

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

"Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті"
коммерциялық емес акционерлік қоғамы

Энергетика және машина жасау институты

«Инженерлік механика» кафедрасы

Бодау Бекет Бейсенханұлы

Ұқсастық теориясын пайдаланып центрден тепкіш сорғы сатысының жұмыс
қалақшасын жобалау

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

6B07106 – «Инженерлік механика»

Алматы 2023

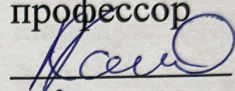
ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

"Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті"
коммерциялық емес акционерлік қоғамы

Энергетика және машина жасау институты

«Инженерлік механика» кафедрасы

ҚОРҒАУҒА ЖІБЕРІЛДІ
«Инженерлік механика»
кафедрасының меңгерушісі,
физ.-мат. ғыл. докторы,
профессор

 А. Қалтаев
« 6 » маусым 2023 ж.

ДИПЛОМДЫҚ ЖҰМЫС

Тақырыбы: «Ұқсастық теориясын пайдаланып центрден тепкіш сорғы
сатысының жұмыс қалақшасын жобалау»

6B07106 – Инженерлік механика

Орындаған

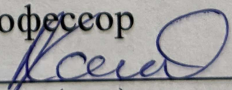
Пікір беруші
доктор Ph.D.
проф.-исслед.

 Е.К. Беляев
(қолы)

« 29 » маусым 2023 ж.

Бодау Бекет Бейсенханұлы

Ғылыми жетекші
физ.-мат. ғыл. докторы,
профессор

 А. Қалтаев
(қолы)

« 6 » маусым 2023 ж.

Алматы 2023

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ

"Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті"
коммерциялық емес акционерлік қоғамы

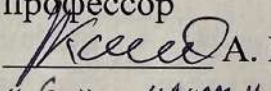
Энергетика және машина жасау институты

«Инженерлік механика» кафедрасы

6B07106 – Инженерлік механика

БЕКІТЕМІН

«Инженерлік механика»
кафедрасының меңгерушісі,
физ.-мат.ғыл.докторы,
профессор

 А. Қалтаев
« 6 » маусым 2023 ж.

**Дипломдық жұмысты орындауға
ТАПСЫРМА**

Білім алушы: Бодау Бекет Бейсенханұлы

Тақырыбы: «Ұқсастық теориясын пайдаланып центрден тепкіш сорғы
сатысының жұмыс қалақшасын жобалау»

Университет ректорының 23.11.2022 ж. бастап №408-П/Ө бұйрығымен
бекітілген

Аяқталған жұмысты тапсыру мерзімі: «8» маусым 2022 ж.

Дипломдық жұмыста қарастырылатын мәселелер тізімі:

- а) Ұқсастық теориясын қолданылуын зерттеу
- б) Эмпирикалық математикалық моделін жасау, блок-схема құру
- в) Matlab жүйесінде жобалау бағдарламасын құруы
- г) Жобаланған сорғы деректерін ұқсас сорғымен салыстыру

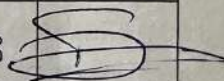
Материалдар тізімі: Материалдарды слайдпен дайындау

Ұсынылатын негізгі әдебиеттер: 19 атаулардан

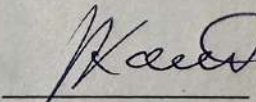
Дипломдық жұмысты дайындау
КЕСТЕСІ

Бөлімдер атауы, қарастырылатын мәселелер тізімі	Ғылыми жетекші мен кеңесшілерге көрсету мерзімі	Ескерту
Ұқсастық теориясын қолданылуын зерттеу	17.02.2023 ж.	—
Эмпирикалық математикалық моделін жасау, блок-схема құру	27.03.2023 ж.	—
Matlab жүйесінде жобалау бағдарламасын құру	25.04.2023 ж.	—
Жобаланған сорғы деректерін ұқсас сорғымен салыстыру	19.05.2023 ж.	—

Аяқталған дипломдық жұмыс үшін, оған қатысты бөлімдердің жұмыстарын көрсетумен, кеңесшілер мен норма бақылаушының қойған қолдары

Бөлімдер атауы	Кеңесшілер, тегі, аты, әкесінің аты, (ғылыми дәрежесі, атағы)	Қол қойылған күні	Қолы
Норма бақылаушы	Бекенов Е.Т., техн.ғыл.канд., қауым. проф.	06.06.23	

Ғылыми жетекші


(қолы)

А. Қалтаев

Білім алушы тапсырманы орындауға алды


(қолы)

Б.Б. Бодау

Күні

« 6 » маусым 2023ж.

АНДАТПА

Бұл дипломдық жұмыс центрден тепкіш сорғының жұмыс дөңгелегінің конструкциясында ұқсастық теориясын қолдануды зерттейді. Онда тиісті теорияның толық сипаттамасы және сорғының негізгі деректері мен өнімділігін есептеу үшін қолданылатын әртүрлі модельдер бар. Ұқсастық теориясы негізінде жұмыс дөңгелегін жобалаудың эмпирикалық математикалық моделі жасалды және Matlab көмегімен оның негізінде бағдарлама жасалды. Зерттеу сорғы дөңгелектерін жобалаудағы ұқсастық теориясының тиімділігін және оның сұйықтық динамикасында әлеуетті қолданылуын көрсетеді. Басқа центрден тепкіш сорғы құрамдастарын жобалауға ұқсастық теориясын қолдануды зерттеу үшін зерттеуді кеңейту ұсынылады.

АННОТАЦИЯ

В данной дипломной работе исследуется использование теории подобия при проектировании рабочего колеса центробежного насоса. Она содержит подробное описание соответствующей теории и различных моделей, используемых для расчета основных данных и характеристик насоса. На основе теории подобия была разработана эмпирическая математическая модель проектирования рабочего колеса и создана на её основе программа с использованием Matlab. В исследовании подчеркивается эффективность теории подобия при проектировании рабочих колес насосов и ее потенциальное применение в гидродинамике. Также предлагается расширение исследования для изучения применения теории подобия при разработке других компонентов центробежных насосов.

ANNOTATION

This thesis explores the use of similarity theory in the design of a centrifugal pump impeller. It contains a detailed description of the relevant theory and various models used to calculate the basic data and characteristics of the pump. Based on the similarity theory, an empirical mathematical model of the impeller design was developed and a program using Matlab was created on its basis. The study highlights the effectiveness of similarity theory in the design of pump impellers and its potential application in hydrodynamics. It is also recommended to expand the study to study the application of similarity theory in the development of other components of centrifugal pumps.

МАЗМҰНЫ

	Кіріспе	6
1	Қазіргі заманғы центрден тепкіш сорғыларды талдау	8
1.1	Сорғының жіктелуі және қолданбалар бойынша ауқымы	8
1.2	Центрден тепкіш сорғыны құрылғысы және жұмыс істеу принципі	10
1.3	Жұмыс дөңгелегінің қалақшасын профильдеу	12
2	Теориялық негізі	13
2.1	Айналу жылдамдығын ауыстыру	13
2.2	Ұқсастық теориясы мен оның принциптерін толық түсіндіру	13
2.3	Жобалау процесінде ескерілетін сорғы параметрлері мен сипаттамалары. Сорғылардың ұқсастық критерийлері	15
2.4	Сорғы спецификациясы, техникалық сипаттамалары	17
3	Есептеу бөлімі	19
3.1	Толық масштабты және жобаланатын сорғының негізгі геометриялық параметрлерін аналитикалық анықтау, салыстыру	19
3.2	Жұмыс дөңгелегін жобалау үшін Matlab көмегімен бағдарламаны жүзеге асыру	28
4	Зерттеу нәтижелері	32
4.1	Эмпирикалық математикалық модельді қолдану нәтижесінде алынған нәтижелері	32
4.2	Matlab-та құрылған бағдарламаны қолдану нәтижесінде алынған нәтижелер	35
	Қорытынды	37
	Пайдаланылған әдебиеттер	38
	А қосымшасы	39
	Б қосымшасы	40
	В қосымшасы	41
	Г қосымшасы	42
	Д қосымшасы	43

КІРІСПЕ

Сорғылар әртүрлі салаларда кеңінен қолданылады және дүние жүзіндегі жалпы энергияның шамамен 20% тұтынады. Центрден тепкіш сорғылар барлық сорғылардың шамамен 70-80% құрайды және мұнай, электр энергетикасы және химия сияқты салаларда, сондай-ақ аэроғарыш, атом энергетикасы және медицина сияқты жоғары технологиялық салаларда қолданылады. Ауқымды, жоғары жылдамдықты және жоғары энергия тығыздығы бар сорғы жабдықтарының дамуымен гидравликалық өнімділікті оңтайландыру қажеттілігі артуда. Көптеген ғалымдар сыртқы сипаттамалар, энергия тиімділігі, тұрақтылық және сенімділік сияқты сорғы жүйелерінің жұмысын жақсарту үшін жаңа технологиялармен жұмыс істеуде [1].

Центрден тепкіш сорғының тиімділігі көп жағдайда оның жұмыс дөңгелегінің конструкциясына байланысты. Жұмыс дөңгелегі центрден тепкіш сорғының негізгі құрамдас бөлігі болып табылады, оның негізгі мақсаты энергияны айналмалы біліктен сұйықтыққа беру болып табылады және оның конструкциясы сорғының өнімділігі мен тиімділігіне айтарлықтай әсер етеді. Дөңгелектерді жобалаудың дәстүрлі процесі көп уақытты қажет етеді және қымбатқа түседі, өйткені ол бірнеше прототиптерді физикалық сынақтан өткізуді талап етеді. Сондықтан центрден тепкіш сорғылардың жұмыс дөңгелектерін жобалаудың тиімді және үнемді әдісі қажет.

Ұқсастық теориясы құрастырушыға физикалық сынақтарды қажет етпей-ақ әртүрлі өлшемдері мен айналу жылдамдығы бар дөңгелектердің конструкцияларын сынауға мүмкіндік беретін балама жобалау әдісін ұсынады. Бұл теория толық масштабты сорғының геометриялық, кинематикалық және динамикалық ұқсастығын, өлшемсіз параметрлерін сақтай отырып, сызықтық модельдеу масштабын өзгерту арқылы сорғының жұмыс дөңгелегін жобалауды қамтиды. Бұл жаңа жұмыс дөңгелегін жобалауға кететін шығын мен уақытты айтарлықтай азайтады, бұл оны ең тиімді және үнемді жобалау әдісі етеді.

Бұл дипломдық жұмыста центрден тепкіш сорғының жұмыс дөңгелегінің конструкциясында ұқсастық теориясының қолданылуы зерттелінді. Бұл жұмыстың мақсаты: ұқсастық теориясы әдісімен жаңа центрден тепкіш сорғының жұмыс дөңгелегін құрастыру, ұқсастығын басқа бір типті сорғымен салыстырып дәлелдеу және ұқсастық теориясын қолдана отырып Matlab жүйесінде центрден тепкіш сорғының жұмыс дөңгелегін жобалау бағдарламасын құру. Сорғы мен жұмыс дөңгелегі конструкциясына қатысты тиісті теорияның толық сипаттамасы ұсынылып, сорғының негізгі деректері мен өнімділігін есептеу үшін әртүрлі модельдер қарастырылады. Сорғының толық масштабты үлгісі ретінде «Karlskrona LC AB» ЖШС шығарған СНР 150-315 көлденең ортадан тепкіш консольдық сорғы пайдаланылады.

Зерттеу болашақта зерттеу, жобалау және өндірісте пайдалану үшін ұқсас сорғыларды іздеу үшін, жобалау процесін оңтайландырудың тиімді және үнемді әдісін қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, зерттеуді басқа центрден тепкіш сорғы компоненттерін жобалауда ұқсастық теориясын қолдануды зерттеу үшін кеңейтуге болады. Бұл зерттеу центрден тепкіш сорғылардың дизайны мен өндірісін алға жылжытады және сайып келгенде, оларға сүйенетін салаларда тиімділік пен өнімділікті арттыруға әкеледі.

1 Қазіргі заманғы центрден тепкіш сорғыларды талдау

1.1 Сорғының жіктелуі және қолданбалар бойынша ауқымы

Өткен ғасырда сорғы қолдану ауылшаруашылық пайдаланудан өнеркәсіптік, коммуналдық және тұрмыстық салаларға дейін кеңейді. Келесі тізім сорғыларды кеңінен пайдаланатын бірнеше негізгі секторларды қамтиды [2]:

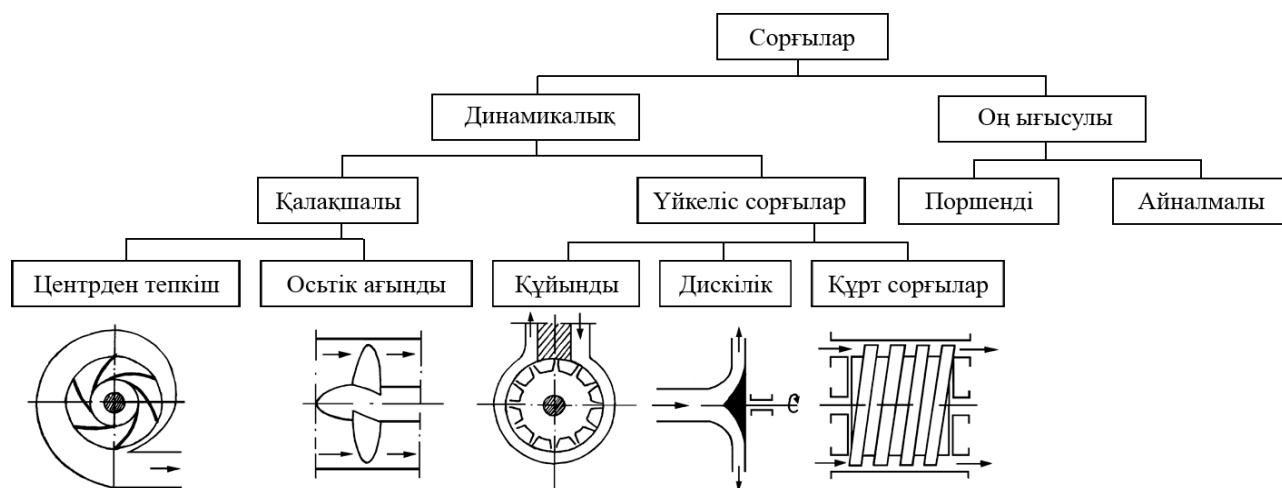
- Сумен жабдықтау: Суды тұтынушыларға тасымалдау үшін.
- Ағынды сулар: Ағынды суларды жинау және өңдеу үшін.
- Дренаж: Өңделген аумақтағы су деңгейін бақылау үшін.
- Мұнай өнеркәсібі: Мұнай өндіру мен өңдеудің барлық сатыларында сұйықтықтарды тасымалдау үшін.
- Суару: Суару үшін ауылшаруашылық аймақтарын сумен қамтамасыз ету.
- Құрылыс: Ұңғымалық ағызуды және жалпы учаскедегі сорғы қолданбалары.
- Химия өнеркәсібі: сұйықтықтарды химиялық зауыттағы әртүрлі қондырғылар мен өңдеу цистерналарына тасымалдау үшін.
- Фармацевтика және медицина саласы: Дәрілік заттарды өндіру процесінде химиялық материалдарды тасымалдау.
- Болат диірмендері: Салқындатқыш сумен қамтамасыз ету үшін.
- Тау-кен өнеркәсібі: Суды жуу, шаңды бақылау, жер асты суларын және ауыр құрылысты бақылау.

Сорғылар сұйықтықтарды тасымалдаумен тікелей байланысты емес өндірістік процестерде де қолданылады. Бұл қолданбаларда сорғылар газ жалынының алауы тым қауіпті болатын металды кесу сияқты процестерде құрал ретінде пайдаланылады [2].

Сорғылар әдетте сұйықтыққа энергия беру тәсіліне қарай жіктеледі. Негізгі түрлері оң ығысу сорғылары және кинетикалық сорғылар.

Сорғылардың жіктелуі әртүрлі көздерде олардың егжей-тегжейлері бойынша әртүрлі. Жалпы қабылданған классификацияны Америка Ұлттық Стандарттар Институты (ANSI) қабылдаған Гидравликалық Стандарттар Институты (HI) ұсынады. HI ұсынған түрі бойынша сорғылардың жіктелуі 1.1-суретте берілген. Сорғылардың бұл жіктелуі қолданбаға емес, түріне байланысты жасалған. Әдетте, жеке тәжірибеге сүйене отырып, сорғының белгілі бір түріне артықшылық белгілі бір саладан туындайды [2].

Центрден тепкіш сорғы: динамикалық сорғының бұл түрі сұйықтық ағынын жасау үшін айналдыру дөңгелегін пайдаланады, содан кейін ол сорғының шығысына қарай бағытталады. Центрден тепкіш сорғылар әдетте төмен тұтқырлығы бар сұйықтықтарды қолдану үшін қолданылады.



1.1 сурет – Сорғылардың түрлері

Осьтік сорғы: сондай-ақ динамикалық сорғы түрі, осьтік сорғы сұйықтық ағынын жасау үшін сорғының айналу осіне параллель орналасқан қалақтарды пайдаланады. Бұл сорғылар әртүрлі салаларда, әсіресе төмен қысымды сақтай отырып, сұйықтық көлемінің айтарлықтай қозғалысын қажет ететін жағдайларда жиі қолданылады.

Құйынды сорғы: үйкеліс сорғының бұл түрі сұйықтықта құйынды жасайды, содан кейін ол сұйықтықты сорғы арқылы жылжыту үшін қолданылады. Құйынды сорғылар жиі лас немесе абразивті сұйықтықтарды қолдану үшін қолданылады.

Дискілік сорғы: үйкеліс сорғының тағы бір түрі, дискілік сорғы сұйықтықты сорғы арқылы жылжытатын камераларды жасау үшін бірқатар дискілерді пайдаланады. Бұл сорғылар жиі жоғары қысымды қолдану үшін қолданылады.

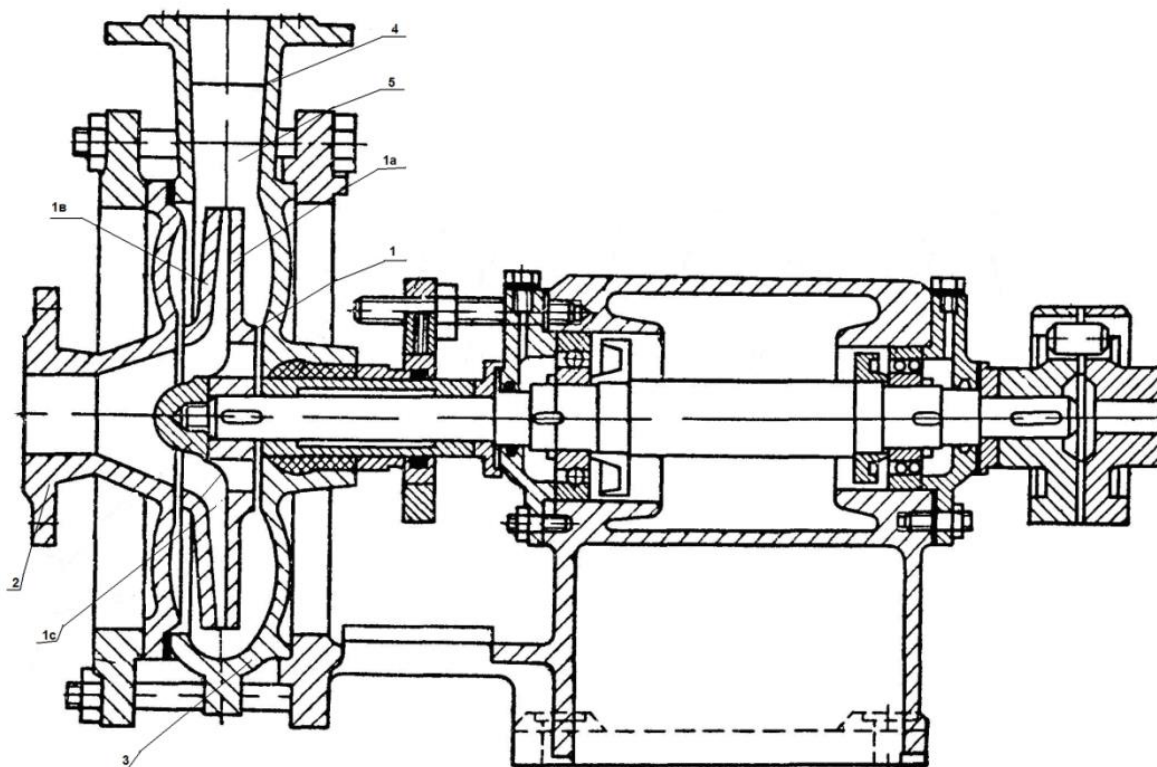
Құрт беріліс сорғысы: үйкеліс сорғысының бұл түрі сорғы арқылы сұйықтықты жылжыту үшін бұранда тәрізді берілістерді пайдаланады. Құрт беріліс сорғылары тұтқырлығы жоғары сұйықтықтарды қолдану үшін жиі қолданылады.

Поршеньді сорғы: оң ығысуы бар сорғы түрі, поршеньді сорғы сұйықтықты сорғы арқылы жылжыту үшін поршеньді немесе диафрагманы пайдаланады. Бұл сорғылар жиі жоғары қысымды немесе жоғары тұтқыр сұйықтықтарды қамтитын қолданбалар үшін қолданылады.

Айналмалы сорғы: оң ығысу сорғының тағы бір түрі, айналмалы сорғылар сұйықтықты сорғы арқылы жылжыту үшін айналмалы бөліктерді пайдаланады. Айналмалы сорғылардың мысалдарына тісті сорғылар, қалақшалы сорғылар және бұрандалы сорғылар жатады. Айналмалы сорғылар көбінесе тұтқырлығы жоғары сұйықтықтарды немесе суспензиядағы қатты заттары бар сұйықтықтарды қамтитын қолданбалар үшін қолданылады.

1.2 Центрден тепкіш сорғыны құрылғысы және жұмыс істеу принципі

Енді дипломдық жұмыстың тақырыбына сай центрден тепкіш сорғының құрылысы мен жұмыс істеу принципін қарастырамыз. Сорғы сұлбасы 1.2-суретте көрсетілген.



1.2 сурет – Центрден тепкіш сорғы [19]

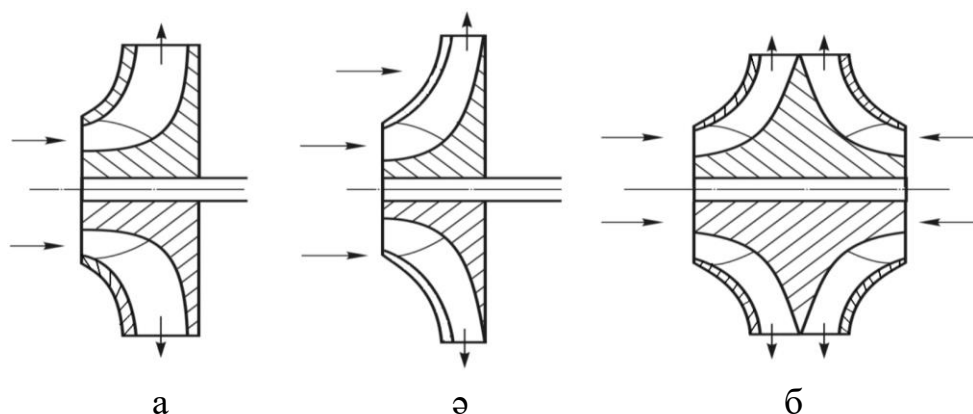
Жұмыс дөңгелегі (1) білікке орнатылған артқы дискіден (1а) және қалақшалар (1с) арқылы бір-біріне бекітілген алдыңғы дискіден (1б) тұрады. Дөңгелек корпустың (3) ішінде орналасқан, оның шеткі бөлігінде қысымды құбырға (4) сұйықтықты итеруге арналған камера (5) бар. Сұйықтық сору құбыры (2) арқылы жұмыс камерасына енгізіледі [3].

Центрден тепкіш сорғының жұмыс принципі айналмалы қалақаралық арналардағы сұйықтыққа әсер ететін центрден тепкіш күштерді қолдануға негізделген, онда жұмыс дөңгелегі механикалық энергиясы сұйықтық ағынының гидравликалық энергиясына айналады.

Қысым құбыры сонымен қатар ағынның кинетикалық энергиясын потенциалдық энергияға (қысым) түрлендіруге қызмет етеді, өйткені қысым құбыры диффузор түрінде жасалған.

Центрден тепкіш сорғылардың негізгі бөліктеріне жұмыс дөңгелегі, корпус, бұрушылар (бағыттаушы аппарат), білік, мойынтіректер және тығыздағыштар

жатады. Дөңгелектер жабық (а), ашық (ә), бір жақты (а, ә) және екі жақты сұйықтық кірісі (б) (1.3-сурет) болып бөлінеді [3].



1.3 сурет – Жұмыс дөңгелектерінің түрлері [3]

Ашық дөңгелектердің жабық дөңгелектерден айырмашылығы, алдыңғы дискі болмайды. Екі жақты сұйықтық кірісі бар жұмыс дөңгелегінде екі алдыңғы диск және білікке қонуға арналған втулкамен бір артқы диск бар.

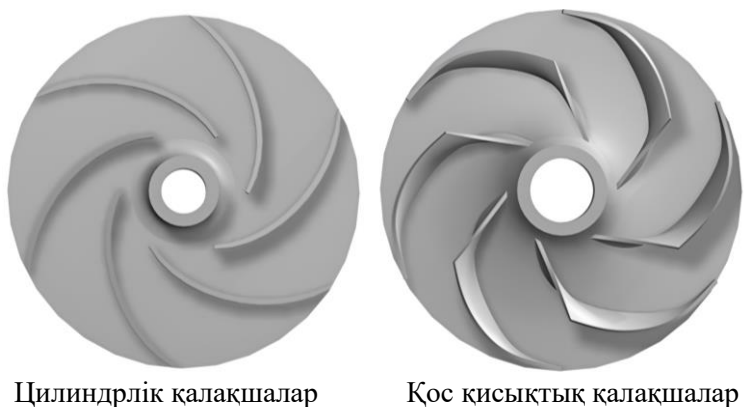
Центрден тепкіш сорғылар өздігінен соруға жатпайды. Іске қосу алдында сорғының бүкіл ішкі қуысын сұйықтықпен толтыру керек. Центрден тепкіш сораптың жұмыс істеу принципін оның ішкі қуысы сұйықтықпен толтырылған деп есептейік. Дөңгелек белгілі бір бұрыштық жылдамдықпен айнала бастаған кезде, дөңгелектің қалақаралық каналдарында орналасқан барлық сұйық бөлшектердің айналуы бірдей жылдамдықпен басталады. Центрден тепкіш күштер сорғы білігінің осі айналасында айналатын сұйық бөлшектерге әсер етеді, бұл бұл бөлшектердің радиалды бағытта қозғалуына әкеледі. Қалақаралық арналардан шыққан сұйық бөлшектердің орнына, сиректеу аймағында, яғни жұмыс дөңгелегі ортасынан су көзінен сорғыштың сору құбыры арқылы жаңа бөлшектер түседі. Осылайша, сорғының ағын арналарында сұйықтықтың үздіксіз қозғалысы жүзеге асырылады.

Сұйық бөлшектердің механикалық энергиясы дөңгелектің қалақаралық арналарында оның ортасынан шетке қарай қозғалысы кезінде центрден тепкіш күштердің жұмыс көлеміне артады. Жұмыс дөңгелегінен шығатын сұйықтықтың кинетикалық энергиясының бір бөлігін қысымның потенциалдық энергиясына айналдыру үшін сығылмайтын сұйықтықтың ағынының теңдеуіне және Бернулли теңдеуіне сәйкес сорғы корпусы (3) ұлу түрінде, ал шығару құбыры (4) кеңейетіндей жасалынған. Сонымен қатар, бұл шығару құбыры жұмыс дөңгелегінен қысымды құбырға сұйықтық қозғалысының берілген бағытын қамтамасыз ету үшін қызмет етеді.

1.3 Жұмыс дөңгелегінің қалақшасын профильдеу

Қалашаларды профильдеу олардың пішінін анықтауды қамтиды, бұл сорғының гидравликалық тиімділігі үшін өте маңызды. Қалақшаның тамаша пішіні гидравликалық тиімділікті төмендететін құйынды түзуді азайтады. Мақсаты - қалақ контурының айналасында үздіксіз ағын үшін оңтайлы жағдай жасау болып табылады. Қалақтардың негізгі екі түрі бар (1.4-сурет): цилиндрлік қалақшалар және қос қисықтық қалақшалар [4].

Цилиндрлік қалақтар тегіс және тегіс иілген, екі бүйір жиектері бірдей қисықтыққа ие. Бұл қалақшалар төмен жылдамдықты сорғылардың дөңгелектерінде қолданылады. Екінші жағынан, қос қисықтық қалақшалар қалыпты және жоғары жылдамдықты сорғыларда қолданылады және олардың пішіні бұралған және иілген таспаға ұқсас. Мұндай қалақшаларды профильдеу цилиндрлік жүздерге қарағанда қиынырақ. Бұл пішінді пайдаланудың себебі - дөңгелектің тиімділігін арттыру және сұйықтық ағынындағы кавитация мүмкіндігін азайту.



Цилиндрлік қалақшалар

Қос қисықтық қалақшалар

1.4 сурет – Қалақша пішіндері [4]

2 Теориялық негізі

2.1 Айналу жылдамдығын ауыстыру

Сорғының айналу жылдамдығын ауыстыру кезінде Q-H характеристикасы, қуаты және кавитациясы, яғни NPSH-ы өзгереді. Айналу жылдамдығын ауыстыру кезінде сорғы характеристикасын қайта есептеу ұқсастық теңдеулері, әсіресе ұқсастық заңы арқылы орындалады [5].

$$\frac{Q_B}{Q_A} = \frac{n_B}{n_A}, \quad (2.1)$$

$$\frac{H_B}{H_A} = \left(\frac{n_B}{n_A}\right)^2, \quad (2.2)$$

$$\frac{N_B}{N_A} = \left(\frac{n_B}{n_A}\right)^3, \quad (2.3)$$

$$\frac{NPSH_B}{NPSH_A} = \left(\frac{n_B}{n_A}\right)^2. \quad (2.4)$$

Теңдеудегі А индексі негізгі мәндерді, ал В индексі өзгерген мәндерді көрсетеді [5].

Теңдеулерде көрсетілгендей әр параметр ұқсастық заңына сәйкес, пропорционалды өзгереді. Өзгерістерді бағалау арқылы сорғының арнайы талаптарды қанағаттандыруын жүзеге асыруға болады. Келесі тарауда ұқсастық теориясын жаңа сорғы жобалау үшін ақпарат беріледі.

2.2 Ұқсастық теориясы мен оның принциптерін толық түсіндіру

Қалақшалы сорғыларда болатын процестер өте күрделілігіне байланысты жеткілікті қанағаттанарлық теориялық сипаттамаға ие емес, сондықтан теориялық түрде есептеу формулаларын алу мүмкін емес.

Жаңа сорғыларды жобалау кезінде гидравликалық құбылыстардың ұқсастық теориясы негізінде алынған ұқсастық формулалары деп аталатындар кеңінен қолданылады.

Гидравликалық құбылыстардың ұқсастық теориясы геометриялық, кинематикалық және динамикалық ұқсастық шарттарына негізделген.

Қалақшалы сорғылар үшін геометриялық ұқсастық шарты ағын жолының барлық ұқсас геометриялық өлшемдерінің пропорционалдылығын, сондай-ақ қалақтардың есептік бұрыштарының теңдігін және олардың бірдей санын білдіреді [6]:

$$\frac{D_{\Pi}}{D_M} = \frac{b_{\Pi}}{b_M} = \frac{s_{\Pi}}{s_M} = K_1, \quad (2.5)$$

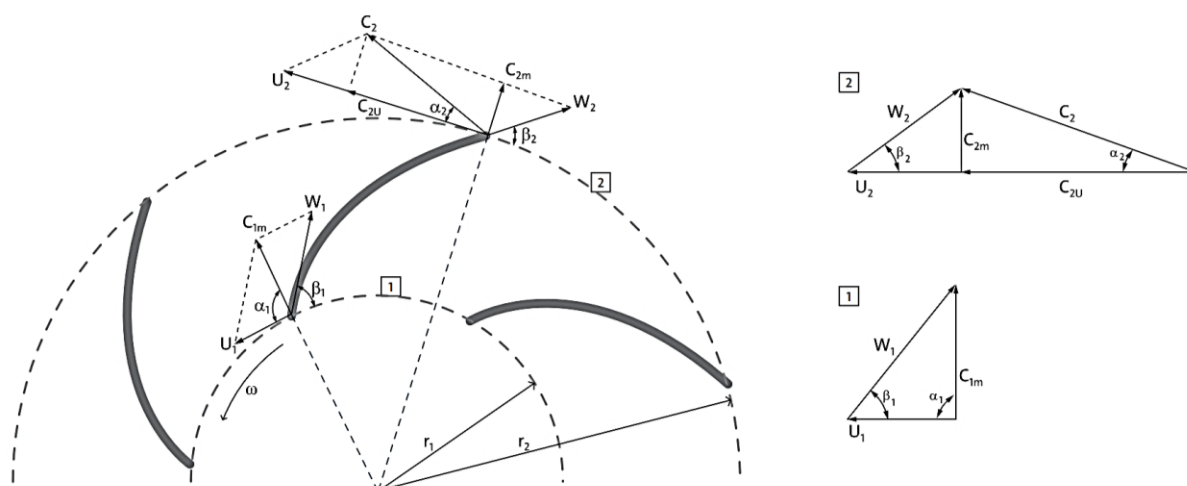
$$\beta_{\Pi} = \beta_M, \quad \alpha_{\Pi} = \alpha_M, \quad z_{\Pi} = z_M, \quad (2.6)$$

Мұнда D_{Π} , b_{Π} , s_{Π} , β_{Π} , α_{Π} , z_{Π} - жобаланған сорғының қалақтарының өлшемдері, бұрыштары және саны;

D_M , b_M , s_M , β_M , α_M , z_M - толық масштабты сорғы үшін;

K_1 - геометриялық ұқсастық коэффициенті, сызықты модельдеу масштабы.

Кинематикалық ұқсастық ұқсас нүктелерде қолданылатын жылдамдықтардың қатынасы тең болса, пайда болады. Бұл жобаланатын және үлгілік сорғылардың ұқсас нүктелеріндегі жылдамдық үшбұрыштарының ұқсастығын білдіреді (2.1-сурет).



2.1 сурет – Кіріс (1) және шығыс (2) жылдамдық векторлары үшбұрыштары [5]

Үшбұрыштардың ұқсастығынан мыналар шығады:

$$\frac{C_{\Pi}}{C_M} = \frac{u_{\Pi}}{u_M} = \frac{w_{\Pi}}{w_M} = \frac{C_{m\Pi}}{C_{mM}} = K_v, \quad (2.7)$$

$$\beta_{\Pi} = \beta_M, \quad \alpha_{\Pi} = \alpha_M; \quad (2.8)$$

$$\frac{u_{\Pi}}{u_M} = \frac{\omega_{\Pi} R_{\Pi}}{\omega_M R_M} = \frac{w_{\Pi}}{w_M} K_1 = \frac{n_{\Pi}}{n_M} K_1 = K_v, \quad (2.9)$$

Мұнда K_v – кинематикалық ұқсастық масштабы.

Динамикалық ұқсастық ағынның ұқсас нүктелеріндегі аттас күштердің ұқсастығын қамтамасыз етеді. Жобаланған ағындағы салыстырмалы күштерге үлгі ағынындағы барлық күштер бірдей коэффициент бойынша масштабталуы керек. Осы коэффициенттерден 2.1-кестеде келтірілген ұқсастық критерийлері алынады [7].

Гидравликалық машиналарда үлгілік сорғылардың сипаттамаларын зерттегенде, модельдеу Струхаль және Эйлер критерийлері бойынша

жүргізіледі. Еркін ағын немесе ішкі қуыстары бар ағын (дамыған кавитация) болған жағдайларда модельдеу Фруд критерийіне сәйкес жүзеге асырылады [7].

Гидравликалық шығындарды зерттеуде салыстырылған сорғылардың абсолютті өлшемдеріндегі үлкен айырмашылықпен іс жүзінде мүмкін емес, сондықтан $Re = idem$ шартын орындау қажет. Сондықтан модельдер тек өзіне-өзі ұқсас ағын аймағында сыналады, мұнда кедергі коэффициенті тегістелген беттердің тұрақты салыстырмалы кедір-бұдырында тұрақты болады [7].

2.1 кесте – Сорғыларды зерттеуде қолданылатын динамикалық ұқсастықтың негізгі критерийлері

Критерийлер	Критерийдің характеристикасы	Есептеу формуласы
Рейнольдс критерийі (Re)	Инерция күштері / үйкеліс күштері	$Re = \frac{v \cdot l}{\nu} = \frac{\rho \cdot v \cdot l}{\mu}, \quad (2.10)$
Струхаль критерийі (Sh)	Сұйықтықтың тұрақсыз қозғалысы	$Sh = \frac{v \cdot l}{\nu}, \quad (2.11)$
Эйлер критерийі (Eu)	Гидравликалық қысым күші / инерциялық күш	$Eu = \frac{p}{\rho \cdot v^2}, \quad (2.12)$
Фруд критерийі (Fr)	Инерция күші / ауырлық күші	$Fr = \frac{v^2}{g \cdot l}, \quad (2.13)$

2.3 Жобалау процесінде ескерілетін сорғы параметрлері мен сипаттамалары. Сорғылардың ұқсастық критерийлері

Ұқсастық теориясының элементтерін және геометриялық, кинематикалық және динамикалық ұқсастықтардың өлшемсіз критерийлерін пайдалану П және М индекстермен белгіленген, екі сорғы үшін ұқсастық заңы теңдеулерін алуға мүмкіндік береді [6]:

$$\frac{Q_p}{Q_m} = K_1^3 \frac{n_p}{n_m}, \quad (2.14)$$

$$\frac{H_p}{H_m} = K_1^2 \left(\frac{n_p}{n_m} \right)^2, \quad (2.15)$$

$$\frac{N_p}{N_m} = K_1^5 \left(\frac{n_p}{n_m} \right)^3 \left(\frac{\rho_p}{\rho_m} \right), \quad (2.16)$$

$$\frac{NPSH_p}{NPSH_m} = K_1^2 \left(\frac{n_p}{n_m} \right)^2, \quad (2.17)$$

$$\eta_m = \eta_p, \quad (2.18)$$

Осы теңдеулерге сәйкес үлгілік сорғыны сынау нәтижелерін қайта есептеуге және жобаланған сорғының жұмыс сипаттамаларын $K_1 < 2$ және $n_p/n_m < 2$ кезінде алуға болады [7].

Енді сорғыларды салыстыру үшін сорғының конструкциясы мен жұмыс режимдерінің ұқсастығын көрсететін критерий болуы керек.

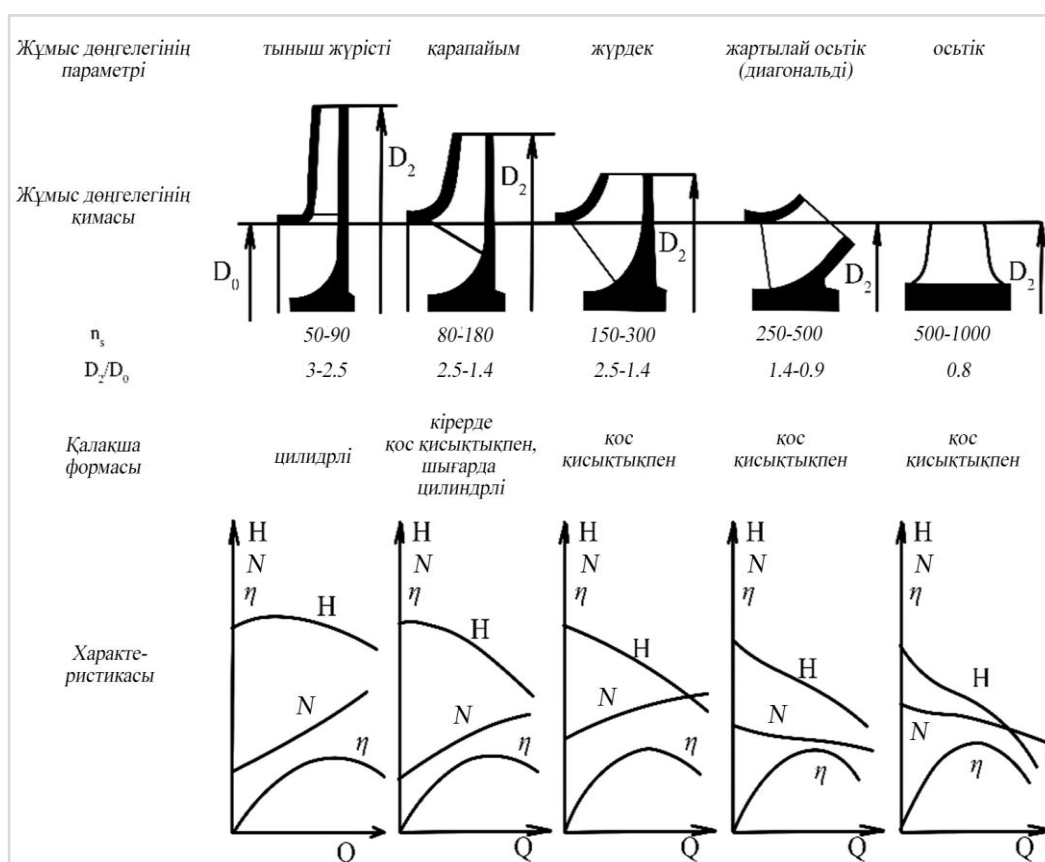
Сорғы тәжірибесінде бірнеше осындай критерийлер қолданылады. Олардың негізгілері:

1. Меншікті айналу жылдамдығы $n_{уд} - 1 \text{ м}^3/\text{с}$ беру кезінде максималды ПӘК кезінде 1 м арын дамытатын эталондық сорғының (геометриялық жағынан осы типтегі сорғыларға ұқсас және бір сұйықтықта жұмыс істейтін) айналу жылдамдығы (2.19-формула) [4].

$$n_{уд} = n \frac{\sqrt[3]{Q}}{H^4}, \quad (2.19)$$

2. Жүрдектік коэффициенті $n_s - \text{суда } (\gamma=1000 \text{ кгс/м}^3) \text{ жұмыс істейтін эталондық сорғының пайдалы қуаты } 0,075 \text{ м}^3/\text{с}, \text{ арыны } 1 \text{ м және максималды ПӘК кезіндегі айналу жиілігі (2.20-формула) [4]. Қысымын } H, \text{ ағын берілісін } Q \text{ және айналу жылдамдығын } n \text{ біле отырып, инженер жүрдектік коэффициенті деп аталатын өлшемсіз параметрді пайдалана алады. Ол геометриялық жағынан ұқсас турбомашиналардағы ұқсас ағын үлгілерін тудыратын } H, Q \text{ және } n \text{ өзгерістерін білдіреді, ол сорғыларды жобалауда және олардың сынақтарының нәтижелерін өңдеуде кеңінен қолданылады (2.2-сурет).}$

$$n_s = 3.65 \cdot n \frac{\sqrt[3]{Q}}{H^4}, \quad (2.20)$$

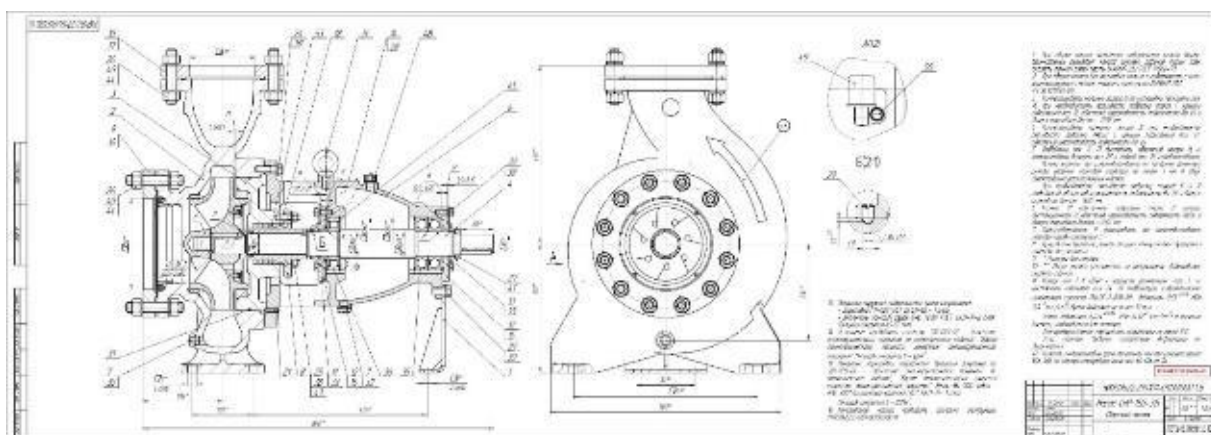


2.2 сурет – Нақты айналу жиілігі мен сорғының түрі және өнімділік сипаттамаларының пішіні арасындағы байланыс [4]

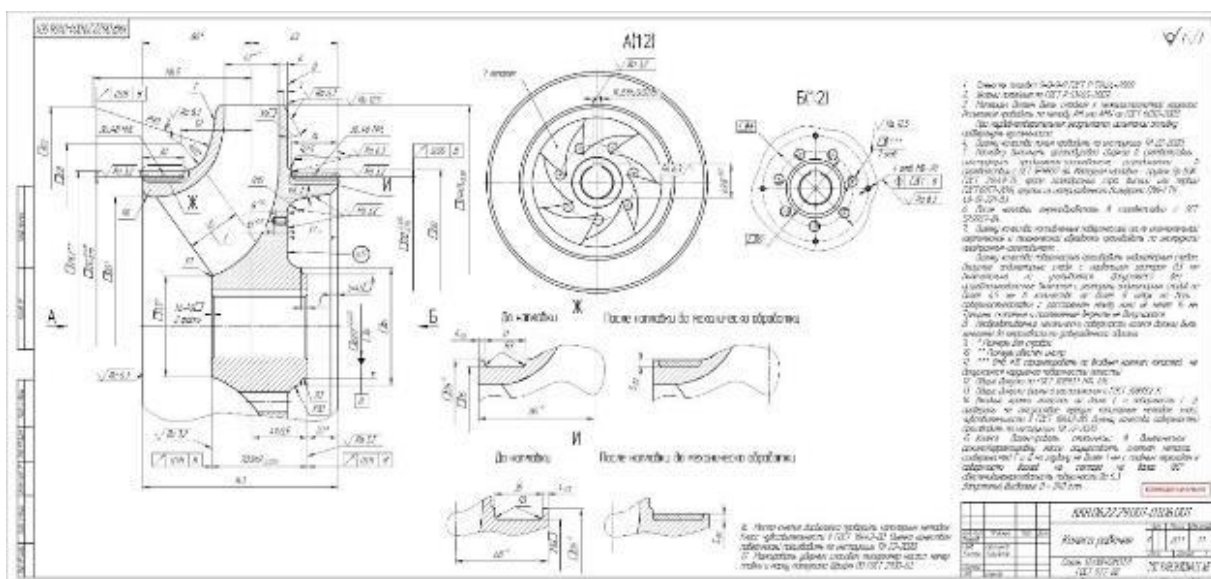
2.4 Сорғы спецификациясы, техникалық сипаттамалары

Осы зерттеу үшін толық масштабты сорғы ретінде Шымкент қаласында орналасқан «Karlskrona LC AB» ЖШС шығарған СНР 150-315 көлденең центрден тепкіш консольдық сорғы алынды [8]. Ұқсастық әдісі геометриялық, кинематикалық және динамикалық ұқсастықты сақтай отырып, толық масштабты сорғыны кішірек үлгіге дейін төмендету үшін пайдаланылды. Геометриялық ұқсастыққа сорғының өлшемдерін кішірейту арқылы, кинематикалық - жылдамдықтар мен үдеулердің қатынасын сақтау арқылы, динамикалық - ПӘК-терінің теңдігі және күштер мен моменттердің қатынасын сақтау есебінен қол жеткізілді. Сорғы үлгісі кішірейтілген өлшемдер арқылы жасалған және ұқсастық шарттарын қанағаттандыратынына көз жеткізу үшін сыналған. 2.2, 2.3-кестеде СНР 150-315 сорғысының негізгі деректері мен геометриялық өлшемдері көрсетілген.

Компанияның инженерлік командасының есептеу жүргізуге ұсынған деректерінен сорғының негізгі деректері мен сызбаларынан негізгі геометриялық өлшемдері алынды. Бұл деректер (2.3, 2.4 - суреттер) төменде көрсетілген:



2.3 сурет – СНР 150-315 сорғысының құрама сызбасы



2.4-сурет – СНР 150-315 сорғысының жұмыс дөңгелегінің сызбасы

2.2 кесте – СНР 150-315 сорғысының негізгі деректері:

Параметр	Мәні	Өлшем бірлік	Атауы
Q	300	м ³ /сағ	Сорғының беруі
H	32	м, су бағанасы	Сорғының арыны
n	1500	айн/мин	Сорғы білігінің айналу жиілігі
η	62%	-	ПӘК, тиімділік
N	45000	Вт	Қуат (эл.қозғалтқышы)
ρ	1,029	т/м ³	Тығыздық

2.3 кесте – СНР 150-315 сорғысының негізгі геометриялық өлшемдері:

Параметр	Мәні	Өлшем бірлік	Атауы
D₀	190	мм	Дөңгелекке кіру диаметрі
D₁	120	мм	Қалақшалардың басталу диаметрі
D₂	324	мм	Сыртқы диаметрі
d_{ст}	73,5	мм	Дөңгелек күпшегінің диаметрі
d_в	46	мм	Жетек білігінің диаметрі
b₁	70	мм	Кіреберістегі ені
b₂	40	мм	Шығу ені
z	7	-	Қалақша саны
s	6	мм	Қалақша қалыңдығы

3 Есептеу бөлімі

3.1 Толық масштабты және жобаланатын сорғының негізгі геометриялық параметрлерін аналитикалық анықтау, салыстыру

Центрден тепкіш дөңгелектің геометриялық параметрлерін аналитикалық анықтау үшін авторлар Ивановский В.Н. [4], Ломакин А.А. [7], Михайлов А.К. [9] әдістері салыстырылды, негізгі ретінде [4] әдіс таңдалынды. Себебі, «Проектирование и исследование ступеней динамических насосов» кітабында Ивановский В.Н. қалақшалы сорғылардың теориясын, есебін және конструкциясын қарастырады, сонымен қатар электрлік центрден тепкіш сорғылардың жұмыс сатыларын өзекті жобалау әдістемесін беріп, жұмыс дөңгелектерінің 3D модельдерін құру алгоритмін сипаттайды.

Төменде 3.1-суретте екі сорғының жұмыс дөңгелектерінің 3D моделі көрсетілген. Және 3.1-кестеде тұрақты деректер көрсетілген.



3.1 сурет – Үлгілік және жобаланған жұмыс дөңгелектерінің 3D модельдерінің рендері

3.1 кесте – Жаңа жобаланатын сорғының бастапқы деректері:

Параметр	Мәні	Өлшем бірлік	Атауы
n	1500	айн/мин	Сорғы білігінің айналу жиілігі
ПӘК	62%	-	Тиімділік
ρ	1029	т/м ³	Тығыздық (теңіз суы)
z	7	-	Қалақша саны

Есептеу барысында толық масштабты мен прототиптің тиімділігі, яғни пайдалы әсер коэффициенті, бірдей және қолдану ортасы бірдей сұйықтық деп аламыз.

Есептеу:

Масштабтау заңына сәйкес (2.14-2.17-формулалар) жобаланатын жұмыс дөңгелегінің беруі:

$$\frac{Q_p}{Q_n} = K_l^3 \frac{n_p}{n_n}, \quad \frac{Q_p}{300} = 0,5^3 \frac{1500}{1500}, \quad Q_p = 37.5 \text{ м}^3/\text{сағ} = 0,01041667 \text{ м}^3/\text{сек}.$$

Жобаланатын жұмыс дөңгелегінің арыны:

$$\frac{H_{\Pi}}{H_H} = K_1^2 \left(\frac{n_{\Pi}}{n_H} \right)^2,$$

$$\frac{H_{\Pi}}{32} = 0,5^2, \quad H_{\Pi} = 8 \text{ м.}$$

Жобаланатын жұмыс дөңгелегінің қуаты:

$$\frac{N_{\Pi}}{N_H} = K_1^5 \left(\frac{n_{\Pi}}{n_H} \right)^3 \left(\frac{\rho_{\Pi}}{\rho_H} \right),$$

$$\frac{N_{\Pi}}{45000} = 0,5^5, \quad N_{\Pi} = 1406,25 \text{ Вт.}$$

Меншікті айналу жылдамдығы (2.19-формула):

$$n_{уд} = n_{\Pi} \frac{\sqrt[3]{Q_{\Pi}}}{H_{\Pi}^4} = n_M \frac{\sqrt[3]{Q_M}}{H_M^4},$$

$$n_{уд} = 1500 \frac{\sqrt[3]{0,08333}}{32^4} = 1500 \frac{\sqrt[3]{0,01041667}}{8^4}, \quad n_{уд} = 32.18.$$

Жүрдектілік коэффициенті (2.20-формула):

$$n_s = 3.65 \cdot n \frac{\sqrt[3]{Q}}{H^4},$$

$$n_s = 3,65 \cdot 1500 \frac{\sqrt[3]{0,08333}}{32^4} = 3,65 \cdot 1500 \frac{\sqrt[3]{0,01041667}}{8^4},$$

$$n_s = 117.47.$$

Сызықтық модельдеу масштабы (2.5-формула):

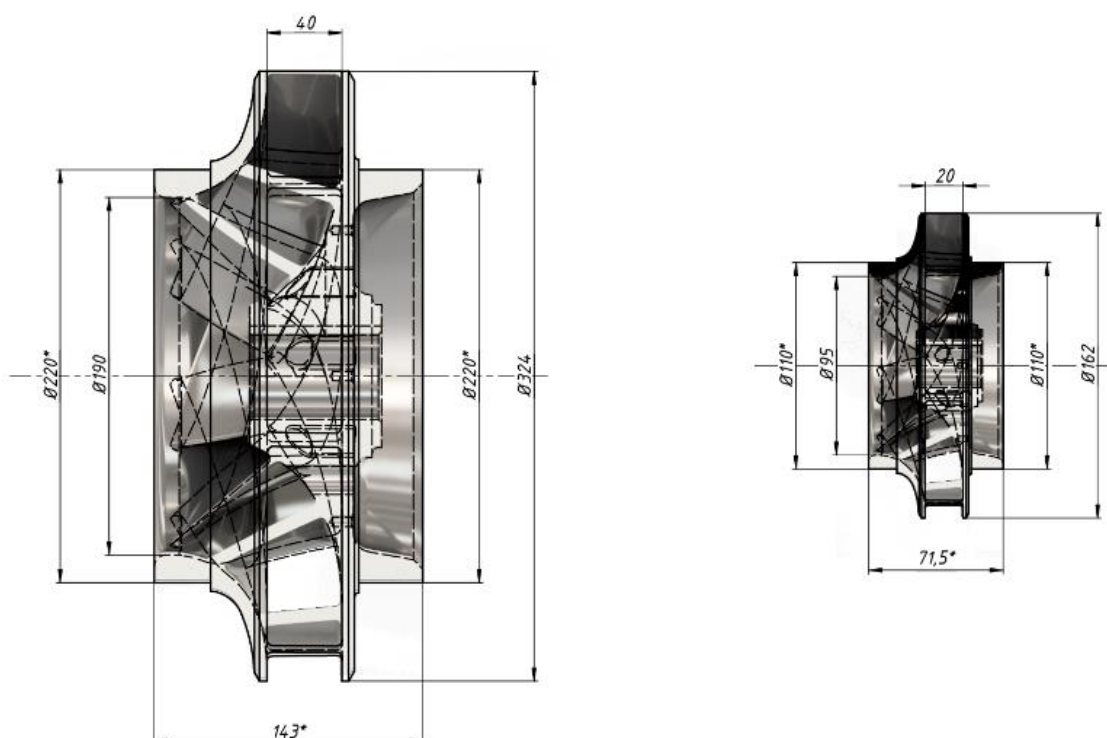
$$K_1 = 0,5, \quad K_1 = \frac{D_{\Pi}}{D_M} = \sqrt[3]{\frac{Q_{\Pi} n_M}{Q_M n_{\Pi}}} = \sqrt[3]{\frac{0,01041667 \cdot 1500}{0,08333 \cdot 1500}} = 0,5. \quad (3.1)$$

яғни, жоғарыдағы формулалармен толық масштабты сорғынының 2 есе кішірейтілген жаңа сорғыға негізгі деректерін алдық.

Жобаланатын жұмыс дөңгелегінің геометриялық ұқсастыққа сәйкес геометриялық өлшемдері (3.2-кестеде бастапқы өлшемдерге K_1 коэффициентін қолданғаннан кейінгі мәндер көрсетілген):

3.2 кесте – Жаңа жобаланатын сорғының негізгі геометриялық өлшемдері:

Параметр	Мәні	Өлшем бірлік	Атауы
D0п	95	мм	Дөңгелекке кіру диаметрі
D1п	60	мм	Қалақшалардың басталу диаметрі
D2п	162	мм	Сыртқы диаметрі
b1п	35	мм	Кіреберістегі ені
b2п	20	мм	Шығу ені
d_{стп} п	36,75	мм	Дөңгелек күпшегінің диаметрі
d_в п	23	мм	Жетек білігінің диаметрі
zп	7	-	Қалақша саны
sп	3	мм	Қалақша қалыңдығы



3.2 сурет – Үлгілік және жобаланған жұмыс дөңгелектерінің негізгі геометриялық параметрлері

Толық масштабты сорғы оңтайлы режимде жұмыс істейді деп қабылдап, толық ПӘК-інің жуық мәнін статикалық жолмен анықтау:

Көлемдік ПӘК:

$$\eta_{01} = \frac{1}{1+0.68 \cdot n_s^{\frac{2}{3}}} = 0,97248, \quad (3.2)$$

$$\eta_{02} = \frac{Q}{Q+q} = \frac{0,08333}{0,08333+8,33 \cdot 10^{-7}} = 0,99, \quad (3.3)$$

$$\eta_o = \eta_{01} \cdot \eta_{02} = 0,97 \cdot 0,99 = 0,97. \quad (3.4)$$

Гидравликалық ПӘК:

$$\eta_r = 0.7 + 0.00835 \cdot \lg \left(4 \cdot \sqrt[3]{\frac{Q}{n}} \right) = 0.7. \quad (3.5)$$

мұндағы Q – сорғының сағаттық беріліс.

Статистикалық деректер оңтайлы режимде жұмыс істейтін центрден тепкіш сорғылардың механикалық тиімділігінің мәндері 0,92-ден 0,99-ға дейінгі диапазонда жатқанын көрсетеді. Сондықтан берілген деректерге сай теңестіру үшін шамамен алуға болады [4]:

Механикалық ПӘК:

$$\eta_m = 0.92 \div 0.99, \quad \eta_m = 0.913. \quad (3.6)$$

Әр ПӘК-тердің өзара көбейтіндісі толық ПӘК-ті береді:

$$\eta_{\text{толық}} = \eta_o \cdot \eta_r \cdot \eta_m = 0.97 \cdot 0.7 \cdot 0.913 = 0.62. \quad (3.7)$$

Пайдалы әсер ету коэффициентін анықтаудың басқа жолы:

$$\eta_{\text{толық}} = \frac{\rho g H Q}{1000 N} = \frac{1029 \cdot 9.81 \cdot 32 \cdot 0.08333}{1000 \cdot 45} = 0.5982. \quad (3.8)$$

Екі жолда алынған нәтижелер айтарлықтай ерекшеленбейді, сондай-ақ берілген бастапқы деректерге сәйкес $\eta_{\text{толық}} = 0.62$ деп алынды.

Жобаланатын сорғы үшін ПӘК-ті (3.2-3.8-формулар) қайта есептеп, ұқсастық әдісінің динамикалық ұқсастығын дәлелдеу. ПӘК-тердің шамалы мәндерін келесі формулалармен есептеуге болады:

$$\eta_{o1} = \frac{1}{1 + 0.68 \cdot n_s^{-\frac{2}{3}}} = 0.97248,$$
$$\eta_{o2} = \frac{Q}{Q + q} = \frac{37.5}{37.5 + 0.375} = 0.99.$$

Ұқсастық заңына сәйкес сыртқы ағу:

$$\frac{q_p}{q_n} = \lambda^3 \frac{n_p}{n_n}, \quad q_p = 1.04166 \text{ м}^3/\text{с} = 0.375 \text{ л/сағ}. \quad (3.9)$$

Толық ПӘК-ті табу (3.2-3.8 формулалар):

$$\eta_o = \eta_{o1} \cdot \eta_{o2} = 0,97 \cdot 0,99 = 0,97,$$

$$\eta_{\Gamma} = 0,7 + 0,00835 \cdot \lg \left(4 \cdot \sqrt[3]{\frac{Q}{n}} \right) = 0,7,$$

$$\eta_M = 0,92 \div 0,99, \quad \eta_M \approx 0,913,$$

$$\eta_{\text{жалпы}} = \eta_o \cdot \eta_{\Gamma} \cdot \eta_M = 0,97 \cdot 0,7 \cdot 0,913 = 0,62,$$

$$\eta_{\text{жалпы}} = \frac{\rho g H Q}{1000 \cdot N} = \frac{1029 \cdot 9,81 \cdot 8 \cdot 0,01041667}{1000 \cdot 1,40625} = 0,5982.$$

Алынған пайдалы әсер ету коэффициенттерінің мәндеріне сай, келесі динамикалық ұқсастық шарты (2.18-формулаға сәйкес) орындалды:

$$\eta_{OM} = \eta_{OP}, \quad \eta_{\Gamma M} = \eta_{\Gamma P}, \quad \eta_{MM} = \eta_{MP},$$

$$\eta_{\text{толық м}} = \eta_{\text{толық п}}.$$

Кіреберістегі (1) және шығаберістегі (2) қалақшаның бұрыштарын, сорғыдағы сұйықтың жылдамдық векторларын анықтау:

Қалақша басындағы айналмалы жылдамдық:

$$u_1 = \omega \cdot r_1 = \frac{\pi \cdot D_1 \cdot n}{60}, \quad (3.10)$$

$$u_{1M} = \frac{\pi \cdot 120 \cdot 10^{-3} \cdot 1500}{60} = 9,42478 \text{ м/с},$$

$$u_{1П} = \frac{\pi \cdot 60 \cdot 10^{-3} \cdot 1500}{60} = 4,71239 \text{ м/с},$$

$$\frac{u_{1П}}{u_{1M}} = 0,5 \quad - \text{кинематикалық ұқсастық орындалды.}$$

Өстік жылдамдық:

$$C_0 = (0,06 \div 0,08) \cdot \sqrt[3]{Q \cdot n^2}, \quad (3.11)$$

$$C_{0M} = 0,06 \cdot \sqrt[3]{Q_M \cdot n_M^2} = 3,4341 \text{ м/с}, \quad C_{0П} = 0,06 \cdot \sqrt[3]{Q_{П} \cdot n_{П}^2} = 1,71707 \text{ м/с},$$

$$\frac{C_{0M}}{C_{0П}} = 0,5, \quad - \text{кинематикалық ұқсастық орындалды.}$$

Кіріс пен шығыстағы болжамалы шектеу коэффициенттері және беру коэффициенттері таңдалады:

$$k_1 = 1.34;$$

$$k_2 = 1.1;$$

$$k = 0.8;$$

Басындағы және соңындағы абсолюттік жылдамдықтың меридиандық компоненті:

$$C_{1m} = k_1 \cdot C_0, \quad (3.12)$$

$$C_{1mm} = 1,34 \cdot 3,4341 = 4,6017, \quad C_{1m\pi} = 1,34 \cdot 1,71707 = 2,30087 \text{ м/с},$$

$$C_{2m} = k_2 \cdot C_0, \quad (3.13)$$

$$C_{2mm} = 1,1 \cdot 3,4341 = 3,77751 \text{ м/с}, \quad C_{2m\pi} = 1,1 \cdot 1,71707 = 1,888777 \text{ м/с}.$$

Кіреберістегі қалақша бұрышы:

$$\operatorname{tg} \beta_{1.0} = \frac{C_{1m}}{u_1 - C_{1u}}, \quad \Rightarrow \quad \beta_1 = \operatorname{arctg} \left(\frac{C_{1m}}{u_1 - C_{1u}} \right) + \Delta\beta, \quad (3.14-3.15)$$

Бастапқы айналым болмаған жағдайда $C_{1u} = 0$.

$$\Delta\beta = 2^\circ \quad - \text{шабуыл бұрышы}$$

$$\beta_{1m} = \operatorname{arctg} \left(\frac{C_{1mm}}{u_{1m}} \right) + \Delta\beta = \operatorname{arctg} \left(\frac{4,601694}{9,42478} \right) + \Delta\beta = 26,02^\circ + 2^\circ = 28,02^\circ;$$

$$\beta_{1\pi} = \operatorname{arctg} \left(\frac{C_{1m\pi}}{u_{1\pi}} \right) + \Delta\beta = \operatorname{arctg} \left(\frac{2,3008738}{4,71239} \right) + \Delta\beta = 26,02^\circ + 2^\circ = 28,02^\circ;$$

$$\beta_{1m} = \beta_{1\pi} = 28,02^\circ; \quad - \text{бұрыштық өлшемдерінің теңдігі орындалды.}$$

Қалақша басындағы салыстырмалы жылдамдық:

$$w_1 = \frac{C_{1m}}{\sin \beta_1}, \quad (3.15)$$

$$w_{1m} = \frac{4,601694}{\sin(28,02^\circ)} = 9,79543 \text{ м/с}, \quad w_{1\pi} = \frac{2,3008738}{\sin(28,02^\circ)} = 4,89777 \text{ м/с},$$

$$\frac{w_{1m}}{w_{1\pi}} = 0,5.$$

Шығаберістегі қалақша бұрышы:

$$\beta_2 = \arcsin \left[\left(\frac{w_1}{w_{2\infty}} \right) \cdot \frac{k_2}{k_1} \cdot \frac{C_{2m}}{C_{1m}} \cdot \sin \beta_1 \right], \quad (3.16)$$

$$w_{2\infty} = (0,6 \div 0,8) \cdot w_1, \quad (3.17)$$

$$w_{2\infty M} = 0,7 \cdot w_{1M} = 0,7 \cdot 9,79543 = 6,856801 \text{ м/с},$$

$$w_{2\infty \Pi} = 0,7 \cdot w_{1\Pi} = 0,7 \cdot 4,89777 = 3,428439 \text{ м/с},$$

$$\begin{aligned} \beta_{2M} &= \arcsin \left[\left(\frac{w_{1M}}{w_{2\infty M}} \right) \cdot \frac{k_2}{k_1} \cdot \frac{C_{2mM}}{C_{1mM}} \cdot \sin \beta_{1M} \right] = \\ &= \arcsin \left[\left(\frac{9,79543}{6,856801} \right) \cdot \frac{1,1}{1,34} \cdot \frac{3,77751}{4,601694} \cdot \sin(28,02^\circ) \right] = 26,89^\circ, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \beta_{2\Pi} &= \arcsin \left[\left(\frac{w_{1\Pi}}{w_{2\infty \Pi}} \right) \cdot \frac{k_2}{k_1} \cdot \frac{C_{2m\Pi}}{C_{1m\Pi}} \cdot \sin \beta_{1\Pi} \right] = \\ &= \arcsin \left[\left(\frac{4,89777}{3,428439} \right) \cdot \frac{1,1}{1,34} \cdot \frac{1,888777}{2,3008738} \cdot \sin(28,02^\circ) \right] = 26,89^\circ, \end{aligned}$$

$\beta_{2M} = \beta_{2\Pi} = 26,89^\circ$ - бұрыштық өлшемдерінің теңдігі орындалды

Қалақша соңында салыстырмалы жылдамдық:

$$w_2 = \frac{C_{2m}}{\sin \beta_2}, \quad (3.18)$$

$$w_{2M} = \frac{3,77751}{\sin(26,89^\circ)} = 8,35217 \text{ м/с}, \quad w_{2\Pi} = \frac{1,888777}{\sin(26,89^\circ)} = 4,17613 \text{ м/с},$$

$$\frac{w_{2\Pi}}{w_{2M}} = 0,5.$$

Қалақша соңындағы айналмалы жылдамдық:

$$\begin{aligned} u_2 &= \frac{C_{2m}}{2 \operatorname{tg} \beta_2} + \sqrt{\left(\frac{C_{2m}}{2 \operatorname{tg} \beta_2} \right)^2 + gH_E + C_{1u} u_1}, \\ u_{2M} &= \frac{C_{2mM}}{2 \operatorname{tg} \beta_2} + \sqrt{\left(\frac{C_{2mM}}{2 \operatorname{tg} \beta_2} \right)^2 + gH_E + C_{1uM} u_{1M}} = \\ &= \frac{3,77751}{2 \cdot \operatorname{tg}(26,89^\circ)} + \sqrt{\left(\frac{3,77751}{2 \cdot \operatorname{tg}(26,89^\circ)} \right)^2 + 9,81 \cdot 57,142857} \\ &= 27,69211 \text{ м/с}, \end{aligned} \quad (3.19)$$

$$H_{EM} = \frac{H_M}{\eta_{\Gamma M} k} = \frac{32}{0,7 \cdot 0,8} = 57,142857 \text{ м}, \quad (3.20)$$

$$\begin{aligned}
u_{2\Pi} &= \frac{C_{2m\Pi}}{2\operatorname{tg}\beta_2} + \sqrt{\left(\frac{C_{2m\Pi}}{2\operatorname{tg}\beta_2}\right)^2 + gH_E + C_{1u\Pi}u_{1\Pi}} = \\
&= \frac{1,888777}{2 \cdot \operatorname{tg}(26,89^\circ)} + \sqrt{\left(\frac{1,888777}{2 \cdot \operatorname{tg}(26,89^\circ)}\right)^2 + 9,81 \cdot 14,285714} \\
&= 13,84608 \text{ м/с}, \\
H_{E\Pi} &= \frac{H_\Pi}{\eta_{\Gamma\Pi}k} = \frac{8}{0,7 \cdot 0,8} = 14,285714 \text{ м},
\end{aligned}$$

$$\frac{u_{2\Pi}}{u_{2M}} = 0,5 - \text{кинематикалық ұқсастық орындалды.}$$

Басындағы абсолюттік жылдамдық:

$$\begin{aligned}
c_1^2 &= u_1^2 + w_1^2 - 2 \cdot u_1 \cdot w_1 \cdot \cos\beta_1, \\
c_1 &= \sqrt{u_1^2 + w_1^2 - 2 \cdot u_1 \cdot w_1 \cdot \cos\beta_1},
\end{aligned} \tag{3.21}$$

$$\begin{aligned}
c_{1M} &= \sqrt{u_{1M}^2 + w_{1M}^2 - 2 \cdot u_{1M} \cdot w_{1M} \cdot \cos\beta_{1M}} = \\
&= \sqrt{9,42478^2 + 9,79543^2 - 2 \cdot 9,42478 \cdot 9,79543 \cdot \cos(28,02^\circ)} \\
&= 4,66692 \text{ м/с}, \\
c_{1\Pi} &= \sqrt{u_{1\Pi}^2 + w_{1\Pi}^2 - 2 \cdot u_{1\Pi} \cdot w_{1\Pi} \cdot \cos\beta_{1\Pi}} = \\
&= \sqrt{4,71239^2 + 4,89777^2 - 2 \cdot 4,71239 \cdot 4,89777 \cdot \cos(28,02^\circ)} \\
&= 2,33348 \text{ м/с},
\end{aligned}$$

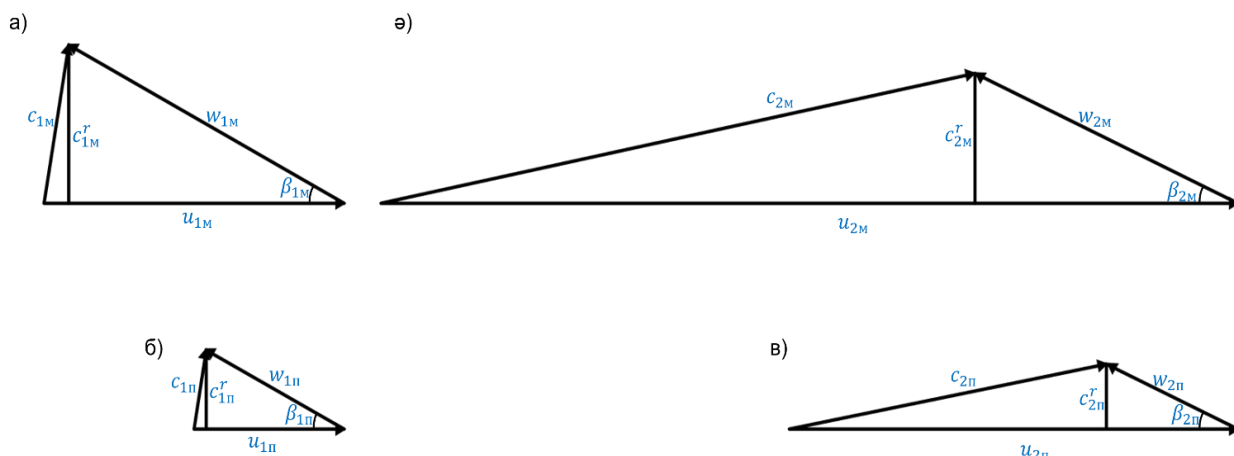
$$\frac{c_{1\Pi}}{c_{1M}} = 0,5 - \text{кинематикалық ұқсастық орындалды.}$$

Соңындағы абсолюттік жылдамдық:

$$\begin{aligned}
c_2^2 &= u_2^2 + w_2^2 - 2 \cdot u_2 \cdot w_2 \cdot \cos\beta_2, \\
c_2 &= \sqrt{u_2^2 + w_2^2 - 2 \cdot u_2 \cdot w_2 \cdot \cos\beta_2},
\end{aligned} \tag{3.22}$$

$$\begin{aligned}
c_{2M} &= \sqrt{u_{2M}^2 + w_{2M}^2 - 2 \cdot u_{2M} \cdot w_{2M} \cdot \cos\beta_{2M}} = \\
&= \sqrt{27,69211^2 + 8,35217^2 - 2 \cdot 27,69211 \cdot 8,35217 \cdot \cos(26,89^\circ)} = \\
&= 20,59245 \text{ м/с}, \\
c_{2\Pi} &= \sqrt{u_{2\Pi}^2 + w_{2\Pi}^2 - 2 \cdot u_{2\Pi} \cdot w_{2\Pi} \cdot \cos\beta_{2\Pi}} = \\
&= \sqrt{13,84608^2 + 4,17613^2 - 2 \cdot 13,84608 \cdot 4,17613 \cdot \cos(26,89^\circ)} = \\
&= 10,29621 \text{ м/с},
\end{aligned}$$

$$\frac{c_{2\Pi}}{c_{2M}} = 0,5 - \text{кинематикалық ұқсастық орындалды.}$$



3.3 сурет – Толық масштабты және жобаланға жұмыс дөңгелектері үшін жылдамдықтар планы, мұнда: а – үлгілік жұмыс дөңгелегі басындағы; ә – үлгілік жұмыс дөңгелегі соңындағы; б – жобаланған жұмыс дөңгелегі басындағы; в – жобаланған жұмыс дөңгелегі соңындағы жылдамдық векторларының үшбұрышы.

Ұқсастық әдісінің негізгі критерийлері:

Струхаль критерийі (2.2-формулаға сәйкес):

$$Sh = \frac{C_{2mm}}{D_{2m} \cdot n_m} = \frac{C_{2мп}}{D_{2п} \cdot n_п}, \quad (3.23)$$

$$Sh = \frac{3,77751}{324 \cdot 10^{(-3)} \cdot 1500} = \frac{1,888777}{162 \cdot 10^{(-3)} \cdot 1500} = 0,007773.$$

Эйлер критерийі (2.3-формулаға сәйкес):

$$Eu = \frac{P_m}{C_{2mm}^2 \cdot \rho_m} = \frac{P_п}{C_{2мп}^2 \cdot \rho_п}, \quad (3.24)$$

$$P = \rho \cdot g \cdot H \quad (3.25)$$

$$P_m = \rho_m \cdot g \cdot H_m = 323023,68 \text{ Па}, \quad P_п = \rho_п \cdot g \cdot H_п = 80755,92 \text{ Па}$$

$$Eu = \frac{323023,68}{3,77751^2 \cdot 1029} = \frac{80755,92}{1,888777^2 \cdot 1029} = 22.$$

Рейнольдс критерийі (2.1-формулаға сәйкес):

$$Re = \frac{D_2 \cdot u_2}{\nu}, \quad (3.26)$$

$$Re_m = \frac{D_{2m} \cdot C_{2mm}}{\nu} = \frac{0,324 \cdot 3,77751}{1,188 \cdot 10^{-6}} = 1030230,$$

$$Re_{\pi} = \frac{D_{2\pi} \cdot u_{2\pi}}{\nu} = \frac{0,162 \cdot 1,888777}{1,188 \cdot 10^{-6}} = 257560,5,$$

$$\frac{Re_{\pi}}{Re_m} = 0,25.$$

Модельді таңдауды жеңілдету үшін жобаланған сорғы да, модель де центрден тепкіш сорғылардың көпшілігі сияқты $Re > 10^5$ үшін автомодельді үйкеліс аймағында жұмыс істейді деп есептей отырып, Рейнольдс критерийлерінің теңдігі еленбейді, яғни сорғыларда үйкеліс күштері тұтқырлыққа тәуелді емес, сұйықтық қозғалысының формасына және кедергі коэффициентінің шамасына әсер етпейді [7].

Фруд критерийі (2.4-формулаға сәйкес):

$$Fr = \frac{C_{2m}^2}{g \cdot D_2}, \quad (3.27)$$

$$Fr_m = \frac{C_{2mm}^2}{g \cdot D_{2m}} = \frac{3,77751^2}{9,81 \cdot 0,324} = 4,4849,$$

$$Fr_{\pi} = \frac{C_{2m\pi}^2}{g \cdot D_{2\pi}} = \frac{1,888777^2}{9,81 \cdot 0,162} = 2,2448,$$

$$\frac{Fr_{\pi}}{Fr_m} = 0,5.$$

Қозғалыс аймағында бос беттер болмаған кезде, гидростатикалық қысым өрісі сұйықтыққа ауырлық күшінің әсерін теңестіреді және динамикалық ұқсастықты қамтамасыз ету шарты $Fr = idem$ жоғалады. Гидравликалық машиналардың ағын жолындағы сұйықтықтың қозғалысын модельдеу кезінде Фруд критерийі динамикалық ұқсастық шарттарына кірмейді [7].

3.2 Жұмыс дөңгелегін жобалау үшін Matlab көмегімен бағдарламаны жүзеге асыру

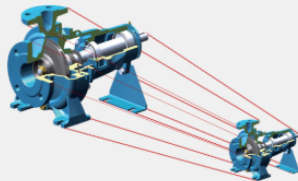
Бұл тарауда Matlab бағдарламасында орындалатын жұмыстар мен есептеулер сипатталған. Бағдарлама сорғы құрастырушысына центрден тепкіш сорғының негізгі дизайнын жасауға көмектесетін құрал ретінде әзірленген.

Менің дипломдық жұмысым барысында бағдарлама ұқсастық теориясы әдісі арқылы бар сорғының геометриялық деректерін анықтау, сорғы

характеристикаларын көрсету, жылдамдық үшбұрыштарының есептеулері, жұмыс дөңгелегінің көлденең қима профильдері мен қалақша сызықтарының визуализациясы, ұқсастық әдісінің негізгі критерийлерін есептеу енгізілді, есептеулердің көпшілігі Ивановский В.Н. [4] берген тәсілдерге негізделген. Негізгі есептеулер жоғарыда эмпирикалық математикалық модельдің негізінде құрастырылған.

Бұл дипломдық жұмыста Matlab-та орындалған жұмыстың мақсаты жұмыс дөңгелегінің кірісіндегі және шығысындағы жылдамдық үшбұрыштарын есептеу, сондай-ақ белгілі геометрия негізінде белгілі бір сорғы сипаттамаларын жуықтау болды.

**Проектирование рабочего колеса
методом теории подобия**

Основные данные	Кривые характеристик	Линия лопасти	Треугольник векторов скоростей	Основные критерии подобия	Кривая подобных насосов
Модель Напор насоса (м) $H =$ 0 Подача насоса ($\text{м}^3/\text{с}$) $Q =$ 0 Частота вращения вала насоса (об/мин) $n =$ 0 Мощность на валу (кВт) $N_b =$ 0 Геометрические параметры Диаметр входа (мм) $D_0 =$ 0 Диаметр начала лопаток (мм) $D_1 =$ 0 Внешний диаметр колеса (мм) $D_2 =$ 0 Начальная ширина (мм) $b_1 =$ 0 Конечная ширина (мм) $b_2 =$ 0 Диаметр ступицы колеса (мм) $d_{ст} =$ 0 Диаметр вала (мм) $d_v =$ 0 Число лопаток $z =$ 0 Толщина лопаток (мм) $s =$ 0 Другие параметры по входным данным Коэффициент быстроходности $n_s =$ 0 Удельная частота вращения $n_{уд} =$ 0 Рассчитать					
Проектируемый насос Линейный масштаб моделирования $KL =$ 0 Частота вращения вала насоса (об/мин) $n =$ 0 Рассчитать подобие Напор насоса (м) $H =$ 0 Подача насоса ($\text{м}^3/\text{с}$) $Q =$ 0 Мощность на валу (кВт) $N_b =$ 0 Геометрические параметры Диаметр входа (мм) $D_0 =$ 0 Диаметр начала лопаток (мм) $D_1 =$ 0 Внешний диаметр колеса (мм) $D_2 =$ 0 Начальная ширина (мм) $b_1 =$ 0 Конечная ширина (мм) $b_2 =$ 0 Диаметр ступицы колеса (мм) $d_{ст} =$ 0 Диаметр вала (мм) $d_v =$ 0 Число лопаток $z =$ 0 Толщина лопаток (мм) $s =$ 0 Другие параметры по входным данным Козф.быстроходности $n_s =$ 0 Удельная частота вращения $n_{уд} =$ 0					
КПД КПД модель $\eta_a =$ 0 $\eta_a_g =$ 0 $\eta_{a_o} =$ 0 $\eta_{a_m} =$ 0 КПД проектируемый $\eta_a =$ 0 $\eta_a_g =$ 0 $\eta_{a_o} =$ 0 $\eta_{a_m} =$ 0  С помощью этой программы можно спроектировать новый центробежный насос методом теории подобия на основе другого полномасштабного насоса. Программа выдает основные данные, как напор, подачу и мощность, а так же геометрические параметры. Для этого нужно ввести эти же данные полномасштабного насоса. После чего, используя эти данные программа вычисляет теоретические кривые характеристик, треугольник скоростей и основные критерии подобия на основе эмпирического математической модели. Так же можно получить сечение и среднюю линию лопасти, но только используя основные данные, не учитываются геометрические параметры насосов. В последнем окне, выводится данные при масштабировании, методом теории подобия, при линейном масштабе моделирования от 0,1 до 2,0.					

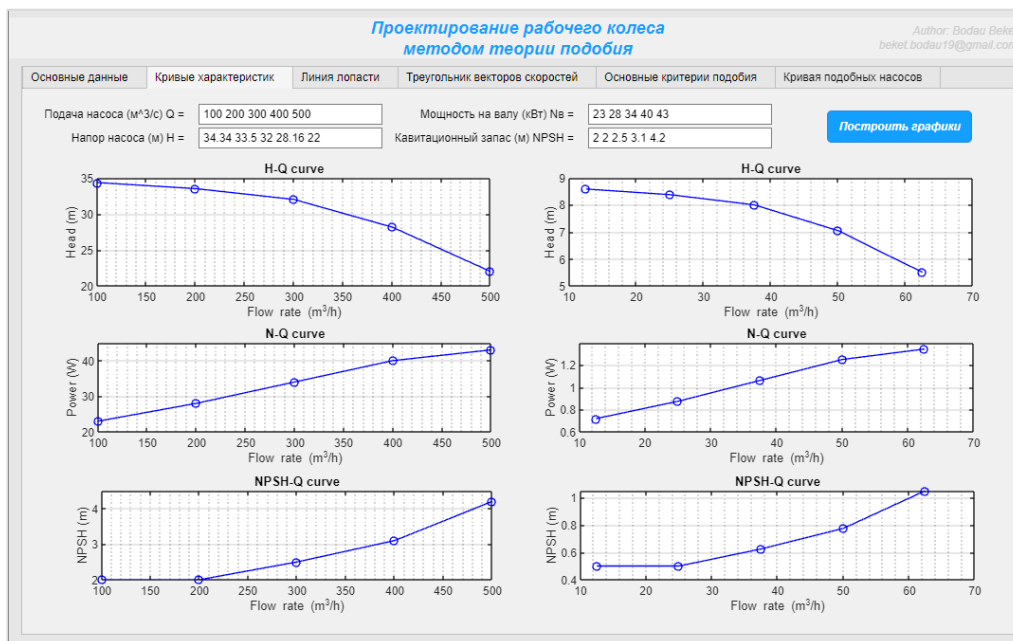
3.4 сурет – Matlab-та құрастырылған бағдарламаның негізі беті

Жоғарыдағы бөлімде айтылғандай, Matlab бағдарламасы бастапқыда белгілі бір қолдану үшін ұсынылған сорғы дизайнын қамтамасыз ету үшін жасалған. Бұл дипломдық жұмыс үшін бағдарлама жұмыс шарттарына емес, арнайы сорғының өлшемдерін енгізу мүмкіндігіне ие болу үшін өзгертілді. Бұл жұмыстың көпшілігі «International Satbayev Conference (ISC 2023)» конференциясына арналған авторлық жобалық зерттеу мақаласында орындалды, бірақ одан әрі өзгерістер енгізілді.

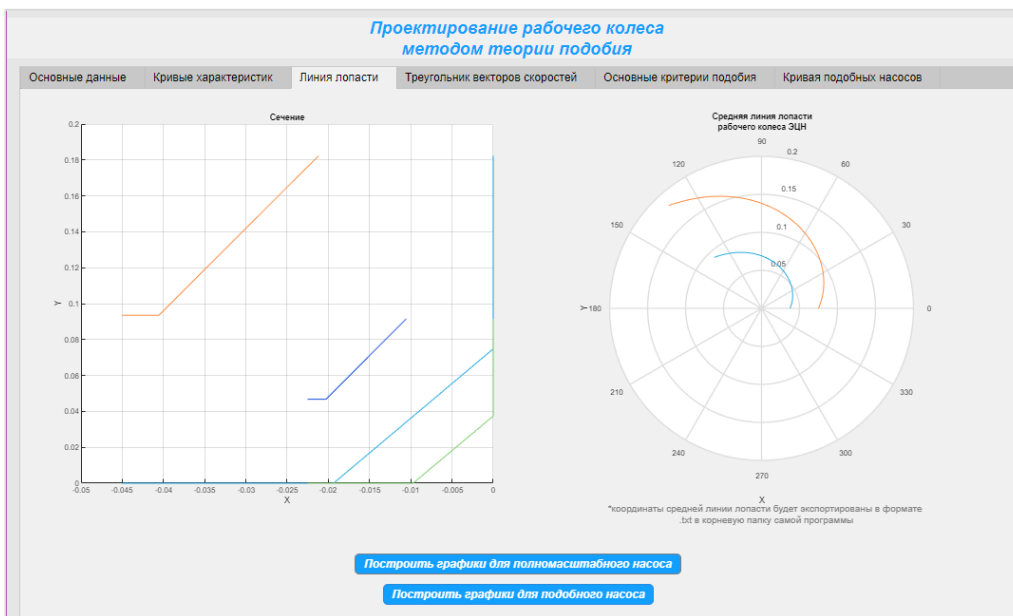
Бағдарлама Matlab тілінде жазылған және пайдаланушы барлық кіріс мәндерін өңдей алатын графикалық пайдаланушы интерфейсін (GUI) береді. Бағдарлама Matlab жүйесіндегі App Designer интерактивті әзірлеу ортасында құрастырылған. Бағдарлама .exe файлын орнату арқылы, соны іске қосу арқылы іске қосылады. Бұл жерде сорғыға арналған дизайн параметрлерінің көпшілігі өңделеді және 3.4-суретте көрсетілгендей жұмыс дөңгелегі, кіріс және шығыс

жылдамдықтары (3.7-сурет) және сорғы сипаттамаларының графикалық көрсетілімі, ұқсастық әдісінің негізгі деректері мен одан шығатын өңделген мәндер берілген.

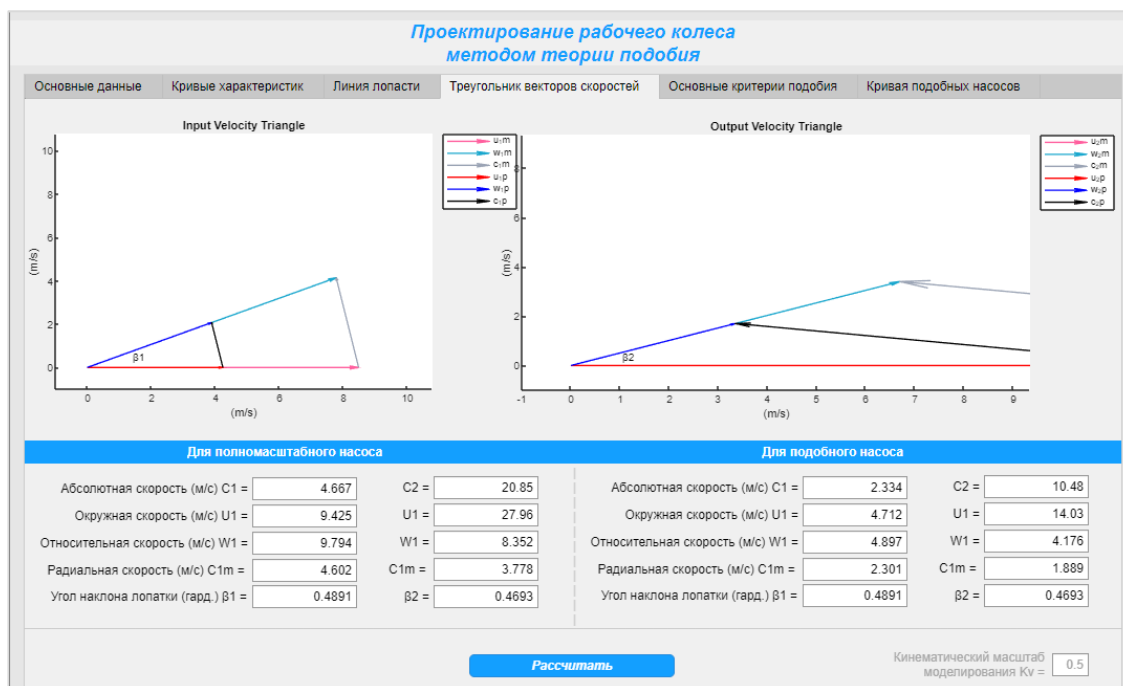
Негізгі өлшемдерді іске қосқаннан кейін келесі терезе толық масштабты мен ұқсастық әдісімен жобаланған сорғы үшін эксперименттік сипаттамалық қисық сызықтарын шығарады (3.5-сурет). Одан кейін көлденең қима профильдері, қалақша сызықтарының визуализациясын (3.6-сурет), ұқсастық критериилері (3.8-сурет) мен толық масштабты сорғы үшін ұқсастық сызығын (3.9-сурет) береді.



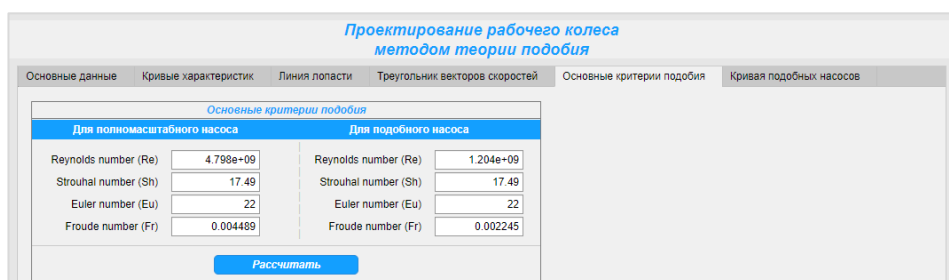
3.5 сурет – Matlab-та құрастырылған бағдарламаның сипаттамалық қисықтарын көрсету терезесі



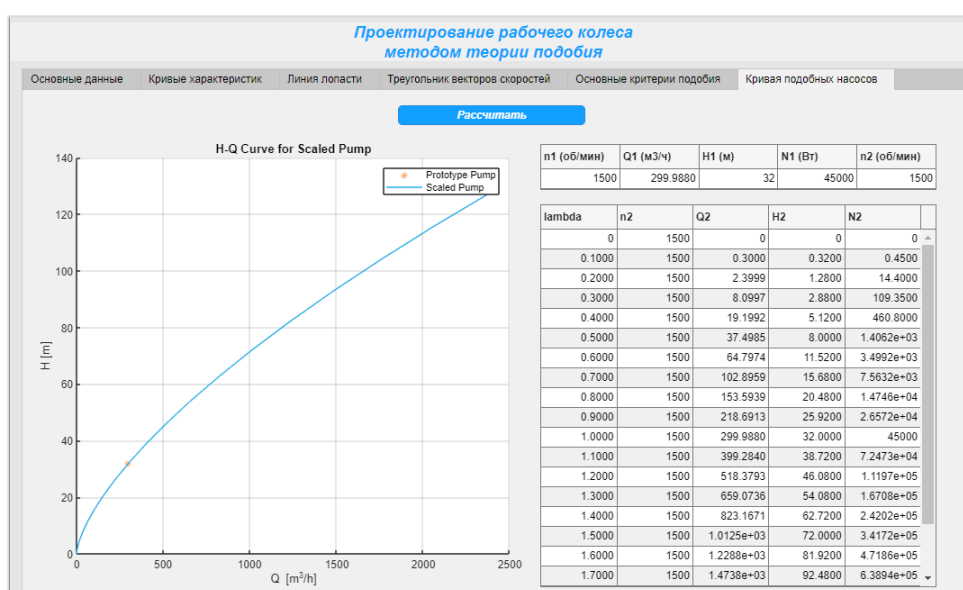
3.6 сурет – Matlab-та құрастырылған бағдарламаның қалақша сызығы мен қимасын көрсету терезесі



3.7 сурет – Matlab-та құрастырылған бағдарламаның жылдамдық векторларының үшбұрышын көрсету терезесі



3.8 сурет – Matlab-та құрастырылған бағдарламаның ұқсастық теориясы негізінде ұқсастық критерийлерін көрсету терезесі



3.9 сурет – Matlab-та құрастырылған бағдарламаның ұқсастық сызығын көрсету терезесі

4 Зерттеу нәтижелері

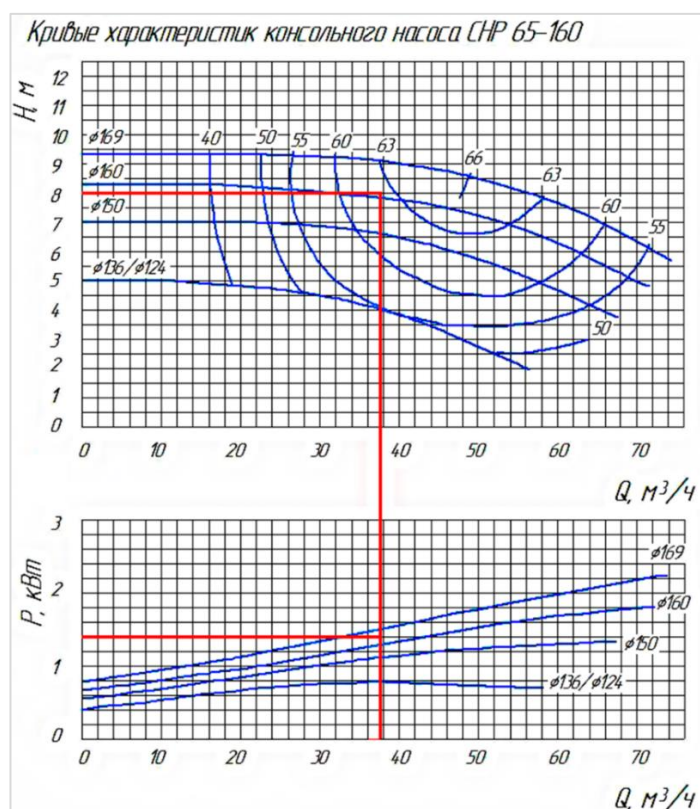
4.1 Эмпирикалық математикалық модельді қолдану нәтижесінде алынған нәтижелері

Жаңа центрден тепкіш сорғының негізгі параметрлерін СНР 150-315 сорғыны 2 есе кіші масштаб негізінде есептеп шығарып, толық масштабты үлгісіне ұқсас екенін дәлелдегеннен кейін келесі қорытындыға келуге болады. Алынған прототиптің негізгі деректері мен өлшемдері «Karlskrona LC AB» ЖШС шығаратын көлденең центрден тепкіш консольдық сорғыларының СНР 65-160 нұсқасына ұқсастығына (4.1-сурет) келуге болады. Бастапқы болжамалы негізгі деректері:

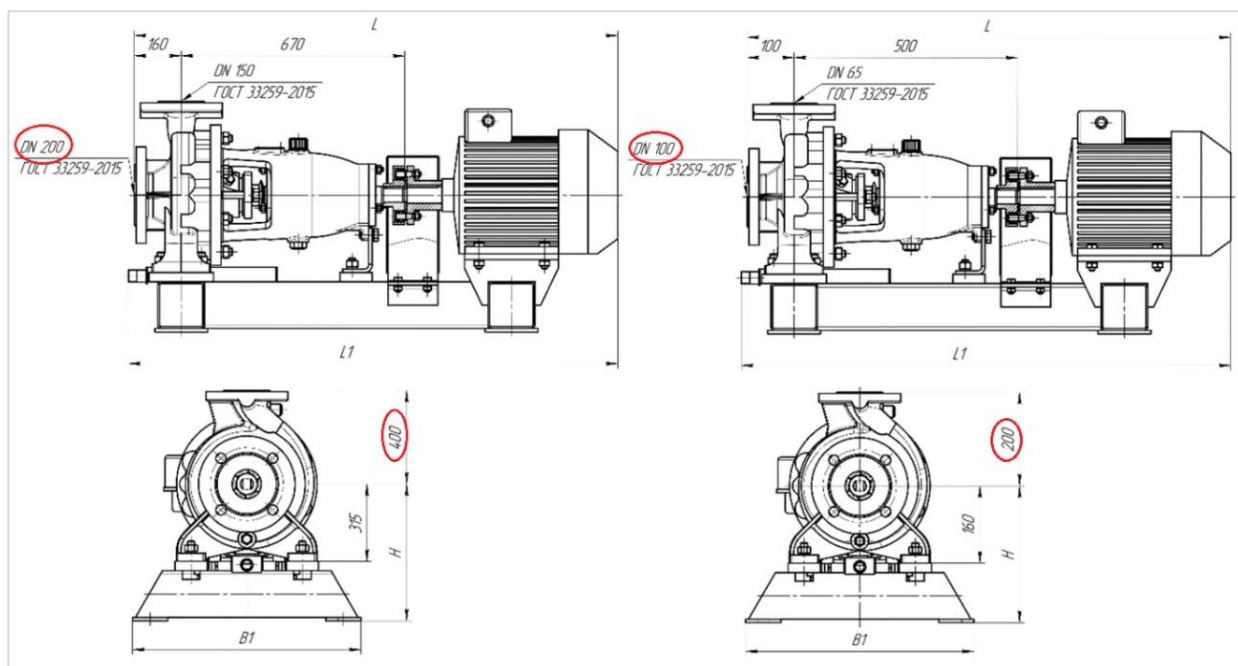
4.1 кесте – Жаңа жобаланатын сорғының негізгі деректері:

Параметр	Мәні	Өлшем бірлік	Атауы
Q	37,5	м ³ /сағ	Сорғының беруі
H	8	м, су бағанасы	Сорғының арыны
n	1500	айн/мин	Сорғы білігінің айналу жиілігі
N	1406,25	Вт	Қуат (эл.қозғалтқышы)

Сонымен қатар, СНР 65-160 пен СНР 150-315 сорғыларының негізгі сорғы геометриялық өлшемдері ұқсас және 2 есеге өзгертінін (4.2-сурет) байқауға болады.



4.1 сурет – СНР 65-160 консольдық сорғысының қисықтары [8]



4.2 сурет – СНР 150-315 пен СНР 65-160 консольдық сорғыларының габариттері [8]

Ұқсастық әдісін қолдана отырып, жұмыс істеп тұрған сорғыларды салыстыруға және олардың беруі мен арын сипаттамаларына ұқсас (4.2, 4.3-кестелер) бірнеше сорғыларды анықтауға мүмкіндік туды. Графикке қажетті «Н [м]» арын және «Q [м³/ч]» ағын беруін салу (4.3-сурет) және қиылысу нүктесін анықтау арқылы сәйкес ұқсас модельдер (4.4-сурет) анықталды. Сонымен қатар, есептеп жобалаған (яғни $K_1 = 0,5$) жаңа сорғы осы қисықта жатады.

Басқа ұқсас СНР сорғысының модельдері: 50-160, 65-160, 100-250, 150-315, 200-500. Жаңа сорғының өнімділік сипаттамаларын ұқсас сорғылармен салыстыру арқылы ұқсастық әдісі жаңа центрден тепкіш сорғыларды жобалауға және өндірістегі ұқсас сорғыларды анықтауға тиімді тәсіл екендігі анықталды.

4.2 кесте – Бастапқы енгізілген деректер

n1 (айн/мин)	Q1 (м³/сағ)	H1 (м)	N1 (Вт)	n2 (айн/мин)
1500	300	32	45000	1500

4.3 кесте – Нәтижесінде алынатын деректер

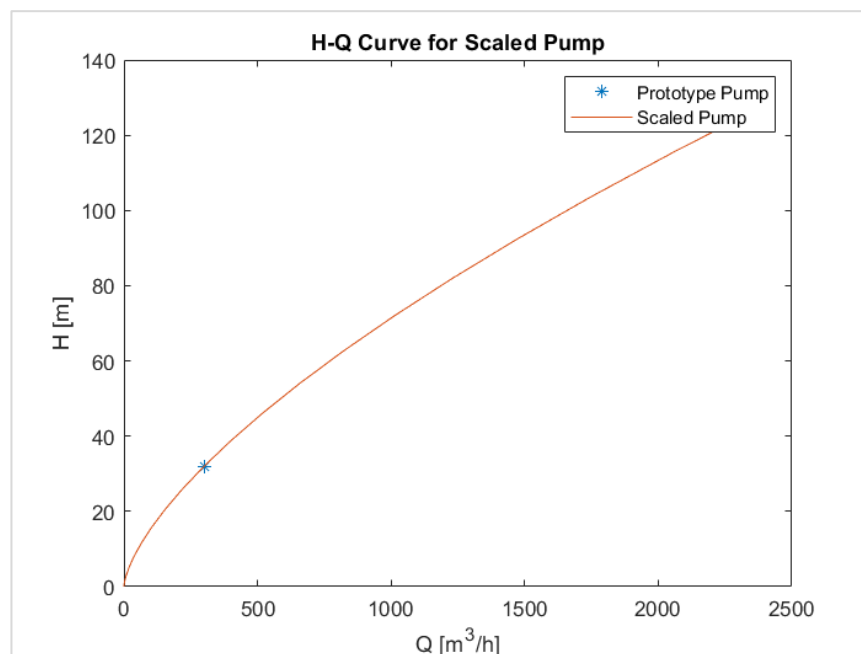
K1	n2	Q2	H2	N22
0	1500	0	0	0
0,1	1500	0,3	0,32	0,45
0,2	1500	2,4	1,28	14,4
0,3	1500	8,1	2,88	109,35
0,4	1500	19,2	5,12	460,8
0,5	1500	37,5	8	1406,25

K1	n2	Q2	H2	N22
1,1	1500	399,3	38,72	72472,95
1,2	1500	518,4	46,08	111974,4
1,3	1500	659,1	54,08	167081,9
1,4	1500	823,2	62,72	242020,8
1,5	1500	1012,5	72	341718,8
1,6	1500	1228,8	81,92	471859,2

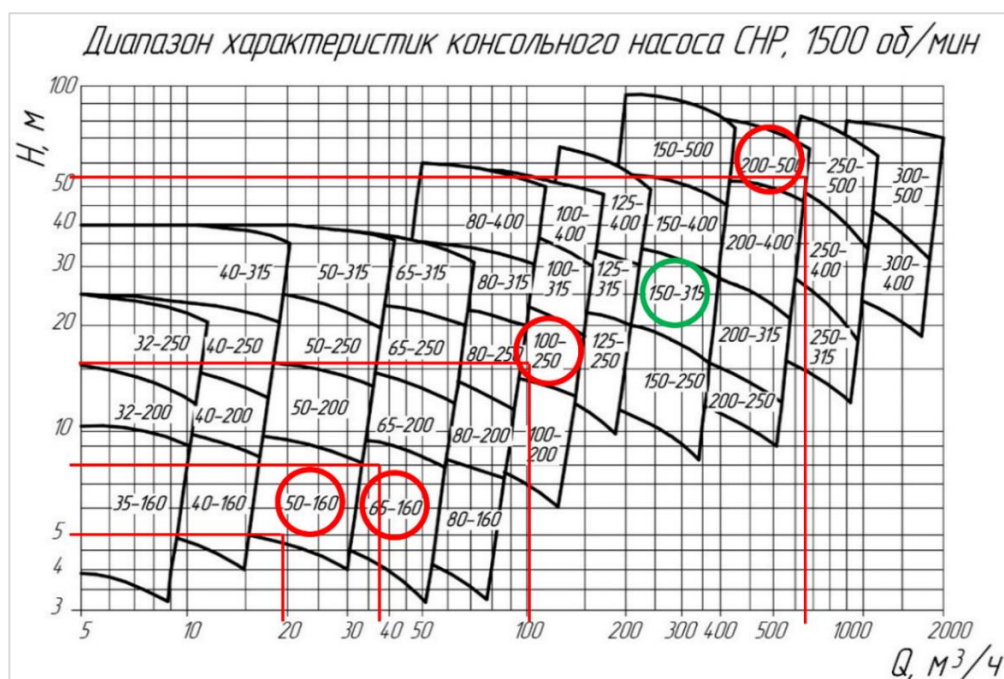
4.3-кестенің жалғасы

Kl	n2	Q2	H2	N22
0,6	1500	64,8	11,52	3499,2
0,7	1500	102,9	15,68	7563,15
0,8	1500	153,6	20,48	14745,6
0,9	1500	218,7	25,92	26572,05
1	1500	300	32	45000

Kl	n2	Q2	H2	N22
1,7	1500	1473,9	92,48	638935,7
1,8	1500	1749,6	103,68	850305,6
1,9	1500	2057,7	115,52	1114245
2	1500	2400	128	1440000



4.3 сурет – СНР 150-315 сорғысының Н арынының салыстырмалы Q беруіне тәуелділігі, Kl 0-ден 2,0 аралық үшін ұқсас сорғылар жататын қисық



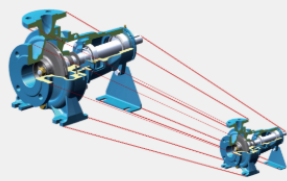
4.4 сурет – СНР сериясының 1500 айн/минутқа консольдық қондырғыларының сипаттамалық диапазоны мен анықтап алынған ұқсас сорғылар [8]

4.2 Matlab-та құрылған бағдарламаны қолдану нәтижесінде алынған нәтижелер

Matlab-та жасалған бағдарлама жұмыс дөңгелегі дизайны контекстінде айтарлықтай нәтиже берді. Бағдарламаны қолдану арқылы сорғы дөңгелегінің өнімділігі мен сипаттамаларын жан-жақты талдауға мүмкіндік беретін әртүрлі нәтижелер алынды (4.5-сурет). Бірақ бұл нәтижелер эмпирикалық математикалық модельдеудің төңірегінде ғана алынған және нағыз зерттеуде алынған мәліметтермен сай келмеуі мүмкін.

Дегенімен, болашақта бағдарламаның жаңартуларында жуық жақын мәндер алу қарастырылуыда. Қазіргі бағдарламаның нұсқасы жаңа сорғыны ұқсастық әдісімен жобалау үшін өте қолайлы және ыңғайлы болып табылады. Сонымен қатар, гидродинамикалық модельдеу (CFD) кезінде де ұқсастық әдісін пайдаланып, осы бағдарламадан алынған мәндерді пайдалануға болады.

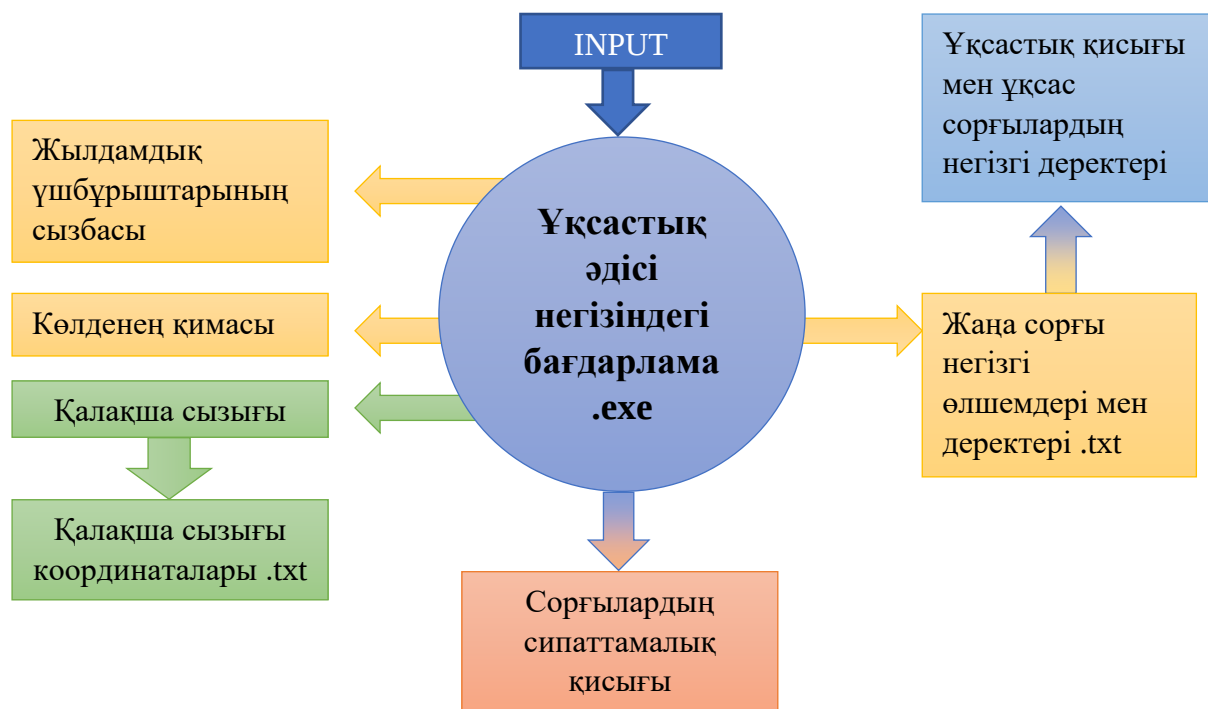
**Проектирование рабочего колеса
методом теории подобия**

Основные данные	Кривые характеристик	Линия лопасти	Треугольник векторов скоростей	Основные критерии подобия	Кривая подобных насосов
Модель Напор насоса (м) $H =$ 32 Подача насоса ($\text{м}^3/\text{с}$) $Q =$ 0.08333 Частота вращения вала насоса (об/мин) $n =$ 1500 Мощность на валу (кВт) $N_b =$ 45000 Геометрические параметры Диаметр входа (мм) $D_0 =$ 190 Диаметр начала лопаток (мм) $D_1 =$ 120 Внешний диаметр колеса (мм) $D_2 =$ 324 Начальная ширина (мм) $b_1 =$ 70 Конечная ширина (мм) $b_2 =$ 40 Диаметр ступицы колеса (мм) $d_{ст} =$ 73.5 Диаметр вала (мм) $d_v =$ 46 Число лопаток $z =$ 7 Толщина лопаток (мм) $s =$ 3 Другие параметры по входным данным Коэффициент быстроходности $n_s =$ 117.5 Удельная частота вращения $n_{уд} =$ 32.18 Рассчитать	Проектируемый насос Линейный масштаб моделирования $K_L =$ 0.5 Частота вращения вала насоса (об/мин) $n =$ 1500 Рассчитать подобие Напор насоса (м) $H =$ 8 Подача насоса ($\text{м}^3/\text{с}$) $Q =$ 0.01042 Мощность на валу (кВт) $N_b =$ 1406.25 Геометрические параметры Диаметр входа (мм) $D_0 =$ 95 Диаметр начала лопаток (мм) $D_1 =$ 60 Внешний диаметр колеса (мм) $D_2 =$ 162 Начальная ширина (мм) $b_1 =$ 35 Конечная ширина (мм) $b_2 =$ 20 Диаметр ступицы колеса (мм) $d_{ст} =$ 36.75 Диаметр вала (мм) $d_v =$ 23 Число лопаток $z =$ 7 Толщина лопаток (мм) $s =$ 1.5 Другие параметры по входным данным Коэф. быстроходности $n_s =$ 117.5 Удельная частота вращения $n_{уд} =$ 32.18	КПД КПД модель $\eta_a =$ 0.62 $\eta_g =$ 0.68 $\eta_{a_o} =$ 0.97 $\eta_{m} =$ 0.94 КПД проектируемый $\eta_a =$ 0.62 $\eta_g =$ 0.68 $\eta_{a_o} =$ 0.97 $\eta_{m} =$ 0.94  С помощью этой программы можно спроектировать новый центробежный насос методом теории подобия на основе другого полномасштабного насоса. Программа выдает основные данные, как напор, подачу и мощность, а так же геометрические параметры. Для этого нужно ввести эти же данные полномасштабного насоса. После чего, используя эти данные программа вычисляет теоретические кривые характеристик, треугольник скоростей и основные критерии подобия на основе эмпирического математического модели. Так же можно получить сечение и среднюю линию лопасти, но только используя основные данные, не учитываются геометрические параметры насосов. В последнем окне выводятся данные при масштабировании, методом теории подобия, при линейном масштабе моделирования от 0,1 до 2,0.			

4.5 сурет – Matlab-та құрастырылған бағдарламаның негізі терезесі. Ұқсастық әдісі арқылы СНР 150-315 сорғысын $K_L=0,5$ үшін есептелген

Оның дәл есептеулері, визуализациялары және талдау мүмкіндіктері жұмыс дөңгелектерін конструкцияларын тез жобалауға, түсінуге және оңтайландыруға айтарлықтай үлес қосты.

Matlab-та жазылған бағдарлама функциясының жұмыс схемасы 4.6-суретте түсіндіріледі.



4.6 сурет – Matlab функцияларының жұмыс құрылымы

ҚОРЫТЫНДЫ

Центрден тепкіш сорғы сатысының дөңгелектерінің конструкциясы үшін ұқсастық теориясы әдісін қолдануды зерттеу маңызды нәтижелер берді. Зерттеулер ұқсастық теориясы әдісі жобалау процесін оңтайландыру үшін жоғары тиімді және экономикалық тұрғыдан тиімді екенін анықтады. Бұл әдісті қолдану арқылы жаңа жұмыс дөңгелегін жобалауға кететін шығын мен уақыт айтарлықтай қысқарады, бұл оны ең тиімді және үнемді тәсіл етеді.

Зерттеу ұқсастық теориясы әдісі жобалау процесін одан әрі оңтайландыру және болашақ зерттеулер, жобалау және өндірістік мақсаттар үшін ұқсас сорғыларды анықтау үшін тиімді және сенімді құралдарды қамтамасыз ететінін сәтті көрсетті. Matlab жүйесінде ұқсастық теориясын қолдана отырып жасалған бағдарлама осы мақсатқа қол жеткізуге көмектесті.

Сонымен қатар, зерттеу ұқсастық теориясын центрден тепкіш сорғының басқа құрамдас бөліктерін жобалауға қолдануды кеңейту мүмкіндігін көрсетеді. Бұл жолды зерттеу сорғы жүйелерінің конструкциясы мен өнімділігін, әсіресе сыртқы сипаттамалар, энергия тиімділігі, тұрақтылық және сенімділік сияқты салаларда одан әрі ілгерілеуге әкелуі мүмкін.

Болашақ зерттеулер сыртқы сипаттамаларды, энергия тиімділігін, тұрақтылығын және сенімділігін қоса алғанда, жаңа технологияларды зерттеу арқылы сорғы жүйелерінің тиімділігін арттыруға шоғырлануы керек. Оған қоса, Matlab-та құрастырылған бағдардаманы жетілдірумен қатар жаңа функциялар қосу, есептеу сұйықтығының динамикасы (CFD) сияқты жетілдірілген есептеу әдістерін пайдаланып жұмыс дөңгелегі дизайнын жетілдіруге бағытталады.

Сонымен қатар, ұқсастық теориясын қолдану осьтік ағынды сорғылар және аралас ағынды сорғылар сияқты сорғылардың басқа түрлерін жобалауда зерттелуі мүмкін. Зерттеудің бұл жолы әртүрлі салалардағы сорғы жүйелерінің тиімділігі мен өнімділігін арттыруға уәде береді.

Қорытындылай келе, центрден тепкіш сорғылардың жұмыс дөңгелектерінің конструкциясында ұқсастық теориясын қолдану маңызды және перспективалы зерттеу саласын ұсынады. Бұл әдісті енгізу арқылы сорғы жүйелерінің тиімділігі мен өнімділігін арттыруға болады, осылайша дүние жүзіндегі салаларда энергияны үнемдеуге және операциялық шығындарды азайтуға ықпал етеді.

Алғыс білдіру. Автор осы зерттеуге тікелей және жанама қатысқан және көмектескен Калтаев А., Беляев Е.К., Төлеуханов А.Ә., Момыш Н.Б., Базарлинов Ж. шын жүректен алғысын айтады.

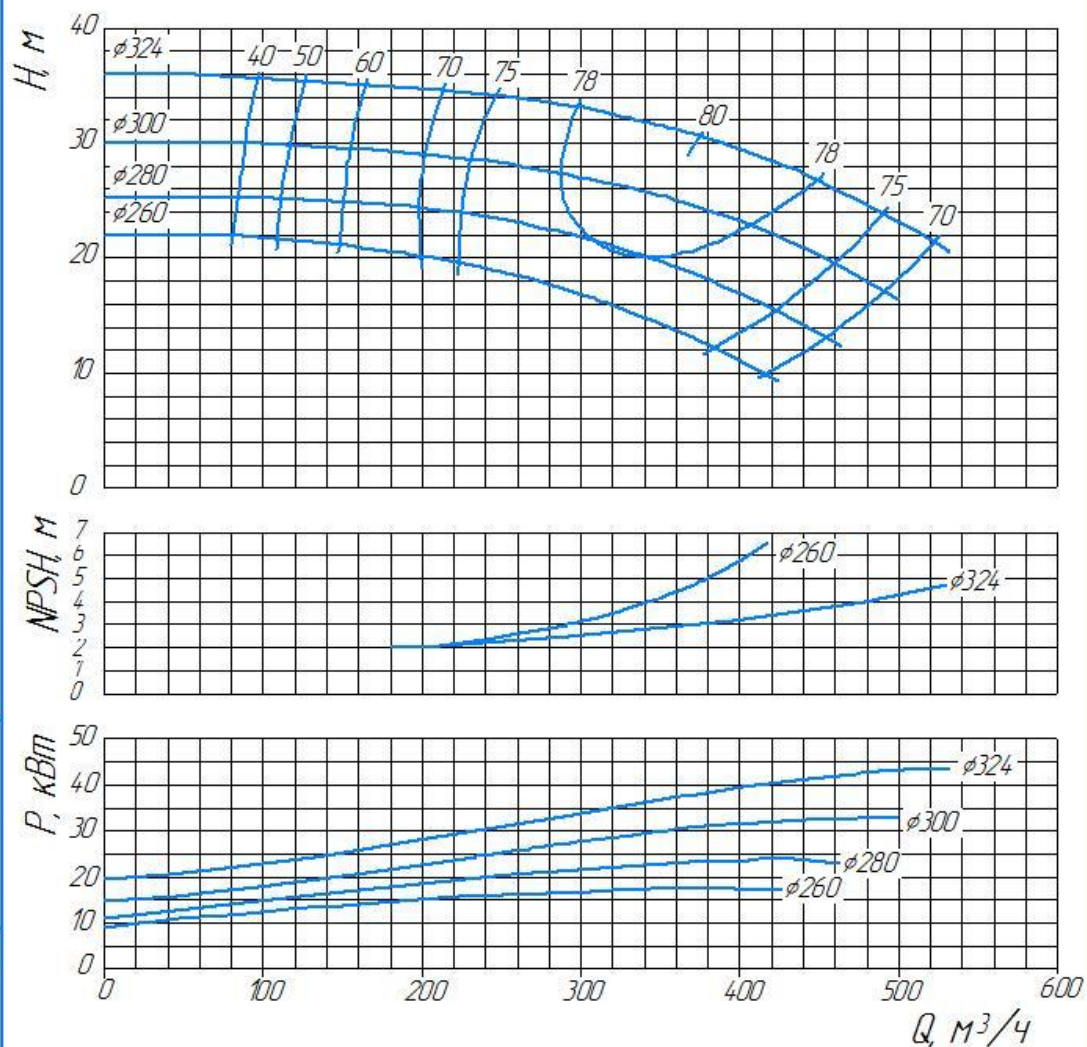
ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Wu, C.; Yang, J.; Yang, S.; Wu, P.; Huang, B.; Wu, D. A Review of Fluid-Induced Excitations in Centrifugal Pumps. Mathematics, 17.02.2023. // Сайттағы электрондық нұсқасы <https://doi.org/10.3390/math11041026>
- 2 Ilja Bakman. High-Efficiency Predictive Control of Centrifugal Multi-Pump Stations with Variable-Speed Drives. Doctor of Philosophy's thesis, Tallinn University of Technology, 2016
- 3 Нурутдинов Р.Г. Гидравлические машины. Учебное пособие. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2008. – 155 с.
- 4 В.Н. Ивановский [и др.]. Проектирование и исследование характеристик степеней динамических насосов – Москва: РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, 2014. – 124 с.
- 5 Grundfos, The centrifugal pump. 1st edition ed. s.l., 2008. – 132 p.
- 6 Айзенштейн М.Д. Центробежные насосы для нефтяной промышленности. – Москва: "Гостоптехиздат", 1957. – 363 с.
- 7 А.А. Ломакин. Центробежные и осевые насосы, 2ое издание – Москва: "Машиностроение", 1966. – 358 с.
- 8 «Karlskrona LC AB» ЖШС сайтындағы СНР сериясы // Сайттың электрондық нұсқасы <http://karlskrona.kz/chp-pick/>
- 9 А.К. Михайлов, В.В. Малюшенко. Лопастные насосы. Теория, расчет и конструирование. – Москва : "Машиностроение", 1977. – 288 с.
- 10 В.А. Зимницкий [и др.]. Лопастные насосы: Справочник. – Ленинград: "Машиностроение", 1986. – 334 с.
- 11 А.К. Михайлов, В.В. Малюшенко. Конструкции и расчет центробежных насосов высокого давления – Москва: "Машиностроение", 1971. – 304 с.
- 12 Hailu, G., Varchola, M., & Hlbocan, P. (2022). Design of Hydrodynamic Machines: Pumps and Hydro-Turbines (1st ed.). CRC Press. // Сайттағы электрондық нұсқасы <https://doi.org/10.1201/9781003007142>
- 13 Gülich, J. F., 2010. Centrifugal Pumps. 2nd edition ed. s.l.:Springer – 998 p.
- 14 Matlab документациясы // Сайттың электрондық нұсқасы <https://www.mathworks.com/help/matlab/>
- 15 Matlab App Designer документациясы // Сайттың электрондық нұсқасы [MATLAB App Designer - MATLAB & Simulink \(mathworks.com\)](https://www.mathworks.com/help/matlab/matlab_app_designer.html)
- 16 Sverre Stefanussen Foslie. Design of Centrifugal Pump for Produced Water. Master's thesis, NTNU, 2007
- 17 Rüdiger Lange. CFD study on the influence of geometry parameters on the operating behavior of radial centrifugal pumps. Diploma thesis, TU Dresden, 2010
- 18 Курсовое проектирование деталей машин. / Чернавский С.А. и др. – Москва: "Машиностроение", 1988. – 416 с.
- 19 Основы теории и особенности подбора насосов. Учебное пособие. / В.С. Кошман, И.П. Машкарева. – Пермь : "ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА", 2011. – 140 с.

А қосымшасы

«Karlskrona LC AB» ЖШС шығаратын СНР 150-315 көлденең центрден
тепкіш консольдық сорғының характеристика қисықтары

Кривые характеристик консольного насоса СНР 150-315



Напорный фланец $D_u=150$ мм.
Всасывающий фланец $D_u=200$ мм.
Частота вращения вала $n=1500$ об/мин.
Максимальный размер частиц 22 мм.

Инд. № подл. Подп. и дата. Взам. инд. № Инд. № докл. Подп. и дата.

Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата

СНР 150-315

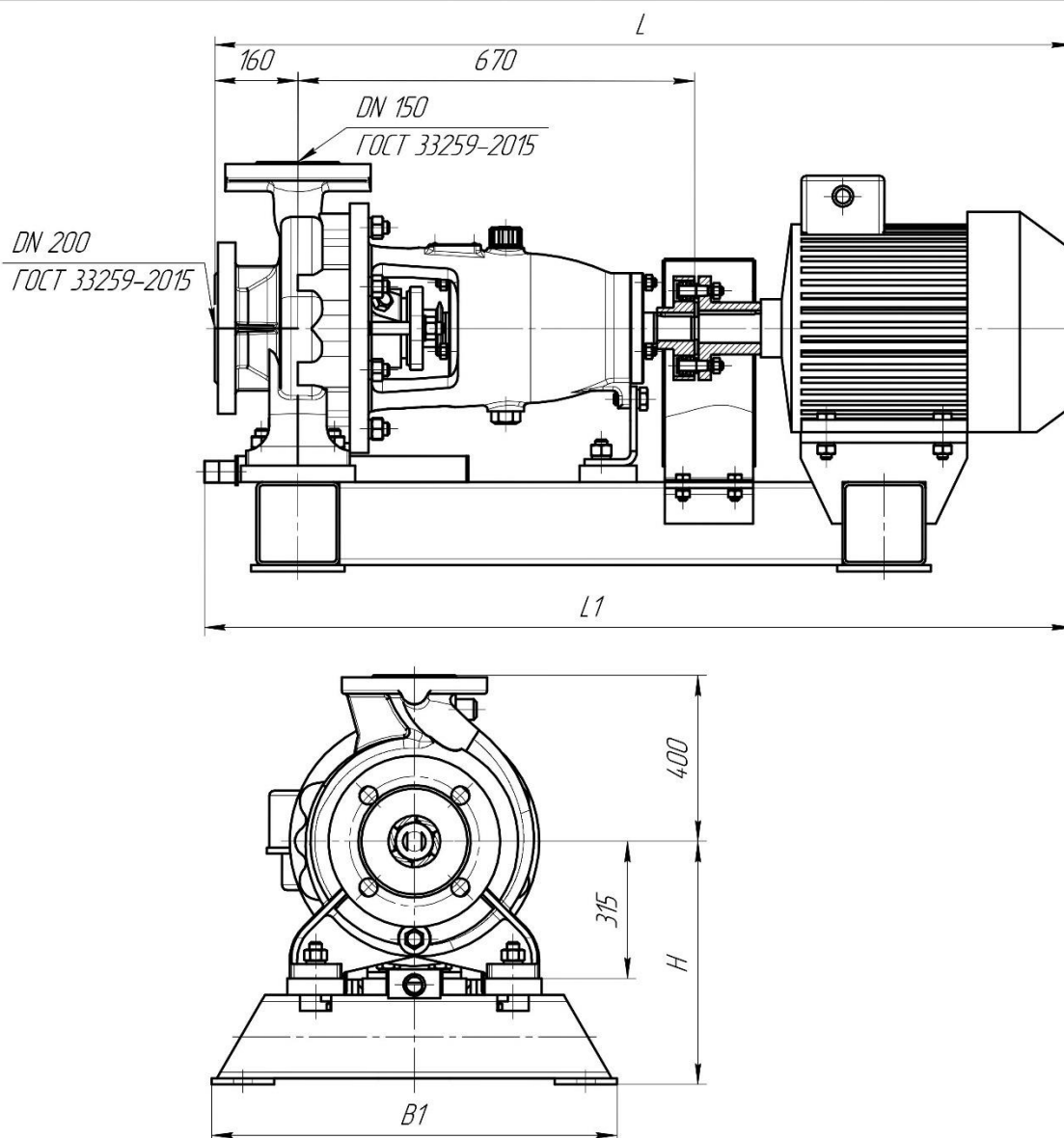
Лист

Копировал

Формат А4

Б қосымшасы

СНР 150-315 көлденең центрден тепкіш консольдық сорғының габариттері



Габаритные размеры, мм, не более						Вес, кг, не более				
Двигатель	Мощность	H	L	L1	B1	насос	двигатель	рама	другие	общий
5AI180S4	22	855	1540	1550	785	273	165	95	30	570
5AI180M4	30	855	1560	1570	785	273	190	95	30	595
5AI200M4	37	855	1640	1650	785	273	240	95	30	645
5AI200L4	45	855	1640	1650	785	273	260	95	30	665

Изд. № подл. Подп. и дата. Взам. инв. № Инв. № подл. Подп. и дата.

Изм. лист № докум. Подп. Дата

СНР 150-315

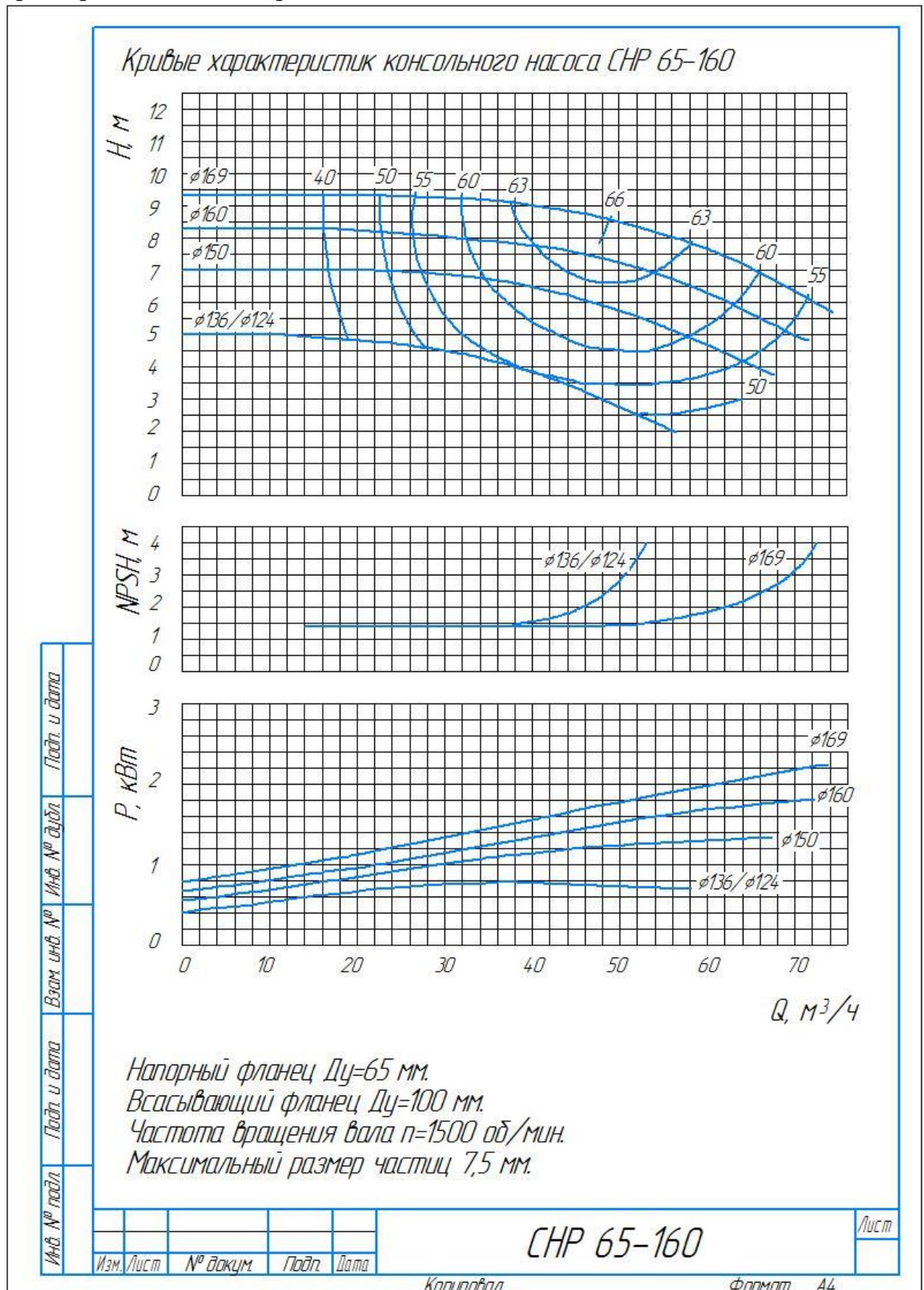
Лист 29

Копировал

Формат А3

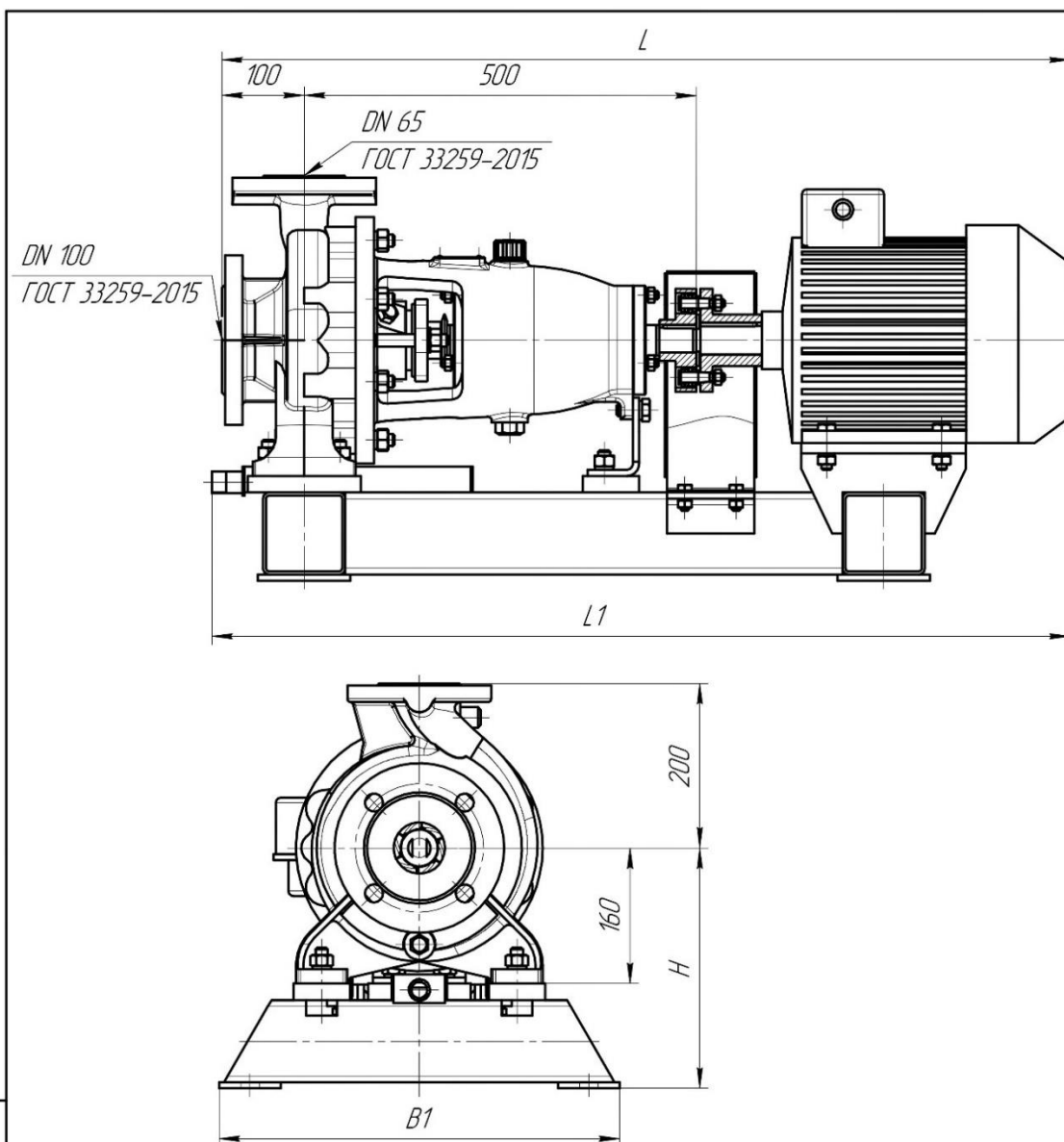
В қосымшасы

СНР 65-160 көлденең центрден тепкіш консольдық сорғының
характеристика қисықтары



Г қосымшасы

СНР 65-160 көлденең центрден тепкіш консольдық сорғының габариттері



Габаритные размеры, мм, не более						Вес, кг, не более				
Двигатель	Мощность	H	L	L1	B1	насос	двигатель	рама	другие	общий
АИР80А4	1,1	480	910	920	480	79	11.9	45	7	150
АИР80В4	1,5	480	930	940	480	79	13.8	45	7	150
АИР90L4	2,2	480	950	960	480	79	18.1	45	7	160
АИР112М2	7,5	480	1040	1050	480	79	40	45	7	180
АИР132М2	11	480	1110	1120	480	79	60.4	45	7	200
АИР160S2	15	480	1290	1300	480	79	116	45	7	255

Изм. № _____
Лист _____
Дата _____
Подп. и дата _____
Взам. инв. № _____
Инд. № _____
Подп. и дата _____

Изм. Лист № док. Подп. Дата

СНР 65-160

Лист 12

Копировал

Формат А3

Д қосымшасы

«Karlskrona LC AB» ЖШС шығаратын көлденең центрден тепкіш консольдық агрегаттарының СНР сериясы туралы ақпарат

10

Центробежный одноступенчатый консольный насос

СНР



Технические данные

- Производительность: до 2000 м³/ч
- Напор: до 160 м
- Температура жидкости до +180°С
- Модульная конструкция
- 3 типа материала исполнения

Область применения

- Системы водоснабжения и пожаротушения
- Водоочистка и водоподготовка
- НПЗ, нефтехимическая, химическая и перерабатывающая промышленности
- Энергетика, кораблестроение и морская промышленность

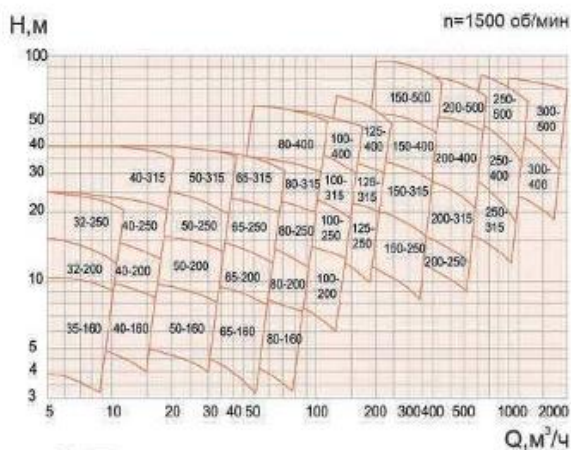
Перекачка в стационарных условиях чистых или слегка загрязненных (механических примесей не более 0,1 %), холодных или горячих, в том числе химически активных жидкостей в различных отраслях промышленности.

Преимущества:

- Произведен в соответствии с требованиями ИСО 5199:2002 (ГОСТ Р 54805-2011).
- Дыхательный клапан для обеспечения вентиляции
- Лабиринтное уплотнение на крышке подшипникового узла для обеспечения герметичности

Опции

Торцевые уплотнения согласно ГОСТ Р 54805-2011.



ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ
"Қ.И.СӘТБАЕВ АТЫНДАҒЫ ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ ТЕХНИКАЛЫҚ ЗЕРТТЕУ УНИВЕРСИТЕТІ"
КОММЕРЦИЯЛЫҚ ЕМЕС АКЦИОНЕРЛІК ҚОҒАМЫ

ҒЫЛЫМИ ЖЕТЕКШІНІҢ ШКІРІ

Дипломдық жоба
(жұмыстың түрі)

Бодау Бекет Бейсенханұлы
(білім алушының аты-жөні)

6B07106 – «Инженерлік механика»
(мамандық шифрі және аты)

Тақырыбы: «Ұқсастық теориясын пайдаланып центрден тепкіш сорғы сатысының жұмыс қалақшасын жобалау»

Бодау Бекеттің дипломдық жобасының мақсаты өлшемдік талдау және ұқсастық теориясын қолдана отырып тиімді жұмыс істеп тұрған центрден тепкіш сорғының параметрлерінің негізінде сол типті жаңа сорғыны жобалау әдісін игеру болатын. Бұл әдіс жаңа насосты жобалау процесін әлдеқайда оңайландырады және жаңа жұмыс деңгелегін жобалауға кететін шығын мен уақытты айтарлықтай қысқартады. Әрине, бұл әдістің өзіне тән кемшіліктері де бар, олардың біреуі жобалау дәлдігінің жұмыс қалақшасының ішіндегі 3D гидродинамикалық ағындарды детальді есептей отырып алатын дәлдіктен төменділігі. Ең бастысы, бұл әдіспен тиімді жұмыс істеп тұрған сорғыға геометриялық және динамикалық ұқсас сорғыны ғана жобалауға болады.

Дипломдық жобаның бұл мақсаттарына жету үшін Бекет алдыменен өлшемдік талдау және ұқсастық теориясын игеруі керек болатын, өйткені бұл пән «Инженерлік механика» оқу бағдарламасына кірмейді. Сосын осы білімді жаңа сорғыны жобалауда қолдану мысалын жасау керек тұғын. Бекет бұл тапсырмаларды толығымен орындап шықты. Жобаны орындау кезінде ол табандылық пен жауапкершілік көрсетіп, жаңа білімдерді өз бетімен игеріп қана қоймай, оны жаңа сорғының жобасын жасауға пайдалана алатынын көрсетті. Зерттеу кезінде ұқсастық теориясы әдісі жобалау процесін одан әрі оңтайландыру және болашақ зерттеулер, жобалау және өндірістік мақсаттар үшін ұқсас сорғыларды анықтау үшін тиімді және сенімді құралдарды қамтамасыз ететінін түсінді. Бекетке Matlab жүйесінде ұқсастық теориясын қолдана отырып жасалған бағдарлама осы мақсатқа қол жеткізуге көмектесті.

Бодау Бекеттің жасаған дипломдық жобасы бакалаврлардың дипломдық жобасына қойылатын талаптарға сай, жоғары баға қоюға лайық деп есептеймін.

Пікір беруші
физ.-мат. ғыл. докторы, профессор
(қолы)



А. Қалтаев

«05» июнь 2023ж.

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ
ҒЫЛЫМ ЖӘНЕ ЖОҒАРЫ БІЛІМ МИНИСТРЛІГІ
"Қ.И.СӘТБАЕВ АТЫНДАҒЫ ҚАЗАҚ ҰЛТТЫҚ ТЕХНИКАЛЫҚ ЗЕРТТЕУ УНИВЕРСИТЕТІ"
КОММЕРЦИЯЛЫҚ ЕМЕС АКЦИОНЕРЛІК ҚОҒАМЫ

СЫН-ПІКІР

Дипломдық жоба
(жұмыстың түрі)

Бодау Бекет Бейсенханұлы
(білім алушының аты-жөні)

6B07106 – «Инженерлік механика»
(мамандық шифрі және аты)

Тақырыбы: «Ұқсастық теориясын пайдаланып центрден тепкіш сорғы сатысының жұмыс қалақшасын жобалау»

Рецензияға ұсынылғаны:

- а) дипломдық жобаның түсіндірме жазбасы 33 бетте орындаған;
- б) дипломдық жобаның жалпы жазбасы 45 бетте орындалған.

Ұсынылып отырған дипломдық жұмыста центрден тепкіш сорғының жұмыс дөңгелегінің құрамында ұқсастық теориясын қолдану зерттелген. Ұқсастық теориясы негізінде жұмыс дөңгелегін жобалаудың эмпирикалық математикалық моделі жасалып, соның негізінде Matlab пакетінде компьютерлік бағдарлама жазылған. Зерттеу барысында сорғының жұмыс дөңгелегін жобалауда ұқсастық теориясының тиімділігі және оның гидродинамикада қолданылуы көрсетілген.

Жалпы дипломдық жұмысты орындау барысында түлектің өзі өз ойымен жазып, есептеулерін есептеп шығарғаны байқалады.

Жұмыс бойынша ескерту

- 1) 2.3-бөлімде «...жобаланған сорғының жұмыс сипаттамаларын $K_1 < 2$ және $n_n/n_m < 2$ кезінде алуға болады» – деп жазылған, бірақ олай алудың негіздемесі келтірілмеген;
- 2) Диплом жұмысында бірен-саран грамматикалық қателіктер мен дәлсіздіктер кездеседі. Мысалы 2.1 кестесінде Струхаль критерийінің (Sh) формуласы қате жазылған (2.2 формуласы), ал (3.23) формуласында осы критерийдің шамасы оның кері шамасы ретінде жазылып, оның сандық мәні осы қателікпен есептелінген. Бұл шама әрі қарай қолданбағандықтан, жалпы есептеулерге әсер етпейді.

Алайда аталған кемшіліктер дипломдық жұмыстың құндылығын төмендетпейді.

Жұмыстың бағалануы

Жоғарыда айтылғандардың негізінде Б.Б.Бодаудың дипломдық жұмысы А «өте жақсы» (95 балл) бағағасына, ал автор 6B07106 – «Инженерлік механика» білім беру бағдарламасы бойынша бакалавр академиялық дәрежесін иемденуге лайықты деп бағалаймын.

Пікір беруші

Доктор Ph.D.
профессор-исследователь

Б.К. Беляев
(қолы)
Механика-математика
2023ж.
ҚазҰТУ 706-17-У Сын-пікір



Метаданные

Название

Дипломдық жұмыс Бодау Бекет.docx

Автор

Научный руководитель / Эксперт

Бодау Б.**Айдархан Калтаев**

Подразделение

ИЭИМ

Список возможных попыток манипуляций с текстом

В этом разделе вы найдете информацию, касающуюся текстовых искажений. Эти искажения в тексте могут говорить о ВОЗМОЖНЫХ манипуляциях в тексте. Искажения в тексте могут носить преднамеренный характер, но чаще, характер технических ошибок при конвертации документа и его сохранении, поэтому мы рекомендуем вам подходить к анализу этого модуля со всей долей ответственности. В случае возникновения вопросов, просим обращаться в нашу службу поддержки.

Замена букв		8
Интервалы		0
Микропробелы		0
Белые знаки		0
Парафразы (SmartMarks)		0

Объем найденных подобиий

Обратите внимание! Высокие значения коэффициентов не означают плагиат. Отчет должен быть проанализирован экспертом.



КП1

25

Длина фразы для коэффициента подобия 2



КП2

4941

Количество слов



КЦ

39740

Количество символов

Подобия по списку источников

Просмотрите список и проанализируйте, в особенности, те фрагменты, которые превышают КП №2 (выделенные жирным шрифтом). Используйте ссылку «Обозначить фрагмент» и обратите внимание на то, являются ли выделенные фрагменты повторяющимися короткими фразами, разбросанными в документе (совпадающие сходства), многочисленными короткими фразами расположенные рядом друг с другом (парафразирование) или обширными фрагментами без указания источника ("криптоцитаты").

10 самых длинных фраз

Цвет текста

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ И АДРЕС ИСТОЧНИКА URL (НАЗВАНИЕ БАЗЫ)	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	--	---

из базы данных RefBooks (0.00 %)



ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	----------	---

из домашней базы данных (0.00 %)



ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	----------	---

из программы обмена базами данных (0.00 %)



ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
из интернета (0.00 %)		
ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	ИСТОЧНИК URL	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)

Список принятых фрагментов (нет принятых фрагментов)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	СОДЕРЖАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	------------	---