең жоғары ПӘК режиміндегі жұмысты оңтайлы режим деп жиі түсінеді. Көптеген жағдайларда сораптар мен қондырғылардың номиналды және оңтайлы жұмыс режимі сәйкес келмейді. Бұл нақты (өндірістік) жағдайларда сораптың (қондырғының) жұмыс сипаттамаларына сәйкес келмейтін қондырғы жұмысының қандай да бір көрсеткіштерін қамтамасыз ету қажеттілігімен түсіндіріледі.

3.1 Ортадан тепкіш сорапты біріктіріп ағынды сорап моделінің негізгі элементтері мен тораптарын есептеу әдістемесі мен бастапқы параметрлерін таңдау және негіздеу

"ОСС+АС" тандем қондырғыларымен ұңғымаларды тиімді пайдалануға ортадан тепкіш сорап (ОСС) және ағынды сораптың жұмысы оңтайлы режимде жұмыс істеген кезде келісілген жағдайда ғана қол жеткізуге болады.

Оңтайлы геометриялық параметрлері бар ағынды сораптың берілісі бес негізгі сипаттаманың функциясы болып табылады: ОСС-Тан түсетін күш (жұмыс) сұйықтығының қысымы мен шығыны; ағынды сорғыны орнату тереңдіктегі құбыр сыртындағы кеңістіктен инжектелетін өнімнің қысымы; ағынды сорғының шығысындағы қысым. Ағындық сорғының төмен түсу тереңдігін арттыра отырып, ағынды сораптың шығуында қарсы қысым өседі, бұл да соңғысының берілісінің төмендеуіне әкеледі. АС жұмысына әсер ететін жоғарыда аталған параметрлерден ағынды сорапқа кіретін қысым және ағынды сорапты лақтырылу қысымы оның төмен түсу тереңдігімен тікелей байланысты, яғни ағынды сорапты түсіру тереңдігі оңтайландырылған параметр болып табылады.

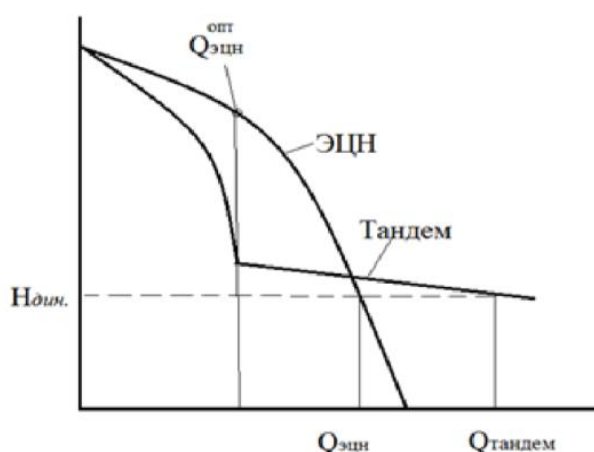
3.1 сурет - "Тандем" ОСС және батырмалы сорап - эжекторлық жүйесінің сипаттамаларын салыстыру координаталар Q – беріліс P – қысым 3.1 суретте көрсетілген.

Жұмыс сипаттамасы ОСС-ның түрі жүйенің ағыс аппаратымен құрастырылғанда өзгереді және жаңа сипаттамада екі аймақты бөліп көрсетуге болады: сол және оң. Егер батырмалы сорап-эжекторлық жүйе P дамушы қысымының жоғары мәндерінде сипаттаманың сол аймағында жұмыс істесе, ағындық аппарат сағалық штуцерінің рөлін орындайды, ал ұңғыманың дебиті ОСС берілісіне байланысты. P шағын мәндері кезінде сорап – эжекторлық жүйе

сипаттаманың оң бөлігінде пайдаланылады, ал ұңғыманың дебиті ОСС беріліс Q және ағынды аппаратының берілісінен Q қалыптасады.

Эжектордың ағынды бөлігінің геометриясын ұтымды жобалаумен сол және оң жақтар арасындағы шекара, тандем жүйесінің сипаттамалары оңтайлы Q режимінде ОСС ағымына сәйкес келетініне қол жеткізуге болады.

Бұл жағдайда сипаттаманың оң бөлігінде жүйенің жұмысы кезінде ОСС пайдалану режимі өзгеріссіз және тиісті оңтайлы болады, ал әр түрлі қарсы қысымдарда берілудің барлық өзгерістері P өзіне ағысты аппаратты алады. "Тандем" қондырғысының сипаттамасының оң бөлігінде жұмыс істеген кезде қосымша артықшылық батырмалы Электр қозғалтқышын және кабельдік ұзартқышты суыту жағдайларын жақсарту болып табылады.



3.1 Сурет – ОСС және "Тандем" жүйесінің сипаттамалары (ОСС+АС)»

Осылайша, сорап-эжекторлық жүйесі сипаттаманың сол жағында, жоғары қысымды аз ағымды қондырғы, ал оң жағында - жоғары өнімділігі төмен қысымды жүйе, бұл жағдайда ортадан тепкіш сорап артқы қысымның өзгеруіне қарамастан оңтайлы режимде жұмыс істейді. Сипаттаманың бұл формасы жүйеге сорап ұңғымаларының жұмыс режимдерінің кең спектрінде өзгеруге бейімделуге, сондай-ақ жерасты жөндеу кезінде ұңғымаларды игеру кезеңінен сәтті өтуге мүмкіндік береді.

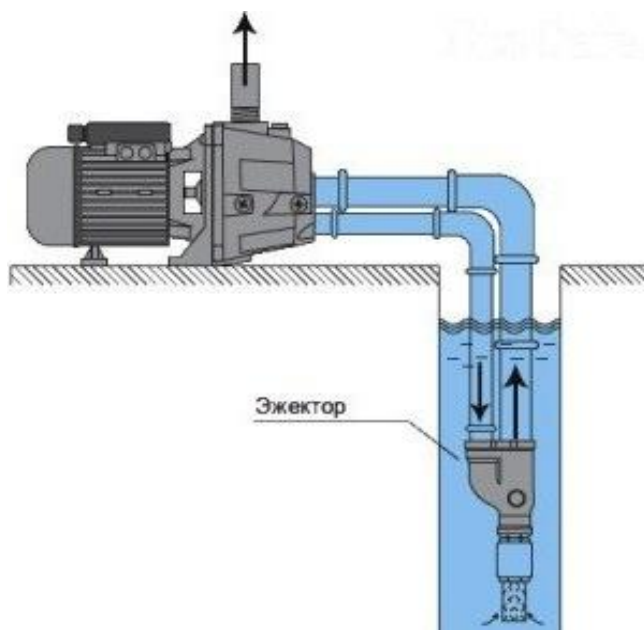
Негізгі бастапқы деректер жобалау және модельдеу жұмыс режимдерін тандемды сорап қондырғылары үшін тен фазалық сұйықтықтарды қызмет келесі негізгі технологиялық және конструктивтік параметрлері:

- талап етілетін беру және қысымы тандемды орнату шарттарына байланысты пайдалану;
- конструктивтік габариттік өлшемдері байланысты ұңғыма конструкциясы;
- параметрлері жоғары ағынының ОСС (дамушы қысымы мен сұйықтық шығыны);
- сұйықтықтардың қасиеттері (тұтқырлығы мен тығыздығы және т. б.);
- тандемді қондырғының батырылу тереңдігімен анықталатын ағынды эжекторға кіретін сорылатын сұйықтықтың параметрлері; - ағынды сорап элементтерінің конструктивтік параметрлері (жоғары қысымды шүмек және

диффузор, олардың алаңдарының арақатынасы, араластыру камерасының өлшемдері, диффузор өлшемдері және т. б.).

Ағынды аппараттарды құрастыру кезінде ең мұқият сопло мен кіріс мойындардың (горловина) өлшемдерінің комбинациясын модельдеу қажет, негізінен олардың параметрлерінің тиімділігін анықтайды. Қазақстанның кеніштері бойынша жиналған ақпаратты талдауға сүйене отырып, бастапқы параметрлердің негіздемесі және ОСС біріктіріп ағынды сорап моделінің негізгі элементтері мен тораптарын есептеу әдістемесі жүргізілді. Ағынды аппараттарды есептеу үшін әртүрлі әдістемелер бар, алайда олардың кейбіреулері белгілі бір мақсаттар үшін шектеулі қолдануға ие. көптеген эмпирикалық деректерді талап етеді, олардың дұрыстығы кейде күмән тудырады.

Басқалары орнатуда кавитацияның пайда болу режимін есептеуге мүмкіндік бермейді. СН есептеу әдістемелерін талдау негізінде ұңғыма жағдайларында ҚСҚ жұмыс режимдерін есептеу-эксперименталды үлгілеу әдістемесі әзірленді. Есептеу-эксперименталды модельдеу жобалаушылар арасында жақсы ұсынылған "MAPLE" бағдарламалық кешенін қолданумен жүргізілді.



3.2 Сурет – «ОСС+Ағынды сорап» сораптық жүйенің көрінісі

Орындау кезінде компьютерлік модельдеу жұмыс режимдерін қосарланған сораптарда мынадай жол берулер орын алады:

- сұйықтық өртелмейтін болып табылады;
- процестер изотермиялық өтеді, ал сораптың параметрлері өзгеріссіз қалады;
- ағынды сораптың кірісі мен шығысындағы кинетикалық энергия шығыны шамалы;
- сұйықтықтар біртекті және жақсы араласады;

- жоғары арвнды ағынның орташа жылдамдығы кіріс бөлігіне дейін сақталады.

Мұндай жорамалдар есептеу дәлдігіне қатты әсер етпейді және әбден мүмкін, өйткені өнімді ерітіндіде іс жүзінде ерітілген газ жоқ, тығыздығы бойынша қарапайым судан шамалы ерекшеленеді, ағынды аппараттағы жұмыс сұйықтығы ұңғыманың өнімді ерітіндісі болып табылады. Қазақстан кен орындарындағы ұңғымалар құрылымдарын талдау негізінде есептеу-Эксперименталды зерттеу және модельдеу үшін келесі параметрлермен сору ұңғымасының виртуалды моделі қабылданды (3.1-кесте).

3.1 Кесте Аралас сорап қондырғысының жұмыс режимін модельдеу үшін бастапқы деректер (ОСС+АС)

Параметр	Параметр мәні/өлшемі
Лифт құбырының диаметрі	90 мм
Ұңғыма тереңдігі (өзгереді)	50 дан 800 м – дейін
Сорап сұйықтық деңгейіне батыру тереңдігі (өзгереді)	35 дан – 55 м дейін
Сорап берілісі немесе ұңғыманың дебиті	от 50 до 800 м
Өнімді сұйықтықтың тығыздығы	1,05 г/см ³
Жинау желісінің гидравликалық кедергісі	35м дейін. су.ст.
Сұйықтың статикалық деңгейі (өзгереді)	- 30 дан 0 м дейін.
Сұйықтықтың динамикалық деңгейі (өзгереді)	-50 дан 0 м дейін.

Құрамалы сорап қондырғысының виртуалды моделінің жұмыс режимдерін есептеу-эксперименталды зерттеуге арналған техникалық тапсырма мыналарды көздейді:

- сору ұңғымасының виртуалды моделін құру;
- өнімді ерітіндіні жинау мен көліктің кәсіпшілік желісін байлау схемасын жасау;
- ағынды сорап құрылымын және ОСС мен байланысы схемасын жасау;
- арнайы компьютерлік бағдарламаларды қолдана отырып, ағынды сорабы бар ОСС бірлескен жұмыс режимдерін есептік модельдеу.

Есептік-эксперименталды зерттеулер мен үлгілеудің нәтижесінде:

- оңтайлы режимдерді орнатумен құрамалы сорап қондырғысының жұмыс режимдерінің сипаттамасын;
- ағынды сорап оңтайлы конструктивтік параметрлерін;
- ағынды сорапта сұйықтықтың кавитациясы пайда болуы мүмкін құрамалы бірлескен сорап қондырғысының шекті параметрлері мен жұмыс режимдерін орнату жоспарланды.

Сонымен қатар, ұңғымалардағы ерітінділердің артық қысымы (өздігінен төгілуі) болуы мүмкін, сондай-ақ жобаланатын блоктардан шамамен 800-1000 метр қашықтықта геотехнологиялық полигонда орналасқан ПР құм тұндырғышқа өнімді ерітінділерді тасымалдау қажеттігі ескерілді.

3.2 Құрама сорап қондырғысының құрамында пайдалану үшін ағынды сорапты есептеу әдістемесі

Гидро-арынды сорап моделі энергия, импульс және массаны сақтау заңына негізделген. Бұл ретте ағындағы үйкеліс қысымының жоғалуы үйкеліс коэффициенттерімен ескеріледі. Ағынды аппараттың әрбір бөлігінде қысымның өзгеруін және аппараттың ұзындығы бойынша басқа да параметрлерді есептеу үшін тиісті теңдеулермен сипатталатын өзіндік ағыс режимі болады.

Теңдеулерді шығару және осы жұмыста нәтижелер алу кезінде қолданылған жорамалдар ретінде мыналар қабылданды:

1) ұңғымадағы және эжектордың ішіндегі гидродинамикалық процестер изотермиялық түрде өтеді;

2) өзгерген кезде сұйықтық тығыздығы тұрақты қалады;

3) эжектор сопловында ағын қысу коэффициенті 1-ге тең.

Жоғары арынды сопло. Күш беретін сұйықтықпен тасымалданатын энергия кинетикалық энергия мен потенциалды энергиядан тұрады. Кинетикалық энергия ағынның өту жылдамдығымен және соплға кіре берістегі қысымға қатысты потенциалды энергиямен байланысты. Күш сұйықтық, жалпы жағдайда, күштік сорап орнату (мысалы, ОСС) камераға араластыру арқылы сопло ретінде жоғары жылдамдықты ағыны арқылы жіберіледі. Араластыру камерасына кіргенде күш беретін сұйықтық эжектелетін сұйықтықпен араласады.

Бернулли теңдеуі сопло үшін энергияны сақтау заңын сипаттайды:

$$P_i + \frac{1}{2} \rho_1 v_i^2 = P_o + \frac{1}{2} \rho_1 v_n^2 + K_n \frac{1}{2} \rho_1 v_n^2 \quad (3.1)$$

Бұл өрнекті (1) мына түрде келтіруге болады:

$$P_i - P_o = Z(1 + K_n) \quad (3.2)$$

Бұл жағдайда P_o сопловының шығысындағы қысым ағынды сорап P_s қабылдау кезіндегі қысымға тең. Осы айырым араластыру камерасынан біраз қашықтыққа алыстатылған сопловы бар ағын сораптары үшін жарамды, сондықтан жоғары жылдамдықты ағыс қабылдау камерасындағы қысымға жақын немесе тең қысым ортасында өтеді. Z динамикалық қысым ретінде анықталады:

$$Z = \frac{1}{2} \rho_m v_n^2 \quad (3.3)$$

Қабылдау камерасы. Эжектирленетін ағын сұйықтық сақиналы кеңістікпен ұсынылған қабылдау камерасы арқылы ағынды сорапқа беріледі. Ол пассивті (эжективті) ағын аралас камерадағы қысымды төмендету арқылы сорап

(қабылдау камерасы) беріледі. Жұмыс және эжективті сұйықтықтарды араластыру, сондай-ақ энергия алмасу бірден жүреді. Қабылдау камерасындағы қысымның өзгеруі Бернулли теңдеуінен жасалуы мүмкін және келесі түрде көрсетілуі мүмкін:

$$M = (P_s - P_0) = Z(1 + K_{en}) \frac{SM^2}{c^2} \quad (3.4)$$

Жұмысшы және пассивті сұйықтықтардың тығыздығы тең болған жағдайда, өрнек (4) мынадай түрде ұсынылуы мүмкін:

$$M = (P_s - P_0) = Z(1 + K_{en}) \frac{M^2}{c^2} \quad (3.5)$$

Ығысу камерасы. Негізгі энергия алмасу араластыру камерасында жүреді, бұл ретте жұмыс және эжектелетін сұйықтықтарды толық араластыру көзделеді. Негізгі жорамалдар араластыру камерасына кіруде және шығуда ағындардың жылдамдығы біркелкі таратылатыны болып табылады. Осы болжам негізінде импульсті сақтау заңы қолданылады: араластыру камерасынан шыққан кезде аралас ағынның импульсі оған түсетін сұйықтықтардың импульсіне тең.

Бақылау көлемін тастап кететін сұйықтықтардың импульсі, минус түсетін сұйықтықтардың импульсі сыртқы күшке тең; яғни $A_{t\Box}$ көлденең қимасының ауданы бар бақылау көлеміндегі қысымның өзгеруі. Бұл газ көлемінің белгіленген арақатынасымен біріктіре отырып, теңгерімді түрінде жазуға болады:

$$A_{t\Box}(P_0 - P_t) - \int dFr = (m_1 + m_2)V_{3t} - m_1v_n \quad (3.6)$$

A_{th} (6) ажырамаушылық теңдеуін және өрнегін бөле отырып, сығылмайтын сұйықтық үшін келесі өрнек алынды:

$$P_t - P_0 = Z \left[2b + \frac{SM^2b^2}{1-b} - b^2(2 + K_{t\Box})(1 + SM)(1 + M) \right] \quad (3.7)$$

Бұл ретте камерадан шығуда аралас ағын жоғары кинетикалық энергияға ие, осыған байланысты оны потенциалды энергияға айналдыру үшін диффузор қажет.

Диффузор тек араластыру камерасының соңғы қимасында орын алған жылдамдықты құбыр арқылы сұйықтықты үнемді тасымалдау үшін қажетті мәнге дейін төмендетуге ғана емес, сонымен қатар ағынды сораптан шығудағы қысымды жоғарылатуға (қалпына келтіруге) мүмкіндік беретін гидро-ағынды сораптың маңызды құрылымдық элементі болып табылады.

Жоғарыда сипатталғандай, диффузордан шығуда кинетикалық энергияның көп бөлігі потенциалды энергияға айналады, бұл сұйықтықтардың аралас ағынын бетке көтеру үшін қажетті энергияны қамтамасыз етеді.

Жоғарыда сипатталғандай, диффузордан шығуда кинетикалық энергияның көп бөлігі әлеуетті энергияға айналады, бұл сұйықтықтардың аралас ағынын бетке көтеру үшін қажетті энергияны қамтамасыз етеді.

Диффузор-аралас ағынының кеңейетін арнасы. Диффузордың ұзындығы ағынды сораптың қысымын қалпына келтіруді анықтайды, ал диффузордың жазық бұрышы қысымның жақсы қалпына келуін қамтамасыз етеді

Диффузордың ұзындығы бойынша қысымды ұлғайту араластыру камерасы мен соплодағыдай сияқты сипатталады, ал энергияның өзгеруі-үздіксіздік теңдеуі:

$$\int_t^d \frac{dP}{\rho} + \int_t^d V dV + \int_t^d \Delta P_f / \rho_{3t} = 0 \quad (3.8)$$

Түпкілікті нысандағы (8) теңдеу келесідей көрсетілуі мүмкін:

$$P_d - P_t = Z^2 b^2 (1 + SM)(1 + M)(1 - K_{di} - a^2) \quad (3.9)$$

Ағынды сораптағы үйкеліс қысымының жоғалуы. Ағынды сорғыны пайдалану кезінде үйкеліске кететін шығындар оның барлық бөлігінде байқалады.

Бұл шығындарды есепке алу үшін ағынды сорғының әртүрлі тораптарында үйкеліс қысымының жоғалу коэффициенттері қолданылады. Бұл шығындар коэффициенті сорап геометриясына, қысымға, тұтқырлыққа, шығындарға және т. б. байланысты болады. Тұрақты шаманың жоғалу коэффициенттері Рейнольдс саны жоғары болған жағдайларда да ықтимал. Стандартты тәсіл нақты қолданылатын сорғы үшін және сұйықтықтың белгілі бір шығындарында нақты айдалатын орта үшін олардың эксперименттік анықтамасы болып табылады.

Сонымен қатар, үйкеліс коэффициенттерінің кейбір орташаланған мәндері бар, олар араласудың сопло-камерасы қатынастарының белгілі бір ауқымы үшін жарамды. 3.2-кестеде тәжірибелік жолмен алынған үйкеліске қысым жоғалту коэффициенттерінің ұсынылатын мәндері келтірілген.

3.2 Кесте – Үйкеліске қысым жоғалту коэффициенттерінің ұсынылатын мәндері [17]

Параметр	Мәні
K_n	0.05
K_{en}	0.00
K_{td}	0.20

Кез келген сорап сияқты, тиімділігі (пәк) ағынды сорап ретінде сипатталады:

$$\eta = \frac{\text{Пайдалы жұмыс}}{\text{Кеткен энергия}} \quad (3.8)$$

Келесі теңдеу (9) нақты жағдайлар үшін сұйықтықтар мен қысымның өзгеруі арқылы көрсетілуі мүмкін:

$$\eta = \frac{(P_d - P_s) * Q_2}{(P_i - P_d) * Q_1} = MN \quad (3.9)$$

Осылайша, эжекторлы ағындағы қысымды күштік сұйықтықтың қысымының деңгейіне дейін арттыру ағынды сораптарды тиімділігін анықтайды. Энергия алмасу ағынды сорғыда қысымның өзгеруі ретінде қарастырылады.

Осылайша, эжекторлы ағындағы қысымды күштік сұйықтықтың қысымының деңгейіне дейін арттыру ағынды сораптың тиімділігін анықтайды. Энергия алмасу ағынды сорапта қысымның өзгеруі ретінде қарастырылады (сурет 2).

(3.10) арқылы (3,1)-(3.9) теориялық параметрді N алуға болады, арынды сораптың сипаттайтын:

$$N = \frac{n_1}{n_2} \quad (3.10)$$

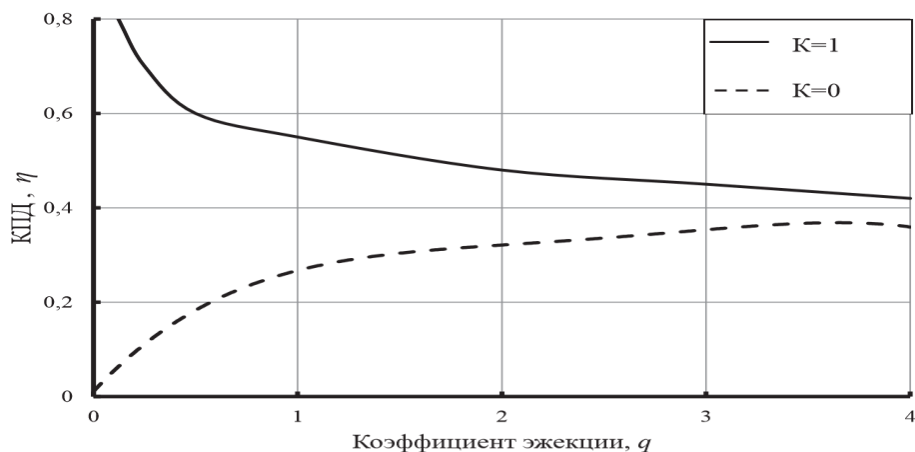
мұндағы

$$n_1 = 2b + \frac{2SMc^2b^2}{1-b} - b^2(1 + K_{t\Box} + K_{di} + a^2)(1 + m)(1 + SM) - \frac{SM^2}{c^2}(1 + K_{en}) \quad (3.11)$$

$$n_2 = 1 + K_n - n_2 \quad (3.12)$$

Эжекцияның оңтайлы коэффициентін анықтау. Эжекция коэффициенті үшін жұмыс нүктесінің ұсынылатын $mM = \frac{2}{3}M_{ОРТ}$ әні болып табылады, бұл ретте $M_{ОРТ}$ – мәні – максималды КПД кезінде Эжекция коэффициенті болып табылады. $M_{ОРТ}$ мәні теңдеулерді (10)-(11) саралау арқылы, ал нөлге теңестірілгеннен кейін оның нақты тамырын табу үшін шығарылуы мүмкін.

Эжекцияның жоғары мәндері сораптың ПӘК-і шамалы ұлғайған кезде кавитацияның жоғары тәуекелге толы.



3.1 Сурет – Гидро-ағынды сораптың Эжекция коэффициентінен ПӘК-і

Эжекция коэффициентінің ПӘК байланысы (4 сурет), сорап-эжектор энергия үнемдейтін жұмыс режимі $0 < q \leq 0.5$ коэффициенттеріне сәйкес келеді.

Эжекторларды есептеудің кейбір әдістері негізінен эжекция коэффициенттері жоғарылаған эжекторды дамытуға бағытталған [7, 13, 67, 86, 97]

Ағынды сораптың кавитациясы. Ағынды сораптар кавитацияға ұшырайды, ол буды қанықтыру қысымынан төмен араластыру камерасында қысымның төмендеуі кезінде пайда болады. Әдетте кавитациялық режимдер араластыру камерасы арқылы сұйықтықтың үлкен көлемін айдағанда байқалады.

Бұдан басқа, кавитация бу (газ) көпіршіктерінің бітелуіне байланысты ағынды сораптың тозуына әкеледі.

Келесі критерий вакуумсыз режимде ағатын сораптың жұмысын бағалау үшін эксперименталды деректер негізінде шығарылды:

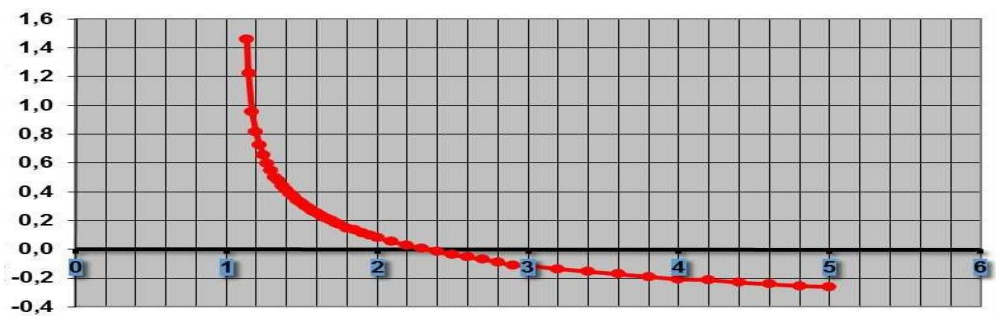
$$M_C = c \left(\frac{P_s - P_v}{\sigma Z} \right)^{0.5} \quad (3.13)$$

мұндағы – кавитациялық коэффициент 1.37 тең.

Жобаланған эжекциясының болжамды коэффициентін M_c салыстыру ағынды сорапты жобалау кезінде маңызды қадам болып табылады және сорғының оңтайлы геометриясын таңдау үшін қызмет етеді.

Жоғарыда сипатталған ағынды сорап жұмысының бір өлшемді көрінісі оның бойлық параметрлерін/профильдерін көрсетпейді. Сонымен қатар, ағынды сораптардың бойлық мәндері сораптың өнімділігіне әсер етуі мүмкін. Дизайнға маңызды параметрлер –сопло мен араластыру камерасы арасындағы қашықтық, араластыру камерасының ұзындығы. Тым ұзын араластыру камераларын таңдау кезінде кинетикалық энергияның жоғалуы және соның салдарынан сораптың қысым сипаттамасының нашарлауы мүмкін. Сопло пен араластыру камерасы арасындағы қашықтықты дұрыс таңдамаған

кезде, сораптың кавитациялық тұрақтылығын нашарлататын, оның сипаттамаларын төмендететін жұмыс ағынының кинетикалық энергиясын жоғалтуы мүмкін.



3.2- сурет – Коэффициент қорының кавитация бойынша ағындық сораптың геометриялық параметріне тәуелділігі.

Сопло қысқа конустық дизайнды үйкеліс қысымының жоғалуын төмендету үшін ұсынылады.

Эксперименттік деректерге сәйкес, кавитацияны болдырмау үшін 0,5-2 диапазонында $Sp/D_{t\Box}$ сияқты араластыру камерасының сопло мен мойны арасындағы оңтайлы қашықтық алынды, бірақ ұсынылған мән – 1

Араластыру камерасының ұзындығы $L/D_{t\Box}=8$ жалпы өнеркәсіптік гидрокұрылыс сорғы үшін ұсынылады, бірақ ұсынылған сорғының тиімділігі араластыру камерасының ұзындығын өзгерту арқылы одан әрі жақсаруы мүмкін.

Қондырғының оңтайлы жұмысын қолдау үшін арынды сорап ең жоғары ПӘК-не сәйкес режимде жұмыс істеуі қажет. Жұмыс ағынымен жұмсалған қуат балансын және ағынды сораптардың пәк есептеу үшін сорылатын ағынның пайдалы (тиімді) қуатын есептеуді жүргізеді. Арынды сораптарда жұмсалатын қуат келесідей есептелуі мүмкін:

$$N_{зам} = \rho g H_p Q_p \quad (3.15)$$

Пайдалы (тиімді) қуат, қайта айдалатын ағынға берілген:

$$N_{пол} = N_{эф} = \rho g H_p Q \quad (3.16)$$

Гидро-арынды сорапта энергия балансын осылай жазуға болады:

$$N_{зам} = N_{пол} + \sum N_{пот} \quad (3.17)$$

Қуат балансы әрбір құрылымдық элементтің ағындық сораптың ПӘК-не әсерін анықтауға және тәжірибелік деректер негізінде жұмыс сипаттамаларын құруға қажетті кедергі коэффициенттерінің мәндерін есептеуге рұқсат береді. Жұмыс энергия сопутствуются процестер төлеп тұратын камерада араластыру (құйын-

айналдырғыш ағындарын араластыру кезінде, үйкелісті қабырғаларында), жұмыс соплосында (өткен кезде, сығу кезінде ағынының конустық бөлігінде), кіре берістегі камераға араластыру және диффузорда. Өрнек мынадай көрініс алады:

$$N_{\text{зат}} = \rho g H_{\text{п}} Q_{\text{п}} + N_{\text{п.с.}} + N_{\text{тр}} + N_{\text{с}} + N_{\text{вх}} + N_{\text{д}} \quad (3.18)$$

мұндағы $N_{\text{п.с.}}$ – араластыру камерасында ағындарды араластыру кезіндегі қуат шығыны;

$N_{\text{тр}}$ – араластыру камерасында үйкеліс қуатын жоғалту;

$N_{\text{вх}}$ – араластыру камерасына пассивті ағынның кірісіндегі қуат шығыны;

$N_{\text{с}}$ – жұмыс шүмегіндегі қуат шығындары;

$N_{\text{д}}$ – диффузордағы қуат шығыны.

Теңдеудің оң және сол бөліктерін $N_{\text{зат}}$ -қа бөлеміз:

$$1 = \eta + \eta_{\text{п.с.}} + \eta_{\text{тр}} + \eta_{\text{с}} + \eta_{\text{вх}} + \eta_{\text{д}} \quad (3.19)$$

Құрылымдық сұйықтықтарды гидро-арынды сораптардың көмегімен айдау көп жағдайларда орынсыз, өйткені мұндай гидрокұрылыстардың едәуір тұтқырлығы ағынды аппараттардың ПӘК-ін айтарлықтай азайтады.

Гидро-арынды сораптарды және басқа арындық аппараттарды іске қосу үшін белгілі бір қысымдағы сұйықтықты жұмыс соплосына беру қажет. Гидроструйлік және басқа да сораптарды бірлесіп қолдану нәтижесінде құрылымды қондырғы салынуы мүмкін. Мұндай қондырғы ағындық сорапты белсенді соплода жұмыс қысымын жасайтын сорғыны жеке иеленбейтін сипаттамалардың жаңа кешеніне ие болуы мүмкін.

3.3 MAPLE бағдарламалық кешенін пайдалана құрамдас ағынды сорап қондырғысының виртуалды моделін есепті-эксперименталдық модельдеу

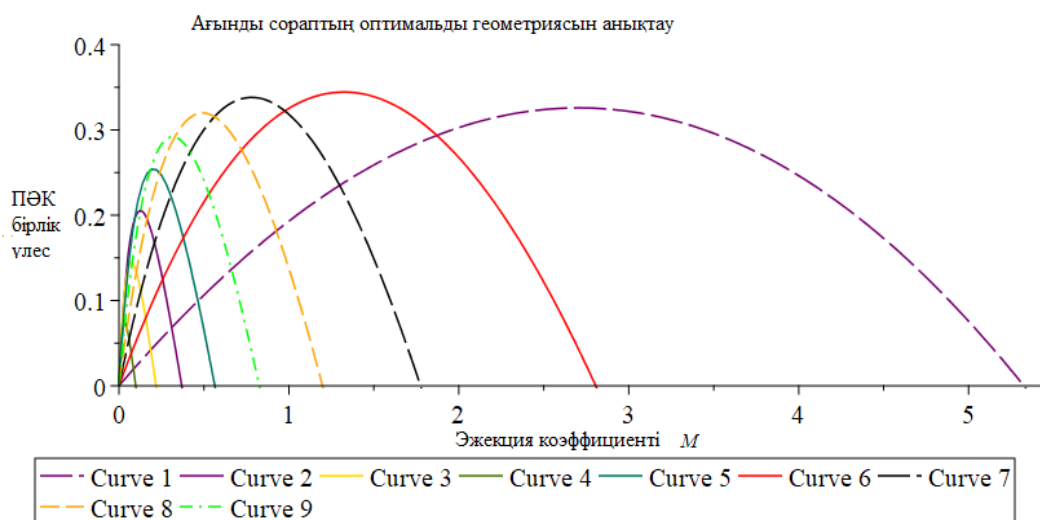
Maple — бағдарламалық пакет, компьютерлік алгебра жүйесі (дәлірек айтқанда, компьютерлік математика жүйесі). Waterloo Maple Inc. компаниясының өнімі болып табылады. (ағыл.)орыс. 1984 жылдан бастап күрделі математикалық есептеулерге, деректерді визуализациялауға және үлгілеуге бағытталған бағдарламалық өнімдерді шығарады. Maple жүйесі символдық есептеулерге арналған, бірақ дифференциалдық теңдеулерді сандық шешу және интегралдарды табу үшін бірқатар құралдар бар. Дамыған графикалық құралдарға ие. Өзінің түсіндірілетін бағдарламалау тілі бар, синтаксис ішінара Паскальға ұқсайды.

Құрамдастырылған ағынды сорап қондырғыларымен тиімді пайдалануға ОСС, ағынды сорап және қабаттың келісілген жұмысы жағдайында ғана қол жеткізілуі мүмкін. Ағынды сораптың өнімділігі-негізгі сипаттамалардың функциясы:

- геометриялық параметрлер;
- Ортадан тепкіш сораптың шығысынан түсетін жұмыс сұйықтығының қысымы мен берілісі;
- ағынды сораптың шығысындағы қысым.

Құрамдас сорап қондырғысын есептеудің негізгі мақсаты "қабат-ОТС-ағынды сорап" келісілген жұмысын қамтамасыз ететін сораптың оңтайлы геометриясын табу болып табылады. Аралас қондырғыны беру ортадан тепкіш сораптың берілісі және сорап ұңғыманың жобалық дебитіне тең ағынды сорап қосындысы ретінде есептеледі.

Есептеулер нәтижесінде ағынды сораптың M_c , CR , ПӘК коэффициенттері есептелді және әртүрлі қатынастағы b эжекция коэффициенттері, сонымен қатар сораптың арындық қисықтары алынды. (13 сурет).



3.3 Сурет. Эжекция коэффициенті-ағынды сораптың пәк әр түрлі мәндерінде $b=0.1-0.9$

3.1 Кесте "Қабат-ОСС-ағынды сорап" жүйесінің бірлескен жұмысының есептік деректері»

B	M	ПӘК,%	M_c	CR, %	q₂, м³/тәулік
0,1	1,0	31,7	4,22	54	1029,9
0,25	0,86	34,5	1,88	40	508,1
0,29	0,52	33,9	1,09	41	296,5
0,38	0,33	31,8	0,70	46	186,3
0,5	0,21	28,2	0,47	42	120,4
0,55	0,13	26,4	0,31	49	76,9
B	M	ПӘК,%	M_c	CR, %	q₂, м³/тәулік
0,69	0,08	19,8	,020	56	47,9
0,8	0,05	14,5	0,11	60	26,8
0,9	0,02	7,42	0,05	55	13,8

Осылайша, $b=0.25$ мәні таңдап алынды, өйткені ол кезде осы ұңғымалық жағдайларда салыстырмалы авариясыз жұмыс кезінде пәк ең жоғары мәні белгіленеді.

Келесі геометриялық мәндер алынды:

$A_n = 0.1076647857 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$

Сопло диаметрі = 13,6566 мм

Араластыру камерасының диаметрі=26,33 мм

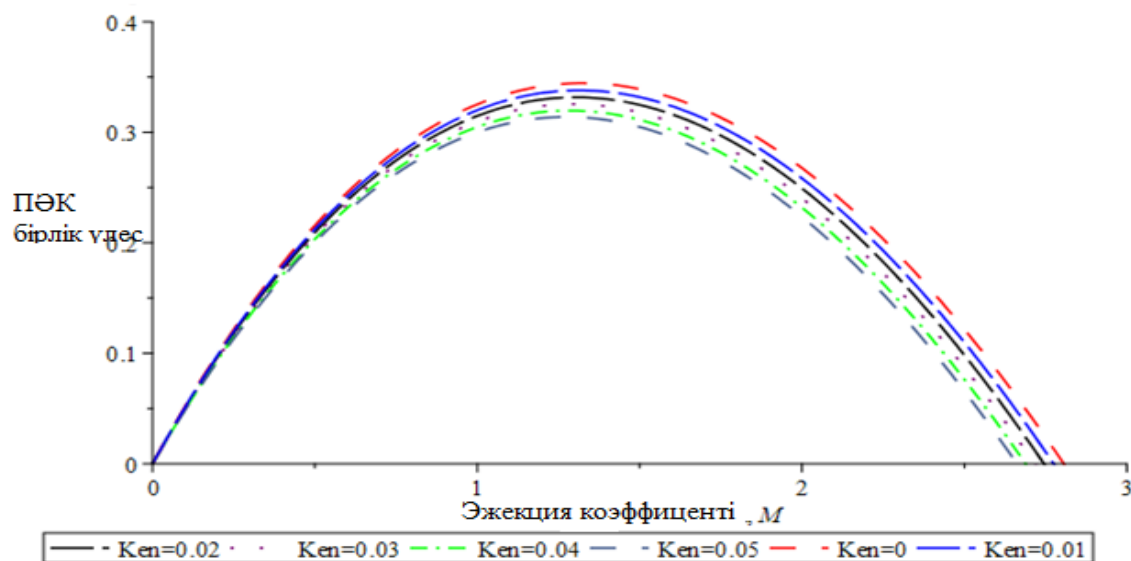
Сопло мен араластыру камерасы арасындағы қашықтық=26,33 мм

Араластыру камерасының ұзындығы=199,11 мм.

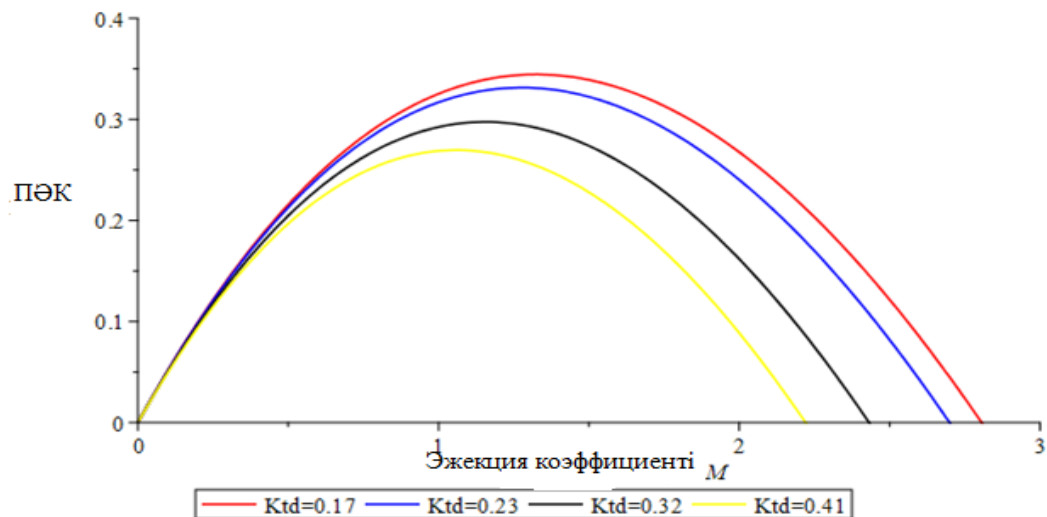
Үйкеліске қысымның жоғалу коэффициентін таңдаудағы белгісіздікті бағалау мақсатында біріктірілген қондырғының виртуалды моделі үшін олар бойынша сезімталдыққа талдау жүргізілді

Аралас ағынды жүйенің виртуалды моделінің араластыру камерасында және диффузорда үйкеліске жоғалту коэффициентіне аса сезімталдығы байқалады. Бұл ретте пәк +/-10% ауқымында өзгеруі мүмкін. Сондай-ақ қабылдау камерасындағы үйкеліс шығынына төмен сезімталдық бөлінеді.

Алайда, ПӘК қисықтарының нысаны осы коэффициенттердің мәндерін өзгерткен кезде өзгеріссіз қалады, бұл есептеулер үшін таңдалған мәндердің дұрыстығын білдіреді (3.1-кесте).



Сурет 14. Қабылдау камерасындағы үйкеліс шығын коэффициентіне біріктірілген ағыс жүйесінің виртуалды моделінің сезімталдығы.



Сурет 15. Құрамдас ағынды жүйенің виртуалды моделінің араластыру камерасында және диффузорда үйкеліс шығынының коэффициентіне сезімталдығы.

Осылайша, өзекті ұңғымалық деректерді ескере отырып, құрамдас ағынды сорап қондырғысын есептік модельдеу және таңдау жүргізілді. Ағынды сорапты дайындау үшін қажетті оңтайлы геометриялық параметрлер алынды және негізделген.

4 Эксперименттерді жоспарлау

Осы кезеңде зерттеу міндеттеріне стенд параметрлерін және әрбір параметрлердің тіреуіш шамасына әсер ету дәрежесін анықтау бойынша эксперименттер жоспарын құру кірді. Параметрлерді салыстырмалы бағалау оларға баға беріп қана қоймай, ең маңыздысын бөліп көрсетуге мүмкіндік береді. Ағынды құрылғы келесі параметрлерге әсер етеді:

- подача беріліс Q_0 , м³/сағ;
- магистральдағы қысым, МПа;
- сопло ішкі диаметрі d_0 , мм.;
- араластыру камерасының кіру диаметрі d_m .; мм
- араластыру камерасының ұзындығы, мм.;
- конфузор камерасының ұзындығы, мм.

Көрсетілген параметрлердің әсер ету тиімділігі эжекционды құрылғы жасайтын Δh тіреу шамасымен бағаланады.

Көрсетілген параметрлердің Δh тіреу шамасына әсерін алдын ала салыстырмалы талдау оның тең емес екенін көрсетеді. Мысалы, d_k , диаметрінің, d_0 диаметрінің тұрақты мәндері кезінде Q берілісі және H тіреуіші өте кең шектерде корреляциялануы мүмкін. Сондай-ақ, барлық басқа параметрлердің L және l қашықтық шамасының өзгеруі назарға алынады.. Өлшеуді орындау үшін сынақтар жүргізу кезінде мынадай өлшеу құралдары пайдаланылатын болады:

- датчики давления қысым датчиктері MIDAS 0 - 10 бар JUMO (Сенсор: тат баспайтын. болаттар, пьезорезистивті; өлшеудің жоғарғы шектері: 0,6 ден 100 бар дейін (қатыстық қысым) от 1 до 40 бар (абс. қысым); кіріс сигналы: 4-20 мА, 010 V, 0.5-4.5V, 1-5V, 1-6V; конструктивтік орындалуы: компактi, IP 65, IP 67);

- ультрадыбыстық шығын өлшегіш ТЮФ -2000М.

Орындалған өлшеулердің нәтижелері 4.2-кестеге келтіріледі

4.1 Кесте эксперименттер факторлары

Параметрлердің натурал мәндері	Факторлары	Фактордың төменгі деңгейі - 1	Фактордың нөлдік мәні 0	Фактордың жоғарғы деңгейі +1	Интервал 1
X_1	Беріліс Q_0 , м ³ /ч				
X_2	Тірек магистральдағы қысым, МПа				
X_3	Соплоның ішкі диаметрі d_0 , мм				
X_4	Араластыру камерасының кіріс диаметрі d_m , мм				
X_5	Араластыру камерасының ұзындығы, мм				
X_6	Конфузор				

	камерасының ұзындығы, мм				
--	--------------------------	--	--	--	--

Тәжірибелік зерттеулердің нақты міндеті ағынды сораптың оңтайлы параметрлері мен геометриялық өлшемдерін анықтау болып табылады. Зерттеу әдісі-эксперименталды, құрылғы шығысында Δh оңтайландыру параметрі-өзгеретін параметрлерге байланысты.

Оңтайландыру міндеті эксперименттерді жоспарлау теориясының әдістерімен шешілді. Түрлену аралығы формула бойынша анықталған:

$$\varepsilon_n = \frac{x_i^B - x_i^H}{2} \quad (4.1)$$

мұндағы ε_n - фактордың өзгеру аралығының натурал мәні; x_i^B, x_i^H - жоғарғы және төменгі деңгейдегі фактордың мәні. Жоғарыда көрсетілген факторлардың әрқайсысының процестің шығуына әсерін бағалау үшін анықтаушы контрастпен эксперименттер тобы жүргізілді $I = X_1 X_2 X_3 X_5 = X_1 X_2 X_3 X_5 = X_3 X_4 X_5, X_6$.

4.2-кестеде сорап камерасында су ағынын белсендіру процесінің математикалық моделін құру үшін жүргізілген эксперименттерді жоспарлау матрицасы көрсетілген. Ол процестің негізгі параметрлерін қамтиды: беріліс $Q(X_1)$, араластыру камерасына кіргенге дейінгі қашықтық $L_1(X_2)$, ішкі диаметрі $d_0(X_3)$, араластыру камерасының диаметрі $d_{kc}(X_4)$, араластыру камерасының ұзындығы $L_2(X_5)$, конфузور камерасының ұзындығы (X_6).

Ағынды құрылғылардың мәніндегі әзірлеудің қолданбалы нәтижесі 4.2-кестеде келтірілген зерттеу нәтижелерінен шығатын болады. Бұл жерде тіреудің абсолюттік мәні емес, оның өсу үрдісі маңызды. Процесс шығуының Δh_{cp} ең жоғарғы мәні барлық факторлар жоғарғы деңгейде экспериментте болған жағдайда байқалады, бұл қолданбалы нәтиженің негізгі мәні болып табылады. Осы жолмен орнату тиімділігін арттыруға болады.

4.2-кесте эксперименттерді жоспарлау матрицасы

Тәжірибелер	Факторлар мәндерін кодтау						Процестің шығысы
	$X_1()$	$X_2()$	$X_3()$	$X_4()$	$X_5()$	$X_6()$	
1	1	+1	+1	+1	-1	-1	Δh_{cp}
2	-1	-1	-1	-1	+1	-1	
3	-1	-1	+1	+1	-1	-1	
4	+1	+1	+1	+1	+1	+1	
5	+1	-1	-1	+1	+1	+1	
6	-1	+1	-1	+1	+1	+1	
7	+1	-1	-1	+1	+1	+1	
8	+1	+1	-1	-1	-1	+1	
9	-1	+1	-1	+1	-1	-1	

Тәжірибелер	Факторлар мәндерін кодтау						Процестің шығысы
10	-1	-1	+1	-1	-1	-1	
11	+1	-1	+1	-1	+1	+1	
12	+1	+1	+1	-1	+1	-1	
13	+1	+1	-1	-1	-1	+1	
14	-1	+1	-1	-1	+1	+1	
15	+1	+1	+1	-1	-1	+1	
16	-1	+1	-1	+1	-1	-1	
17	+1	-1	-1	-1	+1	+1	
18	-1	-1	-1	-1	+1	-1	

Алынған деректер түрдің математикалық моделін құру үшін пайдаланылатын болады:

$$\Delta h = b_a + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_4 + b_5 x_5 + b_6 x_6 \quad (4.2)$$

мұндағы b_a - процестің орташа шығысын сипаттайтын регрессия теңдеудегі қалдық мүше; $b_1, b_2, b_3, b_4, b_5, b_6$ - факторлардың процестің шығуына әсер ету дәрежесін көрсететін регрессия коэффициенттері. Регрессия коэффициенттері формула бойынша анықталды:

$$b_i = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N y_n x_m, \quad (4.3)$$

мұндағы N — жоспарлау матрицасындағы нұсқалар саны;

y_n - процестің тиісті экспериментте шығуы;

x_m - тиісті эксперименттегі факторлар деңгейінің мәні.

Коэффициенттердің мәнін есептеу нәтижелері бойынша теңдеуге сәйкес келетін қисығы құрылады (5-сурет):

$$\Delta h = b_a + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_4 + b_5 x_5 + b_6 x_6$$

бұл әр фактордың тірек $\Delta \square$ көлеміне алдын ала әсерін бағалауға мүмкіндік береді. Ол осы фактордың регрессия коэффициентінің абсолюттік шамасымен бағаланады.

Қондырғының сипаттамаларын жақсарту бойынша кейінгі зерттеулердің бағытын анықтауға мүмкіндік береді.

4.1 Ағынды сораптың сақиналы сопласының оңтайлы геометриялық өлшемдерін таңдау

Көптеген ресейлік және шетелдік зерттеушілердің жұмыстары гидравликалық соплоның кедергі коэффициенті ағынды сораптың пәк әсер ететін негізгі факторлардың бірі болып табылады [2]

Зерттелген соплолардың оңтайлы геометриялық өлшемдерінің өлшемі мына формула бойынша анықталатын μ шығын коэффициентінің шамасы болып табылады:

$$\mu = \frac{Q_0}{\omega_0 \sqrt{2gH}}, \quad (4.5)$$

мұндағы; Q_0 – сопло арқылы ағатын сұйықтықтың жұмысшы шығыны;
 ω_0 – соплоның шығыс бөлігіндегі аудан;

Оңтайландыру мәселесі экспериментті жоспарлау теориясының әдістерімен шешілді. μ шығын коэффициентінің шамасына әсер ететін факторлар:

- сыртқы сопло саптама конусының бұрышы γ ;
- сопло цилиндрлік бөлігінің салыстырмалы ұзындығы:

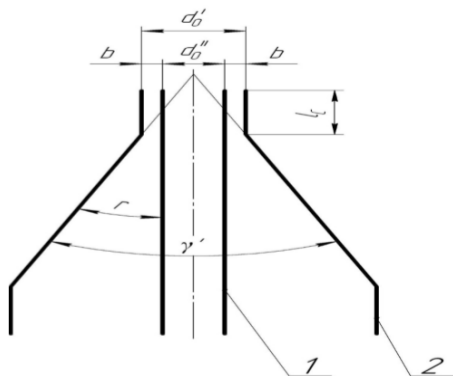
$$\bar{l}_c = \frac{l_s}{b}, \quad (4.6)$$

мұндағы: l_c -кіріспе ұзындығы;
 b - сақина саңылауының ені;

Рейнольдс саны:

$$R_e = \frac{2bV_0}{\nu} \quad (4.7)$$

мұндағы: V_0 – сопло ағыстың ағуының орташа жылдамдығы;
 ν – тәжірибе температурасы кезіндегі сұйықтық кинематикалық тұтқырлығының коэффициенті.



1 –ішкі саптама; 2 –сыртқы саптама

4 – Сурет Сақиналық сопло

Түрлену аралықтары 4.3-кестеде келтірілген, факторлардың сандық мәндері және негізгі деңгейде орталық ағыны бар конустық саптама үшін тиісті оңтайлы мәндерге тең қабылданған.

Сақиналық саңыладыңы ені $b=2\text{мм}$, ағыс жылдамдығының өтісі (8-10) м/с дан (22-24) м/с дейінгі аралықта өзгереді. Сақиналы соплоның геометриялық өлшемдері өзгермеген ішкі қондырмаларды орнату арқылы өзгерді $d_0 = 27,93\text{ мм}$ (сурет.4).

Сыртқы саптамалардың геометриялық өлшемдері 2-кестеде келтірілген.

4.3 Кесте – факторларды өзгерту аралықтары

Факторлар	Өлшем Бірлігі	Код	Негізгі деңгей «0»	Өзгеру аралықтары	Жоғары деңгей «+»	Төменгі деңгей «-»
γ'	Град	X ₁	70	20	90	50
$\bar{l}_c = \frac{l_s}{b}$,	б/р	X ₂	3	3	6	0
$Re = \frac{2bV_0}{\nu}$	б/р	X ₃	$6,5 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^3$	$9 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^3$

4.4 Кесте – сыртқы саптамалардың геометриялық өлшемдері.

№сыртқы саптамалар	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ішкі диаметр, d_0 мм.	31,95	31,92	31,97	31,90	31,1	32,25	31,85	31,97	31,91
Конустылық бұрышы, γ' , град.	50	50	50	70	70	70	90	90	90
Цилиндрлі бөліктің ұзындығы l_c , мм.	6	0	12	0	6	12	12	6	0
Қатысты цилиндр бөлігінің ұзындығы \bar{l}_c .	3	0	6	0	3	6	6	3	0

Сынақ нәтижелері бойынша әрбір сақиналы соплолар үшін тәуелділігі $\mu = f(Re)$ салынды (сурет. 5, 6, 7) және олар үшін Re факторының тиісті мәндерінде мақсатты функцияның мәндері анықталды.

Жоспарлау матрицасы және тәжірибе нәтижелері кестеде келтірілген

4.5 Кесте – Жоспарлау матрицасының нәтижелері

Сынақтар №	X ₁	X ₂	X ₃	μ	Сыртқы
------------	----------------	----------------	----------------	-------	--------

					СОПЛОНЫҢ САПТАМА №
1	+	+	0	0,980	7
2	-	-	0	0,927	2
3	+	-	0	0,865	9
4	-	+	0	0,978	3
5	0	0	0	0,986	5
6	0	-	+	0,990	6
7	0	-	-	0,930	4
8	0	-	+	0,925	4
9	0	+	-	0,975	6
10	0	0	0	0,978	5
11	+	0	+	0,975	8
12	-	0	-	0,970	1
13	+	0	-	0,960	8
14	-	0	+	0,975	1
15	0	0	0	0,980	5

Бокс-Бенкин жоспарын пайдалана отырып алынған тәжірибелік деректерді өңдеу $\mu=f(\gamma')$, тәуелділігінің математикалық моделін екінші ретті теңдеу түрінде алуға мүмкіндік береді:

$$\mu = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_3x_3 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{23}x_2x_3 + b_{11}x_1^2 + b_{11}x_1^2 + b_{23}x_2^2 + b_{33}x_3^2 \quad (4,7)$$

статистикалық мәнді ескере отырып:

$$\mu = 0,978 - 0,0072x_1 + 0,9345x_2 + 0,0038x_3 + 0,016x_1x_2 + 0,0025x_1x_3 + 0,005x_2x_3 + 0,0127x_1^2 + 0,00277x_2^2 + 0,0048x_3^2 \quad (4.8)$$

Теңдеу коэффициенттерін талдау (5) μ шығын коэффициентінің шамасына Рейнольдс (Re) саны ең аз әсер ететінін көрсетеді.

Сызықты алгебра әдістерімен теңдеуді өңдеу (6) алынған тәуелділік эллипсоид түріндегі бет түрінде ұсынылуы мүмкін екенін көрсетті.

Экспериментті жоспарлау нәтижелері бойынша жасалған талдауды ескере отырып, айналмалы екі бұрыштық жұмыс ағынымен ағынды сораптардың саптамаларын құрастыру кезінде қолдану ұсынылады:

- сыртқы саптама конусының бұрышы $\gamma' = (70^\circ - 80^\circ)$;
- цилиндрлік бөліктің салыстырмалы ұзындығы $\bar{l}_c = (5 - 6)$;
- Рейнольдс саны шегінде $4 \times 10^3 - 9 \times 10^3$;

Шығын және гидравликалық кедергі коэффициенттері тәжірибе нәтижелері бойынша ұсынылады:

$$\mu = (0,97 - 0,98); \varepsilon_0 = (0,04 - 0,06)$$

ҚОРЫТЫНДЫ

Ортадантепкіш және ағынды сораптардың бірлескен режимдерін үлгілеудің есептік әдістемесі сұйықтықтардың әртүрлі динамикалық деңгейлерімен нақты ұңғымалық жағдайлар үшін аралас сорап қондырғысы үшін ағынды сораптың оңтайлы конструктивтік параметрлерін жедел және жеткілікті дәлдікпен таңдауға, пайдалы әсер коэффициентін, эжекцияның оңтайлы коэффициентін, сондай-ақ кавитациясыз режим параметрлерін анықтауға мүмкіндік береді. Ағынды сораптарды жобалау бойынша ұсыныстар берілді.

Шығын балансының теңдеуін қосатын есептеу моделі, Д.Бернулли сопланың салыстырмалы ауданынан кавитацияның бірінші санының тәуелділігін көрсететін жартылай эмпирилік теңдеулермен толықтырылған араластырушы камерадағы сұйықтықтың бақылау бөлігі үшін қозғалыс санын сипаттайды.

MAPLE бағдарламалық кешенін қолдана отырып, құрамдастырылған сорап қондырғысының жұмыс режимдерін есептік модельдеу және есептік экспериментальды зерттеулер нәтижесінде жоғары эксплуатациялық көрсеткіштерді қамтамасыз ететін сораптың рационалды параметрлері, оның элементтерінде сұйықтықтың кавитация ықтималдығы бар режимдер диапазоны анықталды. Есептік үлгілеу нәтижесінде ағынды сорғының пәк 34% құрауы мүмкін, эжекция коэффициенті 1,37 кезінде жеткілікті жоғары көрсеткіш болып саналады.

Экспериментальды есептеудің нәтижесіне сүйене отырып, құрамдас сораптың жұмысшы және геометриялық параметрлері оңтайлы жұмыс істей алатынына көз жеткіздік, Келтірілген әдістемені басқада өндірістік жағдайларда қолдануға болады.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Шерстюк А. Н. Насосы, вентиляторы и компрессоры. Учеб. Пособие для втузов М, «Высшая школа», 1972, 344 с. с илл.
2. Степанов А.И. Центробежные и осевые насосы. Теория, конструирование и применение. – М.: Государственное научно-техническое издательство машиностроительной литературы, 1960, 464 с.
3. Романов В.А., Нижников С.А. Обеспечение бескавитационных условий эксплуатации насосов главного водоотлива шахт // Современные проблемы образования. – 2014. – № 6.
4. Калачев В. В. Струйные насосы. Теория, расчет и проектирование./ М.: Филинь: “Омега-Л”, 2017.- 418 с., илл.
5. Cunningham R. G. The Jet Pump as a Lubrication Oil Scavenge Pump for Aircraft Engines. : W.A.D.C. Report 55-143, July 1954.
6. Ивановский В.Н., Пекин С.С., Сабиров А.А. и др. Нефтегазпромысловое оборудование. – М.: ЦентрЛитНефтьГаз, 2006. – 720 с.
7. Ивановский В.Н., Сабиров А.А. Технологии и оборудование для эксплуатации малодебитных скважин // Территория «НЕФТЕГАЗ». – 2014. – № 11. – С. 15–18.
8. Bonnington S. T. The Cavitation Limits of a Liquid-Liquid Jet Pump. V.H.R.A., RR605, British Hydromechanics Research Association, 1958.
9. Schnerr G. H. and Sauer J. Physical and Numerical Modeling of Unsteady Cavitation
10. Schulz F. and Fasol K. H. Water Jet Pumps. - Vienna : Springer, 1958..
11. Maslin A. B. Jet Pumps // Asso. of Eng. and Shipbuilding Draughtsmen, Onslow Hall, Little Green. - Richmond, 1959.
12. Meakhail T. A. and Teaima I. R. A Study of the Effect of Nozzle Spacing and Driving Pressure on the Water Jet Pump Performance // International Journal of Engineering Science and Innovative Technology. - 2013. - 2. - pp. 373-382.
13. Murdoch J. W. An Investigation into the Use of a Jet Pump in an Aircraft Fuel System // MS thesis, MIT. - 1964.
14. Vogel R. Theoretical and Experimental Investigation of Jet Pumps // Maschinenbautechnik. - 1956. - 5. - pp. 619-637.
15. Каннингэм, Хэнсен и На Кавитация в струйных насосах // Теоретические основы инженерных расчетов: Труды американского общества инженеров - механиков. - 1970 г.. - №3. - стр. 79-91.
16. Sanger N. L. A Jet Pump Cavitation Prediction Parameter // ASME Fluids Engineering Meeting, 1908 Cavitation Forum, pamphlet publication. - pp. 10-18.
17. Sanger N. L. Cavitating Performance of Two Low-Area-Ratio Water Jet Pump With Throat Lengths of 7.25 Diameters / NASA. NASA TN, 1968. - D-4592.
28. Sanger N. L.
18. Meakhail T. A. and Teaima I. R. A Study of the Effect of Nozzle Spacing and Driving Pressure on the Water Jet Pump Performance // International Journal of Engineering Science and Innovative Technology. - 2013. - 2. - pp. 373-382

19. Темнов, В. К. и Спиридонов, Е. К. Расчет и проектирование жидкостных эжекторов. - Челябинск : ЧПИ, 1984 г.. - стр. 44.
20. Gosline J. E. and O'Brien M. P. The Water Jet Pump // University of California Publication in Engineering. - 1937. - №3 : Vol. 3. - pp. 107-190.
21. Карелин, В. Я. Кавитационные явления в центробежных насосах / В. Я. Карелин.- М.: Машиностроение, 1975.- 336 с.
22. Кнэпп, Р. Кавитация / Р. Кнэпп, Дж. Дейли, Ф. Хэммит.- М.: Мир, 1974.- 687 с.
23. Brown F. V. Discussions, ASME Fluids Engineering Meeting // ASME pamphlet publication. - 1969. - p. 5
24. Соколов, Е. Я. и Зингер, Н. М. Струйные аппараты. - М. : Энергоатомиздат, 1989. - 3-е : стр. 352.
25. Биркгоф, Г. и Сарантелло, Э. Струи, следы и каверны. - М. : Мир, 1964. - стр. 466.
26. Ефимочкин Г.И. Конструкция и расчет водоструйных эжекторов с удлиненной камерой смешения // Теплоэнергетика. – 1982. – № 12. – С. 48–51.
27. Kunz R. F., Boger. D. A. and Stirebring D. R. A preconditioned Navier-Stokes method for two-phase flows with application to cavitation prediction // Comput. Fluids. - 2000. - 29 : Vol. 8. - pp. 849-875.
28. Кирилловский, Ю. Л. и Подвидз, Л. Г. Рабочий процесс и основы расчета струйных насосов // Труды ВИГМ. - 1960 г.. - 26.
30. Кнэп, Р., Дейли, Дж. и Хэммит, Ф. Кавитация. - М. : Мир, 1974. - стр. 68731. Ивченко, В. М. Гидродинамика многофазных жидкостей. Кавитация. - Красноярск : Б.и., 1980. - стр. 81.
31. Karassik J., Messina J. P. and Cooper P. Pump Handbook. McGraw Hill, 2001. - 3-е.
32. Ji B., Luo X. W. and Peng X. X. Numerical analysis of cavitation evolution and excited pressure fluctuation around a propeller in non-uniform wake // International Journal of Multiphase Flow. - 2012. - 43. - pp. 13-21
33. Цегельский В.Г. Двухфазные струйные аппараты. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2003.
34. Vogel R. Theoretical and Experimental Investigation of Jet Pumps // Maschinenbautechnik. - 1956. - 5. - pp. 619-637
35. Берман Л. Д., Ефимочкин Г.И. Расчетные зависимости для водоструйных эжекторов. - Теплоэнергетика, 1964. - №7. С. 44-48.
36. Nurui, H Cavitation in water jet pumps / H. Nurui, S. Harada // Bull. Japan society of mech. eng.- 1979.- Vol. 22.- № 166.- P. 562-569.
37. Темнов, В. К. Основы теории жидкостных эжекторов. - Челябинск : Издательство Челябинского политехнического института, 1971.
38. Богданов А. И. Некоторые результаты исследования струйного насоса / А. И. Богданов, В. А. Коробченко, А. Е. Плуталов // Прикладная механика : сб. научн. статей.- Воронеж, 1976.- С. 108-112.
39. Nagao, F. Application a exhaust gas ejector to engine cooling / F. Nagao, N. Shimamoto, M. Shikata //Bull. Japan Society of Mechanical Eng.- 1969.- vol. 53.- № 12.- p. 1153-1162.

40. Перник, А. Д. Проблемы кавитации. - Л. : Судостроение, 1966. - стр. 440
41. Логвинович, Г. В. Гидродинамика течений со свободными границами. - Киев : Наука, 1969. - стр. 208.
42. Иванов, А. Н. Гидродинамика развитых кавитационных течений. - Л.: Судостроение, 1980. - стр. 236.
43. Козырев, С. М. Гидроабразивный износ металлов при кавитации. - М.: Машиностроение, 1971. - стр. 190.
44. Левковский, Ю. Л. Структура кавитационных течений. - Л.: Судостроение, 1978. - стр. 224.
45. Пирсол, И. Кавитация. - М. : Мир, 1975. - стр. 95
46. Перник, А. Д. Проблемы кавитации. - Л. : Судостроение, 1966. - стр. 440.
47. Патент США № US 9, 027,654 B2
48. United States Patent № US 9, 027,654 B2 «Valve with shuttle». Inventor: Lawrence Osborne. Date of patent: may 12, 2015
49. Hoggarth, M.L. "The Design and Performance of High Pressure Injectors as Gas Jet Boosters." Proceedings: I. Mech. E., v. 185, pp. 755—766, 1970—71.
50. Xuang, B.J.; Ton, W.Z.; Wu, C.C.; Ko, H.W.; Chang, H.S.; Hsu, H.Y.; Liu, J.H.; Wu, J.H.; Yen, R.H. Performance test of solar-assisted ejector cooling system. Int. J. Refrig. 2014, 39, 172–182.
51. ASHRAE Steam-Jet Refrigeration Equipment. In ASHRAE Equipment Handbook; ASHRAE: Atlanta, GA, USA, 1983; pp. 13.1–13.6.
52. ANSYS FLUENT 16.0 Theory Guide. ANSYS Inc.
53. Aldas K., Yapici R. Investigation of Effects of Scale and Surface Roughness on Efficiency of Water Jet Pumps Using CFD. Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics, 2014, vol. 8, no. 1, pp. 14–25. DOI: 10.1080/19942060.2014.11015494
54. Flow Analysis for Single and Multi-Nozzle Jet Pump / T. Narabayashi, Y. Yamazaki, H. Kobayashi, T. Shakouchi // JSME International Journal Series B. – 2006. – Vol. 49. – № 4. - P. 933- 940
55. Ахметов, Ю.М. Калимуллин, Р.Р., Константинов, С.Ю., Хакимов, Р.Ф., Целищев Д.В. Исследование гидродинамических и термодинамических процессов высоконапорного многофазного вихревого течения жидкости // Вестник УГАТУ. - Уфа : УГАТУ, 2012 г.. - 2(47) : Т. 16. - стр. 163-168.
56. Битюцких, С. Ю. и Спиридонов, Е. К. Исследование и расчет гидродинамики в струйном насосе // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия "Машиностроение". - 2016 г.. - №1 : Т. 16. - стр. 5–15.
57. Губин, М. Ф., Горностаев, Ю. Н. и Любицкий, К. А. Применение эжекторов на гидроэлектростанциях. - М. : Энергия, 1971. - стр. 86.
58. Промтов, М. А. Перспективы применения кавитационных технологий для интенсификации химико-технологических процессов // Вестник ТГТУ. - 2008 г.. - 4 : Т. 14. - стр. 861-869.

59. Расчет и конструирование нефтепромыслового оборудования: Учеб. Пособие для вузов/Л. Г. Чичеров, Г. В. Молчанов, А. М. Рабинович и др. М.: Недра, 1987.-422 с

60. Gulich J.F (Ed.). Centrifugal Pumps – Second edition. Springer, 2010