

Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті

УДК 621.311.24

Қолжазба құқығында

МИРЗАБАЕВ БЕРИК ИСЛАМБЕКОВИЧ

**Кеңістікте қозғалыстағы желкенді жұмыс органы бар автономды жел
электр станциясының параметрлерін зерттеу және таңдау**

6D071800 – Электр энергетикасы

Философия докторы дәрежесін алу үшін
диссертация (PhD)

Ғылыми кеңесші:
техника ғылымдарының докторы, профессор
Шоланов К.С.

Шетелдік ғылыми кеңесші:
PhD. техника ғылымдарының докторы, профессор
Marco Ceccarelli
(Римский Университета Тор Вергата, Рим, Италия)

Қазақстан Республикасы
Алматы, 2022

МАЗМҰНЫ

БЕЛГІЛЕР МЕН ҚЫСҚАРТУЛАР.....	4
КІРІСПЕ.....	6
1 МӘСЕЛЕНІҢ ЖАЙ-КҮЙІ ЖӘНЕ ЗЕРТТЕУ МІНДЕТТЕРІН	
БЕЛГІЛЕУ	10
1.1 Қазақстанға баламалы энергия көздерін енгізу жоспарына шолу.....	10
1.2 Қазақстанда баламалы энергия көздерін қолдау механизмінің эвалюциясы	14
1.3 Ауа сапасына шолу жасау.....	17
1.4 Қазақстан аумағындағы жел энергетикалық көздеріне шолу.....	18
1.5 Электр энергиясын қолдану қарқындылығы	20
1.6 Жел турбиналарының конструкциясын талдау.....	23
1.7 Тербелмелі жұмыс органы бар ЖЭС.....	26
1.8 Зерттеу міндеттері	31
2 АВТОНОМДЫ ЖЕЛКЕНДІ ЖЕЛ ЭЛЕКТР СТАНЦИЯСЫНЫҢ	
ТОРОИДАЛДЫ ЖЕЛКЕНІН ТАҢДАУ	32
2.1 Желкенді жел электр станциясының құрылымдық және функционалдық элементтері.....	32
2.2 Желкеннің аэродинамикалық қимасы мен пішінін зерттеу.....	34
2.2.1 ЖЖЭС –ң жоғары аэродинамикалық көрсеткішке ие болатын жаңа тороидалды желкенді басқа желкендермен компьютерлік модельдеу арқылы зерттеу және салыстыру.....	34
2.2.2 Желкенді ЖЭС тороидалды желкенін жобалау.....	39
2.3 Қорытынды.....	44
3 ТЕРБЕЛМЕЛІ ЖҰМЫС ОРГАНЫ БАР ЖЕЛКЕНДІ ЖЕЛ	
ЭЛЕКТР СТАНЦИЯСЫНЫҢ АВТОМАТТЫ БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІ....	45
3.1 ЖЖЭС қолданылатын автоматика жүйесі мен жел энергиясын түрлендіретін технология.....	45
3.2 ЖЖЭС-ң автоматты басқарудың алдын ала орнату ішкі жүйесі.....	47
3.3 ЖО динамикалық моделі.....	49
3.4 ЖО қозғалысының басқару жүйесі.....	51
3.5 Айқын емес логикалық бақылау	54
3.5.1 Айқын емес моделінің басқаруын зерттеу	55
3.5.2 Нейрожелілік моделін зерттеу	59
3.6 ЖО қозғалысын эксперименттік зерттеу.....	61
3.7 Қорытынды.....	67
4 КЕҢІСТІКТЕ ҚОЗҒАЛЫСТАҒЫ ЖЕЛКЕНДІ ЖҰМЫС ОРГАНЫ	
БАР АВТОНОМДЫ ЖЕЛ ЭЛЕКТР СТАНЦИЯСЫНЫҢ ЭЛЕКТР	
ЭНЕРГИЯСЫН ӨНДІРУ ЖҮЙЕСІ	68
4.1 Желдің жылдамдығын уақыт бойынша өзгеру заңдылығын зерттеу	68
4.2 Қайтпалы түзу сызықты тербелісті айнымалы қозғалысқа түрлендіру мен қуатты іріктеу жүйесі.....	70
4.3 Электр энергиясын өндіру жүйесін құру.....	72

4.4 Электр энергиясын тұрақтандыру әдістері.....	75
4.5 Механикалық әдіспен генератор валының айналуын тұрақтандыру....	75
4.6 Генератор өндірген энергияны тұрақтандыру жүйесі.....	76
4.7 Қорытынды	77
ҚОРЫТЫНДЫ.....	79
ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ.....	81
ҚОСЫМША А –Диссертациялық зерттеулердің нәтижелерін оқу процесіне енгізу актісі.....	89
ҚОСЫМША Б – Халықаралық WIPO PCT патенті.....	90
ҚОСЫМША В – Зияткерлік меншік туралы куәлік.....	91
ҚОСЫМША Г – Эксперименттік зерттеу нәтижелері.....	93

БЕЛГІЛЕР МЕН ҚЫСҚАРТУЛАР

Диссертацияда келесі белгілеулер мен қысқартылған сөздер қолданылған:

АБЖ – автоматты басқару жүйесі
АГ(DFIG) - ассинхронды генератор
БЖ – басқару жүйелері
БМ – беріліс механизмдері
БЭК – баламалы энергия көзі
БФ – беріліс функциясы
Вт – Ватт
ГВт – гига Ватт
ГАЭС – Гидроаккумуляциялық электр станциясы
ДЖ – демпфирлеу жүйелері
ФҚЦ – фазалық құлыпталған цикл
ДЖЭҚ – диффузорлы жел электр станциясы
ЖО – жұмыс органы
ЖЭК – жаңғырылатын энергия көздері
ЖЖЭС – желкенді жел электр станциясы
ЖЭҚ – жел энергетикасы қондырғысы
ЖЭС – жел электр станциясы
ЖЭПК – желдің энергиясын пайдалану коэффициенті
ЖІӨ - жалпы ішкі өнім
кВт – кило Ватт
КЭС – күн электр станциясы
ҚӨТ – куат өтемақы тетіктері
ҚАО – Қаржы-есеп айырысу орталығы
ҚТ – куат электронды түрлендіргіштер
ҚІЖ – куатты іріктеу жүйесі
ЕИМ – ендік импульсті модуляция (ШИМ)
МТ – манипуляторлық түрлендіргіш
ПЛК – программаланатын логикалық контроллер
ПЭК – пайдалы әсер коэффициенті
ПГ – парникті газ
РМ – рейкалық механизм
СЭС – Су электр станциясы
ССКӨБ – Соколовско-Сарбай кен-байыту өндірістік бірлестігінде
ТМСГ - тұрақты магнитті синхронды генераторға
 a – тұрақты жоғарғы және төменгі үшбұрыштардың өлшемдері, м
 c_c – аэродинамикалық спектр шардың беттік кедергі коэффициенті
 c_t – аэродинамикалық спектр желкеннің беттік кедергі коэффициенті
 c_A, c_W – аэродинамикалық күштер коэффициенттері
DC/DC – тұрақты токтың кернеуін тұрақтандырғыш құрылғысы
 F – бұзушы әсер-желдің импульсті күші, кг·м/с

F_C – басқарушы күш, Н
 F_1 – желдің құраушы вертикальды күші, Н
 F_2 – желдің құраушы горизонтальды күштері, Н
 H – манипулятор биіктігі, м
 h_1 – биіктік, м
 k_E – қарсы ЭҚК коэффициенті
 k_1, k_2 – беріліс коэффициенттері
 L – басқару орамасының индуктивтілігі, Гн
 l – Серіппенің ұзындығы, м
 l_c – демпфирдің серіппесінің керілу шамасы, кг
 l_t – серіппенің деформацияланбаған бөлігінің ұзындығы, м
 N – желкенді ЖЭС қуаты, Вт
 P_R – зәкірге келтірілген күш, Н
 R – басқару орамасының және басқару көзінің жалпы активті кедергісі, Ом
 R_Y, R_Z, M_R – реакция күштері, Н
 S_p – тороидалды желкеннің бетінің ауданы, м²
 T – Тік жүріс уақыты, сек
 t – бұрылуға сәйкес келетін уақыты, сек
 U – клапанның кіріс кернеуі, В
 v – желдің жылдамдығы, м/с
 v_i – актуаторлар штоктарының қозғалыс жылдамдығы, м/с
 v_w – желдің минималды жылдамдығы, м/с
 α – осьтерінің арасындағы бұрышы, 1/°С
 β – мачтаның тік қалыптан ағымдағы ауытқу бұрышы,⁰
 η – пайдалы әсер коэффициенті, айн/мин
 φ – ЖО-ның бұрылу бұрышы вращения,⁰
 ω – ЖО-ның максималды тербелісі, с⁻¹

КІРІСПЕ

Жұмыстың өзектілігі. Жер бетінде жел энергиясының шоғырланған аймағының көптігі, жел энергиясын келешекте әлемдік баламалы энергетика көзі ретінде көруге болады. Қазіргі таңда, әлемде, жаһандық жылынуды тудырып тұрған дәстүрлі энергия көздерін қолдануды азайту немесе толығымен тоқтату мақсатында баламалы энергия көздерінің жарқын даму сатысы байқалады [1,2], соның ішінде жел энергиясын пайдалануын дамыту сатысы да ерекше орын алады. Турбиналық ЖЭС-лары турбина осінің айналуына байланысты горизонталды және вертикалді болып екіге бөлінеді. Осі горизонталді айналатын ЖЭС жұмыс істеу принципі желдің қалақтарды соғуынан туындаған көтеру күшінің көмегімен жұмыс істесе, ал осі вертикалді айналатын ЖЭС жұмыс істеу принципі желдің кедергі күші арқылы жұмыс істейді [3]. Дәстүрлі турбиналық жел электр станцияларының негізгі мәселесі - жел екпінінің тез өзгеруін және қысқа уақыт аралығында жиі өзгертін жел жылдамдықтары мен дауылдарды болжай алуының мүмкін еместігі [4-7]. Сонымен қатар, жел турбиналарының шығыс қуаты әдетте номиналдыдан 30% [8,9] болатын жел жылдамдығы диапазонының төменгі шегі шамамен 10 м/с құрайды. Желдің жылдамдығы шамамен 3 м/с болатын аумақтарда негізінен халқы мен өндіріс орындары бар үлкен аумақты алып жатыр. Сондықтан осындай аймақтарда турбиналық жел электр станцияларын пайдалану тиімді емес. Осы мәселелерді шешу үшін қолданыстағы жел электр станцияларының құрылымы үнемі жаңартылып және өзгертіліп отырады [10,11], сонымен қатар оңтайлы жел түрлендіргіштерінің жаңа шешімдеріне іздеу жүргізілуде және ұсынылуда, осыған желкенді жел электр станцияларын жатқызуға болады. Авторлар желкенді жел электр станциясының (ЖЖЭС) турбинаға қарағанда ПЭК екі еседен астам болатынын дәлелдеді, сонымен қатар қалақтар, мачталар, редукторлар сияқты қымбат бөлшектер мен құрылғылардың болмауына байланысты құны арзанырақ болады. Бұл ЖЖЭС турбиналық ЖЭС сияқты Қазақстан аумағында мезгіл-мезгіл бойынша байқалатын дауылдық жел екпінділеріне осал емес, сонымен қатар бұл ЖЖЭС желкенділікті өзгерту және ауа массасының әсеріне бейімделу мүмкіндігі бар.

Жұмыстың мақсаты

Желкенділікті басқару жүйесін және желкеннің параметрлерін зерттеу және таңдау; параллельді манипулятордың басқарылатын кеңістіктік демпферінің сипаттамаларын зерттеу; қуат іріктеу жүйесін таңдауда; электр энергиясын өндіру жүйесін зерттеуде және әзірлеуде.

Жұмыстағы ой

Желкенді ЖЭС [12] жақсарту болып табылады. Компьютерлік модельдеу әдістерін (Solidworks бағдарламалық құралы) пайдалана отырып, ең жақсы аэродинамикалық көрсеткішке ие болатын тороидальды желкенді таңдау. Жел энергиясын генератор білігінің айналмалы қозғалыс энергиясына тиімді түрлендіру үшін 4 ішкі жүйеден тұратын автоматты басқару жүйесі енгізілді. Олар: ЖЖЭС параметрлерін алдын ала орнату, яғни ЖЖЭС орнату барысында

математикалық құрылғыны қолданыу арқылы жұмыс органының ауытқу амплитудасын және серіппенің қатаңдықтарын есептеп қажетті параметрлерін орнату; резонанстың алдын алу; электр энергиясын өндіру, параллельді манипуляторда тігінен орналасқан актуаторларына 3 генераторды орнатып өзара жалғау және өндірілген энергияны тұрақтандырып желіге беру үшін жиілікті түрлендіргіштің жаңа сұлбасын қолдану; актуатор серіппелерінің алдын ала кедергі күшін өзгерту және желкеннің санын өзгерту арқылы жұмыс органының қозғалысын басқару, сонымен қатар желдің жылдамдығына байланысты мачта бойымен тороидалды желкенді жылжыту.

Ғылыми жаналық:

-Баламалы электр энергиясына жататын желкенді ЖЭС жаңа құрылымы үшін желдің кинетикалық энергиясын ең аз шығынмен электр энергиясына түрлендіру арқылы электр энергиясын өндірудің тиімділігін арттыруға бағытталған теориялық зерттеулер жүргізілді.

-Жұмыс органы ретінде жаңартылған және жоғары аэродинамикалық көрсеткішке ие болатын көлденең қимасы тангаж бойынша белгілі бір бұрышқа (18^0) бұралған самолеттың профиліне ұқсас тороидалды желкен ұсынылды.

-Желкенді ЖЭС желкенділігін басқарудың жаңа әдісі, яғни, желдің жылдамдығына байланысты тороидалды желкенді мачта бойымен жоғары немесе томен қозғалтып мачтаға әсер ететін момент күшін өзгерту арқылы желкенділікті басқару ұсынылды.

-ЖЖЭС жұмыс істеуін қамтамасыз ететін 4 кіші жүйеден тұратын автоматтандыру жүйесі енгізілді.

-Платформалық түрлендіргіштің тігінен орналасқан актуаторларына қуатты іріктеу жүйесі арқылы үш генератор жалғау әдісі ұсынылды және өндірілген энергияны тұрақтандыру жүйесін жақсарту әдісі ұсынылды.

Зерттеу міндеттері:

- Жел энергетика саласын зерттеу;
- Компьютерлік модельдеу мен виртуалды аэродинамикалық құбырда зерттеу арқылы жоғары аэродинамикалық көрсеткішке ие болатын тороидалды желкенді таңдау;
- Профилі белгілі бір бұрышқа бұралған тороидалды желкенді виртуалды аэродинамикалық құбырда желкеннің аэродинамикалық сипаттамасын тексеру;
- Желкенді ЖЭС зертханалық моделін құрастыру;
- ЖО тербелісінің динамикалық моделін қалыптастыру және ЖО тербелісін басқарудың релелік жүйесін құру;
- Қуатты іріктеу жүйесін таңдау;
- Электр энергиясын өндіретін жүйенің параметрлерін таңдау;
- Желкенділікті автоматты басқару жүйесін шешу, диагностикалау жүйесін және авариялық қауіпті жағдайды ескерту жүйесін құрастыру.

Қорғауға шығарылатын негізгі ғылыми ережелер мен зерттеулердің нәтижелері:

- Компьютерлік модельдеумен жоғары аэродинамикалық көрсеткішке ие болатын тороидалды желкенді таңдау және оны виртуалды аэродинамикалық құбырда зерттеу арқылы негіздеу.

- Желкенділіктің автоматты басқару жүйесін, электр энергиясын өндіру жүйесін, диагностикалау және апаттық ескертуді әзірлеу;

- Желкенді ЖЭС жұмыс органының қозғалысын басқарудың динамикалық моделін қалыптастыру;

- Желкенді ЖЭС зертханалық үлгісін құру және оның жұмыс органының қозғалысын эксперименталды зерттеу;

- Қуат іріктеу жүйесін құру;

- Электр энергиясын өндіру жүйесін қалыптастыру және параметрлерін таңдау.

Зерттеу әдістері. Компьютерлік модельдеу әдістері қолданылды. Тороидалды желкенді SOLIDWORKS компьютерлік бағдарламада 3D моделі салынды, тороидалды желкеннің аэродинамикалық көрсеткіштерін алу үшін Autodesk Flow Design компьютерлік виртуалды аэродинамикалық құбырда сынақ жүргізілді.

Сызықты емес автоматты басқару теориясының аналитикалық құралы қолданылды.

Арнайы құрастырылған қондырғыда ЖЖЭС-ң ЖО қозғалысын эксперименталды зерттеулер жүргізілді.

Алынған нәтижелердің практикалық маңыздылығы. Желдің орташа жылдамдығы 3 м/с болатын Қазақстанның кең жерінде және Қазақстаннан тыс басқада елдімекендерде дәстүрлі турбиналық ЖЭС қолдануға тиімсіз аумақтарда жаңартылған желкенді ЖЭС қолданып, ЖЭС жұмыс істейтін аумақтарын көбейту арқылы табиғатты сақтауға үлес қосу.

Нәтижелер мен қорытындылардың негіздемесі мен дұрыстығы.

Autodesk Flow Design бағдарламалық пакеттерін пайдалану нәтижелерінің сенімділігі әдебиеттерден белгілі әуе қалқандарының аэродинамикалық сипаттамаларын есептеу арқылы тексерілді. Сызықты емес жүйелерді зерттеудің аналитикалық әдістерімен алынған қорытындылар толық масштабты эксперименттер жүргізу арқылы тексеріледі. Диссертацияның негізгі ережелерінің негізділігі «International Journal of Mechanics and Control» журналының рецензенттерінің «Expansibility Of Electric Power Production By Sail Wind Power Stations» мақаласының оң қорытындысынан туындайды. Халықаралық патент алу.

Жұмыстың апробациясы. Диссертациялық жұмыстың негізгі ақпараттары және алынған нәтижелер баяндалып, талқыланды:

- КарТУ ғылыми-техникалық кеңесінде қарастырылды;

- «Ғылым, білім және өндіріс интеграциясы - Ұлт жоспарын жүзеге асырудың негізі» атты Халықаралық ғылыми – практикалық online конференцияда Сағынов оқулары, №12 (Қарағанды, 2020).

Докторлық диссертацияның негізгі ғылыми нәтижелеріне кіретін 10 ғылыми еңбектері жария көрді, оның ішінде 2 мақала Scopus (процентильдері –

25 екіншісі 47), 2 жарияланым Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің Білім және ғылым саласындағы бақылау комитеті ұсынған басылымдарда, 3 жарияланым Халықаралық ғылыми–практикалық конференцияларда. Қазақстан Республикасының зияткерлік меншік туралы 2 куәлігі (Қосымша Б) (БАЖ) алынды. WIPO/PCT Дүниежүзілік зияткерлік меншік ұйымының халықаралық бюросынан 1 патент алынды.

Жұмыстың көлемі мен құрылымы

Диссертациялық жұмыс кіріспеден (4) бөліктен тұратын негізгі бөліктен, қорытынды мен (4) қосымшадан тұрады. Машиналық текстпен жазылған 96 беттен тұрады, оның 56 сурет, 4 кесте, 101 дана қолданылған әдебиеттер тізімінен тұратын әдебиеттер тізімі.

1 МӘСЕЛЕНІҢ ЖАЙ-КҮЙІ ЖӘНЕ ЗЕРТТЕУ МІНДЕТТЕРІН БЕЛГІЛЕУ

1.1 Қазақстанға баламалы энергия көздерін енгізу жоспарына шолу

Ел басының «Қазақстан-2050» даму стратегиясының бір бөлігінде баламалы және жаңартылатын энергия көздерін дамыту жайлы тапсырмасы көрсетілген. 2050 жылы баламалы және жаңартылатын энергия көздерінің көлемі Қазақстанда қолданатын энергия көздерінің кемінің жартысын қамту қажет. Қазақстан Республикасы Президентінің 2013 жыл 30 мамыр №577 Қазақстан Республикасының "жасыл экономикаға" көшуі жөніндегі тұжырымдама туралы жарлығында Қазақстан Республикасында баламалы және жаңартылатын энергия көздері арқылы өндірілетін электр қуатының үлестік пайызы 2020 жылы 3% ал 2030 жылы 10% құрау қажет [13, 14].

2017 жылы Ұлттық энергетикалық баяндамасында, халықаралық энергетика саласындағы соңғы уақытта болып жатқан оқиғалардың экономикалық, саясаттық және технологиялық іс - шараларына назар аударылды. Оларға 2015 жылғы қараша айында өткен (Париждік келісімнің) Біріккен Ұлттар Ұйымының климаттың өзгеруі жайлы Рамалық конвенциясы жатады [15]. Сол жиналыста барлық елдердердің басшылары өз елінде (өздігімен) тасталынатын парникті газдарды (ПГ) (шамамен анықталған ұлттық үлес- Intended nationally determined contributions) белгілі бір пайыздық шамаға азайтуға келісті [16]. Бір жылдық уақыттан кейін, бұл келісім халықаралық құқықтық актісінің дәрежесіне дейін көтерілді. Қысқа уақыт аралығында ратификация рекордтық санға қол жеткізді. Енді Қазақстан Республикасы және басқада мемлекеттер бірігіп парникті газдарды қоршаған ортаға тасталымды азайтуға кірісті. Алдымен энергетикалық балансты туралау арқылы, яғни баламалы энергия көзі және жаңартылатын энергия көзін көбейтіп, солардан электр тогын алуды көбейту арқылы және көміртекті газды сыртқа тасталым үшін арнайы тарифтердің бағасын жоғарылату арқылы сыртқы ортаға көміртекті газдардың тасталымды азайтады.

Ал 2019 жылғы Ұлттық энергетикалық баяндамада, баламалы және жаңартылатын энергия көздерінен өндірілетін электр тогының өндірілуінің көбейгені жайлы жазылды. Баламалы энергия көздерінің дамуы 2000 жылдан бері үлкен сатыға көтерілді. Мәселен, 2018 жылға дейін күн энергиясын фотоэлектрикалық өндіруден алынған қуат 505 ГВт жетті. Бұл көсеткіштің негізін 2006 мен 2016 жылдар аралығында 49% көрсетті. Ал 2018 жылға дейін жел турбиналары өндірген электр қуаты, күннің фотоэлектрикалық өндіруден алынған қуатынан жоғары болды және ол 591ГВт көрсеткішті көрсетті. Жел турбиналарын көбейту жұмыстары күн энергиясының даму көрсеткішіне қарағанда екі есе төмен жылдамдықпен жүрді, яғни 2006-2016 жылдар аралығында 20%. Егер өлшемді қуатпен емес өндіру параметрлерімен алсақ онда көрсеткіш сәйкес болады. Мәселен, 2018 жылы күн энергиясы өндіру нәтижесі 584,6 ТВт*сағ. тең болды, ал 2007-2017 жылдар аралығындағы өсуі 28,9 % болды. Жел энергиясынан алынған шама 2007-2017 жылдар аралығында

1270,0 ТВт*сағ.-қа тең болды, ал өсу қарқындығы 12,6% көрсітті [17]. Болжам бойынша әлемдегі барша баламалы энергия көздерімен және жаңадан соғылған баламалы энергия көздерінен алынған энергияның алты жыл 2019-2025 жж. аралығындағы өндірген энергияның көрсеткіші шамамен 2018 жылғы әлемдік энергия қуатының көрсеткішіне 1100 ГВт. тең болады деп күтілуде. Болашақта 2040 жылы әлемдік нарықта баламалы энергия көздері тез қарқынмен өсетін энергетика саласына жатады. Баламалы энергия көздерінің (БЭК) көбейуі және оның жылдам қарқынмен дамуына түрткі болған себеп, ол, экологияның өзгеру мәселесі болды, яғни жаһандық жылыну мәселесі түрткі болады. Осындай уақытта мемлекеттердің энергетикалық қауіпсіздігін сақтай отырып атмосфераға тасталатын зиянды газдарды азайту үшін нарыққа электр энергиясын өндіретін энергия көздерін диверсификациялау басты мәселенің бірі болып табылады. Халықаралық байланыс өкіметінің қолдауымен жел, күн және де жаңа таза энергия көздерімен өндірілетін электр қуатының пайыздық мөлшері жалпы өндірілетін электр қуатының 50 % - дан жоғары болады деп күтілуде. Баламалы энергия көздерін 2016-2040 жылдар аралығында жоғары қарқынмен соғылуда. Белгілі бір уақыт аралығы өткенде баламалы энергия көздерінен өндірілетін электр энергиясының көлемі одан ары қарай жоғарылай береді. Жалпы жұмыстың басы төмен деңгейден басталғандықтан, өсім бірден жоғары болмайды. Сонда да бұл көрсеткіштер өте жоғары көрсеткішке жатады. Мәселен, 2018 ж. баламалы энергия көздерінің дамуына түрткі болатын маңызды жетістіктер пайда болды. Олар: 1) күн мен желден өндірген электр энергиясының бағасы қазіргі таңда арзан болып саналатын қазба отыннан өндірілетін электр энергиясының бағасына бәсекелес болды; 2) Теңіз аймағында ЖЭС арқылы электр энергияны өндіріп жатқан елдер саны 15 ке жетті және 2019ж. оларға қосылатын елдер көбеюде, мәселен Португалия; 3) АҚШ-тың солтүстік-шығыс жағалауын ЖЭС құру бойынша жалға беру рекорддық санға жетті; 4) Германия елі 2038 жылы толығымен көмірден бастартуға бел бұрды; 5) Егер баламалы энергия көздері өндірген электр энергиясын тек қуат көрсеткішімен алсақ (гидроэнергетиканы есепке алмай), онда кемінде 45 елдер 1 ГВт көрсеткішінен асты. Ал 17 мемлекеттің желден, күннен, биоэнергия мен геотермалды энергиядан алынған жалпы энергетикалық қуаты 10 ГВт шамасынан асты. Кемінде 20 – дан астам мемлекет ЖЭС мен КЭС арқылы 20% астам электр энергиясын өндіріп жатыр. Осындай тез қарқынмен өсіп кележатқан баламалы энергия көздері 2018 жылы өндірген электр энергиясының жалпы өндірілген энергияның 1/3 бөлігін ғана құрады.

«Жасыл энергетиканың» алға секіруі. Экономикалық және өкіметтік қолдау арқасында сонымен қатар жаңа технологиялардың дамуының арқасында баламалы энергия көздерінен өндірілген энергияның көлемі қарқынды көтеріліп жатыр. «Таза» энергиядан басқа қандай технология ойлағандай қарқынды үдеумен дамиды. Париждік келісімді негізге алып үкіметтік органдар мен өндіріс орындары бұл саланы дамыту мақсатында мүмкін болатын қауіпке қарамастан әр түрлі мүмкіндіктермен инвестицияны құйатын мүмкіндіктерді қарастыруда. Ғалымдар, ендігі сәтте өтпелі технологияларға көңіл бөлу

керектігін айтады. Бұндай баяндамада келесідей технологиялар талқыланады, мысалы, электр көлігі және жүргізушісіз жүретін көлік, жаңа типтегі АЭС, электр энергиясын сақтау мен көміртекті қағып алу. Сонымен қатар жаңа технологиялардың пайда болуы, оданда жаңа технологияның дамуына серпінді әсер ететінін ескеру қажет. Олардың барлығын қаржылардыру мен енгізуге біраз уақыт кетеді. Болжамға қарамай баламалы энергияның қолдану бойынша жылдық өсімі 2021-2030 жж, 6%, ал 2031-40жж. 4%-ға көтеріледі. СЭС дәстүрлі энергетика саласы деп алып және оның өндіретін электр тогын есепке алмасақ, 2040 ж. жалпы баламалы энергия көзінен алынатын электр энергетикасын өндірудің жалпы 5 % ғана құрайды, ал көмірсутектің бөлігі 3/4 қатынасындай болады. 2015ж. ұлттық энергетиканың баяндамасын жариялағаннан бері біраз сұрақтарды туындатты, ол Қазақстанның энергетикалық саясатын басынан қарастыруға әкеп соғады.

2015 жылғы баяндамада, Қазақстан Республикасы егемендігін алғалы бері электр энергетика саласын жаңарту барысында үлкен қадам жасағанын айтады. Егер Қазақстанның егемендігіне дейінгі совет уақытында жасалынған ескі энергетика жүйесі Россия мен Орта Азиядан тасымалданатын энергияға (1991жылға 15 млрд. кВт/сағ – қа дейін) тәуелді болғанын ескерсек, атқарылған жұмыс орасан. Соңғы жылдары электр өндіру саласын соғу мен желілік шаруа қожалығына үлкен инвестиция салынып Қазақстанның энергетикалық тәуелсіздігі мен қауіпсіздігі күшейе түсті. Қорытындылай келе 2000 жылдан бері Қазақстанның электр станциясының қуаты 22 % - ға өсті ал орналасу қуаты екі есе өсті.

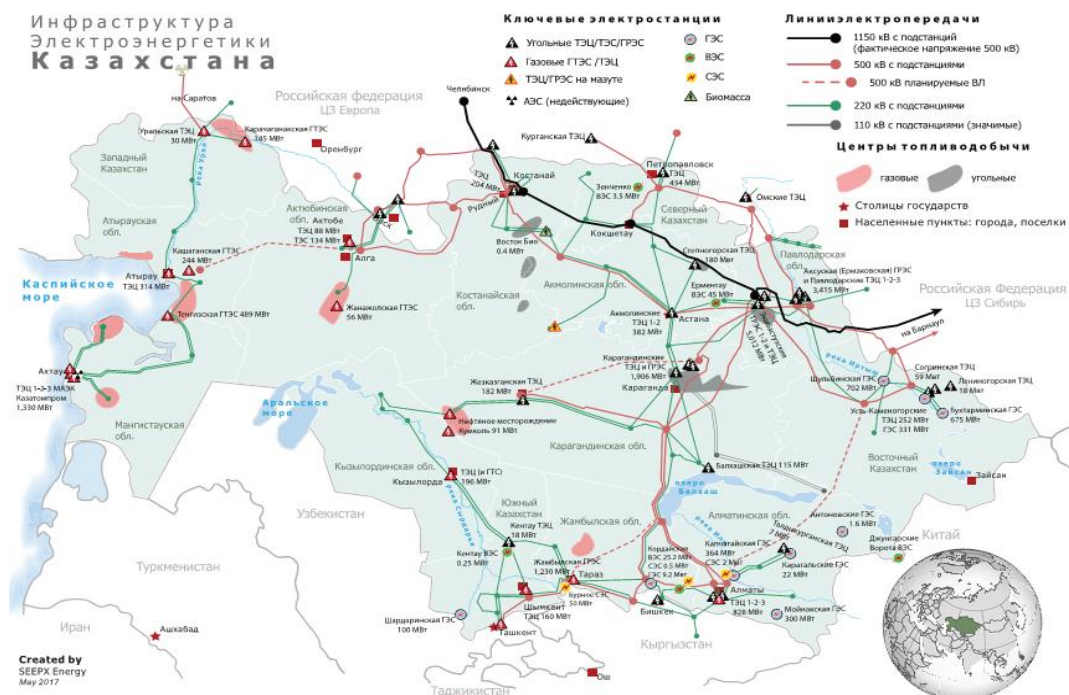
Қорытындыла келе 2002 жылдан бері генерациялау мен ұлттық желіге салынған қосалқы инвестициялар арқылы секторларды басқару еселеп күшейді, ол өндірістің энергияны тұтынушыға жеткізуі, сонымен қатар біраз бөлігін көршілес мемлекеттерге экспортқа шығару шамасына жетті.

Өндірісті дамытуда қыруар ақша салынғаныменен, Қазақстанның электр желілерінде біршама шектеулер бар. Қазақстанның электр энергетикалық секторы (сурет 1) көрсетілгендей үш салаға бөлінеді, олар: Солтүстік, Оңтүстік және Батыс секторлары. Әр бір энергоаймақ бір-бірінен қуатты өндіру жүйесіне байланысты, сұраныс пен ұсыныстың динамикасы мен желілік байланыс пен балансқа байланысты айырмашылықтары бар.

Әрдайым Солтүстік пен Оңтүстік аралығындағы желілік байланысты модернизацияланып тұрады. Олар екі 500 кВ және 220 кВ желісімен шектелген. Тек Батыс аймағы ғана әлі оқшауланған. Ол бірнеше Россиялық электр желісімен байланысқан.

Қазіргі таңда Қазақстанның электр энергетикалық секторы Россия мен Украинадан кейін аймақта үшінші орында тұр. 2018 жылдың соңында бекітілген қуаты 21,9 ГВт және орналасқан қуаты 18,9 ГВт шамасына тең болды. Қазақстанның электр энергетикасының біршама артықшылығы бар, олар отын қорының бар және арзан болуына байланысты электр энергиясының арзан болуы. Екібастұз бен Қарағанды облыстарындағы көмірдің орасан қоры шығыс пен солтүстік аймақтарындағы көмір электр

станциялары көшбасшы орындарын алады. Газдың дамуы мен оны өндіруі батыс жақта көтеріліп жатыр, бірақ газды батыстан шығысқа тасымалдануының қымбаттығы арқасында газдың бағасы көмірдің бағасына бәсеке бола алмайды.

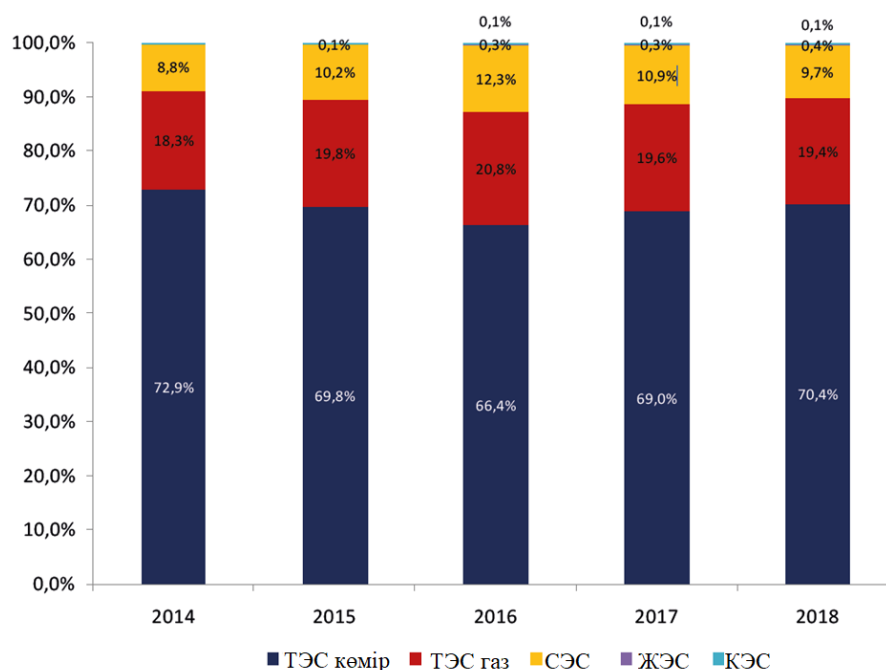


Сурет 1– Қазақстанның электр энергетикалық инфрақұрылымы

«KEGOC» АҚ көрсеткіші бойынша Қазақстанда 2018 жылы 106797,1млн.кВт*сағ. көлемінде электр энергиясы өндірілген. Ол 2017 жылғы көрсеткішке қарағанда 4,3% жоғары. Өндірудің негізгі қуаты Солтүстік пен Батыс энергоаймаққа тиесілі, осы уақытта Оңтүстік энергоаймағында электр энергиясын өндіру көрсеткіші 4,7% төмендеді [17, б. 146].

Қазақстанда баламалы энергия көздерінен алынатын электр энергиясы жалпы энергия құрылымында аз көрсеткіш көрсеткенмен бұл соңғы бес жылда жеткен көрсеткіш болып саналады және бұл өте жақсы көрсеткішке саналады. Бұндай жетістікке өкіметтің заң деңгейінде қолдауының арқасында мүмкін болды.

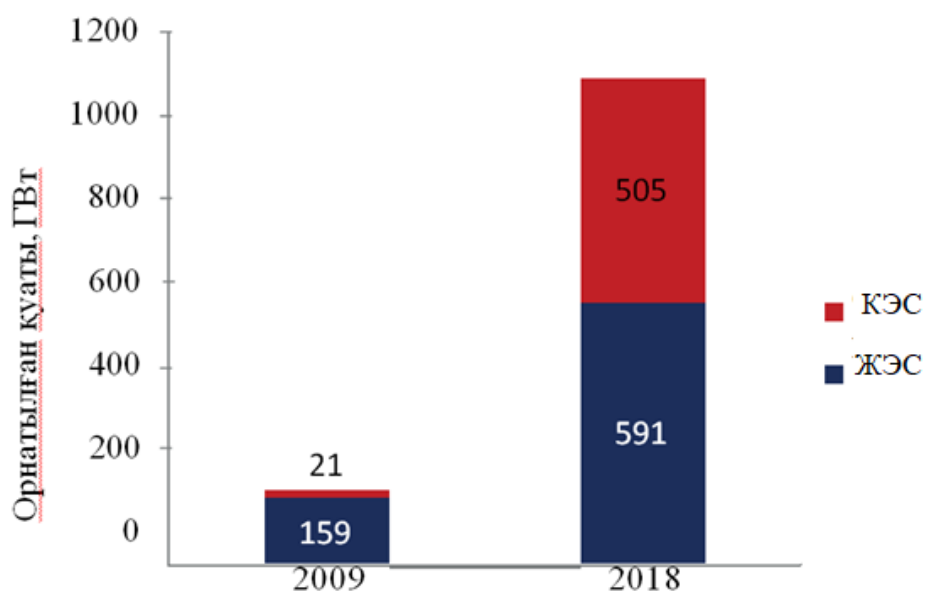
Қазақстанда электр энергиясын өндіру құрылымында көмір арқылы электр энергиясын өндіру көшбасшы болып келеді, ол елдегі жалпы өндіретін электр энергияның 70,4% құрайды. Ал газ электр станциялары елімізде өндіретін электр энергияның 19,4%, су электр станциясы - 9,7%, ал жел мен күн электр станциялары 0,4% және 0,1% құрайды (сурет 1.1).



Сурет 1.1 – Энергия ресурстарының түрлері бойынша электр энергиясын өндіру

1.2 Қазақстанда БЭК қолдау механизімінің эвалюциясы

Әлемде жалпы орнатылған жел мен күн электр станцияларының қуатының көрсеткіші 2018 жылы 1000 ГВт – тан жоғары болды (сурет 1.2). Бұл әлемде жалпы өндірілген электр энергиясының жуық шамамен 15,5 % көрсетті.

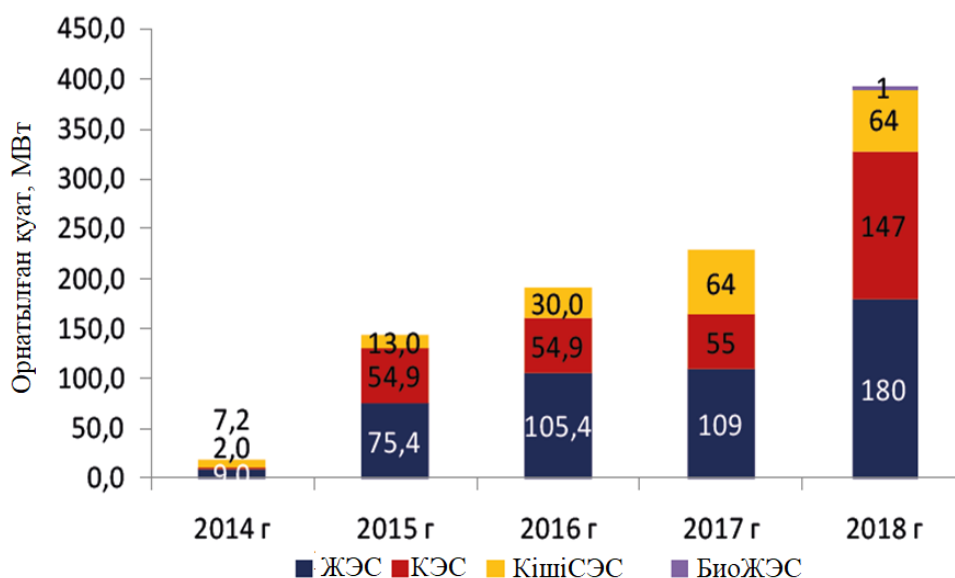


Ақпарат көзі: REN21 Global Status Report 2019

Сурет 1.2 – Әлемдегі жел және күн электр станцияларының жалпы белгіленген қуатының өсуі (ГВт.)

Әлемде БЭК қарқынды даму шарты әлемдік климаттың өзгеру жайлы күн тізбесінде көрсетілді. Отын қоры жағынан жеткіліксіздікті сезбейтін мемлекеттердің өзі электр энергиясын көмір арқылы өндіретін электр станцияларының санын азайту мақсатында БЭК жоғары қармынмен дамытып жатыр. Мысалыға, ЕО-28 тобына кіретін елдерде 2018 жылы іске қосылған жаңа қуаттың 88% жел мен күн электр станцияларынан құралды. Соңғы 10 жылда әлемде жұмыс істеп тұрған күн электр станцияларының саны 24 есе ұлғайған, ал жел электр станциялары 3,7 есе көбейген.

БЭК қуатының көрсеткішінің өсуі жел электр станциясы мен күн электр станциясына бөлінетін қаржыландырудың күрделі салымдардың нақты көрсеткіштерінің төмендеуін, яғни 15% және 20%, соның арқасында БЭК электр энергиясын өндіру құнын төмендеуіне әкелді. Баламалы энергия көздерінің (IRENA) халықаралық агенттігінің болжамына сәйкес капиталды салымдар осы тенденцияны сақтайды және 2025 жылы ЖЭС 12% төмендейді ал күн электр станциясы (КЭС) 57% төмендейді. Қазақстанның халықаралық деңгейде парникті газдың тасталым пайыздық мөлшері 1% - дан аспайды, бірақ сол тасталымды Қазақстанның халқына бөлгенде әлемде бірінші ондыққа кіреді. Қойылған халықаралық міндеттерге және жасыл экономикаға өту үшін қойылған ішкі мақсаттарға жету үшін, еліміздің климатикалық саясатының негізгі құралы ретінде БЭК дамыту болып табылады (сурет 1.3).



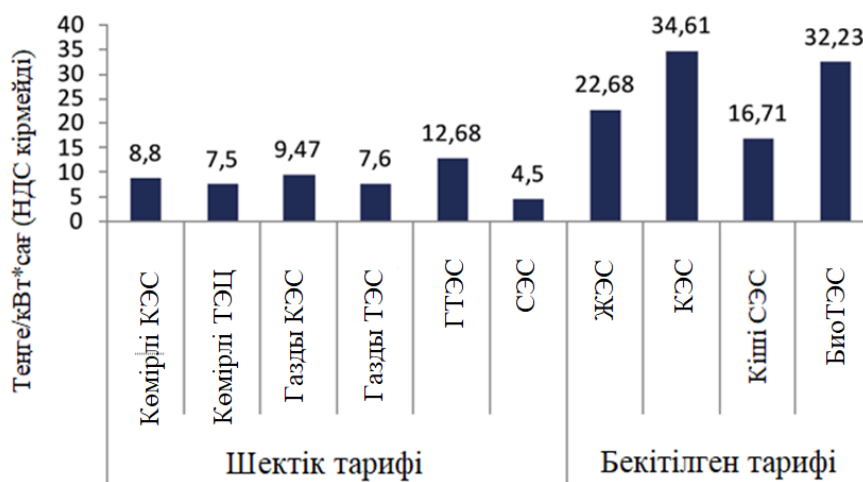
Сурет 1.3 – Электр энергиясын өндіру және ҚАО арқылы электр энергиясын жеткізетін БЭК орнатылған қуаты

Соңғы бес жылда елдің баламалы энергетикасы қарқынды дамыды. Осылайша жаңа күн, жел және кіші су электр станцияларында өндіретін электр энергиясы 155 есе көбейді, ал жалпы БЭК орнатылған қуаты (үлкен СЭС есепке алмағанда) 632MWt көрсеткішке жетті, бұл республикамыздағы жалпы орнатылған электр станциялар қуатының шамасының жуық шамамен 2,4 %

көрсеткішіне тең. Халықаралық тәжірибеден күн және жел энергетикасының дамуы мемлекеттік қолдаулардың арқасында дамым жатқанын көрсетті, себебі мемлекеттік қолдаусын БЭК дәстүрлі энергетика станцияларымен бәсекелесе алмайды. Қазақстанда БЭК мемлекеттік қолдау тапқаннан кейін жоғары дамуы басталды. Осылайша 2009 жылы «Баламалы энергия көздерін қолдануды қолдау жайлы» заң қабылданды. Кейінірек, 2013 жылы баламалы энергия көздері мемлекеттік қолдау тетігі іске қосылды.

Ол баламалы энергия көздері арқылы өндірілген барлық электр энергиясын «Баламалы энергияны қолдау жөніндегі қаржы-есеп айырысу орталығы» (ҚАО) арқылы кепілдендірілген орталықтандырылған желісі арқылы бекітілген тарифі арқылы сатып алуға негізделген. Алайда, дәстүрлі тәсілден айырмашылығы, жаңартылатын энергия көздерін өндіруге ақы төлеуді түпкі пайдаланушылар тікелей жүзеге асырған кезде дамиды, бірақ Қазақстанда жаңартылатын энергия көздерін енгізу мен қолдаудағы жетістікке жауапкершілікті дәстүрлі электр станцияларына жүктелді. БЭК шартты түрде пайдалану, оған дәстүрлі электр станциялары мен сырттан тасымалданатын электр энергиялары заңды түрде ҚАО – дан сатып алыну міндеттелінді, жалпы өндірілетін электр энергиясының пропорциясына сәйкес.

Баламалы энергия көздерін қолдау үшін, Қазақстанда жасалған заңнамалық база инвесторлар үшін тұрақтылық пен болжамдылықтың ең қолайлы деңгейін қамтамасыз етеді. (Сурет 1.4) Қазақстанда дәстүрлі электр станциясының шектік тарифінен бірнеше есе жоғары болып келетін БЭК бекітілген тарифтері жоғары деңгейде қабылданды, соның арқасында сырттан келетін инвестрлердің назарын аударуға мүмкіндік берді.



Сурет 1.4 – Бекітілген және шектік тарифтерді салыстыру 2018 жылғы деңгей

Нәтижесінде, Қазақстанның жалпы энергетикалық жүйесінің орнатылған қуаты 21 ГВт құрағанда, 2015 жылы баламалы энергия көздерін салуға өтінімдердің жалпы саны шамамен 7 ГВт құрады. БЭК қуаттарын энергетикалық жүйеге қосу мүмкін болмау себебі, күн және жел электр станцияларында энергия өндірудің тұрақсыз сипаты және маневрлік қуаттың

жетіспеушілігі салдарынан көп ұзамай БЭК енгізуді шектеу қажеттілігі туралы сұрақ туындады. 2016 жылы заңнамаға жоспарланған көрсеткіштерді бекітумен БЭК объектілерін біртіндеп пайдалануға байланысты енгізуді көздейтін өзгерістер енгізілді. Нәтижесін (кесте 1) көруге болады.

Кесте 1- БЭК секторын 2020 жылға дейін дамытудың көрсеткіші, МВт

БЭК түрлері	2020 (белгіленді)	2025 (болжануда)
Жел электр станциялары, МВт	933	1200
Фотоэлектрлік электр станциялары	467	1100
Шағын су электр станциялары	290	219
Биогаз қондырғылары	10	15
Жалпы ЖЭК сыйымдылығы	1700	2615

Мақсаттық көрсеткіштерді бекіту, ол БЭК жасау қызығушылығының жоғарылауы және объектілерді соғудың жоғары сұранысын білдірді, осыған орай жобаларды таңдау үшін ашық жағдайлар жасау қажет. KAZENERGY қауымдастығының ұсыныстарын ескере отырып, жобаларды таңдау аукцион механизмінің нұсқасы таңдалды.

Баламалы энергия көздерінің қуатының өсуіне қарамастан және БЭК қолдау саясатының тиімді құнын төмендеуі және дәстүрлі электр станцияларына қаржылық қолдаудың жоғарылауына байланысты БЭК дамуы ұзақ уақытқа созылу қауіпі бар.

1.3 Ауа сапасына шолу жасау

Қазақстанда ауа құрамындағы ластағыш заттардың мөлшері белгіленген ауа сапасының стандарттары белгіленген. Статистика көрсеткіштері бойынша, қоршаған ортаның жағдайының көрсеткіші бірнеше бағыттар бойынша жақсарып келе жатыр.

Қазіргі уақытта ауаны ластайтын негізгі заттардың тасталымы 2000 ж. бекітілген тасталым көлемінен төмен. Бірақ оксид озот пен монооксид көміртек көлемі жылдық шамадан 64% және 26% пайызға жоғарыланған. Осыған қарамастан электр энергияның және энергоқоректерді өндірудің көлемі екі есе артқанында ескеру қажет. 2014-2018 жж (сурет 1.5). аралығында жалпы мағынада тасталымның жоғарылауы байқалады, дегенмен тасталымды жалпы ішкі өнімнің (ЖІӨ) бөлгенде нақты көрсеткіш төмендейді.



Сурет 1.5 – 2014-2018 жж аралығында ауаға зиянды заттардың тасталымдары

Атап кететін жайт, атмосфераға зиянды заттардың тасталымының 87 % - астамы стационарлық көздерге тиесілі, сондықтан атмосфераға тасталымын реттеу мақсатында негізгі реттеу көзі стационарлық көздер болып келеді.

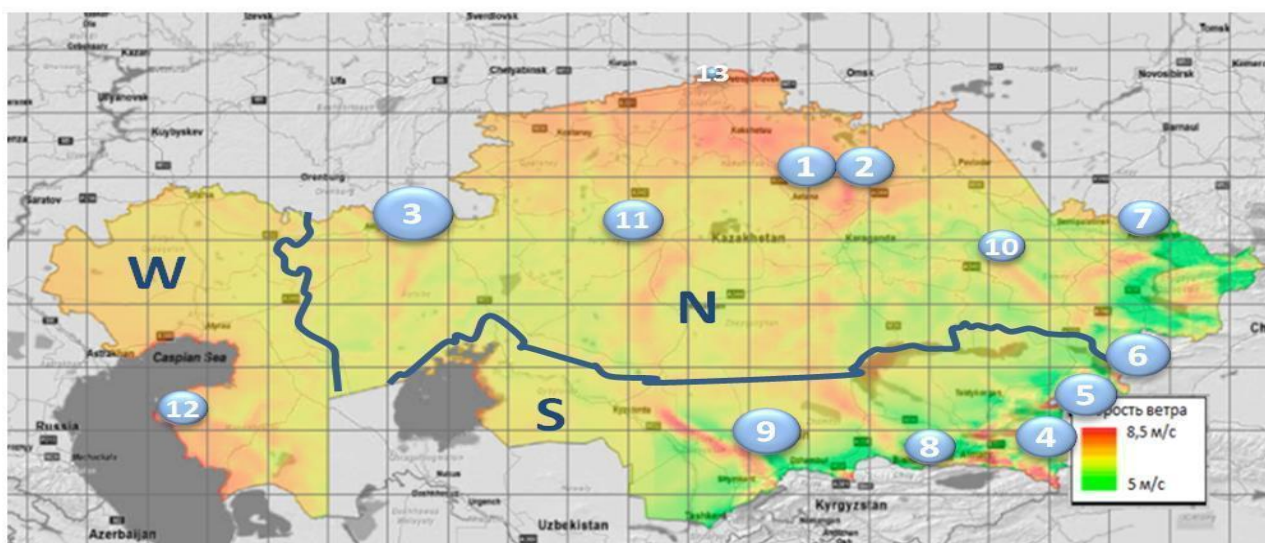
Стационарлы көздердің ішіндегі атмосфераға салыстырмалы түрде тасталымның көп бөлігі жылу электр станцияларына келеді, оның жалпы пайыздық үлесі 40% құрайды. Қазақстанның электр станциялары зиянды заттардың тасталымын нормативтік талаптарды ұстанғанда, жалпы жылдық тасталымдардың мөлшері статистика комитетінің көрсеткіші бойынша келесідей:

- Қатты бөлшектер - 119 мың тоннадан астам;
- Азот оксидтері - 120 мың тонна;
- Күкірт оксидтері - 319 мың тонна.

1.4 Қазақстан аумағындағы жел энергетикалық көздеріне шолу

Жел энергетикасының жұмыс істеуіне жел энергетикалық көздері қажет [18]. Қазақстан Республикасының аумағы үлкен жел көздеріне бай. Қазақстанның 50 % жер аумағындағы желдің жылдамдығы 4-5 м/с тең болып келеді, ал кейбір мөлтік аумақтарда желдің жылдамдығы 6 м/с астам, бұндай көрсеткіштер жел энергетикасының дамуына үлкен мүмкіндіктер береді [19]. Эксперттік тұжырым бойынша Қазақстан әлемдік елдердің ішіндегі жел энергетикасының дамуына барлық шарттарға сәйкес келетінін білдіреді. Желдің негізгі шоғырланған орындары: Қазақстанның орталығында, солтүстігінде, Каспий төңірегінде, оңтүстік пен оңтүстік-шығыста. ЖЭС қуатының тығыздығы 10 МВт/км² төңірегі деп және бос кеңістіктегі орындарды ескеріп, Қазақстанда қуаты бірнеше мың МВт. болатын ЖЭС орнатуға болады. Статистика мәліметіне сүйенсек Қазақстанда желдің мүмкіндігі жылына 1820 млрд. кВт. сағ. шамасына сәйкес келеді екен. Осындай желдің мүмкіндігіне

арнайы метеорологиялық зерттеулер қажет, метеорологиялық зерттеулерді арнайы мачтаның ұзындығы 30 метр мен 80 метр аралығында болу керек және бұндай зерттеулерді кемінде бір жыл тоқтамай зерттеу қажет. Алынған метеоақпараттарды жел құрылғылары жылына қанша қуат өндіре алатынын есептеп табуға болады. Есептеудің қорытынды нәтижелерін жел электр станцияларын салар уақытында техника-экономикалық негіздемесін дайындауға үлкен үлесін қосады. Қазақстан Республикасындағы жел энергиясын өндіруде жел энергиясына бай аймағы ол Алматы облысындағы Жоңғар қақпасының аймағы. ұзындығы 20 км. және ені 10-15 км. болатын таулардың ортасындағы аймақ және жуық шамамен қалақтарының диаметрі 25 метр болатын 11000 ЖЭС орнатуға болады. Желдің соғу уақыты салқын күндері жиі-жиі үзіліссіз 60-110 сағатқа ал кейбір жағдайларды 270-320 сағат аралығында болады. Ал желдің жылдық жылдамдығы 50 м биіктікте 9,7 м/с шамасына тең болады. 1998-2000 жж. аралығында ПРООН қолдауымен жүргізілген метеорологиялық зерттеулерден Жоңғар қақпасынан басқа осы Алматы облысының 50 метр биіктікте 7,8 м/с жылдық орташа жылдамдыққа ие болатын Заилийский Алатау мен Жетісулық Шелек дәліздері Ақмола облысындағы Ерементау жақ, Каспи жағалауындағы Форт – Шевченко, жамбыл облысындағы Қордай ауданы мен тағы басқа қалалар мен облыстарында желден энергияны алу үшін қолайлы болатын қазіргі таңда жалпы 13 аймақ ретінде белгіленді (сурет 1.6) [20].



Сурет 1.6 – Болашақта ЖЭС соғуға қолайлы аймақтар

1.6 – суретте көрсеткендей Қазақстан Республикасының аумағында ЖЭС орналасуын көрсететін сандар 2 кестеде толығырақ ашылған [21].

Кесте 2 – Болашақта соғылатын ЖЭС алаңдары

№	Жел электр станциясының атауы	Аймақ	Қуат (МВт)
---	-------------------------------	-------	------------

1	Ерементәуға жақын ЖЭС	Ақмола	45
2	Ерементәуға жақын ЖЭС	Ақмола	30-50
3	Бадамша мен Қарғалыдағы ЖЭС	Ақтөбе	300
4	Шелек дәлізіндегі ЖЭС	Алматы	51
5	Шелектегі ЖЭС	Алматы	60
6	Жоңғар қақпасындағы ЖЭС	Алматы	72
7	Ұлан тау асуындағы ЖЭС	Шығыс Қазақстан	24
8	Қордайдағы ЖЭС	Жамбыл	21
9	Жаңатастағы Сарысудағы ЖЭС	Жамбыл	100
10	Қарағандыдағы ЖЭС	Қарағанды	15
11	Арқалық қаласының жанындағы ЖЭС	Қостанай	48
12	Шевченка фортындағы ЖЭС	Маңғыстау	19,5
13	Новоникольск Қызылжарындағы ЖЭС	Солтүстік Қазақстан	1,5

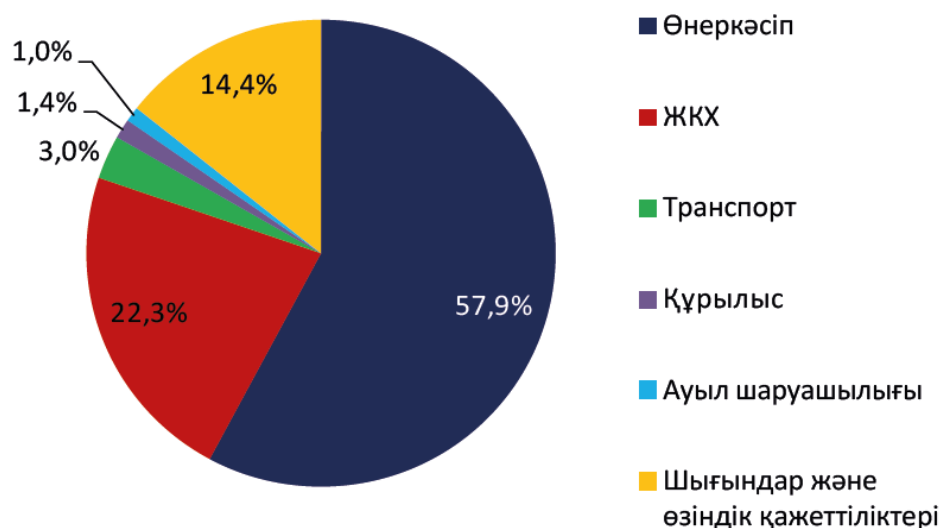
Жоғарыда көрсетілген желді аймақтардың көп бөлігі электр энергияға тапшы аймақтарға жатады және сол аймақтарға ЖЭС соғу қажеттілігі көшейеді, мәселен Жоңғар қақпағы мен Шелек дәліздерінің аумағы және тағы басқалары.

1.5 Электр энергиясын қолдану қарқындылығы

Жүйелік оператордың мәліметі бойынша 2018 жылы Қазақстанда электр энергиясын қолдану шамасы 103 288,3 млн. кВт*сағатқа тең болды, бұл көрсеткіш 2017 жылғы көрсеткішке қарағанда 5% жоғары (сурет 1.7). Электр энергиясын пайдалануының жоғарылауы барлық энергоаймағында белгіленген, мәселен, Солтүстік энергоаймақта 5%, Оңтүстік энергоаймағында 7% және Батыс энергоаймағында 8% -ға өскен. Осы өсім Қазақстанның 14 облысында өнеркәсіп өндірісінің 4,1% артуының арқасында жүзеге асты. 2014-2018 жж. аралығында ең көп электр энергиясын қолдануы солтүстік энергоаймаққа тиесілі болды және оның шамасы 6,99 млрд. кВт*сағатқа тең болды.

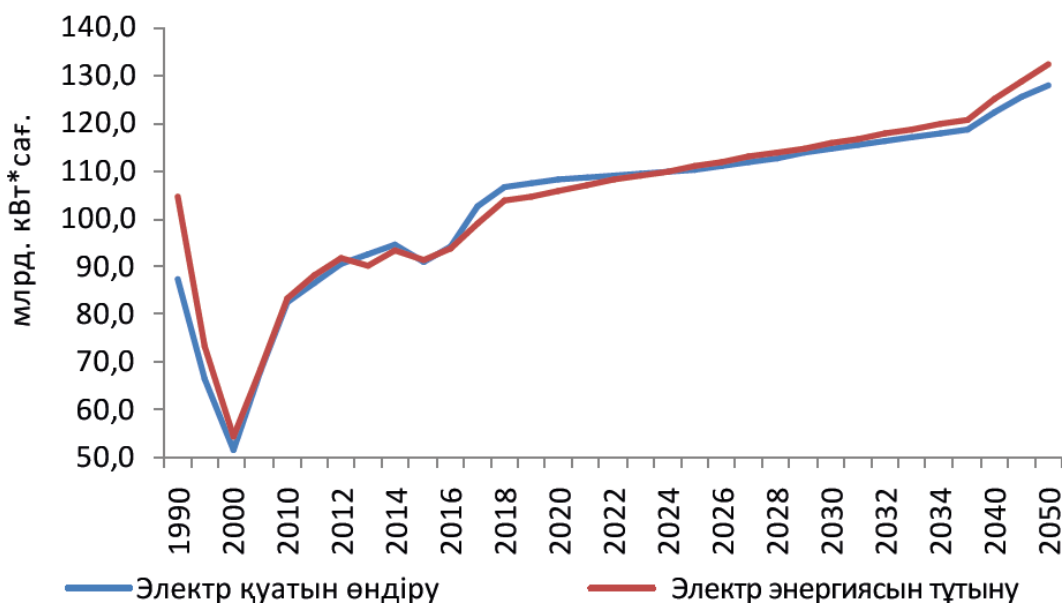
Осы уақыт аралығында электр энергиясын тұтынудың төмендеуі тек Қостанай облысында ғана байқалады және кореляциясы Соколовско-Сарбай кен-байыту өндірістік бірлестігінде (ССКӨБ) электр энергиясын тұтынуының (-541 млн. кВт*сағ.) төмендеуіне байланысты. Бұл төмендеу ССКӨБ өнеркәсіптің негізгі тұтынушы батыс Қытайдағы құрылыстың бітуіне байланысты темір кен өндіруінде 25-29% төмендеуіне әкеліп соғуына байланысты.

2014-2018жж. аралығында электр энергиясын тұтынудың (сурет 1.8) ең жоғарғы көрсеткіші Ақтөбе мен Атырау облыстарында болды және бұл өсім осы аймақтарда өнеркәсіптік өндірістің өсуі салдарына байланысты. АО АЗФ (Ақтөбелік) «ТНК Казхром» (+1588 млн. кВт*сағ) және Қашаған кен орнында мұнай өндірісінің артуына байланысты (+ 976 млн. кВт*сағ) электр энергияның тұтынуы артқан.



Сурет 1.9 – Қазақстандағы электр энергиясын тұтыну құрылымы

Электр энергиясын тасымалдау кезінде электр энергиясының шығынын кеміту үшін электр желілерінің жабдықтарының жұмыс режимін оптимизациялау, электр желілеріндегі жабдықтарды жаңарту мен жаңалау арқылы қол жеткізуге болады, бірақ шығындарды Қазақстан жағдайында белгілі бір деңгейден төмендету мүмкін емес (сурет 1.10) [17, б. 154].



Сурет 1.10 – 2050 жылға дейін электр энергиясын өндіру және тұтыну болжамы (млрд. кВт*сағ.)

Қазақстанның электр энергиясын тұтынуындағы негізгі үстемділік мөлшері Қазақстанның экспортқа бағытталған тауармен айналысатын саланың жұмыс қарқынына байланысты және оның тұтыну болжамы көбінесе халықаралық металл нарықтарындағы жағдайға, сондай-ақ мұнай өндіру мен тасымалдау көлемдеріне байланысты өзгеріп тұрады. Тұрғын үй-коммуналдық

шаруашылық саласында электр энергияны тұтыну бойынша мәселеде халық саны бірқалыпты белгілі бір тұрақтылықпен өсуіне байланысты электр энергияны тұтыну мәселесін энергияны үнемдеу шараларының жүргізу арқылы көбейген халықтың сұранысын шешуге болады.

IHS Markit электр энергиясын тұтыну болжамынан 2030 жылға дейін Қазақстанда негізгі қуаттылықты айтарлықтай ұлғайту талап етілмейді, дегенмен, 2,5 ГВт-қа дейінгі мөлшерде жел және күн электр станцияларын іске қосудың болжамын ескере отырып, маневрлік қуаттарды іске қосу жағын қарастыру қажет.

Жел электр станциясының негізгі жұмысы ол - желдің кинетикалық энергиясын электр энергияға түрлендіру болып табылады. Былай қарасақ өте ыңғайлы құрылғы, ЖЭС алда тегін электр энергиясын қолдана берсен болатын секілді. Бірақ желдің кинетикалық энергиясын түрлендіру жолы белгілі болғанымен желдің табиғи қасиеттерін басқару оңай емес. Жер шарында қанша аймақ болса сонша желдің түрі болады. Жел жылдамдығының екпіні және желдің соғу бағыттың өзгергеріп тұруы, кейбір жағдайда желдің мүлдем жоқ болуы немесе желдің тым қатты боранды соғуы секілді желдің табиғи қасиеттері арқасында желдің кинетикалық энергиясын оңай түрде электр энергиясына түрлендіру мүмкін емес [22-25].

1.6 Жел турбиналарының конструкциясын талдау

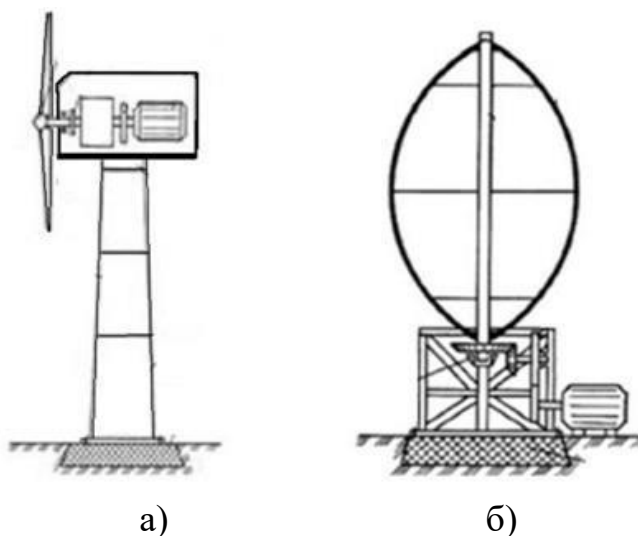
Желден электр қуатын алу үшін жасалған көптеген электр станциялары бар. Олардың көпшілігі ерекше құрылымды болып табылады. Қазіргі таңда ЖЭС – ң кеңінен тараған екі түрі бар. Олар ЖЭС турбинасының айналу әдісіне қарай бөлінеді, яғни турбинасы жазықтыққа көлденең немесе тік айналу түрі болып табылады. Осі көлденең айналатын ЖЭС – лары әлемде салыстырмалы түрде негізінен жоғары қуатты ЖЭС – лары ретінде қолданылып келеді. Ал тік ЖЭС – ларын негізінен төмен немесе орта қуатты ЖЭС ретінде қолданылып келеді және оларды қалалық тұрмыстық техникаларды қоректендіру мақсатында қолданылады. Желкенді және тербелмелі жұмыс органы бар ЖЭС жаңадан дамып кележатқан ЖЭС жаңа түрі болып келеді [26].

1.14 – суретте көрсетілгендей, жел генераторлары негізінен екіге бөлінеді, олар:

- а) осьтің көлденең жазықтықта айналуы;
- б) осьтің тік жазықтықта айналуы.

Жел генераторының жұмыс істеу принципі өте қарапайым. Жел ағыны жел дөңгелегінің қалақтарына қысым жасайды (сурет 1.15 көрсетілген 12-позиция). Жел дөңгелегінің роторы (сурет 1.15 көрсетілген 1-позиция) төмен жылдамдықты білікке бекітілген (сурет 1.15 көрсетілген 2-позиция). Желдің әсерінен жел дөңгелегі (қалақтары бар ротор және төмен жылдамдықты білік) айнала бастайды, жел энергиясын механикалық энергияға айналдырады. Төмен жылдамдықты біліктен беріліс қорабы арқылы (сурет 1.15 көрсетілген 3-позиция) механикалық қозғалыс электр генераторының білігіне (сурет 1.15 көрсетілген 8-позиция) беріледі (сурет 1.15 көрсетілген 4-позиция).

Генератордың роторы айналған кезде 16 механикалық энергия электр энергиясына айналады. 1.15 – суретте көрсетілген электр қондырғысының құрылымдық сызбасы келтірілген, оның құрылымы туралы толық көрініс берілген [27].

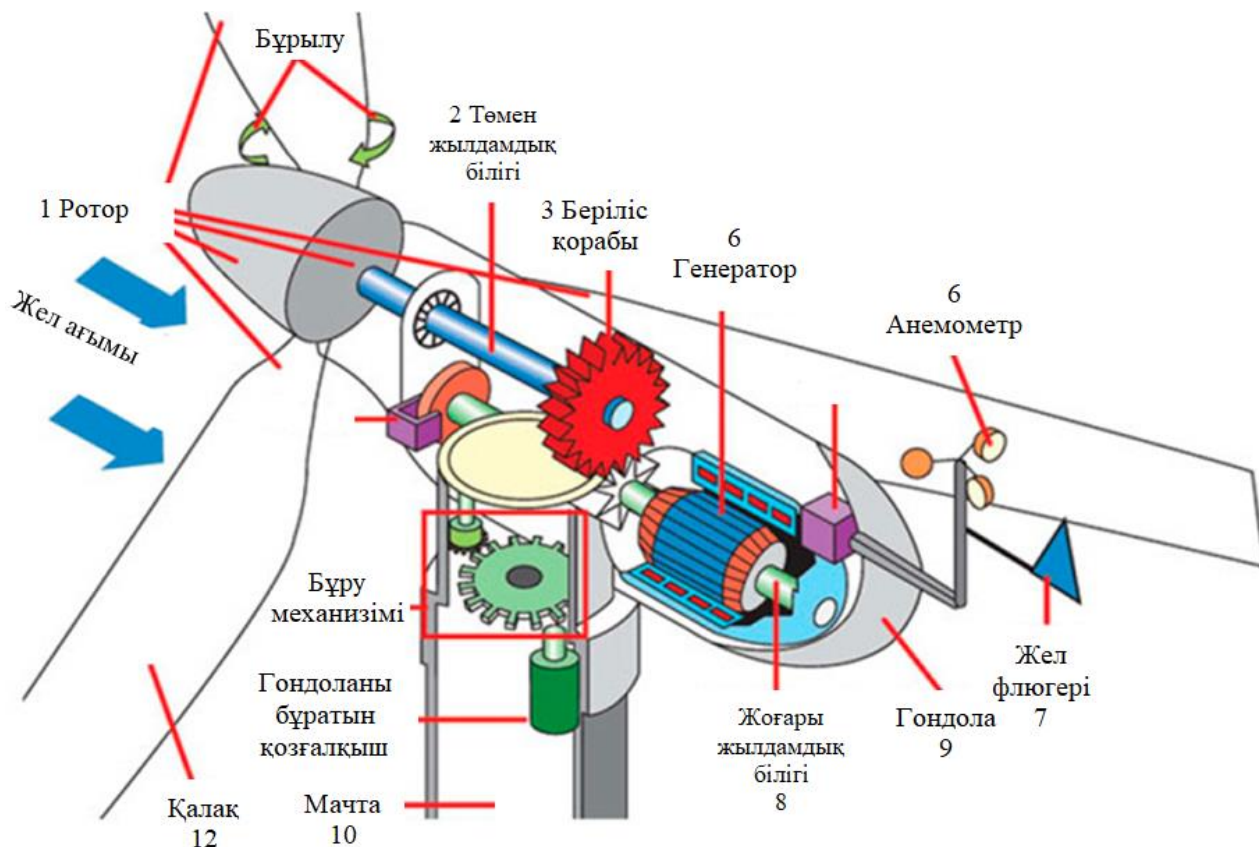


Сурет 1.14 – Көлденең (а) және тік ось (б) айналуы бар жел турбинасы

Сұлбада келесі анықтамалық белгілерді қолданады:

- 1) Желдің қысымын механикалық энергияға айналдыру процесіне қатысатын жел дөңгелегінің роторы;
- 2) Жел дөңгелегі роторымен қозғалатын және механикалық энергияның берілуіне қатысатын төмен жылдамдықты білік;
- 3) Жел дөңгелегінің (ротордың) жылдамдығын арттыратын редуктор;
- 4) Электр қуатын өндіретін және оған жоғары жылдамдықты білік кіретін генератор;
- 5) Барлық қондырғыны басқаруға жауапты контроллер. Оның көмегімен жел турбиналары автоматты түрде іске қосылады немесе тоқтатылады;
- 6) Анемометр, желдің жылдамдығын анықтауға арналған өлшегіш, ақпаратты контроллерге жібереді;
- 7) Флюгер, жел бағытын анықтайтын және жел дөңгелегін қажетті бағытқа бұрады;
- 8) Электр генераторының роторын айналдыратын жоғары жылдамдықты білік;
- 9) Жел турбинасының жоғарғы жағында орналасқан және құрылымның тірек бөлігі болып табылатын саңылаулар. Оның ішінде біліктер, беріліс қорабы, генератор, контроллер және тежегіш бар;
- 10) Мачта, металл немесе бетоннан жасалған, барлық негізгі элементтерді биіктікке орналастыруға қызмет етеді;
- 11) Қондырғының бүлінуіне жол бермейтін және роторды сыну жағдайларда тоқтату үшін қолданылатын тежегіш (мысалы, дауыл кезінде);

12) Қалақтар, жел энергиясын алуға арналған жел турбинасының негізгі элементі болып табылады. Қалақтар көмегімен бұл құрылғының жұмысы жүзеге асырылады. Қалақтарға түскен жел ағыны оларды қозғалысқа келтіреді және ротордың айналуын және генератордың энергиясын өндіруін қамтамасыз етеді.



Сурет 1.15 – Жел турбинасының құрылымдық сызбасы

Ұқсастықтарға қарамастан, көлбеу және тік айналу осьтері бар жел турбиналарының сипаттамаларында айтарлықтай айырмашылықтар бар [28, 29].

Жел турбинасының артықшылығы - көлденең айналу осі, тік осьті айналатын ЖЭС салыстырғанда жоғары тиімді. Жұмыс барысында көлденең осьті ЖЭС желдің көтеру күшімен жұмыс істейді (сурет 1.16), ал тік осьті ЖЭС көп жағдайда желдің кедергі күшімен жұмыс жасайды (сурет 1.17). Желдің кедергі күшін қағып алу үшін ЖЭС көлемі жағынан үлкен болады және салмағыда ауыр болып келеді, көлденең осьті ЖЭС салыстырғанда [30].

Көлденең осьті жел турбиналары қалақтарының санына байланысты бір, екі, үш және көп қалақты және бұрандалы болып бөлінеді (сурет 1.16) [31-34].



Екі қалақты ЖЭС



Үш қалақты ЖЭС



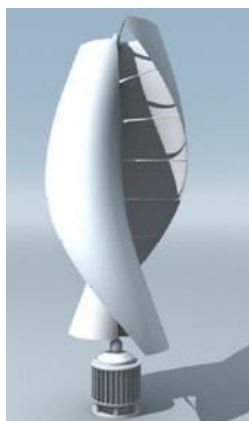
Көп қалақты
ЖЭС



Бұранды қалағы
бар ЖЭС

Сурет 1.16 – Көлденең осьті жел турбиналары

Турбина осі тік айналатын ЖЭС қалақтарының пішініне байланысты келесі түрлері болады (сурет 1.17) [35-38].



Савониус
роторы



Дарье роторы



Геликоид роторы



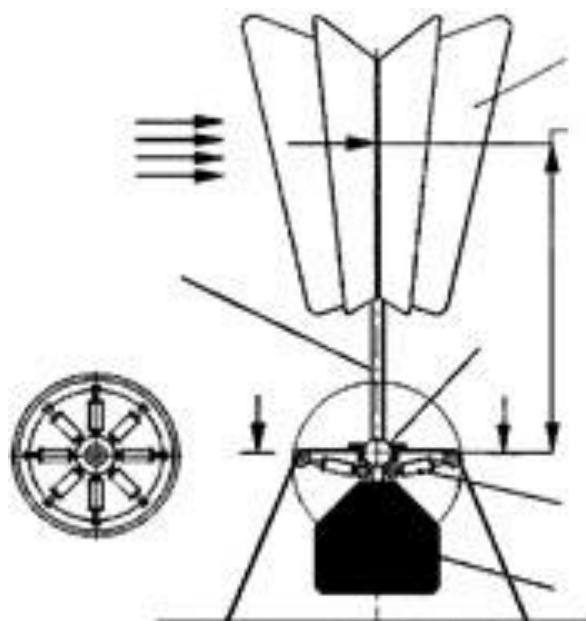
Көп жүзді роторы

Сурет 1.17 – Тік осьті жел турбиналары

1.7 Тербелмелі жұмыс органы бар ЖЭС

Инженер – конструктор Виктор Кремлев ұсынған тербелмелі органы бар ЖЭС 1.18 – суретте көрсетілген [39].

Бұл құрылғының мачтасы жерге темір бетонға шарнирмен қатырылған. Шарнир шарикті немесе кардан тәріздес болуы мүмкін. Мачтаның төменгі жағына, жалпы мачтаны тік жағдайда ұстау мақсатында қосымша жүктеме ілінеді. Бетонмен мачтаны жалғайтын шарнирді байланыстың төменгі жағында гидро цилиндр орнатылады. Мачтаның жоғарғы бөлігіне қатаң формадағы тісті желкен орнатылады. Екпінді жел соққанда мачта ауытқиды және мачтаның төменгі бөлігіне орнатылған қосымша жүк арқылы кері қарай өзінің орнына қайтып тербеледі. Осы сәтте гидроцилиндрлер майды айдап генератор валын қозғалысқа келтіреді. Қазіргі таңда, бұл тербелмелі жұмыс органы бар ЖЭС толық қанды зерттелінбеген және тек теория ретінде ұсынылған.



Сурет 1.18 – Тербелмелі органы бар ЖЭС

Vortex вормасының инженерлері ойлап тапқан тербелмелі органы бар ЖЭС (сурет 1.19). Жұмыс істеу принципі табиғаттағы талдардың желдің соғуы арқасында тербелуі негіз болды. Бұл құрылғыда мачтаның өзі тек мачта ғана емес сонымен қатар желкеннің қызметін атқарады.



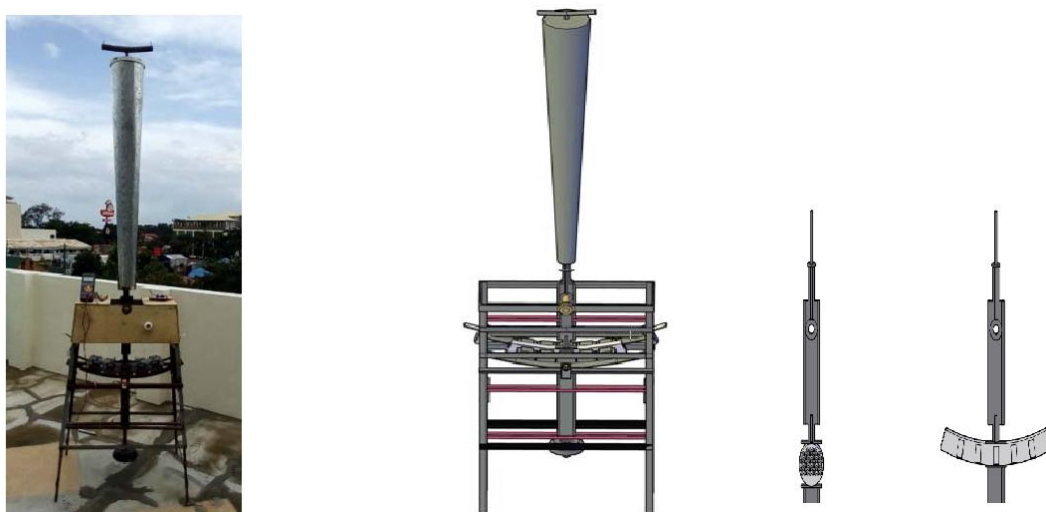
Сурет 1.19 – Vortex Mini ЖЭС

Мачтаның пішіні, мачтаның төменгі бөлігі жіңішке ал жоғарғы бөлігі жуандау болып келетін төңкерілген конус тәріздес болып келеді. Мачтаның

төменгі жағы жердегі битонмен арнайы шарнирмен бекітіледі. Мачтаның ішкі бөлігінде тұрақты магниттер орнатылады, екпінді жел соққанда мачта тербеліп тұрақты магниттер арқылы электр энергиясы өндіріле бастайды. Тұрғын аудандарда пайдалануға арналған Vortex Mini ЖЭС көрсетілген (сурет 1.19), оның ұзындығы 12,5 метржәне сағатына шамамен 4 киловатт энергия өндіреді [40].

VBW ЖЭС

Бұл зерттеу құйынсыз жел турбинасында маятниктің екі түрін қолдануды көрсетеді: доға тәрізді және диск. Мұнда, 1.20 – суретте көрсетілген VBW турбинасына кіретін желдің кинетикалық энергиясы маятниктердің екі түрі үшін де пайдалы электр энергиясына айналады.



Сурет 1.20 – VBW жел электр станциясының лабораториялық моделі

Тұрақты магниттер маятниктерге бекітіліп, генератор үшін поршень рөлін атқарады, ал катушка маятниктің бүйірлерінде 2200 орамды статор ретінде жасалған. Содан кейін, маятник катушкалар мен тұрақты магниттер арасында пайда болатын магниттік ағынның арқасында бір жақтан екінші жаққа қозғалған кезде электр энергиясы өндіріледі. Нәтижесінде доға маятникіндегі кернеудің айтарлықтай өсуі байқалады. Желдің жылдамдығын бақыланатын және бақыланбайтын прототиптің нақты имитациясы көрсетеді. VBW турбинасындағы доға маятникінің орташа кернеуі жоғары болатынды, белгілі бір күннің таңы мен кеші аралығында жиналады. Тұжырымдаманың экономикалық практикалық болуы үшін прототип кіші өлшемінде салынды, дегенмен, үлкен өлшемді прототипті орнату электр энергиясын көп жұмсайды [41].

Желкенді ЖЭС

Жел энергетикалық құрылғының функционалдығын тексеру және желкен қозғалысын зерттеу үшін, (сурет 1.21) көрсетілгендей зертханалық үлгісі жасалынды.

Мұнда жылжымалы платформаға 4 тороидалды желкен 5 манипулятор түрлендіргіші қатаң бекітілген. Әрбір штокқа шток-цилиндрлі жалғанады 2 ол сызықтық 3 электр генераторының роторына қосылған, ол электр тогын генерациялайды, алынған ток 6 микро амперметрлер блогына тіркеледі.

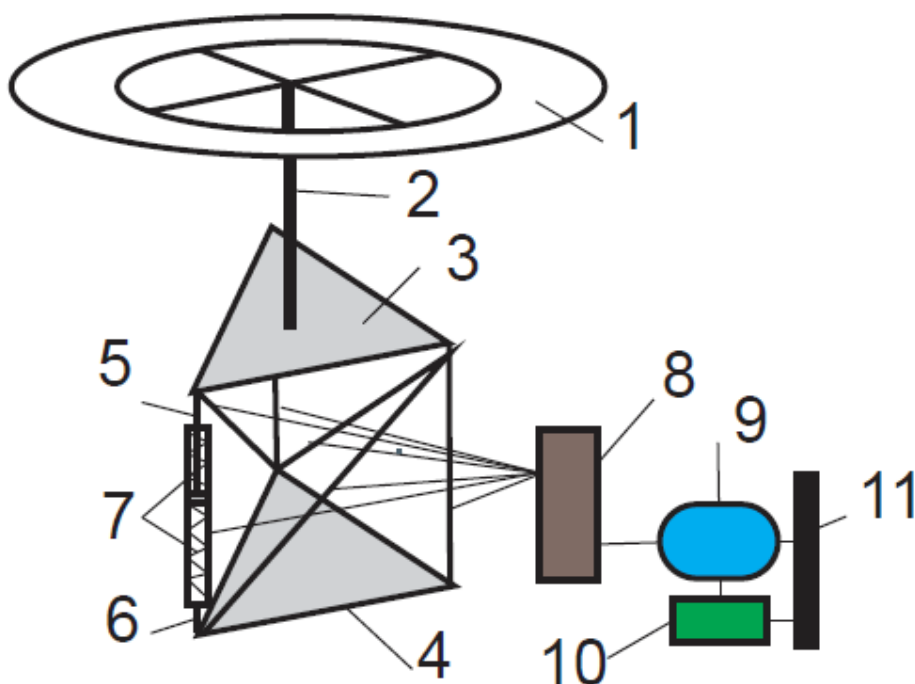


Сурет 1.21 – Жел энергетикалық құрылғының жұмыс істейтін моделі

Желдің соққысымен және көтеру күші әсерінен желкен желдің бағытымен және жылдамдығына байланысты кеңістікте қозғалысын орындайды. Осылайша, желкен ауа массасының кинетикалық энергиясын өзіне қабылдайды, ал манипулятор түрлендіргіші цилиндрлерге қатысты бұл энергияны алты түзу сызықты қозғалысы механикалық энергияны электр энергиясын генерациялауға мүмкіндік береді. Модельден байқасақ, желкен жел күші әсерінен қозғалады, сонымен қоса серіппелі цилиндр штогын бір мезгілде қысады. Кері бағытта, желкен серіппенің әсерімен артқа қозғалады. Сондай-ақ, желкеннің көрсетілген моделі оның пішіні жұмыс органын желдің қиратқыш әсерінен қорғайтынын көрсетті. Мәселен, күшті желдерде, жұмыс органын желкеннің ауа ағыны пайда болғанда желкен ең үлкен бұрышына ауытқып кетіп, ауа ағымының бөлінуіне әкелді. Жел күші тоқтағаннан кейін, жұмыс органыны серпімділік күштердің әсерінен ол бастапқы орнына қайтады. Модельдің жұмысы нақты істелуі келесі сілтемеде көрсетілген [42].

1.21 – суретте көрсетілген желкенді жел электр станциясының жаңартылған түрі 1.22 – суретте көрсетілген. Жаңартылған ЖЖЭС мен алдыңғы модельдің прототипті жел энергетикалық құрылғының арасындағы маңызды айырмашылық - бұл автоматты түрде басқарылатын ауамен үрілетін желкеннің көлемі және платформалық түрлендіргіштің алты актуаторының

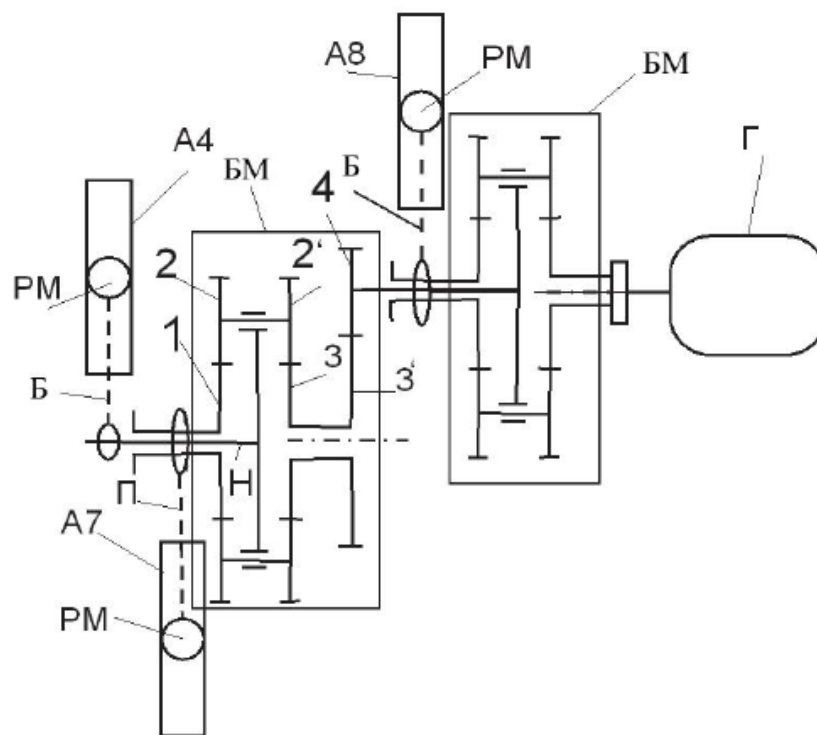
қозғалысының бәрін күрделі қуатты іріктеу жүйесімен (ҚІЖ) (сурет 1.23) және арнайы тісті берілістер арқылы бір генератордың валын айналдыруға кетеді [43].



Сурет 1.22 – Жел энергетикалық құрылғының жұмыс істейтін моделінің жаңартылған моделі

Жаңартылған ЖЖЭС келесі құрылымдық элементтерден тұрады: үрілетін желкен 1; 2 мачта; манипуляторлық түрлендіргіш (МТ) 5 ол 3 жоғарғы сонымен қатар төменгі 4 платформалардан және өзара алты актуатормен жалғанған, 6 цилиндр; серіппе 7; 8 ҚІЖ; 9 электр тогын және аккумуляторды зарядтайтын генерациялау және жинақтау жүйесі 10. 11 тұтынушының электр желісі.

Жаңартылған ЖЖЭС – ң ҚІЖ-нің құрылымы. Жалпы, ҚІЖ-нің құрылымына (сурет 1.23) келесі құрылғылар кіреді: актуаторлар (А), қозғалысты түрлендіргіш; берілістер (Б); дифференциалды тісті беріліс механизмдері (БМ); генератор (Г). ҚІЖ-нің 1.23 – суретте құрылымы үш актуатордан 4,7,8 және екі дифференциалдық механизмдерінен құралады. Бірінші МТ-те 2 кіріс бар: актуаторлардан тиісінше Н және К тісті дөңгелек 1 және шығу- тісті дөңгелек 3.



Сурет 1.23 – Жаңартылған ЖЖЭС – ң ҚІЖ

1.8 Зерттеу міндеттері

Диссертациялық жұмыстың мақсаты желдің жылдамдығы 3 м/с бастап жұмыс істейтін және құбылмалы екпінді желдің кинетикалық энергиясын электр энергиясына түрлендіретін, мачта бойымен орнын ауыстыратын тороидалды желкеннен тұратын жұмыс органы бар желкенді ЖЭС параметрлерін компьютерлік, аналитикалық зерттеу жасап математикалық моделін жазып, алынған көрсеткіштерді анализдеп сынақ жүргізу. Осы мақсаттарға жету үшін келесі зерттеулерді орындау қажет, яғни:

- Жел энергетика саласына шолу жасау.
- Компьютерлік модельдеу мен виртуалды аэродинамикалық құбырда зерттеу арқылы жоғары аэродинамикалық көрсеткішке ие болатын тороидалды желкенді таңдау;
- Профилі белгілі бір бұрышқа бұралған тороидалды желкенді виртуалды аэродинамикалық құбырда желкеннің аэродинамикалық сипаттамасын тексеру;
- Желкенді ЖЭС зертханалық моделін құрастыру;
- Желкенді ЖЭС жұмысының динамикалық моделін жазып есебін шығару;
- Қуатты іріктеу жүйесін таңдау;
- Электр энергиясын өндіретін жүйенің параметрлерін таңдау;
- Желкенділікті автоматты басқару жүйесін шешу, диагностикалау жүйесін және авариялық қауіпті жағдайды ескерту жүйесін құрастыру.

2 АВТОНОМДЫ ЖЕЛКЕНДІ ЖЕЛ ЭЛЕКТР СТАНЦИЯСЫНЫҢ ТОРОИДАЛДЫ ЖЕЛКЕНІН ТАҢДАУ

2.1 Желкенді жел электр станциясының құрылымдық және функционалдық элементтері

Қазіргі таңда баламалы энергияның қарқынды даму кезеңі, соның ішінде жел энергетикасының даму сатысы ерекше орын алады. Жел энергиясының таралу кеңдігіне қарамастан, кең тараған дәстүрлі, яғни, роторлары горизонталді немесе вертикалды айналатын жел электр станцияларын (ЖЭС) кез-келген жерге орналастыруға болмайды. Себебі желдің қатты соғуы, жай соғуы немесе ұйытқы жел соғу барысында дәстүрлі ЖЭС пайдалы әсер коэффициенті төмендейді және дәстүрлі ЖЭС жұмыстан шығу салдарыда байқалады. Ұсынылып отырған желкенді жел электр станциясы дәстүрлі ЖЭС-нан айрықша артықшылықтары бар [44]. Желкенді ЖЭС-ның құрылымдық ерекшелігі дәстүрлі ЖЭС кемшіліктерін жояды, соның салдарынан қолдану аумағыда кеңейеді.

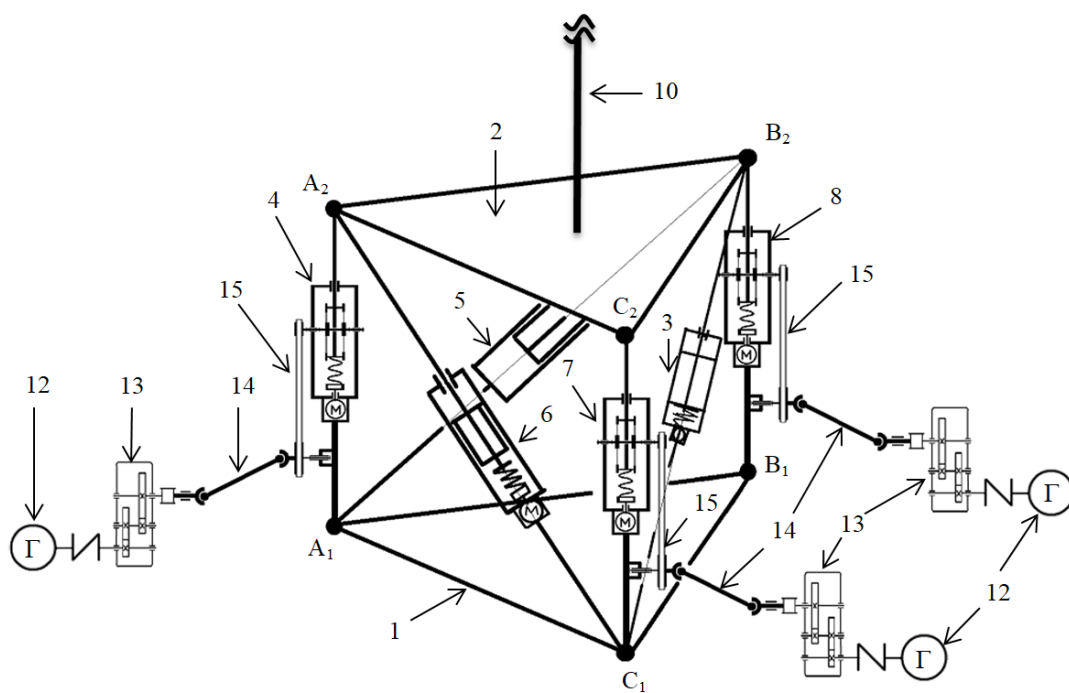
Желкенді ЖЭС үш құрамдас бөліктен тұрады (сурет 2.2), олар: тороидалды желкен 11, мачта 10 және платформалық манипулятор 9.

Тороидалды желкен 11 желкенді ЖЭС-ң жұмыс органы. Желкеннің пішіні тороидалды. Желкеннің пішінін тороидалды пішін ретінде алу себебі, ол кез – келген бағыттан соққан желдің кинетикалық энергиясын қағып алады және дәстүрлі ЖЭС секілді желдің бағытына қарай бұрылу үшін арнайы қосымша құралдарды қажет етпейді. Тороидалды желкеннің құрылымдылық ерекшелігіне байланысты желдің соққан энергиясын тербелмелі қозғалыс энергиясына түрлендіреді. Тороидалды желкеннің көлденең қимасы 18 градусқа бұралған самолет қанатының көлденең қимасындай және пішіні тороидалды болып келеді. Тороидалды желкеннің өлшемдері тұрақты шамамен үлкейеді және кемиді. Бұл өлшемдер виртуалды аэродинамикалық сынақ барысында тексеріліп бекітілген және басқада тороидалды желкендермен салыстырғанда жоғары көтеру күші мен кедергі күшіне ие болды. Салмағы жеңіл және құрылысы қатты болып келеді.

Мачта 10 жұмыс органы болып табылады және ол, тороидалды желкен мен платформалық манипулятор түрлендіргішін өзара жалғайды. Пішімі ұзын стержень секілді, салмағы жеңіл және қатты материалдан құрастырылады. Мачтаның төменгі бөлігі платформалық түрлендіргіштің қозғалмалы бөлігіне қатаң жалғанады. Желдің соғу жылдамдығына қарай мачтаның бойына бірнеше тороидалды желкен орналасады және тороидалды желкендер мачтаның бойымен жоғары немесе төмен қозғалады.

Платформалық манипулятор түрлендіргіші (МТ) 9, аты шыққан Sholkor платформалық манипулятор негізінде құрастырылған. Sholkor платформалық манипуляторының басқа платформалық манипулятордан айырмашылығы, Sholkor платформалық манипуляторында алты қозғалтқыштың 3-8 барлығы бір-біріне тәуелсіз еркін жұмыс істей алады, сол себептен бұл платформалық манипулятордың алты еркіндік қозғалу дәрежесі бар. Sholkor платформалық

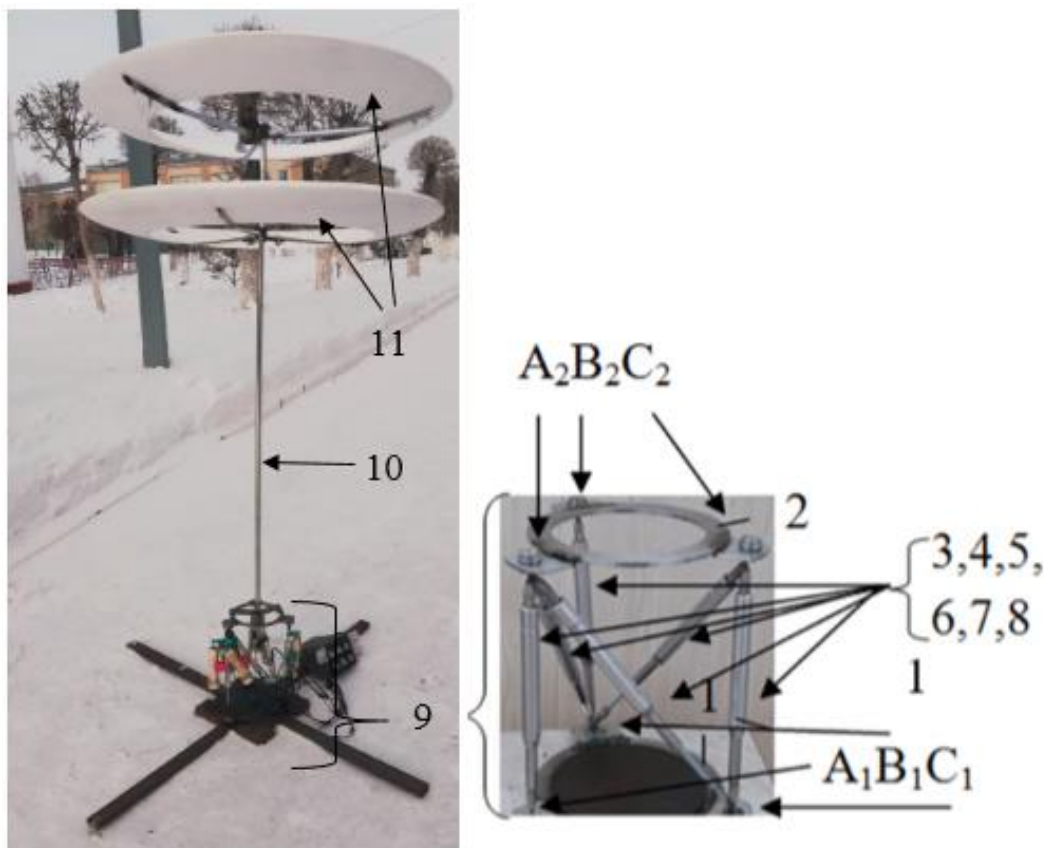
манипуляторын осындай қасиеттері үшін, желкенді ЖЭС-ң платформалық манипуляторлық түрлендіргіші ретінде алдық. Sholkor параллельді платформалық манипуляторы (сурет 2.1) кинематикалық сұлбасы көрсетілген. Sholkor параллельді платформалық манипуляторы, жоғарғы платформадан 1 және төменгі платформадан 2 тұрады. Жоғарғы платформадан 1 және төменгі 2 платформалары $A_1, B_1, C_1, A_2, B_2, C_2$ нүктелері арқылы кинематикалық жалғаулар актуаторлар арқылы 3 – 8 өзара қосылады [45]. Жалғанатын кинематикалық жалғамаларда платформамен сфералық жалғаулар пайда болу үшін соңғы нүктелері мен шаровыйлар нүктелерінің аяқ жағында басқарылатын жетегі бар. Қыстырылған A_1, A_2 біріккен нүктелері тек бір ғана кинематикалық жалғамалар (6 мен 4 ке байланысты) жалғанып платформамен сфералық кинематикалық жұптар пайда болады. B_1 біріккен нүктесі платформа 1 мен сфералық байланыстың салдарынан бір кинематикалық жалғамалар 8 пайда болады. B_2 нүктесі платформамен үш кинематикалық жалғамалардың 3,5 және 8 сфералық жұп арқылы жалғанады. C_1 біріккен нүктесі платформамен 1 кинематикалық жалғамалармен 7,3,6 сфералық жұп пайда болады, ал C_2 нүктесінде кинематикалық жалғама 7 болады.



Сурет 2.1 – Sholkor параллельді платформалық манипуляторы

Манипуляторлық түрлендіргіштің тігінен орналасқан актуаторларына 4,7,8 белдікті 15 және корданды 14 берілістері арқылы 13 қуатты іріктеу жүйесімен байланыстырылады. Қуатты іріктеу жүйесі 13 электр энергиясын өндіретін генераторы 12 валына жалғанады. Генератордан ары қарай контроллер мен инверторлары арқылы өндірілген қуатты аккумуляторға жинайды және тұтынушының электр желісіне таратады.

Тороидалды желкен, желден қағып алған кинетикалық энергиясын тербелмелі қозғалыс энергиясына МТ арқылы түрлендіреді, ал МТ ары қарай тербелмелі қозғалыс энергиясын электр энергиясына түрлендіреді.



Сурет 2.2 – Лабораториялық желкенді жел электр станциясының жалпы көрінісі

Желкенді ЖЭС негізгі жұмысы желдің кинетикалық энергиясын электр энергиясына түрлендіру болып табылады. Яғни желкенді ЖЭС жұмыс органы желдің кинетикалық энергиясын тербелмелі қозғалыс энергияға, ал тербелмелі қозғалыс энергиясын электр энергияға МТ түрлендіреді. Желкенді ЖЭС жұмысы жұмыс органының пайдалы әсер коэффициентіне тура пропорционал болып келеді, сондықтан тороидалды желкенді таңдау негізгі зерттеу жұмысының бірі болып табылады.

2.2 Желкеннің аэродинамикалық қимасы мен пішінін зерттеу

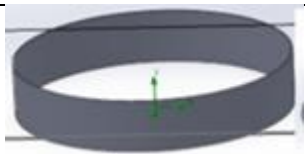
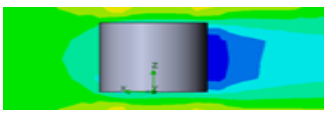
2.2.1 ЖЖЭС –ң жоғары аэродинамикалық көрсеткішке ие болатын жаңа тороидалды желкенді басқа желкендермен компьютерлік модельдеу арқылы зерттеу және салыстыру

ЖЖЭС ерекшелігі, ЖЖЭС-ң желкеніне желдің кедергі күші мен көтеру күші бір уақытта әсер етеді. Кейбір алдындағы зерттеулерде желкеннің тороидалды пішіні мен аэродинамикалық профильдерін таңдау жайлы ақпарат берілген [46]. Зерттелінетін желкендердің пішіндері мен аэродинамикалық профильдері кеңейтілген. ПӘК жоғары тороидалды желкенді зертханалық әдіспен таңдау үшін тоғыз желкен моделі алынды. Оның негізгі бөлігі

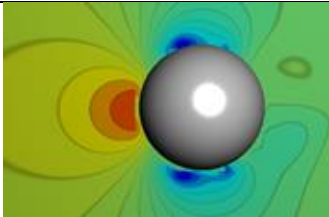
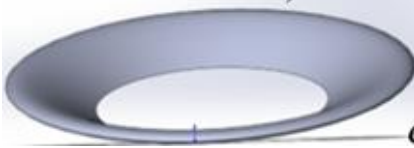
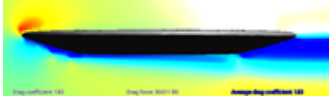
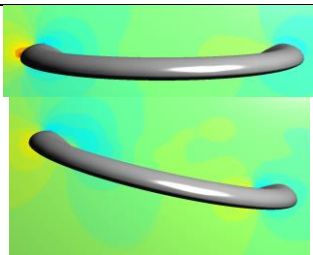
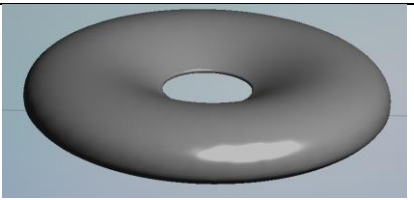
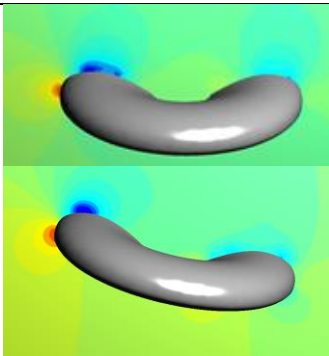
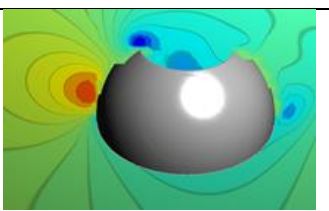
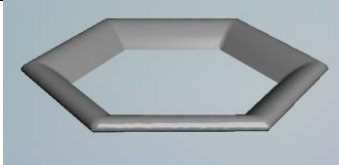
тороидалды пішіндес желкен және бір шар пішіндес желкен алынды. Салыстырмалы түрде, аэродинамикалық қасиеттері жоғары болатын желкенді таңдау мақсатында SolidWorks компьютерлік бағдарламада тоғыз түрлі желкен моделденді (3-кесте). Барлық 3D модельдердің беттік көлемі бірдей болып келеді. Моделденген тороидалды желкендерді компьютерлік бағдарлама Autodesk Flow Design виртуалды аэродинамикалық құбырда сыналанды, 3-кестеде тоғыз желкеннің сынақ барысы көрсетілген. Сыналған тоғыз желкеннің ішінде тек үш тороидалды желкен көтеру күші мен кедергі күшіне ие болды. Қалған үш тороидалды желкендердің ішінде тек біреуі ғана жоғары көтеру күші мен кедергі күшіне ие болды. Ол Р-II-14% самолет қанатының профилі негізінде құрастырылған және көлденең қимасы 18 градусқа бұралған тороидалды желкен болды.

Бұл желкендердің моделі компьютерлік бағдарламада Autodesk Flow Design виртуалды аэродинамикалық құбырда сыналанды. Сынақтың қорытындысы ретінде (кесте 3 көрсетілген *a,b,e,g*) төрт желкенде аэродинамикалық көтеру күші мен кедергі күштері бірге байқалады. Солардың ішінен (кесте 3 көрсетілген *e*) желкенінде аэродинамикалық көрсеткіші жоғары болып табылды. Бұл жаңартылынған тороидалды желкеннің аэродинамикалық қимасы тангаж (көлденең осімен салыстырғанда) бойынша 18 градусқа бұралған самолетының қанатының қимасына сәкес болып келеді. Авицияда самолеттың қанатын тангаж бойынша закрывкалар көмегімен бұру арқылы самолет қанатының көтеру күшін арттыратыны белгілі. Сосын компьютерлік бағдарлама Autodesk Flow Design виртуалды құбырда жаңа тороидалды желкеннің аэродинамикалық көрсеткіштері тағы сыналанды.

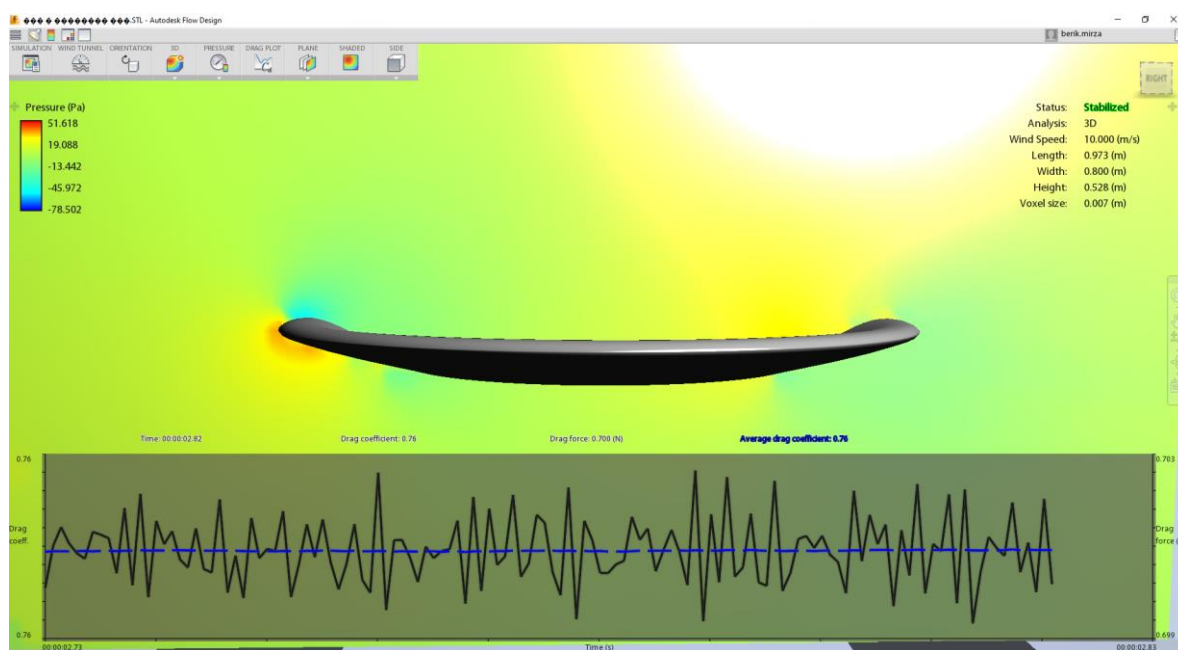
Кесте 3 – 3D желкендер моделінің салыстырмалы анализі

№	Желкендердің 3D моделі	Желкен формасы	Сынақ барысы	Қорытынды
1	2	3	4	5
a		Тороид тәрізді ойыс		Көтеру күші жоқ
b		Көлденең қимасы теріс айналатын тороидалды пішін		Көтеру күші жоқ
c		Цилиндр		Көтеру күші жоқ

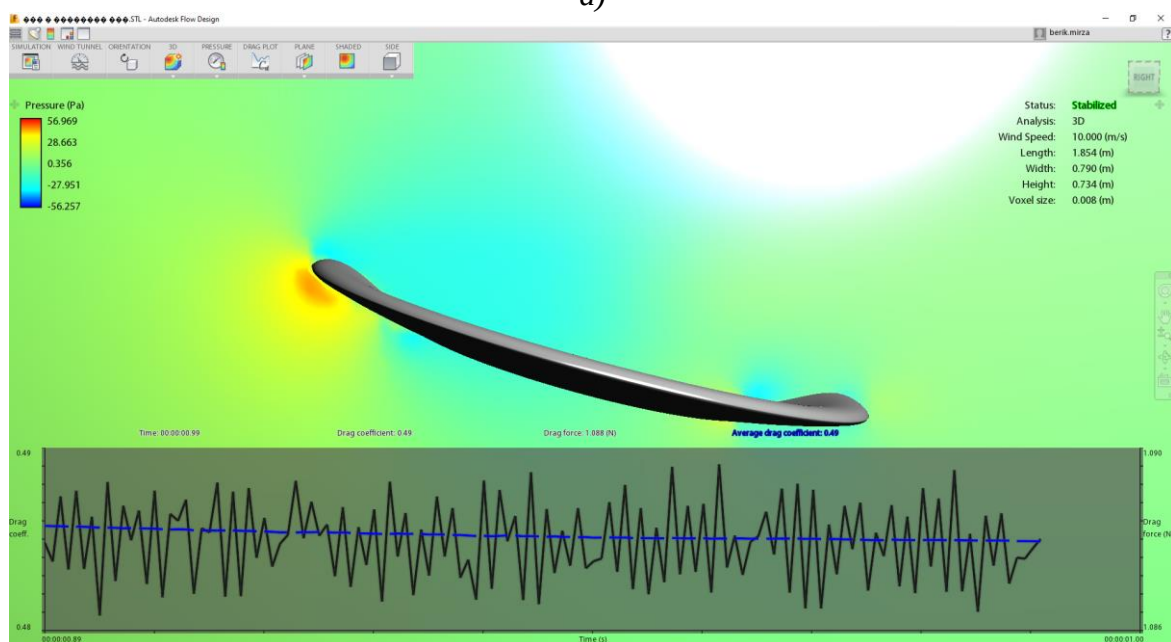
3-кестенің жалғасы

1	2	3	4	5
d		Шар		Көтеру күші жоқ және кедергі күші жоғары
e		Жаңартылған тороидалды желкен		Көтеру күші жоғары, және кедергі күші бар
f		Көлденең қимасы бұрылмайтын тороидалды желкен		Көтеру күші және кедергі күші төмен. Еңкею кезінде көтеру күші артады.
g		Ішкі диаметрі кішкентай болып келетін тороидалды желкен		Көтеру күші және кедергі күші төмен. бұрылу кезінде көтеру күші артады.
h		Тороидалды пішіндес жарты сфера		Көтеру күші жоқ және кедергі күші жоғары
i		Көп қырлы тұйықталған желкен		Желкеннің әр түрлі нүктелерінде аэродинамикалық қасиеттері әр түрлі, турбуленттілік байқалады

Үшінші кестеде көрсетілген Autodesk Flow Design виртуалды аэродинамикалық құбырда желкендердің сынақ барысы мен атаулары көрсетілген. Бұл сынақта, желдің соғуынан туындаған тороидалды желкен, мачта және платформалық манипулятордың үстінгі бөлігінен тұратын желкенді ЖЭС жұмыс органының тербелу барысында тороидалды желкеннің орналасу бұрышын өзгертеді, сол бұрыштың өзгеруіне байланысты тороидалды желкеннің аэродинамикалық көтеру күші мен кедергі күші қалай өзгередінін сынау болып табылады. Осыған байланысты тороидалды желкенді бұрышқа бұру арқылы моделдеу барысында бұрыш 0° градустан 8° градус аралығында 1° кадаммен көтеріліп сыналды.



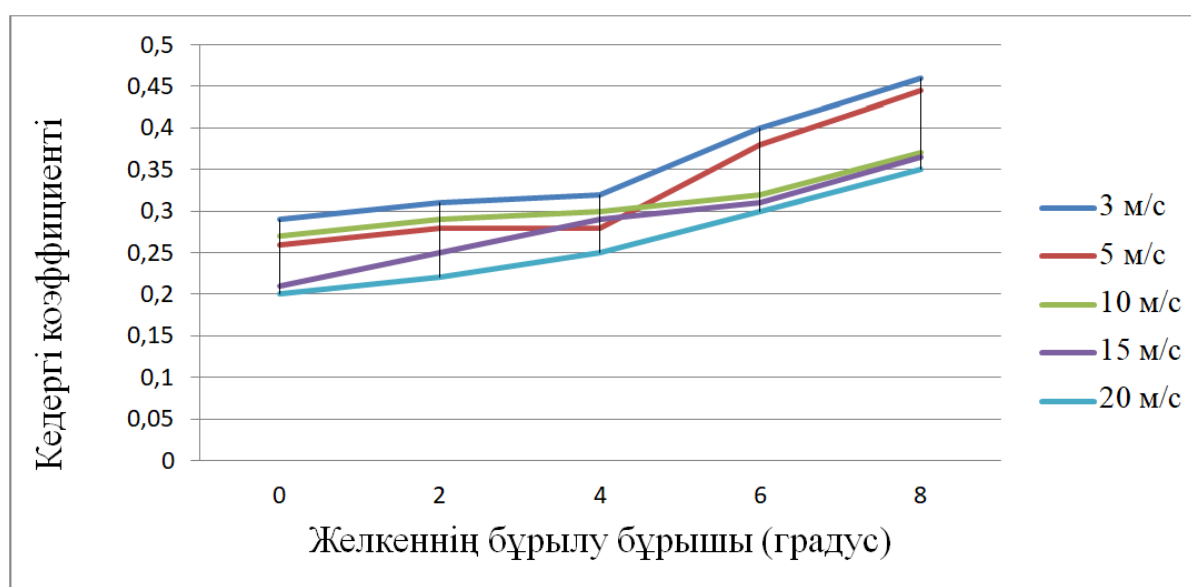
a)



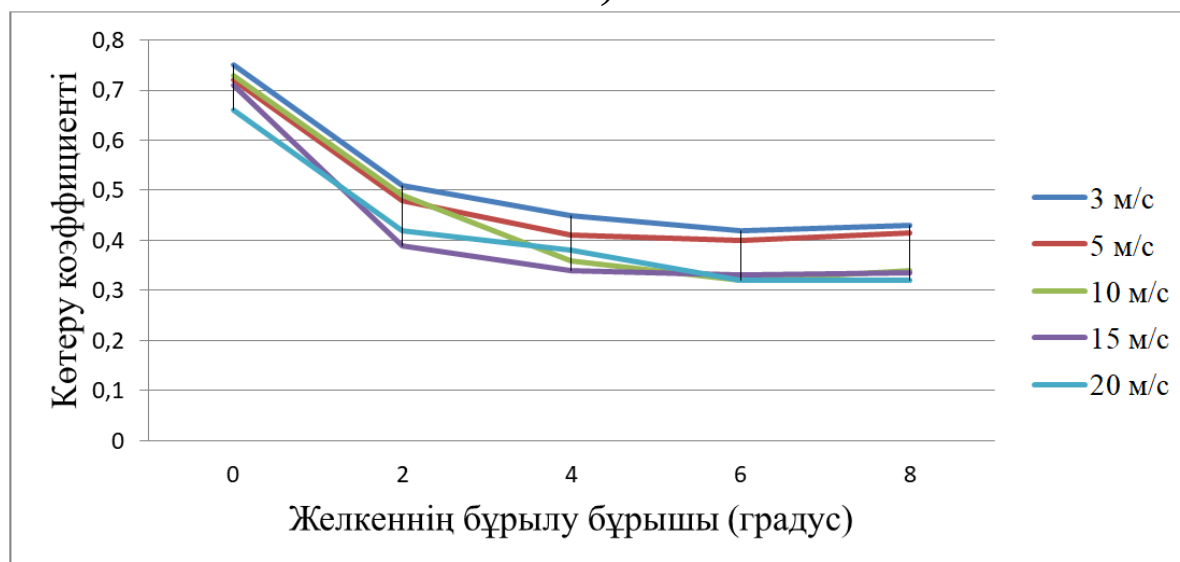
b)

Сурет 2.4 – Көлбеу бұрышта орналасқан тороидалды желкенге түсіретін аэродинамикалық қысым күштерінің әсерін модельдеу

Тороидалды желкеннің үстіне және төменгі бөлігіне желкеннің 0^0 (a) және 8^0 -та (b) бұрылып тұрғандағы түсірілетін күш қысымының мөлшері түс гаммасы ретінде көрсетілген (сурет 2.4). 2.4 a) – суретте көрсетілген горизонталды орналасқан желкенге әсер ететін аэродинамикалық күштің әсері көрсетілген. Осы, 2.4 a) – суреттің түс гаммасына қарап аэродинамикалық көтеру күші тороидалды желкенді бұруға әрекет етуі көрініп тұр. 2.4 б) – суретте тороидалды желкен максималды бұрылып тұрғанда аэродинамикалық күштер тороидалды желкенді бастапқы орнына акелуге ықпал келтіріп тұрғаны көрініп тұр.



a)



b)

Сурет 2.5 – Модифицирленген тороидалды желкеннің кедергі және көтеру коэффициенттері

Бұл ақпараттар жаңартылған тороидалды желкен желкенді ЖЭС жұмыс органының тербелуіне қолайлы жағдай жасайтынын көрсетеді. Тороидалды желкеннің бұрылу бұрышын әр 2^0 сайын өзгерту арқылы желдің әсерінен аэродинамикалық коэффициенттерінің қалай өзгеруін зерттеу барысы (сурет 2.5) көрсетілген. Диаграммада (сурет 2.5) тороидалды желкен горизонталды орналасқанда көтеру күшінің коэффициенті c_w жоғары, ал кедергі күшінің коэффициенті c_d төмен болып келеді. Моделдеуден тороидалды желкеннің бұрылу бұрышы көбейген сайын c_w төмендеп, ал c_d жоғарылағаны көрінеді. Бұл заңдылық жалпы желдің жылдамдығы 3,5,10,15,20 м/с болғанда орындалды.

Виртуалды аэродинамикалық құбырда сынақтың нәтижесі бойынша мачтаның тура қозғалысына негізінен желдің көтеру күшінің арқасында орындалатынын көрсетті. Компьютерлік моделдеудің көмегімен алынған нәтижелерге қарап желкеннің тороидалды пішіні мен аэродинамикалық профилінің арқасында тороидалды желкен 4^0 - 8^0 градусқа ауытқығанда аэродинамикалық күштің қосалқы нәтижесі төмендейтінін көрсетті. Осыған орай алдағы уақытта мачтаның ауытқитын A амплитуданың шамасы (4^0 - 8^0) болып келеді. Жұмыс органы осы бұрышқа түзу жолмен ауытқығаннан кейін сығылған пружина мен желдің әсер ететін күштің төмендеуі арқасында мачта кері жолмен өз ронына қайтады.

2.2.2 Желкенді ЖЭС тороидалды желкенін жобалау

Желкенді ЖЭС тороидалды желкенін жобалау үшін, тороидалды желкеннің геометриялық өлшемдерін өлшеп анықтайтын алгоритмін жасау қажет.

Қарастырылып отырған желкен тороидалды пішіндес және көлденен қимасы самолет қанатының аэродинамикалық профиліне сәйкес келеді. Самолет қанатының аэродинамикалық профилінің периметрін анықтайтын арнайы сәйкестік формуласының жоқ болу арқасында, қарастырылып отырған тороидалды желкеннің аэродинамикалық профилінің периметрін анықтау мақсатында эллипстің периметрін анықтайтын жақындатылған формула қолданылады.

Тороидалды желкеннің беттік ауданын есептеу барысында келесідей ерекшеліктерге назар аудару қажет, олар айналу осіне қатысты r эксцентриситетімен ығысқан айналу денесінің беті эллипстен құралған.

Эллипстің теңдеуі шеңберді созу арқылы алынады:

$$\begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a/r & 0 \\ 0 & b/r \end{bmatrix} \begin{bmatrix} r \cos(t) \\ r \sin(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a \cos(t) \\ b \sin(t) \end{bmatrix}, \quad 0 \leq t \leq 2\pi,$$

Мұнда: a, b – эллипстің жарты осі.

Алынған теңдеуді θ бұрышына бұру үшін, теңдеуді сол жағынан бұрылу матрицасына көбейтеміз:

$$M(\theta) = \begin{bmatrix} \cos(\theta) & -\sin(\theta) \\ \sin(\theta) & \cos(\theta) \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix} = M(\theta) \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a \cos(t) \cos(\theta) - b \sin(t) \sin(\theta) \\ a \cos(t) \sin(\theta) + b \sin(t) \cos(\theta) \end{bmatrix}$$

$\begin{bmatrix} r \\ 0 \end{bmatrix}$ векторын $\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix}$ қосу арқылы, графикті x осі бойымен r қашықтыққа жылжытамыз.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} r \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a \cos(t) \cos(\theta) - b \sin(t) \sin(\theta) + r \\ a \cos(t) \sin(\theta) + b \sin(t) \cos(\theta) \end{bmatrix}$$

Алынған фигура y осі бойынша айналғанда, біз үш өлшемді фигура аламыз, оның беттік ауданы келесі теңдеуге тең болады:

$$S_y = 2\pi(a \cos(\theta) I_1 - b \sin(\theta) I_2 + r I_3),$$

$$\text{мұнда: } I_1 = \int_0^{2\pi} \cos(t) \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} dt, I_2 = \int_0^{2\pi} \sin(t) \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} dt,$$

$$I_3 = \int_0^{2\pi} \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} dt.$$

I_1 интегралында орын алмастыру орындаймыз $u = \sin(t)$, $du = \cos(t) dt$, $u_1 = \sin(2\pi) = 0$, $u_2 = \sin(0) = 0$, сонда алатынымыз: $I_1 = 0$. Осы секілді әрекет I_2 интегралымен орындаймыз: келесілерді алмастыру арқылы $v = -\cos(t)$, $dv = \sin(t) dt$, $v_1 = -\cos(2\pi) = -1$, $v_2 = -\cos(0) = -1$, шығады: $I_2 = 0$.

Содан кейін:

$$S_y = 2\pi r I_3 = 2\pi r \int_0^{2\pi} \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} dt$$

Туындыларды алып және тригонометриялық түрлендірулерді жүргізе отырып келесіні табамыз

$$\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} = \sqrt{a^2 \sin^2(t) + b^2 \cos^2(t)}$$

Содан алатынымыз:

$$I_3 = \int_0^{2\pi} \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} dt = \int_0^{2\pi} \sqrt{a^2 \sin^2(t) + b^2 \cos^2(t)} dt,$$

Мұнда I_3 - эллипс периметрі. I_3 интегралы элементарлы функцияларда шешімі жоқ. Оны екінші түрдегі эллиптикалық интеграл түрінде көрсетуге болады $E(\varepsilon, \varphi)$, $\varphi = \frac{\pi}{2}$ шамасына тең болғанда, ε тәуелді болғанда, $E\left(\varepsilon, \frac{\pi}{2}\right) = E(\varepsilon)$: келесі алмастыруды орындап $b^2 = a^2(1 - \varepsilon^2)$, $0 \leq \varepsilon < 1$, $I_3 = 4aE(\varepsilon)$ теңдеуін аламыз

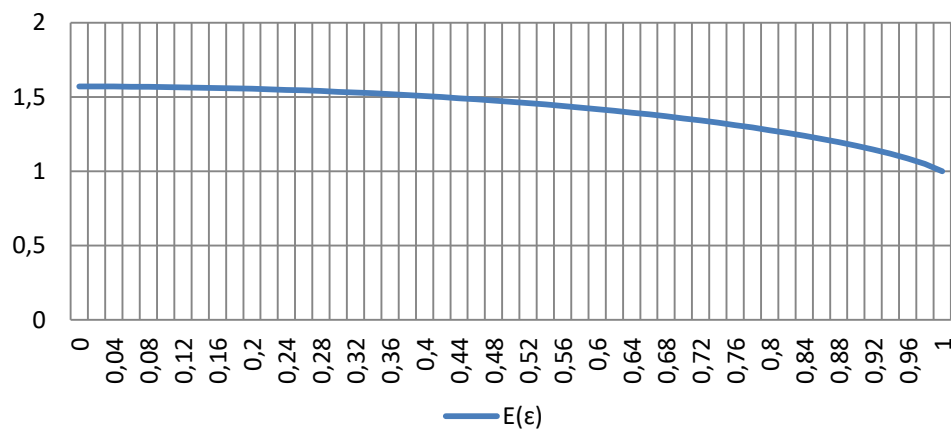
Мұнда $0 \leq \varepsilon = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a} < 1$ – эллипс эксцентриситеті.

Ақырында алатынымыз

$$S_y = 2\pi r \int_0^{2\pi} \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} dt = (2\pi r)(4aE(\varepsilon)) = 8\pi arE(\varepsilon),$$

Келесі өрнектің туындысы болып келеді: $L_{\text{окр}} = 2\pi r$ – y осі бойынша айналу кезінде эллипс центрімен сипатталған шеңбердің периметрі, және $L_{\text{элл}} = 4aE(\varepsilon)$ – эллипс периметрі.

Нәтижесінде тороидтық желкен бетінің ауданын есептеу үшін $L_{\text{окр}}$ және $L_{\text{элл}}$ табу керек. $L_{\text{элл}}$ табу үшін біз эксцентриситет формула бойынша анықтауымыз керек: $\varepsilon = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}$, сонымен қатар $E(\varepsilon)$ екінші түрдегі толық эллиптикалық интегралды анықтау қажет. $E(\varepsilon)$ дайын кестелерден немесе сызбадан алуға болады (сурет 2.6). $0 \leq k \leq 1$ шамасы төңірегінде толық екінші реттік эллипстік интегралы берілген.



Сурет 2.6 – Эллипстік интегралдың модулінің екінші реттік толық эллиптикалық интегралға тәуелділігі

Практикалық қолдану үшін (1) және (2) формулалар бойынша жеңілдетілген есептеу алгоритмін ұсынады:

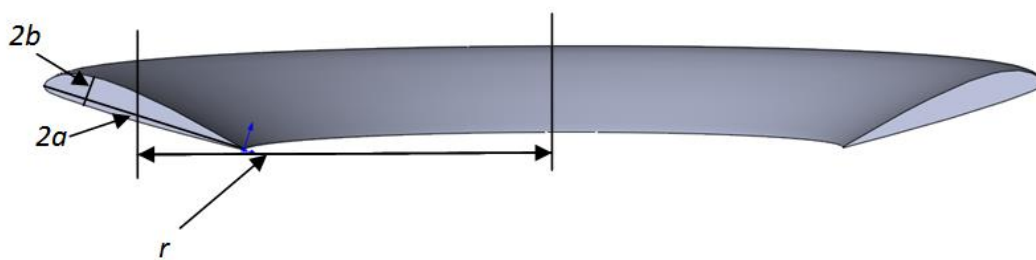
$$\varepsilon = k, \quad E(k) = \int_0^{\pi/2} \sqrt{1 - k^2 \cos^2(t)} dt \quad (1)$$

$$S_y = L_{\text{окр}} L_{\text{элл}} \quad (2)$$

2-формуладан эллипстің параметрлері мен тороидтық желкен шеңберінің S_y пен тәуелді екендігі шығады.

$$S_y(r, E(\varepsilon)) = 8\pi r \cdot E(\varepsilon) = 8\pi r \cdot E\left(\frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a}\right) \quad (3)$$

2.7 – суретте көрсеткендей, r – шеңбер радиусы, a – эллипс хордасының ұзындығының жартысы, b – эллипс биіктігінің жартысы.

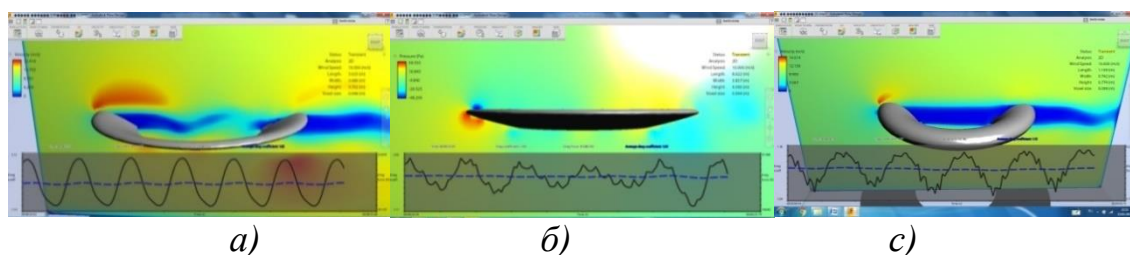


Сурет 2.7 – Тороидалды желкен

Самолет қанатының аэродинамикалық профилінің пішіні тұрақты өлшемдерге ие болады. Әр самолет қанатының аэродинамикалық профилінің өлшемдері әртүрлі болады. Тороидалды желкеннің аэродинамикалық профилі ретінде Р-II-14% профилі қолданылды. Профильдің атауына байланысты профильдің биіктігі профильдің ұзындығының 18% пайызындай ғана болып келеді, яғни $b=a \cdot 0.14$. Тороидалды желкеннің көлденен қимасының пішіні самолет қанатының аэродинамикалық профильдес болып келеді және профильдің хордасы негізгі жазықтыққа байланысты 18 градусқа бұралған. Тороидалдық желкеннің профилінің 18 градусқа бұрылу себебі, таңдалынған Р-II-14% профилі 18 градуста ең жоғарғы көтеру күшіне тең болады, бұл ақпарат самолеттар қанатының аэродинамикалық профильдері жайлы анықтамалардан алынған. Бастапқы орнықты жағдайда тороидалды желкен ең жоғары көтеру күшіне ие болғанына байланысты алдағы уақытта жел соққанда ЖЖЭС-ң жұмыс органы белгілі бір бұрышқа бұралғанда тороидалды желкеннің көтеру күші төмендей бастайды, соның арқасында ЖЖЭС – ң жұмыс органы қосымша желден сығылған актуаторлардың көмегімен өзінің бастапқы орнына қайтып келеді.

Тороидалды желкеннің пішіні тороидалды пішіндес болып келеді. Жалпы, тороидалды желкен самолет қанаттары секілді тұрақты өлшемдерге сәйкес келу керек. Тороидалды пішіннің ішкі диаметрін, тұрақты аэродинамикалық профильдің бір өлшеміне байланыстыру мақсатында тороидалды желкеннің ішкі диаметрін аэродинамикалық профилінің хорда ұзындығына байланыстыру шешілді. Осы екі өлшемді бір-бірімен байланыстыратын тұрақты шаманы

анықтау мақсатында бірнеше ішкі диаметрі әртүрлі болатын тороидалды желкеннің 3D моделі SOLIDWORKS 2017 компьютерлік бағдарламада моделденді. Моделдеу барысында, хорда ұзындығы белгілі аэродинамикалық профилі алынды. Тороидалды желкеннің ішкі диаметрін бастапқыда аэродинамикалық профиль ұзындығының жартысына тең қылып жасадық, әр бір келесі моделденген тороидалды желкеннің ішкі диаметрі бұрын алды диаметрінен жарты хорда ұзындығына ұзартылды. Жалпы, алты дана ішкі диаметрі әртүрлі, бірақ хорда ұзындығы бірдей тороидалды желкен моделденді. Моделденген тороидалды желкендерді виртуалды аэродинамикалық құбыр Autodesk Flow Design компьютерлік бағдарламада ішкі диаметрі әртүрлі тороидалды желкендерге сынық жасалынды (сурет 2.8).



Сурет 2.8 – Тороидалды желкендердің аэродинамикалық спекторы
а,б,с -тороидалды желкен

2.8 – суретте негізгі үш тороидалды желкен көрсетілді. Зерттеу жұмысының қорытындысынан алынған жел ағымының спектірін анализдеп тороидалды желкеннің ішкі радиусы r мен хорда ұзындығы a арасындағы минималды универсалды эмпиралық тұрақтылықты анықтадық $r = 1,5a$. Бұл сынақта, тороидалды желкеннің ішкі диаметрі аэродинамикалық профилінің хорда ұзындығынан екі есе және оданда жоғары болса тороидалды желкен ЖЖЭС жұмыс істеу үшін қажетті аэродинамикалық көрсеткішке ие екенін көрсетті. Себебі, тороидалды желкеннің алдыңғы жағынан жел соққан жағдайда артқы бөлігі жұмыс жасау мүмкіндігінен айырылмайды (сурет 2.8 а)). Егер тороидалды желкеннің ішкі диаметрі профильдегі хорда ұзындығынан кем болса, онда бұндай тороидалды желкендер 2.8 с) – суретте көрсетілгендей нашар аэродинамикалық көрсеткіштерге ие болады. Себебі, тороидалды желкеннің желге қарап тұрған жағы жұмысқа жарамды болып желдің кинетикалық энергиясын қағып алып, ал желкеннің артқы жағындағы бөлігі желдің тимейтін көлеңке бөлігіне түсіп қалады. Артқы бөлігіне жел тимесе онда тороидалды желкен өзінің көтеру күші мен кедергі күшінің жарты бөлігін жоғалтып тұрады, осылайша, бұндай тороидалды желкендердің аэродинамикалық көрсеткіштері кемиді. Сонымен қатар (сурет 2.8 б)) желдің аэродинамикалық кедергі күші тороидалды желкеннің төменгі бөлігінде шоғырланғанын көрсетті, бұлда, тороидалдық желкеннің көтеру күшін арттыруға ықпал ететінін көрсетті.

Тороидалды желкеннің геометриялық өлшемдері арасындағы барлық тәуелділіктер анықталғаннан кейін, бұл анықтамаларды тороидалды желкеннің

геометриялық өлшемдерін автоматты түрде шығару мақсатында жаңа бағдарламалық калькуляторды жазу үшін қолданылды. Бұл бағдарламаға арнайы бағдарламалық терезесіне қажетті тороидалды желкеннің беткі қабатының ауданын (S) жазып, бағдарламаның анықтаманы беретін терезеден тороидалды желкенді құрастыруға қажетті аэродинамикалық профильдің хорда ұзындығын, профиль биіктігі мен тороидалды желкеннің ішкі диаметрін автоматты түрде есептеп береді. Тороидалды желкеннің беттік ауданы белгілі формуламен қажетті ЖЖЭС қуатына байланысты анықталады. Осыдан қажетті тороидалды желкеннің геометриялық өлшемін толығымен тек қажетті беттік ауданды енгізіп анықтау ыңғайлы болды.

2.3 Қорытынды

Желкенді жел электр станциясының жұмыс органы тұрақты тербеліс жасау мақсатын келесі зерттеу жұмыстары жүргізілді:

1 SolidWorks компьютерлік бағдарламада бірнеше ЖЖЭС желкені бола алатын желкендер моделденді және моделденген желкендер компьютерлік бағдарлама Autodesk Flow Design виртуалды аэродинамикалық құбырда сыналып, ішінен жаңа жоғары көтеру күшіне ие және кедергі күші бар тороидалды желкен ретінде Р-II-14% (ЦАГИ-718) самолет қанатының профилі негізінде құрастырылған және көлденең қимасы 18 градусқа бұралған тороидалды желкен алынды.

2 Алдағы уақытта ЖЖЭС энергияны өндіру қуатына байланысты таңдау барысында таңдалынған тороидалды желкеннің өлшемін автоматты түрде табу мақсатында және көлемінің өсуіне байланысты тороидалды желкеннің тұрақты өлшемі анықталды және сол өлшемді автоматты түрде есептеп беретін компьютерлік бағдарлама жасалынды.

3 Таңдалынған тороидалды желкеннің жұмысын сынау мақсатынды зертханалық ЖЖЭС құрастырылып сыналанды және сынақ жаңа тороидалды желкеннің жұмысын оңынан көрсетті.

3 ТЕРБЕЛМЕЛІ ЖҰМЫС ОРГАНЫ БАР ЖЕЛКЕНДІ ЖЭС – Ң АВТОМАТТЫ БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІ

Танымал турбиналық ЖЭС шолу жұмыстары жел соғу бағытын өзгерту мәселесін ескеріп жел энергиясын тиімді түрлендіруге бағытталған. Осындай мәселелерді шешу үшін зерттеушілер әртүрлі инновациялық басқару әдістемелерге келді, олар энергияны өндіруге байланысты, жел турбиналарының айналу жылдамдылығы мен сенімділігіне байланысты әдіс тәсілдер. Автоматты басқару жүйесі жел энергетикалық жүйенің әртүрлі бөлігі мен ішкі жүйелерде және әртүрлі мақсаттарда қолданылады [47]. Турбиналық ЖЭС-ң автоматты басқару жүйесі негізінен үш санатқа бөлінеді.

1) Ротордың қалақтарын тангаж бойынша [48] өзгерту арқылы қалақтардың ең тиімді аэродинамикалық коэффициенттерімен жұмыс істеу.

2) Қорек көзінің максималды нүктесін бақылау арқылы басқару [49,50].

3) Қорек желісі жағынан генераторды басқару [51].

Турбиналық ЖЭС – ң автоматты басқару жүйесін жақсарту мақсатында қазіргі заманғы микроэлектроника құралдарының кең арсеналы енгізілуде [52], жасанды интеллект құралы енгізілуде [53,54] және робасты басқару қолданылуда [55-57].

Жаңа желкенді жел электр станцияларында ауа массаларының қозғалыс энергиясын электр энергиясына айналдырудың жаңа технологиялары қолданылады, олар параллельді манипуляторды қолдану негізінде құрастырылған [58]. Айтып кетерлік жай, турбиналық ЖЭС – да қолданылатын ақпараттық, бағдарламалық және де басқада бақару түрлері сипатталынған желкенді ЖЭС жұмыстарына автоматты түрде ауыстырып қолдануға болмайды. Бұлай болу себебі, желкеннің және желкенді ЖЭС басқару жүйесінің шешетін мәселелері мен есептері жоғарыда көрсетілген турбиналық ЖЭС- на қолданылатын есептері мен жұмыстарына түбегейлі сәйкес келмейді. Осыған байланысты, диссертацияда желкеннің пішінін таңдау мен оны жасау мақсаты қойылады және ауа ағымының салмағының сипатына байланысты болмайтын желкенді ЖЭС (ЖЖЭС) энергияны жоғары тиімділікпен түрлендіру мақсатында басқару жүйесін және ішкі жүйесін зерттеумен оны жасау болып табылады.

3.1 ЖЖЭС қолданылатын автоматика жүйесі мен жел энергиясын түрлендіретін технология

Қарастырылып отырған ЖЖЭС жел энергиясының электр энергияға түрлендіру технологиясы алты қозғалмалы штогы бар платформалық түрлендіргіштің жоғарғы қозғалмалы платформасын жел соғуы арқасында тербелмелі қозғалуы жаңа аэродинамикалық қасиетке ие және профилі белгілі бір бұрышқа бұралған тороидалды желкен желдің кинетикалық ауа массасын жоғары тиімділікпен түрлендіруінің арқасында жүзеге асырылады. Параллельді манипулятор жел энергиясын механикалық түзу сызықты қозғалысқа

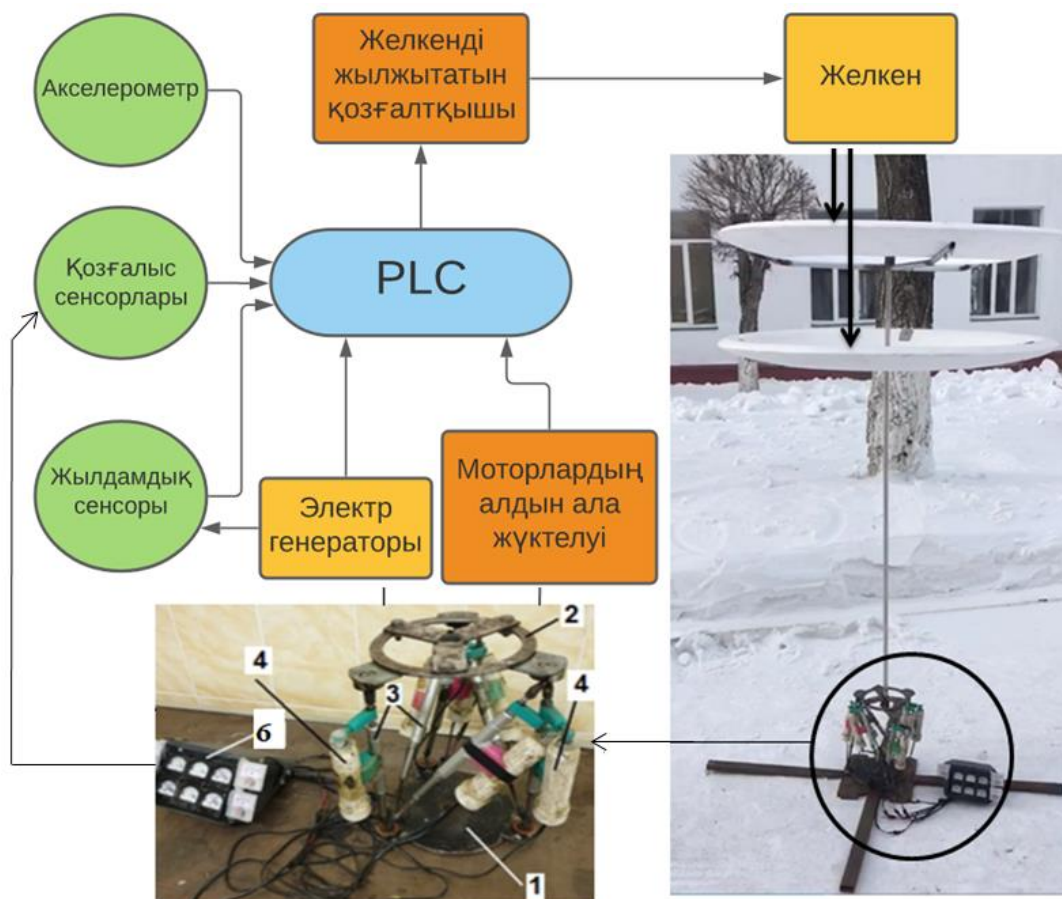
актуаторлардың штоктары салыстырмалы түрде сығылып немесе созылуы арқылы түрлендіреді. Ары қарай механикалық энергияны қуатты іріктеу жүйесі арқылы электр ток генераторының валына беріледі. Платформалық манипулятор сонымен қоса активті демпфер құрылғысының ролін атқарады. Жүйе келесідей жұмыс жасайды: ұйытқу желі соққанда желкенмен мачта желдің аэродинамикалық күшінің себебінен белгілі бір бұрышқа ауытқиды. Мачтаның вертикальдан белгілі бір бұрышқа ауытқығаннан кейін (шамамен 4^0 - 8^0) жел ағымының әсері азаяды (компьютерлік сынақта көрсетілген). Нәтижесінде желкен мен мачта манипулятордың демпферлік жүйедегі серіппенің серпімділік күші есебінде өзінің бастапқы орнына қайтады. Сосын цикл қайталанады. Жылжымалы желкен кеңістікте желдің жалпы күшінің қосындысы арқасында да тербеледі. Параллельді манипулятордың мүмкіндігінің арқасында желкенді ЖЭС жұмысы желдің соғу бағытына тәуелді емес. ЖЖЭС жұмысы желдің өзгермелегі мен ұйытқу арқасында жүзеге асатындығын ескерсек, онда ЖЖЭС бекітілген қуатты желдің жылдамдығы 3 м/с бастап боранды жел аралығында бір қалыпты жұмыс істей отырып тұрақты шамада бере алады. Мұндай мүмкіндік ЖЖЭС құрылымдық ерекшелігі мен автоматты басқару жүйесінің арқасында жүзеге асады. Автоматты басқару жүйесі 4 ішкі жүйеден тұрады:

- Алдын ала орнату, тороидалды желкенді алдын ала мачтаның бойына биіктігіне байланысты орналастыру және серіппелерді алдын ала тарту арқыты орнату;
- Резонансты тоқтату;
- Электр энергиясын өндіру;
- Қажетті электр энергиясын өндіру мақсатында тороидалды желкенді мачта бойымен жермен салыстырғанда биіктігін өзгерту арқылы күш моментін өзгерту арқылы басқару.

Осылайша ұсынылып отырған желкенді ЖЭС-ң желкенінің профилі тангаж бойынша белгілі бір бұрышқа бұралған жаңартылған тороидалды желкенмен және ЖЖЭС автоматты басқарылатын 4 ішкі жүйеден тұрады. Осылардың барлығы жел энергиясын жоғары тиімділікпен электр энергиясына түрлендіреді.

Ішкі жүйені басқару үшін автоматиканың техникалық құралы қолданылады. Екі модифицирленген тороидалды желкені бар желкенді ЖЭС демонстрациондық моделі және оның автоматты басқаруының техникалық құралы көрсетілген (сурет 3.1). Схемаға ЖЖЭС функционалдық құралдары қосылған, оларға тороидалды желкен мен мачта, демпферлік элементтері бар манипуляторлық түрлендіргіш, қуатты іріктеу жүйесі, электр тогын өндіру жүйесіне кіретін генератор, аккумуляторлар және күштік электрондық түрлендіргіштер жатады. Манипуляторлық түрлендіргіш төменгі 1 және жоғарғы 2 платформадан, 4 демпфері бар алты актуатордан, сызықтық генератор 5 мен өлшегіш блоктан 6 құралған. Автоматизацияның техникалық құралдарына ПЛК, мачтаның жоғарғы нүктесінде орнатылған желдің жылдамдығын өлшейтін датчик (анемометр) және акселерометр, генератор

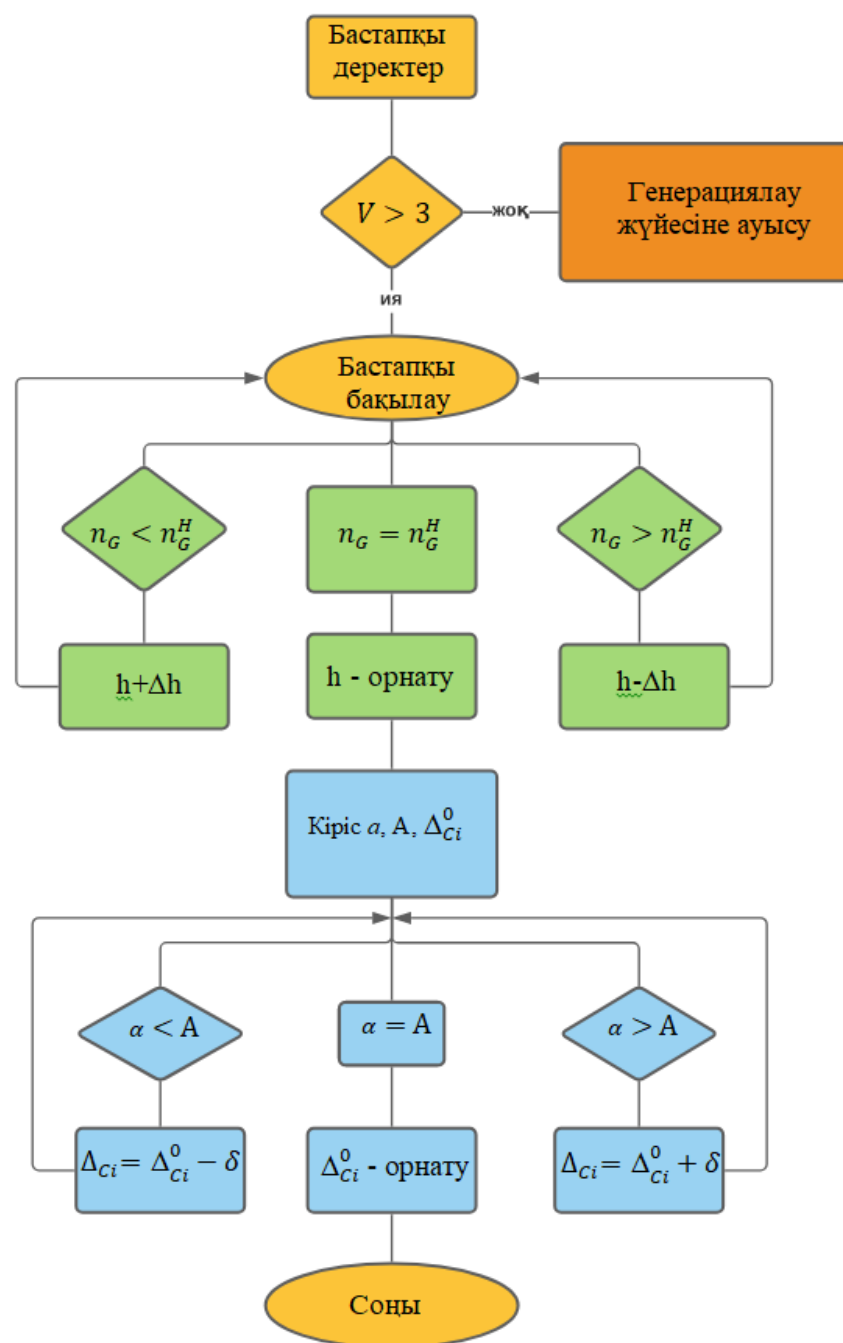
валының бұрыштық жылдамдығын өлшейтін датчик, актуатордың штогының қозғалысын өлшейтін алты датчиктен тұрады. Тороидалды желкенді мачтаның бойымен жермен салыстырмалы түрде қозғалысты басқаратын атқарушы құрылғылар реверсті қозғалтқыштан тұрады. Сонымен қатар ол актуаторлардағы демпферлердің серіппелерінің қысылуын басқаратын атқарушы құралға алты реверсті айналатын қозғалтқыштарыда жатады [59].



Сурет 3.1 – Желкенді ЖЭС-ң автоматикасының техникалық құралы

3.2 ЖЖЭС-ң автоматты басқарудың алдын ала орнату ішкі жүйесі

Алдын ала орнатудың ішкі жүйесінің шығыс параметрлері проектилеу есебі кезінде және эксперименталды зерттеу барысында қалыптасады. Мысалыға, желдің жылдамдығы $v = 3 \text{ м/с}$ болған кезінде ЖЖЭС белгілі бір қуат шамасына байланысты проектиленгенде алдымен тороидалды желкеннің көлемі мен оның саны анықталады. [43, б. 726-728] жұмыста көрсетілген алгоритіміне байланысты күштік анализ жүргізіледі. Сол күштік анализден алынған нәтижеге байланысты i -актуаторында (Δ^0_{Ci}) бұрышында серіппенің алдын ала қатаңдығын көтеру үшін мәліметтер базасы қалыптасады. Бұл база желдің бағыты $\alpha = 0^\circ \div 360^\circ$ қадамы 10° болатын алынған ақпараттан сипатталады. Тороидалды желкеннің аэродинамикалық сипатынан алынған эксперименталды анализінен шыққан ақпараттан жұмыс органының бұрылу (a) амплитудасы $A = 4^\circ \div 8^\circ$ аралығында болады деп алынады.



Сурет 3.2 – Алдын ала орнатылған ішкі жүйенің блок-схемасы

h және Δ_{Ci} шығыс параметрлерін қалыптастыру шарты, ол қажетті өндірілетін энергияны қамтамас ету болып табылады. Соңында электр генераторының валының нақты уақыттағы айналым саны (n_G) мен қажетті айналымының (n_G^H) санына байланысты бағаланады. Өйткені, мысалыға, генератор валының айналым санының азайуы электр тогының шығыс қуатының төмендеуін білдіреді. Сонымен қатар алдын ала орнатылған ішкі жүйенің есебін шешу үшін, жұмыс органының амплитудасы берілген шаманың төңірегінде болу шарты орындалуы қажет. Өйткені, бұл актуатордағы орын

ауыстыруының амплитудасының төмен болуы электр энергиясын генерациялауға жеткіліксіз болып қалуы мүмкін. Егер амплитудасы тым жоғары болса, онда әсер ететін қажетті емес күштер мен күш моментінің инерциялары пайда болады. (сурет 3.2) алдын ала орнатылатын ішкі жүйесінің жұмысының бағдарламасының алгоритімінің блок схемасы көрсетілген. Блок – схемаға қарап керекті параметрлері тізбектей орнатылады: алдымен биіктік, содан соң актуатордағы алдын ала тарту орындалады. Сонымен қатар схемада генерациялаумен алдын ала орнату ішкі жүйенің арасындағы байланыс көрсетілген. Айтып кететін жайт, желдің жылдамдығы мен бағыты өзгерген сайын алдын ала орнату ішкі жүйесі жұмыс істей бастайды.

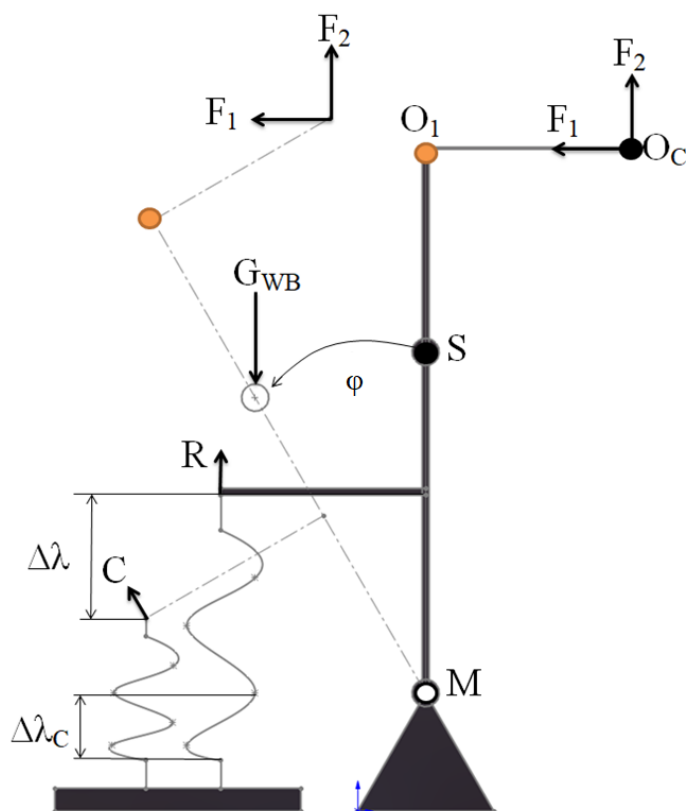
Резонансты тоқтататын ішкі жүйенің жұмысының логикасы қарапайым және оның жұмысы актуатордағы штоктардың қозғалысын бақылайтын датчиктердің көрсеткішін анализдеп содан резонанстың пайда болғаны анықталады. Резонанстың әсерін тоқтату үшін мачта бойында орнастырылған тороидалды желкеннің жерге қатысты биіктігі төмендетіледі, егер бұл іс әрекет әсер етпесе онда актуаторлардағы серіппенің қатандық күші күшейтіледі.

Генерациялаудың ішкі жүйесіне генератор, электронды күштік түрлендіргіштер, аккумуляторлар мен тахогенераторлар кіреді. Егер желдің белгіленген жылдамдығынан алынған генератор валын керекті жылдамдығы алынбаса, онда тұтынушының желісіне аккумулятор қосылып желіге электр тогын бере бастайды.

Автоматтандырылған басқару жүйесінің негізгі ролі ЖО қозғалысын басқаратын ішкі жүйеге беріледі. Ол ЖЖЭС қажетті қуатты өндіруі мен жедел басқаруына қарайды. ЖО қозғалысының басқару жүйесін анализдеу мен синтездеу үшін алдымен ЖО динамикалық моделі құрастырылады.

3.3 ЖО динамикалық моделі

[44, б. 3] жұмыстарында, ЖЖЭС-ң желкеніне әсер ететін жел күштерінің қосындысының жазықтығында ЖЖЭС-ң жұмыс органы жазықтықты параллельді қозғалыс жасайды деп алынған. Ол жұмысқа қарағанда бұл диссертацияда қаралып отырған ЖЖЭС-ң жұмыс органы, яғни тороидалды желкен мачта бойында орналасқан биіктігін жермен салыстырғанда өзгерте алады, сонымен қатар ЖО лездік айналмалы қозғалыс жасайды. Жазықтықты параллельді қозғалысты кез – келген уақыт мезетінде лездік ось бойымен айналмалы қозғалыс ретін көрсетуге болатыны механика саласынан белгілі. Берілген ұсыныстардан ЖО қозғалысының динамикалық теңдеуін алу мақсатында есептік сұлбасы құралды. ЖО түзу қозғалу уақытында ЖО әсер ететін күштер жиыні есептік сұлбада көрсетілген (сурет 3.3). Мұнда F_1 және F_2 – аэродинамикалық кедергі күші мен көтеру күші және олар аэродинамикалық c_A және c_W коэффициенттерге тәуелді. G – ауырлық күші, S – ЖО масса центрі. Сонымен қатар есептеу сұлбасында шартты түрде R келтірілген реакция күші, c – қатандығы бар серіппенің Δl пропорционалдық деформациясы және басқарылатын серіппенің алдын ала тарту күші C .



Сурет 3.3 – ЖО есептік сұлбасы

Динамикалық модель ЖО тура жүргенде лездік айналу орындағандағы дифференциалдық теңдеуі ретінде көрсетілген.

$$\ddot{\varphi} = \frac{1}{J_O} [M_F(\varphi, h) - M_R(\varphi, \Delta l) + M_G(\varphi) \pm M_C(\Delta l_C, a)] \quad (4)$$

Мұнда: φ - ЖО лездік бұрылу уақытындағы бұрылу бұрышы;
 J_O – ЖО инерция моменті;

$M_F(\varphi, h)$ - φ бұрышына және тороидалды желкеннің $h = O_1M$ басқарылатын биіктігіне тәуелді болатын аэродинамикалық күш әсерінің моменті (мұнда және төмендегі моменттер сәйкес күштердің индекстерін қамтиды);

$M_G(\varphi)$ - ауырлық күшінің моменті;

$M_R(\varphi, \Delta l)$ - реакция күштерінің моменті;

$M_C(\Delta l_C, a)$ – алдын ала тарту күшінің моменті, ол алдын ала тарту Δl_C шамасына және a – ЖО айналу амплитудасының ағымдағы мәніне тәуелді.

Кері қозғалыс барысында оң жақтағы (4) теңдеудің мәні теріс мәнге өзгереді.

Құрастырылған есептік сұлбадан аэродинамикалық күштің момент өрнегі пайда болады.

$$M_w(\varphi, h) = [h \cdot (c_A \cdot \cos(\varphi) - c_w \cdot \sin(\varphi)) + O_1 O_C \cdot (c_A \cdot \sin(\varphi) + c_w \cdot \cos(\varphi))] \cdot D v_w^2 \quad (5)$$

Мұнда: $O_1 O_C$ – мачта осі мен аэродинамикалық күштердің шоғырланған C нүктесімен арақашықтығы; $D = Q \cdot \rho / 2$ тұрақтысы, мұнда Q – тороидалды желкеннің беттік ауданы, ρ – ауа тығыздығы; v_w – желдің жылдамдығы. ЖО ауырлық күші келесі өрнекпен анықталады.

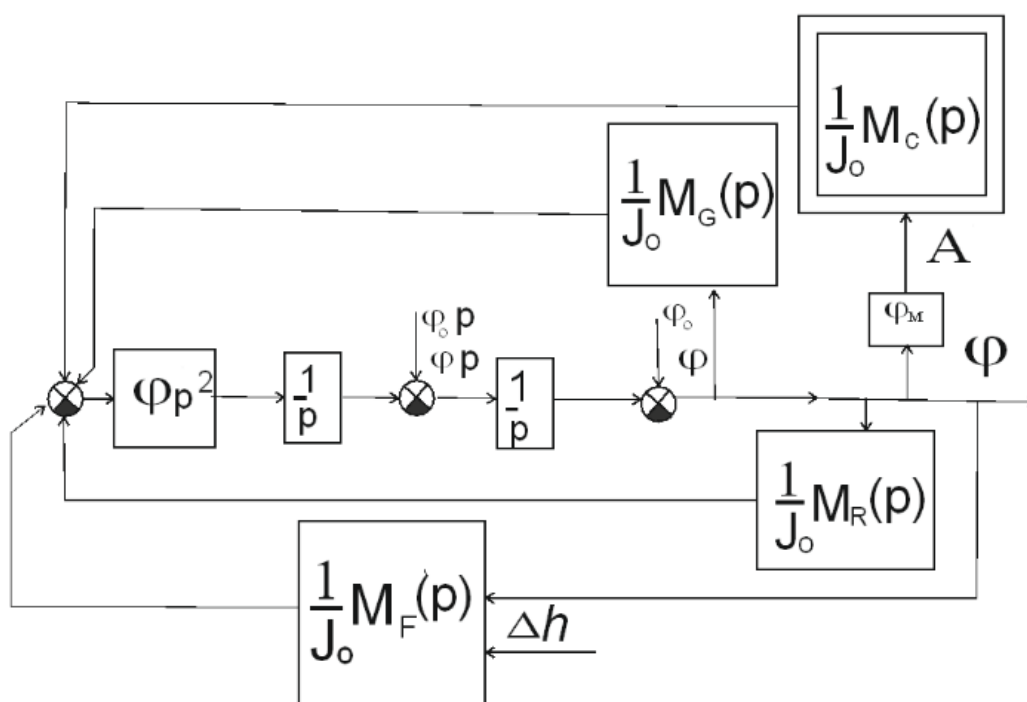
$$M_G(\varphi) = G_{WB} \cdot SM \cdot \sin(\varphi) \quad (6)$$

$M_R(\varphi)$ – реакция күшінің моменті, [44, б. 5-6] жұмыста ұсынылған теңдеуде R – шамасын анықтау арқылы анықталады. Бұл момент актуатордағы серіппенің Δl сығылуына және бұрылу бұрышына тәуелді. $M_C(\Delta l_C, a)$ – алдын ала тарту күшінің моменті, ол $C = c \Delta l_C$ момент күші актуатор серіппесінің қатаңдық (c) коэффициентіне байланысты Δl_C алдын ала сығылуы. 3,2 бөлімде айтылғандай желдің жылдамдығына байланысты алдын ала тарту күші максималды электр энергиясын өндіру мақсатында алдын ала бағдарламаға жазылғанға байланысты орнатылады. (1) теңдеудегі ($\pm$) белгісін қойылуы, $M_C(\Delta l_C, a)$ шамасын басқарғанда ЖО вертикалды орнынан ауытқығанда қажетті $A = 4^\circ \div 8^\circ$ амплитудасын қамтамасыз етіп тұрады, сондықтан ЖЖЭС өндіретін қажетті энергиясын ЖО тербелуінен өндіріп тұрады.

3.4 ЖО қозғалысының басқару жүйесі

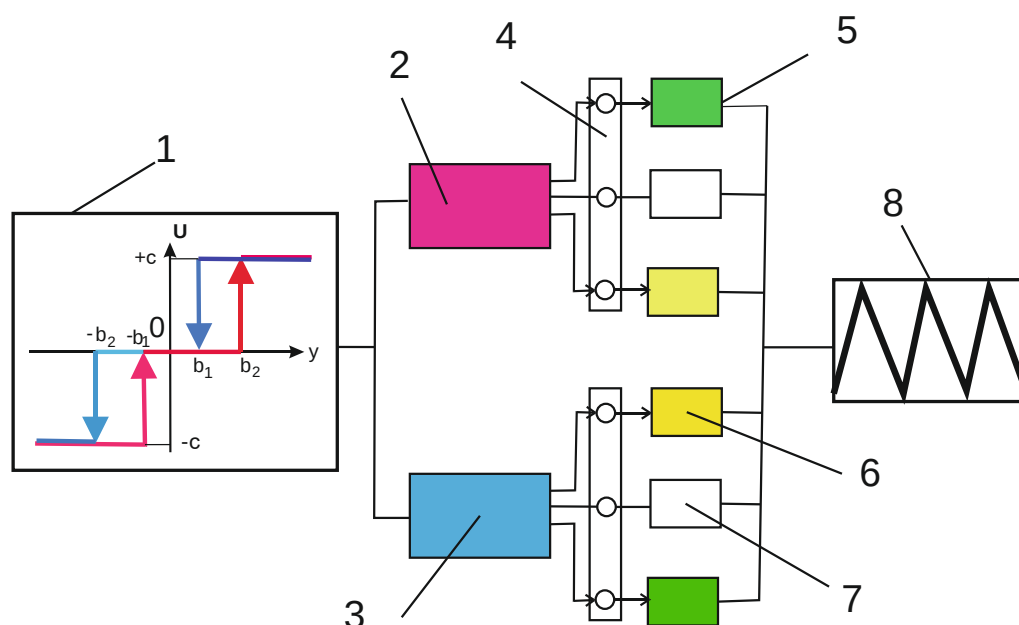
$M_C(\Delta l_C, a)$ алдын ала тарту күшінің моментінің шамасын басқару үшін, сонымен қатар ЖО қажетті қозғалысын қамтамасыз ету үшін (A амплитудасында тербелу), басқару жүйесіне сызықты емес бөлім енгізіледі. ЖО қозғалысының басқару жүйесін синтездеу үшін, динамикалық теңдеудің (4) негізінде ЖО қозғалысының сызықты емес жүйесінің құрылымдық сұлбасы құрастырылады (сурет 3.4). Мұнда φ_0 , φ_0 – интеграторлардың бастапқы шаттары. Әрбір динамикалық байланыс ретінде операторлық беріліс функциясы көрсетілген, ол беріліс функциясының (5,6) көрсеткіштерінен алынған.

Шартты түрде сызықты емес буынды екілік төртбұрышпен белгілейміз. Құрылымдық сұлбадан ол белгілі әдіспен түрлендіріледі және келтірілген сызықты немесе сызықты емес бөліктерге келтіріледі, ($\Delta h = 0$ шартында) тұйық контурды қалыптастырады. Бұл контурдың сызықты бөлігі төмен жиілікті сүзгіші болып табылады. Бұл жағдай жүйеге енгізілген сызықтық емес бөлігін сызықтандыру мақсатында алдағы уақытта гармоникалық сызықтандыру әдісін қолдануға негіз болады.



Сурет 3.4 – ЖО басқару жүйесінің құрылымдық сұлбасы

Гармоникалық сызықтандыру әдісін қолдану арқылы келесідей есептерді шешеді: жүйеде автотербелістермен олардың параметрлерін орнатуға мүмкіндік береді; ЖО амплитудасына байланысты актуатор серіппесінің алдын ала тарту күшін өзгерте алатын сызықтандырылған жүйені алуға болады.



Сурет 3.5 – ЖО қозғалысын релелік басқару жүйесінің функционалдық сұлбасы

Есепті шешу мақсатында ЖО қозғалысын релелік басқарудың функционалдық схемасы құрастырылған (сурет 3.5). Суреттегі 1 – позиция, үш позициялық релені білдіреді, мұнда $b_1 b_2$ кесіндісі ЖО тербелісінің рұқсат

етілген A амплитудасына сәйкес келеді; актуатор серіппесінің сығылуын орындайтын реверсивті электр қозғалтқышқа берілетін $+c$, $-c$ оң және теріс кернеуі. Қызыл және көк сызықтары реленің кіріс және шығыс шамасының өзара тәуелділігі, яғни ЖО түзу қозғалысы – 2 және кері қозғалысы – 3 ке байланыстырылғанын білдіреді. Қажетті A – амплитудасы мен нақты a – амплитудасы арасындағы түзу қозғалыста 4 қосқыш $a > b_2$ болғанда оң кернеуін қосу арқылы 5-орындаушы орган актуатордың R_C көтереді. ЖО түзу сызықпен тура қозғалыс жасағанда актуаторлардағы серіппелер сығылады. Сондықтан тербеліс амплитудасын азайту мақсатында серіппелердің алдын ала тарту күшін жоғарылату қажет. Егер $b_1 \leq a \leq b_2$ шамасы орындалған жағдайда қосқыш 7 орын алады және реле R_C шамасы өзгертілмейді. Егер амплитуда $a < b$ шамасына сәйкес келсе, онда реленің шығысына $-c$ кернеуі беріледі де 8 актуаторға әсер ететін C күші төмендейді. ЖО кері қозғалыс жасағанда реленің 3 шығысында кері логика орындалады, себебі ЖО қозғалысы актуатордағы серіппенің қатаңдығы арқылы жүзеге асады. [60,61] мақалаларында үш позициялық релеге байланысты коэффициенттерінің өрнектері белгілі және ол келесідей болады.

$$q = \frac{2c}{\pi a} \left(\sqrt{1 - \frac{b_2^2}{a^2}} + \sqrt{1 - \frac{b_1^2}{a^2}} \right) \quad (7)$$

$$q' = -\frac{2c(b_2 - b_1)}{\pi a^2}$$

Сызықты емес буынның басқаруын сызықтандырылған теңдеуі келесідей болады.

$$C = \left[q(a) + \frac{q'(a)}{\omega} \right] a \sin \varphi \quad (8)$$

(8) теңдеу мачтаның бұрылу бұрышы φ және амплитудасына байланысты алдын ала тарту күшін басқаруын анықтайды. Нәтижесінде, құрылымдық сұлбаны (сурет 3.4) түрлендіруден алынған келтірілген беріліс $W_A(p)$ функциясымен сызықтандырылған бөлімнің тұйық жүйесі және гармоникалық сызықтандырылған сызықты емес буыны операторлық түрдегі сипаттамалық теңдеумен сипатталады.

$$N(p) + R(p) \left[q(a) + \frac{q'(a)p}{\omega} \right] = 0 \quad (9)$$

Мұнда $R(p)$, $N(p)$ - $W_A(p) = \frac{R(p)}{N(p)}$ шамасынан алынған операторлық көпмүшелер.

Периодтық шешімін табу мәселесінің шешімі (9) өрнектегі $p=j\omega$ ауыстыру арқылы жиіліктер аймағында ізделінеді. Содан келесі өрнек шығады.

$$N(j\omega) + R(j\omega)[q(a) + q'(a)j] = 0 \quad (10)$$

Біз өрнектегі нақты және ойдан қойылған бөліктерді күрделі түрде бөліп аламыз (10), сонда

$$X(a, \omega) + jY(a, \omega) = 0 \quad (11)$$

(11) өрнек екі алгебралық теңдеуді алуға мүмкіндік береді

$$\begin{cases} X(a, \omega) = 0 \\ Y(a, \omega) = 0 \end{cases} \quad (12)$$

(12) теңдуді бірлескен шешу арқылы ЖО автотербелістің (ω) жиілігі мен амплитуданы (a) анықтауға болады.

Алайда, біздің жағдайда құрылымдық диаграмманың алдыңғы түрлендірулерінің нәтижесінде $W_A(p)$ келтірілген беріліс функциясының өрнегі алынды, бұл (12) теңдеулердің трансценденталды болып шыққандығына алып келді. Сонымен (12) теңдеулер жүйесінде ЖО қозғалысы кезінде өздігінен тербелістер болмайтындығын көрсетті, себебі есепте шешімдері жоқ. Осы тұжырымдардың дұрыс екендігіне көз жеткізу үшін қолданыстағы ЖЖЭС демонстрациялық моделіне зертханалық зерттеулер жүргізілді.

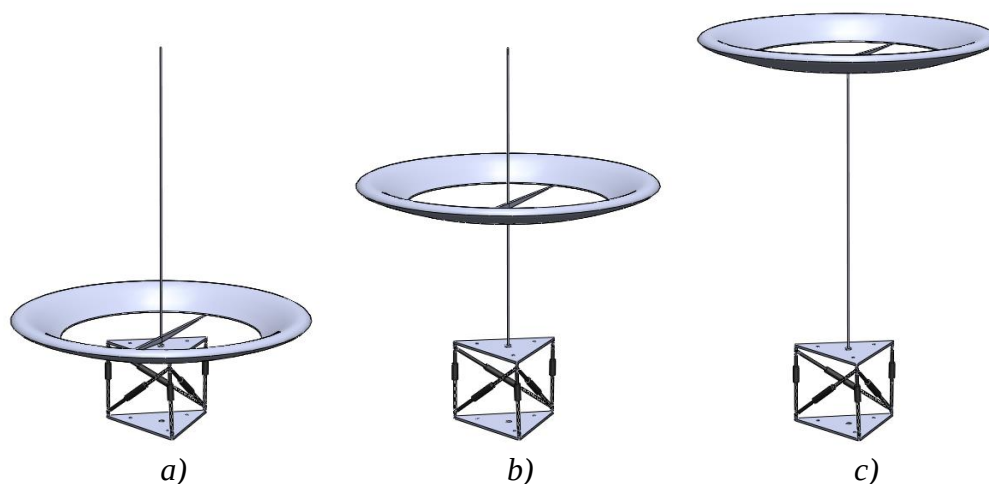
3.5 Айқын емес логикалық бақылау

Бұл тарауда желкенді ЖЭС –ң автоматты басқару жүйесінің бір бөлігін, яғни жұмыс органы тороидалды желкеннің мачта бойымен желдің соғу жылдамдығына байланысты жермен салыстырғанда орналасу биіктігінің автоматты түрде өзгеруі арқылы басқару жүйесі көрсетілді. Бұл жұмысты басқару үшін, зияткерлік басқару жүйесін қолданамыз [62].

Ауарайыны зерттеу мен бақылау арқылы желдің соғу жылдамдығы мен қаттылығы белгілі бір оқшау мөлшерінде өзгеріп тұратынын байқаймыз. Сарапшылармен ақылдасып, олардың айтуынша желдің соғу жылдамдығы алты белгілі бір аймағында соғып өзгеріп тұрады.

Желкенді жел электр станциясының жел жылдамдығының соғу лездігі мен қаттылығына байланысты тороидалды желкенінің мачта бойымен орналасуының өзгерісі көрсетілген (суретте 3.6). Мәселен, (сурет 3.6 а)) тороидалды желкен мачта бойының жермен салыстырғанда төменгі жағында орналастқан. Тороидалды желкеннің төмен орналасу себебі, желдің қатты

жылдамдықта соғуы немесе қатты дауылды желді уақытта авариялық тоқтау барысында болады. Желдің жылдамдығы орта жылдамдықтың төңірегінде болған уақытта (сурет 3.6 *b*)) сәкес тороидалды желкен мачтаның ортаңғы бөлік аймағында орналасады. Ал соғылып жатқан желдің жылдамдығы төмен немесе жоқ болған жағдайда тороидалды желкен сурет 3.6 *c*) көрсетілгендей тороидалды желкеннің жоғарғы бөлігінде орналасады. Көрсетілген тороидалды желкеннің желдің жылдамдығына байланысты орын ауыстыру заңдылығын қолданып ережелер базасын құрастырамыз (сурет 3.6).



Сурет 3.6 – ЖЖЭС жел жылдамдығының қаттылығына байланысты тороидалды желкеннің жоғары - төмен жылжып орналасуы

Айқын емес есептерді шығару мақсатында айқын емес 6 оптималды көпшіліктерді таңдаймыз.

1-ереже: егер (жел жылдамдығы 0 м/с болса) онда (желкеннің орналасуы ең жоғары);

2-ереже: егер (жел жылдамдығы 0-3 м/с болса) онда (желкеннің орналасуы ең жоғары);

3-ереже: егер (жел жылдамдығы 3-7 м/с болса) онда (желкеннің орналасуы жоғары);

4-ереже: егер (жел жылдамдығы 7-15 м/с болса) онда (желкеннің орналасуы орта);

5-ереже: егер (жел жылдамдығы 15-20 м/с болса) онда (желкеннің орналасуы төмен);

6-ереже: егер (жел жылдамдығы 20 м/с жоғары болса) онда (желкеннің орналасуы ең төменгі бөлік).

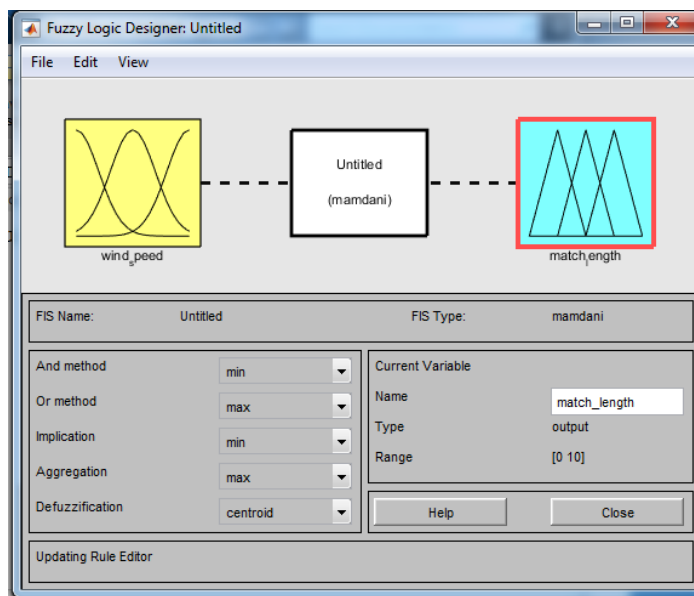
3.5.1 Айқын емес моделінің басқаруын зерттеу

Зерттеу үшін зияткерлік ішкі жүйенде қолданылатын мағыналарды келесі 13- формула арқылы ыңғайлы түріне түрлендіреді.

$$x = \frac{y_{\max} - y_{\min}}{y_{\min}} \quad (13)$$

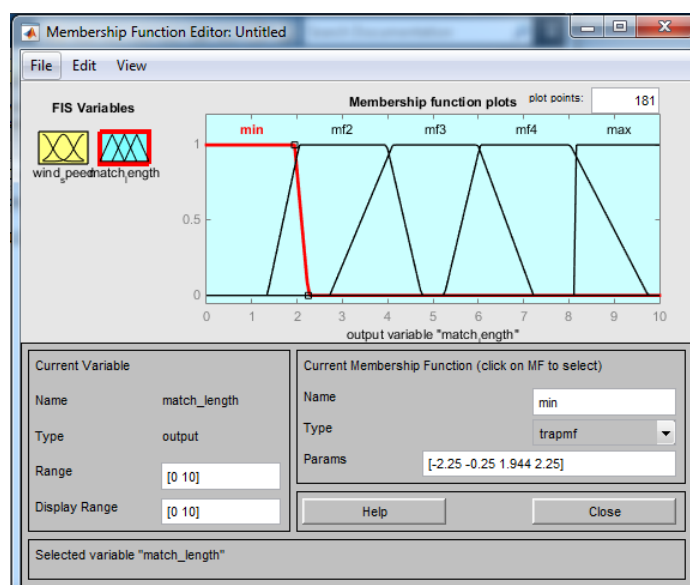
Мұнда: $y_{\min}$ – минималды мән; $y_{\max}$ – максималды мән; x – түрлендірілген мән.

Айқын емес моделді (int_sys_rv) жасау үшін Matlab бағдарламалық жүйесінің графикалық құралдарын қолданамыз. FIS редакторында бір кіріс атаулары бар айнымалысын анықтаймыз.



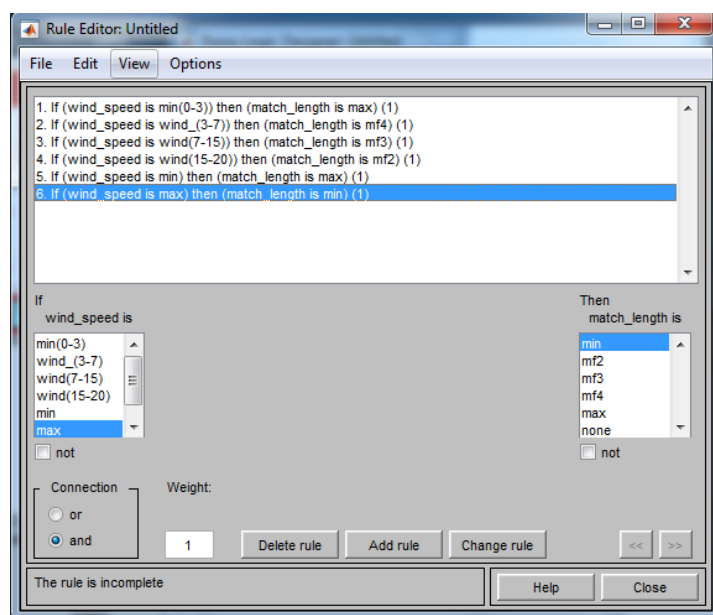
Сурет 3.7 – MatLab бағдарламалық пакетіндегі айқын емес контроллері

Терминдердің тәуелділік функцияларын айқын емес жүйенің әр айнымалысы үшін анықтаймыз. Осы мақсатта біз Matlab тәуелділік функция редакторын қолданамыз (сурет 3.8). Matlab компьютерік бағдарламасының командалық терезесіне fuzzy командасын жазып 3.7 – суретте көрсетілгендей айқын емес контроллерінің терезесі шығады. Айқын емес контроллеріндегі кіріс немесе шығыс терезесін компьютерлік тышқанмен шерту арқылы оның ішкі жүйесіне кіреміз және қажетті орнатуларды айқын емес жиындардың негізінде орнатуларды енгіземіз.



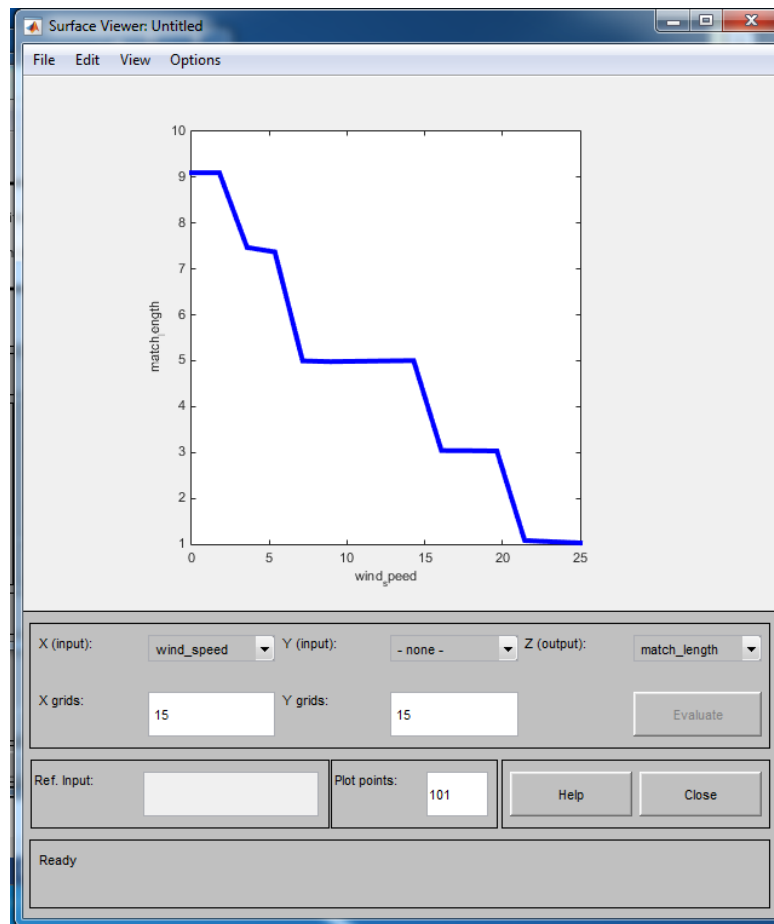
Сурет 3.8 – Бірінші кіріс айнымалы мәнін орнатқаннан кейін тәуелділік функциялары редакторының графикалық интерфейсі

3.8 – суретте көрсетілгендей бағдарлама терезесіне қажетті кіріс шамасын енгіземіз, содан кейін біз әр кіріс үшін айқын емес жиындардың ережелерін енгіземіз (сурет 3.9).

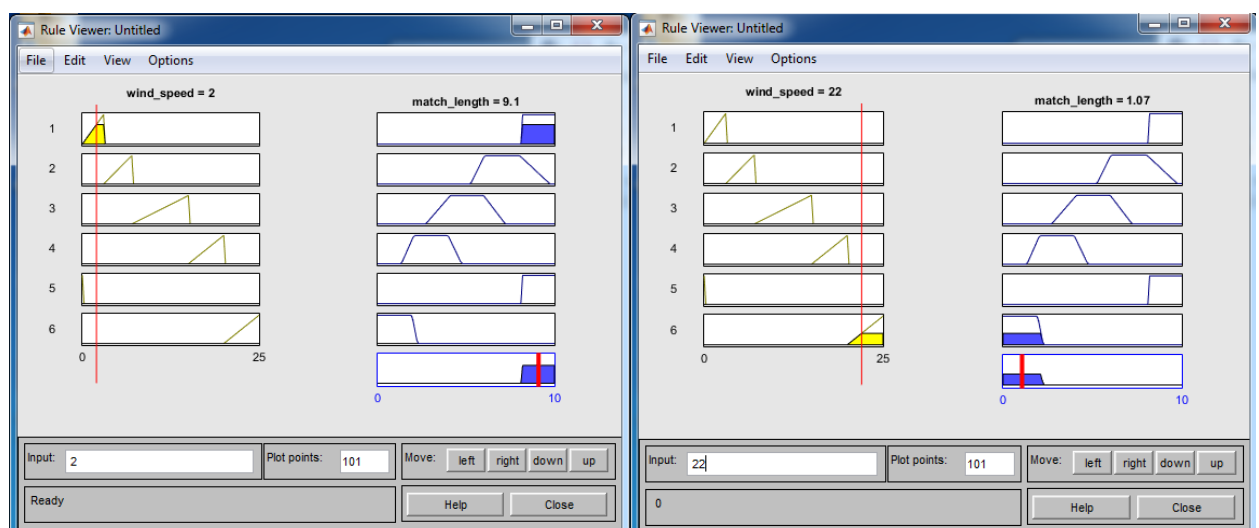


Сурет 3.9 – Айқын емес жиындары енгізілетін графикалық интерфейс

Айқын емес жиындарды айқын емес контроллеріне енгізіп жұмысты бастағаннан кейін, айқын емес контроллері (сурет 3.10) көрсетілгендей заңдылықпен желкенді ЖЭС тороидалды желкенін мачта бойында орнын ауыстырады.



Сурет 3.10 – Айқын емес контроллерінің тороидалды желкенді жілдің әртүрлі жылдамдығына байланысты мачта бойымен орын ауыстыруының өзгеру заңдылығының графигі



Сурет 3.11 – Айқын емес қорытынды жұмыстарын орындағаннан кейін ережені қарау құралының графикалық интерфейсі

Айқын емес қорытынды жұмыстарын орындағаннан кейін ережені қарау құралының графикалық интерфейсінен (сурет 3.11) кіріс шамасына байланысты айқын емес контроллері берген ақпаратты келесі кесте 4-ке енгіземіз.

Кесте 4 – Айқын емес контроллерінен алынған ақпарат

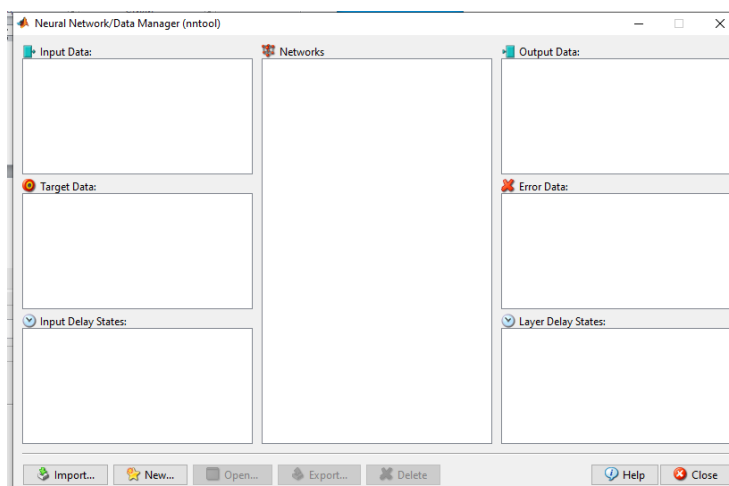
v	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22
h	10	9.1	7.4	7.3	5	5	5	5	3.4	3.4	3.3	1

Мұнда: h – тороидалды желкеннің мачта бойында орналасқан биіктігі, v – желдің жылдамдығы.

3.5.2 Нейрожелілік моделін зерттеу

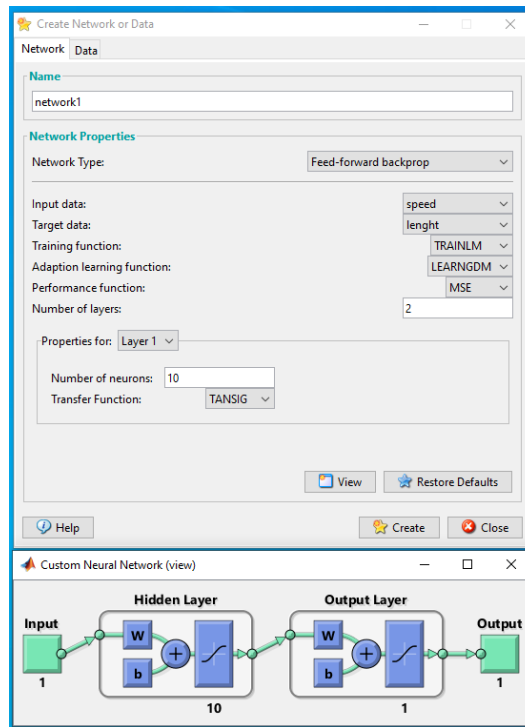
Нейрон желісін айқын емес контроллерінен алынған шамасы арқылы оқытып, алдағы уақытта ЖЖЭС – ң желкенінің мачта бойында жел жылдамдығына байланысты орналасуын басқарады.

MATLAB R2014b – командалар терезесіне nntool командасын теріп 3.12 – суретте көрсетілгендей деректер мен желіні құру менеджері ашылады.



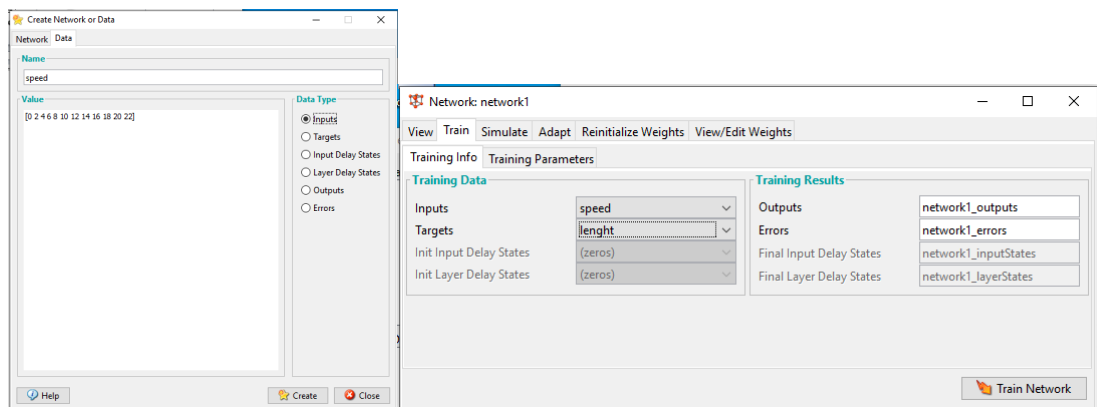
3.12 - сурет. Деректер мен желіні құру менеджері

Эксперттік жүйенің қорытындылары, нейрондық желіні оқыту жиынтығын қалыптастыру. Әрі қарай, біз нейрондық желі құрамыз. Нейрондық желінің архитектурасы 3.13 – суретте көрсетілген. Ол екі қабаттан тұрады: 4 нейроны бар жасырын кіріс қабаты және бір нейроны бар шығыс қабаты.



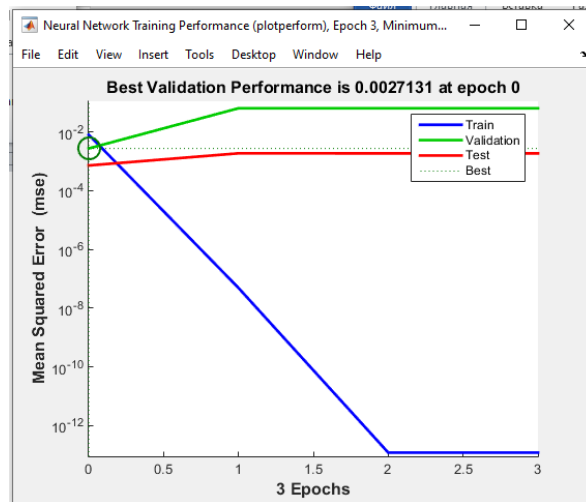
Сурет 3.13 – Нейрондық желінің архитектурасы екі қабаттан тұрады: 4 нейроны бар жасырын кіріс қабаты және бір нейроны бар шығыс қабаты

Нейрон желісі таңдалып құралғаннан кейін, 1 – кестедегі шаманы нейрон желісін оқытуға қолданамыз. Кіріс сигналына желдің жылдамдығын жазамыз (сурет 3.14), ал шығыс сигналына айқын емес контроллері есептеп берген тороидалды желкеннің мачта бойымен жел жылдамдығына байланысты орналасу биіктігін енгізіміз.



Сурет 3.14 – Нейрон желісін оқыту барысы

Нейрон желісін оқытылғанын (сурет 3.15) график кетінде байқаймыз.



Сурет 3.15 – Нейрон желісінің оқытылғандығының графикалық көрмесі

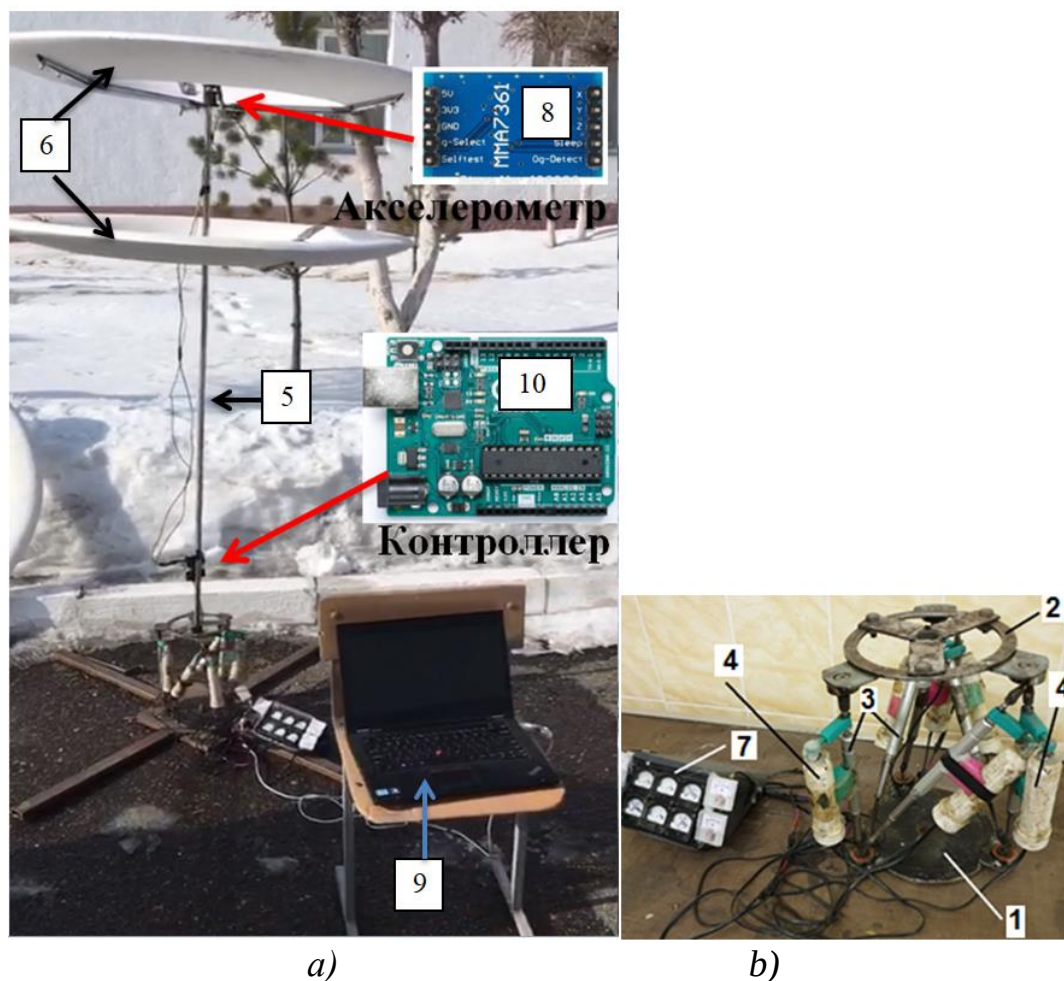
Нейрон желісінің ерекшелігі, енгізілген компьютерлік бағдарлама қойылған мәселені шеше алмайтын кез – келген стандартты емес мәселені шешеді немесе шешімге жақындатады. Стандартты емес мәселені шешу үшін нейрон желісі негізіндегі контроллер өз-өзін автоматты оқыту арқылы қойылған мәселені шешеді.

Стандартты емес жағдайға, ЖЖЭС жұмыс барысында белгілі немесе белгісіз жағдайдан істен шыққан кез – келген құрылымдық немесе электронды сезімтал аспаптардың ақаулары жатады. Осындай мезетте ақау алған ЖЖЭС жөндейтін арнайы топ жеткенше ЖЖЭС желіге электр энергиясын тоқтатпай беріп тұруын қамтамасыз етіп тұрады. Себебі белгілі бір мезетте нейронды желі ақаулы жағдайда жұмыс істеу үшін өз – өзін оқытып шешімін табады.

3.6 ЖЖЭС – ң демонстрациялық моделінің ЖО қозғалысын эксперименттік зерттеу

Желкенді ЖЭС функционалдық мүмкіндіктерін растау мақсатында (сурет 3.16 а)) көрсетілгендей желкенді ЖЭС жұмыс істейтін демонстрациялық моделі құрастырылды. Бұл ЖЖЭС басқа [43, б. 733] жұмыстарында көрсетілген ЖЖЭС айырмашылығы орасан. Мәселен алғашқы желкенді ЖЭС желкеннің саны біреу және желкендердің профилі қатты денеден тұрады. Сонымен қатар бұл ЖЖЭС платформалық түрлендіргіштің алты актуаторына алты түзу сызықты қозғалатын генераторы қолданылады. Ал [43, б. 274-276] жұмыстағы ЖЖЭС желкенінің көлемі сол тороидалды желкенге жел үріліп көлемі көбейеді және платформалық түрлендіргіштең алты актуаторының қозғалыс энергиясының барлығын әр-түрлі тісті және белдікті берілістер арқылы бір жерге шоғырландырып бір генератор валын айналдыруға кетеді. Бұл диссерециялық жұмыстағы ЖЖЭС алдыңғы екі ЖЖЭС-на қарағанда ЖЖЭС-ның автоматты басқару жүйесі, тороидалды желкендері және қуатты іріктеу жүйесі түбегейлі басқаша болып келеді. ЖЖЭС зертханалық жұмыс істетін моделінің тороидалды желкенінің аэродинамикалық профилі жоғары

аэродинамикалық көрсеткішке ие болу мақсатында 18 градусқа бұралған болып келеді.

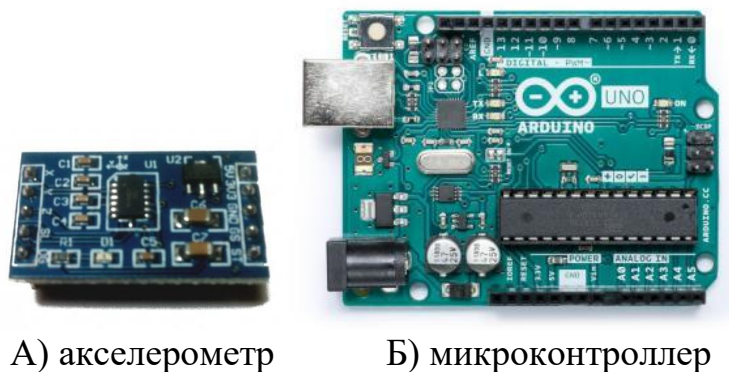


Сурет 3.16 – Зертханалық желкенді ЖЭС акселерометрді жалғап оны далада сынау барысы

Манипуляторлық түрлендіргіш анық көріну мақсатында бөлек көрсетілген (сурет 3.16 b)). Мұнда SHOLKOR параллельді манипулятор манипуляторлық түрлендіргіш (МТ) ретінде қолданылады. МТ – н қозғалмайтын 1 платформасы жоғарғы қозғалатын 2 платформасымен алты 3 актуаторларымен байланысқан. Жаңа тороидалды желкеннің аэродинамикалық мүмкіндігін зерттеу және ЖЖЭС тербелуі мен тербелістен токты өндіре алатының бақылау мақсатында актуатордың штогы мен цилиндрінің арасына сызықты электр генераторын 4 және жазықтықта ЖО-ң тербелісін 9 компьютерге сигнал күйінде беретін 8 акселерометр датчигін қолдандық.

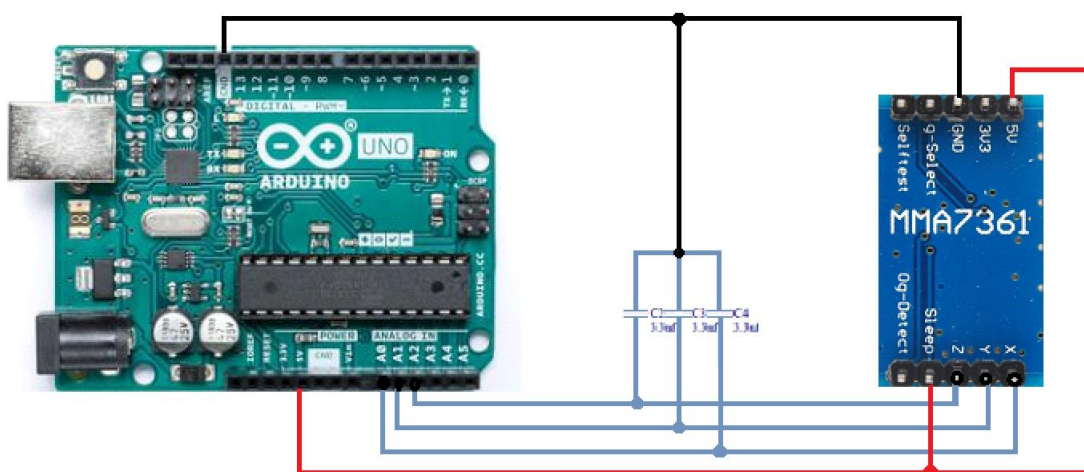
Зерттеу мақсатына жеткенімізді дәлелдеу үшін таңдалынған жоғарғы аэродинамикалық көрсеткішке ие болатын тороидалды желкеннің жұмысын стандартты тороидалды желкеннің жұмысымен салыстыру арқылы орындалады. Желкенді ЖЭС мачтасының жоғарғы нүктесінің орын ауыстыруын өлшеу мақсатында теориялық зерттеу жүргізіп осындай өлшеуді жүргізе алатын бірнеше құрылғылардың ішінен MMA7361 модельді 3 осьті

акселерометр таңдалынды. Акселерометрден алынған ақпаратты ATmega8U2 (сурет 3.17) микроконтроллерімен өзара жалғау (сурет 3.18) арқылы компьютердің COM портына өткізеді.



Сурет 3.17 – Микроконтроллер және акселерометр

Акселерометр аналогты болғандықтан шыққан сигналдарды фильтрлеу қажет. Зерттеу жұмысында сигналды фильтрлеу екі жолмен іске асырылды. Біріншісі (сурет 3.18) көрсетілгендей акселерометрдің x, y, z шығыс сигналының әрқайсысына шамасы 3.3 nF болатын конденсаторлар жалғанады, ол тербелмелі қателік сигналдарын біршама азайтады. Жойылмаған қателік сигналдарын бағдарламалық фильтрі арқылы азайтамыз. Біздің жағдайда сигналдарды бағдарлама күйінде фильтрлеудің орташа арифметикалық фильтрлеу әдісін қолдану жеткілікті болды. Бағдарламалық және құрылымдық фильтрлері арқылы біз тербелмелі қателігі бар сигналдан қалыпты аналогты сигналын алдық.

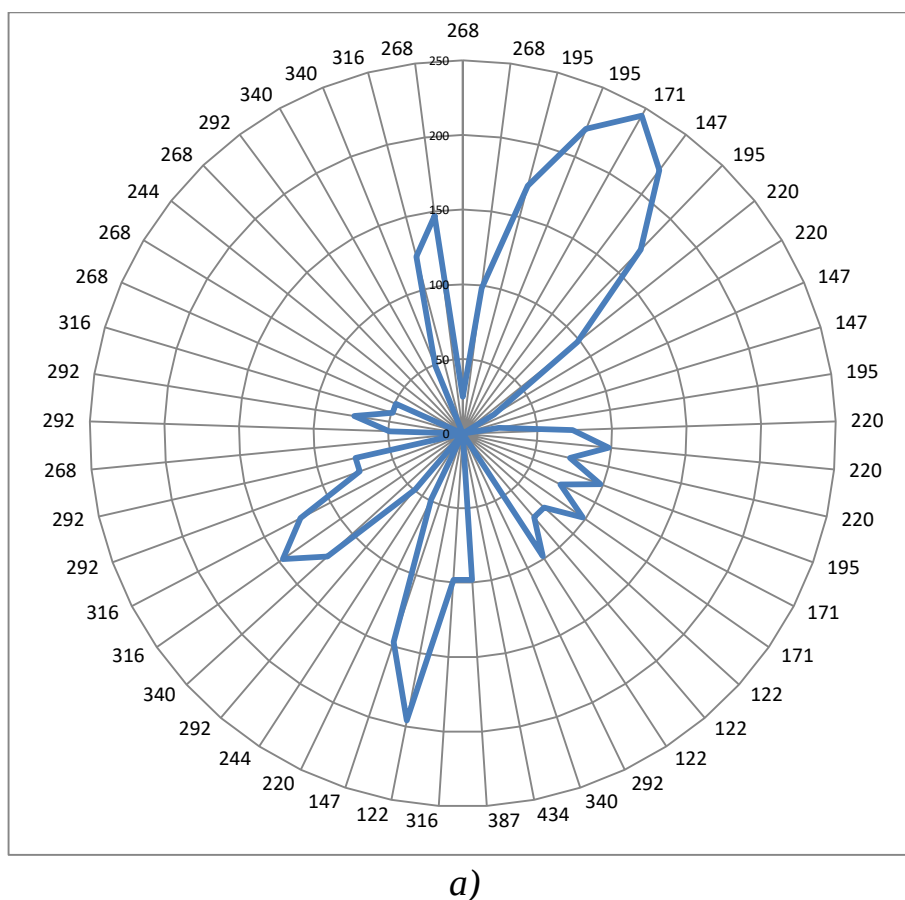


Сурет 3.18 – Контроллер мен акселерометрді өзара жалғау және акселерометр сигналың конденсатормен фильтрлеу

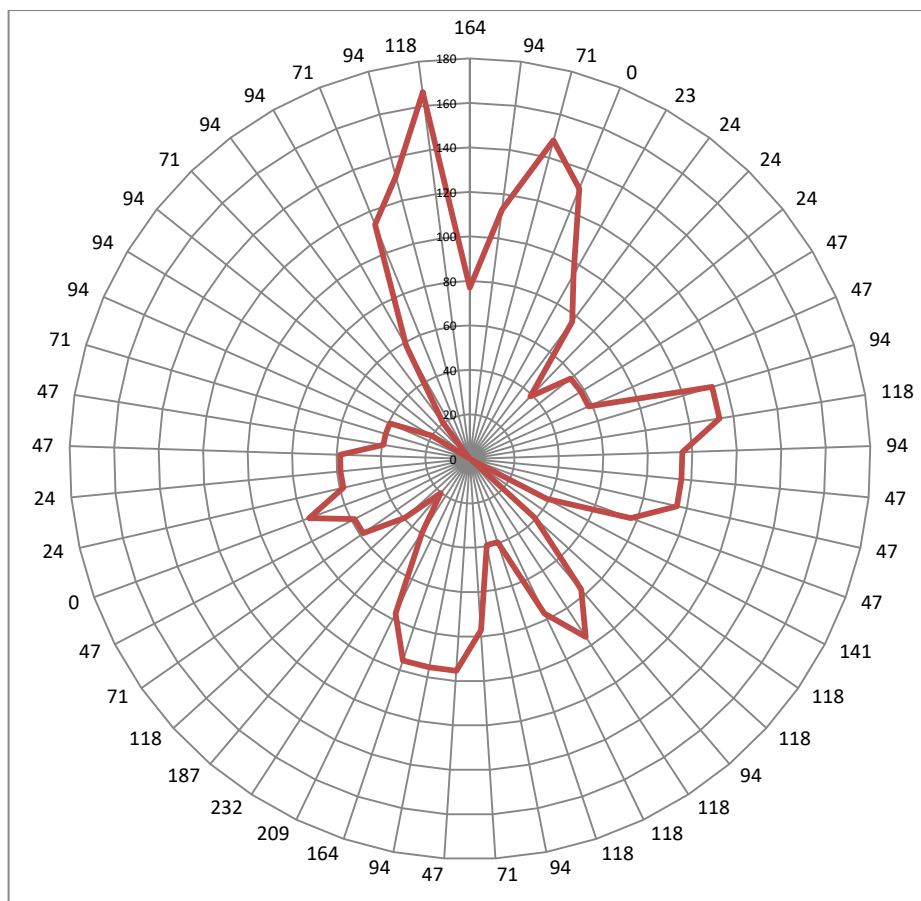
Зерттеудің эмпириялық әдісін қолдануға дайындық жасаймыз. Яғни желкенді ЖЭС мачтасының жоғарғы жағына акселерометрді орналастырып арнайы сыммен контроллерге жалғаймыз, ал контроллерді мачтаның төменгі

жағына жалғап оны СОМ порты арқылы компьютерге жалғаймыз (сурет 3.16). Жалпы құрылғыны дайындап болғансон ауарайыны қадағалап желдің жылдамдығы 2 м/с жылдамдықтан асқан сәтте желкенді ЖЭС зертханалық моделін далаға шығарып нақты уақытта және ауарайының желді уақытында желкенді ЖЭС жұмысын бақылап акселерометрден алынған ақпараттарды Microsoft Excel электрондық парақшаға сақтаймыз. Зерттеу уш желді күн аралығында жүргізілді. Әр тороидалды желкендердің әр қайсысына кемінде бір сағат уақытында сыналанды. Алынған ақпараттарды анализдеп және синтездеу арқылы жалпы корсеткіштер өзара бір – біріне ұқсас екені көрінеді.

Зерттеу жұмысы желдің жылдамдығы 4,6,8 м/с аралығында және келесідей тізбекпен орындалды: алдымен ЖЖЭС – ң мачтасына тороидалды пішімдегі қарапайым желкеннің екеуі орнатылып бір сағаттай уақыт аралығында мачтаның қозғалысының өзгеруін анықтау мақсатында сынық жүргізілді. Осындай сынақтар ЖЖЭС – ң мачтасына жаңа екі жаңартылған тороидалды желкен орнатылып жасалды. Мачтаның жоғарғы нүктесінің горизонталді жазықтықта 7 секунд аралығындағы қозғалысының көрсеткіші жапырақ тәріздес диаграммада көрсетілді (сурет 3.19). Сынақ барысында желдің жылдамдығы 2-4 м/с аралығында болды. ЖЖЭС жаңартылған тороидалды желкені (a) және қарапайым желкендегі (b) сынақ көрсеткіші көрсетілді.



Сурет 3.19 – Мачтаның жоғарғы нүктесінің қозғалыс траекториясы, бет 1

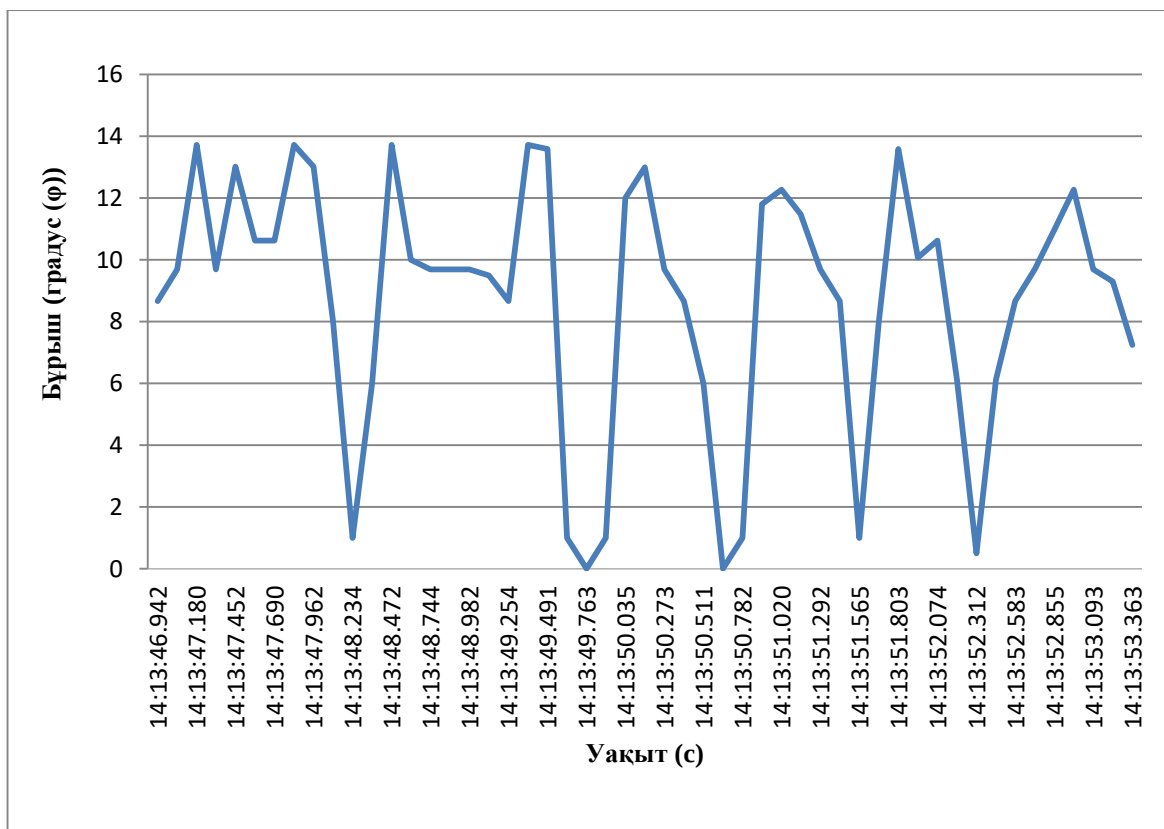


b)

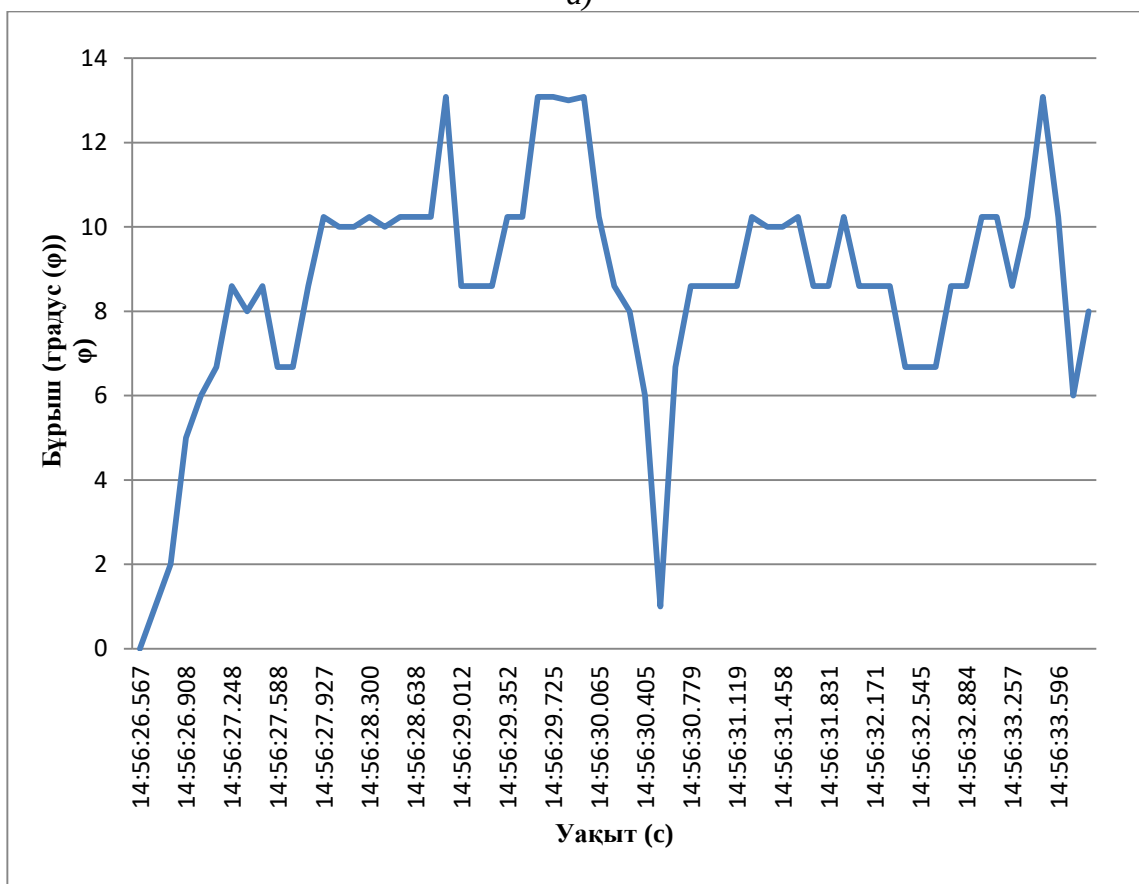
Сурет 3.19, бет 2

Тәжірибелік мәліметтерді өңдеуден кейін, желдің жылдамдығы 2-4 м/с болғанда, мачтаның тік күйден ауытқу бұрышының өзгеруі уақытқа байланысты сызбаларын алуға мүмкіндік берді. ЖЖЭС қарапайым желкен мен жаңартылған желкендердің диаграммалары (сурет 3.20 a, b) көрсетілген.

Зерттеуден алынған ақпараттан мачтаның максималды ауытқыған амплитудасы шамамен 14^0 . Бұл құбылыс сынақ жүргізілген моделде серіппені алдын ала тарту автоматты басқару жүйесінің болмағанын арқасында орындалды. Сонымен қатар, зерттеуден ЖО кеңістікте уақыт аралығында кейбір қайталынбайтын қозғалыстар жасайтыны анықталды. ЖО жоғарғы нүктесі уақыт өте тербеліс теориясында аталатындай - кезбе емес траекториямен қозғалады. Зерттеудің ақпараттары автотербелістің жоқтығын дәлелдеді. Мачтаның тік қалпынан ауытқу бұрышы мен жоғарғы нүктенің қозғалу траекториясын салыстырып жаңартылған ЖЖЭС – ы желдің әсеріне сезімталдырақ екенін көрсетті. Бұл дегеніміз жаңартылған желкен салыстырмалы түрде қарапайым тороидалды желкенге қадағанда желден көбірек энергияны қоғып алатынын көрсетеді.



a)



b)

Сурет 3.20 – Мачтаның вертикалды орнынан бұрышқа ауытқу өзгерісінің диаграммасы

3.7 Қорытынды

Диссертацияда, көлденен қимасы 18^0 градусқа бұралған ретінде Р-II-14% (ЦАГИ-718) профилі негізінде құрастылған жаңа жаңартылғал тороидалды желкен ұсынылды. Виртуалды аэродинамикалық құбырдағы зерттеулерден жаңартылған желкен ЖО тербелісіне оң ықпал ететін аэродинамикалық күштерді тудырады.

Автоматты басқару жүйесінің 4 – ішкі жүйесі құрастырылған:

1) Алдын ала орнату, тороидалды желкенді алдын ала мачтаның бойына биіктігіне байланысты орналастыру мен серіппелерді алдын ала тарту арқыты орнату;

2) Резонансты тоқтату;

3) Электр энергиясын өндіру;

4) Тороидалды желкенді мачта бойымен жермен салыстырғанда биіктігін өзгерту арқылы күш моментін өзгерту арқылы басқару.

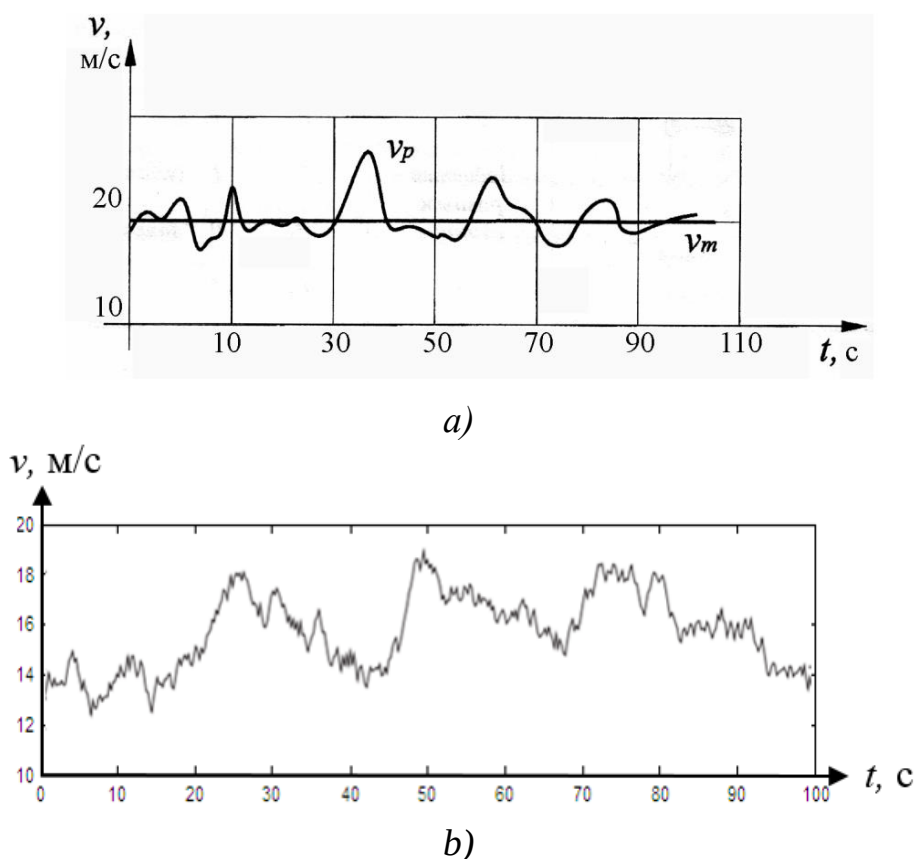
ЖЖЭС басқару мақсатында техникалық құрал таңдалынды. Ішкі жүйенің алдын ала орнату жұмысының алгоритімі жасалынды. ЖО қозғалысын басқару маңыздылығы ескеріліп, ЖО динамикалық моделі жасалынды және ЖО қозғалысын басқарудың ішкі жүйесіне құрылымдық сұлбасы синтезделінді. ЖО қажетті $4^0 - 8^0$ амплитуда шамасында тербелісті сақтап тұру мақсатында демпферлік жүйенің серіппесін алдын ала тарту басқаруына сызықты емес буынның функционалдық сұлбасы ұсынылды.

Гармоникалық іске асыру әдісін қолдану автотербелістің болмауын анықтауға мүмкіндік берді. Бұл жағдай жұмыс істейтін прототипіне тәжірибелік зерттеу жүргізу арқылы расталды. Тәжірибелердің нәтижелері ЖЖЭС қарапайым және жаңартылған желкендермен салыстыруға мүмкіндік берді және соңғысының артықшылықтарын көрсетті. Зерттеу нәтижелерін талдау критеріі ретінде жел энергиясын электр энергиясына түрлендіру тиімділігі пайдаланылды, ол генератор білігінің айналу жиілігімен, сондай-ақ жұмыс органының тербелу амплитудасымен бағаланды. Зерттеу нәтижелері автоматты түрде басқарылатын ЖЖЭС құрылымдарын құру үшін пайдаланылуы мүмкін.

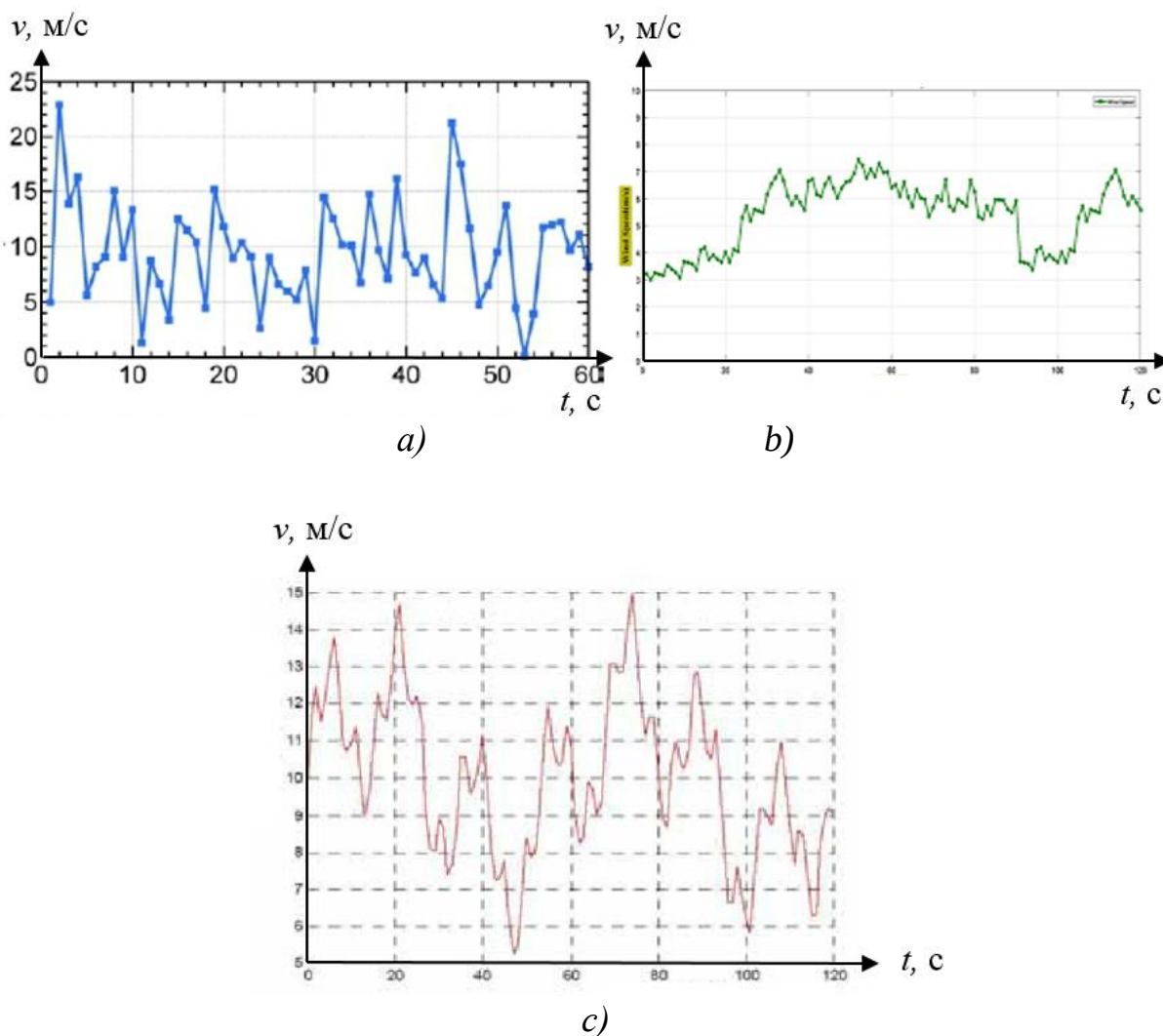
4 КЕҢІСТІКТЕ ҚОЗҒАЛЫСТАҒЫ ЖЕЛКЕНДІ ЖҰМЫС ОРГАНЫ БАР АВТОНОМДЫ ЖЕЛ ЭЛЕКТР СТАНЦИЯСЫНЫҢ ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯСЫН ӨНДІРУ ЖҮЙЕСІ

4.1 Желдің жылдамдығын уақыт бойынша өзгеру заңдылығын зерттеу

Желкенді ЖЭС құрылымдық ерекшелігімен қоса жұмыс істеу принципінің ерекшелігіне қарай, желдің соғу жылдамдығының уақыт бойынша зерттеу қажеттілігі туындайды. Желкенді ЖЭС уақыт өте белгілі бір периодпен тербеледі және сол период жел жылдамдығының өзгеру шамасына, яғни желдің ұйытқуына көп жағдайда байланысты болады. Келесі мақалаларда жел жылдамдығының уақыт бойынша өзгеруінің графиктері берілген. Сол графиктерді анализдеп жел жылдамдығының уақыт бойынша өзгеруі жел жылдамдығының соғу қаттылығына қарай өзгередіні көрінді. Маселен желдің орта жылдамдығы 15-20 м/с аралығында болса [63,64], онда жел жылдамдығының төмендеуі мен жоғарылау тербелісінің периоды 10 секундта шамамен 1-2 рет тербеледі (сурет 4.1a),b)), ал желдің орташа жылдамдығы 3-10 м/с аралығында болған жағдайда [65-67] 10 секунд ішінде шамамен 3-4 рет тербеледі (сурет 4.2 a),b),c)). Арине жел жылдамдығының тербелісі көп жағдайда жер қыртысының тегістігіне байланысты. Жер қыртысы тегіс болмаған сайын жел жылдамдығының тербелісінде көп болады.



Сурет 4.1 – 15-20 м/с аралығында соққан желдің екпінінің өзгеріс тербелісі



Сурет 4.2 – 3-15 м/с аралығында соққан желдің екпінінің өзгеріс тербелісі

Жоғарыдағы графикке қарап желдің жылдамдығы 15-20 м/с немесе 3-15 м/с болған жағдайда желкенді ЖЭС тербелу периоды келесі формуламен анықтаймыз.

$$T_1 = \frac{t}{N} = \frac{10}{2} = 5c$$

$$T_2 = \frac{t}{N} = \frac{10}{4} = 2.5c$$

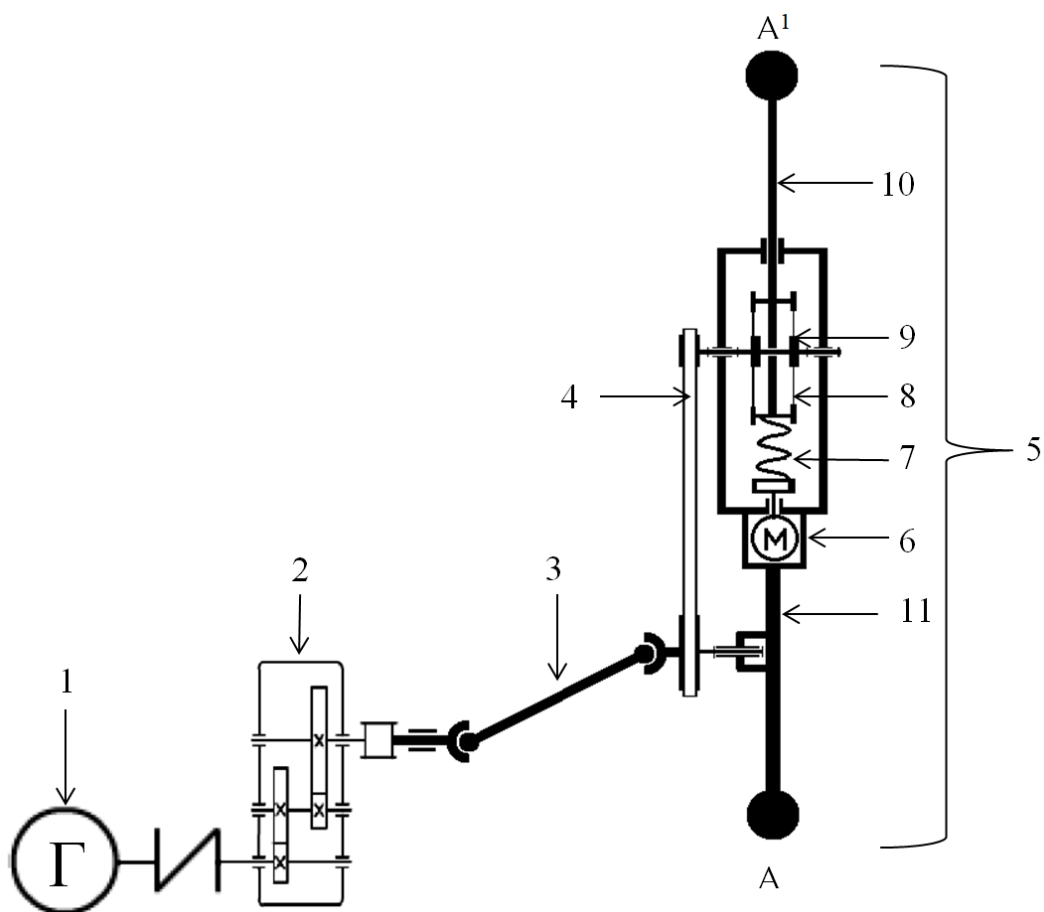
Желдің жылдамдығы 15-20 м/с, ал уақыт $t=10$ с., тербелу саны $N=2$ болған жағдайда тербеліс периоды $T_1 = 5$ с. Желдің жылдамдығы 3-10 м/с, ал уақыт $t=10$ с., тербелу саны $N = 4$ болған жағдайда тербеліс периоды $T_2 = 2.5$ с тең болады. Бұл көрсеткіш желдің аз жылдамдығында желкенді ЖЭС жұмысына қолайлы жағдай екенін көрсетеді.

4.2 Қайтпалы түзу сызықты тербелісті айнымалы қозғалысқа түрлендіру және қуатты іріктеу жүйесі

Желкенді ЖЭС жұмыс органы желдің кинетикалық энергиясын қағып алып манипуляторлық түрлендіргіш арқылы желкенді ЖЭС жұмыс органының тербелісін генератордың валын айналдыруға қолайлы жағдай жасау мақсатында (сурет 4.3) көрсетілген механизімі ұсынылады. Манипуляторлық түрлендіргіштің тек бір тігінен орналасқан актуатор 5 құрылымы көрсетілген (сурет 4.3). Актуатор 5 негізгі жоғарғы өз осінде ілгермелі қозғалыс жасайтын қозғалмалы 10 бөлік пен төменгі 11 бөліктен тұрады. Актуатордың жоғарғы бөлігі A^1 нүктесі арқылы жалғағыш тросты немесе шарнирді байланыс арқылы платформалық манипулятордың жоғарғы қозғалмалы платформасына жалғанады. Ал актуатордың төменгі бөлігі 11 платформалық манипулятордың төменгі жылжымайтын платформасына A нүктесі арқылы тросты байланыс немесе шарнирлі байланыс арқылы жалғанады. Актуатордың жалпы жұмысы пневмо немесе гидро цилиндрдің жұмысына ұқсас болып келеді. Актуатордың жоғарғы 10 штогына арнайы қыстырғыштары арқылы трос 8 бекітілген. Актуатордың төменгі 11 бөлігіне реверсті тербелмелі айналымды тек бір жаққа ғана айналатындай ететін муфта мойынтіректер арқылы жалғанған. Трос 8 бір жаққа ғана айналдыратын муфта бойымен оралып қатаң жалғанады. Актуатордың жоғарғы 10 бөлігі ілгермелі жоғары төмен тербелмелі қозғалыс жасағанда тросты байланыс 9 муфтаның сыртқы бөлігін тербелмелі айналымды қозғалысқа келтіреді. Ал 9 муфтаның төменгі бөлігі тек бір бағытпен айналдыра бастайды. Бір бағытпен айналған муфта белдікті 4 беріліс арқылы 2 қуатты іріктеу жүйесіне жалғанған 3 корданға жалғанған. Қуатты іріктеу жүйесі иілгіш беріліс арқылы генератормен жалғанған.

Қуатты іріктеу жүйесі, электр генераторы және платформалық манипулятордың төменгі қозғалмайтын бөлігі жер бетіне және бір деңгейде қатаң қатырылады. Қозғалмалы актуатордың төменгі 11 бөлігі платформалық манипулятордың төменгі платформасына A нүктесі арқылы тросты немесе шарнирлі байланыс арқылы бекітілгендіктен актуатордың ілгермелі қозғалатын 10 бөлігінің A^1 нүктесі кеңістікте жартылай төңкерілген конустай аумағында қозғалыс жасайды [68]. Генератор және қуатты іріктеу жүйесі (ҚІЖ) қатаң жер бетіне бекітілгендіктен және актуатордың төменгі бөлігі өз жазықтығында горизонталды айналымды қозғалыс орындау барысында ҚІЖ мен актуатордың арасындағы байланыс бірқалыпты болу мақсатында өз осінде ұзара алатын 3 корданды байланыс орнатылды [69-71]. Корданды беріліс айналымды қозғалысты кеңістіктегі көп бөлігіне беру мүмкіндігі бар. Осындай қасиетіне байланысты бұл құрылғыда корданды беріліс қолданылды. Корданды байланыс 4.3 – суретте көрсетілгендей бір жағы ҚІЖ – не жалғанса екінші бөлігі актуатордың төменгі жағында орнатылған белдікті 4 берілістің төменгі бөлігіне орнатылады. Актуатордың ілгермелі жоғары төмен тербелісін айналымды қозғалысқа түрлендіру мақсатында негізінен белдікті және тросты берілісті қолданылды. Белдікті немесе тросты берілісті қолдану себебі, мәселен тісті берілістерде және тісті берілістердің бірқалыпты жұмыс істеу мақсатында тісті

берілістердің арасында белгілі – бір шамада қуыс болу керек. Тісті берілістің арасында стандартпен бекітілген қуыс болмаса онда ол тісті берілістің арасында кедергі күші көбейеді және тістердің тез желініп істен шығады. Әрине, тісті беріліс жұмысы берік және ұзақ жұмыс істейді, егер тісті беріліс тек бір бағытта ғана айналым жұмыс істесе. Біздің құрылғы тек бір бағытта ғана жұмыс жасамай тербелмелі жұмыс жасауына байланысты көп мөлшерде тісті берілісті қолданатын болсақ біраз энергия тісті берілістің арасындағы қуыстарға кетіп қалады. Сондықтар ілгермелі қайтпалы тербеліс барысында тербелістің энергиясы тісті байланыстың қуыстарына кетпеу мақсатында тросты және белдікті беріліс қолданылды. Себебі тросты және белдікті берілісте тісті беріліс секілді қажетті қуыс болмайды. Ілгермелі қайтпалы қозғалысты бір қалыпты бір жақа ғана айналмалы қозғалысқа түрлендіргеннен кейін тісті берілісті қолданым жалпы құрылғының құрылымдық қуатын арттырамыз.



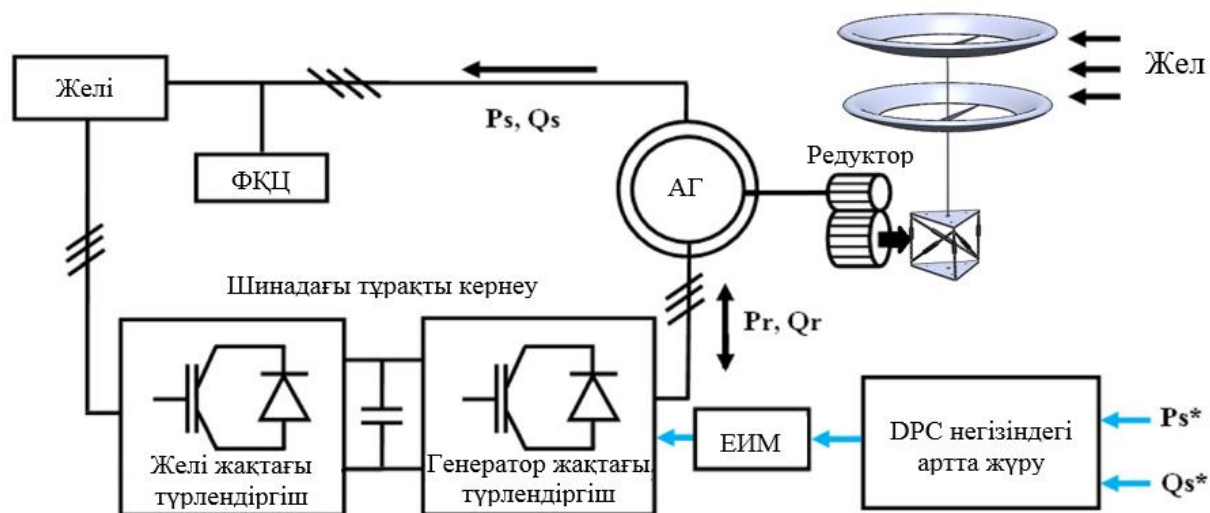
Сурет 4.3 – Тербелмелі қозғалыс энергиясын айналмалы қозғалыс энергияға түрлендіру

Актuatorдың 5 ішкі құрылымында актуатордың тербелуін қамтамасыз ететін 7 серіппесі орнатылған. Бұл 7 серіппесінің төменгі бөлігі актуатордың төменгі 11 жағымен арнайы серіппенің қатандығын басқару мақсатында қолданылатын 6 электр қозғалтқышы арқылы байланысқан. Ал серіппенің 7

жоғарғы бөлігі актуатордың жоғары төмен қозғалатын штокпен қатаң бекітілген. Желкенді жел электр станциясында автоматты басқару жүйесінде, ЖЖЭС тербелісін және жұмыс органының ауытқу амплитудасын басқару барысында 6 электр қозғалтқыштары арқылы серіппенің 7 қатаңдығын басқарады. Серіппенің серпімділік күшін желдің жылдамдығына байланысты өзгерту арқылы генератор валының бірқалыпты айналуына ықпал жасайды. Желдің жылдамдығы 3 м/с шамасында болған уақытта ҚІЖ шамамен 600 айн/мин болатындай бұрыштық жылдамдықпен генератордың роторын айналдырады және генератордың өндіретін қуаты шамамен $N=7.5$ кВт – қа тең болады.

4.3 Электр энергиясын генерациялау жүйесін құру

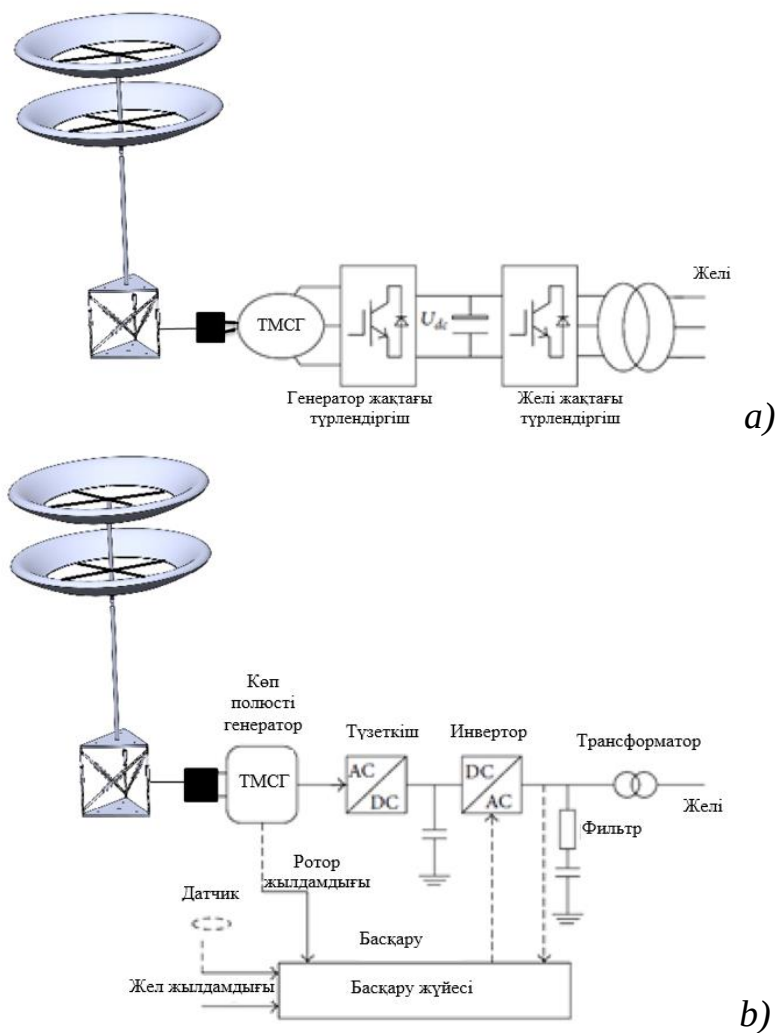
Жел энергиясын түрлендіру жүйесіне негізделген қос қуатты индукциялық генератор яғни ассинхронды генераторы (АГ) бүкіл әлемде қарқынды дамуды бастан кешірді, нәтижесінде бұл энергия көзінің электр торабына қосылуы артып келеді. Бірақ желілік кернеудің кенеттен және уақытша төмендеуі АГ жұмысына әсер етуі мүмкін; кернеудің төмендеуі статор мен ротор тізбектерінде қорғаныссыз жоғары шындық токтарды тудырады, ротордың бүйірлік түрлендіргіші сонымен қатар шамадан тыс токтың шектелуінен зардап шегеді, сондықтан контроллер мен генератордың зақымдалуы мүмкін. Ассинхронды генераторын ЖЭС – да жалғану сұлбасы (сурет 4.4) көрсетілген [72].



Сурет 4.4 – Жел энергиясының құрылымы АГ негізінде конверсиялық жүйе

Тұрақты магнитті синхронды генераторға (ТМСГ) қарағанда қосарланған индукциялық генератор (АГ) кеңінен қолданылады. Бүгінде сарапшылардың айтуы бойынша ТМСГ -нің кейбір артықшылықтары бар. Атап айтқанда, ТМСГ тікелей жетегі бар, айналу жылдамдығы баяу, роторлық ток жоқ және оны редукторсыз қолдануға болады, жоғары тиімділік пен төмен пайдалану шығындары ең көп инвестициялауды қажет ететін шығындарды азайтады

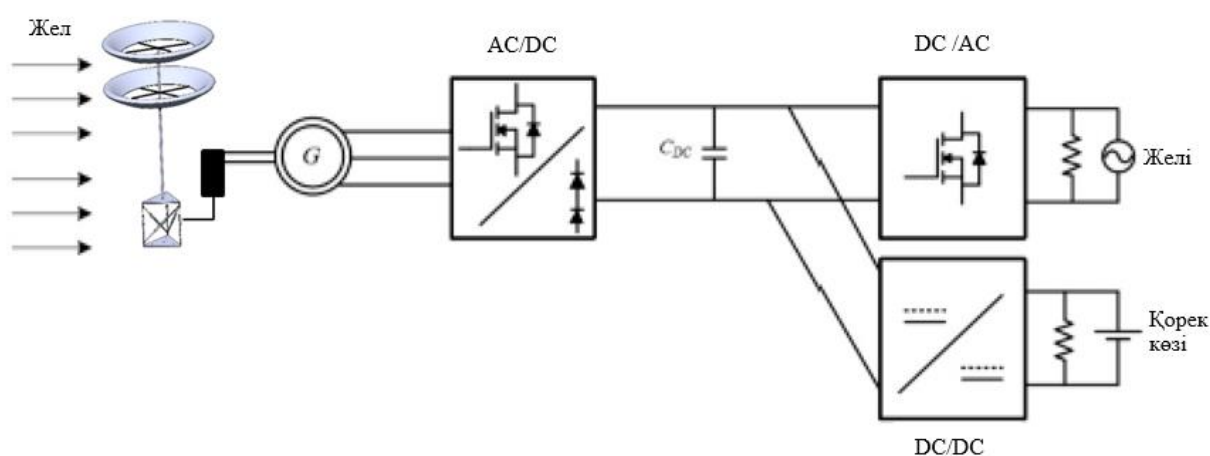
(сурет 4.5 а)). Дегенмен, ТМСГ әлі де кемшіліктері бар, ол икемді құрылымы бар электромагниттік өрісті қажет етеді, оны өндіретін өндірістер жоғары стандартта жұмыс істелуі қажет. Сонымен қатар, генератордың айнымалы жылдамдығы, қуаты, инвертордың шамасы да белгілі болуы керек. Жел энергиясы технологиясының үздіксіз дамуына сәйкес, кейбір күрделі мәселелерге тап болған инверторлық қондырғының тиімділігі жел энергетикалық жүйесінің жұмысын жақсартуда маңызды рөл атқарады. Тиімділігі мен сенімділігін арттыру үшін жаңа контроллермен жақсартылды (сурет 4.5b)) [73].



Сурет 4.5 – (а) және (b) басқару схемалары бар жалпы жел турбинасының ТМСГ жүйесі

ТМСГ генераторларының өндірілген энергиясын тұрақты түрде желіге жіберу мақсатында келесі көрсеткіштерге ие түзеткіштер ұсынылады. Шығыс кернеуінің тұрақтандыру құрылғысы: ЖЭС шығыс кернеуінің электрондық сұлбалар арқылы тұрақтандыру; шығыс кернеуін синусойдалы формасында тұрақты жиілікте өндіру; энергия шығынын қосымша механикалық құрылғыларды қолданбау арқылы төмендету; жұмыстың қарапайымдылығы мен сенімділігінің жоғарылығы болуы. Осы талаптарға сәйкес келетін қазіргі

таңда бірнеше желіге энергияны қайтару (рекуперация) мүмкіндігі бар бірнеше жиіліктік түрлендіргіштер бар. Солардың ішінде мысалы ретінде Emerson компаниясы шағаратын Unidrive M700, M701, M702 және Powerdrive FX жиіліктік түрлендіргіштері. Осыған қоса Қазақстандық ғалымдарыда арнайы тұрақты магниті бар синхронды генераторларын жел электр станцияларында қолдану мақсатында желіге тұрақты түрде кернеуді беру үшін жиіліктік түрлендіргіштерін ойлап тапты. Осындай жаңа жиіліктік түрлендіргіштерді қолдану арқылы ЖЖЭС жұмыс органы тұрақты емес айналу жиілігімен айналдырған тұрақты магниті бар синхронды генераторы өндірген электр тогын желіге тұрақты шамада кернеуді беріп тұрады. Желкенді жел электр станциясының актуаторы жалпы тұрақты магниті бар ЖЭС секілді 4.6 – суретте көрсетілгендей жалғанады [74].



Сурет 4.6 – ТМСГ өндірген электр энергиясымен аккумуляторды зарядтау жүйесі

Осы суреттің негізінде ЖЖЭС үш актуаторына жалғанған тұрақты магниті бар синхронды генераторы өндірген электр тогын желіге және аккумуляторлық батареяға энергияны жинау мақсатында жалғану әдісі көрсетілген. ЖЖЭС – н ЖО қағып алған желдің кинетикалық энергиясы манипуляторлық түрленгіштің алты актуаторларын ілгерлемі түзу сызықты қайтпалы тербелісіне әкеледі. Актуатордың түзу сызықты қайтпалы тербелісін бір жақа айналатын айналмалы қозғалысқа түрленген қозғалыс ҚІЖ жалғанады. ЖЖЭС платформалық түрлендіргіштің жұмысын зерттеп ҚІЖ алты актуатордың тек негізгі тігінен орналасқан актуаторына жалғану барысында энергияны жоғалтуын төмендеуін көрсетті. Үш ҚІЖ – нің әр қайсысына тұрақты магниті бар синхронды генераторы жалғанды. Тұрақты магниті бар синхронды генератор жұмысының ерекшелігі ол қуатты іріктеу жүйесін жұмыс жасай алады, бірақ контроллер мен инвертордың көп бөлігі кіріс энергияның барынша тұрақты болғанын қалайды және кіріс энергияның жиілігінің айырмашылығы тым көп болса инвертордың жұмысы нашарлауы мүмкін. Сол себептен ҚІЖ жалпы ЖЖЭС электр энергиясын өндіру жүйесінің ПӘК азайтпау мақсатында енгізілді. ТМСГ өндірген энергиясы контроллерге беріледі. Контроллер электр желінің

жүктеліуіне және желдің жылдамдығының қатты соғуына байланысты ТМСГ өндірген энергияны аккумуляторлы батареяларды зарядтауға және қалған энергияны электр желісіне беріп тұратын инверторға арнайы өшіргіш пен сақтандырғыштар арқылы инверторға тұрақты ток ретінде береді. Инвертор тұрақты токты айнымалы токка айналдырып электр желісіне береді.

4.4 Электр энергиясын тұрақтандыру әдістері

Жел электр станциялары өндерген электр энергиясын екі жолмен тұрақтандыруға болады. Біріншісі, генератор валының айналу жиілігін тұрақты калыпта ұстап тұру, яғни генератор валына жалғанған әр – түрлі механикалық құрылғылардың жұмысына өзгерістер енгізіп тұрақтандыру. Екіншісі генератор өндірген электр қуатын әр – түрлі электрондық реттегіш құрылғыларын енгізу мен олардың жұмыстарын жақсарту және реттегіштерге арнайы бағдарлама жазып енгізу арқылы тұрақтандыру.

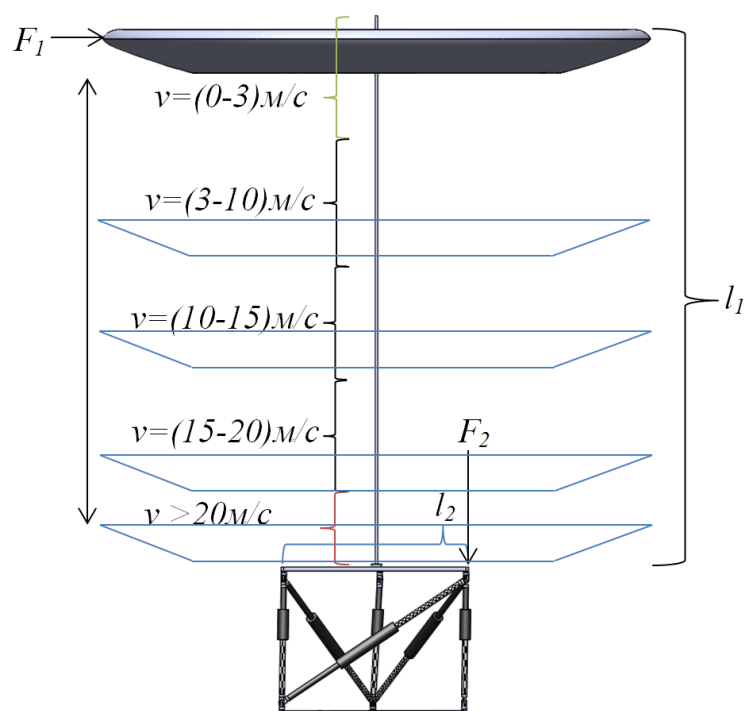
Диссертациялық жұмыста тербелмелі жұмыс органы бар желкенді жел электр станциясы өндіретін электр қуатын реттеу үшін механикалық реттеу әдісі мен электрондық жақсарту әдістері қолданылды.

4.5 Механикалық әдіспен генератор валының айналуын тұрақтандыру

Механикалық терреу әдісінің біріне ЖЖЭС – н платформалық түрлендіргішке түсіретін желдің көтеру күші мен кедергі күшінің әсерін өзгерту жатады. Яғни, тороидалды желкен желдің жылдамдығына байланысты желдің кинетикалық энергиясын қағып алып мачтаға белгілі бір күшпен әсер етеді. Ал мачта платформалық түрлендіргіштің жоғарғы қозғалмалы бөлігімен қатаң байланысқан. Мачта тороидалды желкеннің қағып алған кинетикалық энергиясын платформалық түрлендіргішке береді. Мачта ұзындығы белгілі бір өлшемі бар болғандықтан, мачтаны ұзын иін ретінде қарастырамыз. Тороидалды желкенді мачта бойымен орнын өзгерту арқылы тороидалды желкеннің қағып алған желдің кинетикалық энергиясы платформалық түрлендіргішке түсіретін әсерін өзгертеміз (сурет 4.7). Генератор валының айналу жиілігін тұрақтандыру жолының бірі 14 – формуламен сипатталады.

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1} \quad (14)$$

Мұнда: F_1 – мачта бойына әсер ететін күшер қосындысы, F_2 – платформалық түрлендіргіштің актуаторларына түсіретін күштер қосындысы, l_1 – мачтаның ұзындығы, l_2 – платформалық түрлендіргіштің қозғалмалы жоғарғы платформасының ұзындығы.



Сурет 4.7 – ЖЖЭС жел жылдамдығына байланысты тороидалды желкеннің мачта бойында орналасуы орналасуы

ЖЖЭС – ң генератор валының тұрақты айналуға әсерін тигізетін механикалық реттеу әдісінің екінші түріне платформалық түрлендіргіштің серіппесінің серпімділік күшін желдің жылдамдығына байланысты өзгерту. Механикалық тәсілдердің барлығы диссертациялық жұмыстың 2-ші және 3-бөлімдерінде толық көрсетілген.

4.6 Генератор өндірген энергияны тұрақтандыру жүйесі

ЖЖЭС – ң генераторы өндірілген энергияны тұрақты деңгейде ұстап тұрудың екінші тәсілі, ол жаңа электронды реттегіш құрылғыларын қолдану. Дәстүрлі тұрақты ток негізінде жұмыс істейтін жиіліктік түрлендіргіштер негізінен үш бөліктен тұрады: айнымалы токты тұрақты токқа түрлендіргіш, фильтр және басқарылатын инвертор.

Тұрақты ток негізіне жұмыс істейтін жиіліктік түрлендіргіштің жұмысын жақсарту мен инверторға түсетін жүктемені азайту мақсатында (сурет 4.8) генератор 1 өндірген токты түзеткіш 2, фильтр 4 және контроллермен 7 басқарылатын инверторға 6 қоса DC/DC тұрақты токтың кернеуін тұрақтандырғыш құрылғысы 3 жалғанды. ЖЖЭС токты өндіру жүйесінің жалпы көрінісі (сурет 4.8) көрсетілген. 4.8 суретте, егер желкенді ЖЭС шамадан тыс электр энергиясын өндіретін болса, онда контроллер 7 қосымша аккумулятордың кілтін қосып артық энергияны аккумуляторды зарядтауға жібереді.

қозғалысына түрлену барысында механикалық энергияның жоғалуын азайтып, оның ПӘК-і жоғарыланды.

Желкенді жел электр станциясына электр генераторы ретінде зерттеулер жүргізіліп тұрақты магниті бар синхронды генераторы таңдалынды. Үш бірдей генераторлар өндірген электр энергиясын тұтынушылар желісіне және аккумулятор батареясын зарядтау мақсатында жалғану сұлбасы алынды.

Өртүрлі жағдайға байланысты генератор өндірген құбылмалы электр энергиясын тұрақты ток негізінде жұмыс істейтін жиілікті түрлендіргіш аккумулятор батареясын зарядтау және желіге тұрақты беру жұмысын жақсартылуы мен ұзақ уақыт жұмыс істеуіне ықпал жасау мақсатында жиілікті түрлендіргіштің жақсартылған жаңа түрі ұсынылды.

ҚОРЫТЫНДЫ

Диссертациялық жұмыста кеңістікте қозғалыстағы желкенді жұмыс органы бар автономды жел электр станциясының параметрлерін зерттеу және таңдау болып табылады. Желдің екпінділігі мен соғу бағыты жиі өзгеріп тұратынын аймақтардан жел энергиясын алу бойынша өзекті ғылыми мәселенің шешімі, жаңартылған желкенді жел электр станциясын қолдану арқылы табылды.

Зерттеу барысында әдебиетке шолу жасалынды және жел энергетика саласы зерттелінді.

Құйынды және екпінді желде жұмыс істейтін желкенді жел электр станциясының функционалдық және құрылымдық өзгертулер енгізіліп, желдің кинетикалық энергиясын түрлендіруде ПӘК – і жоғарыланды.

SOLIDWORKS компьютерлік модельдеу бағдарламалық құралын пайдалану арқылы, басқа тороидалды желкендермен салыстырғанда жоғары аэродинамикалық көрсеткішке ие болатын көлденең қимасы белгілі бір бұрышқа бұрылған (18^0) ұшақ қанаты профиліне ұқсайтын жетілдірілген тороидты желкеннің 3D үлгісі алынды.

SOLIDWORKS компьютерлік модельдеуі мен виртуалды аэродинамикалық құбырдың бағдарламалық құралын пайдаланып зерттеу жұмыстарын жүргізу арқылы, басқа тороидалды желкендермен салыстырғанда жоғары аэродинамикалық көрсеткішке ие болатын жаңа тороидалды желкен ретінде Р-II-14% (ЦАГИ-718) самолет қанатының профилі негізінде құрастырылған және көлденең қимасы 18 градусқа бұралған тороидалды желкеннің 3D үлгісі алынды. Жаңа тороидалды желкеннің өлшемін автоматты түрде анықтап беретін «KazJEL» компьютерлік бағдарлама жасалынды.

Автоматты басқару жүйесінің 4 – ішкі жүйесі құрастырылды:

- Алдын ала орнату, тороидалды желкенді алдын ала мачтаның бойына биіктігіне байланысты орналастыру мен серіппелерді алдын ала тарту арқыты орнату;
- Резонансты тоқтату;
- Электр энергиясын өндіру;
- Тороидалды желкенді мачта бойымен жермен салыстырғанда биіктігін өзгерту арқылы мачта түсіретін күш моментін өзгерту арқылы басқару.

ЖЖЭС жұмыс органының қозғалысын релелік басқарудың динамикалық моделі құрылды, ол өздігінен туындайтын тербелістің жоқтығын анықтауға және алдын ала актуатордың серіппелерінің қатаңдығын өзгерту арқылы ЖО тербеліс амплитудасын басқаруға мүмкіндік беретін сызықтық теңдеуді алуға мүмкіндік берді.

ЖЖЭС зертханалық моделі құрастырылды және ЖО қозғалысының эксперименталды зерттеулері жүргізілді, бұл өздігінен туындайтын тербелістердің жоқтығын растады.

ЖЖЭС желкенділігін басқарудың жаңа әдісі ұсынылды. Жел жылдамдығына байланысты тороидалды желкенді мачта бойымен жоғары

немесе төмен жылжытып орнын ауыстыру арқылы мачтаға түсірілетін момент күшін өзгерту арқылы желкенділікті басқару.

Актуатордың тербелмелі қайталанбалы түзу сызықты қозғалысын генератор валын айналдыру қозғалысына түрлендіретін қуатты іріктеу жүйесінің құрылымы негізделінді.

Үш генераторды, қуатты іріктеу жүйесі арқылы платформалық түрлендіргіштің тігінен орналасқан актуаторларына жалғау сұлбасы жасалды. Қайтпалы тербелмелі қозғалысты генератор валын тұрақты айналмалы қозғалысқа түрлендіру әдісі алынды.

Актуатордың серпімділік күшін өзгерту әдісі бекітілді.

Желкенді жел электр станциясына электр генераторы ретінде зерттеулер жүргізіліп тұрақты магниті бар синхронды генераторы алынды және негізделінді. Үш бірдей генераторлары өндірген энергияны тұтынушылар желісіне тұрақты беру және аккумулятор батареясын зарядтау мақсатында жалғану сұлбасы жазылды. Өндірілген энергияны тұрақтандыру жүйесінің жаңа сұлбасы жазылды.

Зертханалық сынақтар жүргізу арқылы жаңа желкенді жел электр станциясының жұмыс органы дәстүрлі желкенді жел электр станциясымен салыстырғанда жиі тербеліс жасалуы дәлелденді. Үш генераторын енгізілуімен арнайы қуатты іріктеу жүйесін енгізу арқасында жұмыс органының тербелісі барысында механикалық энергияның жоғалуы төмендеді.

Диссертация жұмыстың негізгі бөліктері халықаралық WIPO PCT патентімен (Қосымша Б) және зияткерлік меншік туралы куәлікпен қорғалған (Қосымша В).

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

- 1 GWEC–Global–Wind–Report–2021. <https://gwec.net/global-wind-report> – 2021/. 14.08.2021.
- 2 Baloch M. H., Wang J., Kaloi G. 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. 1276-1295.
- 3 Quaschnig V. Regenerative Energiesysteme. – Hanser, Munich, 2015. – P.7-350.
- 4 Banna H. U., Luna A., Ying Sh., Ghorbani H., Rodriguez P. Impacts of wind energy in-feed on power system small signal stability // 3rd International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA). Milwaukee. WI. USA. – 2014. – P. 615-622.
- 5 Harrouz A., Colak I., Kayisli K. Energy Modeling Output of Wind System based on Wind Speed // In the International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA). – Brasov, Romania. – 2019. – P. 63-68.
- 6 Akdağ S. A., Güler Ö., Yağci E. Wind speed extrapolation methods and their effect on energy generation estimation // In the International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA). – Madrid, Spain. – 2013. – P. 428-430.
- 7 Bai C. J., Wang W.C. Review of computational and experimental approaches to analysis of aerodynamic performance in horizontal-axis wind turbines // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2016. – Vol. 63. – P. 506-519.
- 8 Al-Majed. S. I., Fujigaki T. Advances in Wind Power / Edited by Rupp Carriveau. – Canada: University of Windsor, 2010. – 374 p.
- 9 Wind power generation: An overview / Edited by Rupp Carriveau. – Published by In Tech, The International Symposium on Modern Electric Power Systems (MEPS). – 2012. – P. 1-6.
- 10 Abdolrahim R., Ivo K., Bert B. CFD simulation of a vertical axis wind turbine operating at a moderate tip speed ratio: Guidelines for minimum domain size and azimuthal increment // Renewable Energy. – 2017. – Vol. 107. – P. 373-385.
- 11 Rosario L., Stefano M., Michele M. 2D CFD Modeling of H-Darrieus Wind Turbines using a Transition Turbulence Model // Energy Procedia. – 2014. – Vol. 45. – P. 131-140.
- 12 Шоланов К.С., Кабанбаев А.Б. Исследование параметров ветроэнергетической установки с парусом тороидальной формы // VII науч.–практич. конференция с междунар. участием. «Наука настоящего и будущего» для студентов, аспирантов и молодых ученых. – Санкт–Петербург: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2019. – С. 215-219.
- 13 Стратегия «Казахстан–2050»: новый курс состоявшегося государства. Послание президента Р.К. – лидера нации Н.А. Назарбаева народу Казахстана. г. Астана. 14.12.2012
https://www.akorda.kz/ru/events/astana_kazakhstan/participation_in_events/poslanie-

prezidenta-respubliki-kazahstan-lidera-nacii-nursultana-nazarbaeva-narodu-kazahstana-strategiya-kazahstan-2050-novyj-politicheskij- 10.01.2019.

14 Сценарий развития направления «Безопасная, чистая и эффективная энергетика» в Казахстане до 2030 года. // www.ncste.kz/. 12.02.2019.

15 Национальный энергетический доклад. KAZENERGY. – Нур-Султан. 2017. – № 2. // www.kazenergy.com. 02.01.2021.

16 ПАРИЖСКОЕ СОГЛАШЕНИЕ. Организация Объединенных Наций 2015 год https://unfccc.int/sites/default/files/russian_paris_agreement.pdf. 05.05.2021.

17 Национальный энергетический доклад. KAZENERGY. – Нур-Султан. 2019. – № 2. // www.kazenergy.com. 10.05.2021.

18 Уроки проекта ПРООН-ГЭФ «Казахстан – инициатива развития рынка ветроэнергии» заключительная публикация. Астана, 2011. <https://www.kz.undp.org/content/kazakhstan/ru/home/library/library-of-publications/lessons-learned-from-the-undp-gef-project--kazakhstan--wind-power.html> 10.04.2021.

19 Веб-версия Ветрового Атласа Казахстана // www.atlas.windenergy.kz. 12.04.2019.

20 Сценарий развития направления «Безопасная, чистая и эффективная энергетика» в Казахстане до 2030 года. <http://www.ncste.kz/sites/default/files/>. 20.04.2020.

21 Statistical Review of World Energy June 2014.xlsx//BP: Energy economics. <http://www.bp.com/statisticalreview>. 20.04.2020.

22 Позднякова В.А. ПРАКТИЧЕСКАЯ АВИАЦИОННАЯ МЕТЕОРОЛОГИЯ. Учебное пособие для летного и диспетчерского состава ГА.. – г. Екатеринбург: Уральский УТЦ ГА, 2010. – С. 10-12.

23 Глобальный отчет о ветре. 2021 г. <https://gwec.net/global-wind-report-2021/> 17.07.2021.

24 Ежемесячный обзор энергетики <https://www.eia.gov/totalenergy/data/monthly/pdf/sec1.pdf>. 17.08.2021.

25 Мощность ветра во всем мире достигла 744 ГВт – беспрецедентные 93 ГВт добавлены в 2020 г. <https://wwindea.org/worldwide-wind-capacity-reaches-744-gigawatts/>. 20.07.2021.

26 Дукенбаев К.Д. Энергетика Казахстана. Условия и механизмы ее устойчивого развития. Монография. – Алматы: КОРЭМ, 2002. – 480 с.

27 Cao W., Xing N., Wen Y., Chen X., Wang D. New Adaptive Control Strategy for a Wind Turbine Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) //Inventions.– 2021. - Vol.6, № 1.3. <https://doi.org/10.3390/inventions6010003>. 10.08.2021.

28 Научный журнал Куб ГАУ. <http://ej.kubagro.ru/> 16.08.2021.

29 Безруких П. П. Ветроэнергетика: справочное и методическое пособие. – М.: ИД «ЭНЕРГИЯ», 2015. – 320 с.

30 Безруких П. П. Ветроэнергетика. – М.: Интехэнерго-Издат. Теплоэнергетик, 2014. –304 с.

- 31 Безруких П. П. Ветроэнергетика. – М.: Энергия, 2014. – 665 с.
- 32 Бурмистров А. А., Виссарионнов В. И., Дерюгина Г. В. Методы расчета ресурсов возобновляемых источников энергии: учеб. пособие. – М.: МЭИ, 2009. – 144 с.
- 33 Кривцов В. С., Олейников А. М., Яковлев А. И. Неисчерпаемая энергия. Ветроэнергетика. – Харьков: ХАИ, 2014. – 158 с.
- 34 Liam F1. самый тихий мини-генератор <https://catalunya.ru/tutorials/article/3725-liam-f1-samyi-tihiy-mini-generator-%E2%80%93-alternativnaya-energiya-dlya-vashego-doma-v-ispanii/> 17.08.2021.
- 35 Бубенчиков А. А., Артамонова Е. Ю., Дайчман Р. А., Файфер Л. А., Катеров Ф. В., Бубенчикова Т. В. Применение ветроколес и генераторов для ветроэнергетических установок малой мощности // Международный научно исследовательский журнал. – 2015. – №10. – С. 3-17.
- 36 Zhang H., Li Z., Xin D., Zhan J. Improvement of Aerodynamic Performance of Savonius Wind Rotor Using Straight-Arc Curtain // Appl. Sci, 2020. – Vol.10. 7216. <https://doi.org/10.3390/app10207216>. 10.01.2020.
- 37 Francesco Castellani, Davide Astolfi, Mauro Peppoloni, Francesco Natili, Daniele Buttà, Alexander Hirschl. Experimental Vibration Analysis of a Small Scale Vertical Wind Energy System for Residential Use // Machines. – 2019. – Vol.7, № 2. 35. <https://doi.org/10.3390/machines7020035>. 15.01.2020.
- 38 Ernad Beslagic, Kenan Varda, Darko Petkovic. Geometry optimization of small helicoid VAWT rotor // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. The 10th International Symposium Machine and Industrial Design in Mechanical Engineering (KOD 2018), Novi Sad, Serbia– 2018. – Vol.393. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/393/1/012054> 15.01.2020.
- 39 Виктор К. Изобретатель и рационализатор № 7 (727) за 2010 г. http://www.i-r.ru/show_arhive.php?year=2010&month=7&id=1930. 07.08.2021.
- 40 Vortex Mini. <https://animalworld.com.ua/news/Inzhenery-pridumali-novyy-tip-vetrovyh-turbin-bez-lopastej>. 18.08.2021.
- 41 Salvador C.S., Teresa J.A., Martinez J.M., Bacasnot M.C., Orilla K.V., Cabana R.J., Ladaran W.I. Design and Construction of Arc Shaped and Disc Shaped Pendulum for Vortex Bladeless Wind Generator // *25th International Conference on Systems Engineering (ICSEng)*. – 2017. – P. 363-369.
- 42 WO/2018/147716. Power plants (variants) on the basis of parallel manipulator / K.S. Sholanov; St. and Rep. 16.08.2018.
- 43 Sholanov K.S., Kabanbayev A., Abzhaparov K.M. Study and Selection of Parameters of Automatically Controlled Wind Power Station with Swaying Sails // International journal of renewable energy research. – 2020. – Vol.11, №.2. – P. 723-737.
- 44 Sholanov K.S., Abzhaparov K., Mirzabaev B. Justifying and choosing parameters of the wind power installation with an automatically controlled sailing working body // Journal Energy Web and Information Technologies. – 2018. – Vol.6. – P. 1-8.

- 45 WO/2015/016692. Platform robot manipulator / K.S. Sholanov; Standards and Reports. 05.02.2015.
- 46 Шоланов К.С., Мирзабаев Б.И., Сериков Б.К. Выбор тороидального паруса для новой парусной ветровой электростанций путем компьютерного моделирование // Труды КарГТУ. – 2019. – № 4. – С. 126-129.
- 47 Alan D. W., Fingersh L. J., Balas M. J. Testing state space controls for the Control Advanced Research Turbine // 44th Meeting and Exhibit on Aerospace Sciences. – Reno, Nevada. – 2006. – P. 9-12.
- 48 Bayat M., Karegar H. Predictive control of wind energy conversion system // 1st International Conference on Developments in Renewable Energy Technology (ICDRET). – 2009. – P. 1-5.
- 49 Tsoumas I., Safacas A., Tsimplastefanakis E., Tatakis E. An optimal control strategy of a variable speed wind energy conversion system // Sixth International Conference on Electrical Machines and Systems ICEMS. – 2003. – Vol.1. – P. 274-277.
- 50 Karim F., Hossain M. F., Alam M. S. Modified Hill Climb Searching Method For Tracking Maximum Power Point In Wind Energy Conversion Systems // Proceedings International Conference on Mechanical Engineering (ICME). – 2011. – P. 18-20.
- 51 Mahmoud M. Hussein. Tomonobu Senjyu. Mohamed Orabi. Mohamed A. A. Wahab. Mohamed M. Hamada. Simple Sensorless Maximum Power Extraction Control for a Variable Speed Wind Energy Conversion System // International Journal of Renewable and Sustainable Energy. – 2012. – Vol. 1, №. 1. – P. 1-10.
- 52 Perng J. W., Chen G. Y., Hsieh S. C. Optimal PID Controller Design Based on PSO–RBFNN for Wind Turbine Systems // Energies. – 2014.– Vol. 7. – P. 191-209.
- 53 Hostettler J., Wang X. Sliding mode control of a permanent magnet synchronous generator for variable speed wind energy conversion systems // Jou.of Cont.Sci. and Engg. – 2015. – Vol. 3, № 1. – P. 453-459.
- 54 Karakaya A., Karaka E. Implementation of neural network–based maximum power tracking control for wind turbine generators // Turk J Elec Eng & Comp Sci. – 2014. – Vol. 22. – P. 1410-1422.
- 55 Lima M., Silvino J., de Resende P. H_{∞} control for a variablespeed adjustable-pitch wind energy conversion system // IEEE Proceedings Ind. Electronics and International Symposium (ISIE). – 1999. – Vol. 2. – P. 556-561.
- 56 Rocha R., Resende P., Silvino J. L., Bortolus M. V. Control of stall regulated wind turbine through H_{∞} loop shaping method // Proceedings of the 2001 IEEE International Conference on Control Applications. – 2001. – P. 925-929.
- 57 Rocha R., Filho L. A multivariable H_{∞} control for wind energy conversion system // IEEE Proceedings Int. Conference on Control Appl. (CCA). – 2003. – Vol. 1. – P. 206-211.
- 58 Sholanov K.S. Parallel Manipulators of Robots // Theory and Applications, Springer. – 2021. – P. 161.

- 59 Korganbay Sholanov, Berik Mirzabayev, Marco Ceccarelli. Expansibility of Electric Power Production by Sail Wind Power Stations // International Journal of Mechanics and Control. – 2021. – Vol. 22, № 2. – P. 117-126.
- 60 Khalil H.K. Nonlinear systems // Prentice hall. – 2002. – P. 750.
- 61 Dorf R.C., Bishop R.H. Modern control systems // Prentice Hall. – 2003. – P.831.
- 62 Ульянов С.В., Литвинцева Л.В., Добрынин В.Н., Мишин А.А. Интеллектуальное робастное управление: технологии мягких вычислений. – М.: ВНИИГеосистем, 2011. – 408с.
- 63 Куликов А. Н. К 903 Расчет сооружений на сейсмические воздействия и ветровую нагрузку с пульсационной составляющей. учеб. пособие. – Волгогр. гос. архит. - строит. ун-т, Волж. ин-т стр-ва и технол. (филиал) ВолгГАСУ. – Волгоград: ВолгГАСУ, 2008. – 91 с.
- 64 Dr. Emad Q. Hussien. AN OPTIMAL DESGSIN FOR VARIABLE SPEED WIND TURBINES BASED ON LQG // The Iraqi Journal For Mechanical And Material Engineering. – 2014. – Vol.14, №1. [https://www.researchgate.net/publication/322734943_AN_OPTIMAL_DESGSIN_F
OR_VARIABLE_SPEED_WIND_TURBINES_BASED_ON_LQG](https://www.researchgate.net/publication/322734943_AN_OPTIMAL_DESGSIN_FOR_VARIABLE_SPEED_WIND_TURBINES_BASED_ON_LQG) 20.05.2020.
- 65 Akshay Kumar Saha, Rudiren Pillay Carpanen, Characterisation of wind speed series and power in Durban // J. energy South. Afr. – 2017. – Vol.28, №3. – P. 66-78.
- 66 Hemanth Kumar M. B., Saravanan B. Impact of global warming and other climatic condition for generation of wind energy and assessing the wind potential for future trends // *Innovations in Power and Advanced Computing Technologies (i-PACT)*. Vellore. – 2017. – P. 1-5.
- 67 Belakehal S., Benalla H., Bentounsi A. Power maximization control of small wind system using permanent magnet synchronous generator // *Revue des Energies Renouvelables*. – 2009. – Vol. 12, №2. – P. 307-319.
- 68 Бельков В.Н., Захарова Н.В. Б 44 Основы конструирования деталей и сборочных единиц машин: учеб. пособие. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2007. – 256 с.
- 69 РУКОВОДСТВА ПО СОЗДАНИЮ НАДСТРОЕК НА ШАССИ MAN. Механизмы отбора мощности издание. 2021 г., версия 1.0 [https://www.manted.de/manted/aufbaurichtlinien/ pdf/MOM_E2021_V1.0 ru.pdf](https://www.manted.de/manted/aufbaurichtlinien/pdf/MOM_E2021_V1.0_ru.pdf). 04.07.2021.
- 70 Бобровник А.И. Совершенствование вала отбора мощности тракторов «Беларус» // Тракторы и сельхозмашины. – 2014. – №7. – С. 20-24.
- 71 Орленко Л.В., Орленко Е.О., Цветкова Т.В. Прикладная механика. Раздел: «Детали машин и основы конструирования». Конспект лекций. Часть 1. Механические передачи;/ Сев. (Арктич.) фед. Ун-т им. М.В. Ломоносова. – Архангельск: ИПЦ САФУ. – 2013. – 140 с.
- 72 Mensou S., Essadki A., Nasser T., Bard B.I. A direct power control of a DFIG based-WECS during symmetrical voltage dips // *Prot Control Mod Power Syst.* – 2020. – № 5. <https://doi.org/10.1186/s41601-019-0148-y>. 22.05.2021.

73 Chia-Nan Wang. Wen-Chang Lin. Xuan-Khoa Le. Modelling of a PMSG Wind Turbine with Autonomous Control // *Mathematical Problems in Engineering*. – 2014. – Vol.2014. – P. 9.

74 Cao W., Xing. N., Wen. Y., Chen. X., Wang. D. New Adaptive Control Strategy for a Wind Turbine Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) // *Inventions*. – 2021. – Vol. 6, № 3. <https://doi.org/10.3390/inventions6010003>. 22.06.2021.

75 Бисов А. А. Математическое описание синхронного двигателя с постоянными магнитами // *Молодой ученый*. – 2014. – № 21 (80). – С. 104-108. URL: <https://moluch.ru/archive/80/14447/>. 13.08.2021.

76 Akinrinde A., Swanson A., Tiako R. Dynamic Behavior of Wind Turbine Generator Configurations during Ferroresonant Conditions // *Energies*. – 2019. – Vol.12, № 4. – P.639. <https://doi.org/10.3390/en12040639>. 13.03.2021.

77 Okedu K.E., Barghash H. Enhancing the Transient State Performance of Permanent Magnet Synchronous Generator Based Variable Speed Wind Turbines Using Power Converters Excitation Parameters // *Front. Energy Res*. –2021. –Vol.9. – P.109. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2021.655051>. 23.08.2021.

78 Power Technology. Top 10 biggest wind farms. <https://www.power-technology.com/features/feature-biggest-wind-farms-in-the-world-texas/>. 27.07.2021.

79 Ghaedi A., Gorginpour H. Reliability evaluation of permanent magnet synchronous generator-based wind turbines considering wind speed variations // *Wind Energy*. – 2021. – P. 1-19.

80 Raghavendran C.R., Preetha Roselyn J., Devaraj D. Development and performance analysis of intelligent fault ride through control scheme in the dynamic behaviour of grid connected DFIG based wind systems // *Energy Reports*. – 2020. – Vol. 6. – P. 2560-2576.

81 Mohamed E. Abdallah., Osama M. Arafa., Adel Shaltot., Ghada A. Abdel Aziz. Wind turbine emulation using permanent magnet synchronous motor // *Journal of Electrical Systems and Information Technology*. – 2018. – Volume 5, issue 2. – P. 121-134.

82 Sallinen R. M., Messo T. Combined source-effect of photovoltaic generator and bi-directional dc-dc battery charger on inverter control dynamics // *The Journal of Engineering*. – 2019. – P. 5197-5201.

83 Hamzah. Amir, Suwitno. Suwitno, Irfan Joni, Kurniawan Iwan, Gussyafri Haji, Susanto Herry, Turkadze Tsitsino. Design and Simulation of Permanent Magnet Synchronous Generators for Small Scale Wind Power Plants // *E3S Web of Conferences*. – 2020. – Vol.190. – P.8.

84 Kaloi G.S., Baloch M.H., Kumar M., Soomro D.M., Chauhdary S.T., Memon A.A., Ishak D. An LVRT Scheme for Grid Connected DFIG Based WECS Using State Feedback Linearization Control Technique // *Electronics*. – 2019. – Vol.8. – P.777.

85 Baloch M.H., Wang J., Kaloi G.S., Memon A.A., Larik A.S., Sharma P. Techno-Economic Analysis of Power Generation from a Potential Wind Corridor of

Pakistan. An Overview. Environ. Prog. Sustain // Energy. – 2019. – Vol.38. – P.706-720.

86 Baloch M.H., Chauhdary S.T., Ishak D., Kaloi G.S., Nadeem M.H., Wattoo W.A., Younas T., Hamid H.T. Hybrid Energy Sources Status of Pakistan: An Optimal Technical Proposal to Solve the Power Crises Issues // Energy Strategy Rev. – 2019. – Vol.24. – P.132-153.

87 Abdolrahim Rezaeiha. Ivo Kalkman. Bert Blocken. CFD simulation of a vertical axis wind turbine operating at a moderate tip speed ratio: Guidelines for minimum domain size and azimuthal increment // Renewable Energy. – 2017. – Vol.107. – P. 373-385.

88 Rosario Lanzafame. Stefano Mauro. Michele Messina. 2D CFD Modeling of H-Darrieus Wind Turbines using a Transition Turbulence Model // Energy Procedia. – 2014. – Vol.45. – P. 131-140.

89 Al-Majed S. I., Fujigaki T. Advances in Wind Power. / Edited by Rupp Cariveau. – 2010. <http://dx.doi.org/10.5772/3376>. 05.07.2020.

90 Spera D. A., Richards T. R. Modified power law equations for vertical wind profiles. – NASA Lewis Research Center. – 1979. <https://ntrs.nasa.gov/api/citations/19800005367/downloads/19800005367.pdf> 05.07.2021.

91 Merlet J.P. Parallel Robots // Springer Publishers, Dordrecht. – 2006. – P. 332.

92 Melin T. Parametric Airfoil Catalog: An Aerodynamic and Geometric Comparison Between Parametrized and Point Cloud Airfoils: 2-nd ed. – Linköping University. Linköping, Sweden. – 2013. – P. 195.

93 P'yankov K. S., Toporkov M. N. Mathematical modeling of flows in wind power installation with a vertical axis // Fluid Dynamics. – 2014, – Vol.49, №2. – P. 249-258.

94 Gasch R., Tvele J. Windkraft Langer Grundlagen. Entwurf. Planung und Betrieb // Springer. XXIII. – 2016. – P. 599.

95 Apelfröjd S., Eriksson S., Bernhoff H. A. Review of Research on Large Scale Modern Vertical Axis Windpower installation at Uppsala University // Energies. – 2016. – Vol.9, № 7. – P. 570.

96 US20140341736A1. (2014) Sail WPI. – 2016. Nov. 20.

97 US 2013 0181458A1. (2013) System for converting wind energy. Jul.18.

98 Tochmetova K., Sholanov K.S. Float converter model for wave power sources // Research Article in EAI Endorsed Transactions on Energy Web. – 2018. Vol.13, №2. <http://dx.doi.org/10.4108/eai.3-8-2017.152980>. 05.07.2020.

99 Novitskii M.A., Khachaturova L.M., Kulizhnikova L.K., Matskevich M.K. Maximum fluctuations of wind direction in limited time intervals at the levels up to 300 m from observations at a meteorological tower // Russian Meteorology and Hydrology. – 2007. – Vol. 32, № 3. – P. 168-175.

100 Sholanov K.S., Abzhaparov K.A., Zhumasheva Zh.T., Ceccarelli M. A new parallel manipulator hydraulically actuated // International Journal of Mechanics and Control. – 2016. – Vol. 17, № 01. – P. 49-57.

101 WO 2020/209705 A1. Ветровая электростанция с улучшенной парусностью, Wind power plants with improved sailing / Шоланов К.С., Мирзабаев Б.И; опубл. 15.10.2020.

ҚОСЫМША А

Диссертациялық зерттеулердің нәтижелерін оқу процесіне енгізу актісі

Ф.7.07-14

Келісілді:

ҒЖ және И проректоры

У.С. Сулейменов

(қолы)

«15» 10 2021 ж.



АКТІ

№ 2.10.14

Оқу үдерісіне Мирзабаев Б. И. «Кеңістікте қозғалыстағы желкенді жұмыс органы бар автономды жел электр станциясының параметрлерін зерттеу және таңдау» атты диссертация және ғылыми зерттеу нәтижелерін 6D071800 «Электр энергетикасы» (PhD) философия докторы дәрежесін алу үшін, мемлекеттік қаржыландыру МБ ҒЗЖ 21-03-01 «Өндірістік және технологиялық жүйелерді автоматтандыру мен басқарудың перспективалы интелектуалды технологиялары» тақырыбына сәйкесендіру.

Желдің жылдамдығы 2.5 м/с бастап жұмыс істейтін және тербелмелі желдің кинетикалық энергиясын электр энергиясына түрлендіретін мачта бойымен орыны ауыстырылатын тороидальды желкеннен тұратын жұмыс органы бар желкенді ЖЭС параметрлерін компьютерлік, аналитикалық зерттеу жасап, математикалық моделін құрыстырып, алынған көрсеткіштерді талдау нәтижелері оқу үдерісіне енгізілді.

Осы акт «Автоматтандыру, телекоммуникациялар және басқару» кафедрасында 2021 жылы, ҒЗЖ қорытындысы негізінде құрастырылды.

Диссертациядағы ҒЗЖ негізгі нәтижелері келесі мақалада шығарылған: Sholanov K.S., Abzhaparov K., Mirzaev B. Justifying and choosing parameters of the wind power installation with an automatically controlled sailing working body // Journal Energy Web and Information Technologies. – 2018. – Vol.6. – P. 1–8.

Осы актімен оқытушы, магистр, Мирзабаев Берик Исламбекович және доцент, т.ғ.к. кафедра меңгерушісі Мусабеков А.А. орындаған «Кеңістікте қозғалыстағы желкенді жұмыс органы бар автономды жел электр станциясының параметрлерін зерттеу және таңдау» ҒЗЖ нәтижесі расталады және ол оқу үдерісіне 6B07110-«Автоматтандыру және басқару» мамандығының 3 –курс студенттеріне «Сызықты автоматты реттеу жүйелері» пәнінің №3 дәріс сабағында «Түзусызықты АРЖ математикалық жазылуы. Динамика және статика теңдеулері» тақырыбының «1.4 Кеңістікте қозғалыстағы желкенді жұмыс органы бар автономды жел электр станциясының параметрлерінің динамикалық моделін есептеу» бөліміне енгізілді.

Оқу практикалық барысында «Сызықты автоматты реттеу жүйелері» пәнінің «№3 Кеңістікте қозғалыстағы желкенді жұмыс органы бар автономды жел электр станциясының буындарының уақыттық сипаттамасын анықтау»

оқу лабораториялық барысында

(пәнінің атауы мен оның бөлімі көрсетіледі)

Жобалау курстық жұмыстарында

(пәнінің атауы мен оның бөлімі көрсетіледі)

жобалау дипломдық жұмыстарында

(пәнінің атауы мен оның бөлімі көрсетіледі)

Тақырыптың ғылыми жетекшісі

Б.И. Мирзабаев

(Т.А.Ә., қолы)

Ғылыми қызметті үйлестіру жетекшісі

М.К. Серкебаев

(Т.А.Ә., қолы)

АМЖД директоры

А.С. Наукенова

(Т.А.Ә., қолы)

АҒД директоры

У.Б. Назарбек

(Т.А.Ә., қолы)

ҚОСЫМША Б

Халықаралық WIPO PCT патенті

(12) МЕЖДУНАРОДНАЯ ЗАЯВКА, ОПУБЛИКОВАННАЯ В СООТВЕТСТВИИ С ДОГОВОРом О ПАТЕНТНОЙ КООПЕРАЦИИ (PCT)

(19) Всемирная Организация
Интеллектуальной Собственности
Международное бюро

(43) Дата международной публикации
15 октября 2020 (15.10.2020)



(10) Номер международной публикации
WO 2020/209705 A1

- (51) Международная патентная классификация :
F03D 5/06 (2006.01) F03D 7/00 (2006.01)
- (21) Номер международной заявки : PCT/KZ20 19/000003
- (22) Дата международной подачи :
08 апреля 2019 (08.04.2019)
- (25) Язык подачи : Русский
- (26) Язык публикации : Русский
- (72) Изобретатель : и
- (71) Заявитель : ШОЛАНОВ , Корганбай Сагнаевич
(SHOLANOV, Korganbay Sagnaevich) [KZ/KZ]; ул.
Мира , 17/2-10, Караганда , 100008, Karaganda (KZ).
- (72) Изобретатель : МИРЗАБАЕВ , Берик Исламбекович
(MIRZABAYEV, Berik Islambekovich); ул. Алиев , 23,
Шымкент , 160015, Shymkent (KZ).
- (81) Указанные государства (если не указано иначе, для
каждого вида национальной охраны) : AE, AG, AL, AM,
AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BN, BR, BW, BY, BZ,
CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO,
DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN,
HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP,
KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME,

MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ,
OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA,
SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN,
TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Указанные государства (если не указано иначе, для
каждого вида региональной охраны) : ARIPO (BW, GH,
GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ,
UG, ZM, ZW), евразийский (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU,
TJ, TM), европейский патент (AL, AT, BE, BG, CH, CY,
CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT,
LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE,
SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN,
GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Опубликована :
— с отчетом о международном поиске (статья 21.3)

(54) Title: WIND TURBINE HAVING IMPROVED SAIL SENSITIVITY

(54) Название изобретения : ВЕТРОВАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ С УЛУЧШЕННОЙ ПАРУСНОСТЬЮ

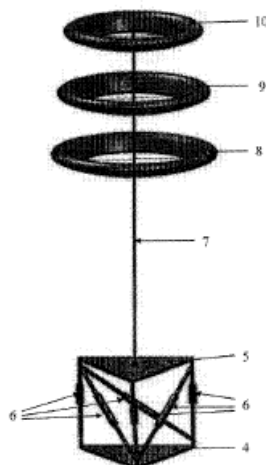


Fig. 2

(57) Abstract: The invention relates to renewable energy, particularly to wind energy sources, and can be used for increasing the productivity and efficiency of sail wind turbines. Proposed is a sail wind turbine having improved sail sensitivity, which consists of a known Sholkor platform manipulator, a mast, and a toroidal sail. Proposed in the invention is a novel toroidal sail that is a solid body made of a lightweight material, said sail having an aerodynamic profile, the cross section of which is tilted to a maximum angle of attack. Also proposed in the invention is a novel sail system consisting of several sails of identical or different sizes and shapes, the height of which above the ground can be adjusted manually or automatically by movement along the mast. The present wind turbine having increased sail sensitivity is capable of generating an electrical current of a given power in a broad range of wind speed variation.

(57) Реферат: Изобретение относится к возобновляемой энергетике, в частности к ветровым источникам энергии и может быть использовано для повышения производительности и эффективности функционирования парусных ветровых электростанций. Предлагается парусная ВЭС с улучшенной парусностью, состоящий из известного платформенного манипулятора Шолкор, мачты и паруса тороидальной формы. В изобретении предложен новый тороидальный парус представляющий сплошное тело, изготовленное из легкого материала имеющий аэродинамический профиль, сечение которого повернуто на максимальный угол атаки. Также в изобретении предложена новая система парусов, состоящая из нескольких парусов одинаковых и различных размеров и форм, которые ручным или автоматическим способом могут изменять свое положение по высоте от земли, перемещаясь вдоль мачты. ВЭС с улучшенной парусностью и мест возможность генерировать электрический ток заданной мощности в большом диапазоне изменения скорости ветра.

WO 2020/209705 A1

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ

РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

АВТОРЛЫҚ ҚҰҚЫҚПЕН ҚОРҒАЛАТЫН ОБЪЕКТІЛЕРГЕ ҚҰҚЫҚТАРДЫҢ
МЕМЛЕКЕТТІК ТІЗІЛІМГЕ МӘЛІМЕТТЕРДІ ЕНГІЗУ ТУРАЛЫ

КУӘЛІК

2019 жылғы «23» мамыр № 3533

Автордың (лардың) жөні, аты, әкесінің аты (егер ол жеке басын куәландыратын құжатта көрсетілсе):
МІРЗАБАЕВ БЕРІК ИСЛАМБЕКОВИЧ

Авторлық құқық объектісі: ЭЕМ-ге арналған бағдарлама

Объектінің атауы: KazJEL

Объектіні жасаған күні: 16.05.2019

Құжат тегін қолжеткізілетін <http://www.kazpatent.kz/ru> сайтының
"Авторлық құқық" бөлімінде тексеруге болады. <https://copyright.kazpatent.kz>

Подлинность документа возможно проверить на сайте [kazpatent.kz](http://www.kazpatent.kz)
в разделе «Авторское право» <https://copyright.kazpatent.kz>

Подписано ЭЦП

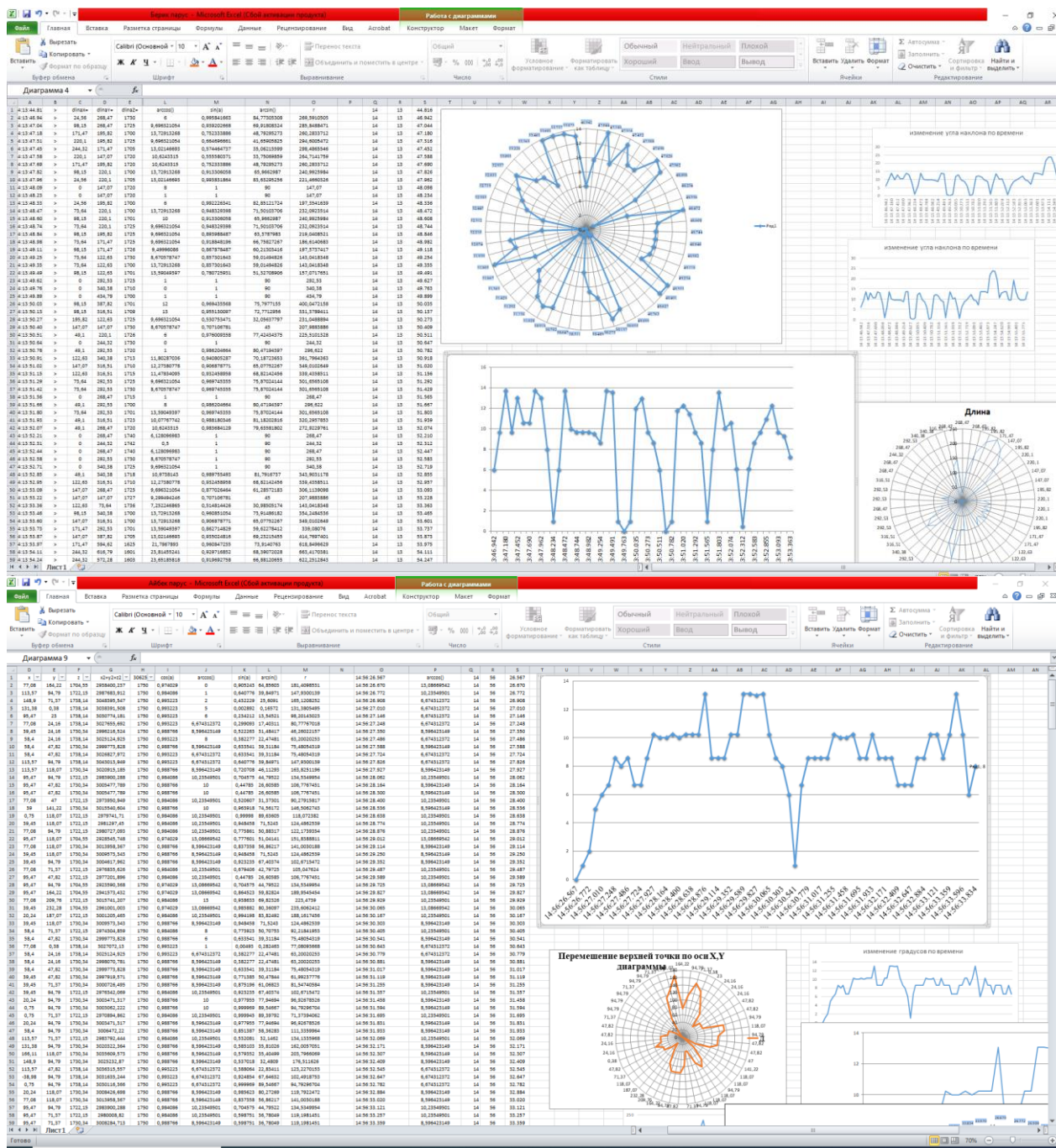
Оспанов Е.К.



Орыс тілінде

ҚОСЫМША Г

Эксперименттік зерттеу нәтижелері



Сурет Г.1 – Зертханалық желкенді ЖЭС сынақ барысында сезімтал құрылғыдан алынған ақпараттарды Excel документіне көшіріліп графигті алу барысы



```
1
2
3 const int analogInPinX = A0; // Analog input pin that the potentiometer is attached to
4 const int analogInPinY = A1;
5 const int analogInPinZ = A2;
6
7 int sensorValueX = 0; // value read from the pot
8 int outputValueX = 0; // value output to the PWM (analog out)
9
10 int sensorValueY = 0; // value read from the pot
11 int outputValueY = 0;
12
13 int sensorValueZ = 0; // value read from the pot
14 int outputValueZ = 0;
15
16 int dlina = 1407;
17
18 #define MA1 5
19
20 #define MA2 5
21
22 #define MA3 5
23 int msrX[MA1];
24 int msrY[MA2];
25 int msrZ[MA3];
26
27 void setup() {
28 // initialize serial communications at 9600 bps:
29 Serial.begin(9600);
30 }
31
32 void loop() {
33 for (int i=0; i < MA1-1; i++)
34 {
35 msrX[i]=msrX[i+1];
36 }
37 msrX[MA1-1]=analogRead(0);
38 long meanX = 0;
39 for (int i=0;i<MA1;i++)
40 {
41 meanX += msrX[i];
42 }
43 meanX /=MA1;
44 // for Y
45 for (int il=0; il < MA2-1; il++)
46 {
47 msrY[il]=msrY[il+1];
```

Сурет Г.2 – Зертханалық желкенді ЖЭС сынақ барысына дайындау барысында Arduino контроллеріне жазылған бағдарлама терезесі, бет 1

```
okonchatelni_map | Arduino 1.8.13
Файл Правка Скетч Инструменты Помощь

okonchatelni_map
48     }
49     msrY[MA2-1]=analogRead(1);
50     long meanY = 0;
51     for (int i1=0;i1<MA2;i1++)
52     {
53         meanY += msrY[i1];
54     }
55     meanY /=MA2;
56     // for Z
57     for (int i2=0; i2 < MA3-1; i2++)
58     {
59         msrZ[i2]=msrZ[i2+1];
60     }
61     msrZ[MA3-1]=analogRead(2);
62     long meanZ = 0;
63     for (int i2=0;i2<MA3;i2++)
64     {
65         meanZ += msrZ[i2];
66     }
67     meanZ /=MA3;
68
69     // X read the analog in value:
70     sensorValueX = analogRead(analogInPinX);
71     outputValueX = map(meanX, 286, 317, 0, 14);
72     // Y
73     sensorValueY = analogRead(analogInPinY);
74     outputValueY = map(meanY, 346, 320, 0, 14);
75
76     // Z
77     sensorValueZ = analogRead(analogInPinZ);
78     outputValueZ = map(meanZ, 145, 155, 0, 14);
79
80     // ВЫХОДНОЙ СИГНАЛЫ
81     // X print the results to the Serial Monitor:
82     Serial.print("sensorX= ");
83     Serial.print(sensorValueX);
84     Serial.print("\t outputX= ");
85     Serial.print(outputValueX);
86     Serial.print(',');
87     // Y
88     Serial.print("sensorY= ");
89     Serial.print(sensorValueY);
90     Serial.print(',');
91     Serial.print("outputY= ");
92     Serial.print(outputValueY);
93     Serial.print(',');
94     // Z
95     Serial.print("sensorZ= ");
96     Serial.print(sensorValueZ);
97     Serial.print("\t outputZ= ");
98     Serial.print(outputValueZ);
99     Serial.print('\n');
```

Сурет Г.2, бет 2

```
okonchatelni_map | Arduino 1.8.13
Файл Правка Скетч Инструменты Помощь

okonchatelni_map
67     meanZ /=MA3;
68
69     // X read the analog in value:
70     sensorValueX = analogRead(analogInPinX);
71     outputValueX = map(meanX,286,317, 0, 14);
72     // Y
73     sensorValueY = analogRead(analogInPinY);
74     outputValueY = map(meanY, 346,320, 0, 14);
75
76     // Z
77     sensorValueZ = analogRead(analogInPinZ);
78     outputValueZ = map(meanZ, 145,155, 0, 14);
79
80     // выходной сигналы
81     // X print the results to the Serial Monitor:
82     Serial.print("sensorX= ");
83     Serial.print(sensorValueX);
84     Serial.print("\t outputX= ");
85     Serial.print(outputValueX);
86     Serial.print(',');
87     // Y
88     Serial.print("sensorY= ");
89     Serial.print(sensorValueY);
90     Serial.print(',');
91     Serial.print("outputY= ");
92     Serial.print(outputValueY);
93     Serial.print(',');
94     // Z
95     Serial.print("sensorZ= ");
96     Serial.print(sensorValueZ);
97     Serial.print(',');
98     Serial.print("outputZ= ");
99     Serial.print(outputValueZ);
100    Serial.print(',');
101
102    // формула для определения отклонения мачты
103
104    Serial.print("dlina-X= ");
105    Serial.print(dlina*sin(radians(outputValueX)));
106    Serial.print(',');
107    Serial.print("dlina-Y= ");
108    Serial.print(dlina*sin(radians(outputValueY)));
109    Serial.print(',');
110    Serial.print("dlina-Z= ");
111    Serial.println(dlina*sin(radians(outputValueZ)));
112    delay(1);
113 }
```

Сурет Г.2, бет 3