

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

КАҚ «С.СЕЙФУЛЛИН АТЫНДАҒЫ ҚАЗАҚ АГРОТЕХНИКАЛЫҚ
УНИВЕРСИТЕТІ»

**Исаева Жазира Рахатдиновна
Шоланов Корманбай Сағнаевич**

СУ АСТЫНДАҒЫ ТОЛҚЫНДЫ ЭЛЕКТР СТАНЦИЯНЫҢ КОНСТРУКЦИЯСЫН ӘЗІРЛЕУ ЖӘНЕ ПАРАМЕТРЛЕРІН ЗЕРТТЕУ



Нур-Султан, 2021

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ МИНИСТРЛІГІ

КАҚ «С.СЕЙФУЛЛИН АТЫНДАҒЫ ҚАЗАҚ АГРОТЕХНИКАЛЫҚ
УНИВЕРСИТЕТІ»

«Электрмен жабдықтау» кафедрасының

Исаева Жазира Рахатдиновна
Шоланов Корманбай Сағнаевич

СУ АСТЫНДАҒЫ ТОЛҚЫНДЫ ЭЛЕКТР СТАНЦИЯНЫҢ КОНСТРУКЦИЯСЫН ӘЗІРЛЕУ ЖӘНЕ ПАРАМЕТРЛЕРІН ЗЕРТТЕУ

*Университетінің Ғылыми кеңесінде
монография ретінде бекітілген*

Нур-Султан, 2021

УДК 621.31 (035.3)
ББК 31.277
И83

Университеттің редакциялық-баспа кеңесіне ұсынған

Рецензенттер:

- Г.Г.Таткеева** – «Электрмен жабдықтау» кафедрасының меңгерушісі, т.ғ.д., доценті
- Б.А. Жакишев** – «Еуразиялық университетінің» жылуэнергетика кафедрасының меңгерушісінің м.а., т.ғ.к., доценті
- Г.С.Нұрмағанбетова** – «Қарағанды техникалық университетінің» өндірістік процесстерді автоматтандыру кафедрасының меңгерушісінің м.а., PhD докторы, аға оқытушы

Исаева Ж.Р., Шоланов К.С.

Су астындағы толқынды электр станцияның конструкциясын әзірлеу және параметрлерін зерттеу: Монографиясы / Ж.Р.Исаева, К.С.Шоланов; Қарағанды техникалық университеті. – Қарағанды: ҚТУ баспакер, 2021ж.-102б.

ISBN 978-601-257-345-9

Параллельді манипулятордың базасындағы жаңа су астындағы қалтқылы толқындық электр станциясын әзірлеу, автоматтандыруға және массалық өзгерістеріне басқаруға арналған конструкциясын зерттеуге ұсынылып отқан монографиясы.

Ұсынылып отқан монографиядағы ғылыми нәтижелер, теориялық және практикалық зерттеулер «Автоматтандыру және басқару», «Электр энергетикасы» және «Жылу энергетикасы» мамандықтар бойынша бакаларият, магистратура және докторантура дәрежелерге пәндердің оқу жоспарына сәйкес қолдануға болады.

УДК 621.31 (035.3)
ББК 31.277
И83

ISBN 978-601-257-345-9

© Қарағанды техникалық университеті 2021

МАЗМҰНЫ

БЕЛГІЛЕУЛЕР МЕН ҚЫСҚАРТУЛАР	4
КІРІСПЕ	5
1 ЖАҢАРТЫЛАТЫН ЭНЕРГЕТИКАНЫҢ ЖӘНЕ ТОЛҚЫН ЭНЕРГЕТИКАСЫНЫҢ ЖАЙ-КҮЙІНЕ ШОЛУ ЖӘНЕ ТАЛДАУ	9
1.1 Жаңартылатын энергетиканың жай-күйі және даму келешегі.....	9
1.2 Толқын энергетикасының жай-күйі және дамыту жоспарлары. Толқындарды түрлендіру технологиясы.....	11
1.3 Толқындық электр станцияларының конструкцияларын талдау.....	13
1.4 Толқын энергиясын түрлендіру технологиялары.....	20
1.5 Толқындық электр станцияларының қуат алу жүйелері.....	21
1.5.1 Турбинаның көмегімен беру.....	22
1.5.2 Гидравликалық жүйені қолдану.....	23
1.5.3 Желілік электр генераторлары.....	26
1.6 Толқын электр станциясын басқару.....	30
1.7 Зерттеу міндеттерін қою.....	30
2 ПАРАЛЛЕЛЬДІ МАНИПУЛЯТОРДЫҢ БАЗАСЫНДА СУ АСТЫ ҚАЛҚЫМАЛЫ ТОЛҚЫНДЫҚ ЭЛЕКТР СТАНЦИЯСЫНЫҢ КОНСТРУКЦИЯСЫН НЕГІЗДЕУ ЖӘНЕ ӘЗІРЛЕУ	31
2.1 ТлЭС конструкциясын негіздеу.....	32
2.2 Манипуляторлық түрлендіргішті таңдау.....	33
2.3 Толқындық электр станциясы конструкциясын таңдау.....	34
2.3.1 Қуат алу жүйесі.....	37
2.3.2 ТлЭС-ның геометриялық сипаттамалары.....	37
2.4 Қалтқының пішіні мен конструкциясын таңдау.....	39
2.4.1 Басқарылатын эллипс тәріздес қалтқының конструкциясы.....	41
2.5 ТлЭС қолданыстағы таныстыру моделінің сипаттамасы.....	42
3 МАНИПУЛЯТОРЛЫҚ ТҮРЛЕНДІРГІШ БАР ҚАЛҚЫМАЛЫ ТОЛҚЫНДЫҚ ЭЛЕКТР СТАНЦИЯСЫНЫҢ ДИНАМИКАЛЫҚ МОДЕЛІ	43
3.1 Жұмыс органының динамикалық моделін әзірлеу.....	44
3.1.1 ЖО салмақ-инерциялық сипаттамаларының матрицасы.....	47
3.1.2 Сыртқы әсер күштері.....	48
3.1.3 Қатқылдық матрица.....	49
3.1.4 Демпферлеу матрица.....	49
3.2 Жұмыс органының динамикалық моделін талдау.....	50
3.2.1 ЖО-ның кинематикасы.....	52
3.3 ЖО-ның күштік талдауы.....	56
3.4 Толқындар энергиясын бастапқы түрлендіру кезінде энергетикалық сипаттамаларды зерттеу.....	58

4 ҚАЛҚЫМАЛЫ ТОЛҚЫНДЫҚ ЭЛЕКТР СТАНЦИЯСЫНЫҢ БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІНІҢ ПАРАМЕТРЛЕРІН ЗЕРТТЕУ ЖӘНЕ ТАҢДАУ	63
4.1 Қалтқының қалқымалылығын эксперименталдық зерттеу.....	63
4.2 Су асты қалтқылы ТлЭС басқаруды автоматтандыру.....	69
4.3 Қалтқының салмағын өзгеруін зияткерлік басқару алгоритмі.....	71
4.4 ТлЭС-ның және электр энергиясын туындату жүйесінің энергетикалық есебі.....	74
4.5 Электр энергиясын туындату жүйесіне арналған электр машинасын таңдау.....	76
ҚОРЫТЫҢДЫ	79
ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ	80
ҚОСЫМША А – Бастапқы түрлендіргіштің MATHCAD энергиясын есептеудегі бағдарламасы.....	86
ҚОСЫМША Ә – Диссертациялық жұмыстың нәтижелерін оқу процесіне енгізу әрекеті.....	91
ҚОСЫМША Б – Аквариумдағы ТлЭС сынағының видеосынан үзінді фрагмент	92
ҚОСЫМША В – SHOLKOR манипулятор трансформаторына арналған MATLAB-та есептеу алгоритмі.....	94
ҚОСЫМША Г – Matlab-тағы Fuzzy Logic Tool box-тағы толқындардың динамикасына байланысты қалтқының массасын басқаруға арналған бағдарлама.....	97
ҚОСЫМША Д – Эксперименттік зерттеу нәтижелері видеосының үзінді фрагменті	98

БЕЛГІЛЕУЛЕР МЕН ҚЫСҚАРТУЛАР

- ЖЭК – жаңартылатын энергия көздері
ТлЭС – толқындық электростанция
ҚТлЭС – қалқымалылы толқын электростанция
ХЭА – халықаралық энергетикалық агенттігі
МТ – манипулятор түрлендіргіші
ЖО – манипулятордың жоғары платформасына қатаң қосылған
қалқымалы, дөңгек құрылымынан тұратын жұмысшы орган
ҚКЖ – қуатты көтеру жүйесі

КІРІСПЕ

Жұмыстың өзектілігі. Үлкен сулы кеңістіктердің (мұхиттар, теңіздер, үлкен көлдер) беткі суларының энергияның орасан қорына ие екені мәлім [1, 2]. Бұл энергияны алу және пайдалану үшін түрлі толқындық энергия көздері қолданылады [3]. Толқындар энергиясын түрлендіру теориясы, толқындық электр станцияларының (ТлЭС) құрылғыларында қолданылатын технологиялар мәселен, жұмыстарда [4-6] сипатталған. Осы жұмыстардың талдамасы көрсеткендей жылжымалы су көлемдерінің энергиясын алу үшін негізінен цилиндр пішініндегі қалтқылар, ал энергияны түрлендіргіштер ретінде соташық пен цилиндр түріндегі конструкциялар пайдаланылады. Бұл технологиялар мен техникалық құралдардың тек су көлемдерінің вертикалдык жүрістерінің энергиясын пайдаланатын болғандықтан, пайдалы әсердің жоғары коэффициентін алуға мүмкіндік бермейді [8]. Толқындық энергетиканың сәтті дамуына және оны кеңінен қолдануға бірқатар проблемалар кедергі келтіреді, олардың ішіндегі маңыздылары ТлЭС төмен өнімділігі мен олардың толқындар динамикасының қиратуларына және даттануға алдын ала бейімділігі болып табылады [7]. Тізбеленген кемшіліктер толқындар энергиясын электр энергиясына тиімді түрлендіру, сонымен бірге толқындардың қиратушылық динамикасынан қорғау жүйесімен бірге су асты қалтқылық ТлЭС құру міндетін өзекті етеді.

Көптеген қалтқылық ТлЭС-терде толқындар энергиясын электр энергиясына түрлендіру процесі екі кезеңмен жүретіні белгілі: бірінші кезеңде толқындар энергиясын алу және оны «ұйымдастырылған» қимылдың механикалық энергиясына түрлендіру орындалады; екінші кезеңде механикалық қимыл-қозғалыстар энергиясы электр энергиясына түрленеді. Осыған орай 2 кезеңде қуат алу үшін мәлім құрылғылар пайдаланылады, аталған жұмыстасу көлемінің қозғалысы энергиясын алу және электр энергиясына түрлендіру үшін қолданылатын технологияларға және техникалық құралдарға назар аударылады.

Жаңа қалтқылы толқындық электр станциясының (ТлЭС) конструкциясын негіздеу және құру, сандық есептерге арналған аппарат жасау, зерттеулер жүргізу және толқындар энергиясының манипуляторлық түрлендіргішінің параметрлерін таңдау. Су асты ҚТлЭС басқару жүйесінің параметрлерін және қуат алу және электр энергиясын туындату жүйесін зерттеу және таңдау.

Қалқымалы теңіз платформаларын қолдану тәжірибесі бойынша [9-12] бірінші кезеңде қалтқының жүрісінің энергиясын манипулятордың алты актуаторының энергиясына түрлендіру үшін алты жүрісті SHOLKOR манипуляторының қолданылатындығында [13]. Сонымен қатар идея қалтқының салмағын басқару үшін бар екі қуыстың қимасында аэродинамикалық профилі бар қалтқының жаңа эллипсоидтік пішінін негіздеуінде. Электр энергиясын туындатудың гидродинамикалық жүйесі ұсынылған. ҚТлЭС су астында орналасуы қарастырылады, өйткені бұл электр станциясын толқындардың

қиратушы әсерінен сақтайды. ҚТЛЭС жағалау маңына қалтқысы су бетінен аздаған қашықтықта төмен орналасатындай етіп қондырылады. Қондырғының тереңдігін таңдау қалтқының жүріссінің қажетті амплитудасымен қамтамасыз етіледі. Қалтқының тереңдікте қажетті күйін қамтамасыз ету үшін діңгек немесе қалтқыны және манипулятордың үстіңгі платформасын қатқыл жалғайтын рамалық конструкция қолданылады.

Жаңа тиімді толқындық электр станциясы және жылжымалы су көлемінің (толқынның) энергиясын электр энергиясына түрлендіру технологиясы ұсынылады. Олардың мәні аэродинамикалық қима профилі бар ТлЭС қалтқысының толқынның кинетикалық энергиясын «қармайтынында» және бірінші кезеңде паралельді манипулятордың көмегімен гидравликалық актуатордың алты тізбекті жүрісіне түрлендіретін кеңістіктік жүрістер жасайтындығында; екінші кезеңде гидравликалық актуаторлардың гидравликалық моторлар арқылы жүріс және гидромоторлар синхронды электр генераторын қозғалысқа келтіреді.

1 ЖАҢАРТЫЛАТЫН ЭНЕРГЕТИКАНЫҢ ЖӘНЕ ТОЛҚЫН ЭНЕРГЕТИКАСЫНЫҢ ЖАЙ-КҮЙІНЕ ШОЛУ ЖӘНЕ ТАЛДАУ

1.1 Жаңартылатын энергетиканың жай-күйі және даму келешегі

Жаңартылатын энергия көздері (ЖЭК) – бұл қоршаған ортада әр қашанда бар немесе ауық-ауық пайда болатын энергия ағындарына негізделген көздер (күн энергиясы, жел, су, биомасса және т.б.). Жаңартылатын энергияның әлемдік қоры жылына шартты отынның 20 миллиард тоннасымен (шартты отын тоннасы), бұл қазба отынның барлық түрлері өндірісінің жылдық көлемінен 2 есе жоғары. Соңғы 15 жылда жаңартылатын энергия өндірісі Еуропадағы ең жылдам дамитын энергетикалық сектор болып отыр. Тіптен 2008 жылғы дағдарыс кезінде Еуропаның көптеген елдерінде энергетикалық сектордағы жаңартылатын энергия көздерінің қарқыны осы елдердің даму қарқынынан көп мәрте басып озды. Алағымдағы экономикалық дағдарысқа карамастан ЕО-ның 2020 жылға қарай парниктік газдардың шығарылуын 20% қысқартуды, энергия тұтыну құрылымындағы жаңартылатын энергия көздерінің (ЖЭК) үлесін 20% дейін және энергия тиімділігін 20% арттыруды көздейтін 20-20-20 бағдарламасы әзірге түзетуге ұшыраған жоқ.

Бүгінде әлемде көптеген дамыған елдер жаңартылатын энергетиканы дамытуға бағыт алды, оның нәтижесі дәстүрлі энергия көздерін пайдаланудан бас тарту ғана емес, сонымен бірге атмосфераға зиянды шығарындыларды азайту болуы тиіс. Бастапқы энергияның 80% астамын біз бүгін қазба отыннан (яғни көмірден, мұнайдан және табиғи газдан), және 85% астамын жаңартылмайтын көздерден (сол, оған қоса атом энергетикасы) алып жүрміз. Жаңартылатын көздер үлесіне бастапқы энергияның кем дегенде 15% тиеді. Бұл ретте барлық жаңартылатын көздердің үштен екісінен және бастапқы энергияны жалпы тұтынудың 10% құралған биоэнергетика негізінен индустриалдық емес қоғамдарға тән. Осылайша, жаңартылатын энергетиканың заманауи технологиялары әзірге бастапқы энергияның 5% ғана беруде [14, 15]. Халықаралық энергетика агенттігінің (ХЭА) болжамдарына қарағанда әлемдік ЖЭК орташа қарқынмен жылына 3,5% өседі деп болжамданады, яғни 2040 жылға дейін ол шама мен екі жарым есе өсуі тиіс. Осы өсімнің үштен екісі көрсетілетін қызметтер саласы есебінен жүзеге асырылады. Жер шарының халқы қазіргі 7,3 миллиардтан 2040 жылға қарай негізінен Африканың, Үндістанның, Оңтүстік-Шығыс Азия мен Таяу Шығыстың есебінен 9 миллиард адамға дейін өсуі тиіс. Жаңартылатын энергия көздері технологиялары арзандайтын болады. Мәселен, оларды орналастыруға арналған қолжетімді әрі өнімді алаңдар санының біртін деп қысқаруын есепке алғанда 2040 жылға қарай энергия бірлігінің құны күн батареялары үшін 30-50%, ал жел энергетикасы үшін 10-20% төмендейді деп болжамдалады. Көміртекті тұту және сақтау технологияларыда 3-50% арзандады. Электромобильдерге арналған батареялардың құны 10-50% түседі. Энергия тиімділігі артады; мәселен, жарық диодты шамдарды қолдану есебінен жарықтандыру құны шамамен 50%

құлдырайды. Мұнай мен газ өндірудің өзіндік құны 2040 жылға қарай тұтастай алғанда артады, өйткені қорлардың сарқылуы себебінен құнның өсу әсері жаңа технологияларды қолдану есебінен құнның төмендеу әсерін жабады [16]. Бұл мыналарға байланысты:

Біріншіден, бастапқы энергияны тұтынудың жиынтық көлемі – жылына 13,6-дан 17,9 млрд тнэ дейін, немесе 32% (жыл сайын 1%) айтарлықтай өседі. Бұл өсімді сол кезең ішіндегі әлемдік ІЖӨ-нің 2,5 есе, яғни 150% болжалды өсімімен салыстырған қызықты. Бір жағынан бұл ІЖӨ өсімінің үштен екісінің көрсетілетін қызметтер саласының есебінен болжамдалатынымен түсіндірілді, мұнда энергияны пайдалану үлесі басқа салаларға қарағанда төмен. Бірақ, деген мен мұндай болжамды орындау үшін бастапқы энергияны пайдаланудың тиімділігі анық, солай немесе өзгелей ана ғұрлым өсуі тиіс.

Екіншіден, қазба отынның үлесі 81%-тен 75% дейін аздап азаюы тиіс. Бұл ретте отынды тұтынудың абсолюттік көлемі тұтастай алғанда әрбір жеке түрі бойынша да ұлғаяды (21%), ал табиғи газды тұтыну бір жарым есеге дерлік ұлғаяды. Мұнайды тұтыну негізінен көлік саласы есебінен ұлғаяды. Бұл ретте көлік үшін мұнайға балама энергия көздері ретінде негізінен табиғи газ бен био отын дамиды. Көліктегі электр энергиясының үлесі өскенімен, 2040 жылға қарай маңызы шамалы болып қалады.

Үшіншіден, электр энергиясын өндіру 69% артады. Жылу және электр өндіруде табиғи газдың үлесі шамамен солай болып қалады, мұнай мен көмірдің үлесі қысқарады. Атом энергетикасы абсолюттік көрсеткіштерде екі есе артады. Ақырында, жаңартылатын энергетиканың генерациядағы үлесі 12%-тен 24% дейін ұлғаяды. Сонымен бірге тұтынылатын бастапқы энергиядағы жаңартылатын көздердің үлестері тұтастай алғанда әсері аз – 14%-тен 19% дейін екенін атап көрсетеміз. Жаңартылатын энергия көздерін пайдаланудың өсуі негізінен жылу және электр өндіру есебінен жүзеге асырылуда. «Ғимарат» секциясында биоэнергетиканы пайдаланудың қысқаруы арзан қолды энергия көздері – отындарды және т.б. пайдаланудың болжалды азаюына байланысты болуы керек.

Төртіншіден, жаңартылатын көздерді пайдаланудың ұлғаюы көбінесе басқа жаңартылатын көздер (гидроэнергетикамен биоэнергетикадан басқасы), яғни негізінен күн және жел энергетикасы есебінен жүзеге асырылады. Өзге жаңартылатын көздер бойынша тұтынылатын бастапқы энергиядағы өзге жаңартылатын энергияның үлесінің 1%-тен 5% дейін көп есе өсуі болжамдалады. Халықаралық энергетика агенттігінің есебінде болжам жылдар бойынша бес жылдық аралықпен ұсынылған; осы деректер бойынша өзге жаңартылатын көздерді пайдаланудың жылдық орташа өсімі 2020 жылға дейін 10% жуықты құрайды, бірақ кейіннен 2040 жылға дейін әр бес жылдықта 7, 6, 5 және 4% азаяды.

Жаңартылатын энергия көздері құрылымында мұхит толқындары келешегі зор энергия тасымалдаушы болып табылады. Жер бетінің орасан аумағына таралған және жаһандық күн-жер процестеріне қатыса отырып, түрлі көздердің деректеріне қарағанда кеңдіктің 1010 бөлігінің екінші миссиясы үшін

қолжетімді. Осының арқасында мұхит толқындары аса үлкен дәрежеде дамуға қабілетті; жаңартылатын көздер; қуат бірлігі. Ағындардың тығыздығы; сол екі арада күн радиациясы – 250 Вт/м^2 , желдің ағыны (желдің жылдамдығы секундына $7,3 \text{ м}$) – 250 Вт/м^2 жуық, судың шығыны (секундына 1 метр жылдамдықта) – 500 Вт/м^2 . Сонымен бір мезгілде толқынның ағымдағы энергиясының орташа мәні $T = 7 \dots 10 \text{ с}$ кезеңінде және $H = 2 \text{ м}$ тұрғысында аса үлкен емес биіктікке қатысты: шебінде толқынның 1 метр ұзындығы $40 \dots 50 \text{ кВт}$ м. құрайды. Жекелеген акваторийлер де Жердің жарты шарларының ортаңғы ендіктерінде толқынның белсенділігі $70 \dots 100 \text{ кВт/м}$ шығыс мәндерімен сипатталады.

Айтылғандардан әлемде және Қазақстанда жұмыстарды жүргізудің және жаңартылатын энергетика құралдарын ендірудің аса өзектілігі байқалады. Оған қоса, Қазақстан жаңартылатын энергия көздерін интеграциялауға қатысты өзінің алдына 2020 жылға қарай ЖЭК-нен (күн және жел) электр энергиясын өндіруді 3% -ке жеткізудің, ал келешекте 2030 жылға қарай ЖЭК үлесін 30% (11% күн және жел, 10% гидро, және 9% атом) жеткізудің өршіл міндеттерін қойып отыр.

1.2 Толқын энергетикасының жай-күйі және дамыту жоспарлары. Толқындарды түрлендіру технологиясы

Толқын энергетикасы жаңартылатын энергетика саласының бірі болып табылады. Оның міндеті теңіздердің, мұхиттардың және үлкен сулы кеңістіктердің су массаларының энергетикалық ресурстарын пайдалану болып табылады. Мұхит толқындарының энергиясы жел және күн энергиясының үлес қуатынан асып түсетіні белгілі [17, 18]. Мұхиттар мен теңіздер толқындарының орташа қуаты қума метріне 15 кВттан асады, алтолқынның биіктігі 2 метр болғанда қуаты қума метріне 80 кВт жетуі мүмкін. Толқындар энергиясы түрленген кезде, тиімділік 85% пайдалы тиімділікке жете отырып, жел және күн электр станциясы секілді басқа балама әдістерден едәуір асып түсуі мүмкін [19, 20]. Әлемдік мұхиттың жиынтық толқын қуаты 2700 ГВт бағаланады [21]. Әлемдік мұхит толқындарының ықтимал энергиясы 2 ТВт құрайды деп есептелген [22-24]. Толқындық күштік құрылғылар берілген қуаттағы электр энергиясын жел және күн энергетикалық құрылғылармен салыстырғанда $\sim 20\text{-}30\%$ уақыттың 90% дейін туындата алады [25, 26]. Алайда жоғарыда тізбеленген басымдықтарды іске асыру үшін бірқатар техникалық проблемалар бар. Толқындық энергетикалық құрылғылардың өнімділігі мен бәсекеге қабілеттілігін арттыру үшін осы проблемаларды еңсеру қажет. Елеулі проблема толқынның кездейсоқ және қуаты жоғары тербелісті баяу ($\approx 0,1 \text{ Гц}$) қозғалыстарын электр тогын туындату жүйесін іске қосу үшін пайдалы қозғалысқа түрлендіру қажеттігі болып табылады. Одан бөлек, теңіз аудандарында толқындардың бағыты күрт құбылмалы, сондықтан толқындық құрылғылар осы өзгерістерді қабылдауы тиіс. Қозғалыстың осы тұрақсыздығын

тиімді қармау міндеті туындайды. Бұл міндет толқындық электр станциялары құрылғыларының конструкциясын әзірлегенде ескерілуі тиіс.

Толқындық электрстанциялары толқын қуатының жиі емес, төтенше жоғары деңгейіне төтеп беру қажеттігімен байланысты туындайтын төтенше толқындық шарттарға төтеп беруі тиіс [27]. Сонымен бірге судың бетінде жұмыс істейтін құрылғының қатты таттану ортасын жұмсарту үшін жобалау проблемалары да болады [28]. Негізгі проблема толқындық электр станциясы конструкциясының жұмыс істеуінің тиімділігі мен өміршендігін арттыру болып табылады. Толқын белсенділігінің механикалық жұмысынан электр энергиясын туындатудың көптеген әр алуан тәсілдері бар, алайда бүгінгі күні үш негізгі қағидасы тиімді қолданыс тапқан [29, 30]:

1. «Осцилляциялаушы (тербелмелі) су бағанасы» қағидаты – толқындық энергия қондырғысы астыңғы ашық камерасы судың ең төменгі деңгейіне (толқынның ойпатына) батырылған камераны білдіреді [31]. Толқынның жалы келген кезде қуыс толтырылып, ауа ығыстырылып шығарылады және камераның үстіндегі қуыста орналасқан ауа турбинасына бағытталады, ауа турбинасы электр генераторды қозғалысқа келтіреді [32]. Толқынның деңгейі төмендегенде қуыста ауа сиретіліп, ауаның қозғалысы өзгереді, ауа турбинасы кері бағытта айнала бастайды. Осцилляциялаушы су бағаны қағидатында Испанияның Атлантика жағалауындағы әлемдегі тұңғыш коммерциялық толқындық Матрику электр станциясы жұмыс істейді. Ол 2011 жылдың қыркүйек айында іске қосылған. Электр станциясының өндіретін қуаты 300 кВт, турбиналардың ПӘК кезінде 50%, ол жергілікті тұрғындардың электр энергиясына қажеттігінің 10% жабады. Мутрикудің бірегейлігі сол, толқындық электрстанциясы порттық молға кіріктірілген, сонысыменде ол жағалаудың пейзажын бұзбайды. Порт-Кембл қаласының (Аустралия) айдынында сәтті жұмыс істеп тұрған басқа «Oceanlinx» толқындық электр станциясы бар. Толқындар қозғалысының бағыты мен олардың күші ұдайы өзгеріп отыратындықтан, «Oceanlinx» станциясында қалақшалар бұрылысының бұрышы реттеліп отыратын Denniss-Auld турбинасы қолданылады. Станцияның бір күштік құрылғысы 100 кВт-тан 1,5 МВт дейінгі (пиктік режимде) қуатқа ие. «Oceanlinx» толқындық электр станциясы қаланың электр желісіне 450 кВт электр қуатын жеткізеді [33].

2. «Тербелістідене» қағидасы. Мұндай қондырғылардың жұмыс органы – қалтқы, ол теңіздің бетінде болады және желмен толқығанда су деңгейінің өзгерістеріне сәйкес вертикалдық тербелістер жасайды. «Тербелісті дене» қағидатында саналуан буйлар, «теңіз жыландары» және т.б. жұмыс істейді. 2011 жылы Ocean Power Technologies (OPT) компаниясы қуаты 150 кВт 42 метрлік алып Power Buoy PB-150 буйларының сериялық өндірісі басталғанын жария етті [34]. Power Buoy PB-150 жұмыс істеу қағидаты: тербеліс кезінде үстіңгі қалтқы ұзын шток-роторды жылжытады, ол өз кезегінде, статордың орамасының ішінде сырғанап, онда тоқты қоздырады. Жүздеген осындай буйлардан құралған каскад түбінде зәкір жүйесімен бекітіледі, ал өндірілген энергия су асты күштік кәбілімен жағалауға беріледі. 2014 ж. осындай

буйлардан құралған екі өнер кәсіптік ферма іске қосылды: АҚШ-тың батысында 1.5 МВт және Аустралияда 19 МВт. «Тербелісті дене» қағидатымен жұмыс істейтін басқа қондырғыларда буйдың орнына бір-біріне қатысты қозғалатын бір қатар жылжымалы элементтер қолданылады. Осындай қағидатпен жұмыс істейтін толқындық электр станциясының алғашқы өнеркәсіптік нұсқасы 2008 жылы Португалияның Повуа-ди-Варзин қаласындағы жағалаудан 5 шақырымда іске қосылды [35]. Электрстанциясы Relamis P-750 деп аталады. Ол Атлант мұхитының толқындарында тербелетін үш бірдей конвертерден құралады және бәрі бірге 2,25 МВт электр энергиясын өндіреді [36]. Әр конвертер төрт секциядан құралады. Конвертерлердің ұзындығы 120 метрден, диаметрі 3,5 метр, салмағы 750 тоннадан. Жылан пішіндес бұл конструкциялар жүзіп жүрген төрт вагондық құрамға ұқсайды, жергілікті тұрғындар оларды теңіз жыландары иірімі (илинасы) деп атайды.

3. «Жасанды атоллы бар» қондырғы – бетон тұрқынан құралған үймерет, онда толқындардың төсеме төбелерінің беттері орналасады. Энергия қондырғысының ортаңғы бөлігінде су қабылдау қуысы бар жинақтаушы резервуар (бассейн) орналасады, ол арқылы су гидротурбинаға түседі [37].

Генератор үймереттің үстіңгі бөлігіне орнатылады. Суды теңіз деңгейінен жоғары орналасқан бассейнге көтеру үшін толқынның жадағай бетке жүгіру әсері пайдаланылады. Бұл үшін жұмыс беті көлбеу, ұшына қарай тарылған науа түрінде жайластырылады [38]. Көлбеулену бұрышы 30° еңіс бетті қамтитын қондырғы толқынның орташа биіктігі 1,5 метр болғанда деңгейдің 2,5 метрге көтерілуін қамтамасыз етеді. Сонымен потенциалдық энергияның қоры түзіледі, оны кейіннен қажетіне қарай суды кері қарай мұхитқа гидротурбина арқылы өткізу арқылы электр энергиясына айналдырады [39].

1.3 Толқындық электр станцияларының конструкцияларын талдау

Алғашқы толқындық электрстанциясы 1985 жылы Норвегияда пайда болды [40]. Оның қуаты 500 кВт құрады, және оның өзі прототипы болды. Оның әрекет ету қағидаты циклдық сығылуға және ортаның кеңеюіне негізделген:

- 1) суға батырылған ашық түбі бар цилиндр, оның өрнеуі толқынның ойпатынан – астыңғы нүктесінен төменде болады;
- 2) ауық-ауық түсетін су ішкі қуыстағы ауаны сығады;
- 3) белгіленген қысымға жеткенде клапан ашылады, ол сығымдалған оттектің турбинаға өтуіне мүмкіндік береді.

Мұндай электр станциясы 500 кВт энергия өндірген, бұл қондырғылардың тиімділігін растау үшін жеткілікті болып, олардың дамуына септігін тигізді. Әлемдегі алғашқы өнеркәсіптік қондырғы Аустралияның Порт-Кембл айдынындағы Oceanlinx болып есептеледі [41]. Ол 2005 жылы іске қосылған болатын, бірақ кейіннен қайта жаңғыртуға жолданды, ал 2009 жылы олқайтадан жұмыс істей бастады, сондықтан өңірде келгінсу және толқындық электр станциясы ретінде пайдаланылады. Оның жұмыс істеу қағидаты

мынадай: толқындар ауаны сығылуға мәжбүрлей отырып, ауық-ауық арнаулы камераларға түседі. Сыни қысымға жеткенде сығымдалған ауа генераторды арналар желісі арқылы айналдырады. Толқындардың қозғалысы мен күшін тұту үшін турбинаның қалақшалары көлбеулену бұрышын өзгертеді. Станцияның әр секциясы 100 кВт-тан 1,5 МВтч электрэнергиясын өндіруге қабілетті болғанымен, қондырғының қуаты 450 кВт жуықты құрады.

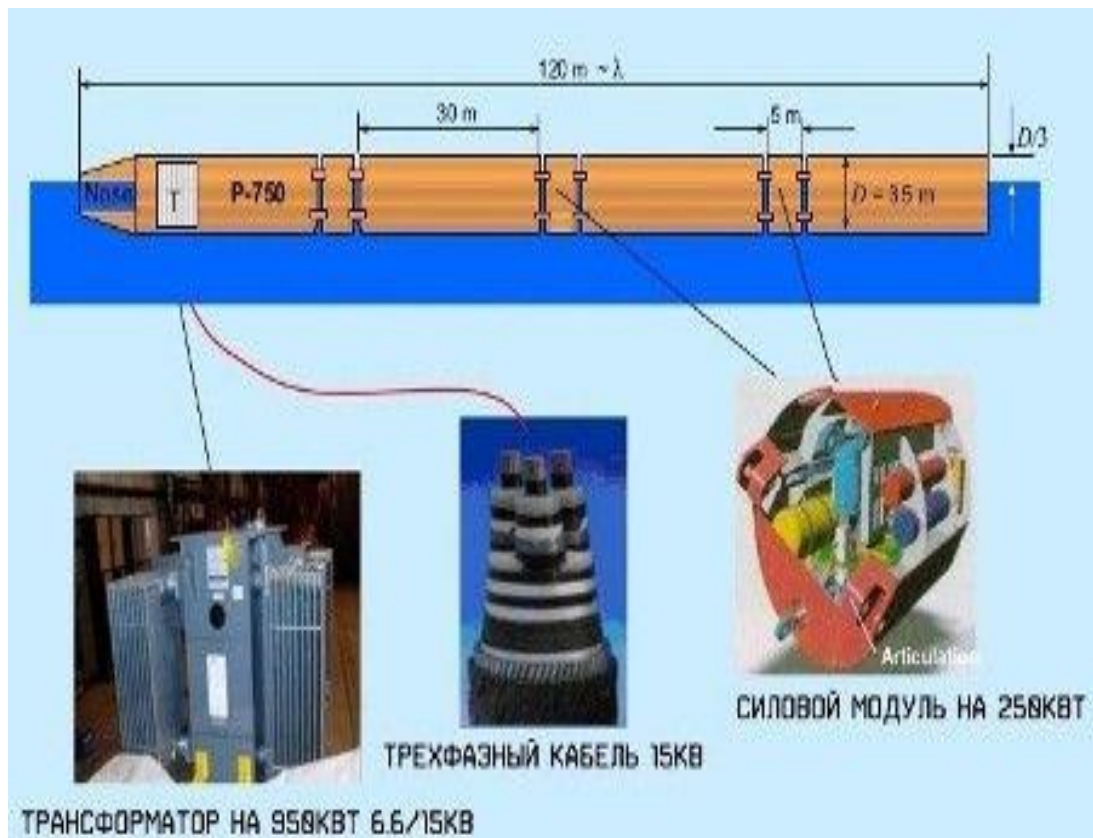
Мұхит толқындарының энергиясы жел және күн энергиясының үлес қуатын арттырады. Мұхиттар мен теңіздер толқындарының орташа қуаты кума метріне 15 кВт асады, ал толқынның биіктігі 2 метр болғанда қуаты кума метріне 80 кВт-қа жетуі мүмкін. Толқындар энергиясы түрленген кезде тиімділік пайдалы тиімділігі 85% жетіп, жел және күн электр станциялары секілді басқа балама әдістерден едәуір асып түсуі мүмкін.

Теңіз толқынының энергиясы толқындардың жоғары және төмен тербелісті қозғалысын генератордың көмегімен электр энергиясына түрлендіру арқылы алынады. Кәдімгі жағдайда генератор айналу моментін біліктен алуы тиіс, аларалық түрленулер көп болмауы тиіс, жабдықтың көп бөлігі егер бұл мүмкін болса, жерде орналасуы тиіс.

Шотландтық Pelamis Wave Power компаниясы құрастырған толқындық электр станциясының алғашқы өнеркәсіптік нұсқасы 2008 жылы Повуа-де-Варзин қаласындағы жағалаудан 5 шақырым жерде, Португалияның Агусадор ауданында іске қосылды. Электр станциясы Pelamis P-750 деп аталады [42]. Ол Атлант мұхитының толқындарында тербелетін және бірге 2,25 МВт электр энергиясын өндіретін үш бірдей түрлендіргіштен құралған. Әр конвертер төрт бөліктен тұрады. Конвертерлердің ұзындығы 120 метр, диаметрі 3,5 метр және салмағы 750 тонна тартады. Бұл жылан пішіндес құрылымдар төрт вагоннан тұратын қалқымалы пойызды немесе жергілікті тұрғындар атайтындай теңіз жыландарын еске түсіреді.

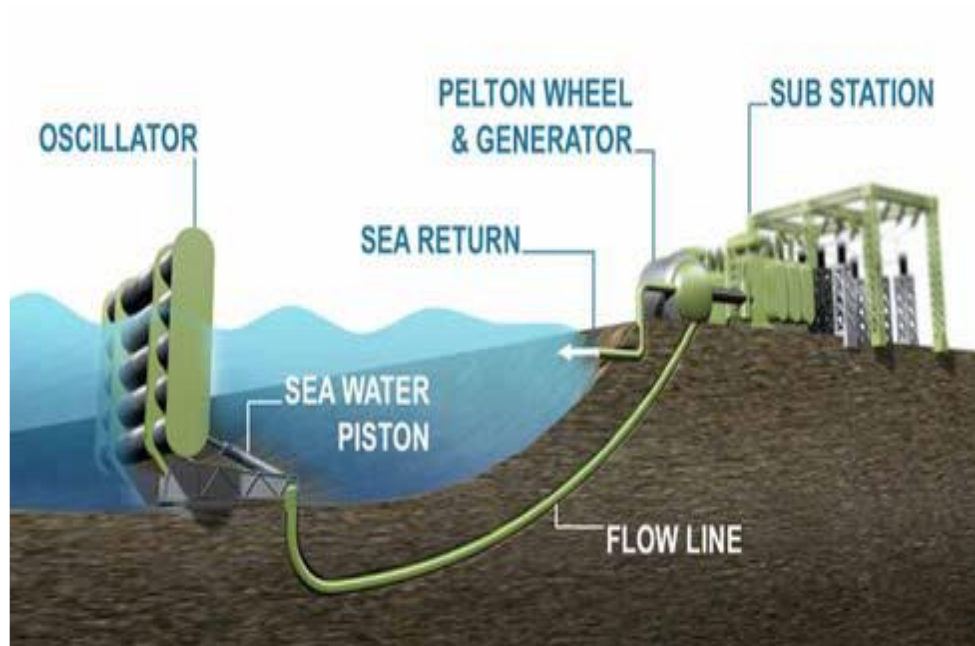
Әрбөлікте гидромотор мен генератор болады. Гидравликалық моторлар маймен қозғалысқа келтіріледі. Май басқарылатын поршеньдермен, өз кезегінде, толқындардағы конструкциялардың жіктерінің қозғалысымен жоғары және төмен жылжиды. Топсаларда поршеньдердің аса тиімді жұмыс істейтіндей етіп құрастырылған арнаулы күштік модульдер болады. Гидравликалық моторлар генераторларды айналдырады, олар өз кезегінде электр қуатын өндіреді. Электр қуаты жағалауға күштік кабілдер арқылы беріледі. Бұл энергия жағалаудағы Повуа-де-Варзин қаласындағы 1600 үйді қамтамасыз етуге жеткілікті. 1.1 суретте толқындық электр станциясының алғашқы өнеркәсіптік нұсқасы көрсетілген.

2009 жылы Оркней аралдарының жағалауында, Шотландияның солтүстік бөлігінде энергияны Солтүстік теңіздің толқындары арқылы туындататын тағы бір бірегей құрылым іске қосылды. Оны Эдинбургте Aquamarine Power компаниясы жобалап, құрастырды, Oyster генераторы «Устрица» дегенді білдіреді. Жоба үлкен толқындарда ілгерінді-кейінді тербелетін және осылайша 16 метрге жуық тереңдікте орналасқан екі жақты сорғыны қозғалысқа келтіретін қалтқылы сорғыны білдіреді.



Сурет 1 – Pelamis P-750 толқындық электр станциясы

Конструкцияның ерекшелігі құрылғының бүкіл электрлі бөлігінің жағалауға шығарылғандығында, ал екі бөліктің арасы сорғы қалтқысымен және жағалау электр станциясымен құбыр арқылы жалғанатындығында. Құбырдың бойымен теңіз суы қысыммен гидроэлектрлі генераторға қарай жылжиды. Бұл станция электр энергиясымен бірнеше жүздеген үйді қоректендіреді, ал жүйенің өрістете алатын ең көп қуаты 600 кВт құрайды. 1.2 суретте Oyster толқындық электр станциясы көрсетілген.



Сурет 1.2 – Oyster толқындық электр станциясы

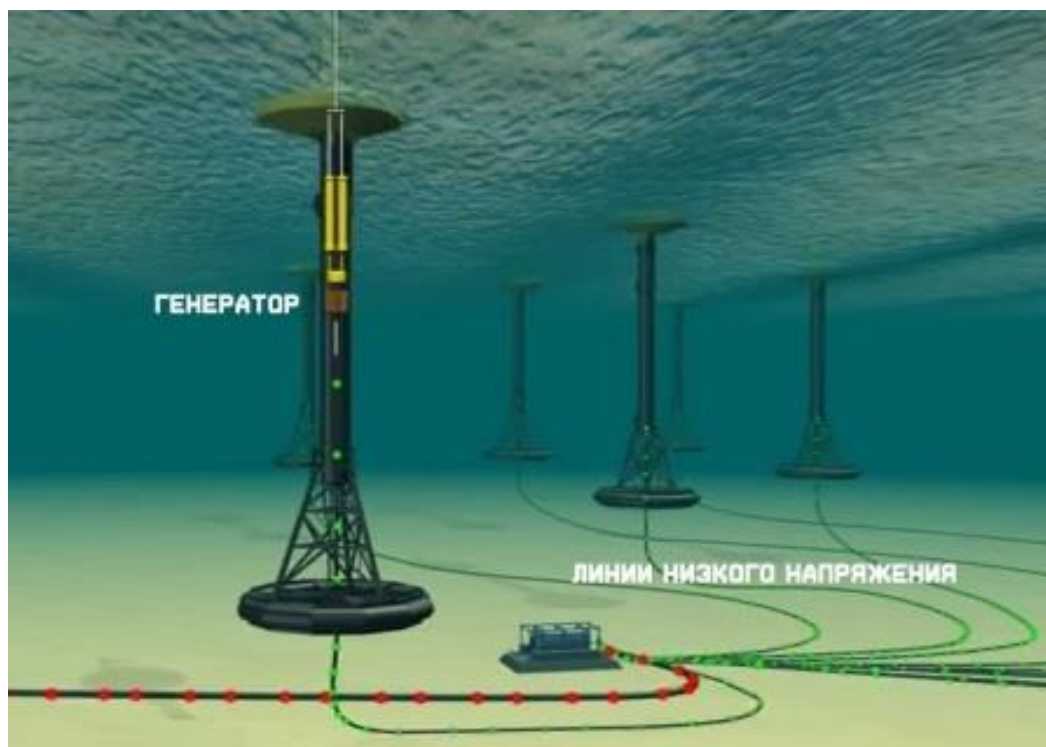
Ескерту – Әдебиет негізінде құралған [43]

Aquamarine Power компаниясы «Oyster» жобасының тек алғашқы қадам екендігіне сенімді [43]. Компанияда 9000 жекеменшік үйді қамтамасыз ететін электр энергиясының мегаваттарын өндіре алатын осындай 20 агрегаттан құралған парк құру туралы ойластыруда. Тағы бір нұсқасы қуатты бір жағалау гидроэлектр турбинасына жұмыс істейтін бірнеше қалтқы сорғыдан құралған кешен құру болуы мүмкін.

1.3 және 1.4 суреттерде Wave Hub толқындық генератор кешендері көрсетілген



Сурет 1.3 – Wave Hub толқындық генераторлар кешені



Сурет 1.4 – Wave Hub толқындық генераторлар кешені

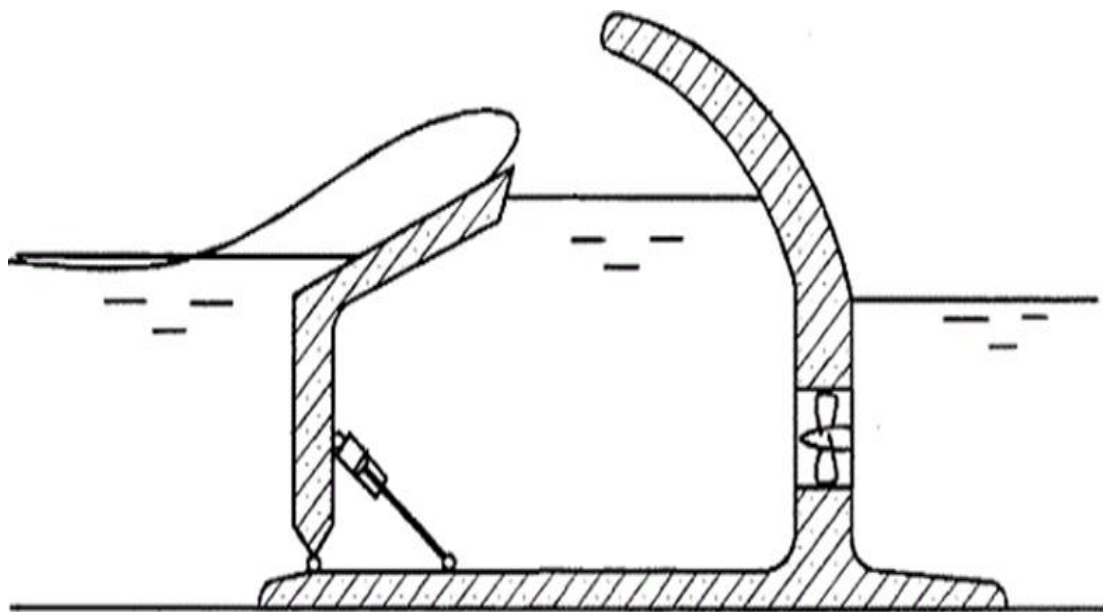
Сонымен бірге 2009 жылы Ұлыбританияда, Корнуолланың жағалауында жағалауға күштік кәбілдің көмегімен жалғанған Wave Hub толқындық генератор кешенінің құрылысы басталды. Американдық Ocean Power Technologies компаниясының PowerBuoy маркілі генераторлар кешені төменге бекітілген бағандардың бойымен сырғитын қалтқылардың вертикалды жылуы есебінен жұмыс істейді. Бағандарды орнату тереңдігі 50 метрді, ал жүйенің жалпы қуаты 400 бұйды, ақыр аяғында 50 МВт құрайды.

Бұл әлемдегі ең үлкен толқындық электр станциясы, және оның құрылысы 5 жылға жоспарлануы тиіс. Бұйлар Хейлис орналасқан жағалаудан 16 шақырым қашықтықтан бастап теңізде орналасқан, және әрі қарай, 1800 метрдің ішінде жалпы саны 400 осындай бұйлар орналастуы тиіс. Жоба ұдайы (әлі күнге дейін) әзірленіп жатыр, және техникалық сипаттамалары туралы мәліметтер әлемнен тысқары жерлерде жарияланатын болады. Соңғы бей ресми мәліметтерге қарағанда ең көп қуаты 20 МВт-қа жеткен.

Бұйлар былайша орналасқан. Бағанның ішінде генератор болады, ол үстіңгі жүйенің есебінен қозғалысқа келтіріліп, бұй толқындарда тербелгенде электр қуатын өндіреді. Әр бұйдан электр тогы сымдардың бойымен қосалқы станцияға беріледі, одан күштік кәбіл электр энергиясын жерге береді. «Жасанды атолла» бар қондырғы – бұл сырғыма толқындардың беттері орналасқан бетон денеден құралған үймерет. Күштік қондырғының ортаңғы бөлігінде су қабылдағышы бар жинақтаушы резервуар (бассейн) болады, ол арқылы су гидротурбинаға түседі. Генератор конструкцияның үстіңгі бөлігінде орналасқан. Теңіз деңгейінен жоғары орналасқан бассейндегі суды көтеру үшін

еңіс беттің бойымен толқын ағынының әсері пайдаланылады. Бұл үшін жұмыс беті үстіңгі бөлігіне қарай тарылатын көлбеу науа түрінде орындалған.

Көл беулену бұрышы 30° еңіс бетті қамтитын қондырғы толқынның орташа биіктігі 1,5 метр болғанда деңгейдің 2,5 метрге көтерілуін қамтамасыз етеді. Бұл потенциалдық энергияның қорын түзеді, ол кейіннен қажет болғанда суды кері қарай теңізге гидротурбина арқылы өткізу арқылы электр энергиясына түрлендіреді. 1.5 суретте жасанды атолл бар қондырғының схемасы көрсетілген.



Сурет 1.5 – «Жасанды атолл» бар қондырғының схемасы

Америка Құрама Штаттарында мұндай типтегі қондырғы Dam Atoll атауымен әзірленеді. Қондырғының негізгі элементі диаметрі 100 метр және биіктігі 30 метрге дейін сфераның бір бөлігі, теңіз деңгейінен шығып тұратын дөңес бөлігі болып табылады. Осы жасанды аралдың бетінде толқын жолдық қабырғалар, ортасында су шөміш және сулы турбинасы бар диаметрі 18 метрге дейін су таратқыш орналасқан. «Пингвин» технологиясы толқындардың кинетикалық энергиясын пайдаланудың және оны электр қуатына айналдырудың жаңа тұжырымдамасын білдіреді. Толқындар жылжыған кезде, түрлендіргіштің асимметриялы денесі айналма жүрістер жасайды, бұл тұрқының ішіндегі айналдырғышты (GIF видеосында төмендегі сарғыш сегмент), айналдырғыш орнатылған, генератормен (GIF видеосындағы сарғыш сегмент) тікелей жалғанған білікті айналдырады. Генератор айналдыратын құрғылғыдан алынатын механикалық энергияны электр энергиясына түрлендіреді. Бұл қағидат қайта жабдықтау кезіндегі шығындарды азайтуға мүмкіндік береді, өйткені қосымша бөлшектер, мәселен берілістер қорабы жоқ. Бұл технологияның тағы бір айрықша ерекшелігі түрлендіргіштің барлық механикалық және электр құрамдастары тұрқының ішінде болатындығында және теңіз суының темір ортасымен жанаспайтындығында. Бұл толқындық

түрлендіргіш масштабті алушы болып табылады және іс жүзінде кез келген өңірге бейімделе алады. Электр қуатын тіптен төмен 1,3-1,5 метрлік толқындардан да алуға болады. Бразилия Латын Америкасындағы толқындар энергиясын түрлендіре бастаған алғашқы елдердің бірі болып отыр. Әрі бұл оның жағалау шебінің ұзындығы 8000 шақырымнан астамды құрайтыны таңғылдырмайды. Толқындар энергиясын түрлендіру жөніндегі алғашқы жоба 2012 жылы басталған және Coppe су асты технологиялары зертханасымен тестілеу мақсатында әзірленген. Зауыттың өзі Форталез қаласынан 60 шақырымдағы Пецем портында орналасқан. 1.6 суретте Коппедегі ТЭС көрсетілген.



Сурет 1.6 – Коппе толқындық электр станциясы

Бұл бірегей жобаның ерекшелігі кәсіпорынның өзінің жағалауда орналасқандығында және жағалауда қалтқылардың батырылғанында. Әр қалтқы толқындар мен қозғалысқа келтірілетін механикалық иінірдің ұшына бекітілген. Бұл жоғарылы-төменді жүріс сорғыны іске қосады, сорғы жоғары қысым камерасымен жалғанған резервуарда сақталатын таза судың қысымын туғызады. Мұнда қысым су бағанының 200-400 метріне тепе-тең болады. Қағидат гидроэлектр станциясының жұмысына ұқсас. Су ағын түріндегі қысыммен турбинаны қозғалысқа келтіреді, ол өз кезегінде электр энергиясын өндіретін генераторды айналдырады.

Суға батырылған қысымды түсіру құрылғысы суға батырылған электр станциясы – толқындардың жалдары мен ойпаттың арасындағы аспаптың үстіндегі қысымдардың айырмасын пайдаланатын нүктелі жұтқыш болып табылады. Ол негізгі екі бөліктен: жылжымайтын теңіз түбінен және цилиндрдің үстіңгі бөлігі жылжымалы ауамен толтырылған цилиндрлі камерадан құралады. Желдың аспаптың үстінен қалай өтетіндігіне қарай аспаптың үстіндегі судың қысымы үстіңгі цилиндрді төмен қарай жылжытып, цилиндрдің ішіндегі ауаны сығзады. Науа оның үстінен өткендей, аспапқа судың қысымы көтеріледі азаяды және үстіңгі цилиндр көтеріледі. Осы құрылғының артықшылығы оның толықтай суға батырылғандығында, оның қалқымалы құрылғылардың соққының қауіпті күштерінің әсеріне ұшырымайтындықтан [44], сонымен бірге құрылғының көрнекі әсерін азайтады. Құрылғыға техникалық қызмет көрсету – бұл алайда ықтимал проблема. Теңіз түбіне бекітілген құрылғының бөлігінің арқасында бұл құрылғылар әдетте жағалауға жақын орналасқан болып табылады. Мұндай құрылғының мысалы 1.7 суретте ұсынылған Архимед әткеншектері болуы мүмкін.



Сурет 1.7 – Су астытолқындық станция

Ескерту – Әдебиет негізінде құралған [45]

Толқындар энергиясын түрлендірудің түрлі технологияларын пайдаланатын саналуан конструкцияларды талдау оның толқындар динамикасының талқандаушы әрекеттерінен қорғалғандығы себебінен су астында орналасқан осы конструкцияны таңдауға мүмкіндік береді [45].

1.4 Толқын энергиясын түрлендіру технологиялары

Шын мәнінде толқында бар бүкіл энергия (95%) судың беті мен толқын ұзындығының үстіңгі төрттен бір бөлігінің арасында орналасады. Бұл энергия 1.2 тармақта көрсетілген түрлі тәсілдер мен алынады, бұл қолжетімді әрі кең жайылған құрылғылар мен технологиялардың кең әр алуандылығына әкеледі. Толқын энергиясын түрлендіру технологиясы толқындар шын мәнінде үш жүрісті жасайтындығына сүйенеді:

– ілгерінді/кейінді көлбеу жүріс («помпаж»), оны «ораманың айналуын» пайдаланатын технологиялардың көмегімен алуға болады;

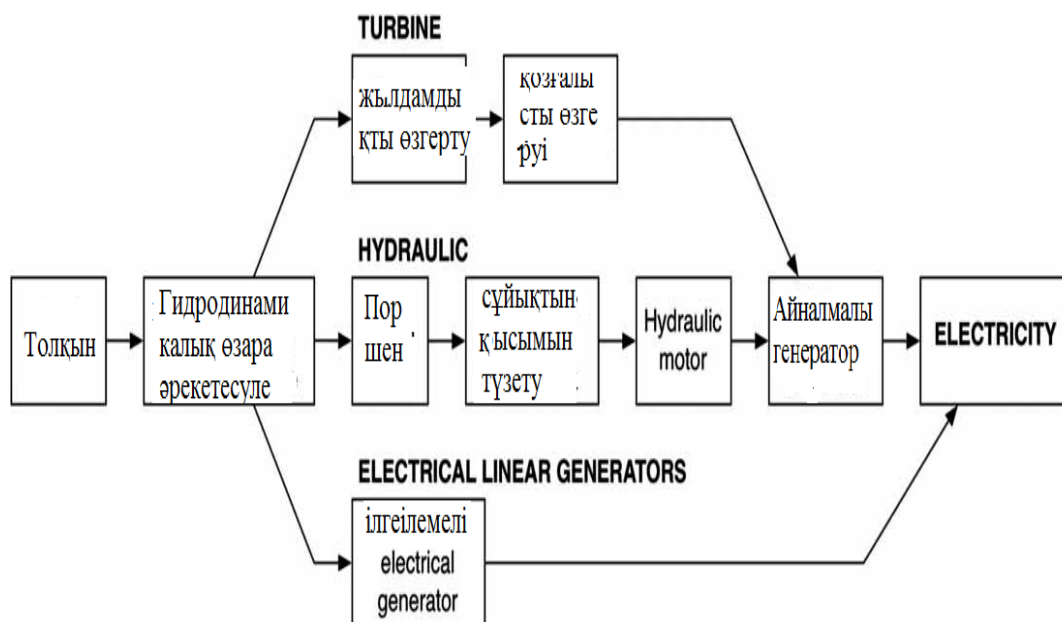
– бір тұстан екінші тұсқа көлбеужүріс («тербеліс»), оны «қадамның айналуын» пайдаланатын технологиялардың көмегімен алуға болады;

– вертикалды (жоғары және төмен) жүріс («көтеру»), оны «осьтің айналасында айналуы» немесе «ілгерінді жүрісті» пайдаланатын технологиялардың көмегімен алуға болады. Толқын энергиясын түрлендіру технологияларын жіктеу тәсілдерінің бірі кейбір сезімтал құрылғының толқынның толқындық жүрісін (немесе олардың ұштасуын) қармайтындығы болып табылады. Әдетте, нүктелік жұтқыштар «сәулені» поршеньді көтеру және түсіру үшін түрлендіреді, пульстік толқынның шектегіштері мен түрлендіргіштері «помпажды» түрлендіреді, ал аттенюаторлар толқынның «биіктігін» роторға түрлендіреді. Толқындық электр станцияларының әзірленген тұжырымдамаларының жартысынан көбі (53%) нүктелік жұтқыштар, 33% шектегіштер және 14% аттенюаторлар болып табылады.

Алайда бұдан толқын жүрісінің шектеулілігі тұжырымдамасы толқындар энергиясын түрлендірудің ықтимал технологияларын шектейтіні келіп шығады. Бұл жұмыстасу массалары бөлшектерінің ықтимал жүрістерін еркіндіктің алты дәрежесі бар кеңістіктік деп есептеу қабылданған. Мұндай тәсіл толқындар энергиясын түрлендіру технологиясын және оларды іске асыратын құрылғыларды кеңейтуге мүмкіндік береді.

1.5 Толқындық электр станцияларының қуат алу жүйелері

Қуат алудың түрлі жүйелері 1.8 суретте ұсынылған. 1.8 суретте көрсетілгендей, толқын энергиясын электр энергиясына түрлендіру үшін турбиналар, гидромоторлармен электр тогының желілік генераторлары қолданылады.



Сурет 1.8 – Қуат алу жүйелері

Дәстүрлі электр станциялары синхронды генераторларды (СГС) пайдаланады. Олартоқтың жиілігіне сәйкес келетін электр желісіндегі тұрақты жылдамдықтарда дерлік пайдаланылады. Түрлендіру жүйесіне қарай, толқындар энергиясын алуға пайдаланылатын генераторларға оны айнымалы жылдамдықты еңсеруге тура келетіні ықтимал. Генераторлардың төрт түрі анықталған:

- қосарлы қоректендіруі бар синхронды емес генераторлар (DFIG);
- қысқа тұйықталған синхронды емес генераторлар;
- тұрақты магниті бар синхронды генераторлар;
- дала синхронды генераторлары.

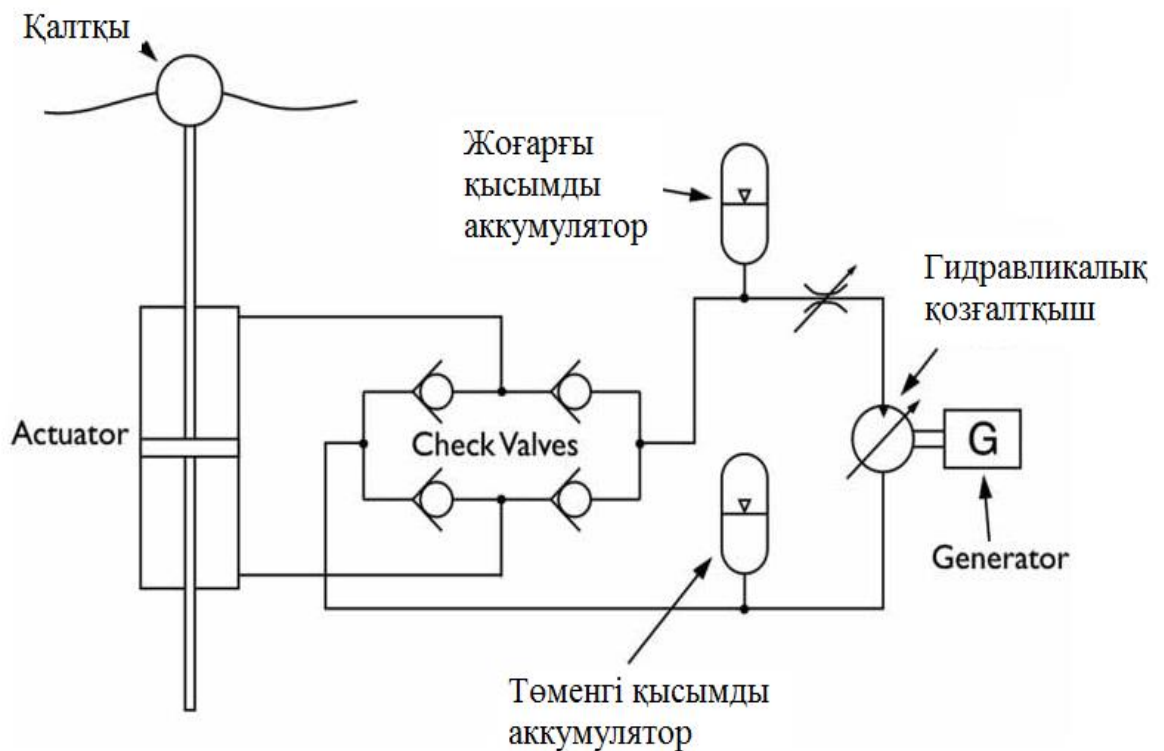
[46] жұмыста осы генераторлардың экологиялық, электрлі және құндық факторлар тұрғысынан және time-domain MATLAB моделінің көмегімен артықшылықтары мен кемшіліктерін зерделеу арқылы толқындық электр станцияларын қолдануға жарамдылығы тұрғысынан олардың нұсқалары қарастырылады. Толқындық электр станцияларының, құрылғының генераторы әдетте айнымалы жылдамдықпен жұмыс істейді. Бұл ретте қазіргі кезде жел турбиналарында қолданылатын генераторлармен ұқсастық бар. Жел турбиналарында кең таралған генераторлар қосарлы қоректендіруі бар синхронды емес генераторлар (DFIG) болып табылады. Ол берілістер қорабы арқылы басқарылады, ал тура жетек-төмен жылдамдықты синхронды генератор толқындық электр станцияларында пайдаланылуы ықтимал. Бұл нұсқа түрлендіргіштің көмегімен генератор мен желінің арасында жиілікті келісу талабына қарамастан энергияның шығуы, салмағы және басқарылуы жағынан басым түседі. DFIG елеулі кемшілігі оның техникалық қызмет көрсету талабы болып табылады; DFIGs щеткасыз машиналар болып табылмайды, бұл елеулі проблемалар туғызады.

1.5.1 Турбинаның көмегімен беру

Турбинаның көмегімен берусұйықтық ағыны (не болмаса теңіз суы, не болмаса ауа) генератормен тікелей жалғанған турбинаны қозғалысқа келтіретін құрылғылардағы тәсілді белгілеу үшін пайдаланылады. Жоғарыда айтылғандай, генераторларға айнымалы іске қосу секілді мұндай талаптар, жел турбиналарына талаптарға ұқсас, және осылайша олар жеткілікті түрде зерттелген [47, 48]. Теңіз суы турбиналарын пайдаланудың елеулі басымдығы сұйықтықтың ағуы ешқандай экологиялық проблемаларды туғызбайтындығы. Кемшілігі теңіз суының алдын ала болжап болмайтын түрлі құрамдастар бар сұйықтықтың күрделі жиынтығын білдіретіні болып табылады. Одан бөлек, жағалау маңындағы құрылғыларда түрпілі бөлшектер тығыздамаларды және клапандарды зақымдауы мүмкін. Егер оң қысымды қолдау үшін тек турбина терең суда болмаса, кавитация да проблема болуы мүмкін. Төмен қысым жағдайында, пропеллер типіндегі лақтырмалы құрылғылардағы жұмыс тәжірибесі Каплан конструкциясы секілді турбиналарды жиі пайдаланады. Жұмыс сұйықтығы ретінде ауаны пайдаланудың толқындардың баяу жылдамдықтарын ауаның шығысының өзгеруі есебінен жоғарыға дейін ұлғайтудың басымдығы болады. Өзінің бір және сол бағытқа айналу қабілетінің арқасында, ауа ағынының бағытына қарамастан, ауа турбиасының ең танымал конструкциясы ұңғымалы турбина болып табылады. Ажырамас кемшіліктеріне төмен тиімділігін (60-65% жуық [49, 50]), нашар іске қосылу, шуылдың жоғары деңгейі және дәстүрлі турбиналармен салыстырғанда жоғары осьтік тартымды жатқызуға болады [51]. Турбинаның қалақшаларының қадамын басқару тиімділікті арттыруы мүмкін [52].

1.5.2 Гидравликалық жүйені қолдану

Толқындық электр станциясының (ТлЭС) бастапқы интерфейсінің жүрісінің төмен жылдамдықты тербелістерін түрлендірудің тағы бір тәсілі гидравликалық жүйені пайдалануында. Толқында раз жылдамдықтарда үлкен күшпен әсер етеді, бұл жағдайда энергияны жұтатын гидравликалық жүйелер де жақсы сәйкес келеді [53]. 400 бар қысыммен жұмыс істейтін гидравликаны пайдалану ерекше қауіпті білдіреді. 1.9 суретте базалық гидравликалық жүйенің принципиалдық схемасы келтірілген. ТлЭС қуат алу жүйесі. Гидроцилиндрдің соташығы қалқымалы бұймен жоғары және төмен итеріледі. Бұй ағынды түзете отырып, сұйықтықты кері клапандар арқылы гидравликалық қозғалтқышқа қарай итеріп шығарады. Бұл жағдайда генератор тұрақты жылдамдық құрылғысы және гидравликалық қозғалтқыш болуы мүмкін және генераторды жақын қашықтықтан басқару үшін айнымалы қуаты болады.



Сурет 1.9 – Қуат алудың гидравликалық жүйесі

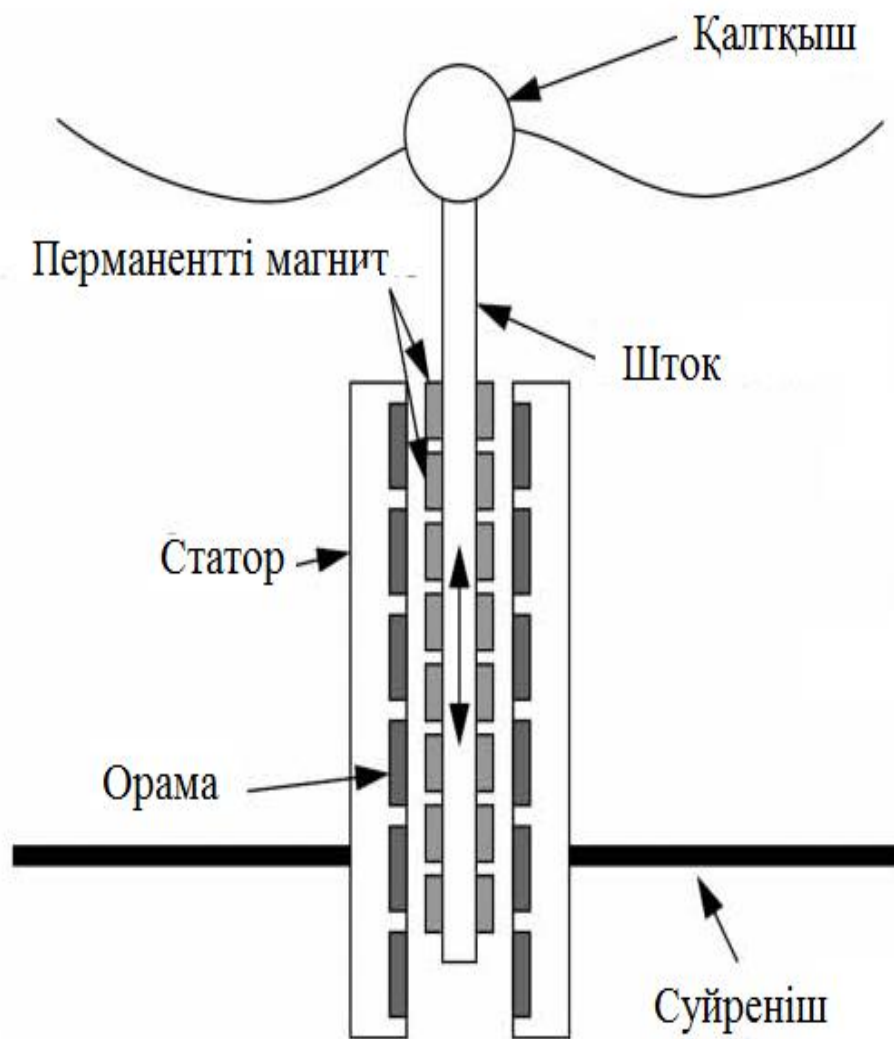
Айнымалы шығынға қарамастан жылдамдығы тұрақты болса, онда қозғалтқыштың қуатын бақылау ТлЭС айналасындағы өлшенген немесе болжанған теңіз ортасына, немесе жүйенің ішіндегі шығынды өлшеудің ағымды орталарына негізделуі мүмкін. Одан бөлек, дроссельді клапан да қозғалтқыштың ауа ағынын басқаруға пайдаланылуы мүмкін. Аккумуляторлар энергия жинақтау және гидравликалық қозғалтқышқа тұрақты ағынды ұстап тұру үшін тізбекке қосылады. Бұдан бөлек, аккумулятордың төмен қысымы төменгі қысым жақта кавитация туындау тәуекелін азайту үшін үрлемнің аздаған қысымын қамтамасыз етеді. Аккумулятор қатысты алғанда тұрақты энергиямен жабдықталатын сорғыларды қоректендіру үшін энергияның жеткілікті қорын қамтамасыз ететін гидравликалық цилиндр мен қозалтқыштың арасындағы айрықты қамтамасыз етеді. Үнеме клапандар ағынды түзету үшін пайдаланылады, сондай-ақ реакцияның айналу моментін өзгерту үшін пайдаланылады. Бастапқы берілістегі шығындар пайдалану шығыстарының кең ауқымында 20 проценттен төмен ұсталуы мүмкін. Гидравликалық сұйықтықтың ағуы теңіз суының түсуі секілді зор маңызы болады. Мәселен, есепте [54] тежеу сұйықтықтары сулы негізде гидро жүйелерді немесе басқа экологиялық тиімді сұйықтықты әзірлеуді зерттеуді ұсына отырып, себептердің арасында өнімділік пен қоршаған ортаның проблемасы атап көрсетілген. The Carbon Trust Guidelines ТлЭС жобалау және пайдалану туралы [55] гидравликалық жүйенің негізгі түсінігі ретінде қысымды тежеуді атайды. Балама биобдырайтын сұйықтықтардың тұтас қатары бар, бірақ олардың әр қайсысының түрлі артықшылықтары мен кемшіліктері

болады. Одан бөлек, сұйықтықтардың құрамдастармен үйлесімділігі тұмшалануды қамтамасыз етуі қажет. Теңіз суын жұмыс сұйықтығы ретінде пайдалану ең таза экологиялық әдіс болуы мүмкін, бірақ қатты заттардың ағуы, тығыздалуы, температурасы, қысымы, жылдамдығы, өлшемі, шөгуі, биологиялық өсім, майлау және таттану тұрғысында шектеулер болады. Pelamis ТлЭС теңіз ортасында био ыдырайтын гидравликалық сұйықтықты пайдаланады. Ығысу шығындары туындатқан температураның көтерілуі және жылжымалы интерфейске үйкелу тығыздаманың тозуының маңызды факторы болып табылады; тығыздаманың қызмет мерзімі жылдамдыққа, арақашықтыққа және оны қолдану ұзындығына байланысты кері пропорционалды, бұл өз кезегінде техникалық қызмет көрсету талабына ықпалын тигізеді. Қуат алу жүйесінің тиімділігі құрылғының энергиясын пайдалану үшін өмірлік маңызды. Дәстүрлі гидростатикалық берулер, әдетте, байланысты ауыспалы сорғылар мен ығыстыру моторлары пайдаланылады. Олардың мінсіз жұмыс нүктесі мен пиктік тиімділігі 80 процентке жуық болады. Тиімділік құлдырайды; ішін ара жүктеме шығындары (соның ішінде кулондық және тұтқыр үйкеліс, ағу және қысылу) айтарлықтай болады. Гидравликалық жүйенің рейтингі жоғары болғанымен, құрылғының жұмысының басым бөлігі өнімсіз шығындарға жұмсалуды толықтай қисынды, сондықтан ішін ара жүктеме кезінде жүйенің тиімділігі жоғары болуы тиіс [56]. Одан бөлек, ағынды түзету үшін пайдаланылатын кері клапандар және қуыстары бар қысымның өзгерістеріне байланысты шығынды реттеуге арналған дроссельдеуші клапан қуаттың жоғалуына және тиімділіктің азаюына әкеп соқтырады. Тиімділігі өте жоғары қысымға қажеттіпен қозғалатын екі бағытты майлы гидравликалық трансмиссиялар басқарудың озық алгоритмдері іске асыруы мүмкін, толқыннан аса үлкен энергия алу үшін қажет болады, көлемді сорғы-қозғалтқыштың жаңа цифрлық тұжырымдамасы әзірленген [57]. Сорғы-қозғалтқыш базалық конструкциясы әдеттегі радиалды-поршеньді сорғы-қозғалтқышқа ұқсас, бірақ өзіне әр цилиндр үшін электр магнитті басқарылатын тарелкалы клапандарды қамтиды, құрылғыға толық шығудан бір айналымда нөлге өтуге мүмкіндік береді. Ішін ара жүктеменің тиімділігі де цилиндрдің толық деактивациясы салдарынан айтарлықтай ұлғаяды. Ығысудың цифрлық берілуінің прототипі қазіргі кезде ауыр қораптар берілісіне қажеттікті жоятын жел генераторы немесе электрониканың толық қуаты төмен жылдамдықты электр генераторларына арналған жиілікті түрлендіргіштер әзірленуде [58]. Ұқсасы қазіргі кезде теңіз энергетикасына арналған құрылғы әзірленуде [59, 60]. Теңіз ортасында техникалық қызмет көрсету жүргізу қымбат нәрсе және көп уақытты алады және тәуекел туындатады. Түрленудің гидравликалық жүйесінде негізгі интерфейс пен электр генератордың арасында бірнеше кезең болуы ықтимал, олардың әр қайсысы жылжымалы бөліктен құралады және сондықтан техникалық қызмет көрсету қажет болуы мүмкін. Бұл қажетті техникалық қызмет көрсетудің ең аз деңгейге түсірілуі маңызды, абзалы тек күнделікті тексеруді немесе одан да азды табу етуі. Одан бөлек, металлды беттер мен құрамдастар таттану мен эрозиядан қорғалуы тиіс. Керамикалық жабындар

(Ceratax секілді, Bosch Rexroth дайындаған) теңіз ортасымен тікелей байланыста болатын құрамдастарды қорғаудың перспектикалық әдісін ұсынады. Техникалық қызмет көрсету шығыстарын азайту үшін пайдаланылатын (және гидравликалық құрылғылардан ағу мүмкіндігін азайтуы ықтимал) әдістердің бірі қуат алудың гидравликалық жүйесін жағалауға орналастыру болар еді. Бұл теңіз немесе жағалау маңы, жағалауға дейінгі құрылғыдан құбырдың ұзақ болуынан, қымбат тұратындықтан, сонымен қатар соған байланысты қуаттың шығыны айтарлықтай болуынан қызығушылық шектеулі болды. Соңғы аялдама проблемасы қуат алудың гидравликалық жүйесін пайдаланатын құрылғылар үшін ерекше болып табылмайды; ол қуат алу жүйесімен бірге жалғанымдары қатқыл қозғалатын барлық корпусық түрлендіргіштерге қолданылады. Проблема осцилляциялағыш интерфейстің артуынан туындайды. Дәлдігі жоғары жетектерді пайдалану арқылы бұл проблеманы жұмсарту олардың салмағымен және шығындарымен беделі түсірілген, сондай-ақ олардың соққықабілеті көп уақыт пайдаланылмайтын болады. Жүрісі ұзарған жетектердің дөңестенуі орнықтылықты жоғалтуға әкеп соқтыруы мүмкін, әсіресе егер барынша кеңейгенде бүйірлік жүктемелер болғанда бұл да проблема болуы мүмкін. Гидравликалық жүйелердің көмегімен соңғы аялдама проблемаларын жұмсарту әдістері жетектер өзіне жүрісті механикалық шектейтін қамтиды (Пеламис осы техниканы пайдаланады), немесе айналуға негізделген арнаулы конструкцияларды, бұл жағдайда радиалды-поршеньді сорғы пайдаланылуы мүмкін (SEAREV осы әдісті пайдаланады). Аквобуй [61] соңғы аялдама проблемасынан зардап шекпейді. Жобаға қызмет көрсету тұжырымдамасы қалқымалы буйға екі ұшынан бекітілген ашық ұзын құбырдан құралады. Түтіктің ішіндегі поршень. Буй көтерілуіне қарай, түтіктің ішіндегі су поршеньді буйға қатысты жүруге мәжбүрлейді. Түтік екі ұшынан ашық болғандықтан, тұжырымдама "соңғы аялдама" проблемасынан зардап шекпейді. Әдетте қуат алу білігі жүйесінде энергия жинақтаудың қандай да бір түрі енгізіледі, жұтылған толқынның флукуациясы шығарудың айнымалы электр қуатына әкеледі, бұл торша үшін жарамсыз [62]. Аккумуляторлар гидравликалық жүйенің бір бөлігі ретінде энергияны қысқа мерзімге жинақтаушы ретінде жұмыс істей алады. Энергияны жинақтау арқылы аккумуляторлар жүйеге дисперсияның жоғары деңгейін еңсеруге, күрделі шығындарды және трансмиссияның барлық келесі элементтерінің қуатын жоғалуын еңсеруге жәрдемдескен болар еді. Қуат алудың Pelamis гидравликалық жүйесі аккумуляторларды гидроцилиндрлердің негізгі берілісін және оларды басқарудың екінші берілісі органдарын бөлу үшін пайдаланылатын гидравликалық моторға "ырғақты" ағынды қамтамасыз ету үшін (гидравликалық қозғалтқыштармен электр генераторлар) пайдаланады. Мұндай бөлініс қуаттың өзгеруінің кең ауқымсында жұтылудың тиімділігін 80% дейін арттыруға мүмкіндік береді деп тұжырымдалады.

1.5.3 Желілік электр генераторлары

Толқындар қуатының ертеректегі зерттеулері кезінде электр желілік генераторларын пайдалану мүмкіндігі зерттелді. Алайда қазіргі кездегі тұжырымдар бұл машиналардың тым ауыр, тиімсіз әрі қымбат болар еді дегенге саяды. Жаңа магниттік материалдармен электрониканың түрлену жиілігіне шығындардың азаюы бұл технологияның қазіргі кезде мүмкін екенін білдіреді. Гидравликалық немесе турбиналық жүйелердің арта түсіп отырған күрделілігі техникалық қызмет көрсетудің сенімділігі мәселелерін енгізеді деп тұжырымдалады, оларды теңіз жағдайында азайту өте маңызды [63]. SG желілік синхронды генераторы механикалық энергияны электр энергиясына тікелей түрлендіру мүмкіндігін ұсынады. Бұрынырақ 1.10 суретте көрсетілгендей қуат алудың редукторсыз жетегі электр жабдығы гидравликалық жүйелерге қарағанда әлде қайда оңай. Негізгі интерфейс пен электр машинаның арасында ешқандай аралық қадамдар жоқ. Әдеттегі электр машиналары жоғары жылдамдықты айналма жүріспен қозғалысқа келтіруге арналған. Осы машиналардағы ротор мен статордың арасындағы ауа саңылауы жоғары болуы мүмкін (60 м/с дейін), бұл ағынды жылдам өзгертуге оңай айыр бастауға мүмкіндік береді. Алайда, желілік тербелістер күтіледі, WEC пик 2 м/с жуық болады деп ұсынған. Жел энергетикасына арналған зерттемелер тіке жетегі бар генераторларға бағдарланған (сенімсіз әрі ауыр берілістер қорабын алмастыру үшін). Тік жетекті бұл генераторлардың ауа саңылауы жылдамдығы секундына 5-6 метр болады. Желілік электр генераторларды әзірлеу электр машинасының баяу жылдамдығы саласындағы зерттеулерді қажет етеді. Желілік генератордың негізгі тұжырымдамасы полярлылық кезектесетін магниттер орнатылған, көтермелі бұймен тікелей байланысты түрлендіргішінің (роторлы машинада болатын ротор секілді), қатысты стационарлық конструкцияға (тежеуіш тілімшемен жалғанған, теңіз түбіндегі үлкен инерция немесе қимылсыздық) кіріктірілген орамалары бар статордың болуында. Көтерме бұй тербелгенде, статордағы электр тогы ретке келеді. Бұл құрылғының схемасы 1.10. суретте келтірілген.



Сурет 1.10 – Желілік генератор

Пайдалану шығыстары өте төмен машиналарға қажеттік щеткасыз генераторларды пайдалануды білдіреді. Индукциялық машиналардан тыс Бейкермен Мюллердің қағидасы (индукциялық машиналар жел турбиналарында пайдаланылған, олардың түрлі жылдамдықтарды еңсеру қабілетінен), ағынның жеткілікті тығыздығына қол жеткізу үшін полюстің ең аз және үлкен қадамы қажет болады, және олардың қиын қолдау көрсетілетін өте шағын ауа клапандарының салдарынан машинаның қаламауы. Тұрақты магниттері бар машиналарға көп көңіл бөлінеді. Неодим-темір-бор (НД–Fe–Б) секілді магнит энергиясының жоғары тығыздығы перманенттінің дамуы магниттің шағын биіктікке қатысты жоғары магнит жүрісті күшті өндіре алады, магнитті машиналардың тұрақты тогы қуатының тығыздығы айтарлықтай жақсарған. Есептер индукциялық машиналардың төмен жылдамдықты жүрісінен ТлЭС-на сәйкес келмейді. Керісінше, тұрақты магниттердегі генераторлар ішінара жүктеменің жоғары тиімділігін көрсетеді, сонымен бір мезгілде олар теңізде шектеулі дәрежеде көрсетілді және олардың

конструкциялары әлі толық оңтайландырылмаған. Желілік электр генераторларының үш негізгі түрі болады:

- а) бойлық ағынды тұрақты магнит генераторлары;
- ә) айнымалы кедергілі тұрақты магнит генераторлары;
- б) көлденең ағынды тұрақты магнит генераторлары осылардың көпне түрлері);
- в) тұрақты магниттердегі ауа жүрекшесі бар түтікшелі генераторлар.

ТлЭС тік жетекке арналған электр генераторларының конструкциясын Мюллер зерттеген [64]. Ол машинаның тұрақты магнитінің бойлық ағынын машинаның тұрақты магнитінің көлденең ағынымен салыстырды. Ол машинаның көлденең ағынының бойлық конструкциямен салыстырғанда қуатының тығыздығы мен ПӘК аса жоғары конструкцияның арқасында үздік потенциал ретінде анықтады. Көлденең флюстік машиналар ұсынатын (200 кн/м^2 дейін [65]) ығысудың жоғары кернеуіне қарамастан, олардың топологиясы құрылымдық қолдауды қажет етеді, әрі олар өтемдеудің реактивтік қуатын талап ететін қуаттың төмен коэффициентінен зардап шегеді [66]. Бейкер және т.б. [67] будандық машинаның тұрақты магнитін талдап берді (айнымалы кедергі типі тұрақты магнит генераторы) және ауалы-жүрекшелі машина, олардың екеуі де көлденең ағынды машинаның проблемаларын шешуге тырысады. Нониустік гибридік машина ығысудың жоғары кернеуін ұсынғанымен, ол электрондық түрлендіргіштің жоғары номиналды қуатын талап ететін төмен қуат коэффициентінен зардап шегеді және магниттік тартудың үлкен күшінің салдарынан мойын тіректермен проблемалары болады. Дарем университетінде ойлап табылған түтікшелі-ұнтақты машинада ешқандай тарту күші жоқ (және, осылайша, тірек конструкциясының күрделілігі аз) және төмен индуктивтілік, бұл жоғары қуат коэффициентіне әкеледі (осылайша, номиналды қуаты аса төмен электрондық түрлендіргішті талап етеді), бірақ ығысудың мейлінше аз кернеуінің болуынан зардап шегеді. Бүлекі топологияда анықтамалықта талқыланады [68]. Leijon et al. [69] тұрақты магниттердегі үш фазалы желілік генераторды мультифизикалық модельдеуді оның потенциалын растайтын нәтижелермен жүргізді (нысана ретінде Archimedes Wave әткеншегін пайдаланды). Бұл жұмыстан кейін эксперименталдық қондырғы пайда болды, ол модельдеумен сәтті тексерілді [70]. Бұл жұмыстада құрылғының массивімен жұмыс істегенде жалғанымының арасындағы схема қысқаша талқыланды. Полиндер және т.б. [71] да Archimedes Wave әткеншегімен бірге пайдалануға арналған тұрақты магниттердегі желілік генераторды қарастырады. Авторлар дәл осы машинаның күштің жоғары тығыздығынан, төмен жылдамдықтағы қисынды тиімділігінен, жоғары қуат тығыздығымен аса арзан магниттерінің болуынан және роторға электр түйіспенің жоқтығынан таңдап алынғанын атап көрсетеді. Модельдеудің есептелген нәтижелері мен эксперименталдық сынақтардың өлшенген нәтижелерінің арасындағы қисынды корреляция генератордың ТлЭС үшін тиімді екенін көрсетеді [72].

1.6 Толқынды электр станциясын басқару

Тұрақты толқындарда энергия нүктелі жұтқышы бар ТлЭС-та аса тиімді тұтылады, жұтқыштың басылмайтын өзіндік жиілігінде ол түсетін толқынның доминанттық жиілігіне жуық [73]. Резонанс кезінде, осциллятордың жылдамдығы энергияны толқыннан әкелетін кіріс ағынының динамикалық қысымы бар фазада болады [74]. Құрылғының тәртібі демпферлеуге айтарлықтай тәуелді болады. Толқынның әсерінің қуаты мол болуы үшін демпферлеу энергияны түрлендірудің барынша тиімділігіне қол жеткізу үшін түзетілуі тиіс. Егер демпферлеу тым жоғары болса, жүрістер шектелетін және қуат аз өндірілетін болады. Егер демпферлеу тым нашар болса, демпфер аз қуатты жұтады және қуат аз түседі. Кез келген қуат алу жүйесімен (ҚАЖ) дұрыс демпферлеу бұл тиімді жүйе үшін өмірлік маңызды. Шын айтуында теңіз тұрақты толқуды сирек көрсетеді. Мұның орнына толқындар биіктігінде, ұзындығы мен жиілігінде ұдайы өзгеріп отырады, осылайша резонанста және жиіліктердің кең ауқымында өзін жүргізу үшін бейімделе алатын құрылғы қажет болады. Жыл бойына еңбек өнімділігін ықтимал жақсаруымен қатар [75] динамиканы белсенді бақылауды іске асырған маңызды [76]. Құрылғыны баптаудың даму деңгейі толқынға бейімделу үшін теңіздің жай-күйіне қарай құбылуы мүмкін. Мұнда энергияның тиімді түрленуіне қол жеткізу үшін пайдаланылуы мүмкін әдістердің кейбірі қарастырылады. Солтер және тағы басқа күрделілік дәрежесі әр түрлі стратегияны басқарудың түрлі элементтерінің ауқымына талдау жүргізді. Олардың көбісі нақты түсетін толқынға, жиілікке және амплитудаға, олардың әр қайсысымен ісі болуы мүмкін, сәйкес келгенімен, олардың артықшылығының аса ілгері стратегиясын береді. Бұл шолуда әдебиетте көп көңіл бөлінген кейбір таңдаулы стратегияларға көп назар аударылады. Олардың біріншісі – сыртылдауды басқару. Сыртылдауды басқаруды алғаш рет Будалем мен Falnes мақаласында зерттеген [77]. Сыртылдауды басқарудың мақсаты құрылғының жүрісін оның жүрісінің ең ақырғы күйінде тоқтатуда (яғни сыртылдату) (жылдамдық нөлге тең болғанда) жән толқын күштері барынша көп энергия алу үшін жақсы фазада болғанда оны босатуда. Бұл бақылау стратегиясы қоздырушы толқынның жиілігіне қарағанда өзіндік жиілігі аса жоғары құрылғыны пайдалануға мүмкіндік береді (яғни, салмағы аз болуы мүмкін). Дискреттік қозулардың тіркелуін бақылау қатты желілік емес және өз табиғатында оңтайлы емес. Бабарит және т.б. [78] кездейсоқ толқындарда үш түрлі тіркелу стратегиясын зерттелеу мақсатында зерттеу жүргізді. Оларды модельдеу көтерілетін дененің еркіндігінің жалғыз дәрежесін (DOF) болжамдайды. Қуат алудың қарапайым жүйесі желілік демпфер ретінде ұсынылады. Олар сыртылдауды дискретті басқарудың жүріс амплитудасын мейлінше арттыратынын, және жүйенің көтерудің бақыланбайтын жүрісінен үш есеге дейін тиімділігін жақсартатынын анықтады. Анықтамалықта [79] Фалькан анықтамалықта бұрын зерттелгендей, жоғары қысымды гидравликалық жетекті толқын энергиясының құрылғысына сыртылдауды

қолданады. Олқуат алудың гидравликалық жүйесі бекітуге қол жеткізудің жалғыз әдісін қамтамасыз ететінін атап көрсетеді: денеоның кернеулі бетіне гидродинамикалық күш кедергі күшін еңсере алмайтын жағдайда болғанға дейін қалады. Бақылау стратегиясы модельдеу кезінде тиімділігін көрсетті, бұл жұтылатын энергияның мейлінше артатыны байқалады. Белсенді бақыланатын платформаны пайдаланудың терең сулы теңіз түбінде артықшылықтары болады, толқын энергиясы байлау арқаны бөлігін теңіз түбіне жайластыру күрделі міндет болып табылады. Сыртылдауды бақылауға қарама-қарсы керу немесе өшірілу жүйесі деген атауға ие болды, мұнда негізгі жылжымалы элемент циклдың бөлігінен еркін, қуат алу механизмі тек қажет жылдамдықта ғана іске қосылады. Бұл туралы мақалада айтылады [80], мұнда жүйе модельдеу жолымен зерттеледі. Бұл құрылғыда (гидравликалық қуат алу жүйесін пайдаланатын), ағыту сорғыны белгіленген сәттерде айналып өту есебінен қол жеткізіледі, бұл қуат алу күші бұл сәттерде нөлге тең екенін білдіреді.

Реактивтік жүктемені басқару ҚАЖ басқару әдістерінің бірі болып табылады. Реактивтік жүктемені басқару резонансты жиіліктің екі жағындағы ауқымда ТлЭС жұмыс істеуінің тиімділігін арттыруға қолданылады. Корде анықтамалықтағы реактивтік басқаруды қарастырады, және жылдамдық бойынша кері байланыстың қуат алу жүйесімен қамтамасыз етілетін демпферлеу коэффициентін ретке келтіру үшін пайдалануы мүмкін екенін тапқан. Қуатты оңтайлы жұту бастапқы түрлендіргіштің ешқандай реактивтік күшті сезбеуін (резонанс кезінде) және энергияны жұты жылдамдығының (демпферлеудің) ТлЭС шығыс кинетикалық энергиясының жылдамдық энергиясына тең болуын талап етеді. Модельдеу жолымен Корде тұрақты емес толқындардағы толқындық энергетикалық құрылғылардың реактивтік басқаруды зерттеді және энергияның бастапқы түрлендіргішінің келешек жылдамдығын бағалау үшін жылдамдықтың өткен өзгерісінің уақытша тарихын пайдаланды. Анықтамалықта [81] екі тәсіл қарастырылады: мұнда тек реактивтік құрамдастардың статикасы тыныш судың инерциясынан және тұрақты басылу кезінде теңгерімді басқару күшінің гидростатикалық серіппесі; және мұнда, одан бөлек, әрі қарай келешек тербелістерді бағалауды пайдалану жақсарту ізделеді (өткен тербелістердің туындылары).

1.7 Зерттеу міндеттерін қою

Монография мақсаты жаңа су асты қалқымалы толқындық электр станциясының (ҚТлЭС) конструкциясын негіздеу және құру, сандық есептеулерге арналған аппарат жасауға зерттеу жүргізу және бірінші кезеңде толқындар энергиясын түрлендіргіштің параметрлерін таңдау болып табылады. Су асты ҚТлЭС басқару жүйесінің және қуат алу жүйесінің және электр энергиясын туындату параметрлерін зерттеу және таңдау.

Қойылған мақсатқа қол жеткізу үшін мына міндеттер шешіледі:

1. Конструкцияны құруға және жағалау маңы аймақтарында қолдану үшін ендіруге мүмкіндік беретін математикалық аппарат, ғылыми және

эксперименталдық зерттеулер нәтижелерін, компьютерлік үлгілер мен бағдарламалар, жанартылатын энергия көзі ретінде автоматты басқарылатын су асты қалтқылы толқынды электростанциясын алу.

2. Толқындардың биіктігіне қарай қалтқының салмағының автоматты түрде өзгеруіне негізделген басқару жүйесін құру.

3. Су массасының кинетикалық энергиясын түрлендіру нәтижесінде алынған қуат алудың гидродинамикалық жүйесін және электр энергиясын өндіру жүйесін құру.

4. Әлемдегі және Қазақстандағы жанартылатын энергияның жай-күйін талдаудан зерттеулердің мен ЖЭК құралдарын өндірудің өзектілігі байқалады.

5. Толқын энергетикасы жөніндегі зерттеулерді шолу әлемдік мұхиттың толқындарының орасан энергия қорына ие екенін көрсетті. Толқындар қозғалысынан энергия өндірудің аса кең таралған үш қағидаты көрсетілді. Аса тиімдісі «тербелісті дене» қағидаты екені атап көрсетілді.

6. Толқындық электр станцияларының конструкцияларын талдау конструкция әзірлеуде перспективалық бағыттың Архимед әткеншегі түріндегі суда пайдаланылатын ТлЭС болып табылатынын көрсетті.

7. Түрлендіру технологияларын талдау толқын жүрісінің шектеулілігі тұжырымдамасы (үш еркіндік дәрежесі) толқындардың энергиясын түрлендірудің ықтимал технологияларын да шектейтінін көрсетті. Су массасының жүрісінің еркіндігінің 6 дәрежесін пайдалану толқындар энергиясын түрлендірудің тиімділігін арттырған болар еді.

8. ТлЭС қуат алу жүйелерін талдау үш беру жүйесін бөлуге мүмкіндік берді: турбиналардың көмегімен, гидравликалық жүйе арқылы және желілік генератордың көмегімен тікелей беру арқылы. Энергияны қалтқыдан генераторға берудің осы жүйелерін салыстыру аса перспективалысы гидравликалық жүйені пайдалану болып табылатынын көрсетті.

9. ТлЭС басқару жүйелерін шолу қолданыстағы ТлЭС-да ҚАЖ-да демпферлеу әдістері қолданылатынын көрсетті. Бұл ретте осы әдістер сыртылдау, босату және реактивтік басқару әдістеріне бөлінеді. Гидравликалық жүйемен бірге ӨАЖ демпферлеуді басқару жүйесі аса тиімді пайдаланылады.

2 ПАРАЛЛЕЛЬДІ МАНИПУЛЯТОРДЫҢ БАЗАСЫНДА СУ АСТЫ ҚАЛҚЫМАЛЫ ТОЛҚЫНДЫҚ ЭЛЕКТР СТАНЦИЯСЫНЫҢ КОНСТРУКЦИЯСЫН НЕГІЗДЕУ ЖӘНЕ ӘЗІРЛЕУ

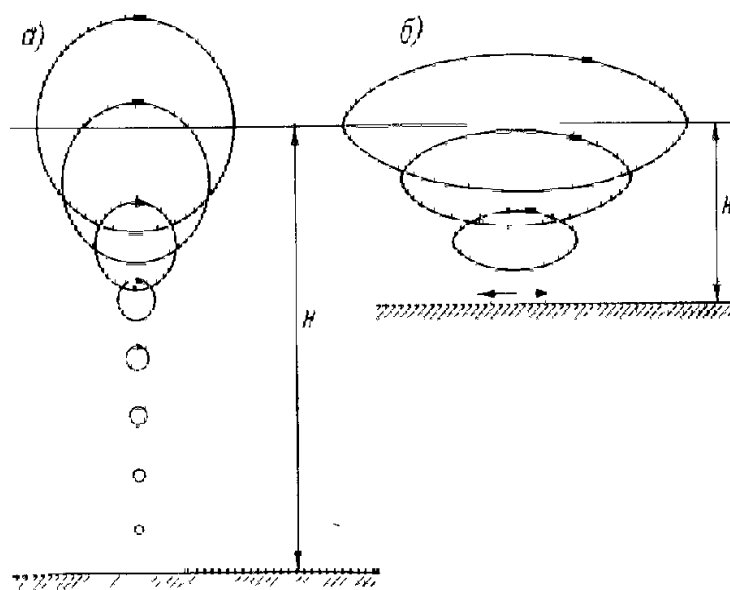
2.1 ТлЭС конструкциясын негіздеу

Жоғарыда атап көрсетілгендей, қолданыстағы ТлЭС бастапқы түрлендіргіштері су массасының вертикалды бағытта жылжуын ілгерінді жүріске түрлендіреді. Алайда толқулар кезіндесу массалары аса күрделі жүрістер жасайды. Мәселен, толқындардың трохоидалдық теориясына сай [82] сулы бөлшектердің орын ауыстыруы айналма орбитамен жүреді, оның параметрлері толқын параметрлерімен анықталады. Одан бөлек, су бетінің төменгі шекарасындағы орбитаның радиусы $r_0=H/2$ тең екені мәлім, мұндағы H – толқынның биіктігі. Бетінен төмен қарай ара қашықтың (h) өзгеруімен, сулы бөлшектердің жүріс орбитасының радиусы (r) экспоненциалдық заң бойынша азаяды.

$$r = r_0 e^{-2\pi h/\lambda} . \quad (2.1)$$

мұнда λ – толқынның ұзындығы.

Нәтижесінде бөлшектердің орбиталарының толқынның таралу бағытында үлкен осьті эллипс пішіндес болады. Эллипстер осьтерінің өлшемдері толқын ұзындығының теңіздің тереңдігіне қатысына байланысты болады және түбіне жеткенде кішірейеді (сурет 2.1б). Толқындар өте ұзын болғанда ($H > 0.5\lambda$) эллипстің көлбеу осі тереңдікке байланысты іс жүзінде кішіреймейді (сурет 2.1а).



а – кішіреймейді; б – кішірейеді

Сурет 2.1 – Сулы бөлшектер орбиталары

Тұйықталған орбитаның жазықтығы судың бетіне вертикалды, толқындардың жалына перпендикулярлы орналасады. Толқындардың таралу бағыты уақыт ағынымен өзгеруі мүмкін болғандықтан, тұйықталған орбитаның жазықтығы күйі де өзгереді. Егер ТлЭС қалтқысын судың астына орнататырса, онда ол тұйықталған орбитамен жүретін сулы массамен қармалатын болады. Шынтуайтында қалтқы түрлі бағыттарда жазық параллельді жүрыс жасай отырып, кеңістікте тұйықталған траекториямен жылжиды, бұл жалпы алғанда еркіндіктің алты дәрежесімен кеңістіктік жүрістерді білдіреді. Бұл жағдайда манипуляторлық түрлендіргіштің функцияларын кеңейту талап етіледі, өйткені ол еркіндіктің алты дәрежесі бар қалқының кеңістіктік жүрістерін түрлендіруі тиіс.

2.2 Манипуляторлық түрлендіргішті таңдау

Қалтқының барлық кеңістіктік жүрістері энергиясын «ұйымдасқан» механикалық жүрістерге түрлендіру үшін түрлендіргіш ретінде алты жүрісті параллельді манипулятор таңдап алынған. 6 жүрісті манипуляторда үлкен көтергіштік қабілетке Гоф-Стюарт [83] және SHOLKOR параллельді манипуляторлары ие болады, оларда үстіңгі платформаны қалтқымен қатқыл байлауға болады. Осы параллельді манипуляторлардың бірін манипуляторлық түрлендіргіштер ретінде таңдап алу үшін олардың модельдері дайындалған. 1a суретте SHOLKOR платформасының, ал 1b суретте Гоф-Стюарт платформасының манипуляторының моделі көрсетілген. Осы модельдерде төменгі платформа 1 үстіңгі платформамен 2 алты актуатордың 3 көмегімен жалғанған. Модельдер бір-бірінен актуаторлардың өзара жалғану схемасымен ерекшеленеді.



1a – SHOLKOR платформасы; 1b – Гоф-Стюарт платформасы

Сурет 2.2 – Платформалық роботтар манипуляторлары

Модельдердің салыстырмалы талдауы (сурет 2.2) SHOLKOR манипуляторының Гоф-Стюарт манипуляторымен салыстырғанда бір қатар артықшылықтарының бар екенін көрсетті. Төменде осы артықшылықтар тізбеленеді:

1. Алты актуатордың әр қайсысы бір-бірінен тәуелсіз жүре алады. Мәселен, басқа актуаторларды ұзындықтарын өзгертпей, бір актуаторды жылжыта және ұзындығын өзгертуге болады.

2. Актуаторлардың белгіленген жиынтығын жылжытып және ұзындығын берілген түрде өзгертіп, жылжымалы платформаның қажетті кеңістіктік күйін немесе оның астыңғыға қатысты жай жүрістерін алуға болады.

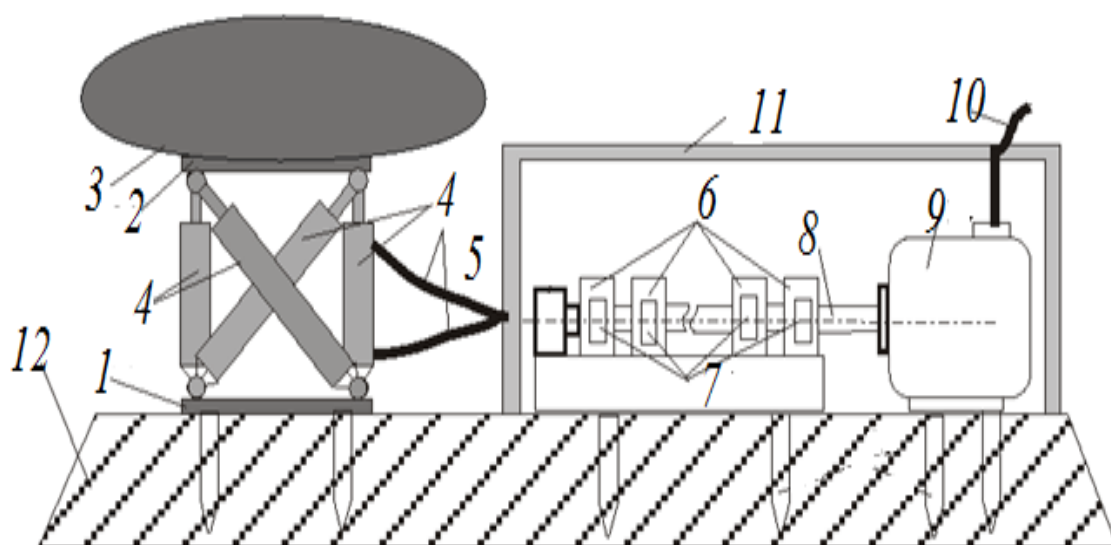
3. Жылжымалы платформаның әрбір кеңістіктік күйіне актуаторлардың белгіленген ұзындықтары сәйкес келеді. Бұдан жылжымалы платформаны жылжытуға болады, бұл ретте бір мәнде актуаторлардың ұзындығы өзгереді деген қорытынды шығады.

Сонымен қатар кинематиканың талдауынан SHOLKOR параллельді манипуляторында кинематиканың тіке және кері міндеті бір мәнде шешілетіні мәлім. Осыған орай жаңа ТлЭС үшін манипуляторлық түрлендіргіш ретінде SHOLKOR параллельді манипулятор таңдап алынған. Бұл ретте, бір мезгілде, жалғанымды жемір ортада таттанудан қорғау үшін платформалары бар актуаторлардың көп жылжымалы сфералық жалғанымдары 2.2 суретте көрсетілгендей, иілгіш тросты (сымарқан) жалғанымдар мен [84] айыр басталады.

2.3 Толқындық электр станциясы конструкциясын таңдау

Су асты қалқымалы толқындық электр станциясының конструкциясы үшін конструкция таңдалады [85]. Бұл конструкцияның ерекшелігі оның сулы массалардың кеңістіктік жүрісінің энергиясын түрлендіруге мүмкіндік беретінінде. ТлЭС-ның су астында, есептік тереңдікте орналасуы конструкцияны толқындар динамикасының талқандаушы әсерінен қорғайды. Толқындар энергиясын электр энергиясына түрлендіру процесі 2 кезеңде жүреді: алғашқы кезеңде толқындар энергиясын шығарып алу және оны параллельдік манипулятордың көмегімен «ұйымдасқан» жүрістің механикалық энергиясына түрлендіру орындалады; екінші кезеңде қуат алудың гидравликалық жүйесінің көмегімен механикалық жүрістер электр энергиясына түрленеді. Төменде гидродинамикалық ТлЭС конструкциясы ұсынылады. Гидродинамикалық ТлЭС-ның ерекшелігісулы массаның жүрісінің энергиясы қалтқымен қабылданатынында және параллельдік манипуляторға берілуінде, оның буындарының жүрісі гидродинамикалық әсерді қолдана отырып, электр энергиясына түрленеді. Гидродинамикалық ТлЭС-ның конструктивтік схемасы 2.3 суретте ұсынылған. Мұнда параллельдік манипулятордың астыңғы 1 және үстіңгі 2 платформалары көрсетілген. Көрсетілгендей, параллельдік манипулятор толқындардың әсерімен қалтқының 3 жүрісін алты актуатордың 4 механикалық энергиясына түрлендіретін энергияның бастапқы түрлендірушісі

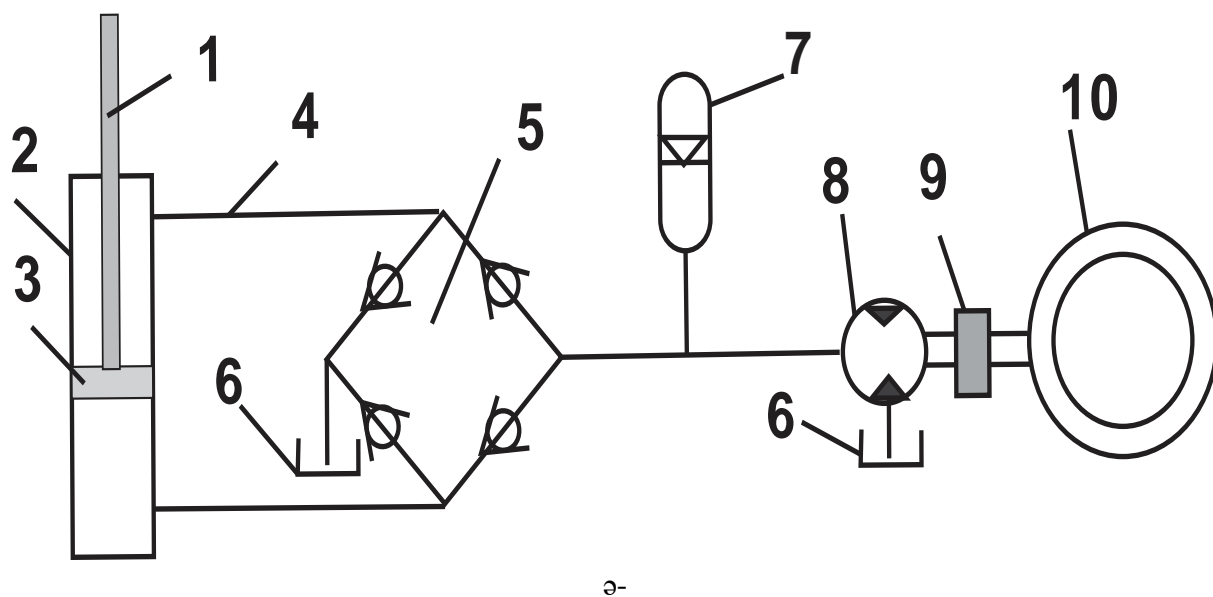
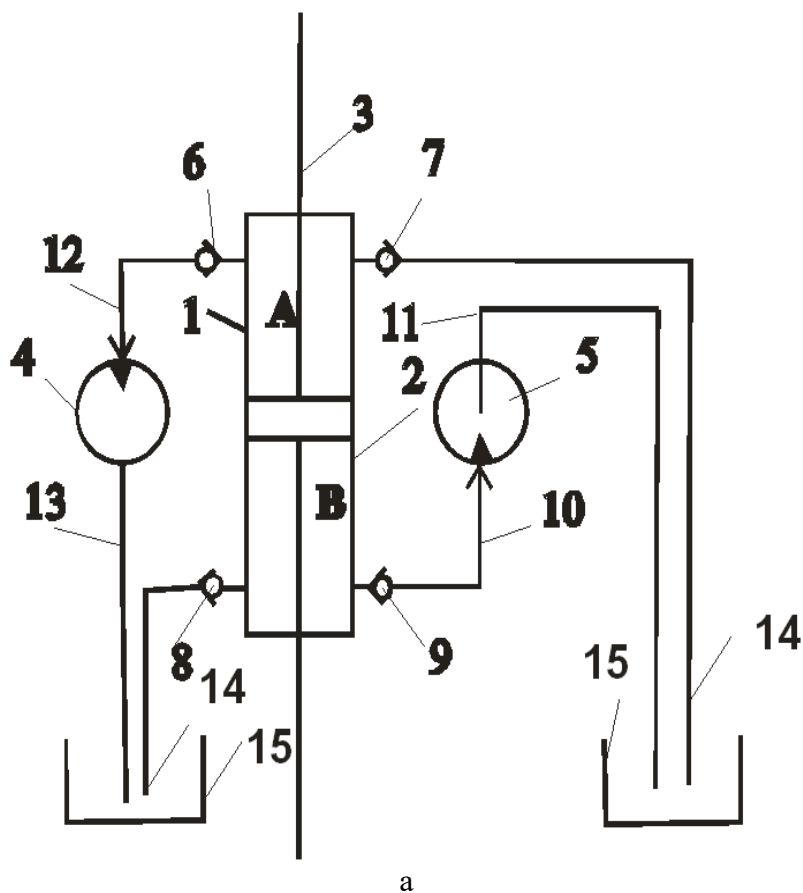
болып табылады. Актуаторлар соташықтары бар екі жақты әрекет ететін гидроцилиндрлерді білдіреді. Бұл ретте цилиндрлер жылжымайтын платформамен 1, ал соташықтар жылжымалы платформамен 2 байланысқан. Қалтқы жүргенде соташықтар жылжиды, және цилиндрлердің астыңғы немесе үстіңгі қуыстарында гидравликалық сұйықтықтың қысымын туғызады. Сұйықтық қысыммен шлангілер 5 арқылы электр тогы генераторының 9 білігімен 8 озба жалғастырғыштар 7 арқылы жалғанған гидроқозғалтқыштардың 6 қуысына айдалады. Электрлі генератордың білігі гидромоторлардың білігімен озба жалғастырғыш арқылы жалғасқан. Мұндай конструкция генератордың білігін аса үлкен жылдамдықты гидромотормен жалғастыруға мүмкіндік береді. Егер бір гидромотордың қуаты жеткіліксіз болса, онда оның бұрыштық жылдамдығы екінші гидромотор қосылғанға дейін түседі. Жұмыс істеудің мұндай қағидаты генераторға электр тогын тұрақты түрде өндіруге мүмкіндік береді. Нәтижесінде сулы массаның әсерімен қалтқының жүрісі электр тогын өндіретін генератордың білігінің айналмалы жүрісіне түрленеді, ол кәбілмен 10 тұтынушыға немесе электрондық күштік түрлендіргіштерге беріледі. Қуат алу жүйесі ірге таста 12 орналасқан тұмшаланған тұрқына 11 орнатылады.



Сурет 2.3 – ТлЭС-ның схемасы

2.4а-суретте поршені 2 және соташығы 3 бар екі жақты әрекет ететін гидроцилиндрден 1 құралған актуатордың гидрожүйесінің схемасы ұсынылған, олар ілгерінді жүретін жұмыс органы 3 бар гидросорғының функциясын атқарады. Гидросорғы гидромоторларды 4, 5 қозғалысқа келтіреді. Гидроцилиндрдің поршень үстіндегі (А) қуысы арасында 12 және төгу 14 гидрожелілерімен гидромоторлармен 4 және сұйықтыққа арналған резервуар мен 15 жалғанған. Ұқсас түрде гидроцилиндрдің поршень астындағы (В) қуысы төгу 14 және арынды 10 гидрожелілердің көмегімен тиісінше резервуармен 15 және гидромотормен 5 де жалғанған. Гидрожелілер жұмыс сұйықтығының бір

бағыттағы жүрісін қамтамасыз ететін кері клапандармен 6-9 жабдықталған, мәселен, кері клапан 6 жұмыс сұйықтығының қуыстан (А) гидромоторға 4, ал кері клапан 7 жұмыс сұйықтығының резервуардан 15 гидроцилиндрдің қуысына (А) жүрісін қамтамасыз етеді.



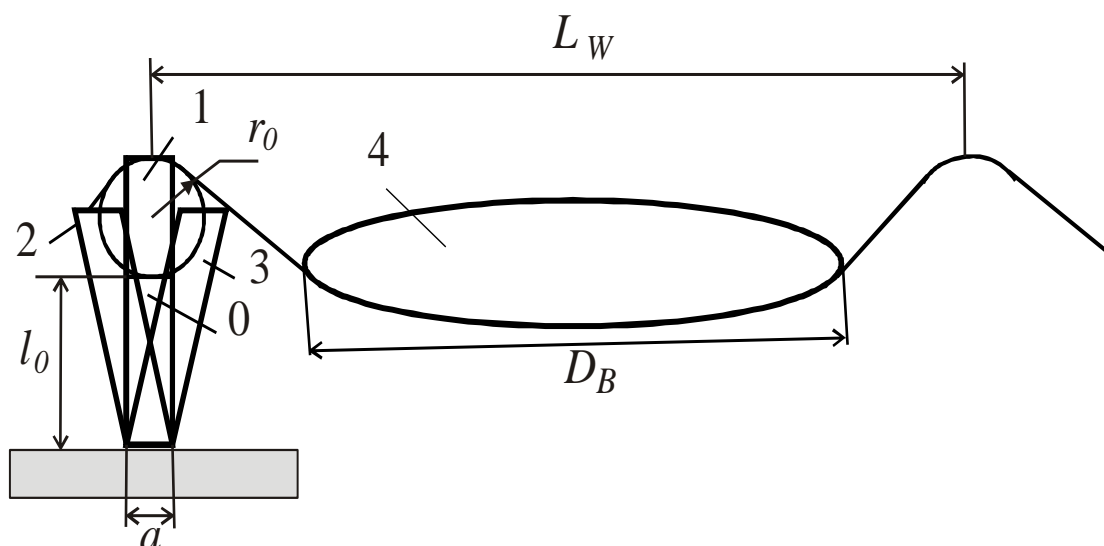
а – А пайдалануға ұсынылған гидрожүйесі; ә – іс-жүзінде қолданылатын гидрожүйесі
Сурет 2.4 – Қуат алу жүйесінің актуатор мен байланысты гидрожүйесі

2.3.1 Қуат алу жүйесі

Ұсынылатын ТлЭС-да энергияны гидравликалық беретін ҚАЖ пайдаланылады. Бұл Pelamis станциясының (сурет 1.9б) іс жүзінде қолданылатын гидрожүйесі негізге алынған және 2.4а суретте ұсынылған ТлЭС ҚАЖ-ын пайдалануды ұсынамыз. Мұнда 1 қалтқылы МП үстіңгі платформасы арқылы жалғанған актуатор соташығы. 2, 3, 4 – тиісінше қосарлы әрекет ететін гидроцилиндрдің цилиндрі мен поршені және жоғары қысымды гидрожелі (500 барға дейін). 4 кері клапаннан құралған көпір 5 гидромотордың білігін гидроцилиндрдің үстіңгі немесе астыңғы қуыстарындағы басы артық қысымнан бір бағытта айналуына мүмкіндік береді. Мұндай схема 2.4а суреттегі схемаға қарағанда әр актуатор үшін тек бір гидромоторды 8 пайдалануға мүмкіндік берді. Гидромоторлардың әрқайсысы электр тогы генераторының білігімен озба жалғастырғыш 9 арқылы жалғанады. Аталған жүйеде сұйықтық қуатын жинақтаушы ретінде гидравликалық аккумуляторды 7 қолдану көзделген. Жүйенің гидрожүйені жұмыс сұйықтығымен қамтамасыз ету үшін тұйықталған гидросыйымдылығы болады. Ұсынылатын ҚАЖ МП әр актуаторын ток генераторымен жалғайды. Бұл ретте айырмасы әрбір гидромотордың жалпы электр генераторының білігімен озба жалғастырғыш арқылы жалғанатынында. Дроссель мен төмен қысымды аккумуляторды қолдануға болмайды. Осылайша, ТлЭС ҚАЖ аса күрделі конструкциясы болады, алада ол МП барлық алты актуаторының қайтарымды-ілгерінді жүрістерін түрлендіруге мүмкіндік береді. Гидродинамикалық ТлЭС-да жұмыс сұйықтығы ретінде теңіз суы секілді арнаулы сұйықтықты пайдалануға болатынын атап көрсеткен жоқ. Теңіз суын пайдаланғанда конструкция таттануға қарсы қасиеттерге ие тиісті материалдардан дайындалуы тиіс. егер олар қоршаған ортаның экологиясына әсер етпесе, арнаулы сұйықтықтарды қолдану ықтимал (1.5.2 т.).

2.3.2 ТлЭС-ның геометриялық сипаттамалары

Алдын ала есептердегі ТлЭС [86] геометриялық сипаттамаларының анықтамасымен байланысты кейбір мәселелерді. Бұл ретте ТлЭС сипаттамаларына актуаторлардың ұзындықтары мен қалтқының диаметрінің ең көп өзгерістері жатқызылады. ТлЭС геометриялық сипаттамаларын актуаторларға толқынның ең көп биіктігімен H_{Max} шартталған шекті ығысулардың актуаторлардың ұзындықтарының шекті мәндерінен кем болмайтын шарттан анықтаймыз. Өлшемдерді осылай таңдағанда ТлЭС конструкциясы кез келген толқындарда қалтқының жүрісіне кедергі келтірмейтін болады, яғни толқындардың динамикасынан талқандаушы күштерге ұшырамайтын болады. Осыған сүйеніп, бүйірлік актуаторлардың 4, 7, 8 ең көп ұзындықтарының шамалары толқынның ең көп биіктігінен H_{Max} көп болуы тиіс. 2.5 суретте ТлЭС-ның төрт күйі көрсетілген: бастапқы – 0, барынша ұзартылған – 1, бүйірлік ығысулармен бірге – 2,3.



Сурет 2.5 – ТлЭС өлшемдерін таңдау

Осылайша бүйірлік актуаторлардың 4,8,7 ең көп жылжулары (сурет 2.5) су үстіндегі ТлЭС үшін мына шарттан таңдалады:

$$\Delta l_i > l_0 + H_{Max},$$

мұнда l_0 – ТлЭС орнатылған жерде су қоймасының тереңдігіне байланысты бастапқы күйдегі бүйірлік актуаторлардың ұзындығы.

Диагональдық актуаторлардағы 3,5,6 ең көп ығысулар (сурет 2.5) мына шарттан анықталады:

$$\Delta l_d = \sqrt{(\Delta l_i + l_i)^2 + a^2} - \sqrt{l_0^2 + a^2},$$

мұнда a – топсалардың арасындағы арақашықтық.

Су асты ТлЭС үшін бүйірлік актуаторлардың ең көп жылжулары мына шарттан таңдалады:

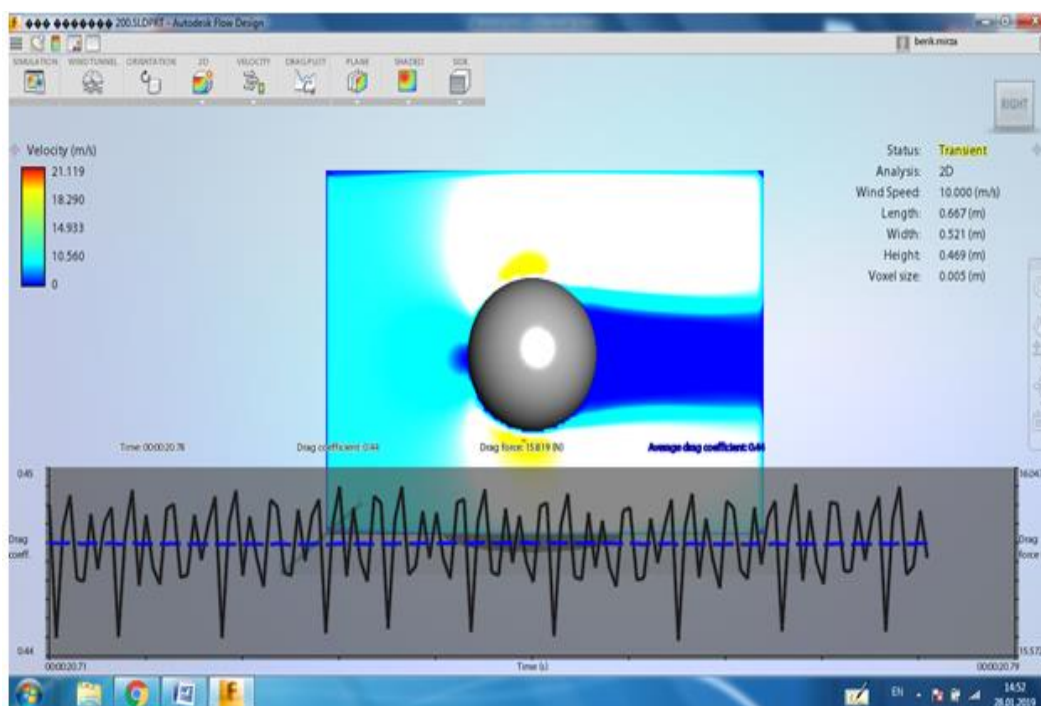
$$\Delta l_i > l_0 + 2r.$$

Бұл ретте ТлЭС орнатылған жерде сулы бөлшектердің су астында жүру орбитасының радиусы (r) тәуелділік бойынша таңдалады (2.1).

Қалтқының ең көп габариттік диаметрі D_B ол 2.5 суретте көрсетілгендей толқындардың арасындағы ойпатқа сыятындай етіп таңдалуы тиіс. Бұл жағдайда толқынның ең аз ұзындығы L_W таңдалады. Толқынның параметрлері ТлЭС орнатылатын жер үшін алынған орташа статистикалық мәліметтерден таңдалатынын атап көрсеткен жөн.

2.4 Қалтқының пішіні мен конструкциясын таңдау

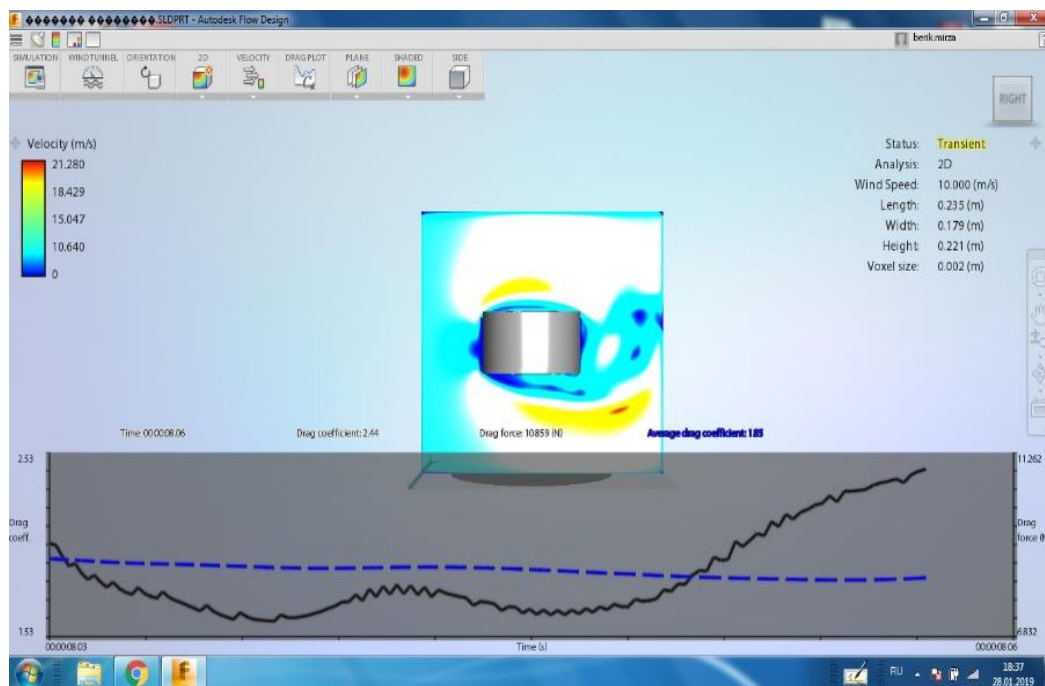
Бұрын аталып өткендей, ТлЭС конструкциясы [87] манипуляторлық түрлендіргіштен, қалтқыдан, қалтқыны манипулятордың үстіңгі платформасымен қатқыл жалғастыратын конструкциялардан, сонымен бірге актуаторлардың механикалық энергиясын электр энергиясына түрлендіру үшін энергияның гидравликалық берілісі, яғни электр энергиясын туындату жүйесі бар ҚАЖ-нан құралатын жұмыс органынан (ЖО) құралады. ТлЭС-да толқындар энергиясын түрлендірудің тиімділігі көбінесе сулы массаның жүрісі энергиясын қармайтын қалтқының пішініне байланысты болады. Қалтқының аса тиімді түрпішінін таңдау үшін виртуалды аэродинамикалық түтікті білдіретін Auto desk Flow Design бағдарламасының көмегімен пішіні әртүрлі қалтқыларды ауа ағынымен орай ағуын компьютерлік модельдеу жүргізілді. Модельдеу кезінде маңдай кедергісінің күші мен кедергі коэффициенті автоматты түрде анықталады. Көлемі бір келкі, бірақ пішіні әр түрлі қалтқылардың модельдері: шар (сурт 2.6а), цилиндр (сурет 2.6б), аэродинамикалық қима профілі бар эллипсоид (сурет 2.6в) зерттелді.



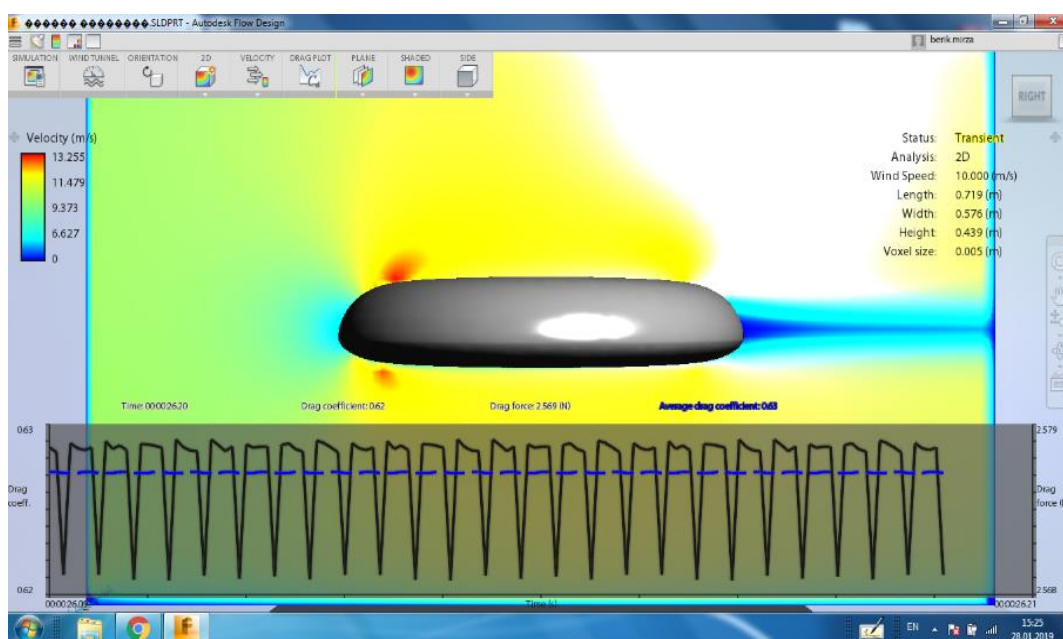
а

а – шар

Сурет 2.6 – Пішіндері әртүрлі қалтқыларды ағынның орай ағуымен модельдеу, парақ 1



б



в

б – цилиндр; в – эллипсоид

Сурет 2.6, парақ 2

Модельдеу нәтижесінде модельдердің әр қайсысы үшін жылдамдықтар мен қысымдар өрісін бөлудің сипаты анықталған. Кедергінің және кедергінің қорытқы күшінің коэффициентінің алынған орташаланған мәндері 2.1. кестеде келтірілген.

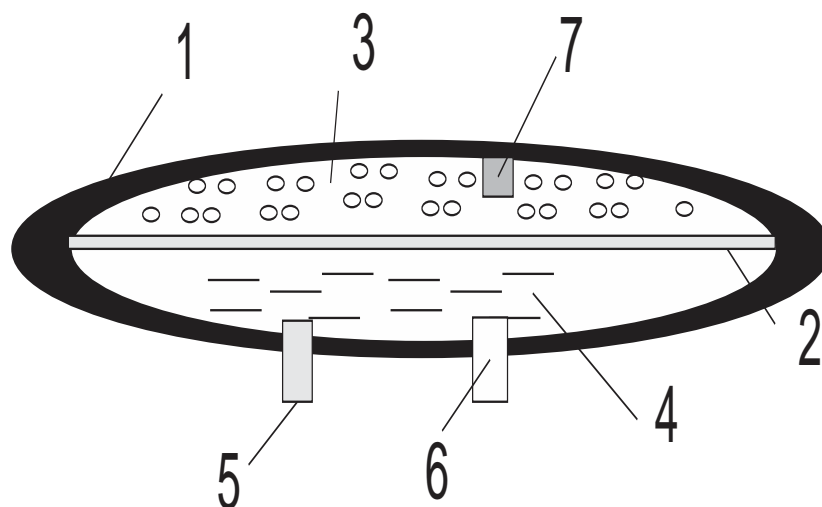
Кесте 2.1 – Модельдеу нәтижелері

Қалтқының түрлері	Күш, Н	Кедерді коэффициенті
Шар	15,752	0,44
Цилиндр	10,859	2,44
Аэропрофильмен	2,577	0,628

Модельдеу нәтижелерінің салыстырмалы талдауы қимадағы аэродинамикалық профилі бар қалтқының пішіні қолайлы кедергі коэффициентінде кедергінің аса аз күштерін қамтамасыз ететінін көрсетті. Осы пішінді қалтқы үшін кавитацияның жоқтығы тән (модельдің сыртындағы қуысы), сонымен бірге профилдің ерекшелігінен көтергіш күштің болуы байқалады. Осыған байланысты, модельдеу нәтижелері бойынша қимада аэродинамикалық профилі бар айнарудың эллипсоидқа ұқсас пішінді қалтқы таңдалды. Модельдеу кезінде алынған кедергі коэффициентінің алдын ала есептерде берілген қуат және сулы бөлшектердің жүріс жылдамдығында қалтқының бетінің көлемін белгілеуге мүмкіндік беретінін атап көрсеткен жөн. Бұл деректері қарай ТЛЭС қуатын есептегенде ескерілетін болады.

2.4.1 Басқарылатын эллипс тәріздес қалтқының конструкциясы

Жоғарыда көрсетілгендей, ұсынылатын ТЛЭС-да толқындар энергиясын актуаторлардың ілгерінді жүрістері энергиясына түрлендірудің тиімділігін арттыру үшін оның салмағын ретке келтіру арқылы толқындардың динамикасына байланысты қалтқының қалқымалылығын өзгерту жүйесі қолданылады. Салмағы айнымалы қалтқының конструкциясы 2.7 суретте ұсынылған. Қалтқының екі қуысты конструкциясы болады, ол қатқыл қабықшадан 1, иілгіш диафрагмадан 2 құралады. Диафрагма газбен толтырылған үстіңгі қуысты 3, сумен толтырылған қуыстан 4 бөліп тұрады. Сұйықтығы бар резервуарда түгіндікті электр магнитті клапан 5 және штуцер ендірілген, оның бойымен сорғыдан су айдалады. Газбен толтырылған қуыста 3, қысым датчигі 7 орнатылған.



Сурет 2.7 – Екі қуысты қалтқы

Бастапқы күйінде қалтқының бүкіл қуысы газбен толтырылады. Бұл күйінде қалтқының қалқымалылықтың барынша көп қоры болады және Архимед күші мен тарту күшінің арасындағы айырманың әсерімен, сондай-ақ актуаторлардың реакциясы күшінің әсерімен түбінен аса қашықтағы күйді алады. Қалқымалылықтың барынша көп қоры толқындардың аласа биіктігінде манипулятордың актуаторларының соташықтары номиналдық қуаттағы электр энергиясын туындату жүйесінің атқарымына сәйкес келетін жұмыс жүрісіне ығысатындай болуына сүйене отырып, есептеу жолымен анықталады. Алайда бұл қалқымалылық қоры биік толқындар кезінде актуаторларға шектен тыс жүктемелерге әкелуі мүмкін. Осы тұрғыда қалтқының қалқымалылығы қорын азайтқан жөн. Су асты қалтқысының қалқымалылық қорын азайту бетінде орналасқан қалтқының шөгуді ұлғайтумен барабар. Шөгуді ұлғайтуға, жоғарыда аталып өткендей, қалтқының салмағын ұлғайту жолымен қол жеткізіледі.

2.5 ТлЭС қолданыстағы таныстыру моделінің сипаттамасы

Толқындар энергиясын аса тиімді түрлендіру технологиясын пайдаланатын ТлЭС-лардың функционалдық мүмкіндіктерін растау үшін жұмыста қалтқылы ТлЭС-ның қолданыстағы таныстыру моделі жасалған (сурет 2.8). 2.7 суретте 1-манипулятордың төменгі платформасы; 2-соташық-цилиндр жалғанымын білдіретін алты актуатор; 3-роторлары актуаторлардың соташықтарымен бірге жүретін электр тогының алты желілік генераторы; 4-қимадағы аэродинамикалық профилі бар эллипсоидтық қалтқы; 5- амперметрлер блогы; 6-сынаққа арналған аквариум. Толқынның әсерінен қалтқы қозғаушы сумен қармалып, актуаторларды 2 ілгерінді қозғалысқа келтіреді (соташық-цилиндр жалғанымы).



Сурет 2.8 – Толқын электр станциясын таныстыру нұсқасы

Соташықтар жүрген кезде миллиамперметрлер мен 5 өлшенетін электр тогын өндіретін желілік генераторлардың 3 роторлары жылжиды.

ТлЭС-ның мәлімделген мүмкіндіктерін тексеру мақсатында толқындық электр станциясының таныстыру нұсқасын аквариумда (1.1. т. қара) және табиғи су қоймасында (1.2 т. қара) сынақтар жүргізілді. Сынақтар ТлЭС-ның таныстыру нұсқасының электр тогын қозғаушы судың әсерінен өндіретінін растады.

1. Толқындардың трохоидалдық теориясына сайсулы бөлшектердің жүрісі еркіндіктің алты дәрежесімен жүргізілетіні көрсетілген. Сайып келгенде, толқындар энергиясының аса тиімді түрленуі алты жүрістің энергиясын алуда.

2. Қалтқымен қармалған су массасының энергиясын түрлендіру үшін Гоф-Стюарт платформалық типті манипулятормен салыстырғанда елеулі артықшылықтары бар SHOLKOR алты жүрісті параллельді манипуляторын қолдану ұсынылды.

3. Параллельдік манипулятордың көмегімен бастапқы түрлендіргіші бар ТлЭС-нің конструкциясы таңдап алынды, онда ҚАЖ энергияның гидравликалық берілісін пайдаланады;

4. ҚАЖ конструкциясы таңдап алынды. ҚАЖ-дағы гидравликалық берілістің артықшылығын негіздеу қолданылатын шынайы конструкциялармен салыстыру арқылы көрсетілген (1.5.2 т.).

5. Auto desk Flow Design компьютерлік бағдарламасының көмегімен виртуалды үрлеу негізделген және көтергіш күштің пайда болуын қамтамасыз ететін қимадағы аэродинамикалық профилі бар қалтқының эллипсоидты пішіні таңдап алынған.

6. Қалтқының салмағын басқаруға мүмкіндік беретін екі қуысты қалқыманың конструкциясы ұсынылған.

7. ТлЭС-ның қолданыстағы таныстыру моделі әзірленген және жасалған. Шағын толқын кезінде аквариумда және табиғи су қоймасында сынақтар жүргізілді, олар ТлЭС-ның функционалдық мүмкіндіктерін және судың қозғалысы энергиясын алу есебінен электр энергиясын өндіретінін растады.

8. Жаңа ТлЭС-ның бірқатар артықшылықтары бар:

а) біріншіден, қалтқының барлық кеңістіктік жүрістерін алты актуатордың ұйымдасқан ілгерінді жүрістеріне түрлендіру технологиясы ТлЭС-ның өнімділігін алты есе арттыруға мүмкіндік береді;

б) екіншіден, гидравликалық ҚАЖ барлық алты актуаторды генератордың білігінің айналма жүрісіне түрлендіруге мүмкіндік береді;

с) үшіншіден, екі қуысты қалтқыны қолдану толқындардың динамикасына байланысты басқаруға мүмкіндік береді;

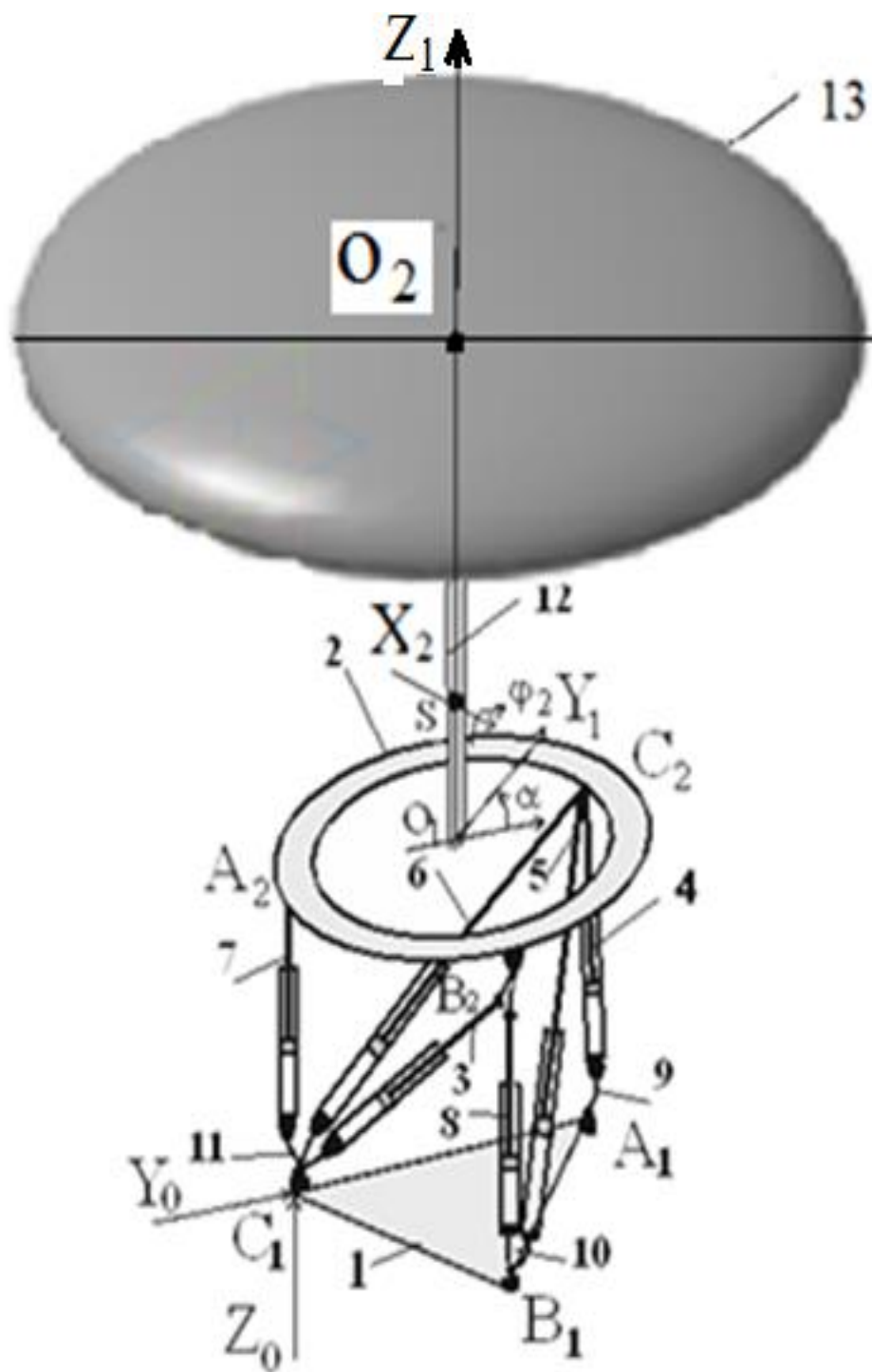
д) төртіншіден, қалтқының судың астында орналасуы ТлЭС-ны толқындардың талқандушы әсерінен қорғап, оның пайдалану мерзімін ұзартады;

3 МАНИПУЛЯТОРЛЫҚ ТҮРЛЕНДІРГІШІ БАР ҚАЛҚЫМАЛЫ ТОЛҚЫНДЫҚ ЭЛЕКТР СТАНЦИЯСЫНЫҢ ДИНАМИКАЛЫҚ МОДЕЛІ

Жұмыстағы зерттеу объектісі жаңа техникалық құрылғы – ТлЭС болып табылады, ол су массасының кеңістіктік жүрісін электр энергиясына түрлендірудің жаңа технологиясын пайдаланады. Осы орайда зерттеу және ТлЭС-ның конструктивтік параметрлерін таңдау үшін математикалық аппарат құру міндеті қойылады. Міндетті шешу үшін қалтқыдан, дінгекті конструкциядан және манипуляторлық түрлендіргіштің үстіңгі платформасынан құралған жұмыс органының (ЖО) динамикалық моделі қалыптастырылады. Бұл үшін 3.1 суретте көрсетілген ТлЭС-ның есеп схемасы пайдаланылады. Ол иілгіш 9 – екі буынды; 10 – үш буынды; 11 – төрт буынды жалғанымдар арқылы актуаторлармен 4-8 жалғанған манипулятордың астыңғы 1 және үстіңгі 2 платформасынан құралады. Дінгек 12 қалтқыны 13 манипулятордың үстіңгі платформасымен 2 қатқыл жағлайды.

3.1 Жұмыс органының динамикалық моделін әзірлеу

ЖО-ның жүрісі су астындағы ортада жүзеге асырылатынын атап көрсеткен жөн, сондықтан еркіндіктің алты дәрежесі бар кеңістіктік жүрістің түрлі құрамдастары арасындағы көп байланысты желілік емес тәуелділіктерді ескеретін күрделі желілік емес математикалық модельді қарастыру қажет етіледі. Басқа жағынан су астындағы орта тарапынан гидродинамикалық әсерлерді бағалау жалпы жағдайда еңбекті көп қажет ететін міндет екені мәлім. Бұл ретте жаңа пішінді қалтқы үшін әзірге қолдануға қолайлы математикалық модель жоқ. Осыған байланысты динамикалық модель жасаған кезде ЖО сәйкес оңайлатылған моделін жасауға бағытталған бірқатар жорамалдар қабылданған. Біріншіден, ЖО қалтқысы сулы массаның бөлшектерімен қармалған және тұйықталған орбитамен жүреді деп қабылданған. Екіншіден, ЖО ұзын жағалау маңындағы су бөлшектерінің жүрісі орбитасының жазықтығында жүреді деп қабылданған. Үшіншіден, су астындағы ортаның гидродинамикалық әсерін есепке алу үшін аналогтар ретінде судың су асты кемесінің тұрқына күштік әсері қарастырылады. Осы жорамалдарды ескеріп, сондай-ақ қалтқының симметрия осі бар екенін назарға ала отырып, қалтқыға әсер ететін барлық бөлінген сыртқы факторлардың толқындардың (толқын сәулелері) таралу бағытында сулы бөлшектердің орбиталарының жазықтығында орналасқан және ЖО симметриясы осінен өтетін тең әрекет ететін тиісті күштер мен моменттердің барлық бөлінген сыртқы күштеріне келтірілетін болады деп есептейміз. Осы жорамалдарға негіздей отырып, ЖО-ның қалтқының симметриясының вертикалды осі арқылы өтетін орбитаның жазықтығында кеңдіктің үш дәрежесі бар жазық параллельді жүріс жасайды деп қабылданған.



Сурет 3.1 – ТлЭС есеп схемасы

ЖО динамикалық моделін жасау үшін екі координаталар жүйесі пайдаланылады (сурет 3.1). Манипулятордың жылжымайтын платформасымен байланысты $C_1X_0Y_0Z_0$ координаталардың жылжымайтын жүйесі, судың бетіне жоғары қарай вертикалды бағытталған C_1Z_0 осі ($C_1X_0Y_0$ пл), ал C_1Y_0 осі толқын сәулесінің бастапқы бағытында орналасады. $O_1X_1Y_1Z_1$ жылжымалы жүйесі платформаның ортасында бастауы және бастапқы қалпында $C_1X_0Y_0Z_0$ жүйесінің тиісті осьтеріне параллельді осьтер болады. Жұмыс органының S массалар

орталығы O_1Z_1 осінде $O_1S = L_S$ қашықтығында орналасады. Жазық параллельді жүрген кезде ЖО $O_1Y_1Z_1$ жазықтығымен жүреді және O_1X_1 осіне параллель SX_2 осінің төңірегінде айналады. ЖО динамикалық моделін жасаған кезде бұл модельдің келешекте басқару объектісі ретінде ЖО моделін жасауға пайдаланылатын мән-жай ескеріледі, ол үшін кіріс әсер сыртқы әсер болады. Желілік емес жүйелерді басқару теориясында [88] динамикалық модель күй параметрлерін қолдана отырып, түзіледі, олардың бірінші туындылары күйді теңестіруге кіреді. Бұл теңеулер әрі қарай сызықтандыру үшін қолайлы. Осыған байланысты күйдің теңдеуін құрамыз, күйдің параметрі ретінде $\mathbf{X}_1 = [X_{11} \ X_{12} \ X_{13}]^T = [y_S \ z_S \ \varphi_2]^T$ координаталар векторын және $\mathbf{X}_2 = [X_{21} \ X_{22} \ X_{23}]^T = [\dot{y}_S \ \dot{z}_S \ \omega_2]^T$ жылдамдықтар векторын аламыз.

Мұнда (y_S, z_S) – с.о. координаталары (Қосымша В). Жылжымайтын ортадағы ЖО, φ_2 – ЖО-ның SX_2 осіне қатысты бұрылу бұрышы. Күйдің теңдеуі мынадай түрге ие:

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{X}}_1 &= \mathbf{X}_2, \\ \dot{\mathbf{X}}_2 &= \mathbf{M}^{-1}(\mathbf{F} - \mathbf{D}\mathbf{X}_2 - \mathbf{C}\mathbf{X}_1). \end{aligned} \quad (3.1)$$

мұнда \mathbf{M} – (3x3) салмақ-инерциялық сипаттамалар матрицасы;

\mathbf{D} , \mathbf{C} – (3x3) тиісінше, демпферлеу және қатқылдық матрицалары. Сыртқы әсер векторымынаған тең:

$$\mathbf{F} = \mathbf{A} + \mathbf{G} + \mathbf{F}_W + \mathbf{F}_R \quad (3.2)$$

мұнда матрица (1x3) векторлары:

\mathbf{A} – Архимед күші;

\mathbf{G} – ауырлық күші,

\mathbf{F}_W – толқынның әсерінен гидродинамикалық күштер және

\mathbf{F}_R – реакциялар күші.

Теңдеуге кіретін шамалар (3.1-3.2) төменде толығырақ қарастырылған. Ауаның және сұйықтықтың бөлшектері жүрісінің аздаған жылдамдықтарында аэродинамика және гидродинамика заңдары сәйкес келетіні мәлім. Сондықтан қалтқының бетінің ауданын анықтау үшін қуатқа арналған тәуелділікті [88] пайдаланамыз:

$$S = \frac{2N}{\eta \cdot \rho \cdot v_W^3}. \quad (3.3)$$

мұндар - судың тығыздығы. Есеп берілген $N_{ВлЭС}$ қуаттағы судың ең аз жылдамдығы v_W бойынша жүргізіледі. Шамамен пайдалы әсер коэффициенті $\eta = 0.5$ тең деп қабылданады.

3.1.1 ЖО салмақ-инерциялық сипаттамаларының матрицасы

Су астындағы ортаның ЖО салмақ-инерциялық сипаттамасына әсері Λ біріккен салмақтар матрицасының көмегімен есептеледі. Жазықтықта сулы бөлшектер орбиталары $O_1Y_1Z_1$ жазықтығымен жазық параллель жүргенде, қалтқы судың бөлшегі ретінде қалтқының жанында жүрген жағдайда, сұйықтықтың кинетикалық энергиясымына өрнекпен анықталады [89]:

$$T_F = \frac{1}{2} \mathbf{X} \cdot \Lambda \cdot \dot{\mathbf{X}}, \quad (3.4)$$

Мұнда біріккен салмақтар матрицасы мынадай түрге ие болады:

$$\Lambda = \begin{pmatrix} \lambda_{11} & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_{22} & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_{33} \end{pmatrix} \quad (3.5)$$

Мұнда координаталардың осьтері қалтқының симметриясының осьтері болып табылады, ал сұйықтықтың кинетикалық энергиясы координаталар жүйесіне қатысты инвариантты деп есептеледі. Салмақ-инерциялық сипаттаманың матрицасы Λ матрицасының тиісті элементтеріне SX_2 осіне қатысты қалтқының алмағы мен инерциясының моментін көбейту нәтижесінде алынады, яғни.

$$\mathbf{M} = \begin{pmatrix} m_B + \lambda_{11} & 0 & 0 \\ 0 & m_B + \lambda_{22} & 0 \\ 0 & 0 & J_{BS} + \lambda_{33} \end{pmatrix} \quad (3.6)$$

мұнда m_B – қалтқының бастапқы күйдгі салмағы;

$J_{BS} = J_{BX3} + m_B(L_{O3S})^2$ – қалтқы инерциясының осьтік моменті, мұнда J_{BX3} – эллипсоид инерциясының O_SX_2 осіне параллель O_2 қалтқының геометриялық ортасын арқылы өтетін оське қатысты моменті (сурет 3.1); L_{O3S} – эллипсоидтың геометриялық ортасынан ЖО массасының ортасына дейінгі арақашықтық.

Қалтқының айналу эллипсоидының дұрыс пішіні болады, ал қалтқының біріккен салмағы судағы дененің пішініне байланысты және потенциалдық ағындар теориясы негізінде аналитикалық тәуелділіктер бойынша анықталады деп қабылданады. Үш жүріс бағытында біріккен салмақты алу үшін гидродинамикалық эксперименттер нәтижесінде алынған жалпақ дискі тәсіліне және мәніне сай [92] Фальтинсеннің [90], сондай-ақ Мансури мен Хадидидің қуыстар теориясынан алынған мәндерге талдау жүргізілді [91], олар іс жүзінде сәйкес келеді. Осы ретте эксперимент нәтижесінде алынған үш осьті айналу эллипсоидтары үшін біріккен салмақтар мәні пайдаланылды. Егер үш осьті айналу эллипсоидының $O_2X_3 - c$; $O_2Y_3 - b$; $O_2Z_3 - a$ осьтері бойынша өлшемдері болса, оған қоса b және c өлшемдері ($b = c$), ал $a = b/4$ өлшемі тең болса, онда

кестелерден $K_{11}=0.15$, $K_{22}=2.5$, $K_{33} = 1.9$ коэффициенттерін табамыз. Біріккен салмақтар $\lambda_{11} = K_{11}/\rho V$, $\lambda_{22} = K_{22}/\rho V$, $\lambda_{33} = K_{33}/\rho V$ тең, мұндар - судың тығыздығы, V – қалтқының көлемі.

3.1.2 Сыртқы әсер күштері

Векторлық теңдікте (3.2) қалтқыға сыртқы және гидродинамикалық әсердің күштері келтірілген. Алғашқы екі құрамдастар: Архимед күшімен ауырлық күшібелгілі тәсілдермен анықталады, сондықтан бұл күштер үшін өрнек келтірілмейді. Үшінші құрамдастолқындар туғызған гидродинамикалық күш пен моментті білдіреді. Қазіргі кезде іс жүзінде қолдануға қолайлы толқындар динамикасын модельдеу әдістері жоқ. Осыған орай толқындардың әсеріне байланысты гидродинамикалық күштер мен моменттердің құрамдастарын анықтау үшін кемелер теориясының эмпирикалық формулаларын пайдаланамыз [93]. Бұл ретте кемеге қолданылатын кейбір шамалар қалтқыға қатысты оңай қолданылатын болады. Мұндай шамалар $L=D$ диаметріне тең қалтқының ұзындығы мен ені; екпінді толқынға қатысты қалтқының бағдарының бұрыштары болып табылады, яғни бағыттың, дифференттің және креннің бұрыштарын қалтқының профилінің симметриялылығынан нөлге тең деп аламыз. Күштер мен моменттің өрнегін алмастан бұрын кейбір қосалқы айнымалылардың мәнін анықтау қажет. Судың тығыздығына және $C = \rho g D$ еркін түсудің үдеуіне тәуелді тұрақты айнымалы; толқынның ұзындығына (λ) және қалтқының өлшемдеріне:

$$k(\lambda, D) = -29.95(\lambda/D)^6 + 213(\lambda/D)^5 - 592.7(\lambda/D)^4 + 814.3(\lambda/D)^3 - 573.8(\lambda/D)^2 + 195.4(\lambda/D)$$

тәуелді айнымалы - 24.6.

Қалтқының массасының ортасының жылдамдығына тәуелді шама:

$$f(v) = 0.12 + 0.25v - 0.004v^2.$$

Екпінді толқынға қатысты қалтқының бағдарын есепке алатын коэффициенттер:

$$f_0 = 4.835e + 2.609; f_1 = 4.24; f_2 = 136.5.$$

Қабылданған коэффициенттерді, гидродинамикалық күштер мен моменттердің проекциясын ескере отырып, өрнекте (3.2) мынадай эмпирикалық формулалармен есептеледі

$$\begin{aligned} F_{WY} &= C \cdot k(\lambda, D) \cdot f_0 \cdot A^2 \cdot f(\dot{y}_{S1}) = F_{WY}(X_{21}, X_{21}^2), \\ F_{WZ} &= C \cdot k(\lambda, D) \cdot f_1 \cdot A^2 \cdot f(\dot{z}_{S1}) = F_{WZ}(X_{22}, X_{22}^2) \\ M_{WX} &= C \cdot k(\lambda, D) \cdot f_2 \cdot A^2 \cdot f(\omega_2) = M_{WX}(X_{23}, X_{23}^2). \end{aligned} \quad (3.7)$$

мұнда A – толқындар амплитудасы; теңдіктердің оң жақ бөліктері гидродинамикалық күштер мен моменттер күй параметрлеріне тәуелді екенін білдіреді.

Тәуелділіктер (8) $\frac{2A}{\lambda} \leq \frac{1}{15}$ жағдайында, яғни осы динамикалық модель

әзірленген жағалау маңындағы аймақтағы ұзын толқындар жағдайына жеткілікті дәл нәтижелер береді [94].

3.1.3 Қатқылдық матрицасы

Қуыстар теориясы негізінде алынған өрнекті пайдалана отырып, жұмыста [95] судың әсерінен қалпына келтірілетін гидростатикалық күштерді есептеуге мүмкіндік беретін қатқылдық матрицасы қалыптастырылады

$$C = \begin{pmatrix} c_{11} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & c_{33} \end{pmatrix}, \quad (3.8)$$

мұнда $c_{33} = \rho g A_s$, $c_{11} = \rho g A_s L_{O3S}$.

Мұнда $A_s = \frac{\pi D^2}{4}$ - мидельқимасы ауданы; L_{O2S} - массалар ортасынан қалтқының геометриялық ортасына дейінгі арақашықтық. Қалтқының өлшемдері берілген қуат бойынша тәуелділікке сүйене отырып, анықталады (4).

3.1.4 Демпферлеу матрицасы

Демпферлеу матрицасы қалтқының энергиясы шашырауы салдарынан туындайтын демпферлеуші күштерді есепке алу үшін қолданылады. Бұл күштер табиғаттың толқындық және тұтқырлық күштер болып бөлінеді. Жұмыста демпферлеу матрицасының элементтері қабылданған, олар ЖО динамикалық моделін қалыптастыру кезінде мына түрде пайдаланылған:

$$D = \begin{pmatrix} d_{11} & 0 & 0 \\ 0 & d_{22} & 0 \\ 0 & 0 & d_{33} \end{pmatrix}, \quad (3.9)$$

мұнда диагональдық элементтер:

$$d_{11} = 0.0005 \omega_{11} M_{11};$$

$$d_{22} = 0.0026 \omega_{22} M_{22};$$

$d_{33} = 0.0027 \omega_{33} M_{33}$ теңдеулермен анықталады. ω_{ii} ($i=1,2,3$) арқылы $S Y_I$, $S Z_I$ осьтерінің бойымен жылжығанда және $S X_I$ осінің төңірегінде айналғанда ЖО өзіндік тербелістерінің жиілігі белгіленген; M_{ii} ($i=1,2,3$) – ЖО салмақ-инерциялық сипаттамалары матрицасының элементтері (3.6). ω_{ii} ($i=1, 2, 3$) жиіліктері тұйықталған орбита мен жүретін сулы бөлшектердің кең

тербелістерінің жиілігіне ұмтылады және толқындардың биіктігі мен ұзындығына тәуелді болады деп қабылданады. Мәселен, толқындардың биіктігі 2 м болғанда толқын кезеңі $T=6c$, толқынның сулы бөлшектерінің еркін тербелістерінің айналма жиілігі $\omega=2\pi/T=1.046\text{ c}^{-1}$ тең болады.

3.2 Жұмыс органының динамикалық моделін талдау

Өрнектегі екінші матрицалық теңдеуді (3.1) үш дифференциалдық теңдеулер жүйесі түрінде ұсынамыз. Салмақ-инерциялық сипаттаманың кері матрицасы (3.6) мынаған тең:

$$\mathbf{M}^{-1} = \begin{pmatrix} 1/(m_B + \lambda_{11}) & 0 & 0 \\ 0 & 1/(m_B + \lambda_{22}) & 0 \\ 0 & 0 & 1/(J_{BS} + \lambda_{33}) \end{pmatrix}. \quad (3.10)$$

Сыртқы әсер векторының элементтерін анықтаймыз (3.2):

$$\mathbf{F} = \begin{pmatrix} F_Y \\ F_Z \\ M_X \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \rho g V \sin \varphi_2 \\ \rho g V \cos \varphi_2 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} m_B g \sin \varphi_2 \\ -m_B g \cos \varphi_2 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} F_{WY} \\ F_{WZ} \\ M_{WX} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} F_{RY} \\ F_{RZ} \\ M_{RX} \end{pmatrix}. \quad (3.11)$$

Демпферлеу күшімынаған тең:

$$\mathbf{D}\mathbf{X}_2 = \begin{pmatrix} d_{11}\dot{y}_S \\ d_{22}\dot{z}_S \\ d_{33}\omega_2 \end{pmatrix}. \quad (3.12)$$

Қатқылдық күшімына матрицамен анықталады:

$$\mathbf{C}\mathbf{X}_1 = \begin{pmatrix} c_{11}y_S \\ c_{22}z_S \\ c_{33}\varphi_2 \end{pmatrix}. \quad (3.13)$$

(3.10-3.13) өрнекті екінші теңдеуге салып (3.1), желілік емес теңдеулер жүйесін аламыз:

$$\begin{aligned} \dot{X}_{21}(m_B + \lambda_{11}) &= \rho g V \sin X_{13} + m_B g \sin X_{13} + F_{WY}(X_{21}, X_{21}^2) + F_{RY} - d_{11}X_{21} - c_{11}X_{11}, \\ \dot{X}_{22}(m_B + \lambda_{22}) &= \rho g V \cos X_{13} - m_B g \cos X_{13} + F_{WZ}(X_{22}, X_{22}^2) + F_{RZ} - d_{22}X_{22} - c_{22}X_{12}, \\ \dot{X}_{23}(J_{BS} + \lambda_{33}) &= M_{WZ}(X_{23}, X_{23}^2) + M_{RZ} - d_{33}X_{23} - c_{33}X_{13}. \end{aligned} \quad (3.14)$$

Қалтқы траекториясының жұмыс нүктесіндегі (М) жүйелердің күйін қарастырамыз, мұнда қалтқының с.о. жылжымайды және түбінен қашықта орын алады, ал гидродинамикалық күштер әсері жоқ. Бұл күйде $X_{13} = 0$. $\dot{X}_{21} \neq 0$ деп алынады, онда теңдеулерден (3.14) жұмыс нүктесіндегі ЖО реакциясының құрамдас күштерін аламыз

$$\begin{aligned} F_{RY} |_M &= 0, \\ F_{RZ} |_M &= \rho g V - m_B g, \\ M_{RX} |_M &= 0. \end{aligned} \quad (3.15)$$

Теңдеулер жүйесін (3.14) реакциялар күштерін анықтауға қолайлы түрге түрлендіреміз. Кіріс айнымалылары күй параметрлері, ал шығыс айнымалылары реакция күштері болып табылады деп қабылданады. Жұмыс нүктесінен аздаған ауытқымалар кезіндегі динамиканың теңдеуін жазамыз. (3.15) ескере отырып, түрлендірілгеннен кейін мына жүйені аламыз:

$$\begin{aligned} \Delta F_{RY} &= G_1(\mathbf{X}) = d_{11} X_{21} + c_{11} X_{11} + \Delta \dot{X}_{21} (m_B + \lambda_{11}) - \rho g V \cdot X_{13} + \\ &+ m_B g \cdot X_{13} - F_{WY}(X_{21}, X_{21}^2), \\ \Delta F_{RZ} &= G_2(\mathbf{X}) = d_{22} X_{22} + c_{22} X_{12} + \Delta \dot{X}_{22} (m_B + \lambda_{22}) - F_{WZ}(X_{22}, X_{22}^2), \\ \Delta M_{RX} &= G_3(\mathbf{X}) = \Delta \dot{X}_{23} (J_{BS} + \lambda_{33}) + d_{33} X_{23} + c_{22} X_{13} - M_{WZ}(X_{23}, X_{23}^2). \end{aligned} \quad (3.16)$$

мұнда X_{13} параметрінің шағын мәндеріне қарай $\sin X_{13} \approx X_{13}$, $\cos X_{13} \approx 1$ деп қабылданады.

Онда ЖО жүрісі жүзеге асырылатын сулы бөлшектердің жүріс орбитасы жазықтығының бағдары толқындар бағыты өзгерген кезде өзгереді. Осыған орай теңдеулердің (3.16) ЖО-ның орбитаның жазықтық бағдарында белгіленген уақыт аралығындағы жүрісін сипаттайтынын атап көрсеткен жөн. ЖО жүрісі жүзеге асырылатын жазықтықтың бағыты координаттардың жылжымалы жүйесінің $O_1 Y_1$ осі мен жылжымайтын $C_1 Y_0$ осінің арасындағы α бұрышымен анықталады (сурет 3.1). Желілік емес теңдеулер жүйесін шешу үшін (3.16) қатысты аппроксимациялау [95] әдісін қолданамыз, жұмыс нүктесінің жанында с.о. траекториясы үздіксіз қисықты білдіреді деп есептеледі. Сонда:

$$(\Delta F_{RY} \quad \Delta F_{RZ} \quad \Delta M_{RX})^T = \mathbf{J}_{36}(G) |_M \cdot (\Delta X_{11} \quad \Delta X_{12} \quad \Delta X_{13} \quad \Delta X_{21} \quad \Delta X_{22} \quad \Delta X_{23})^T \quad (3.17)$$

Мұнда жұмыс нүктесіндегі (М) мынаған тең:

$$\mathbf{J}_{36}(\mathbf{G})|_M = \begin{pmatrix} \frac{\partial G_1}{\partial X_{11}} & \dots & \frac{\partial G_3}{\partial X_{11}} \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \frac{\partial G_3}{\partial X_{13}} \\ \frac{\partial G_1}{\partial X_{21}} & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \frac{\partial G_1}{\partial X_{23}} & & \frac{\partial G_3}{\partial X_{23}} \end{pmatrix}_M$$

Тәуелділіктерден ΔF_{RY} , ΔF_{RZ} , ΔM_{RX} анықталғаннан кейін (3.16) кіріс параметрлеріне сәйкес келетін ЖО реакциялары күші (F_{RY} , F_{RZ} , M_{RX}) мынаған тең болады

$$\begin{aligned} F_{RY} &= F_{RY}|_M + \Delta F_{RY}, \\ F_{RZ} &= F_{RZ}|_M + \Delta F_{RZ}, \\ M_{RX} &= M_{RX}|_M + \Delta M_{RX}, \end{aligned} \quad (3.18)$$

мұнда $F_{RY}|_M$, $F_{RZ}|_M$, $M_{RX}|_M$ – жұмыс нүктесіндегі ЖО реакциясының құрамдас күштерінің мәндері. Теңдеулер (3.17, 3.18) сандық еептеу жүргізуге және кіріс параметрлерінің мәндері (с.о.траекториясының әрбір дискреттелген нүктесінде координаталар мен жылдамдықтар) бойынша манипуляторлық түрлендіргіштен ЖО-на әсер ететін күштер мен моменттердің проекциясын анықтауға мүмкіндік береді. Ц.м. жүрісінің траекториясы толқынның биіктігі мен ұзындығына (ТлЭС орналасқан жеріндегі жылдық орташа мәндер алынады), сондай-аққалтқының су астында орналасу тереңдігіне байланысты болады (2.1).

3.2.1 ЖО-ның кинематикасы

Манипуляторлық түрлендіргішті жобалау актуаторлардың қуатын таңдауды қамтиды. Оған қоса актуаторлардың соташығындағы күшті анықтаудың бастапқы мәні жоғарыда табылған ЖО реакциясының күштері (3.18) болып табылады. Актуаторлардың соташықтарының жүріс жылдамдығын анықтау үшін төменде ЖО кинематикасы зерттеледі. Қарастырылып отырған уақыт сәтінде ЖО жазық жүріс жасайтыны мәлім. Егер ЖО күйі S орталығының координаталарымен (y_s, z_s) және S арқылы өтетін оське қатысты (φ_2) айналумен берілсе, үстіңгі платформаның A_2, B_2, C_2 буындарының күйін анықтау міндеті қойылады. Осы тапсырманы шешу үшін робот техникасында қолданылатын түрлендірудің бір тектес матрицалары пайдаланылады [96]. Бұрын атап көрсетілгендей, $C_1X_0Y_0Z_0$ есептеу жүйесі

қозғалыссыз болып табылады; $O_1X_1Y_1Z_1$ жылжымалы жүйесі ЖО-мен ұсынылған үш қырлы SA_2, B_2, C_2 призма түрінде байланысады. Қарапайым бұрылыстар мен ығысулар кезінде түрленімдер матрицаларын көбейту нәтижесінде алынатын түрленімдер композициясының T матрицасын анықтаймыз. Төменде қарапайым қозғалыстардың кезектілігі көрсетілген. Жақшада қарапайым түрленімдердің матрицаларының таңбаланымдары көрсетілген:

1. Жылжымайтын жүйенің осьтерін байлап C_1 және O_1 сәйкестікке дейін ығысу (A_1).
2. O_1Z_1 осінің айналасында O_1Y_1 осі C_1Y_0 осі мен α бұрыш түзбегенге дейін бұрылу (A_2).
3. y_s шамаға ығысу (A_3).
4. z_s шамаға ығысу (A_4).
5. O_1Z_1 осінің бойымен L_s шамаға ығысу (A_5).
6. O_1X_1 осінің айналасында φ_2 бұрышқа бұрылу (A_6).
7. O_1Z_1 осінің бойымен - L_s шамаға ығысу (A_7).
8. O_1Z_1 осінің айналасында - α бұрышқа бұрылу (A_8).

Түрленімдер композициясының T матрицасымына теңдеумен анықталады:

$$T = (A_1) (A_2) (A_3) (A_4) (A_5) (A_6) (A_7) (A_8) \quad (3.19)$$

Яғни,

$$T = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & x_{o1} \\ 0 & 1 & 0 & y_{o1} \\ 0 & 0 & 1 & z_{o1} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} C\alpha & -S\alpha & 0 & 0 \\ S\alpha & C\alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & y_s \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & z_s \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & L_s \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C\varphi_2 & -S\varphi_2 & 0 \\ 0 & S\varphi_2 & C\varphi_2 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -L_s \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} -C\alpha & S\alpha & 0 & 0 \\ -S\alpha & -C\alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (3.20)$$

Матрицаларды көбейту нәтижесінде (3.20) мына түрде элементтері бар T түрлендіру матрицасы алынады

$$\begin{aligned}
t_{11} &= S^2(\alpha) \cdot C(\varphi_2) - C^2(\alpha); & t_{12} &= C(\alpha) \cdot S(\alpha) + C(\alpha) \cdot S(\alpha) \cdot C(\varphi_2); \\
t_{13} &= S(\alpha) \cdot S(\varphi_2); & t_{14} &= x_{01} - y_s S(\alpha) - L_s S(\alpha) \cdot S(\varphi_2); & t_{21} &= -C(\alpha) \cdot S(\alpha) - \\
& & & -C(\alpha) \cdot S(\alpha) \cdot C(\varphi_2); & t_{22} &= S^2(\alpha) - C^2(\alpha) \cdot C(\varphi_2); & t_{23} &= -C(\alpha) \cdot S(\varphi_2); \\
t_{24} &= y_{01} + y_s C(\alpha) + L_s C(\alpha) \cdot S(\varphi_2); & t_{31} &= -S(\alpha) \cdot S(\varphi_2); \\
t_{32} &= -C(\alpha) \cdot S(\varphi_2); & t_{33} &= C(\varphi_2); & t_{34} &= L_s + z_{01} + z_s - L_s C(\varphi_2); \\
t_{41} &= t_{42} = t_{43} = 0; & t_{44} &= 1.
\end{aligned} \tag{3.21}$$

ЖО кез келген нүктесінің координаталары есептеудің жылжымайтын жүйесінде теңдеумен анықталуы мүмкін.

$$\rho^0 = T\rho^1, \tag{3.22}$$

мұнда ρ – жоғарыда таңбаланған индексі бар координаталардан құралған біртектес вектор-бағана.

Мәселен, ЖО координаталары $[y_s z_s \varphi_2]^T$ және α бұрышы өзгерген кезде платформаның ығысуларына сәйкес келетін манипулятор үстінгі платформасының A_2 тораптық нүктесінің координаталары матрицалық теңдеумен анықталады:

$$\begin{bmatrix} x_{A_2}^0 & y_{A_2}^0 & z_{A_2}^0 & 1 \end{bmatrix}^T = T \begin{bmatrix} x_{A_2}^1 & y_{A_2}^1 & z_{A_2}^1 & 1 \end{bmatrix}^T.$$

Тораптық нүктелердің A_2, B_2, C_2 жылдамдығы теңдеуді уақыт бойынша саралау жолымен анықталады (3.22):

$$\dot{\rho}^0 = \dot{T}\rho^1. \tag{3.23}$$

Бұл ретте,

$$\dot{T} = \sum_{i=1}^3 U_i \dot{q}_i = U_1 \dot{y}_s + U_2 \dot{z}_s + U_3 \dot{\omega}_2. \tag{3.24}$$

$$U_1 = A_1 A_2 \frac{dA_3}{dy_s} A_4 A_5 A_6 A_7 A_8,$$

$$\text{Мұнда,} \quad U_2 = A_1 A_2 A_3 \frac{dA_4}{dz_s} A_5 A_6 A_7 A_8, \tag{3.25}$$

$$U_3 = A_1 A_2 A_3 A_4 A_5 \frac{dA_6}{d\omega_2} A_7 A_8.$$

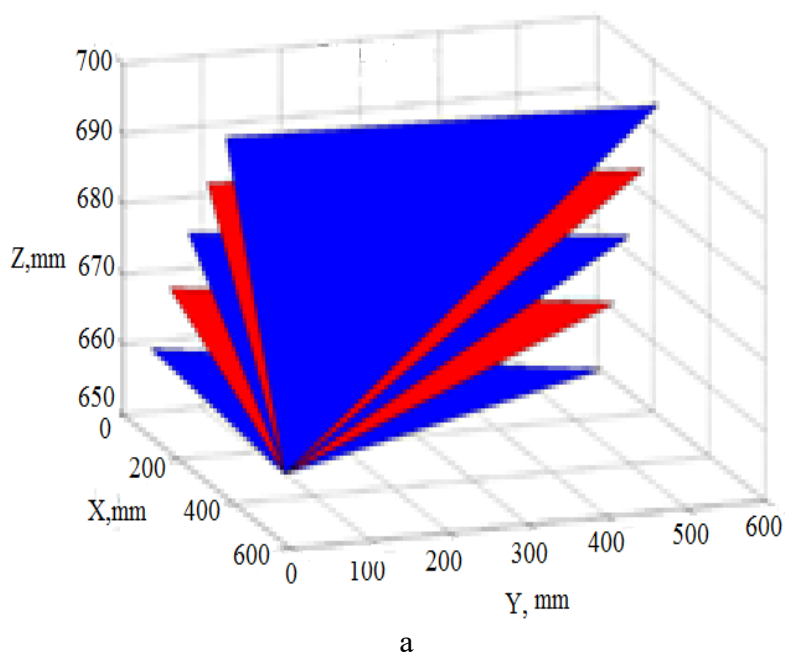
Мәселен, тораптық нүктенің A_2 жылдамдығы (3.24),(3.25) теңдеулердің көмегімен (3.23) анықталады:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_{A_2}^0 & \dot{y}_{A_2}^0 & \dot{z}_{A_2}^0 & 0 \end{bmatrix}^T = \dot{T} \begin{bmatrix} x_{A_2}^1 & y_{A_2}^1 & z_{A_2}^1 & 1 \end{bmatrix}^T.$$

Координаталардың жылжымайтын жүйесіндегі ЖО кез келген нүктелерінің жылдамдығы ұқсас түрдеанықталуы мүмкін. Манипулятордың үстіңгі платформасының күйінің өзгеруі актуаторлардың күйінің өзгерісін туғызады, сайып келгенде үстіңгі платформаға әсер ететін реакциялар күштерінің векторы бағыты өзгереді. Актуаторлардың күйін анықтау үшін манипулятор кинематикасының кері міндеті шешіледі. Бұл міндеттің мәніжылжымалы үстіңгі платформаның тораптық нүктелер (A_2, B_2, C_2) координаталарындағы күйі мәлім болғанда, актуаторлардың бағдары мен ұзындығы анықталады [97].

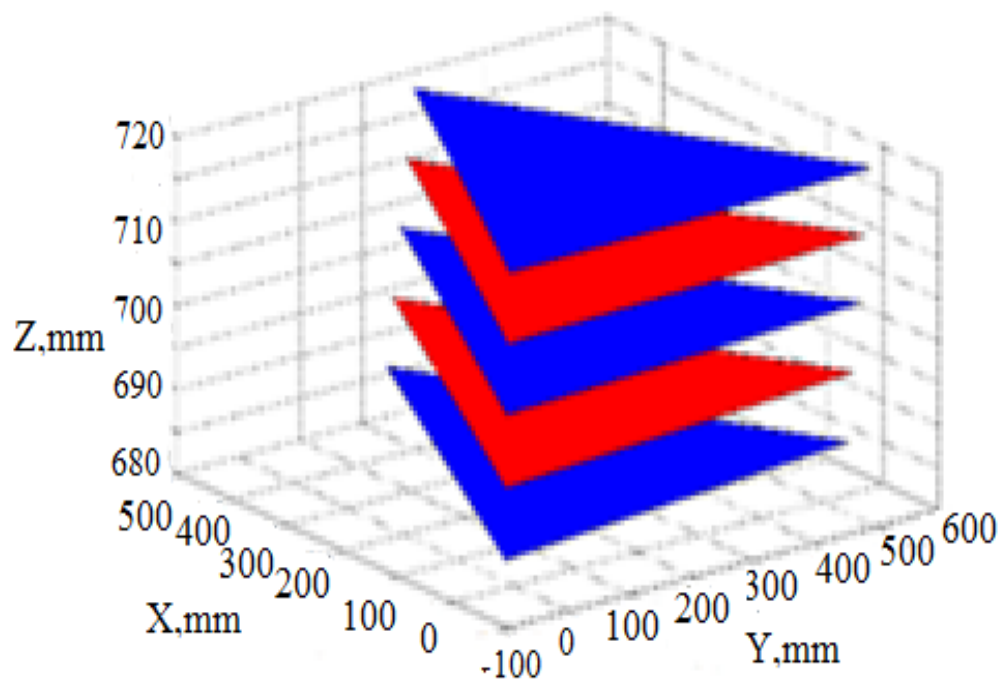
Манипуляторға арналған кері міндетті шешу алгоритмін қолдана отырып, ЖО массалар ортасының берілген күйлерінде платформаның күйлерін есептеулер жүргізіледі (сурет 3.2). Жоғарыда алынған тәуелділіктер негізінде алгоритм құрылып, Matlabe (П 2) бағдарламасы әзірленген, ол ЖО өзгергенде үстіңгі платформаның астыңғысына қатысты жайғасымын анықтауға мүмкіндік береді. Мысал ретінде 3.2 суретте график келтірілген:

- a) жылжымайтын нүктеде C_2 платформаның сфералық ығысулары;
- b) барлық актуаторлардың біркелкі шамаларда жұмыс істегенде кеңістіктік ілгерінді жүрісі;
- c) платформаның актуаторлардағы түрлі ығысулары кезіндегі жүрісі.

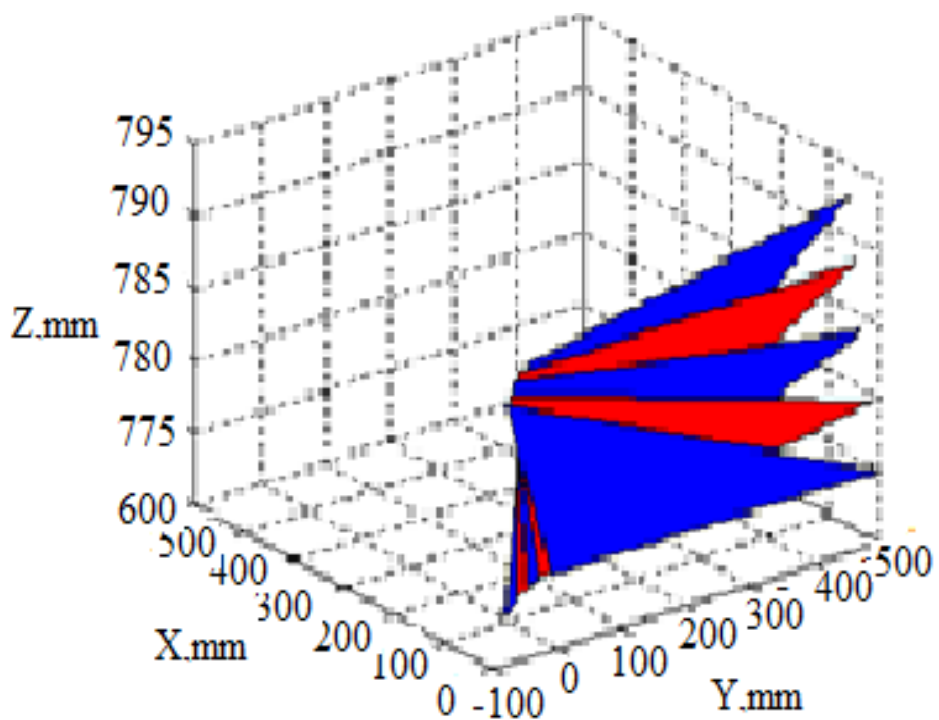


a – жылжымайтын нүктеде C_2 платформаның сфералық ығысулары

Сурет 3.2 – Платформаның ЖО-мен бірге ығысулары, парақ 1



ә



б

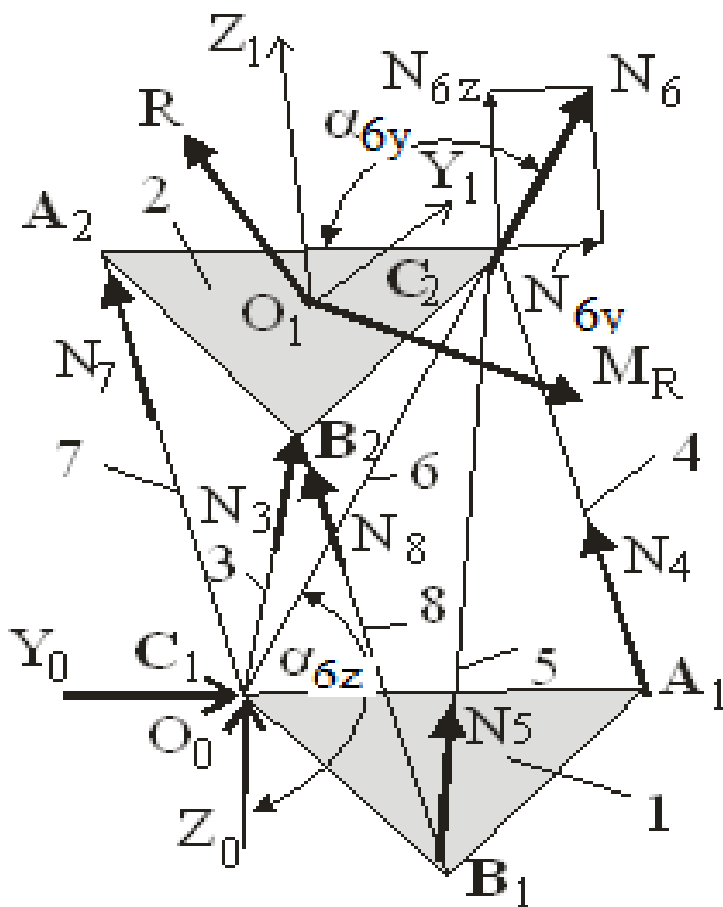
ә – барлық актуаторлардың біркелкі шамаларда жұмыс істегенде кеңістіктік ілгерінді жүрісі; б – платформаның актуаторлардағы түрлі ығысулары кезіндегі жүрісі

Сурет 3.2, парақ 2

3.3 ЖО-ның күштік талдауы

ТЛЭС жобалау және бұрын көрсетілгендей берілген қуаттағы манипулятор актуаторларын таңдау үшін манипулятордың актуаторларындағы

күштер мен соташықтар жүрісінің жылдамдықтары туралы мәліметтер қажет болады. Жоғарыда (3.23-3.25) тораптық нүктелер жылдамдықтарын анықтау үшін өрнектер алынды. Актуаторлардың соташықтарында қажетті күштер манипулятордың үстіңгі платформасын күштік талдау нәтижесінде анықталады. Бастапқы деректер ретінде O_1 нүктесіндегі үстіңгі платформаға тіркелген $\vec{R} = \vec{R}_{wz} + \vec{R}_{wy}$ реакция күшінің негізгі векторы мен ЖО динамикалық талдау нәтижесінде алынған \vec{M}_R күштер жұбының векторы пайдаланылады (3.18). \vec{R} күшінің (сурет 3.3) Q жазығында орналасқанын, ал \vec{M}_R күштер жұбы моментінің векторы $O_1 Y_1 Z_1$ жылжымалы жазығымен сәйкес келетін Q жазығына перпендикулярлы бағытталғанын атап көрсеткен жөн. Осылайша, толқын сәулесінің берілген бағытында \vec{R} және \vec{M}_R шамалары мәлім. Іс жүзінде платформаға 2 (сурет 3.3) актуаторлардың соташықтарының осьтерін бойлап бағытталған $N_3, N_4, N_5, N_6, N_7, N_8$ ізделетін күштер әсер етеді. 5 суретте мысал ретінде актуатордың соташығы 6 мен тиісінше $C_1 Y_0$ және $C_1 Z_0$ осьтерінің арасындағы α_{6y} және α_{6z} бұрыштары көрсетілген. Әр актуатор үшін күштердің іс-қимыл сызықтары бағыттары параллельді манипулятор үшін кинематиканың кері міндетін шешу арқылы анықталады. Реакциялар күштерін анықтағанда, үстіңгі платформаға әсер ететін күштер кеңістіктік болып табылатынын назарға алған жөн.



Сурет 3.3 – Манипуляторлық түрлендіргіш платформасын күштік талдауға арналған схема

Сондықтан динамика теңдеулеріне (3.27) кеңістіктік жүйе үшін $C_1X_0Y_0Z_0$ жүйесінде жазылған күштер мен моменттердің тепе-теңдігі теңдеуінің үш теңдеуін қосқан жөн

$$\sum_{i=3}^{i=8} N_{ix} = 0; \sum_{i=3}^{i=8} M_y(N_i) = 0; \sum_{i=3}^{i=8} M_z(N_i) = 0. \quad (3.26)$$

\bar{R} реакциялар күштері мен \bar{M}_R реакциялар моменті мына теңдіктермен анықталады

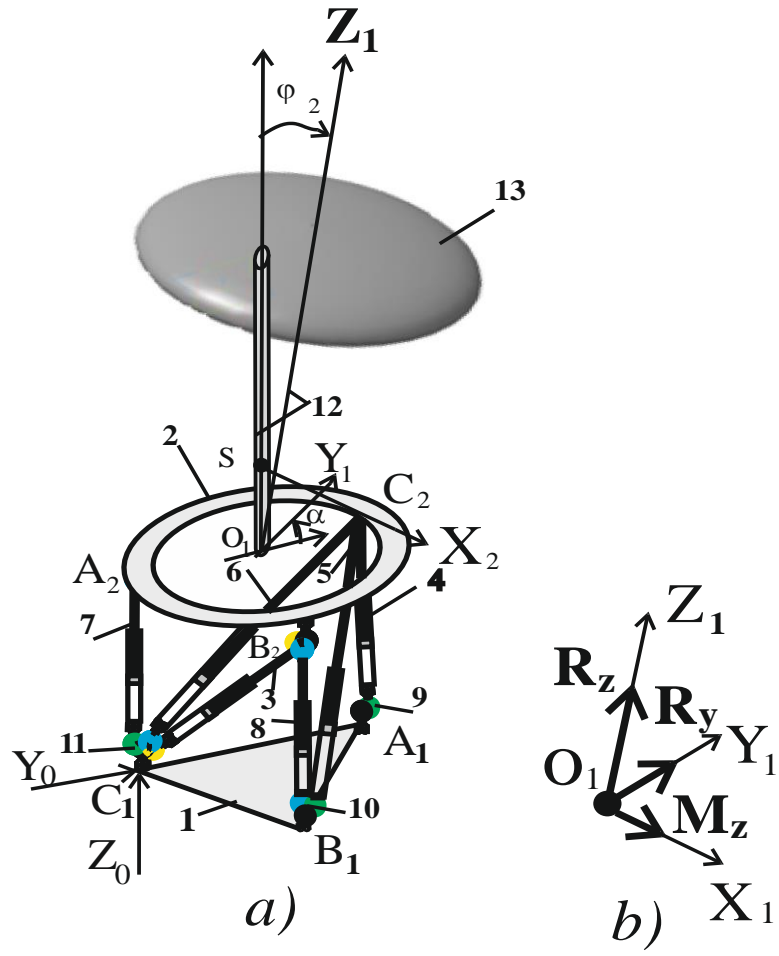
$$\sum_{i=3}^{i=8} N_{iy} + R_y = 0; \sum_{i=3}^{i=8} N_{iz} + R_z = 0; \sum_{i=3}^{i=8} M_x(N_i) + M_{Rx} = 0. \quad (3.27)$$

Осылайша, алты теңдеулерде (3.26,3.27) беймәлім айнымалылар реакцияның алты күшінің - N_i ($i=3, \dots, 8$) ізделетін шамалары болып табылады. Актуаторлардың соташықтарына әсер ететін күштер бойынша және олардың жүріс жылдамдықтары актуатордардың қуаты анықталады, олар бойынша соташық-цилиндр жалғанымының және параллельді манипулятордың бүкіл конструкциясының конструктивтік өлшемдері таңдалады.

3.4 Толқындар энергиясын бастапқы түрлендіру кезінде энергетикалық сипаттамаларды зерттеу

Жұмыстарда ұсынылған [98, 99] динамикалық модель қалтқы толқын қозғалысының белгіленген бағытында судың бетінің үстінде кеңістікте орын ауыстыратын сулы бөлшектермен қармалатынына және кеңістікте жүріс жасайтынына негізделеді. Сулы бөлшектердің жүріс орбитасының жазықтық бағдары толқындардың бағыты өзгерген кезде өзгереді, сондықтан қалтқы тұтастай алғанда кеңістіктік жүрісті орындайды. Бұл ретте қалтқыға судың гидродинамикалық әсері есепке алынады. Желілік емес теңдеулер жүйесін аппроксимациялау нәтижесінде жұмыста алгоритм құруға және сандық нәтижелер алуға мүмкіндік беретін теңдеулер алынды. 3.4 суретте тізбекті жалғанымдар: 9 – екі буын; 10 – түш буын; 11 – төр буын арқылы актуаторлармен 4-8 жалғанған манипулятордың астыңғы 1 және үстіңгі 2 платформасынан құралған ТлЭС энергетикалық есептеуге арналған есеп моделі көрсетілген. Діңгек 12 қалтқыны 13 манипулятордың үстіңгі платформасымен 2 қатқыл жалғайды. Сонымен бірге 3.4а суретте C_1Z_0 осі судың бетіне (пл. $C_1X_0Y_0$) жоғары вертикалды бағытталған, ал C_1Y_0 осі толқын сәулесінің бастапқы бағытында орналасқан манипулятордың жылжымайтын платформасымен байланысты $C_1X_0Y_0Z_0$ координаталардың жылжымайтын жүйесі көрсетілген. $O_1X_1Y_1Z_1$ жылжымайтын жүйесінің платформаның және осьтің ортасында және, $C_1X_0Y_0Z_0$ жүйесінің тиісті осьтеріне параллель бастапқы күйде бастауы болады. Бұл ретте O_1Y_1 осі толқын сәулесінің ағымдағы бағытының бойымен

бағытталған, ол α бұрышымен анықталады. Діңгекті қалтқының (жұмыс органының) S салмақтар ортасы O_1Z_1 осінде $O_1S = L_S$ қашықтықта орналасады. Жазық параллельді жүрісте $ЖО O_1Y_1Z_1$ жазықтығымен бірге жүреді және параллельді осінің $SX_2O_1X_1$ осінің айналасында φ_2 бұрышқа айналады. 3.4b суретте R_Z, R_Y қорытқы күштері мен жұмыс органына әсер ететін күштердің M_X көрсетілген. φ_2 және α бұрыштарымен анықталатын ЖО күйі үшін ЖО жылдамдығын және ЖО бұрыштық жылдамдығын біле отырып, R_Z, R_Y қорытқы күштері мен M_X моменті бойынша сулы массаның әсерімен ЖО жүрісінен алынатын қуатты (энергияны) есептеуге болады.



a – ТлЭС есептік жүйесі; b – қалтқының көлденең қимасы

Сурет 3.4 – ТлЭС-ның энергетикалық есебіне арналған есептік моделі

Бастапқы деректер ретінде мыналар таңдап алынған: қажетті қуат $Q_{ТлЭС} N=50$ кВт; биіктік H , ұзындық L және T толқын кезеңі, тиісінше $h=2$ м, $L=10$ м $T=0.7$ с (Каспий теңізіне арналған деректер бойынша [99]).

Басында мына (3.28) формула бойынша қалтқының бетінің болжалды алаңы анықталады:

$$N_{max} = \rho \cdot g \cdot S \cdot h^2 / 4T \quad (3.28)$$

мұнда ρ – судың массалық тығыздығы;

g – еркін түсудің үдеуі;

S – қалтқының бойлық қимасының ауданы;

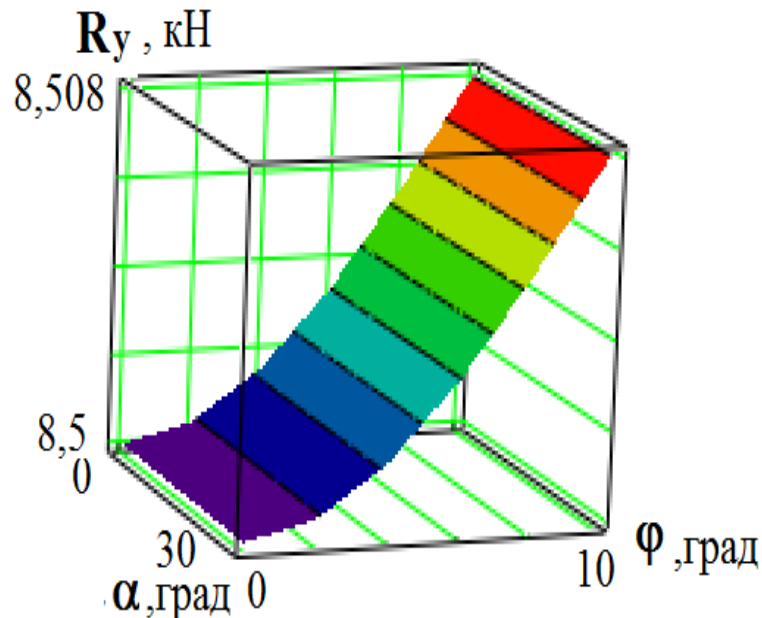
h – теңіз толқынының биіктігі;

T – уақыт кезеңі.

Қалтқының көлденең қимасының ауданын анықтаймыз

$$S = \frac{4N_{max}T}{\rho \cdot g \cdot h^2} = \frac{4 \cdot 5 \cdot 10^4 \cdot 0,7}{1000 \cdot 9,8 \cdot 2,5^2} = 2,29 \text{ м}^2$$

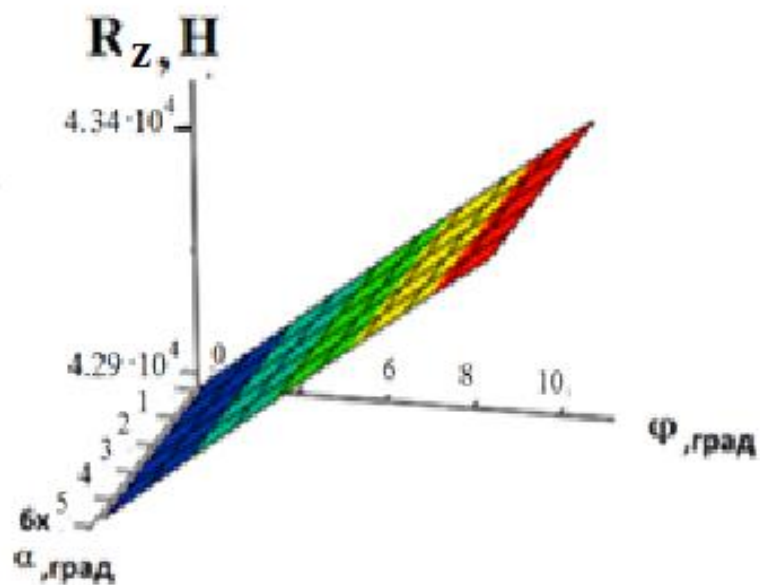
Қалтқының бетінің ауданы мен көлемі Архимед күшінің және дінгекті қалтқының салмағының әсерінен бастапқы күйінде қалтқы түбінен аса қашық күйде болатыны анықталады. Сфера тәріздес қалтқының бетінің көлемі V және бетінің ауданы S_p бар S ауданның эллипс пішіні негізінде анықталады. Экваториалдық радиус $a=b=2,5$ м., полярлық радиус $c=0,2$ метр, ал $V=5,24 \text{ м}^3$, $S_p=40,1 \text{ м}^2$ болады деп алынған. Қалтқының материалы ретінде поливинил хлорид (ПВХ) таңдап алынады, қатқыл PVC-LZ (экологиялық таза ПВХ) салмағының аздығы мен беріктігіне қойылатын талаптар бойынша сәйкес келеді. Мұнда нұсқа ретінде қалтқының материалын қалыңдығы 3 мм болаттан жасалатынын қарастырамыз. Онда дінгекті қалтқының салмағын $G=100 \text{ кН}$ тең деп алуға болады. Жұмыста [98] әзірленген математикалық модельге негізделген алгоритм бойынша компьютерлік есептерді қолданып, φ_2 және α бұрыштың өзгеруіне қарай R_z , R_y күші мен M_x моменттері есептелген (сурет 3.5).



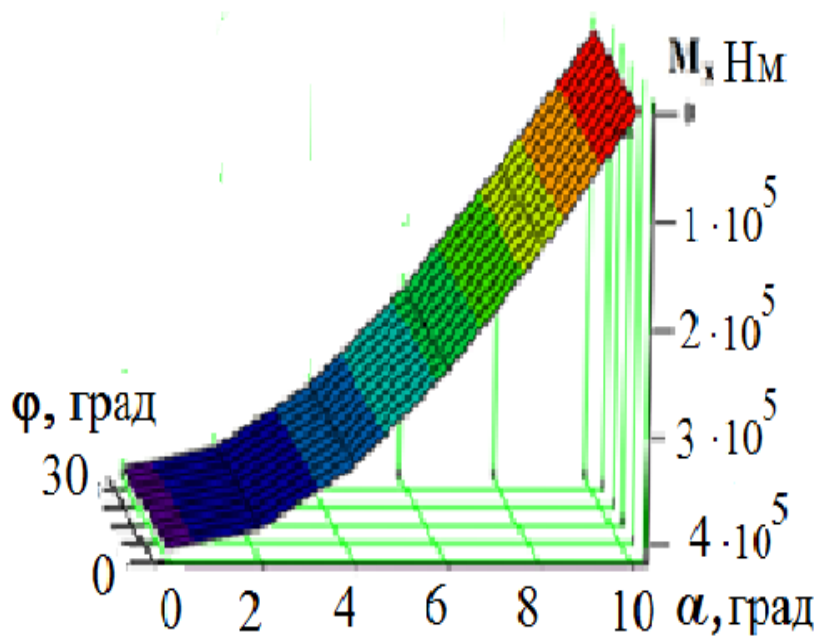
а

а – толқынның бағытына қарай аусуы

Сурет 3.5 – φ_2 көлбеулену бұрышына және α толқын бағытына қарай бастарқы түрлендіргішке әсер ететін күштер мен моменттің диаграммалары, парақ 1



ә



б

ә – көлбеулену бұрышы; б – моменттің анықтауы

Сурет 3.5, парақ 2

Күштер мен моменттер W энергиясын есептеп шығаруға мүмкіндік береді,оны қалтқысу массасының жүрісінің толық энергиясынан «алады». Іс жүзінде кез келген уақытта қалтқымен берілетін мезеттік қуат мынаған тең:

$$W = R_z \cdot v_z + R_y \cdot v_y + M_x \cdot \omega, \quad (3.19)$$

мұнда v_z , v_y , ω - тиісінше, жылдамдықтың құрамдастары O_1 нүктесі мен ЖО салмақ ортасының айналасында айналған кездегі бұрыштық жылдамдығы. Бұл кинематикалық және күштік параметрлер ЖО бұрылысының φ_2 бұрышқа және α бұрышқа сәйкес келетін желдің бағытына сәйкес келетін бұрышының моментіне арналған бағдарлама бойынша есептеледі. Диаграммаларда ұсынылған есептердің нәтижелері (сурет 3.5) таңдалған динамикалық модельдің дұрыстығын растайды, өйткені (3.19) бойынша есептелген қуат болжалды түрде таңдалған $N=50$ кВт қуатқа сәйкес келеді. Одан бөлек, есептеулер ҚТЛЭС конструкциясының зерттеулер және есеп жүргізуге мүмкіндік береді және электр энергиясын туындату жүйесін есептеу үшін бастапқы деректерді анықтайды.

4 ҚАЛҚЫМАЛЫ ТОЛҚЫНДЫҚ ЭЛЕКТР СТАНЦИЯСЫНЫҢ БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІНІҢ ПАРАМЕТРЛЕРІН ЗЕРТТЕУ ЖӘНЕ ТАҢДАУ

4.1 Қалтқының қалқымалылығын эксперименталдық зерттеу

Толқындардың әр түрлі динамикасында берілген өнімділікпен жұмыс істеу үшін қалтқылы ТлЭС-да салмақты өзгерту жолымен қалтқының қалқымалылығын басқару жүйесі көзделген. Толқындардың биіктігі жоғары болғанда қалтқының салмағы ұлғаяды, ал толқындар биіктігі аласа болғанда азаяды, бұл қалтқының қалқымалылығының және судың жүрісіне «сезімталдығын» туғызады. Толқындардың биіктігі мен ұзындығының қалтқының салмағына және шөгуіне әсерін анықтау үшін эксперименталдық зерттеулер жүргізілді. Эксперимент өлшемі 1200x60x60 мм жасанды су бассейнінде (аквариумда) жүргізілді.

Аквариумдағы ТлЭС сынағының видеосынан үзінді фрагмент келесі суретте корсетілген.

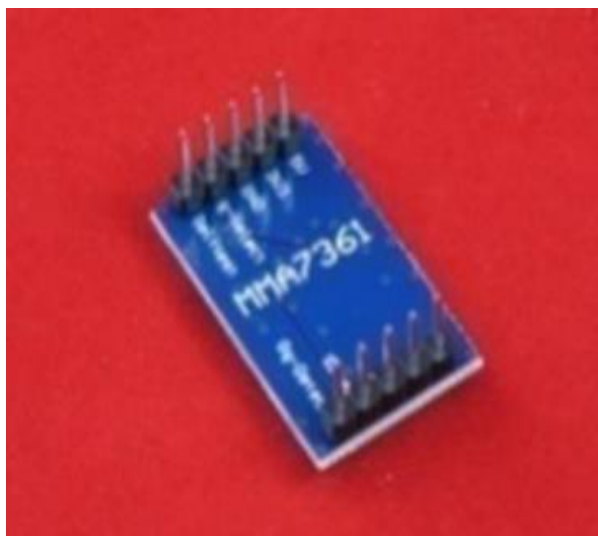


Сурет Б.1 – Аквариумдағы қалтқы және параллельді манипулятор



Сурет Б.2 – Амперметр өлшеу үстінде

Толқын туғызу үшін қол толқын продуторы пайдаланылды. Зерттеу объектісидиаметрі $D=300$ мм және бетінің ауданы $S = 0.165$ м² аэродинамикалық профилі бар, сондай-ақ көлемі сондай шар (балама шар)тандап алынды.



а



б

а – акселометр; б – контроллер

Сурет 4.1 – Акселерометр және контроллер

Қалтқының үстіңгі бетінде MMA7361 модельді 3 осьті үш акселерометр (сурет 4.1а), ATmega 328 микроконтроллерден (сурет 4.1б), NRFZ4L01+2.4GHz модульді сымсыз таратқыштан құралған өлшеу жүйесі орнатылған. Акселерометрлер дұрыс үшбұрыштың ұштарына үшбұрыштың ортасы қалтқының симметриясы осіне орналасатындай етіп орнатылған. Су өткізбейтін қорапта қондырылған аспаптары бар қалтқы 4.2 суретте ұсынылған. Осындай акселерометр шардың ең үстіңгі нүктесінде орнатылған. Шар салыстырмалы деректерді алу және толқынның биіктігін өлшеу үшін қолданылады. Мәлім болғандай, акселерометр үдеудің өзгеруіне қарай бекіту нүктесінің орын ауыстыруын анықтауға мүмкіндік береді. Өлшеулер аквариумде жүргізілді (сурет 4.3).



Сурет 4.2 – Өлшеу аппаратурасы бар қалтқы

Орын ауыстыру автоматты түрде берілген үдеу және өлшеу уақыты бойынша есептеледі.



Сурет 4.3 – Аквариумдегі эксперимент

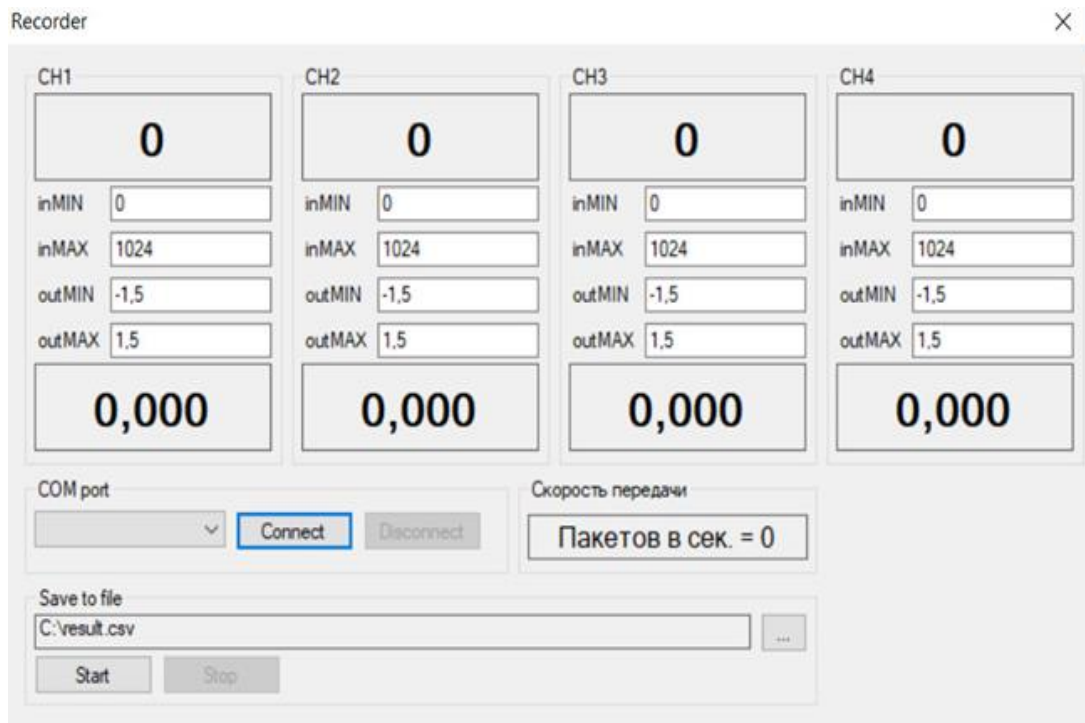
Ескерту – Қосымша Д негізінде құралған

Акселерометрлерді орналастыру үш бұрыштың ортасының вертикалдық бағытта жылжуын анықтауға мүмкіндік береді (Қосымша Г). Бұл орын ауыстыру қалтқының салмақ ортасының вертикалдық бағытта s_B жылжуына тең және мына тәуелділікте анықталады:

$$S_B = \frac{S_{A1} + S_{A2} + S_{A3}}{3}, \quad (4.1)$$

мұнда S_{A1}, S_{A2}, S_{A3} – қалтқының үш акселометрінің көрсеткіштері бойынша алынған орын ауыстырулар.

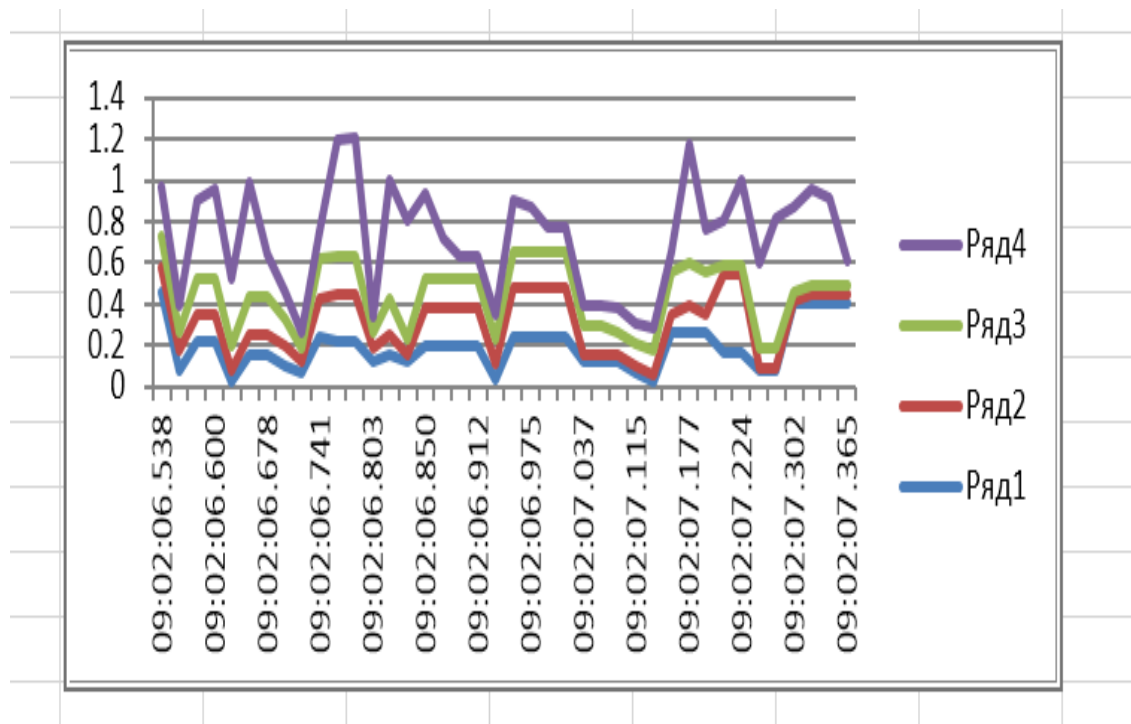
Шарға орнатылған акселерометр шардың вертикалдық бағытта орын ауыстыруын белгілейді. Экспериментте шар толқын өлшегіш ретінде пайдаланылады. Өлшеу жүйесі ҚАЗ арқылы COMtoCSV бағдарламалық жасақтамасы бар компьютер портына жалғанады. Бағдарламалық жасақтама секундтың 115200 бит жылдамдықпен 8 байттық деректерді қабылдауға, қабылданған деректерді UShort типтік 4 таңбалы деректерге түрлендіру, осы мәндерді масштабтауға және ақырғы деректерді нүкте-үтір пішінді бөлгіші бар мәтіндік файлға жазуға арналған.



Сурет 4.4 – COMtoCSV бағдарламасының терезесі

Мәтіндік файл Microsoft Excel бағдарламалық жасақтаманың көмегімен ашылады. Ол деректерді өңдеуге және графиктер құруға мүмкіндік береді. Эксперименттің мақсаты шөгудің қалтқының салмағына тәуелділігін алу. Мұндай тәуелділікке ие бола отырып, толқындардың биіктігіне қарай қалтқының қалқымалылығын автоматты басқару мүмкін болады. Қалтқының бастапқы күйінде манипулятордан әсер ететін күштер мен және Архимед күшімен бірлесіп, ауырлық күшінің айырмасына сәйкес келетін ΔS_{Bo} шөгудің кейбір мәні болады. Эксперимент су үстіндегі күйде эллипсоидты қалтқымен жүргізілді (Қосымша Д). Эксперименттің 1 кезеңінде көрсетімдер қалтқының аспаптарынан және «тыныш» суда (толқындар жоқ кезде) орналасқан шардан

алынған. Аспаптармен бірге қалтқының салмағы $m_0 = 0,72$ кг құраған. Аспаптардың көрсетімдерін өлге айналдырылған. 2 кезеңде толқындар қолдан туғызылып, аспаптардың көрсетімдері COMtoCSV жүйесінің көмегімен оқылған. 4 суретте бір өлшеудің деректері көрсетілген. Мұнда абсцистің осін бойлап, уақыт мс-мен, ал ординаталардың осін бойлап датчиктердің көрсетімдері бойынша орын ауыстырулар см-мен көрсетілген. Бұл ретте 1-3 қисықтар қалтқының акселометрлерінің; 4 қисық шардың акселерометрінің деректері бойынша орын ауыстыруларды көрсетеді. Деректер ағынынан нақты өлшеуге тән белгілі бір деректерді таңдап алу үшін арнаның бойымен қабылданған деректердің ең көп диапазонын көрсететін «inMAX» параметрімен ең көп мәнді таңдайтын «outMAX» параметрі пайдаланылды.



Сурет 4.5 – Эксперименттің деректері

Деректерді өңдеу нәтижесінде әр бір i - өлшеуде мыналар анықталды: тәуелділік бойынша есептеуді қолданып, s_{Bi} қалтқының ц.м. орын ауыстырулары (4.1); шардың акселометрінің көрсетімдері бойынша H_i толқынның биіктігі; $\Delta s_{Bi} = H_i - s_{Bi}$ қалтқының шөгуді. Өлшеулер өрескел қателерді болдырмау үшін 30 мәрте қайталанды. Қалтқының қосымша салмағы жоқ кезде қалтқының шөгудінің орташа мәні анықталады:

$$\Delta s_{Bo} = \frac{\sum_{i=1}^N s_{Bi}}{N}, \quad (4.2)$$

мұнда $N=30$ – өлшеулер саны.

Толқындардың биіктігінің орташа мәні анықталады

$$H_0 = \frac{\sum H_i}{N}. \quad (4.3)$$

Әрі қарай 1 және 2 кезеңдердегі эксперименталдық зерттеулер қалтқыға бекітілген $\Delta m_{B1} = 0.25 \text{ kg}$, $\Delta m_{B2} = 2 \cdot \Delta m_{B1}$, $\Delta m_{B3} = 3 \cdot \Delta m_{B1}$, $\Delta m_{B4} = 4 \cdot \Delta m_{B1}$, $\Delta m_{B5} = 5 \cdot \Delta m_{B1}$, қосымша салмақтар кезінде қайталаынады. Тәуелділіктер бойынша тәжірибелердің әр қайсысының нәтижелері бойынша (2,3) қалтқылар шөгуінің шамалары мен қосымша салмақтар кезіндегі толқынның биіктігі анықталды. Алынған деректер қосымшада (2.1 Қ) келтірілген. Жиынтық деректер 4.1 кестеде ұсынылған.

Кестен 4.1 – Эксперименттердің жиынтық деректері

Вел., см	Масса, кг					
	$m_0=0.72$	$m_1=m_0+\Delta m_{B1}$	$m_2=m_0+\Delta m_{B2}$	$m_3=m_0+\Delta m_{B3}$	$m_4=m_0+\Delta m_{B4}$	$m_5=m_0+\Delta m_{B5}$
Δs_{Bk}	0,22	0,34	0,51	0,59	0,67	0,75
H_k	3,45	3,51	3,46	3,6	3,48	3,59

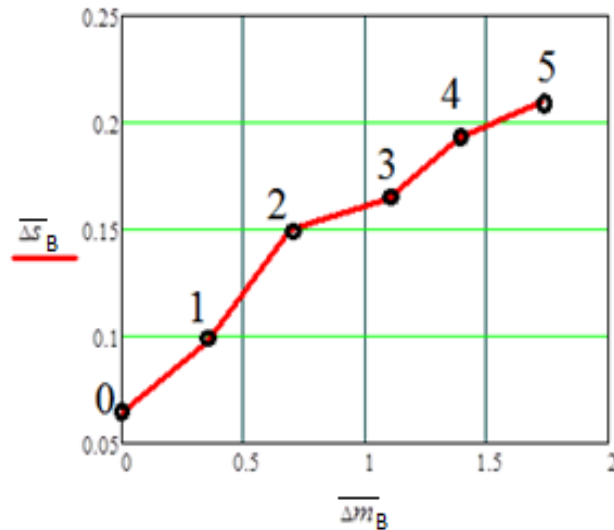
Өлшемсіз шамаларды пайдалану үшін мына түрде қалтқының шөгуінің қатысты шамалары енгізілген:

$$\Delta \bar{s}_{Bk} = \frac{\Delta s_{Bk}}{H_k} \quad (k = 0, \dots, 5). \quad (4.4)$$

Сонымен бірге былайша анықталатын салмақтың қатысты өсуі

$$\Delta \bar{m}_{Bk} = \frac{\Delta m_{Bk}}{m_0}. \quad (4.5)$$

4.1 кестенің деректері және тәуелділіктер (4,5) бойынша есептеулер бойынша 4.6 суретте ұсынылған салмақтың қатысты өсуі мен шөгудің арасындағы тәуелділіктің графигі құрылған.



Сурет 4.6 – Салмақтың қатысты шамалары мен шөгудің арасындағы тәуелділік

Қисық (сурет 4.6) 6 нүкте бойынша құрылған және мына функция түрінде мәлім тәсілдермен аппроксимациялануы мүмкін

$$\Delta \overline{m}_B = F(\Delta \overline{s}_B). \quad (4.6)$$

Бұл функция қалтқының салмағының қажетті өсімін анықтауға мүмкіндік береді. Іс жүзінде егер беттегі толқынның биіктігі толқын өлшегіштің көрсетімдері бойынша мәлім болса, толқындардың трохоидалдық теориясына сай [100] сулы бөлшектердің орын ауысуы параметрлері толқынның параметрлерімен анықталатын айналма орбитаның бойымен жүргізіледі. Одан бөлек, орбитаның радиусы судың бетінің төменгі шекарасында $r_0 = H/2$ тең болатыны мәлім, мұнда H -толқынның биіктігі. Беттен төмен қара ара қашықтықтың (h) өзгеруімен сулы бөлшектер жүрісі орбитасының радиусы (r) экспоненциалдық заң бойынша азаяды.

$$r = r_0 e^{-2\pi h/\lambda}. \quad (4.7)$$

мұнда λ – толқынның ұзындығы.

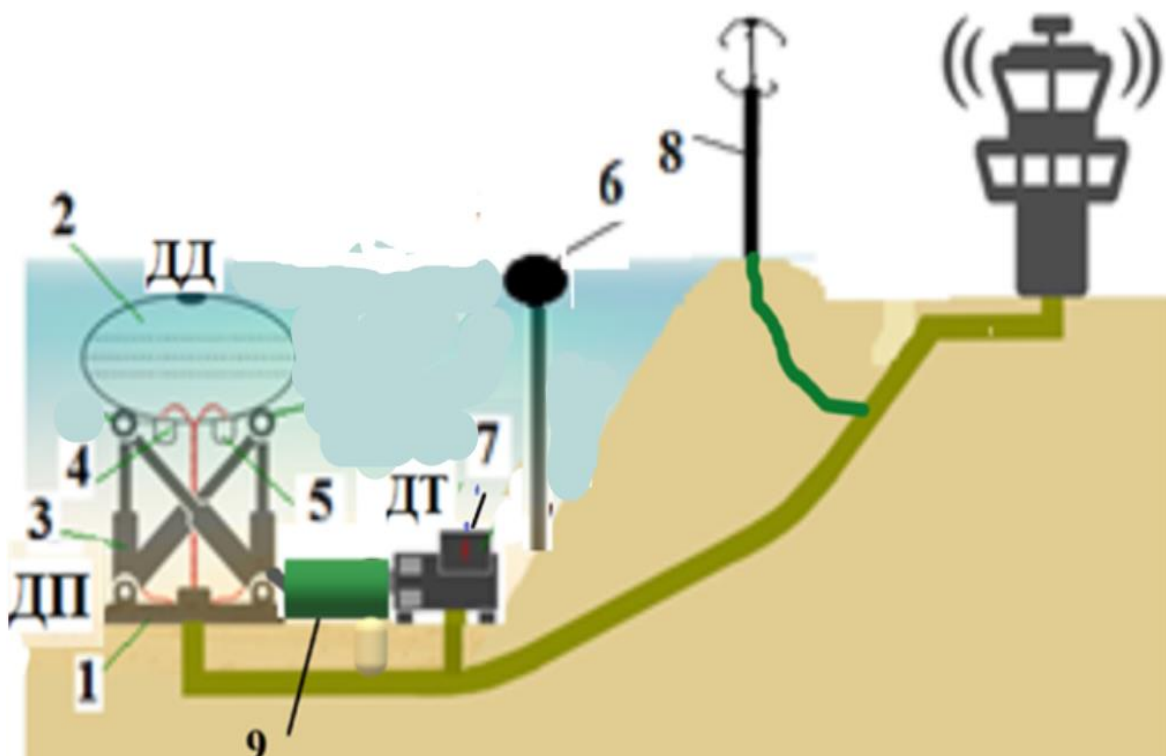
ҚТЛЭС қалтқысының орналасқан жердегі толқынның биіктігі $H_B = 2r$ тең болады. Қалтқының вертикалдық бағытта ең көп орын ауыстыруы манипуляторлық түрлендіргіш актуаторының соташығының h_s шекті жүрісіне тең болуы тиіс. Бұл шарт шөгу шамасын Δs_{Bk} өлшеу арқылы орындалады, ол мынаған тең:

$$\Delta s_B = H_B - h_s. \quad (4.8)$$

Шөгудің қажетті өзгеруі (4.6) өрнекпен анықталатын салмақтың өзгеруімен қамтамасыз етіледі.

4.2 Суасты қалқымалы ТлЭС басқаруды автоматтандыру

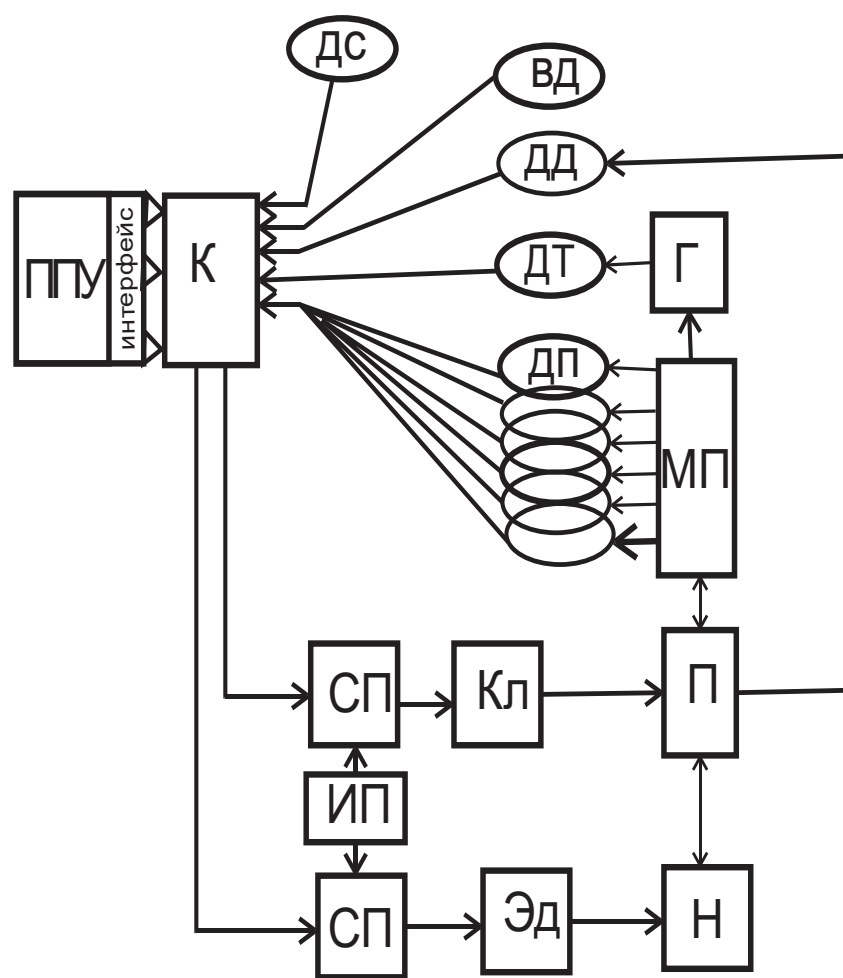
ТлЭС-ны жобалаған кезде әдетте шығыс қуатының, кернеудің және тұрақтандыру жиілігінің қажетті параметрлері берілген талаптарға сәйкес келуі туралы міндет қойылады [101]. Бұл үшін ТлЭС-нің автономды режимде, сонымен бірге энергия жүйесімен қабат, сондай-ақ қорғау және электр энергиясын жедел басқару функциясын қоса алғанда, желіде жұмыс істеуін қамтамасыз ететін автоматтандырылған басқару жүйесін құру қажет. ТлЭС автономды режимде жұмыс істеуі тиіс деп есептейміз. Іс жүзінде кернеу мен жиілікті тұрақтандырудың әр алуан тәсілдері болады, мәселен, қуатты басқару арқылы кернеуді ретке келтіру; бақылау жүктемесін пайдаланып, түрлі электрондық күштік түрлендіргіштерді және т.б. әдістерді қолданып, кернеуді және жиілікті басқару. Бұл жұмыстасу массасының энергиясын түрлендіру қуатын басқару жолымен ретке келтіру әдісі таңдап алынған. Бұл ретте қуатты басқару толқынның сипаттамасына қарай қалтқының салмағын өзгерту жолымен іске асырылады. Мәселен, күшті толқындарда қалтқының қалқымалығы оның салмағын ұлғайту жолымен азаяды, ал әлсіз толқу кезінде керісінше болады.



Сурет 4.7 – ҚТлЭС-ның моделі

Бұрынырақта [102] қалтқының салмағын өзгертуге мүмкіндік беретін қалтқының екі қуысты конструкциясы ұсынылған болатын. Жүргізілген эксперименталдық зерттеулер толқынның биіктігі мен қалтқының салмағына қарай қалтқының салмағын автоматты түрде өзгертуге бағытталған басқарушы әсердің өрнегін алуға мүмкіндік береді. Қалтқының конструкциясының

ерекшеліктері мен салмағын басқару мүмкіндігі шығыс қуаты мен кернеуінің қажетті параметрлерін қамтамасыз етеді. 4.7 суретте ұсынылған ТлЭС модели автоматтандыру жүйесінің жұмыс қағидатын көрнекі түрде түсіндіруге мүмкіндік береді. 4.7 суретте манипуляторлық түрлендіргіштің 1 астыңғы платформасы мен тікелей (дінгексіз) манипулятордың жылжымалы платформасына бекітілген қалтқы 2 көрсетілген. Ол өз кезегінде платформамен 1 алты актуатордың 3 көмегімен жалғанған. Қалтқы иілгіш диафрагмамен бөлінген екі қуысты денені білдіреді. Үстіңгі қуыс ауамен толтырылған, оның қысымы ДД датчигінің көмегімен өлшенеді. Астыңғы қуыс арнаның 4 бойымен гидросорғыдан сумен толтырылады. Қажет болғандасуды шығару үшін соленоидты клапан 5 іске қосылады. Ақпараттық-өлшеу жүйесі әр актуаторда орнатылған ОД орын ауыстыру датчиктерін, сондай-ақ толқынөлшегішті 6, генератордың 7 ток датчигін ТД қамтиды.



Сурет 4.8 – Басқару жүйесінің функционалдық схемасы

4.8 суретте ҚТлЭС-ның автоматтандырылған басқару жүйесінің функционалдық схемасы көрсетілген. Басқару сыртқы және ішкі ортаның жай-күйі туралы алынған деректерге қарай, қолданбалы басқару бағдарламасы (ҚББ) қолданып, ақпарат-өлшеу жүйесінің датчиктері арқылы қалтқының салмағын өзгерту жолымен контроллермен (К) іске асырылады. Атқару

құрылғылары сорғының (Н) электр қозғалтқыш (ЭҚ) және соленоидтік клапан (Кл), олар күштік түрлендіргіштер (КТ) арқылы басқарылады және қоректендіру көзінен (ҚК) қоректендіріледі.

Басқару мәліметтері іштен жану датчиктерімен қалыптастырылады: ауасы бар қалтқының қуысына орнатылған қысым датчигі (ҚД); манипулятордың (М) актуаторларының орын ауыстыруының (ОаД) алты датчигі; генератор (Г) тогының датчигі. Сыртқы орта туралы ақпарат толқынның сипаттамасын анықтайтын толқын өлшегіш датчикпен және желдің жылдамдығы мен бағытын анықтайтын анемометрмен (КД) қалыптастырылады. Басқару алгоритмі сыртқы ортадағы деректер бойынша кейбір бастапқы күйге негізделеді және қалтқының салмағының өсімі жұмыста [103] ұсынылған әдіспен ҚТЛЭС-ның мәлім параметрлері бойынша анықталады. Бұл шаманың оң мәнінде қалтқыға судың белгіленген көлемі айдалады. Кері байланыс бойынша– ток датчигі арқылы қажетті шығыс қуаты бақыланады. Салмақтың одан әрі өзгеруі төменде ұсынылатын, ҚББ құрамына енетін зияткерлік алгоритм бойынша атқарылады.

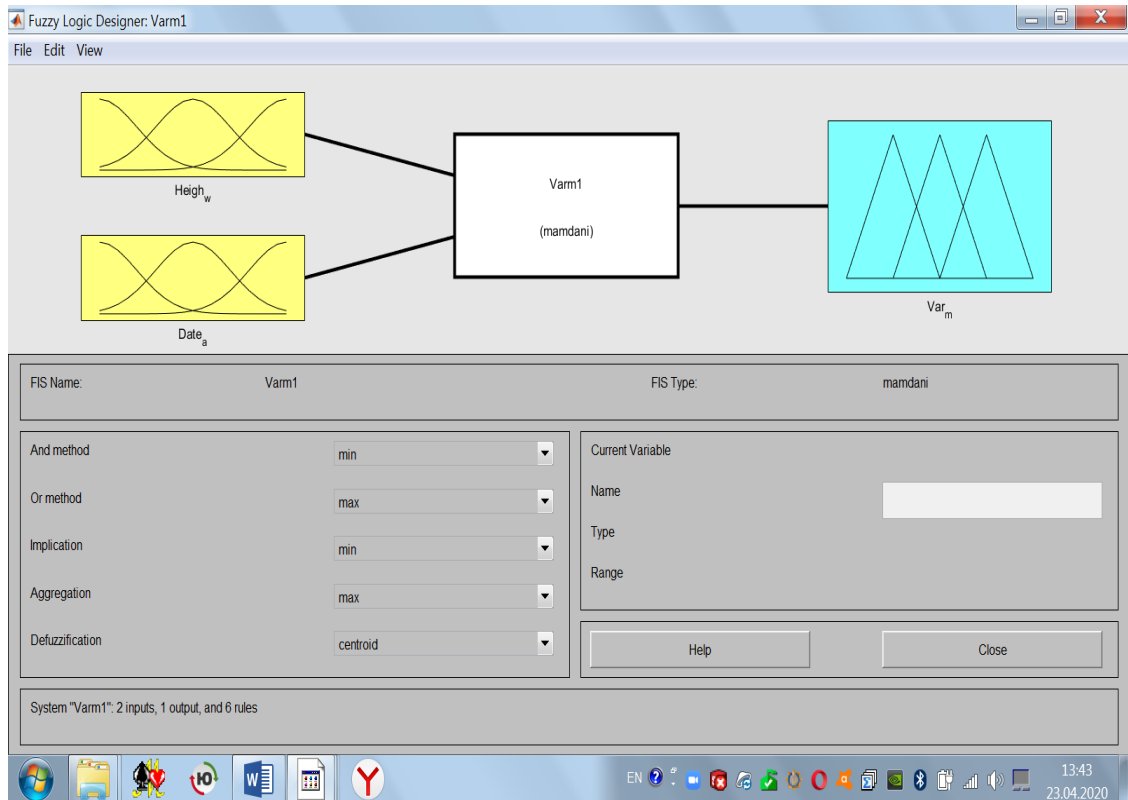
4.3 Қалтқының салмағын өзгеруін зияткерлік басқару алгоритмі

ТЛЭС-ны құруға және пайдалануға байланысты маңызды проблемалардың бірі жұмыс істеудің қалаулы тиімділігін қамтамасыз ететін автоматтандырылған жүйені құру болып табылады. Айнымалы салмақтағы қалтқының беттің бойында немесе су ортасының қалыңдығындағы жүрісі оның жүрісін автоматты басқару жүйесін құруды қиындататын бір қатар маңызды ерекшеліктерге ие болады. Бұл ерекшеліктерге процестердің стационарлық еместіктері, математикалық модельдің сызықтық еместігі, сыртқы қозулардың стохастикалығы жатады. Осыған орай басқару алгоритмін құру үшін ҚТЛЭС-ның айқын емес моделін қарастыру ұсынылады. Айқын емес басқаруды әзірлеу үшін Matlab ортасында Fuzzy Logic Toolbox кеңейудің графикалық тәсілдері пайдаланылады [104]. Кіріс лингвистикалық айнымалылар ретінде [105] High_w толқын биіктігі мен Date_A ең көп орын ауыстырған актуаторлар санын, ал шығыс айнымалылар ретінде Var_M қалтқы салмағының өзгеруін таңдаймыз. Лингвистикалық айнымалылар кортежін анықтаймыз (кесте 4.2).

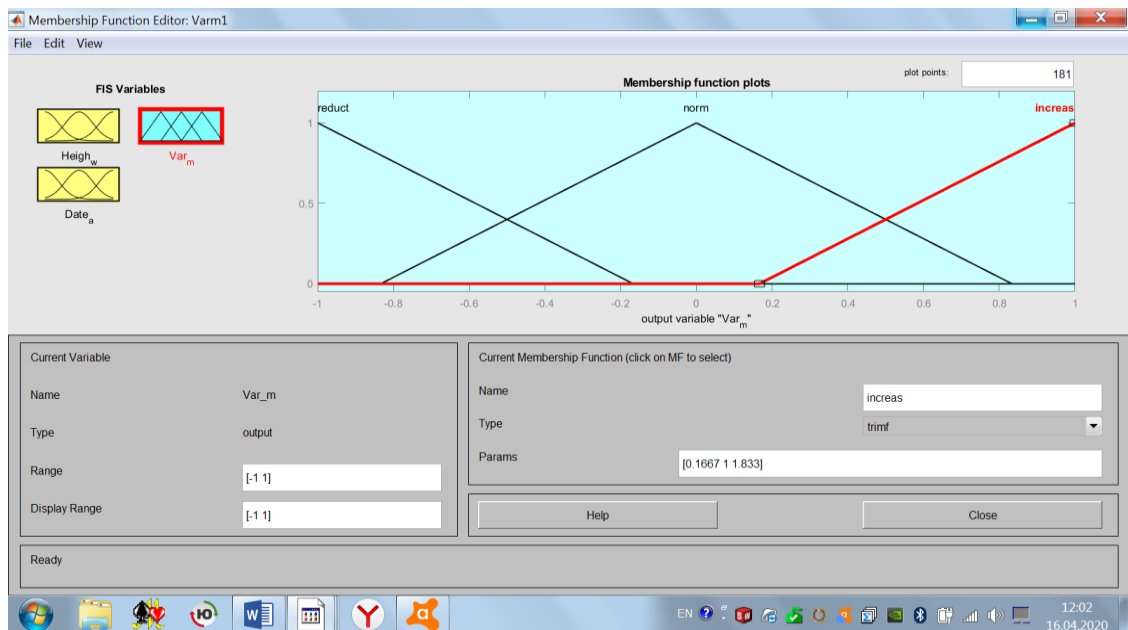
Кесте 4.2 – Лингвистикалық айнымалылар кортежі

ЛА атаулары	Белгілеулер	Терм	Универсум
Толқын биіктігі	High _w	T ₁ {«litl», «medium», «high»}	[0,2]
Актуартор саны	Date _A	T ₂ {“Not”, “Yes”}	[0,6]
Қалтқының массалық өзгерістері	Var _M	T ₃ {“reduct”, “norm”, “increase”}	[-1,1]

4.9а суретте FIS жүйесінің редакторы ұсынылған. Термдердің әрқайсысы үшін қатыстылық функциясы таңдалған (сурет 4.9б).



а



ә

а - FIS жүйесінің редакторы ұсынылған; ә - Термдердің әрқайсысы үшін қатыстылық функциясы таңдалған

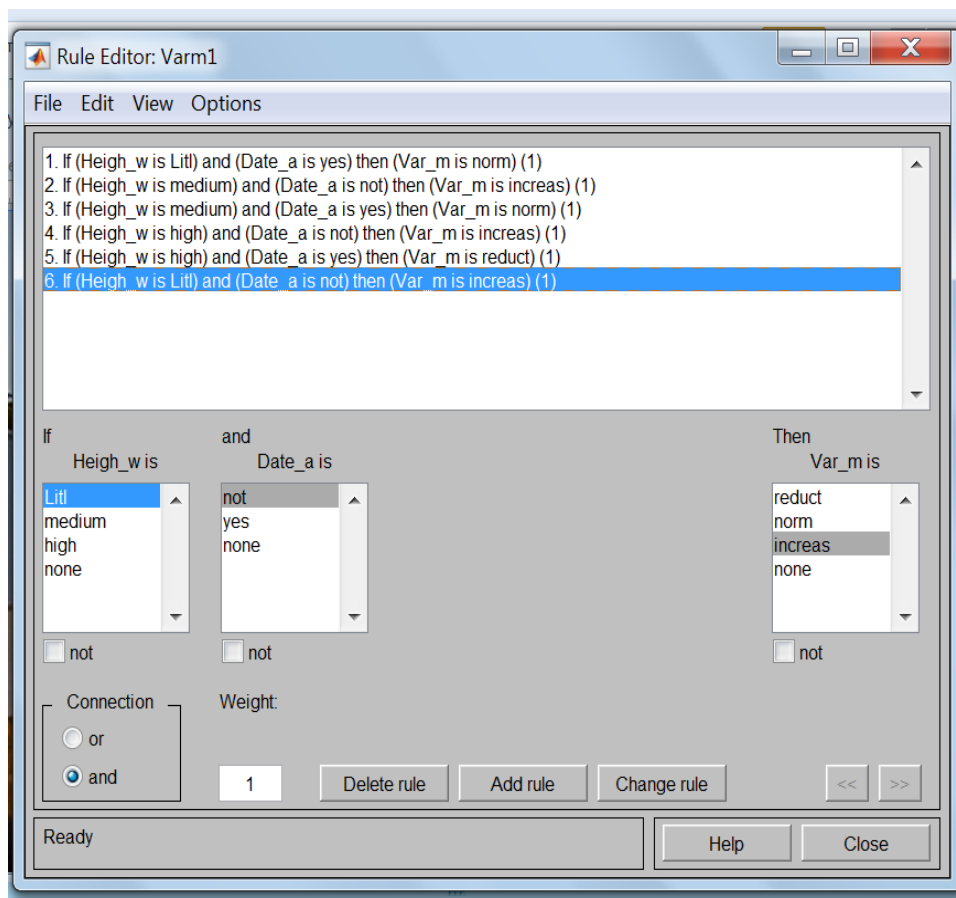
Сурет 4.9 – FIS редакторының графикалық интерфейсі

Қалтқының салмағының өзгеруін басқару жүйесіне қойылатын талаптар негізінде FIS қағидалар редакторын қолдана отырып, айқын емес өнімдердің мынадай алты қағидасы әзірленген (сурет 4.10).

ҚТЛЭС қалтқысының салмағының өзгеруін басқару жүйесінің нақты параметрлерін таңдау үшін matlab алгоритмі пайдаланылады, олай қын емес өнімдер қағидалары жүйелерінде айқын емес тұжырымды іске асырады. Бұл ретте фазасыздандыру кезінде мына түрдегі ауырлық ортасы әдісі

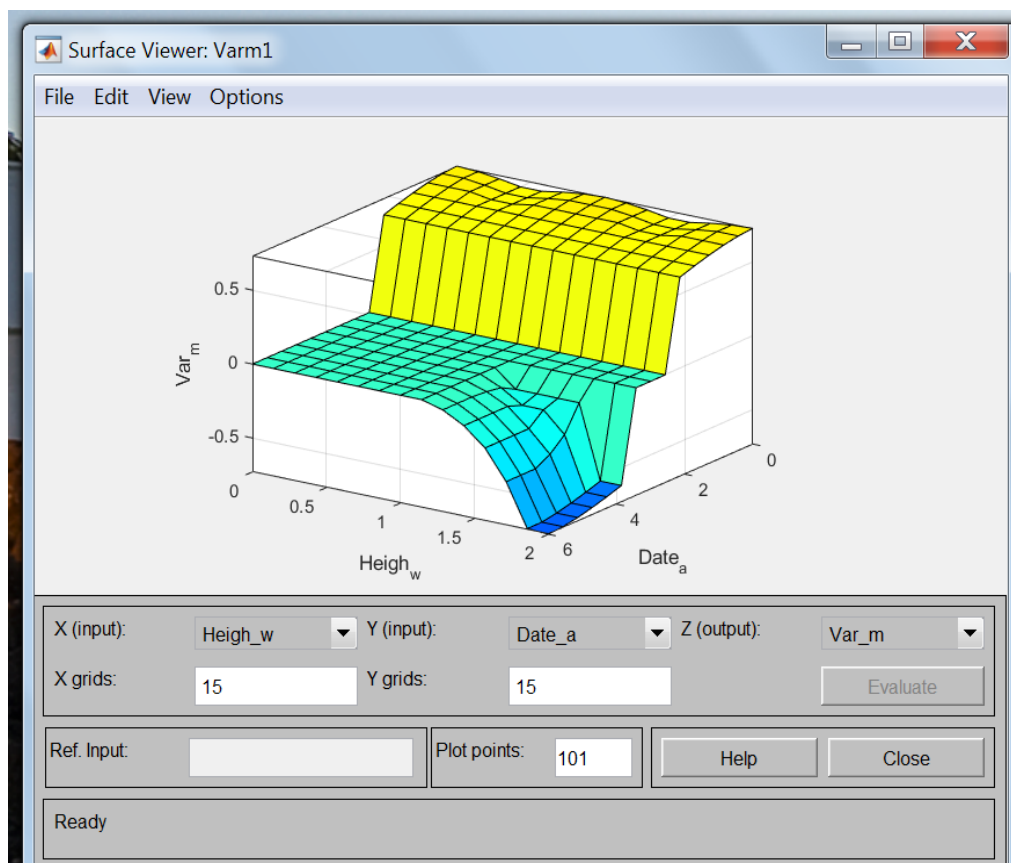
пайдаланылады:

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot \mu(x_i)}{\sum_{i=1}^n \mu(x_i)}$$



x , $\mu(x)$ – тиісінше терм және термнің қатыстылық функциясы; n - термдер саны

Сурет 4.10 – Айқын емес өнімнің қағидалары



Сурет 4.11 – Қалтқының салмағын өзгертудің тәуелділігі беті

4.11 суретте FIS редакторда құрылған басқарудың шығыс айғымалы жүйесінің кіріс айнымалылардан тәуелділік графигін көрнекілеудің беті көрсетілген.

Сыртқы ортаның (толқынның биіктігі) және жүйенің ішкі күйіне (актуаторлардағы орын ауысу датчиктерінің көрсетімдері бойынша) қарай қалтқының салмағының өзгеруін басқаруды айқын емес басқаруды пайдалану нәтижелерін бағалау басқарылмайтын жағдайлардың жоқ екенін, яғни беттің тұтас екенін көрсетеді; екінші жағынан график жағдайды жеткілікті дәл бейнелейді - бұлбеттің реңкінің ашық түстерге ие екенін білдіреді. Сайып келгенде, айқын емес тұжырым жүйесіне негізделген басқару алгоритмі қалтқының салмағының өзгеруін және ТлЭС-ны басқаруды автоматтандыру үшін пайдаланылуы мүмкін.

4.4 ТлЭС-ның және электр энергиясын туындату жүйесінің энергетикалық есебі

Жоғарыда (3 тарау) алынған математикалық аппарат ТлЭС-ның тиімді жұмыс істеуін қамтамасыз ететін оның конструктивтік параметрлерінің санын анықтап, таңдауға мүмкіндік береді. Есептеу үшін бастапқы деректер мыналар болып табылады: ТлЭС-ның қажетті қуаты, қалтқылы толқындық ТлЭС-ны монтаждаудың болжалды орнын мониторингтеу нәтижесінде алынған толқын параметрлерінің жылдық орташа мәндері. Осы жұмыста ұсынылған алгоритм

манипулятордың және ТлЭС қалтқысының параметрлерін зерделеу үшін пайдаланылады. Мұнда электр энергиясын туындату жүйесінің, яғни қуат алу жүйесінің негізгі параметрлерін бастапқы таңдау үшін берілген қуат бойынша энергетикалық есептеу ұсынылады. Есептер ТлЭС нақты конструкциясын құру мүмкіндігін растауға бағытталған. Теңіз толқындары энергиясын қалтқының тербелістерінің механикалық энергиясына түрлендіретін толқындық қондырғының N_{max} қуаты мына тәуелділік түрінде анықталады:

$$N_{max} = \rho \cdot g \cdot S \cdot h^2 / 4T \quad (4.9)$$

мұнда ρ – судың массалық тығыздығы;

g – еркін түсудің үдеуі;

S – қалтқының көлденең қимасының ауданы;

H – теңіз толқынының биіктігі;

T – толқу кезеңі.

Әрі қарай есептеулер үшін бастапқы деректер ретінде Каспий теңізінің толқындарының сипаттамасын аламыз [104], атап айтқанда: толқынның биіктігі $h=2,5$ м.; толқу кезеңі $T=0,7$ с. ҚТлЭС-ның ең көп қуатын $N_{max} = 50$ кВт деп аламыз және (4.9) тәуелділіктен қалтқының көлденең қимасының ауданын анықтаймыз:

$$S = \frac{4N_{max}T}{\rho \cdot g \cdot h^2} = \frac{4 \cdot 5 \cdot 10^4 \cdot 0,7}{1000 \cdot 9,8 \cdot 2,5^2} = 2,29 \text{ м}^2$$

Бұрын (2.4 қ.) қиманың аэродинамикалық профилі бар қалтқы ұсынылған болатын. ТлЭС-ның тиімді жұмыс істеуі үшін қалтқының салмағын автоматты ретке келтіру жүйесі ұсынылады (2.4.1).

Электр генератордың білігі минутына $n=300$ айналым жылдамдығымен айналады деп болжамданады, ал генератордың білігіндегі генератор жасайтын айналу моментімына арақатынастан анықталады:

$$M = \frac{30N}{\pi n} = 1592 \text{ Нм}$$

Электр энергиясын туындатуға арналған электр машинасы ретінде мәселен, Қытайда өндірілген неодим магниттеріндегі NE-50 KW синхронды генераторы таңдалуы мүмкін.

Гидравликалық жүйенің алдын ала есептері үшін ТлЭС-ның орналасу тереңдігіндегі толқынның биіктігін 1 метрге тең, ал гидроцилиндрлердің соташығының ең көп жүрісі де 1 метрге тең деп аламыз. Соташықтың бір жаққа жүру уақыты – 0.35 с., гидросорғылар соташығының орташа жылдамдығы секундына $v=2.86$ метрге тең болуы тиіс. Толқындар әсерінің жүктемесі үш гидросорғымен (іс жүзінде 6) қабылданады деп қабылдай отырып (артығымен) бір гидроцилиндрге келетін күшті анықтаймыз:

$$F = \frac{N}{3v} = \frac{50000}{3 \times 2.87} = 5807 H$$

$p = 0.5$ Мпа тең гидрожүйедегі қысым кезінде, гидроцилиндрдің диаметрі болжалды түрде мынаған тең

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot F}{\pi \cdot p}} = 0.122 \text{ м.}$$

Арынды магистральдің бойымен гидроцилиндрден гидромоторға түсетін жұмыс сұйықтығының шығыны мына арақатынаспен анықталады:

$$Q = V / t = \frac{\pi \cdot d^2}{4 \cdot 0.35} = 0.033 \text{ м}^3 / \text{с}$$

Гидромотордың жұмыс көлемін мына формула бойынша анықтаймыз:

$$V = \frac{Q \cdot 30}{\pi \cdot n} = \frac{0.033 \cdot 30}{314} = 1.624 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

Сайып келгенде өнімділігі минутына 60 литр жұмыс көлемі 1600 см³ тістегіретті гидромоторды таңдауға болады.

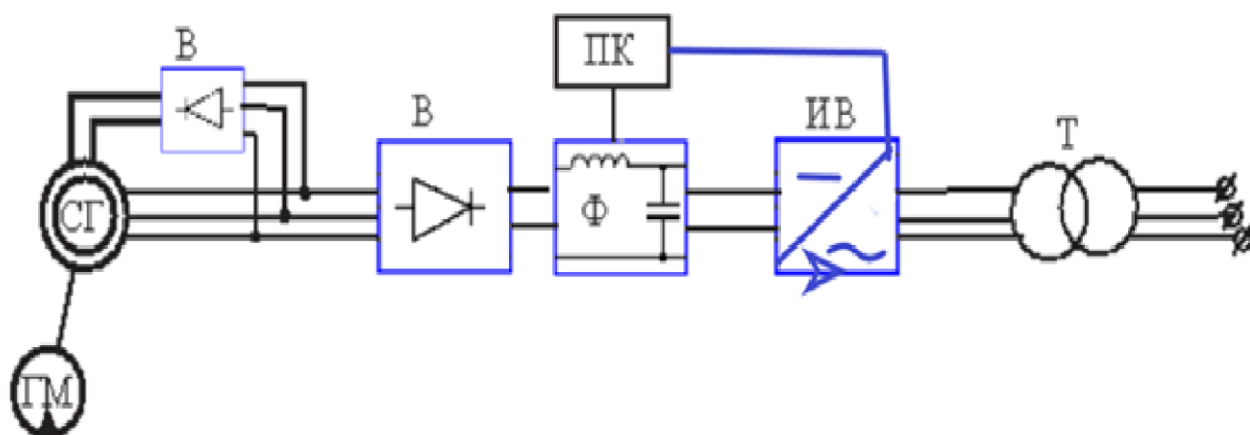
4.5 Электр энергиясын туындату жүйесіне арналған электр машинасын таңдау

ТлЭС-да электр энергиясын туындату үшін түрлі электр машиналары пайдаланылуы мүмкін. Қажетті қуаттағы, пайдалануда, күні мен пайдалы әсер коэффициенті жоғары сенімді электр генераторды таңдау толқын энергетикасы проблемаларын шешуде өзекті әрі көпнұсқалы міндет болып табылады. Бұл ретте толқын энергетикасындағы электр машиналарының жұмыс істеу шарттары атап айтқанда стохастикалық сыртқы әсердің ерекшеліктері бойынша жел электр станциялары генераторларының жұмыс жағдайына ұқсас екенін атап көрсеткен жөн. Осыған орай ТлЭС генераторын таңдау үшін жел энергетикасында генераторларды талдау нәтижелерін пайдаланамыз.

Қазіргі кезде нарықта қолжетімді жел генераторларының аса маңызды саналуан түрлері бар, олар [106] толығырақ сипатталған. Қысқа тұйықталған индукциялық машина (SCIM) жел генераторларының тұрақты жылдамдығы үшін пайдаланылатын барлық басқа электр машиналары арасында жақсы мәлім. Ол жел генераторының роторымен жалғанған, ал статор конденсатор батареясының көмегімен торшамен тікелей жалғанған. Машинаның бұл түрінің кейбір кемшіліктері бар, атап айтқанда энергияны түрлендіру жүйесі кезінде оның тиімділігі төмен, берілістер қорабы аса жоғары қызмет көрсетуді, активті

және реактивті қуатты бақылаудың ең аз мүмкіндігін қажет етеді, сондай-ақ SCIMs жүйесінің аса жоғары механикалық жүктемесі болады. Қосарлы қоректендіруі бар синхронды емес машина (DFIM) [107] орнатылған жел турбиналық жүйенің шамамен 50 % бірге жел турбиналарында қолданылатын аса кең қолданылатын машиналар болып табылады. Осы машиналарды айнымалы жылдамдық технологиясы үшін қолдану жетектегі механикалық жүктеменің азаюына және қуаттың ауытқуларына әкеледі, сондай-ақ қуаттың шығындарын азайтады. DFIM жағдайында желдің жоғары жылдамдығы кезеңде SCIM-мен салыстырғанда жел энергиясымен тұтылатын қуат қадамды басқарудың көмегімен шектелуі мүмкін. DFIM-нің механикалық жүктемені азайту, жылдамдықты ретке келтіру әдісін қолданып, ең көп қуатты қадағалаудың көп қабілеті және активті және реактивті қуатты басқаруда үлкен икемділік секілді көптеген артықшылықтары бар. Алайда қосарлы қоректендіруі бар синхронды емес машиналарда щеткалар қолданылады, бұл сенімділікті ең аз деңгейге келтіреді және қосымша қызмет көрсетуді талап етеді. Тікелей жетегі бар синхронды машиналар (DDSM) қосарлы қоректендіруі бар синхронды емес машиналарға ұқсас; оларда DFIM-дегі секілді, DDSM-нің мультипликаторсыз жұмыс істей алатынын қоспағанда, кейбір артықшылықтары бар. Қосарлы қоректендіруі бар щеткасыз индукциялық машина (BDFIM) автономды қолдану үшін DFIM-нің баламасы ретінде пайда болды. BDFIM-нің негізгі артықшылығы қызмет көрсетуді тиісті түрде азайта отырып, щеткалардың жоқтығында, ал статордың орамаларының тікелей жалғанымы болдырмау үшін жеке екі полюсі болады.

Жүргізілген талдау нәтижелері бойынша ҚТлЭС туындату жүйесінде инверторы және аралық контуры бар синхронды генераторды пайдалануды ұсынамыз. 4.12 суретте электр энергиясын туындату жүйесінің схемасы ұсынылған. Мұнда ГМ – гидромотор, СГ – синхронды генератор, В – түзеткіш, Ф – Сүзгі, ПК – өнеркәсіптік контроллер, ИВ – инвертор, Т – трансформатор.



Сурет 4.12 – Гидродинамикалық ҚТЭС туындату жүйесі

Синхронды генератордың роторы гидромотормен айналады. Синхронды генератор тұрақты токтың аралық контуры немесе тұрақты кернеу және

инвертор арқылы тұтынушының айнымалы тогының үш фазалы электр желісіне жалғанады. Контроллер сүзгі арқылы генератордың тогына қарай инверторды басқарады. Трансформатор тұтынушының желісіндегі кернеуді тұрақтандырады. Туындатудың осындай, бірақ гидромотордың орнынатарату механизмі бар жүйесі жаңартылатын энергетиканың басқа көздерінде пайдаланылуы мүмкін.

ҚОРЫТЫНДЫ

1. Толқындық энергияны электр энергиясына айналдырудың жаңа технологиясына негізделген жаңа суасты қалқымалы толқын электр станциясының негіздемесі мен конструкциясы келтірілген.
2. ҚТлЭС-ің жұмыс моделі құрылды және оның функционалдығын растайтын сынақтар өткізілді.
3. Компьютер көмегімен ТлЭС жобалау параметрлерін сандық есептеуге арналған құрал жасалды.
4. Негізгі манипулятордың толқындық энергия түрлендіргішінің параметрлері зерттеліп, таңдалды.
5. Толқындардың динамикасына қарамастан ҚТлЭС тиімді жұмыс істеуін қамтамасыз ету үшін қалтқының массасын басқаруға мүмкіндік беретін қалтқысыз конструктор ұсынылады.
6. Қалқымалы және су асты ҚТлЭС үшін автоматтандырылған басқару жүйесінің құрылымы мен параметрлері зерттеліп, таңдалды.
7. Гидродинамикалық қуат алу жүйесі таңдалды.
8. ҚТлЭС су асты үшін электр энергиясын өндірудің басқарылатын жүйесі құрылды.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 Wong K.V. Recommendations for Water-Energy Nexus Problems // ASME. Energy Resour. Technol. – 2014. – Vol. 136(3). – P. 27-31.
- 2 Barstow S., Mørk G., Mollison D., Cruz J. The wave energy resource // In book: Ocean wave energy. – Berlin: Springer, 2008. – P. 93-132.
- 3 Muetze A., Vining J.G. Ocean Wave Energy Conversion - A Survey // Mater. 40st conf. of the 2006 IEEE Industry Applications IAS annual Meeting. – Tampa, 2016. – P. 17-29.
- 4 Crus J. Ocean waves energy. – Berlin: Springer. 2008. – 415 p.
- 5 Babarit A. Ocean Wave Energy Conversion: Resource, Technologies and Performance. – Amsterdam: ISTE Press – Elsevier, 2018. – 262 p.
- 6 Falcão A.F. Modelling of Wave Energy Conversion // Journal & Books, Elsevier. – 2017. – Vol. 78. – P. 1188-1207.
- 7 Falcão A.F. Wave energy utilization: A review of the technologies // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2010. – Vol. 14, №3. – P. 899-918.
- 8 Muliawan M.J., Gao Z., Moan T., Babarit A. Analysis of a Two-Body Floating Wave Energy Converter With Particular Focus on the Effects of Power Take-Off and Mooring Systems on Energy Capture // Journal of Offshore Mechanics and Arctic Engineering. – 2013. – Vol. 135. – P. 317-328.
- 9 Pham C.B., Yeo S.H., Yang G., Kurbanhusen M.S., Chen I-M. Force-closure workspace analysis of cable-driven parallel mechanisms // Mech. Mach. Theory. – 2006. – Vol. 41. – P. 53-69.
- 10 Gouttefarde M., Gosselin C.M. Analysis of the wrench-closure workspace of planar parallel cable-driven mechanisms // IEEE Trans. Robot. – 2006. – Vol. 22. – P. 434-445.
- 11 Diao X., Ma O. Force-closure analysis of general 6-DOF cable manipulators // Proc. Internat. conf. on Intelligent Robots and Systems. – San Diego, 2007. – P. 3931-3936.
- 12 Behzadipour S., Khajepour A. Stiffness of cable-based parallel manipulators with application to stability analysis // J. Mech. Des. – 2006. – Vol. 128. – P. 303-310.
- 13 Pat. WO/2015/016692. Platform robot manipulator / K. Sholanov; publ. 05.02.15.
- 14 A decade of progress toward a clean energy future // <https://environmentamerica.org/feature/ame/renewables-rise-2020>. 24.11.2019.
- 15 Energy Information Administration // <https://www.eia.gov/>. 24.04.2018.
- 16 Pyper J. No longer a Novelty, Clean Energy Technologies Boom All Across USA // gtm: Newsletter 20.07.2018.
- 17 Bendfeld S., Balluff S., Krauter S. Green energy from the ocean: an overview of economic efficiency and reliable measurement systems // Proc. internat. conf. on research and application of renewable energy sources (ICRERA). – Palermo, 2015. – P. 375-378.

18 Mei C.C., Stiassnie M., Yue D.K.-P. Theory and application of ocean surface waves // Advanced Series on Ocean Engineering. – 2005. – Vol. 23. – P. 1456-1463.

19 Репин К.К. Волновые ГЭС (WHPP) – обзор мирового опыта использования // Строительство уникальных зданий и сооружений. – 2013. – №7(12). – С. 38-48.

20 Elistratov V.V. Electrical Energy Sector Overview // Wind Energy International 2011/2012/ WWEA 2011. – Bonn, 2012. – P. 253-256.

21 Corsatea T.D., Magagna D. Overview of European innovation activities in marine energy technology: reports. – Luxembourg: Publications office of the european Union, 2014. – 60 p.

22 Salter S.H. Wave power // Nature. – 1974. – Vol. 249(5459). – P. 720-724.

23 Thorpe T.W. A brief review of wave energy: technical report. – Oxfordshire, 1999. – 200 p.

24 Twidell J., Weir A.D., Weir T. Renewable Energy Resources. – San-Francisco: Taylor and Francis, 2006. – 601 p.

25 Pelc R., Fujita R.M. Renewable energy from the ocean // Mar. Policy. – 2002. – Vol. 26(6). – P. 471-479.

26 Power buoys. The Economist, 19 May 2001 // <https://www.economist.com/node/623883>. 27.01.2018.

27 Leijon M., Danielsson O., Eriksson M. et al. An electrical approach to wave energy conversion // Renew. Energy. – 2006. – Vol. 7. – P. 1309-1319.

28 EMEC: European Marine Energy Centre Ltd – Wave Energy Developers. Available from // http://www.emec.org.uk/wave_energy_developers.asp. 27.01.2018.

29 McCormick M.E. Ocean Wave Energy Conversion. – NY.: Wiley, 2007. – 256 p.

30 Ocean Energy Technology Overview // <http://large.stanford.edu/courses/2013/ph240/lim2/docs/44200.pdf>. 27.01.2018.

31 Falnes J. Ocean Waves and Oscillating Systems. – Cambridge: Cambridge University Press, 2002. – 288 p.

32 Sorensen H. New Energy Externalities Developments for Sustainability/ Sixth Framework Programme Report on technical specification of reference technologies (wave and tidal power plant):. – Brussels, 2008. – 59 p.

33 Twidell J., Weir A.D. Renewable Energy. – Ed. 2nd. – San-Francisco: Taylor and Francis, 2006. – 601 p.

34 Rahman A.A., Khan K.A. The Present Situation of the Wave Energy in Some Different Countries of the World // Global Journal of Researches in Engineering Electrical and Electronics Engineering. – 2013. – Vol. 2, Issue 1. – P. 89-95.

35 Alok Jha. Making waves: UK firm harnesses power of the sea in Portugal // The Guardian. – 2008, september. – 25.

36 Дорош И. Десятка самых крупных объектов возобновляемой энергетики // Энергосовет. – 2011. – №5(18). – С. 58-61.

- 37 Тарасов А.В., Топаж. Г.И. Обоснование оптимальных параметров гидроагрегатов малых ГЭС // Гидротехническое строительство. – 2010. – №1. – С. 27-30.
- 38 Бальзанников М.И., Елистратов В.В. Возобновляемые источники энергии. Аспекты комплексного использования. – Самара: ООО «Офорт», СамГАСУ, 2008. – 331 с.
- 39 Васильев Ю.С. и др. Возобновляемые источники энергии и гидроаккумуляция: учебное пособие. – СПб.: СПбГТУ, 1995. – 102 с.
- 40 Clément A., McCullen P. et al. Wave energy in Europe: current status and perspectives // *Renew. Sust. Energy Rev.* – 2002. – Vol. 6(5). – P. 405-431.
- 41 OPT Powerbuoy // <http://tinyurl.com/oceanpt/>. 12.06.2019.
- 42 Pelamis Wave // <http://www.pelamiswave.com>. 14.08.2019.
- 43 Aquamarine Power Oyster // <http://tinyurl.com/cn9k4k>. 27.09.2018.
- 44 Baker N.J., Mueller M.A. Direct drive wave energy converters (in French) // *Revue des Energies Renouvelables.* – 2001. – Vol. 4(2). – P. 1-7.
- 45 Archimedes Wave Swing // <http://tinyurl.com/archws1>. 25.11.2017.
- 46 O’Sullivan D.L., Lewis T. Electrical machine options in offshore floating wave energy converter turbogenerators // In proceed. of the Tenth World Renewable Energy Congress (WREC X). – Istanbul, 2008. – P. 1102-1107.
- 47 Tapia A., Tapia G., Ostolaza J.X., Saenz J.R. Modeling and control of a wind turbine driven doubly fed induction generator // *IEEE Trans. Energy Convers.* – 2003. – Vol. 18(2). – P. 194-204.
- 48 Thresher R.W., Dodge D.M. Trends in the evolution of wind turbine generator configurations and systems // *Wind Energy.* – 1998. – №1(s1). – P. 70-86.
- 49 Curran R., Gato L.M. The energy conversion performance of several types of wells turbine designs // *J. Power and Energy.* – 1997. – Vol. 211(A2). – P. 133-145.
- 50 Torresi M., Camporeale S. Wave power conversion // *Int. J. Therm. Sci.* – 2001. – Vol. 40(7). – P. 681-689.
- 51 Salter S.H., Taylor J.R., Caldwell N.J. Power conversion mechanisms for wave energy // *J. Engineering for the Maritime Environment.* – 2002. – Vol. 216(M1). – P. 1-27.
- 52 Strippoli P.D., Pascazio G. Accurate numerical simulation of a high solidity wells turbine. *Renew // Energy.* – 2008. – Vol. 33(4). – P. 735-747.
- 53 Henderson R. Design, simulation, and testing of a novel hydraulic power take-off system for the Pelamis wave energy converter // *Renew. Energy.* – 2006. – Vol. 31(2). – P. 271-283.
- 54 Pat. /06/00187. Wave energy: technology transfer & generic & Recommendations / Scarr D., Kollek R., Collier D. 25.05.2001.
- 55 Guidelines on design and operation of wave energy converters: Technical report / Det Norske Veritas. – London: The Carbon Trust, 2005. – 209 p.
- 56 Taylor J. Ocean wave energy: current status and future perspectives. – Berlin: Springer, 2008. – 1198 p.

57 Artemis Intelligent Power Ltd – Digital Displacement Wind Turbine Transmissions // [http:// www.artemisip.com/appli_renewable.htm](http://www.artemisip.com/appli_renewable.htm). 22.12.2018.

58 Payne G.S., Kiprakis A.E., Ehsan M. et al. Efficiency and dynamic performance of Digital Displacement hydraulic transmission in tidal current energy converters // *J. of Power and Energy*. – 2007. – Vol. 221(A2). – P. 207-218.

59 Anon. Artemis Intelligent Power Ltd – Marine Energy // <http://www.artemisip.com/MarineEnergy.htm>. 22.12.2018.

60 Babarit A., Mouslim H., Guglielmi M., Clément A.H. Simulation of the SEAREV wave energy converter with a by-pass control of its hydraulic power take off // In proceed. of the Tenth World Renewable Energy congress (WREC X). – Glasgow, 2009. – P. 1004-1009.

61 Weinstein A., Fredrikson G., Parks M.J. et al. Aqua BuOY-the offshore wave energy converter numerical modeling and optimization // *Proceed. conf. Ocean '04 - MTS/IEEE Techno-Ocean '04: Bridges across the Oceans*. – Kobe, 2004. – Vol. 1. – P. 1854-1859.

62 Falcão A.F. Modelling and control of oscillating-body wave energy converters with hydraulic power take-off and gas accumulator // *Ocean Engng*. – 2007. – Vol. 11. – P. 2021-2032.

63 Danielsson O. *Ocean wave energy: current status and future perspectives*. – Berlin: Springer, 2008. – 753 p.

64 Mueller M.A. Electrical generators for direct drive wave energy converters // *IEE Proc. Gener. Trans. Distrib.* – 2002. – Vol. 149(4). – P. 446-456.

65 Iwabuchi N., Kawahara A., Kume T. et al. A novel high-torque reluctance motor with rare-earth magnet // *IEEE Trans. Ind.* – 1994. – Vol. 145(6). – P. 604-614.

66 Harris M.R., Pajooman G.H. et al. The problem of power factor in VRPM (transverse-flux) machines // In proceed. of the *Electrical Machines and Drives: eighth internat. conf.* – California, 1997. – P. 386-390.

67 Baker N.J., Mueller M.A., Brooking P.R. Electrical power conversion in direct drive wave energy converters // In proceed. of the *European Wave Energy conf.* – Cork, 2003. – P. 197-204.

68 Mueller M.A., Baker N.J. Direct drive electrical power take-off for offshore marine energy converters // *J. Power and Energy*. – 2005. – Vol. 219(A3). – P. 223-234.

69 Leijon M., Bernhoff H., Agren O. et al. Multiphysics simulation of wave energy to electric energy conversion by permanent magnet linear generator // *IEEE Trans. Energy Convers.* – 2005. – Vol. 20(1). – P. 219-224.

70 Leijon M., Danielsson O., Eriksson M. et al. An electrical approach to wave energy conversion // *Renew. Energy*. – 2006. – Vol. 31. – P. 1309-1319.

71 Polinder H., Damen M.E.C., Gardner F. Design, modelling and test results of the AWS PM linear generator // *Euro. Trans. Electr. Power*. – 2005. – Vol. 15. – P. 245-256.

72 Brooking P.R.M., Mueller M.A., Baker N.J. et al. Power conversion in a low speed reciprocating electrical generator // *Proceed. of the internat. conf. on Electrical machines*. – Bruges, 2002. – P. 288.

- 73 Korde U.A. Efficient primary energy conversion in irregular waves // Ocean Engng. – 1999. – Vol. 26(7). – P. 625-651.
- 74 Budal K., Falnes J. A resonant point absorber of ocean-wave power // Nature. – 1975. – Vol. 2(56). – P. 478-479.
- 75 Korde U.A. On control approaches for efficient primary energy conversion in irregular waves // Proceed. conf. of the OCEANS '98. – Nice, 1999. – P. 1427-1431.
- 76 Korde U.A. Control system applications in wave energy conversion // Proceed. conf. of the OCEANS 2000 MTS/IEEE conf. and Exhibition, Providence. – Rhode Island, 2000. – P. 198-203.
- 77 Budal K., Falnes J. Interacting point absorbers with controlled motion // In book: Power from sea waves. – London: Academic Press, 1980. – P. 381-399.
- 78 Babarit A., Duclos G., Clément A.H. Comparison of latching control strategies for a heaving wave energy device in random sea // Appl. Ocean Res. – 2004. – Vol. 26(5). – P. 227-238.
- 79 Falcão A.F.O. Phase control through load control of oscillating-body wave energy converters with hydraulic PTO system // Ocean Engineering. – 2008. – Vol. 3. – P. 358-366.
- 80 Korde U.A. Control system applications in wave energy conversion // Proceed. conf. of the OCEANS 2000 MTS/IEEE conf. and Exhibition, Providence. – Rhode Island, 2000. – P. 211-231.
- 81 Drew B., Plummer A.R., Sahinkaya M.N. A review of wave energy converter technology // Journal of Power and Energy. – 2009. – Vol. 223, Issue 8. – P. 887-901.
- 82 Bezrukov Yu.F. Oceanology. – Simferopol, 2006. – Part 2. – 123 p.
- 83 Stewart D. A platform with six degrees of freedom // Journal of Power and Energy. – 1965. – Vol. 180, №15. – P. 371-385.
- 84 Pat. WO/2018/147716. Power plants (variants) on the basis of parallel manipulator / Sholanov K.S.; publ. 16.08.18.
- 85 Pat. WO/2017/003273. Wave electric power station on the basis of a parallel manipulator / Sholanov K.S.; publ. 05.01.17.
- 86 Sholanov K.S., Tokhmetova K. Float converter model for wave power sources // EAI Endorsed Transactions on Energy Web. – 2017. – Vol. 4(13) – P. 49-61
- 87 Csaki F. Nonlinear, Optimal and Adaptive Systems. – Budapest, 1972. – 423 p.
- 88 Quaschnig V. Understanding Renewable Energy Systems. – London: Earthscan, 2012. – 429 p.
- 89 Popov E.N., Makhin N.N., Sheremetov B.B. Fundamentals of the theory of movement of underwater vehicles. – L.: Shipbuilding, 1976. – 216 p.
- 90 Faltinsen O. Sea Loads on Ships and Offshore Structures. – Cambridge: Cambridge University Press, 1993. – Vol. 1. – 301 p.

- 91 Mansouri R., Hadidi H. Comprehensive study on the linear hydrodynamic analysis of a truss spar in random waves // World Acad. Sci. Eng. Technol. – 2009. – Vol. 53. – P. 930-942.
- 92 Korotkin A.I. Attached vessel masses:directory. – L.: Shipbuilding, 1986. – 446 p.
- 93 Справочник по теории корабля: в 3 т. / под ред. Я.И. Войткунского. – Л.: Судостроение, 1985. – Т. 1. – 764 с.
- 94 Boroday I.K., Morenschildt V.A. et al. Applied problems of the dynamics of ships in the waves. – L.: Shipbuilding, 1989. – 164 p.
- 95 Horoub M.M., Hassan M., Hawwa M.A. Workspace analysis of a Gough-Stewart type cable marine platform subjected to harmonic water waves // Mechanism and Machine Theory. – 2018. – №120. – P. 314-325.
- 96 Fu K., Gonzalez R., Lee C.S.G. Robotics: Control, Sensing, Vision and Intelligence. – NY.: McGraw-Hill, 1987. – 459 p.
- 97 Merlet J.P. Parallel Robots. – Dordrecht: Springer Publishers, 2006. – 332 p.
- 98 Sholanov K.S., Isayeva Zh. Submerged float wave electric power station on the basis of the manipulator converter // International journal of renewable energy research. – 2019. – Vol. 9, №3. – P. 1376-1387.
- 99 ИсаеваЖ.Р., Шоланов К.С. Управляемая поплавоквая волновая электростанция // Вестник ПГУ. – 2019. – №4. – С. 195-206.
- 100 Kofoed J.P., Tedd J., Friis-Madsen E., Nimskov M. Influence of buoyancy control efficiency on energy generation by the Nissum Bredning Wave dragon prototype // Proceed. of the seventeenth internat. conf. on offshore and polar engineering. – Lisbon, 2007. – P. 497-504.
- 101 Boström C., Waters R., Lejerskog E. et al. Investigation of a wave energy Converter associated with a nonlinear load // IEEE Journal of Oceanic Engineering. – 2009. – Vol. 34(2). – P. 123-127.
- 102 Sail T.K., Reddy K.A. Fuzzy applications in a power station // International Journal on Soft Computing. – 2015. – Vol. 6, №2. – P. 225-235.
- 103 Ульянов С.В. и др. Интеллектуальное роботное управление: технологии мягких вычислений. – М.: ВНИИГеосистем, 2011. – 408 с.
- 104 Каспийское море // <http://stepnoy-sledopyt.narod.ru/geologia>. 25.12.2018.
- 105 Lewis A., Estefen S. Ocean Energy // Renewable Energy and Climate Change Mitigation: special report. – Cambridge: Cambridge University Press, 2011. – P. 497-534.
- 106 Mazhar H., Baloch H., Wang J., Ghulam S. A Review of the State of the Art Control Techniques for Wind Energy Conversion System // International Journal of Renewable Energy Research. – 2016. – Vol. 6, №4. – P. 1459-1523.
- 107 Kaloi G.S., Wang J., Baloch H. Active and reactive power control of the doubly fed induction generator based on wind energy conversion system // Energy Reports. – 2016. – №2. – P. 194-209.

ҚОСЫМША А

Бастапқы түрлендіргіштің МATHCAD энергиясын ептеудегі бағдарламасы

$(N := 5000) \quad \nu := 3 \quad L := 1 \quad a := 2 \cdot \sqrt{3} \quad b := a \quad H := 3$

$$d_1 := \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ H \\ 1 \end{pmatrix} \quad d_2 := \begin{pmatrix} a \cdot \frac{\sqrt{3}}{2} \\ \frac{a}{2} \\ H \\ 1 \end{pmatrix} \quad d_3 := \begin{pmatrix} 0 \\ a \\ H \\ 1 \end{pmatrix}$$

1. Определяем площадь паруса

$\eta := 1 \quad \rho := 1.377$

$$S := \frac{2 \cdot N}{\eta \cdot \rho \cdot \nu^3}$$

$S = 2.69 \times 10^3$

2. Определяем объем тора. Вес воздуха G.

$R := 3 \quad r := 0.5 \quad G_1 := 190 \quad \rho_{O_1} := 3$

$$V := 2 \cdot \pi^2 \cdot R \cdot r^2$$

$V = 14.804$

3. Вес мачты 1000. Вес мачты с парусом 1190, вес платформы 100. Вес рабочего органа 1290.

$G_2 := 100000$

4. Находим положение с.м.

$SO_1 := 1.5 \quad SO_2 := 1.5 \quad L_2 := 2.5$

5. Для NASA-2210 коэфф.с.

$c_1 := 0.26 \quad c_2 := 1.98$

6. Определяем угловую скорость

$$\omega := \frac{\nu}{L_2 + SO_1} \quad \omega = 0.75$$

7. Принимаем угол отклонения

$$\beta := \frac{\pi}{10}$$

8. Определяем время прямого хода

Сурет А.1 – Исходные данные

$$T_m := \frac{2 \cdot \beta}{\omega} \quad T = 0.838$$

9. Schitaem max yskorenie

$$t_1 := \frac{T}{2} \quad \varepsilon_m := \frac{2 \cdot \omega}{t_1} \quad \varepsilon = 3.581$$

10. Vichislaem ravnie prirashenia ygla povorota.

$$\Delta\phi := \frac{0.5 \cdot \beta}{10} \quad \Delta\phi = 0.016$$

11. Vichislaem ravnie prirashenia yglovoi skorosti.

$$\Delta\omega := \frac{\omega}{10} \quad \Delta\omega = 0.075$$

12. V rabochei tochke c.m. imeet naibolshee yskorenie.

$$X_1 := \varepsilon \cdot L_2 \quad X_1 = 8.952$$

$$X_2 := -\omega^2 \cdot L_2 \quad X_2 = -1.406 \quad k := 0$$

Nachalo pervogo cikla $i := 5$

$$j := 0..9 \quad k := 0..5$$

$$\alpha(k) := \frac{\pi}{10} \cdot k$$

$$A1(k) := \begin{pmatrix} \cos(\alpha(k)) & \sin(\alpha(k)) & 0 & \frac{-a}{2} \\ -\sin(\alpha(k)) & \cos(\alpha(k)) & 0 & -a \frac{\sqrt{3}}{6} \\ 0 & 0 & 1 & -H \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$A11(k) := \begin{pmatrix} \frac{\cos(\alpha(k))}{\cos(\alpha(k))^2 + \sin(\alpha(k))^2} & \frac{\sin(\alpha(k))}{\cos(\alpha(k))^2 + \sin(\alpha(k))^2} & 0 & \frac{3 \cdot a \cdot \cos(\alpha(k)) - \sqrt{3} \cdot a \cdot \sin(\alpha(k))}{6 \cdot \cos(\alpha(k))^2 + 6 \cdot \sin(\alpha(k))^2} \\ \frac{\sin(\alpha(k))}{\cos(\alpha(k))^2 + \sin(\alpha(k))^2} & \frac{\cos(\alpha(k))}{\cos(\alpha(k))^2 + \sin(\alpha(k))^2} & 0 & \frac{3 \cdot a \cdot \sin(\alpha(k)) + \sqrt{3} \cdot a \cdot \cos(\alpha(k))}{6 \cdot \cos(\alpha(k))^2 + 6 \cdot \sin(\alpha(k))^2} \\ 0 & 0 & 1 & H \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Сурет А.2 – Вычисление перемещения волн

$$dm1(k) := A1(k) \cdot d_1$$

$$dm1(0) = \begin{pmatrix} -1.732 \\ -1 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$dm2(k) := A1(k) \cdot d_2$$

$$dm2(0) = \begin{pmatrix} 1.268 \\ 0.732 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$$dm3(k) := A1(k) \cdot d_3$$

$$dm3(0) = \begin{pmatrix} -1.732 \\ 2.464 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Nachalo 2-go cikla

1. Vichislaem prirashenie ygla

$$\phi1(i) := i \cdot \Delta\phi$$

2. Prirashenia koordinat centra mass

$$X12(i) := -L_2 \cdot (1 - \cos(\phi1(i)))$$

$$X11(i) := -L_2 \cdot \sin(\phi1(i))$$

3. Tekyshee znachenie vektori sostojania

$$\omega1(i) := \omega - i \cdot \Delta\omega$$

Сурет А.3 – Вычисление преращения угла центра масс

$X22(i) := L_2 \cdot \omega1(i) \cdot \sin(\phi1(i))$
 $X21(i) := L_2 \cdot \omega1(i) \cdot \cos(\phi1(i))$

$\omega1(i) =$
0.75
0.675
0.6
0.525
0.45
0.375
0.3
0.225
0.15
0.075

$X22(i) =$
0
0.027
0.047
0.062
0.071
0.074
0.071
0.062
0.047
0.026

$X21(i) =$
1.875
1.687
1.499
1.311
1.123
0.935
0.747
0.559
0.372
0.186

4. Znachenia sostavlaushix sil reakcii PO
 $m_w := 10000$ $SS := 1.5$ $J_1 := 200 \cdot 30^2$
 massa par. ravna 30

$R_{Y0} := -m \cdot X_1 + \frac{c_1 \cdot \rho \cdot S \cdot v^2}{2}$
 $R_{Z0} := -m \cdot X_2 + \frac{c_2 \cdot \rho \cdot S \cdot v^2}{2} - G_1$
 $MR_0 := -J_1 \cdot \epsilon + (c_2 \cdot OO_1 + c_1 \cdot OO_1) \cdot \rho \cdot S \cdot v^2 \cdot \frac{1}{2} - SS \cdot R_{Y0}$

$R_{Y0} = -8.519 \times 10^4$
 $R_{Z0} = 4.687 \times 10^4$
 $MR_0 = -4.048 \times 10^5$

5. Sili reakcii v tochke O1

$R_{Y(i)} := R_{Y0} + ((c_1 \cdot \cos(\phi1(i)) + c_2 \cdot \sin(\phi1(i)))) \cdot \Delta\phi \cdot \rho \cdot S \cdot v^2 \cdot \frac{1}{2}$
 $R_{Z(i)} := R_{Z0} + [-(c_1) \cdot \sin(\phi1(i)) + c_2 \cdot \cos(\phi1(i))] \cdot \rho \cdot S \cdot v^2 \cdot \frac{1}{2}$
 $MR(i) := MR_0 + SS \cdot [(R_{Y(i)}) \cdot \sin(\phi1(i)) - R_{Z(i)} \cdot \cos(\phi1(i))] \cdot \Delta\phi$

Сурет А.4 – Определяем силу точку Q1

$$RY10(k,i) := RY(i) \cdot \cos(\alpha(k))$$

$$M1_{k,i} := RY10(k,i)$$

RY(i) =

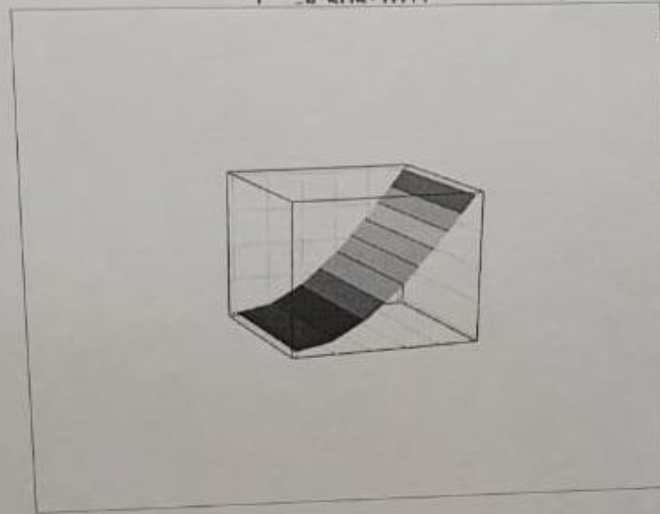
-8.512·10 ⁴
-8.512·10 ⁴
-8.511·10 ⁴
-8.51·10 ⁴
-8.509·10 ⁴
-8.508·10 ⁴
-8.507·10 ⁴
-8.507·10 ⁴
-8.506·10 ⁴
-8.505·10 ⁴

MR(i) =

-4.058·10 ⁵
-4.058·10 ⁵
-4.059·10 ⁵
-4.059·10 ⁵
-4.059·10 ⁵
-4.06·10 ⁵
-4.06·10 ⁵
-4.06·10 ⁵
-4.06·10 ⁵
-4.06·10 ⁵

RZ(i) =

4.29·10 ⁴
4.292·10 ⁴
4.295·10 ⁴
4.298·10 ⁴
4.301·10 ⁴
4.303·10 ⁴
4.306·10 ⁴
4.308·10 ⁴
4.311·10 ⁴
4.314·10 ⁴



M1

$$RX10(k,i) := RY(i) \cdot \sin(\alpha(k))$$

$$M2_{k,i} := RX10(k,i)$$

Сурет А.5 – Параметры угла расчета

ҚОСЫМША Б

Аквариумдағы ТлЭС сынағының видеосынан үзінді фрагмент

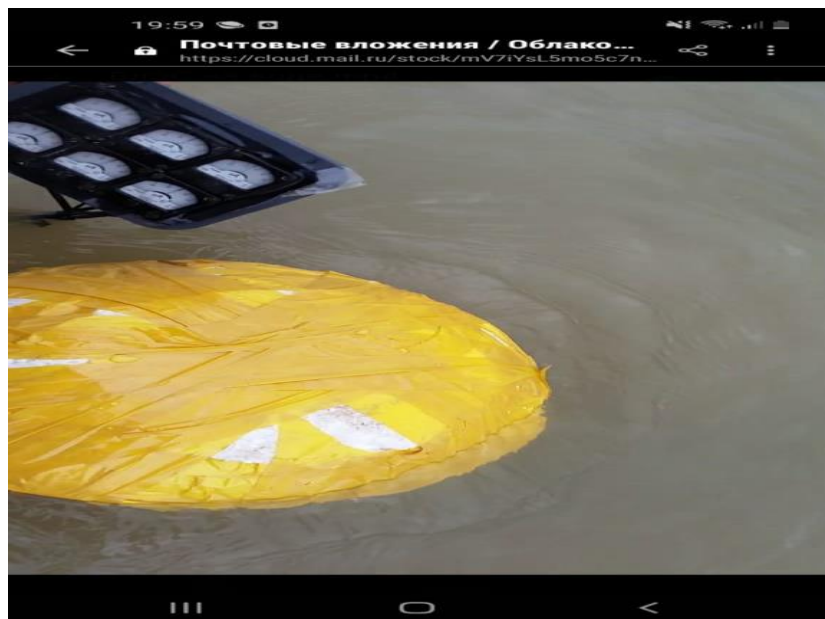


Сурет Б.1 – Аквариумдағы қалтқы және параллельді манирулятор

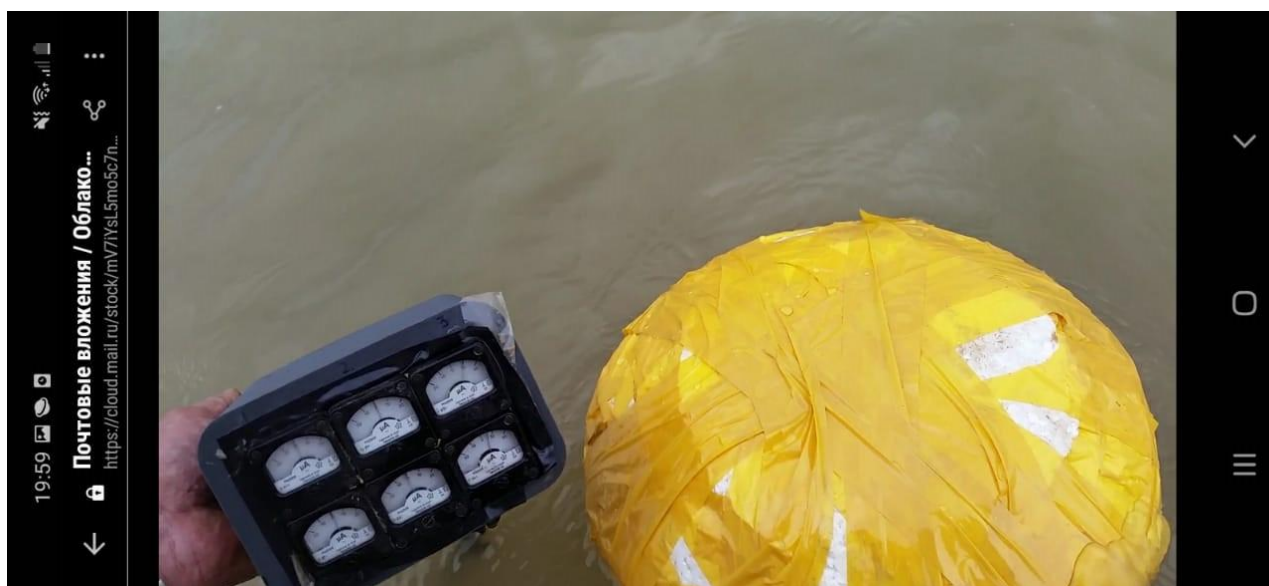


Сурет Б.2 – Амперметр өлшеу үстінде

Табиғи су қоймасын сынау видеосынан үзіндісі фрагмент



Сурет Б.3 – Су қоймасында көрніс



Сурет Б.4 – Амперметр мен қалтқының өлшеу үстінде

ҚОСЫМША В

SHOLKOR манипулятор трансформаторына арналған MATLAB-та есептеу алгоритмі

Исходные данные:

a – длина стороны равностороннего треугольника платформ (мм);

k – конструктивный коэффициент, для определения начальных длин соединительных звеньев;

$h_{i\max}$ ($i=4,7,8$) - максимальный ход штока гидроцилиндров.

Определяются длины соединительных звеньев (при ходе штока равном нулю):

Боковые ребра: $l_{04} = l_{07} = l_{08} = ka$;

Диагональные ребра: $l_{03} = l_{05} = l_{06} = a\sqrt{1+k^2}$.

Формируются исходные значения длин соединительных звеньев, т.е. длины соединительных звеньев в исходной конфигурации манипулятора по зависимости:

$$l_{Ni} = l_{0i} + h_{i\max} / 2 \quad (i=4,7,8)$$

При определении максимального хода штока диагональных соединительных звеньев исходят из того, чтобы в исходной конфигурации контур манипулятора, представляющий призму, оставался прямоугольным. Найдем максимальное значение хода штока, например, звена 5. Это значение действительно и для других звеньев 3 и 6.

$$l_{N5} = l_{N3} = l_{N6} = \sqrt{a^2 + l_{N4}^2}, \quad h_{5\max} = 2(l_{N5} - l_{05}), \quad h_{3\max} = h_{6\max} = h_{5\max}.$$

Определяются координаты трех узлов подвижной платформы относительно неподвижной системы координат связанной с неподвижной платформой в исходном положении:

$$x_{NA} = y_{NA} = 0; \quad z_{NA} = l_{N5}; \quad x_{NB} = a/2; \quad y_{NB} = a\sqrt{3}/2; \quad z_{NB} = l_{N8}; \quad x_{NC} = a; \quad y_{NC} = 0; \quad z_{NC} = l_{N7}.$$

$$x_{A2} = y_{A2} = 0, \quad z_{A2} = l_{N5}; \quad x_{B2} = a/2, \quad y_{B2} = a\sqrt{3}/2, \quad z_{B2} = l_{N8}; \quad x_{C2} = y_{C2} = 0, \quad z_{C2} = l_{N7}$$

Определяются координат неподвижных трех узлов и точек D_1, F_1, E_1 :

$$x_{C1} = y_{C1} = z_{C1} = 0; \quad x_{B1} = a/2, \quad y_{B1} = a\sqrt{3}/2, \quad z_{B1} = 0; \quad x_{A1} = a, \quad y_{A1} = z_{A1} = 0;$$

$$x_{D1} = a/2, \quad y_{D1} = z_{D1} = 0. \quad x_{B1} = a/2, \quad y_{B1} = a\sqrt{3}/2, \quad z_{B1} = 0;$$

$$x_{F1} = a/4, \quad y_{F1} = a\sqrt{3}/4, \quad z_{F1} = 0.$$

Определение начальных значений углов α_i .

Для соединительных звеньев граней в исходной конфигурации прямоугольной призмы углы отклонения звеньев от вертикали: $\alpha_4 = \alpha_7 = \alpha_8 = 0$.

Для диагональных соединительных звеньев (3, 5, 6) углы отклонения звеньев от вертикали в исходной конфигурации равны $\alpha_i = \arctg(a/l_{Ni})$ для $i=3=5=6$.

Формирование подпрограммы F1 (a, b, c, H, α) определения угла между сторонами треугольника, высоты по заданным сторонам через полупериметр, a, b, c - формальные параметры обозначают длины сторон треугольника, причем a - сторона, на который опускается перпендикуляр, длина перпендикуляра равна высоте треугольника H ; α - угол между сторонами a и b .

Текст подпрограммы

$$p = (a + b + c) / 2;$$

$$H = \frac{2}{a} \sqrt{p(p-a)(p-b)(p-c)};$$

$$\alpha = \arcsin(H / b).$$

Конец.

Формирование подпрограммы L($x, x1, y, y1, z, z1, l$)

Тест подпрограммы:

$$l = \sqrt{(x - x1)^2 + (y - y1)^2 + (z - z1)^2}$$

l - длина соединительного звена,

x, y, z - координаты верхней узловой точки,

$x1, y1, z1$ - координаты нижней узловой точки.

Вычисление координат точки C_2 и углов отклонения от вертикали звеньев 3, 6, 7.

Считывание значений h_i ($i=3-8$). Проверка $-h_{i_{\max}}/2 \leq h_i \leq h_{i_{\max}}/2$, если условие не выполняется, то проверка показаний датчиков перемещений.

Переменным $h1-h6$ присвоить значения равные разности показаний датчика перемещения в данный момент и значений, определенных на предыдущем этапе.

При первом вычислении длины звеньев равны исходным $l_i = l_{Ni}$ ($i=3-8$) в последующем длины звеньев равны длинам, вычисленным на предыдущем этапе.

Определяются длины соединительных звеньев (СЗ):

$$l_i = l_i + h_i, \text{ например, } l1 = l1 + h1$$

Вычисление по подпрограмме F1 ($a, l6+h6, l7+h7, H, \alpha$).

Программа определения двухгранного угла С

Рассматриваются 3 случая:

Случай 1, если $(l_6 + h_6) \cos \alpha > a / 2$

Вычисляется r, f по (5),

Вызывается подпрограмма
 $F1(16+h_6, a, l_3+h_3, H, \mu)$,
 Определяем lk, s – (8,9),
 Вызывается подпрограмма
 $F1(a\sqrt{3}/2, f, s, H, C)$
 Перейти к метке М
Случай 2, если $(l_6 + h_6)\cos \alpha = a/2$
 Присвоить
 $f = |\sqrt{(l_6 + h_6)^2 - a^2/4}|$,
 Вызов $F1(a\sqrt{3}/2, f, l_3 + h_3, H, C)$,
 Перейти к метке М
Случай 3, если $(l_6 + h_6)\cos \alpha < a/2$
 Определяется v, f по (5.2, 6.2),
 Вызов $F1(l_7 + h_7, a, l_3 + h_3, H, \chi)$,
 Определяется lk, s по (9.2, 10.2),
 Вызов $F1(a\sqrt{3}/2, f, s, H, C)$,
 Перейти к метке М
 МЕТКА М
 Определяется из (1) угол ,
 $\theta_6 = \text{arctg}(\text{tg} \alpha \cdot \cos C)$.
Вычисления по звену 3
 Вызов $F1(a, l_3 + h_3, l_6 + h_6, H, \alpha 1)$,
 Выполнение алгоритма по 5 случаям
 Присвоить $g = (l_3 + h_3)\cos \alpha 1$,
1 случай если $\alpha 1 = \pi/2$
 Вычисляется r, f , по формулам (17), (18,19),
 Вызов $F1(l_6 + h_6, a, l_3 + h_3, H, \alpha 2)$,
 Вычисляется m, l , по формулам (18,19),
 Вызов $F1(a\sqrt{3}/2, s, f, H, B)$,
 Перейти к метке М1
2 случай $\alpha 1 < \pi/2, g = a$
 Вычисляется r, f , по формулам (17.2), (18.2),
 Вызов $F1(a\sqrt{3}/2, s, f, H, B)$,
 Перейти к метке М1.
3 случай $\alpha 1 < \pi/2, a/2 < g < a$
 Вычисляется r, f по (17.3, 18.3),
 Вызов $F1(l_3 + h_3, a, l_7 + h_7, H, \chi)$,
 Вычисляется v , по (21.3, 22.3)
 Вызов $F1(a\sqrt{3}/2, s, f, H, B)$

Перейти к метке М1

4 случай $\alpha_1 < \pi/2, g = a/2$

Вычисляется f, B по (17.4.),

Вызов $F1(a\sqrt{3}/2, l_6 + h_6, f, H, B)$

Перейти к метке М1

5 случай $\alpha_1 > \pi/2$

Вычисляется r, f по (17.5, 18.5),

Вызов $F1(l_6 + h_6, a, l_7 + h_7, H, \chi)$,

Вычисляется v, s по (21.5, 22.5),

Вызов $F1(a\sqrt{3}/2, s, f, H, B)$,

Перейти к метке М1

Метка М1

Определяется из (13) угол,

$$\theta_3 = \text{arcctg}(-\text{tg} \alpha_1 \cdot \text{Cos} B)$$

Вычисления по звену 7

Вызов $F1(a, l_7 + h_7, l_6 + h_6, H, \alpha_2)$,

$A=C$.

Из (25) определяется угол

$$\theta_7 = \text{arcctg}(-\text{tg} \alpha_2 \cdot \text{Cos} A)$$

Определяются промежуточные переменные по формуле (29).

Вычисляются искомые величины по первой пирамиде по (30)

Вычисления для узла B_2 по звену 5.

Вызов $F1(a, l_5 + h_5, l_8 + h_8, H, \alpha_9)$,

Вызов $F1(l_5 + h_5, l_6 + h_6, a, H, \varphi)$,

Вычисление по формулам (38), (39), (40).

Преобразование по звену 8

Вызов $F1(a, l_8 + h_8, l_5 + h_5, H, \alpha_{10})$.

Определение параметров и координат по B

Вычисление по формулам (50), (51).

Проверка по уравнению (47).

Преобразование по звену 4

Вызов $F1(l_5 + h_5, l_4 + h_4, a, H, \alpha_{12})$.

Вычисление по формулам (57), (58).

Вычисление по формулам (65), (66), (68), (69).

Вычисление по подпрограмме для определения длин соединительных

звеньев:

$$L(x_{C2}, x_{B1}, y_{C2}, y_{B1}, z_{C2}, z_{B1}, l_3),$$

$$L(x_{A2}, x_{C1}, y_{A2}, y_{C1}, z_{A2}, z_{C1}, l_4),$$

$$L(x_{B2}, x_{C1}, y_{B2}, y_{C1}, z_{B2}, z_{C1}, l_5),$$

$$L(x_{C2}, x_{C1}, y_{C2}, y_{C1}, z_{C2}, z_{C1}, l_6),$$

$$L(x_{C2}, x_{A1}, y_{C2}, y_{A1}, z_{C2}, z_{A1}, l_7),$$

$$L(x_{B2}, x_{B1}, y_{B2}, y_{B1}, z_{B2}, z_{B1}, l_8)$$

ҚОСЫМША Г

Matlab-тағы Fuzzy Logic Toolbox-тағы толқындардың динамикасына
байланысты қалтқының массасын басқаруға арналған алгоритм

```
[System]
Name='Varm'
Type='mamdani'
Version=2.0
NumInputs=2
NumOutputs=1
NumRules=0
AndMethod='min'
OrMethod='max'
ImpMethod='min'
AggMethod='max'
DefuzzMethod='centroid'
```

```
[Input1]
Name='Yeigh_w'
Range=[0 1]
NumMFs=3
MF1='mf1':'trimf',[-0.416666666666667 0 0.416666666666667]
MF2='mf2':'trimf',[0.0833333333333333 0.5 0.916666666666667]
MF3='mf3':'trimf',[0.583333333333333 1 1.416666666666667]
```

```
[Input2]
Name='Date_a'
Range=[0 1]
NumMFs=3
MF1='mf1':'trimf',[-0.416666666666667 0 0.416666666666667]
MF2='mf2':'trimf',[0.0833333333333333 0.5 0.916666666666667]
MF3='mf3':'trimf',[0.583333333333333 1 1.416666666666667]
```

```
[Output1]
Name='Var_m'
Range=[0 1]
NumMFs=3
MF1='mf1':'trimf',[-0.416666666666667 0 0.416666666666667]
MF2='mf2':'trimf',[0.0833333333333333 0.5 0.916666666666667]
MF3='mf3':'trimf',[0.583333333333333 1 1.416666666666667]
[Rules]
```

ҚОСЫМША Д

Эксперименттік зерттеу нәтижелері видеосының үзінді фрагменті



Сурет Д.1 – Эксперимент жасауға дайын кезені



Сурет Д.2 – Эксперименттің құралдарына беріліп жатқан сипаттамасы



Сурет Д.3 – Қалқының үтіндегі сымсыз таратқыштан құралған өлшеу жүйесі



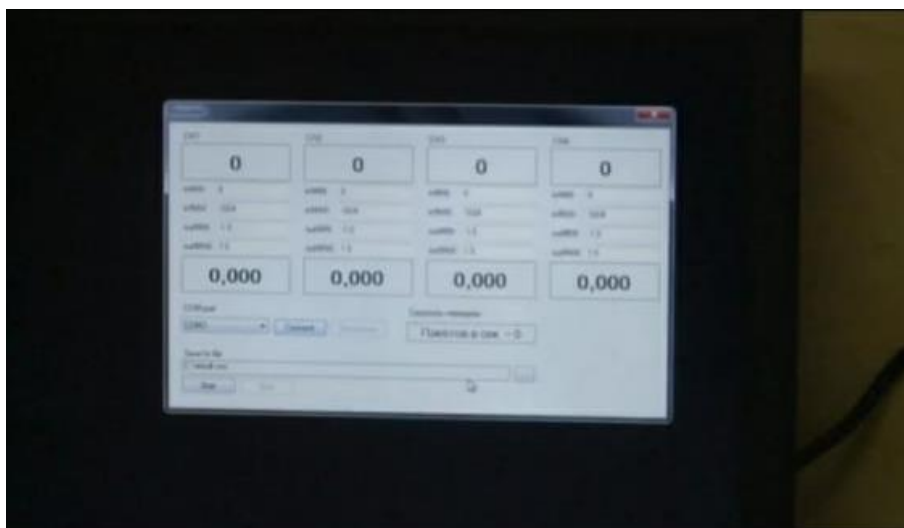
Сурет Д.4 – Шарға орнатылған акселерометр



Сурет Д.5 – Жасанды толқын



Сурет Д.6 – Жасанды толқынды беру кезені



Сурет Д.7 – Өлшеу есебін бастау



Сурет Д.8 – Эксперментте жасалынған нәтежелерін сақтау бағдарлама арқылы