

КАБАНБАЕВ АЙБЕК БАТЫРБЕКОВИЧ

**Тербелмелі үрлемелі желкені бар автоматты басқарылатын 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:
техника ғылымдарының докторы, профессор
Стажков С.М.
(БМТУ, қ. Санкт-Петербург)

Қазақстан Республикасы
Қарағанды, 2020

МАЗМҰНЫ

БЕЛГІЛЕР МЕН ҚЫСҚАРТУЛАР.....	4
КІРІСПЕ.....	6
1 МӘСЕЛЕНІҢ ЖАЙ-КҮЙІ ЖӘНЕ ЗЕРТТЕУ МІНДЕТТЕРІН БЕЛГІЛЕУ.....	11
1.1 Қазақстан энергетика саласының жалпы жағдайы.....	11
1.1.1 Электр энергиясын өндіру: инвестициялық жобаларды таңдау.....	16
1.2 Қазақстандағы баламалы энергетиканың қазіргі жағдайын талдау.....	19
1.2.1 Жаңартылатын энергия көздері және Қазақстан үшін ЖЭК салыстырмалы талдау.....	19
1.2.2 Қазақстандағы ЖЭК жобаларына экономикалық көзқарас.....	25
1.2.3 Жаңартылатын энергия көздері өндіретін электр энергиясына баға белгілеу.....	27
1.2.4 Электр энергиясының көтерме сауда нарығы құрылымындағы жаңартылатын энергия көздері.....	28
1.3 Жел энергетикалық қондырғылардың конструкцияларын талдау.....	30
1.3.1 Қазақстан ғалымдарының жел энергетика қондырғыларының әзірлемелері.....	34
1.3.2 Желкенді жел турбиналары.....	43
1.4 Зерттеу міндеттерін белгілеу мен тұжырымдары.....	47
2 ЖЕЛ ЭЛЕКТР СТАНЦИЯСЫНЫҢ ЖЕЛКЕНДЕРІНІҢ ҚҰРЫЛЫМЫ МЕН НЫСАНЫН НЕГІЗДЕУ.....	48
2.1 Желкенді жел электр станциясының құрылымдық және функционалдық элементтері.....	48
2.2 Түрлі пішіндегі желкендердің аэродинамикалық спектрін компьютерлік модельдеу.....	50
2.3 Тороидалды желкендерге әсер ететін аэродинамикалық күштерді эксперименттік зерттеу.....	54
2.4 Демонстрациялық модель мысалында ЖЭҚ-ның желкендерінің құрылғысы мен жұмыс істеу принципін сипаттау.....	58
2.5 2-бөлім бойынша қорытындылар.....	59
3 ЖЕЛКЕНДІ ЖЕЛ ЭЛЕКТР СТАНЦИЯСЫНЫҢ ДИНАМИКАЛЫҚ МОДЕЛІ.....	60
3.1 ЖЭС-тің жұмыс органын динамикалық талдау.....	60
3.2 Желкенді ЖЭС-ның ЖО-ның қозғалысын талдау.....	66
3.3 Параллель манипулятордың демпферлік жүйесін талдау.....	68
3.4 ЖЭС энергетикалық талдауы үшін теңдеулерді қалыптастыру.....	69
3.5 3-бөлім бойынша қорытындылар.....	71
4 ТЕРБЕЛМЕЛІ ҮРЛЕМЕЛІ ЖЕЛКЕНДЕРІ БАР ЖЕЛ ЭЛЕКТР СТАНЦИЯСЫНЫҢ АВТОМАТТЫ БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІ.....	72
4.1 ЖЭС басқару міндеттері.....	72

4.2 Жел энергиясын желкенді ЖЭС-ке түрлендіру технологиясын автоматтандыру және қолданылатын техникалық құрылғылар.....	72
4.3 Желкенді ЖЭС-ның автоматты басқару жүйесі.....	74
4.4 Желкеннен ауаны шығару электромагниттік клапанының басқару жүйесі.....	75
4.5 Үрілетін тербелмелі желкендері бар ЖЭҚ-ның АБЖ-нің басқару алгоритмі.....	78
4.6 Желкенді ЖЭС-ның АБЖ-нің бағдарламалық бөлігін қалыптастыру.....	80
4.7 4-бөлім бойынша қорытындылар.....	88
5 ТЕРБЕЛМЕЛІ ҮРІЛЕТІН ЖЕЛКЕНДІ ЖЕЛ ЭЛЕКТР СТАНЦИЯСЫНЫҢ ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯСЫН ГЕНЕРАЦИЯЛАУ ЖҮЙЕСІ.....	89
5.1 Қуатты іріктеу жүйесін энергетикалық талдау.....	89
5.1.1 ҚІЖ-ны энергетикалық талдау үшін пайдаланылатын шамаларды анықтау.....	89
5.2 МТ пен ҚІЖ-нің күштік және энергетикалық анализінің нәтижесі.....	95
5.3 Қуатты іріктеу жүйесінің құрылымын таңдау.....	98
5.4 Электр энергиясын генерациялау жүйесін құру.....	99
5.5 Желкенді ЖЭС-ның генерациялау және жинақтау жүйелеріне шығушы кернеуді реттейтін басқарылатын жүйе.....	100
5.6 5-бөлім бойынша қорытындылар.....	103
ҚОРЫТЫНДЫ.....	104
ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ.....	105
ҚОСЫМША А –Диссертациялық зерттеулердің нәтижелерін оқу процесіне енгізу актісі.....	112
ҚОСЫМША Ә–Қазақстан Республикасының №2310 патент.....	113
ҚОСЫМША Б – Қазақстан Республикасының №5431 патент.....	114
ҚОСЫМША В – Эксперименттік зерттеу нәтижелері.....	115
ҚОСЫМША Г - Реакция күштерін есептеуге арналған Mathcad бағдарламасының фрагменті.....	118

БЕЛГІЛЕР МЕН ҚЫСҚАРТУЛАР

АБЖ	– автоматты басқару жүйесі
БЖ	– басқару жүйелері
БМ	– беріліс механизмдері
БФ	– беріліс функциясы
ГАЭС	– Гидроаккумуляциялық электр станциясы
ДЖ	– демпфирлеу жүйелері
ДЖЭК	– диффузорлы жел электр станциясы
ЖО	– жұмыс органы
ЖЭК	– жаңғырылатын энергия көздері
ЖЭҚ	– жел энергетикасы қондырғысы
ЖЭС	– жел электр станциясы
ЖЭПК	– желдің энергиясын пайдалану коэффициенті
ҚӨТ	– қуат өтемақы тетіктері
ҚТ	– қуат электронды түрлендіргіштер
ҚІЖ	– қуатты іріктеу жүйесі
МТ	– манипуляторлық түрлендіргіш
ПЛК	– программаланатын логикалық контроллер
ПЭК	– пайдалы әрекет коэффициенті
РМ	– рейкалық механизм
СЭС	– Су электр станциясы
a	– тұрақты жоғарғы және төменгі үшбұрыштардың өлшемдері, м
c_c	– аэродинамикалық спектр шардың беттік кедергі коэффициенті
c_t	– аэродинамикалық спектр тордың беттік кедергі коэффициенті
c_A, c_W	– аэродинамикалық күштер коэффициенттері
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, м ²

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, $1/^\circ\text{C}$
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. Жаңартылатын энергетиканың жел көздерінің жер бетінің кез келген нүктесінде және су кеңістігінің жағалауында электр тогын генерациялау мүмкіндігі жел электр станцияларын әлемдік энергетиканың перспективалы сегментіне айналдырады. Қазіргі уақытта байқалған энергия көздерінен көмірсутекті шикізатқа жаңартылатын энергетикаға көшу үрдісі қоғамдастықтың жаңа жаңартылатын көздерді, атап айтқанда жел электр станцияларын (ЖЭС) жетілдіруге және енгізуге деген ұмтылысын одан әрі күшейтті. Алайда жел электр станцияларын қолданудың ғасырлық тәжірибесі [1] ғалымдардың, конструкторлардың және энергетиктердің күш-жігері негізінен турбиналық ЖЭС конструкцияларында жел энергиясын түрлендірудің тиімділігін арттыруға бағытталғанын көрсетеді. Турбиналық ЖЭС турбина осінің көлденең және тік бағытталуымен ЖЭС-ке бөлінетіні белгілі [1, б. 354; 2]. Сонымен қатар, осьтің көлденең бағыты бар ЖЭС-те турбина роторының пышақтары желдің көтеру күштерінің әсерінен қозғалады [3]. Жел бағытының өзгеруінен тәуелсіз жұмыс негізінен ауа ағынына қарсылық күштері есебінен жұмыс істейтін турбина осінің тік бағдарымен ЖЭС-ті ерекшелендіреді [4, 5]. Алайда, зерттеулер мен көпжылдық жұмыс тәжірибесі [1, б. 354; 6-8] екі типтегі турбиналық жел турбиналары үшін негізгі проблемалар желдің, жылдамдықтың және желдің екпінінің алдын-ала болжанбауын тудырады, көбінесе қысқа уақыт аралығында өзгереді. Сондай-ақ, проблема турбиналық ЖЭС номиналды қуатымен жұмыс істейтін жел жылдамдығы диапазонының төменгі шекарасы, әдетте, жеткілікті жоғары-максималды тиімділігі 0.3-ке тең 10 м/с-тан асады [9]. Осыған байланысты желдің орташа жылдамдығы 3 м/с болатын кең аумақтарда турбиналық ЖЭС-терді пайдалану мүмкін емес. Турбиналық ЖЭС жетілдіру бойынша мәселелерді шешу үшін оңтайлы жел түрлендіргіштерін іздеу жүргізіледі [10], турбиналық ЖЭС конструкциялары үнемі өзгертіліп отырады [11, 12]. Айта кету керек, жетілдіруге бағытталған үлкен күш-жігерге қарамастан, турбиналық жел генераторларымен электр энергиясын өндіруде көптеген кемшіліктер мен проблемалар бар [13]. Мысалы, теңіз кемелері үшін желкендерді қолдану тәжірибесі яхталардың желдің жылдамдығы жоғары жылдамдықпен қозғалатынын көрсетті [14]. Осыған байланысты жел энергетикасындағы ЖЭС конструкциясын түбегейлі өзгертуге, атап айтқанда, айналмалы турбинадан бас тартуға және желкенді ЖЭС құруға бағытталған жаңа шешімдер қызығушылық тудырады.

Жұмыстың мақсаты – аналитикалық, компьютерлік және эксперименттік әдістермен зерттеу арқылы желдің жылдамдығының кең диапазонында электр энергиясын өндіруге арналған, 2.5 м/с-тан бастап және жел бағытының алдын-ала болжанбайтын өзгеруіне қарамастан, тербелмелі желкенді жел (желкендер) бар жаңа автоматты басқарылатын жел электр станциясының параметрлерін таңдау.

Жұмыстың идеясы - тунистік стартап Saphon Energy [15] сияқты айналмалы турбинасы жоқ желкенді салмақты құру болып табылады. Жел

энергиясын электр энергиясына түрлендірудің жаңа технологиясын қолданыңыз, яғни желкенді соққан жел энергиясы параллель манипулятордың алты актуаторының аударма қозғалысының энергиясына айналады, қуатты таңдау жүйесі алты актуатордың энергиясын электр энергиясына айналдырады. Жел желісінің кез-келген жылдамдығы мен бағыты үшін берілген өнімділікпен жұмыс істейтін етіп жүйенің параметрлерін реттейтін жел станциясын басқаруды автоматтандыру жүйесін құру.

- Жаңа жел электр станциясының желкендерінің параметрлерін компьютерлік модельдеу және аэродинамикалық құбырдағы эксперименттік зерттеулер арқылы негіздейді.

- Циклді қозғалатын жұмыс органы бар желкенді ЖЭС-тің қолданыстағы демонстрациялық үлгісі сипатталған.

- Желкенді желкенді таңдау және зерттеу үшін күй теңдеулеріне негізделген математикалық аппарат жасалды.

- Есептеулер нәтижесінде салмақ желкенді қарсыласу күші мен көтеру күшіне бір уақытта әсер ету арқылы жел энергиясын тиімді түрлендіретіні анықталды.

- Бастапқы энергия түрлендіргішінің параметрлерін, сондай-ақ серіппелерді өзгерту арқылы басқарылатын белсенді демпферлік құрылғыны таңдауға мүмкіндік беретін математикалық аппаратты қолдана отырып құрылған алгоритм алынды.

- Ақпараттық-өлшеу жүйесінен, атқарушы құрылғылардан және басқару PLC-тен тұратын ЖЭС АБЖ функционалды схемасы құрылды.

- Жел жылдамдығы негізінде генерациялау жүйесіне қуат алу жүйесі (COM) арқылы берілетін қуатты талдау арқылы желкенді ЖЭС-тің энергетикалық сипаттамалары зерттелді.

- ҚІЖ құрылымын және электр тогын шығаратын электр машинасын таңдауды негіздейді.

Ғылыми жаңалық:

- жаңа жел электр станциясының желкендерінің параметрлерін компьютерлік модельдеу және аэродинамикалық құбырдағы эксперименттік зерттеулер арқылы негізделді;

- циклді қозғалатын жұмыс органы бар желкенді ЖЭС қолданыстағы демонстрациялық үлгісі сипатталған;

- желкенді ЖЭС таңдау және зерттеу үшін күй теңдеулеріне негізделген математикалық аппарат жасалды;

- есептеулер нәтижесінде салмақ желкенді қарсыласу күші мен көтеру күшіне бір уақытта әсер ету арқылы жел энергиясын тиімді түрлендіретіні анықталды;

- бастапқы энергия түрлендіргішінің параметрлерін, сондай-ақ серіппелерді өзгерту арқылы басқарылатын белсенді демпферлік құрылғыны таңдауға мүмкіндік беретін математикалық аппаратты қолдана отырып құрылған алгоритм алынды;

– ақпараттық-өлшеу жүйесінен, атқарушы құрылғылардан және БЛК басқарушысынан тұратын ЖЭС АБЖ функционалдық нобайы қалыптастырылды;

– жел жылдамдығы негізінде генерациялау жүйесіне қуат алу жүйесі (ҚІЖ) арқылы берілетін қуатты талдау арқылы желкенді ЖЭС энергетикалық сипаттамалары зерттелді. ҚІЖ құрылымын және электр тогын шығаратын электр машинасын таңдауы негізделді.

Докторлық диссертацияның міндеттері:

– Парустың параметрлерін негіздеу және таңдау.
– Желкенді паркінің жұмыс прототипін жасау арқылы желкенді ЖЭС функционалдығын растау.

– Тербелмелі жұмыс органы бар желкенді ЖЭС параметрлерін зерттеу және таңдау үшін аналитикалық аппарат құру.

– Бастапқы манипулятор түрлендіргіші мен демпферлік жүйенің параметрлерін анықтау алгоритмін жасау.

– 4 ішкі жүйеден тұратын желкенді ЖЭС автоматты басқару жүйесін құру: желкенді басқару:

- демпфирлеуді басқару;
- электр энергиясын генерациялау;
- штаттан тыс жағдайларда басқару.

– Желкенді жел электр станциясы үшін жел жүктемесін ҚІЖ арқылы қабылдайтын жұмыс органынан генератор роторының білігіне берілетін жел күшінің қуатын бағалауға мүмкіндік беретін алгоритм жасау керек.

– Желкенді жел электр станциясының энергетикалық сипаттамаларын желдің жылдамдығына байланысты генерациялау жүйесіне берілетін ҚІЖ қуатын сақтау арқылы зерттеу керек.

– Желкенді жел электр станциясының электр энергиясын өндіруге және сақтауға арналған жүйелер мен жүйелердің құрылымын негіздеу.

Қорғауға шығарылатын негізгі ғылыми ережелер мен зерттеулердің нәтижелері:

1. Компьютерлік модельдеу және үрленетін желкеннің негізгі параметрлерін эксперименттік зерттеу нәтижелері.

2. Жылжымалы жұмыс органымен желкенді ЖЭС функционалдығын растайтын қолданыстағы модельдің көмегімен жүргізілген сынақтар.

3. Желкенді ЖЭС параметрлерін зерттеу және таңдау үшін күй теңдеулері негізінде алынған аналитикалық аппарат.

4. Бастапқы энергия түрлендіргішінің, сондай-ақ белсенді демпферлік құрылғының параметрлерін есептеу және таңдау алгоритмі.

5. Желкенділікті басқару; демпферлеуді басқару; электр энергиясын өндіруді бақылау; штаттан тыс жағдайлар кезінде басқару кіші жүйелерінен тұратын желкенді ЖЭС АБЖ жұмысы.

6. ҚІЖ құрылымын негіздеу әдістері, желпінетін үрлемелі желкенмен ЖЭС электр энергиясын генерациялау және сақтау жүйелері жел паркінің электр энергиясын өндіру және жинақтау жүйелері.

Зерттеу әдістері. Диссертациялық жұмыстың ғылыми және практикалық нәтижелері сызықтық емес автоматты басқару жүйелері теориясының аналитикалық аппаратын және энергетикалық тепе-теңдік теңдеулерін қолдану арқылы алынды. Диссертациялық жұмыста қойылған мәселелерді шешу үшін: демонстрациялық үлгіні жасау әдісі; Autodesk Flow Design бағдарламасын қолдана отырып компьютерлік модельдеу: аэродинамикалық құбырдағы эксперименттік зерттеулер; MatLab және Mathcad PP көмегімен есептеулер; TIA Portal көмегімен өздігінен жүретін зеңбіректерді жобалау; WINCC-де модельдеу.

Алынған нәтижелердің практикалық маңыздылығы. Жел энергиясын пайдаланатын жаңартылатын энергия объектісі - жел энергиясын турбиналық ЖЭС-ке қарағанда тиімдірек түрлендіруге мүмкіндік беретін шағын қуатты желкенді жел электр станциясы құрылды. Желкенді ЖЭС желдің жылдамдығы 2,5 м/с болған кезде электр тогын тиімді генерациялау мүмкіндігінің арқасында ЖЭС қолдану аумағын едәуір кеңейтуге мүмкіндік береді және Қазақстанның барлық аумағында қолданылуы мүмкін, өйткені Қазақстанның ауқымды аумақтарында желдің орташа жылдық жылдамдығы шамамен 3 м/с.

Нәтижелер мен қорытындылардың негіздемесі мен дұрыстығы. Алынған аналитикалық аппарат, компьютерлік модельдеу және эксперименттік зерттеулер нәтижелері (Қосымша А), сондай-ақ қолданбалы бағдарламалар пакеттерін қолдану арқылы есептеу сенімді болып табылады, өйткені оларды шетелдік рецензенттер жаңартылатын энергетика жөніндегі халықаралық журналда жариялау кезінде талқылады.

Жұмыстың апробациясы. Диссертациялық жұмыстың негізгі материалдары мен нәтижелері баяндалып, талқыланды:

– «Ғылым, білім және өндіріс интеграциясы - Ұлт жоспарын іске асырудың негізі» атты Халықаралық ғылыми-практикалық конференцияда, Сағынов оқулары, №10 (Қарағанды, 2018).

– «Ғылым, білім және өндіріс интеграциясы-ұлт Жоспарын жүзеге асырудың негізі» атты Халықаралық ғылыми – практикалық конференцияда Сағынов оқулары, №11 (Қарағанды, 2019).

– Халықаралық қатысумен өткен «Қазіргі және болашақ ғылымы» VII ғылыми-практикалық конференциясында (Санкт-Петербург, 2019);

– «Автоматтандыру, мехатроника, ақпараттық технологиялар» жас ғалымдардың IX Халықаралық ғылыми-техникалық интернет-конференциясында (Омбы, 2019).

Докторлық диссертацияның негізгі ғылыми нәтижелері 10 ғылыми еңбекте жарияланды, оның ішінде 1 жарияланым Scopus (процентиль – 59) және Web of Science ақпараттық базасына кіреді, 3 жарияланым Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің Білім және ғылым саласындағы бақылау комитеті ұсынған басылымдарда, 1 жарияланым Ресей Федерациясының ғылыми–практикалық журналында, 4 жарияланым Халықаралық ғылыми–практикалық конференцияларда, оның ішінде 2-уі шетелде. Қазақстан Республикасының пайдалы моделіне 1 патент (Қосымша Ә),

Қазақстан Республикасының зияткерлік меншік туралы 1 куәлігі (Қосымша Б) (БАЖ) алынды.

Диссертацияның көлемі мен құрылымы: диссертация кіріспеден, төрт бөлімнен тұратын негізгі бөлімнен, қорытындыдан тұрады. Диссертация көлемі машинамен басылған мәтіннің 124 бетін құрайды, 49 суреттен, 5 кестеден, 100 атаудан, 5 қосымшадан тұратын пайдаланылған дереккөздердің тізімінен тұрады.

1 МӘСЕЛЕНІҢ ЖАЙ-КҮЙІ ЖӘНЕ ЗЕРТТЕУ МІНДЕТТЕРІН БЕЛГІЛЕУ

1.1 Қазақстан энергетика саласының жалпы жағдайы

2050 жылдың соңына қарай шамамен 9,6 миллиард адам болады деп күтілетін әлем халқының қарқынды өсуі энергияға сұраныстың өсу қажеттілігін арттырады және 2040 жылдың соңына қарай энергияны тұтыну 56 пайызға өсуі керек деп болжануда. Баламалы энергия көздері елдің әлеуметтік-экономикалық өсуі үшін қажеттілікке айналды; қазба отындары азайып, энергияға деген сұраныс артып келеді, әлем жаһандық энергетикалық дағдарыстың алдында тұр. Сонымен қатар, дәстүрлі энергия көздерін кеңінен қолдану қоршаған ортаның ластануы мен жаһандық жылынуды тудырады. 2050 жылдың соңына қарай шамамен 9,6 миллиард адам болады деп күтілетін әлем халқының қарқынды өсуі энергияға сұраныстың өсу қажеттілігін арттырады және 2040 жылдың соңына қарай энергияны тұтыну 56 пайызға өсуі керек деп болжануда [16, 17].

Баламалы энергия көздері елдің әлеуметтік-экономикалық өсуі үшін қажеттілікке айналды; қазба отындары азайып, энергияға деген сұраныс артып келеді, әлем жаһандық энергетикалық дағдарыстың алдында тұр. Сонымен қатар, дәстүрлі энергия көздерін кеңінен қолдану қоршаған ортаның ластануы мен жаһандық жылынуды тудырады. Осы тұрғыдан алғанда, жел мен күн энергиясы сияқты жаңартылатын энергия көздері электр энергиясына деген сұранысты қанағаттандыру үшін өте маңызды және өміршең шешім болып табылады, олардың пайдалану шығындарының төмендігі және жаппай мөлшерде болуы олардың жұмысын кез-келген елдің дамуы үшін тиімді етеді. Сонымен қатар, соңғы онжылдықтарда зерттеушілер осы үлкен мәселе бойынша жұмыс істеді.

Экспорттаушы ретінде энергия ресурстары нарығында Қазақстан маңызды рөл атқарады. Қазақстан көмірсутектер мен уран қорлары бойынша ондыққа және табиғи газ қорлары бойынша жиырмаға кіреді. Қазақстан уран өндіру бойынша әлемде бірінші орын алады, көмір өндіру бойынша көшбасшылық позицияны иеленеді және мұнай өндіру бойынша алғашқы жиырмалыққа кіреді [18]. Соңғы жиырма жыл ішінде мемлекет көмірсутектерді өндіру көлемін шамамен 4 есе ұлғайтты және осы санаттағы жаңа әлемдік көшбасшы рөлін атқаруда. Алдағы жиырма жылда елімізде ТМД елдері арасында көмірсутектер саны артады деп күтілуде.

Қазақстанның, әсіресе мұнай саласының экономикалық дамуы үшін отын-энергетика кешені аса маңызды болып табылады. 2014 жылы оның үлесіне елдің ЖІӨ-нің 22%-ы, сондай-ақ жиынтық экспорттық кірістің 2/3-і және Ұлттық бюджет кірісінің 50%-ы тиесілі болды. Бұдан басқа, бұл сектор елде тікелей шетелдік инвестицияларды (ТШИ) тарту бойынша жетекші болып табылады.

2017 жылғы Ұлттық энергетикалық баяндамада (ҰЭБ) соңғы уақытта Халықаралық энергетика саласында орын алған жаңа экономикалық, саяси және технологиялық оқиғаларға назар аударылды. Оларға мыналарды жатқызуға болады:

1. 2015 жылғы қарашада Біріккен Ұлттар Ұйымының Климаттың өзгеруі туралы негіздемелік конвенциясы бойынша ХХІ конференцияда қол жеткізілген «Париж келісімі» [19]. Әлемдегі барлық елдер парниктік газдар шығарындыларын белгілі бір (дербес) мақсатты деңгейлерге (алдын ала анықталған Ұлттық үлес – *Intended nationally determined contributions*) сәйкес төмендету туралы келісті [20]. Бір жылдан кейін Келісім халықаралық құқықтық акт мәртебесіне ие болды. Ал қысқа мерзім ішінде ратификацияның рекордтық санына қол жеткізілді. Енді Қазақстанды қоса алғанда, елдер экономиканың энергетикалық теңгерімін өзгерту (көмірдің орнына жаңартылатын энергия көздерін және табиғи газды пайдалану үлесін ұлғайту), энергия тиімділігін арттыру және көміртегі шығарындыларына тарифтер белгілеу (салық салу немесе шығарындыларға квоталар саудасы арқылы) жолымен шығарындыларды азайту бойынша бірлескен күш-жігер қабылдайтын болады.

2. Бағаның жаңа деңгейінде орта мерзімді перспективада артық ұсыныстың сұраныстың қалыпты өсуімен үйлесімін көрсететін мұнай нарығындағы әлемдік тепе-теңдік қалпына келеді. Енді бағасы 2 есе төмен (шамамен 50 \$/барр.), 2014 жылға қарағанда. ОПЕК мүшелері мен басқа да ірі өндірушілердің, соның ішінде Ресей мен Қазақстанның келісуі кезінде мұнай өндірудің төмен, сервистік шығындарының, тиімділігін арттырудың және ерікті түрде қысқаруының симбиозы мұнай өндіру бойынша көшбасшыларға төмен бағаларға қарамастан, оң жағында қалуға мүмкіндік берді. Еңбек өнімділігін арттыру және шығыстарды қысқарту мақсатында Инвестициялар циклінің ұзақтығын қысқарту, геологиялық барлау жөніндегі жұмыстарды қолда бар инфрақұрылымға тікелей жақын орналасқан жақсы зерттелген бассейндерге шоғырландыру, автоматтандыруды және деректермен алмасудың цифрлық технологияларын енгізу түрінде жаңа жағдайларға түзету үшін үлкен күш-жігер жұмсалды. Олар энергетика саласына инвестициялар салу шарттары туралы келіссөздер кезінде ұлттық үкіметтер емес, жеке инвесторлар тиімді жағдайда болуына әкелді. Үлкен бәсекелестік жағдайында Қазақстан мен басқа да елдер өздерінің инвестициялық тартымдылығын арттыруға күш-жігерін арттыруға тиіс. Жаңартылатын энергетика үлесіне әлемдегі өндіруші қуаттар өсімінің 50%-дан астамы тиесілі. Болашақта, 2040 жылға дейін ЖЭК бүкіл әлем бойынша электр энергиясын өндіруде ең жылдам өсіп келе жатқан, жаңа энергия көзіне айналуға тиіс. Үкіметтің тұрақты лобби жасауы кезінде жаңа қуаттардың жиынтық көлеміндегі жел және күн энергиясының үлесі 50%-дан астамды құрайды. Қуаттардың өзі 2016 жылдан 2040 жылға дейінгі кезеңде іске қосылды, біраз уақыттан кейін олардың массасы әлемдегі электр энергиясын өндірудің жалпы көлемінде өседі. Алайда өсу аз болады, өйткені өсу бастапқыда төмен деңгейден басталады.

3. Жаңартылатын энергетика қуатын арттыру қарқынын жеделдету. 2016 жыл жаңартылатын энергетика (150ГВт), әсіресе жерүсті жел электр станциялары (ЖЭС) және күн фотоэлектр қондырғылары қуаттарының өсуі бойынша рекордтық жыл болды, мұның өзі қомақты саяси қолдаудың, сондай-ақ

күрделі шығындарды азайтудың және күн электр станцияларын (КЭС) салу технологияларын жетілдірудің арқасында мүмкін болды.

ЖЭК енгізуге қуатты ынталандыру климаттың өзгеруіне қарсы күрес – жаһандық жылыну болып табылады. Көптеген елдерде энергетикалық қауіпсіздікті арттыру мақсатында атмосфераға шығарындыларды азайту және энергия ресурстарын жеткізуді әртараптандыру маңызды рөл атқарады.

4. «Жасыл» энергетиканың үлкен серпілісі. Қуаттылықты ұлғайту, жаңартылатын энергия, негізінен қолайлы экономикалық және саяси жағдайлардың, сондай-ақ технологияның жаңа дамуының күтпеген плексусының арқасында мүмкін болды.

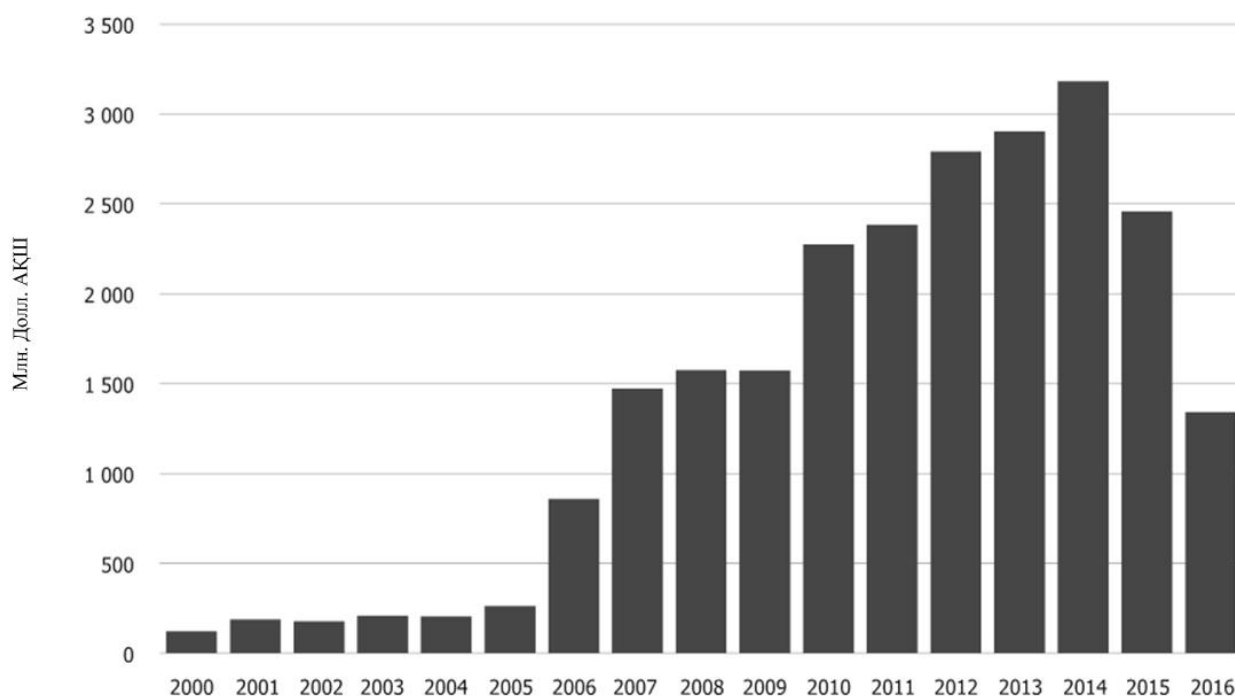
5. «Таза» энергетиканың тағы қандай технологиясы болжанғаннан жылдам қарқынмен дами отырып, осындай серпіліс жасай алады? Үкімет пен өнеркәсіп Париж келісімінен туындайтын мүмкіндіктерді, инвестицияларды тәуекелмен пайдаланудың жолдарын іздейді. Енді өтпелі технологияларға көбірек инвестиция салу қажет. Бұл баяндамада электромобильдер мен ұшқышсыз көлік, АЭС-тің жаңа түрлері, электр энергиясын сақтау және көміртекті ұстау сияқты технологиялар талқыланады. «Таза» энергетиканың тағы қандай технологиясы болжанғаннан жылдам қарқынмен дами отырып, осындай серпіліс жасай алады? Үкімет пен өнеркәсіп Париж келісімінен туындайтын мүмкіндіктерді, инвестицияларды тәуекелмен пайдаланудың жолдарын іздейді. Енді өтпелі технологияларға көбірек инвестиция салу қажет. Бұл баяндамада электромобильдер мен ұшқышсыз көлік, АЭС-тің жаңа түрлері, электр энергиясын сақтау және көміртекті ұстау сияқты технологиялар талқыланады.

6. Жаңа технологиялар нәтижесінде серпінді әсер етуі мүмкін екенін есте ұстаған жөн. Оларды кеңінен енгізу және коммерцияландыру белгілі бір уақыт шығындарын талап етеді. ЖЭК қуаттарының 2021-2030 жылдарға қарай 6%-ға және 2031-40 жылдарға қарай 4%-ға жиынтық жылдық өсу қарқыны туралы болжамға қарамастан, дәстүрлі электр станцияларына жататын ірі СЭС-терді қоспағанда, 2040 жылға қарай ЖЭК үлесі бұрынғысынша қуаттардың өсу қарқыны бастапқы энергия ресурстарын тұтынудың жалпы көлемінің 5%-ы ғана деңгейінде болады. Ал көмірсутектердің жиынтық үлесі 3/4-тен асады.

2015 жылға арналған ұлттық энергетикалық баяндама жарияланған сәттен бастап әлемдік энергетика курсының өзгеруі Қазақстанның ағымдағы саясатын түзетуді талап ететін бірқатар мәселелерді одан әрі айқындап берді.

2015 жылғы баяндамада Қазақстанның электр энергетикасы секторын жаңғырту ісінде тәуелсіздік алған сәттен бастап елеулі серпіліс жасағаны айтылған. Қазақстанға кеңестік кезеңде салынған, Ресей мен Орта Азиядан (1991 жылға қарай жылына 15 млрд.кВт/сағ. дейін электр энергиясын) жеткізілімдерге байланысты ескірген энергия жүйесі берілгенін ескере отырып, жоғарыда көрсетілген жетістік ерекше көзге түседі. Өндіруші қуаттар мен желілік шаруашылық құрылысына орасан зор инвестициялар соңғы он жылда Қазақстанның энергетикалық тәуелсіздігі мен қауіпсіздігін едәуір ұлғайтты (сурет 1.1). Нәтижесінде 2000 жылдан бастап Қазақстанның электр

станцияларының мәлімделген қуаты 22%-ға өсті, ал олардың қолда бар қуаты екі есе өсті.



Сурет 1.1 - Қазақстанның электр энергетикасы секторына капитал салу

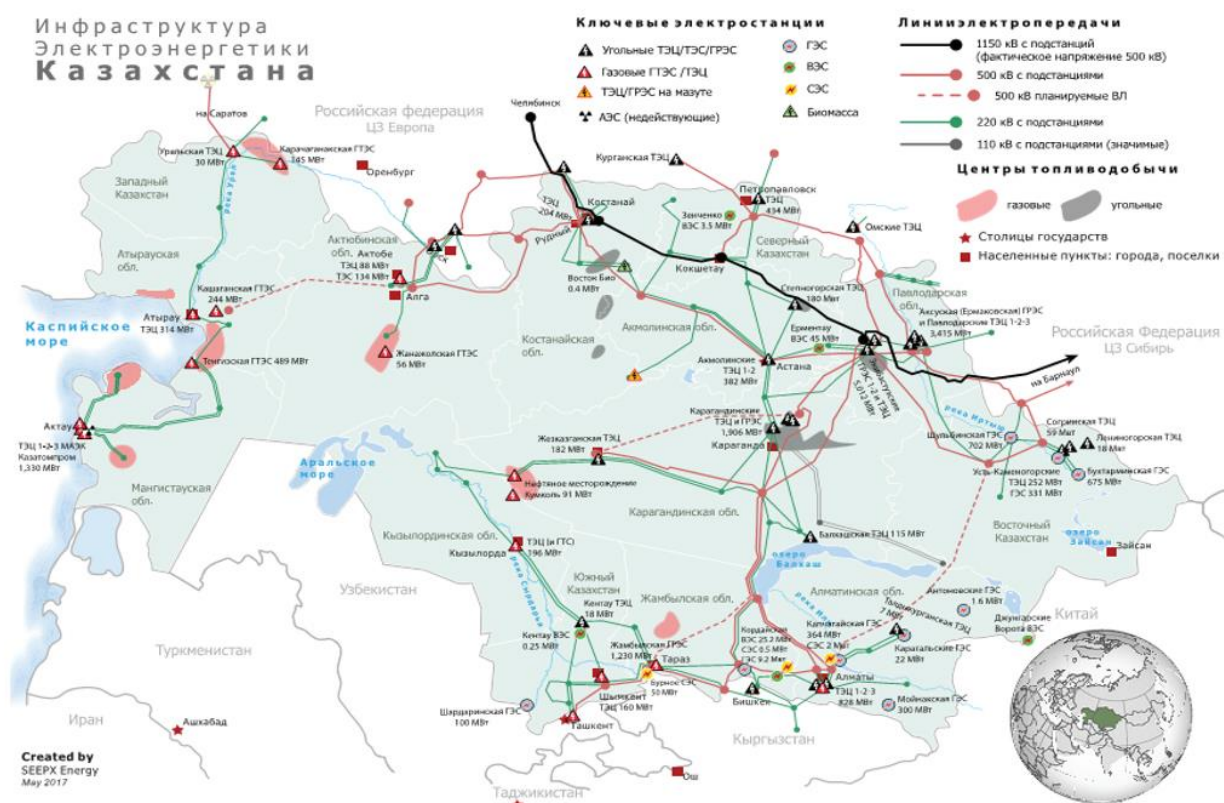
Нәтижесінде, 2002 жылдан бастап Қазақстанның генерациясына және Ұлттық желісіне бірлескен инвестициялар сектордың басқарылуын едәуір арттырды, бұл өндіріске электр энергиясын тұтыну үрдістерін ұстануға және көрші мемлекеттерге экспортқа электр энергиясының аз көлемін жеткізуге мүмкіндік берді.

Үлкен өндірілген капитал салынғанына қарамастан, Қазақстанда бұрынғысынша Елеулі желілік шектеулер бар. Қазақстанның электр энергетикалық секторы 3 аймаққа бөлінеді: Солтүстік, Оңтүстік және Батыс. Әрбір энергия аймағы өндіруші қуаттардың құрылымына, сұраныс/ұсыныс динамикасына, желілік байланыстар мен баланстарға қатысты түбегейлі ерекшеленеді.

Солтүстік және оңтүстік аймақтар арасындағы желілік байланыстар үнемі жаңарып отырады. Олар екі 500кВ және бір 220кВ сызықтармен шектелген. тек батыс аймақ әлі де оқшауланған. Ол Ресеймен бірнеше электр желілерімен байланысты. Қазақстанға өзінің энергетикалық жүйесінің жай-күйін жақсартатырып, оңтайлы, өндіруші қуаттар жетіспейді. Мұның себебі жылу және электр энергиясын өндірудің аралас режимінде жұмыс істейтін төмен қысымды жылу электр станцияларының жоғары үлесі болып табылады [21]. Бұл Қазақстанның энергия жүйесін теңдестіру кезінде көрші мемлекеттердің энергия жүйелерінің маңызды рөлін көрсетеді.

Қазақстанда электр энергиясын алу үшін пайдаланылатын көмірге деген сұраныс жоғары, елдің электр станцияларының шамамен 66%-ы - жылу генерациясының шамамен 75%-ы. Сондықтан ол елдің электр энергетикалық секторы объектілерінің орналасуына байланысты Орта мерзімді және ұзақ мерзімді перспективада жетекші позицияларда қалады. Солтүстік аймақта Қазақстанның көмір генерациясы қуатының 92%-ға жуығы орналасқан, оған елдің электр энергиясын тұтынуының 70%-ы тиесілі. Қазіргі уақытта Қазақстанның осы бөлігінде көмір өндіру саласы кез келген маңызды газ инфрақұрылымынан қатты ерекшеленеді. Көмір электр станцияларында газбен салыстырғанда электр энергиясын өндірудің салыстырмалы түрде төмен бағасы бар. Сондықтан газбен жұмыс істейтін электр станциялары қаржылық қолдаудың ешқандай тетігінсіз бәсекеге қабілетсіз.

Қазақстанның энергетикасының инфрақұрылымы сурет 1.2 көрсетілген.



Сурет 1.2 – Қазақстан электр энергетикасының инфрақұрылымы

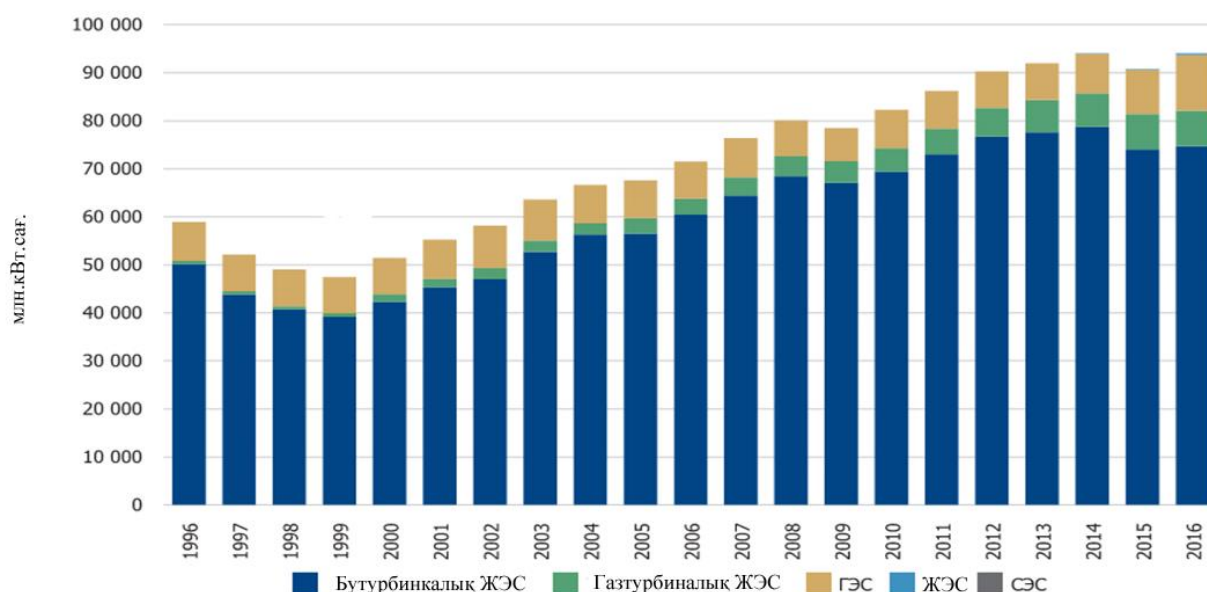
Алайда, әзірлеушілер, электр энергетикасы саласындағы саясаткерлер энергетикалық қауіпсіздіктің негізгі басымдығын бере отырып, энергия жүйесінің тиімділігін арттыруға және электр энергетикасының қоршаған ортаға әсерін төмендетуге ұмтылады [21, б. 113]. Осыған байланысты Қазақстанға қымбат тұратын жаңғырту бағдарламасынан өту қажет. Ол неғұрлым маневрлік генерацияны және көмірді декарбонизациялауды қолдайды. Егер Қазақстан жаңартылатын энергия көздерін біріктіруге қатысты өршіл жоспарларға табысты жетсе немесе асыра орындаса, маневрлік қуаттардың болуы мәселесі одан да

өткір болады [21, б. 113]: 2020 жылға қарай ЖЭК-тен электр энергиясын өндірудің 3%-ынан (жел және күн) 2030 жылға қарай 30%-ға дейін (10% гидро және 9% Атом, 11% күн және жел).

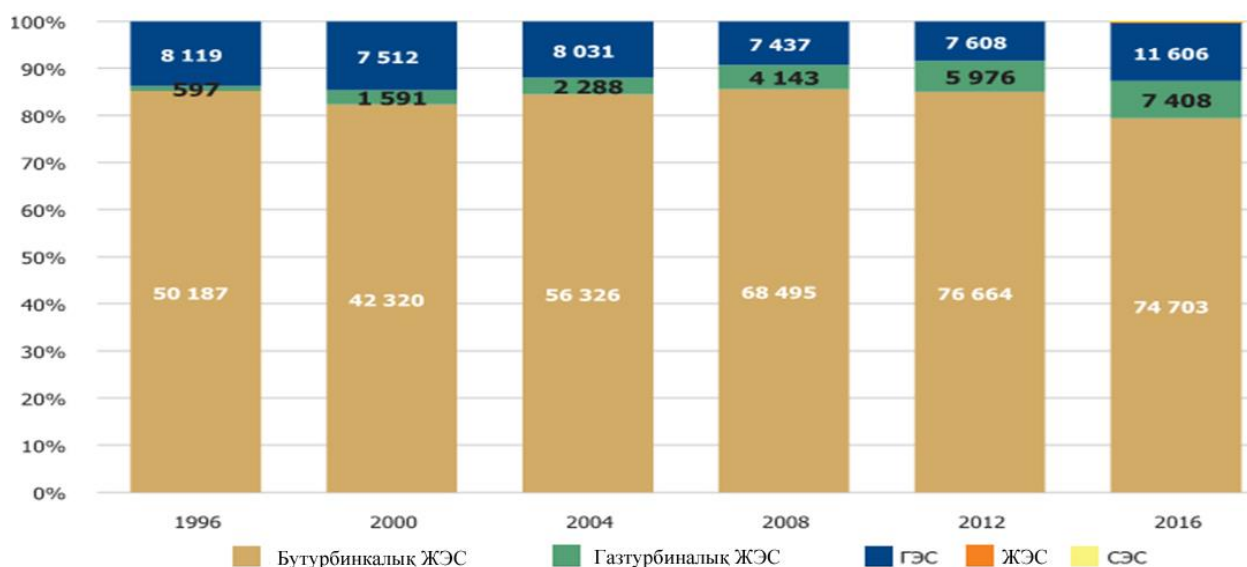
1.1.1 Электр энергиясын өндіру: инвестициялық жобаларды таңдау

Өндіруші қуаттардың жалпы өсуі аясында Қазақстанның электр энергиясын өндірудің негізгі өсімі бу турбиналарын (негізінен көмір турбиналарын) пайдалану есебінен жылына орта есеппен 3,6%-ға, 2000 жылдың басында 32 млрд.кВт/сағ-тан 2016 жылы 75 млрд. кВт/сағ-қа дейін (сурет 1.3 және сурет 1.4) [22] болды.

Ең ірі бес электр станцияға жалпы электр энергиясын өндірудің 40%-ға жуығы, ал 90%-дан астамы көмір электр станцияларына тиесілі (кесте 1.1) [23].



Сурет 1.3 - Электр станцияларының түрлері бойынша Қазақстанда электр энергиясын өндіру



Сурет 1.4 - Электр станциясының түріне байланысты электр энергиясын өндіру, млн.кВт/сағ

Кесте 1.1 - Қазақстандағы ең ірі бес электр энергиясын өндіруші СЭС (ГВт/с)

Атауы	2014	үлесі	2015	Үлесі	2016	үлесі
ЕЭК (ERG, АқсуСЭС)	16401,0	17%	14668,0	16%	13868,9	15%
Екібастұз СЭС-1	14096,2	15%	10728,6	12%	9037,3	10%
Екібастұз СЭС-2	4754,9	5%	3211,0	4%	4976,1	5%
Қазақмыс СЭС-2	4604,5	5%	5130,2	6%	4403,4	5%
Жамбыл СЭС	2520,5	3%	2872,7	3%	2466,0	3%
Барлығы	42377,1	45%	36610,5	40%	34751,7	37%

Қазақстанда электр энергиясын өндірудің көлемі бойынша екінші көзі гидроэнергетика болып табылады, ол 2016 жылы электр энергиясының шамамен 12%-ын құрады. Ол негізгі электр жүктемесін қамтамасыз етеді және ең жоғары сұранысты қанағаттандыру үшін қолданылады. Гидроэлектр станцияларындағы энергия өндірісі су режимімен шектелуі мүмкін, сондықтан әрдайым бола бермейді. Бұл қажет болған жағдайда немесе электр станциясы қолайсыз жерде болған кезде ғана қол жетімді.

Айта кету керек, су электр станцияларында электр энергиясын өндіру 2012 жылдан бастап екі есеге, ал қолжетімді қуат 30%-ға артты. Жаңа, үлкен жобалар үшін мүмкін болатын алаңдардың аз болуына байланысты қосымша су электр станцияларын құру перспективалары шектелуі мүмкін.

Қазақстанның өндіруші қуаттары құрамындағы бу турбиналары мен гидроэнергетика санының өсуіне қарамастан, Газ турбиналарымен электр энергиясын өндіру айтарлықтай ұлғайды: 2000 жылдан бастап өндірістің жылдық өсуі 10,1%-ды құрады, ал электр энергиясын өндіру 2000 жылмен салыстырғанда 2016 жылы 6 млрд.кВт/сағ-қа артық.

Батыс аймақта бу-газ турбиналары өндірісінің ұлғаюы және соңғы онжылдықта газ турбиналары қайта құрылды, электр энергиясына сұранысты теңдестіру мүмкіндігін айтарлықтай өзгертті. 1996 жылы газ турбиналары Батыс аймақтағы электр энергиясын өндірудің бар-жоғы 10%-ын құрады, ал 2016 жылы газ турбиналары өндірген электр энергиясының үлесі 37%-ға дейін өсті [22, б. 30].

Сонымен қатар, бұл аймақта көмір электр станциялары жоқ. Осыған байланысты, газтурбиналық технология Қазақстанның өндіруші қуаттарының құрылымында маңызды рөл атқаруға дайын.

Қазақстанда бірлескен циклді газ турбиналарынан электр энергиясын және электр энергиясын өндіруді ұлғайту пайдасына сұраныстың күрт өзгеруін қанағаттандыру үшін қуаттардың жетіспеушілігі байқалады. Бірқатар себептер бар, соның ішінде толыққанды, теңдестірілген нарықтың және жүйелік қызметтер нарығының болмауы. Бірақ басты проблема Қазақстанда ЖЭС ретінде белгілі жылу және электр энергиясын өндіретін жылу электр станцияларының жоғары үлесінде болып отыр. Жылу электр станциясы үшін нақты құрылымдық шектеулер электр энергиясын өндіру толығымен жылу жағдайларына байланысты, атап айтқанда жылыту кезеңінде, олардың электр қуаты көрінгеннен аз болады.

Қазақстан көп жағдайда өз өндірісінің көміріне бағдарланады. Ол әдетте елдегі электр энергиясының 66%-ын өндіру үшін электр станциясының жанында өндіріледі. Газ көрсеткіштері бойынша одан асып түсетініне қарамастан, оның үлесі төмендейді, бірақ газды тұтыну көлемінің ұлғаюын ескеру қажет, бірінші кезекте бұл қолдану технологияларымен оқшауланған. Осының арқасында электр энергиясын өндірудегі газдың үлесі 2016 жылы 15,6%-ға дейін, 1996 жылғы 8,8%-бен салыстырғанда өсті.

Бірақ, көмір электр энергиясын өндіру үшін басты отын болып қала береді, өйткені Қазақстанның газ инфрақұрылымы дамуы жағынан шектеулі. Энергетиктердің алдын ала болжамы бойынша Қазақстанда электр энергиясын өндіру үшін газды тұтыну үлесі тұрақты өсетін болады. Осылайша, жылу станцияларын көмірден газға көшіру арқылы Алматы сияқты Қазақстан мегаполисінің экологиялық жағдайын жақсарту нұсқалары ұсынылады.

Соңғы уақытта газ құбыры инфрақұрылымын дамытудың жақсаруы байқалады, бұл газды елдің батыс аудандарынан оңтүстік және шығыс аудандарына тасымалдауға мүмкіндік береді, осылайша елдің энергетикалық қауіпсіздігі мәселесін, яғни елдің оңтүстік мегаполистерін, газ көлемін шешуге және көрші мемлекеттерден газға тәуелділікті едәуір азайтуға мүмкіндік береді.

Сонымен қатар, Қараөзектен газ құбырын кеңейту бойынша жобалар бар. Соның бірі – Қызылорда маңындағы Нұр-Сұлтанға дейін, Қарағанды арқылы өтетін Бейнеу-Бозой-Шымкент құбыры. Болашақта Қостанайдан Нұр-сұлтанға дейін, Көкшетау арқылы құбыр жүргізу жоспарланған. Егер бұл жобалар іске асырылса, онда газ электр энергиясын өндіруде маңызды рөл атқарады.

Газды пайдалану кезіндегі кемшіліктерге оның көмір бағасымен салыстырғанда салыстырмалы түрде жоғары бағасы жатады. Үкімет тарапынан

субсидияның көмегімен көмір орнына газды пайдалануға электр энергиясын өндірушілерді тарту жолдарын іздеу қоршаған ортаға шығарындылардың азаюына серпін береді. Алайда, мұндай қадам Қазақстанның электр энергиясын тұтынушылары үшін қымбат.

1.2 Қазақстандағы баламалы энергетиканың қазіргі жағдайын талдау

1.2.1 Жаңартылатын энергия көздері және Қазақстан үшін жанғырылатын энергия көздерін салыстырмалы талдау

Күн энергиясын жылу және электр энергиясын алу үшін пайдалануға болады. Күн қыздырылған салқындатқыш көмірсутектердің жануынан электр энергиясын алудың әдеттегі схемасына сәйкес қолданылатын аралас қондырғылар бар. Қазіргі уақытта күндізгі уақытта үй-жайларды жарықтандыру үшін жарық энергиясы қолданылады.

Фотоэлементтердегі Жарық фотондарының энергиясын электрондар ағынына түрлендіру фотовольтаикалық әсерге негізделген. Бұл әсер күн сәулесінің әсерінен гетерогенді жартылай өткізгіш құрылымдарда пайда болады. Фотоэлектрлік қондырғылардың негізгі элементі-жартылай өткізгіш кристалды заттардың немесе басқа материалдардың комбинациясы, оның ішінде пленкалы полимерлер. Бір фотоэлектрлік модульдің ауданы әдетте кішкентай, өйткені электр қондырғыларында модульдер немесе панельдер біріктіріледі. Фотовольтикада жиі қолданылатын материал-монокристалды немесе поликристалды кремний. Монокристалды кремнийдің тиімділігі 19%-21%, ал поликристалды кремнийдің тиімділігі 12%-15% құрайды.

Фотоэлектрлік қондырғылардың негізгі артықшылықтары:

- айтарлықтай сенімділік және пайдалану ұзақтығы;
- зауыт дайындығының айтарлықтай деңгейі;
- олардың модульділігі;
- лёгкость при обслуживании и монтаже;
- пайдалану кезінде қоршаған ортаға және зиянды ластауыш факторлардың болмауы [24] және халықтың денсаулығы.

Жұмыстың кемшіліктері күннің уақыты мен ауа-райына байланысты, сондай-ақ түрлендіруді қажет ететін стандартты емес электр тогын жасау.

Кремний модульдерін өндірудің кемшілігі - процесстердің жоғары энергия сыйымдылығы және қоршаған ортаға тиісті әсері бар. Барлық жұмыс уақытында, кейбір сарапшылардың бағалауы бойынша, фотоэлектрлік батарея оны өндіруге жұмсалғаннан 25% көп энергия өндіреді.

Фотоэлектрлік қондырғылардың нақты құны 1974 жылы 30000 \$/кВт-тан 2000 жылы 3500 \$/кВт-қа дейін және қазіргі уақытта 1500 \$/кВт-қа дейін өзгерді. Мәселен, Нұр-Сұлтандағы «Солар» зауытындағы 200 Вт панельдің бағасы 110 мың теңгені құрайды.

Күн электр станцияларының негізгі артықшылықтары-оның қол жетімділігі және күн көзінің шексіздігі, сонымен қатар қоршаған орта үшін абсолютті қауіпсіздігі. Бірақ күн энергиясын барлық жерде енгізу жердің

альбедосын өзгертіп, климаттың өзгеруіне себеп болуы мүмкін. Альбе́до - шағылысу және шашырау қабілетінің сипаттамасы. Бірақ энергияны тұтынудың қазіргі деңгейінде бұл мүмкін емес.

Күн электр станцияларының кемшіліктері:

- ауа-райы жағдайлары мен тәулік уақытына тәуелділік, соның салдарынан энергияны сақтау қажеттілігі;

- теллур және индий сияқты сирек кездесетін элементтерді қолданумен байланысты құрылғының үлкен бағасы;

- өнеркәсіптік көлемде өндіріс кезінде сол қуатты маневрлік электр станцияларымен күн электр станцияларын қайталау қажеттілігі туындайды;

- шағылысатын бетті шаңнан үнемі тазарту қажеттілігі;

- электр станциясының үстіндегі ауаны жылыту [25].

Күн электр станциясы-бұл үйге ұзақ мерзімді инвестициялар, олардың пайдасы жақында ғана артып келеді. Бұл күн сәулесі болған кезде үнемі жұмыс істейтін электр энергиясын өндірудің ең үнсіз әдісі.

Бүгінгі таңда күн энергиясы басқа энергия көздерінің қол жетімсіздігі, күн сәулесінің көптігімен бірге оны экономикалық тұрғыдан ақтайтын жағдайларда кеңінен қолданылады [26].

Жел энергиясы жер бетіне қатысты қозғалатын ауа ағынына негізделген. Үлкен аудандардың үстінде желдер атмосфераның жалпы және жергілікті айналымын құрайтын кең ауа ағындарын құрайды.

Жел генераторы - бұл жел электр қондырғысы немесе қысқаша ЖЭС. Бұл желдің кинетикалық энергиясын электр энергиясына түрлендіруге арналған құрылғы.

Енді ең тиімді қондырғылар-көлденең айналу осі бар ЖЭС. Олар тірек мұнарасынан, жел доңғалағынан және генератор қондырғысынан тұрады. Жұмыс істеп тұрған станцияларда мұндай ЖЭС-тің қуаты 5МВт-қа, ал эксперименттік станцияларда 10МВт-қа дейін жетеді [27].

Тік айналу осі бар жел доңғалағының орнына торлы корпуста жасырылған арнайы пішінді қалақшалармен жабдықталған. Бұл қондырғылардың қуаты 10 кВт-тан аспайды және олар жеке құрылыста және қосалқы шаруашылықтарда қолдануға ыңғайлы.

Күн фотоэлектрлік қондырғыларынан айырмашылығы, ЖЭУ-де стандартты кернеулері бар айнымалы ток алынады: 12V, 24V, 220V, 380V. Сондықтан оны түрлендіру әлдеқайда аз және пайдалану әдістеріне байланысты.

Барлық дерлік ЖЭС қуат қайтарымының жел жылдамдығына тәуелділігімен сипатталады және желдің минималды және максималды жылдамдығы мәнімен шектеледі. Сондықтан жел электр станциясының құрылысын жоспарлау кезінде желдің орташа жылдық бағыттары мен жылдамдығы зерттелуі керек, олардан кез-келген жел жағдайында қуат пен мүмкін болатын қуат ағынын есептеу керек.

Қуатты өндіру желдің жылдамдығы шамамен 2,5 м/с-5 м/с болғанда басталады, ал номиналды қуатқа 10 м/с-16 м/с жылдамдықта қол жеткізіледі, жел

қондырғыларының алдын-ала есептеулері оларды 50 кВт-тан 20000 кВт-қа дейін пайдалануды қарастырады.

Қуаты 2000 кВт қондырғыда қанаттар қозғалатын сақинаның диаметрі шамамен 80 метрді құрайды. Қуатты желқозғалтқышының өлшемдері өте үлкен болады, бірақ сол қуатты бірнеше кішірек желқозғалтқыштарымен шығаруға болады. Кез-келген электр генераторы жеке түрлендіргішпен жабдықталған, сондықтан генераторлар шығаратын шығыс қуатын қорытындылауға болады. Бұл жел қондырғысының сенімділігі мен өміршеңдігін арттырады [28].

Жаппай өндіріске қарамастан, жаңа жел электр станциясын салу құны өте жоғары. Оның бағасы 1,5 мың доллардан 2 мың долларға дейін. ЖЭС пайдалану және қызмет көрсету шығындары минималды, ал қызмет мерзімі 25 жылдан асады.

Экономикалық және экологиялық пайда толығымен дұрыс орналасуға байланысты. Техникалық, экологиялық және қаржылық аспектілерге егжей-тегжейлі және жан-жақты талдау жүргізу қажет [29].

Жел энергетикасы барлық нормаларға сәйкес келеді. Олар оны энергия өндірудің экологиялық таза түрлеріне жатқызу үшін қажет Жел энергетикасының негізгі артықшылықтары:

- Жылдам орнату, қарапайым техникалық қызмет көрсету, техникалық қызмет көрсету мен пайдаланудың төмен құны.

- Қоршаған ортаның ластануының болмауы. Энергия өндірісі атмосфераға зиянды заттардың шығарылуына немесе қалдықтардың пайда болуына әкелмейді.

- Жақын аумақтарын ауылшаруашылық мақсаттары үшін пайдалануға болады.

- Жаңартылатын және таусылмайтын энергия көзін пайдалану жанармайды және оны өндіру мен тасымалдау процесінде үнемдеуге мүмкіндік береді.

- Шығындар мен өсу әдеттегі энергия көздерімен салыстырғанда экономикалық бәсекеге қабілеттілік үшін алынған энергия бірлігіне тұрақты.

- Энергияны беру кезінде шығындар аз болады. Мысалы, жел электр станциясы тікелей тұтынушыда да, дәстүрлі энергетика жағдайында желіге арнайы қосылуды қажет ететін шалғай жерлерде де салынуы мүмкін.

Жел энергетикасының қарсыластары бұл саланың кемшіліктерін үнемі іздейді. Энергияның осы түрін дамытуға кедергілер оның дамуын мүмкін етпейтін кемшіліктерге әкеледі. Дәстүрлі энергия көздерінің зиянымен салыстырғанда, бұл кемшіліктер маңызды емес.

Оларға:

- ландшафттағы өзгерістер;

- Шуды соңғы диагностикалық жабдықтың көмегімен жасалған зерттеулері жел турбиналарының теріс әсерін растамайды; жұмыс станциясынан 30м-40м қашықтықта Шу тіршілік ету ортасының деңгейіне жетеді;

- құстарға қауіп – соңғы зерттеулерге сәйкес, жел қондырғыларының құстармен соқтығысу ықтималдығы құстың дәстүрлі энергияның жоғары

вольтты желілерімен соқтығысуынан артық емес;

- жаңа әзірлемелер мен технологиялармен байланысты төмендету тенденциясын қамтитын үлкен инвестициялық шығындар; сондай-ақ жел энергиясының құны үнемі төмендейді;

- теледидар сигналын қабылдауды бұрмалау мүмкіндігі шамалы;

- уақыт өте келе қуаттың өзгеруі, өйткені электр энергиясын өндіру желдің күшіне байланысты; адам оған әсер ете алмайды [29, б. 17-18].

Жел электр станциялары автономды жүйелер бола алады немесе қолданыстағы электр станцияларының желісімен жұмыс істей алады. Сондай-ақ, «жел фермалары» салынуда-бүкіл жүйеге ортақ техниканың саны аз энергоблоктар. Қазіргі уақытта жел энергиясының ең көп мөлшері АҚШ-та, ал Еуропада-Дания, Германия, Ұлыбритания және Нидерландыда өндіріледі [30]. Бүкіл әлем бойынша 20 мыңнан астам жел электр станциялары бар.

Гидроэнергетика-бұл ағынды судың гидравликалық энергиясын немесе қозғалатын судың басқа әдісін қолдану.

Дәстүрлі су электр станциялары тіреуіш бөгеттер салу және оларға гидроагрегаттар орнату арқылы салынады.

Су электр станцияларының артықшылықтары:

- еңбек шығындары және қызмет көрсетудің, электр энергиясын өндірудің барлық шығындары жылу электр станцияларына қарағанда әлдеқайда аз. ЖЭС шығындары 10 есе көп. ГЭС-ның электр энергиясының бағасы ЖЭС-ке қарағанда айтарлықтай төмен;

- пайдалы әсер коэффициенті жоғары (85%-87% - қондырғының ПӘК-І ЖӘНЕ 91-94% - гидроагрегаттың ПӘК-І);

- ГЭС су қоймалары мен гидротехникалық құрылыстары ирригация, су тасқынынан қорғау, кеме қатынасы, рекреация және т. б. үшін пайдаланылады.

Саян-Шушенск су электр станциясында Гидрогенераторлардың бірлі-жарым қуаты Итайпуда 640 МВт және 750 МВт-қа жетеді. Гидроагрегаттарды еркін тоқтатуға және жұмысқа қосуға болады, өйткені олар жоғары маневрлік. Гидроагрегат 1-5 минут ішінде іске қосылады. Осының арқасында гидроэлектростанциялар ең жоғары жүктемелерді жабу үшін қолданылады. Басқа елдерде ең жоғары энергия бағасы базалық энергия бағасынан бірнеше есе жоғары. Бұл үшін ең қолайлы гидроаккумуляциялық электр станциялары (ГАЭС) болып табылады.

Су электр станциясының техникалық-экономикалық көрсеткіштерін айқындайтын басты элементтер:

- бөгеттің биіктігі - жоғарғы және төменгі бьефтердегі су деңгейінің төмендеуі;

- турбина арқылы өтетін су көлемі;

- белгіленген қуатты пайдалану сағаттарының саны және алаңның сипаттамасы - құрылыстың тау-кен геологиялық және географиялық жағдайлары.

Су электр станцияларының тиімділігі қанықтыру сатысына жетті. Болашақта оларды жақсарту мүмкін емес. ГЭС-ке инвестициялауға қатысты, олар қымбат алаңдардың игерілуіне байланысты олар үнемі өсіп отырады деп болжануда. Салынған су электр станциялары жабдықтарының қызмет ету мерзімі 30 жыл, ал жаңаларының 50 жыл [24, б. 3-18].

Қазіргі уақытта тірек бөгеттерін салмай шағын су электр станцияларына үлкен көңіл бөлінуде.

Соғысқа дейінгі және одан кейінгі кезеңде Қазақстанда шағын су электр станцияларының қарқынды құрылысы жүргізілді. Алпысыншы жылдары шағын гидроэнергетика әділетсіз ұмытылды. Энергетиканы дамыту үлкен электр станцияларын салуға және электр энергиясының көптеген тұтынушыларын электрмен жабдықтауға қайта бөлінді, олар: ауылдық елді мекендер, жалпы пайдаланудағы электр беру желілері желісінен [24, б. 13]. Ауылдардағы электр энергиясын тұтынушылар үшін жеңілдетілген тариф қабылданды, соның арқасында шағын су электр станциялары экономикалық тиімсіз нысандарға айналды.

Қазір Қазақстанның шағын өзендерінің су энергетикасына салынған қаражат 96 млрд. кВт/сағ, ал шағын су электр станцияларының бірлі-жарым қуаты 30 МВт-қа дейін құрайды. Мұндай гидроэлектростанциялар, экономикалық тұрғыдан алғанда, пайдаланудың пайдасы. Олар үшін инвестиция салу мүмкіндігі 10 млрд.кВт/сағ құрайды, мұндай әлеуеттің 90%-ы Шығыс Қазақстан, Алматы, Оңтүстік Қазақстан және Жамбыл облыстарына тиесілі. 1.2 кестеде аталған облыстардың өзендері бойынша перспективалы шағын ГЭС-тің негізгі энергетикалық көрсеткіштері көрсетілген [24, б. 6]. Шағын ГЭС үшін қуаттылығы 1 КВт меншікті капитал салымдары 1300\$-2000\$ құрайды, бұл оларды өндірудің коммерциялық рентабельділігін қамтамасыз етеді.

Кесте 1.2 - Шағын ГЭС энергетикалық көрсеткіштері

Облыс	Станциялар саны, Дана	Жалпы белгіленген қуат, МВт	Эл/эн орташа жылдық өндірісі, млн. кВт/сағ
Шығыс- Қазақстан	68	349,3	1746,5
Алматы	-	1762,3	8694,3
Түркістан	112	420,9	1830,7
Жамбыл	77	174,6	710,9

Толқындық, толқындық және басқа да теңіз станциялары бұл жұмыста қарастырылмайды, өйткені олар Қазақстанда өзекті емес.

Геотермалдық энергетика-бұл жер қойнауындағы энергия есебінен электр энергиясы мен жылу энергиясын өндіру. Әдетте бұл энергия ресурстарымен жаңартылатын балама энергия көздеріне жатады.

Жердің жылуы өте «шашыраңқы». Әлемнің көптеген елдерінде энергияның аз бөлігі ғана тиімді қолданылады.

Қазақстанды қоса алғанда, түрлі мемлекеттердің алған тәжірибесі негізінен геотермалдық энергетиканың базасын құрайтын табиғи парк пен термалды суларды пайдалануда іске асырылуда. Болашақта оның дамуы петрогеотермалдық ресурстарды, яғни ыстық тау жыныстарының жылу энергиясын игеруге негізделетін болады [26, б. 1]. Бұл жыныстардың температурасы 3 км-5 км тереңдікте 100°C-тан асады [31].

Геотермалдық энергияны өндіру және тарату үшін Жоғары температуралы геотермалдық энергетикалық және жылу станциялары, сондай-ақ төмен температуралы жылу сорғылары қолданылады.

Жылу сорғысына ерекше назар аударылады. Олар Қазақстан үшін әкімшілік және өнеркәсіптік құрылыстарда, сондай-ақ жеке меншік үй шаруашылықтарында пайдалану үшін өзекті. Төмен потенциалды геотермалдық ресурстарды пайдалануға болады:

- жылуды және салқындатуды қамтамасыз ету үшін – кондиционерлеу;
- барлық үлгідегі ғимараттарды ыстық сумен жабдықтау үшін;
- технологиялық процестерді энергиямен жабдықтау үшін.

Бұл ресурстардың технологиясы энергияны алу жүйелерін енгізуден, оны өңдеуден және жылу тасымалдағышты тұтынушыға жеткізуден тұрады [26, б. 4]. Мұндай жүйелердің негізгі компоненті геотермалдық жылу сорғылары болып табылады.

Геотермалдық жылу сорғылары-кері термодинамикалық циклді жүзеге асыратын құрылғылар. Осының арқасында төмен потенциалдық энергия жоғары деңгейге өтеді [26, б. 1]. Геотермалдық жылудан басқа, жылу сорғыларының энергия көзі ағынды сулар мен айналмалы сулардың жылуы болуы мүмкін [32]. Мұндай өндірілетін жылу қайталама энергияға қызмет көрсету мәселесін шешеді.

Қазір хладондарда жұмыс істейтін бу компрессиялық, геотермалдық жылу сорғылары және сіңіргіш геотермалдық жылу сорғылары қолданылады (АЖС). Олардың жұмыс істейтін заттары-бұл су және бромды литийдің сулы ерітіндісі. Бірақ дизайнның тиімділігі мен күрделілігіне байланысты АЖС таралмады.

АЖС-те өндірілетін энергияның артықшылықтары:

- бұл жаңартылатын және іс жүзінде таусылмайтын;
- ол күннің, ауа-райының, маусымның уақытына тәуелсіз;
- ол әмбебап, оның көмегімен қамтамасыз етіледі су және жылумен жабдықтау, сондай-ақ электр;
- геотермалдық энергия көздері қоршаған ортаны ластамайды және парниктік әсер тудырмайды;
- станциялар көп орын алмайды.

Сондай-ақ, АТС-тің кемшіліктері:

- құрамында күкірт сутегі, радон және басқа да зиянды қоспалар болуы мүмкін бу шығарындыларына байланысты геотермалдық энергия зиянсыз болып саналмайды;

– суды терең горизонттардан қолданған кезде, оны қолданғаннан кейін қайта өңдеу қажет-химиялық құрамына байланысты мұндай суды терең қабаттарға немесе мұхитқа ағызу керек;

– станцияның құрылысы салыстырмалы түрде қымбат – бұл энергияның құны да қымбат болады [33].

Геотермалдық энергетика барлық жерде қолданылмайды және белгілі бір учаскелерге байланысты, көбінесе елді мекендерден алыс, сондай-ақ айтарлықтай күрделі шығындарды талап етеді. Геотермалдық энергетиканы дамыту үшін инвестициялар мен мемлекеттік қолдау қажет. Геотермалдық энергетиканы елдің энергия теңгеріміне енгізу дәстүрлі көздермен салыстырғанда энергетикалық қауіпсіздікті ұлғайтуға және қоршаған ортаның экологиясына зиянды әсерді азайтуға мүмкіндік береді [26, б. 5].

Бүгінгі таңда геотермалдық ресурстар бау-бақша, ауыл шаруашылығы, аквамәдениетте, термомәдениетте, өнеркәсіп және тұрғын үй-коммуналдық шаруашылық саласында қолданылады. Көптеген елдерде халықты электр энергиясымен қамтамасыз ететін ірі кешендер салынды. Жаңа жүйелер әзірленуде.

Георесурстарды пайдалануда көшбасшы АҚШ болып табылады. 2012 жылы бұл елде энергия өндірісі сағатына 16,792 миллион мВт-қа жетті. Сонымен қатар, Америкадағы барлық геотермалдық станциялардың жалпы қуаты 3386 МВт-қа жетті. АҚШ-тан басқа, 2013 жылғы алғашқы ондықта келесі елдер орналасқан: Филиппин, Италия, Индонезия, Жаңа Зеландия, Исландия, Мексика, Жапония, Түркия және Кения. Бұл ретте Исландияда геотермалдық энергия көздері елдің барлық қажеттілігінің 30%-ын, Филиппинде – 27%-ын, ал АҚШ-та - 1%-дан азын қамтамасыз етеді [34].

1.2.2 Қазақстандағы ЖЭК жобаларына экономикалық көзқарас

Қазақстан Үкіметі үнемі жағғырылатын энергия көздерін дамытып келеді. «Қазақстан Республикасының 2020 жылға дейінгі Стратегиялық даму жоспары», «Жасыл экономика тұжырымдамасы» және «Қазақстан-2050 Стратегиясы» бар [22, б. 35].

Жаңартылатын энергия көздерін дамытуды ынталандыру үшін Қазақстан басқа елдер сияқты ЖЭК-ке көмек көрсетудің ерекше, жақсы жағдайлары мен саясатын жасады. Қазақстанда 2014 жылға қарай ЖЭК-те электр энергиясының 1%-ын өндіру жоспарланған болатын, бірақ 2017 жылы ЖЭК-те электр энергиясының тек 0,8%-ы ғана өндірілді.

ЖЭК жобаларының дамуын бәсеңдететін негізгі факторлар мыналар болды:

– жобаларды техникалық мақұлдаудың ұзақ процессі - 12 айдан 18 айға дейін;

– ЖЭК жобаларына шектеулі квоталар - қабылданған ЖЭК жобаларының тізбесі 2020 жылға арналған нысаналы көрсеткіштерден асып түсті, сондықтан қабылданған жобалар жүзеге аспады, ал жаңа жобалар тізімге енгізілмеді;

– теріс қаржылық жағдайлар - 2014 жылы және 2015 жылы теңгенің

күнсыздануы.

ЖЭК жобалары үшін белгіленген тарифтер дәстүрлі электр станцияларының тарифтерінен 10 есе жоғары болуы мүмкін, гидроэлектростанциялар, жаңартылатын жобалар экономикасы сәтсіздікке ұшырады, өйткені ол толығымен инвестиция мен жабдықтың импортына байланысты (кесте 1.3).

Кесте 1.3 – ЖЭК үшін жеткізу тарифтері (2014 жыл)

ЖЭК	Тариф (теңге/кВт. сағ, НДС-сіз)
ЖЭС	22,68
СЭС	34,61
СЭС (35 МВт-қа дейін)	16,71
Биогаз	32,23

2016 жылғы сәуірде ағымдағы «ЖЭК қолдау туралы» заңға түзету қабылданды. Ол белгіленген тарифтерді индекстеуге толық рұқсат береді, бағамдық айырмашылыққа сүйене отырып. Бұл іс-шаралар ЖЭК негізінде станциялардың құрылысын жеделдетуге ықпал етуі мүмкін, ЖЭК 2030 жылға қарай жоспарланған көлемде ағымдағы инфрақұрылымға және нарықтың қолда бар тетіктері шеңберінде интеграциялануы, теңгерімдеуші нарық және жүйелік қызметтер нарығы, қуат механизмі. Бірақ, мүмкін, оны жүзеге асыру қиын болады.

Озық энергетикалық нарықтарда қазіргі заманғы технологияларды қатаң реттеу және терең дамыту кезінде энергия жүйесіндегі жаңартылатын өндірістің шамамен 15%-ы осындай міндетті шешуге мүмкіндік береді. Алайда, ЖЭК өндірудің тұрақсыздығының жоғары деңгейін ескере отырып, кейбір жүйелік операторлар үшін міндет әлі де күрделі болып қалуда [22, б. 31]. Жалпы ережелер мен ережелер әлі толық игерілмеген, ал өндіруші активтер мен желілік инфрақұрылым бұрынғысынша айтарлықтай технологиялық жаңартуды қажет ететін Қазақстанның энергетикалық секторы үшін жаңартылатын энергия көздері өндірісінің көлемін ұлғайту экономика саласындағы технологиялық сипаттағы қиындықтарға алып келеді.

Қалпына келтірілетін энергия көздерін пайдалануды қолдау» туралы заң, Қазақстанда ЖЭК келесіден тұрады [35]:

- күн және жел энергиясы - қуаты 35 МВт дейінгі шағын су электр станциялары;
- геотермалдық станциялар;
- биологиялық отынмен жұмыс істейтін станциялар.

Электр энергиясын сатып алу шартының қолданылу мерзімі - 15 жыл. ЖЭК өндірушілерге электр энергиясын белгіленген тарифтер бойынша РФО арқылы немесе екі жақты шарттар арқылы орталықтандырылған түрде сатуға рұқсат

етіледі. Баға Тараптар арасында келісіледі және РФО арқылы электр энергиясын сатуға өтуі тиіс.

РФО ЖЭК өндіретін электр энергиясын «шартты» тұтынушыларға сатады:

- отынмен жұмыс істейтін дәстүрлі электр станциялары (газ, көмір, мұнай өнімдері, ядролық отын және күкірті бар шикізат);
- нарыққа қатысушылар, электр энергиясын экспорттаушылар;
- 2016 жылғы 1 қаңтарға дейін іске қосылған, қуаты 35 МВт-тан астам су электр станциялары.

Егер ЖЭК жылу энергиясының көзі болып табылса, онда жылу энергиясын сатып алу туралы келісімге ЖЭК жобасының өтелу мерзіміне қол қойылады.

Жаңа және жаңғыртылған ЖЭК электр және жылу желілеріне қол жеткізуге жеңілдікті құқық беріледі.

Сондықтан жобаны жасаушылар ЖЭК объектісінен желіге ең жақын қосылу орнына дейін желі салу бойынша барлық шығыстарды төлеуі тиіс [22, б. 28].

1.2.3 Жаңғырылатын энергия көздері өндіретін электр энергиясына баға белгілеу

«Электр энергетикасы туралы» заңда және «Жаңартылатын энергия көздерін пайдалануды қолдау туралы» заңда көрсетілгендей, қаржы-есеп айырысу орталығы ЖЭК өндіретін барлық электр энергиясын белгіленген тарифтер бойынша сатып алады [22, б. 26]. РФО жаңартылатын энергияның бірыңғай сатып алушысы ретінде жаңартылатын энергия көздеріне бағаны біркелкі немесе неғұрлым қарапайым тәсілмен бөлуге тиіс. ЖЭК өндіретін электр энергиясын сатып алушылар энергиямен жабдықтаушы компаниялар емес, дәстүрлі электр энергиясын өндірушілер болуы мүмкін. Бұл компаниялар ЖЭК электр энергиясын олардың желіге жіберілуіне қарай сатып алады. Бұл төлем схемасы ерекше Қазақстан үшін. ЖЭК қолдаудың нарықтан тыс тетіктері қаржылық, диспетчерлік және пайдалану жеңілдіктерін ұсынады.

Барлық осы жеңілдіктердің үйлесімі ЖЭК инвесторлары үшін жоғары тұрақтылық тудырды, мысалы:

- РФО мен девелопер арасындағы электр энергиясын сатып алу-сату шарты ЖЭК объектісін пайдалануға іске қосудан 3 жыл бұрын жасалады [22, б. 26].

- ЖЭК нақты жобалары ЖЭК пайдаланатын энергия өндіретін ұйымдардың тізбесіне енгізіледі.

- Тарифтер ЖЭК-тің әрбір түрі үшін 15 жылға белгіленеді және жыл сайын инфляция деңгейінде индекстеуді және теңгенің айырбас бағамының өзгеруін ескеруді талап етеді [22, б. 27]. ЖЭК-ке қатысты тарифтер қарапайым электр энергиясын өндірушілерге қарағанда 3-10 есе жоғары белгіленген.

- ЖЭК тарату желісіне тегін қосылуға рұқсат етіледі және олар электр энергиясын беру тарифінен және қолда бар желілерді жаңғырту үшін төлемдерден құтылды. Нәтижесінде, олар ЖЭК қосу үшін қажет болуы мүмкін.

- ЖЭК меншік иелері салықтық жеңілдіктер мен гранттар, сондай-ақ

жабдықтарды монтаждауға байланысты нақты шығындардың 30% мөлшерінде инвестициялық субсидиялар алады. Салықтық жеңілдіктер дегеніміз- корпоративті салық, мүлік салығы, жер салығы.

– ЖЭК иелері жерді, құрылыстарды, жабдықтарды және көлікті тегін пайдалануға қатысты кедендік баждардан және мемлекеттік гранттарды сатып алудан босатылады.

Электр энергиясын өндіретін кәсіпорындар жаңартылатын энергия көздерінен электр энергиясының бағасына байланысты шығындарды төлейді. Шығындар меншікті электр энергиясын өндіру бағасына кіреді. Демек, жаңартылатын энергия бағасы дәстүрлі электр станцияларының шекті тарифін есептеу кезінде анықталады.

Электр станциялары жел энергиясы көздеріне электр энергиясын төлеу міндеттемесі үшін жауап береді.

ЖЭК тарифін дәстүрлі генерация тарифіне енгізу моделі электр энергиясының көтерме құнын бұрмалайды және электр энергиясын өндірудің нақты құнын бағалауға мүмкіндік бермейді.

Қолда бар желілерді жаңғыртуға байланысты ЖЭК осы желілерді қосуға қандай да бір шығындардан босатылатын болады. Мұндай шығыстарға түпкілікті тұтынушыларға ауысатын тарифтер кіреді.

Жел энергиясының көздері жылу желілеріне қосылғаны үшін ақы төлеуден босатылады, ал жылу энергиясы орталықтандырылған жылумен жабдықтау жүйесіне түседі. Энергиямен қамтамасыз етумен айналысатын ұйымдар түпкілікті тұтынушылардың бағаларына ЖЭК жылу энергиясын сатып алу шығыстары мен құнын қосады.

Электр энергиясын беру беруші ұйымдардың қызметтеріне ақы төлеуден босатылады. Бұл таратушы ұйымдардың шығындары, соның ішінде ЖЭК электр энергиясын беру шығындары барлық тұтынушылар арасында бөлінетіндігін білдіреді.

1.2.4 Электр энергиясының көтерме сауда нарығы құрылымындағы жаңартылатын энергия көздері

Қазақстанда 2030 жылға қарай Үкімет 7,5 трлн. теңге немесе шамамен 51 млрд, АҚШ доллары (2014 жылғы баға бойынша) электр энергетикасына жеке инвестициялар тартады [22, б. 27]. Бұл көрсеткішке Қазақстан инвестицияны тарту және қайтару шартымен қол жеткізуі қажет. Осы мақсатқа жету үшін Үкімет қуат нарығын ашуды қарастыруда.

Қуаттың жекелеген тетігін іске қосудың артықшылықтарына инвесторлар мен тұтынушылар үшін тариф белгілеудің ұзақ мерзімді сигналдарын қалыптастыруды, сондай-ақ электр энергетикасының жартылай ырықтандырылған секторларында қаражаттың жетіспеушілігі проблемасын шешуді жатқызуға болады. Бұл секторларда электр энергиясын сатудан түскен кірістер толығымен өтелмейді, оны өндіруге байланысты шығындарды ғана жабады. Қуат ақысын қосу шығындардың бір бөлігін төлеуге көмектеседі.

Сондай-ақ жаңғыртуды жақсарту және жаңа, генерациялайтын активтерді өндіру үшін жағдайлар жасау қажет.

Қуат үшін өтемақы тетіктері (ҚӨТ) электр энергиясының қолданыстағы нарықтарына қатысты қосалқы болып табылады [22, б. 27]. ҚӨТ CO₂ шығарындыларын азайту жөніндегі шешімді қамтитын қуаттардың құрамы мен жай-күйін, сұраныс пен ұсыныс құрылымын, тұтыну бағалары мен міндеттемелердің паритетін ескере отырып, жергілікті жағдайларда жұмысқа бейімделуі тиіс. Қуат үшін өтемақы тетіктерін енгізу мақсаттары нақты айқындалуға тиіс.

«Электр энергетикасы туралы» Заңға сәйкес Қазақстанда жаңа электр станцияларын өндіруге көбірек инвестициялық салымдар тартылуға, сондай-ақ олардың қызметін қолдау үшін генерациялайтын активтерге қосымша ақшалай қаражат берілуге тиіс. Өндіруші активтер жүйелік оператордың балансына байланысты сұранысты қанағаттандыра алады.

«Ақша тапшылығы» проблемасынан басқа, қуат нарығының мақсаты болашақта тиісті ұсыныс пен сенімді электрмен қамтамасыз ету болуы керек. Қазақстанда электрмен жабдықтаудың сенімділігі мыналарды білдіреді:

- ең жоғары сұраныс қажеттілігі үшін өндіруші қуаттардың болуы;
- отын саласындағы қауіпсіздік;
- Құлыпталған қуатты беру желілерінің өткізу қабілеті.

Мұндай жағдайларда ҚӨТ көбінесе оларды шешу үшін қолданылатын алғашқы құрал емес [22, б. 30].

Егер тұтынудың шыңын жабу үшін өндіруші қуаттардың жеткілікті санын қарастыратын болсақ, онда қуат үшін өтемақы тетіктері электрмен жабдықтаудың сенімділігі мәселесі шешілетін шұғылдыққа және қандай қуат өндіруге тұрарлық болатынына байланысты болады [22, б. 30].

Энергетика министрлігінің 2024 жылға дейінгі тұтыну болжамы бойынша Қазақстанда өндіруші қуаттар тапшылығы және электрмен жабдықтау сенімділігі үшін кедергілер болмауы тиіс. Сондықтан энергетика министрлігінің жоспарында тағы да 3712 МВт қуаттылық өндіріледі және қолда бар қуаттарды 1211 МВт дейін кеңейту, сондай-ақ 2502 МВт қуаттарды техникалық жетілдіру жүргізіледі. Энергетика министрлігі 2024 жылға қарай 2373 МВт өндіруші қуатқа қызмет көрсетуді тоқтатуды шешеді. Артық қуат көлемі 1,339 МВт құрайды. Бұл көрсеткіш қуаттылығы 1221 МВт болатын Балқаш көмір жылу электр станциясын іске қосу көлемін қамтымайды. Оны іске қосу 2022 жылы жоспарланған және артық қуаттың 2560 МВт-қа дейін артуына әкеледі.

Жоғарыда аталғандардың барлығы, өндіруші қуаттардың құрылымы, тұтынудың үнемі өзгеріп отыратын сипаты, ЖЭК декарбонизациялау мен интеграциялауды қамтитын міндеттемелер, сондай-ақ көтерме сауда нарығын түрлендірудің аяқталмауы, МКМ ретінде қуат нарығының тетігін енгізу, осының барлығы не ерте болуы, не ұзақ уақытқа электр энергетикасына қойылатын талаптарға жауап бермеуі мүмкін. Мүмкін, МКМ мақсаттары мен механизмдері Электрмен жабдықтаудың сенімділігі маневрлік және «таза» қуат есебінен қамтамасыз етілетіндей қайта қаралуы тиіс.

1.3 Жел энергетикалық қондырғылардың конструкцияларын талдау

Жел энергетикасы жұмысы үшін жел энергетикалық ресурстар қажет [27, б. 8]. Қазақстанда үлкен жел ресурстары бар. Бүкіл Қазақстан аумағының 50%-ында желдің орташа жылдық жылдамдығы 4-5 м/с, ал кейбір аудандарда желдің жылдамдығы 6 м/с-тан асады, бұл жел энергетикасын дамыту үшін үлкен перспективаларға ие болуға мүмкіндік береді. Сараптамалық бағалаулар Қазақстан - жел энергетикасын дамыту үшін тиісті жағдайлары бар әлемнің бір елі екенін сипаттайды. Желді жерлер Қазақстанның орталығы мен солтүстігінде, Каспий маңында, Қазақстанның оңтүстігі мен оңтүстік-шығысында орналасқан. 10 МВт/км² деңгейіндегі ЖЭС қуатының тығыздығын және бос кеңістіктің болуын ескере отырып, Қазақстанда бірнеше мың МВт ЖЭС қуатын орнату мүмкіндігіне үміт артуға болады. Статистика деректері бойынша Қазақстанның жел әлеуеті жылына 1820 млрд. кВт/сағ құрайды. Бұл жел потенциалы үшін кем дегенде бір жыл бойы биіктігі 30 м-ден 80 м-ге дейінгі метеорологиялық тіректерді қолдана отырып, арнайы, метеорологиялық зерттеулер қажет. Алынған метеодеректер жел қондырғыларының электр энергиясын жылдық өндіруді есептеу үшін пайдаланылатын болады. Есептеулер нәтижелері ЖЭС құрылысының техникалық-экономикалық негіздемесін дайындау үшін қолданылады. Алматы облысында (Жоңғар қақпасы мен Шелек дәлізі) 1998-2000 жылдар аралығында БҰҰДБ қолдауымен егжей-тегжейлі метеорологиялық зерттеулер мен жел әлеуетін бағалау жүргізілуде. Бұл зерттеулер Жоңғар қақпасының жел әлеуеті жоғары екенін көрсетті. Желдің орташа жылдық жылдамдығы 50 м биіктікте 9,7 м/с, ал жел ағынының тығыздығы 1050 Вт/м² құрайды. Бұл ЖЭС белгіленген қуаты кВт-қа шамамен 4400 кВт/сағ электр энергиясын өндіруге мүмкіндік береді. Сондықтан бұл жер жел энергетикасы мақсаттары үшін ерекше. Бос кеңістік мұнда жылына шамамен 1 млрд. кВт/сағ электр энергиясын өндіретін бірнеше жүз МВт ЖЭС салуға мүмкіндік береді. ЖЭС электр энергиясының құны 4,5 \$/кВт.сағ. болған кезде жылына 18 млн. кВт/сағ электр энергиясын өндіретін болады деген пікір бар. Егер тәжірибе сәтті болса, онда ЖЭС қуаты 50МВт-қа дейін ұлғайтылуы мүмкін. Іле Алатауы және Жетісу Шелек Тау жоталары арасында, Алматыдан 150 км қашықтықта орналасқан дәліздері желдің орташа жылдық жылдамдығы 50 м биіктікте 7,8 м/с және жел ағынының тығыздығы 510 Вт/м² болатын жақсы жел әлеуетіне ие. Бұл ЖЭС белгіленген қуатының әрбір кВт үшін 3200 кВт/сағ электр энергиясын өндіруге мүмкіндік береді. Жоғарыда аталған барлық көрсеткіштер еуропалық көрсеткіштермен салыстырылады. Шелек дәлізінде 1 млрд кВт/сағ жылдық электр энергиясын өндіретін 100МВт ЖЭС қуаттылығы қондырғысы болуы мүмкін. Жоңғар қақпасы мен Шелек дәлізі электр қуатының жетіспеушілігі үлкен аудандарда орналасқан. Осының арқасында олар ЖЭС салу үшін тартымды болады.

Заманауи жел энергетикалық қондырғылар (ЖЭҚ) – бұл өзара байланысты жабдықтар мен ғимараттар кешені. ЖЭҚ жел энергиясын айналмалы жел доңғалағының механикалық энергиясына түрлендіреді, содан кейін оны электр

энергиясына айналдырады [27, с. 66-69].

2014 жыл өнеркәсіптің жел турбиналық жүйелері үшін маңызды жыл болды, онда тек бір жылдан кейін 51GW орнатылды. Ол кезде қытайлар бір жыл ішінде шамамен 23 ГВт орнатады деп ешкім күткен жоқ.

1997-2014 жылдар аралығындағы жел энергетикасының жылдық және жалпы белгіленген қуаты жаһандық ауқымда [36-39]. Негізгі заңға сәйкес жел турбиналық жүйелерін жел энергиясын электр энергиясына тікелей немесе жанама түрлендіру арқылы пайдалануға болады. Алғашқы жел турбины 20 ғасырдың басында іске қосылды. Болашақта жел турбиналарының құрылымдық элементтерінің дамуы, соның ішінде электр электроникасының топологиялары, генераторлар мен берілістер редукторсыз турбиналардың дизайнын жасауға мүмкіндік берді [40, 41]. Сонымен қатар, жел турбины жүйесінде максималды қалпына келтірілетін қуат және үздіксіз зерттеу кезіндегі минималды әзірлеу құны сияқты маңызды екі компонент бар.

ЖЭҚ қондырғылары желдің кинетикалық энергиясын электр энергиясына өзгертеді. Кіретін ауа ағынының арқасында ЖЭҚ ротордың қалақшаларын айналдырады. Бұл ағын электр генераторымен механикалық беріліс қорабы арқылы өзара әрекеттеседі. ЖЭҚ қалақтары ұшақтың пропеллері ретінде жұмыс істейді. Олар механикалық редуктор арқылы электр тогымен қосылатын ротордың орталық хабын айналдырады. Механикалық редуктор деп үлкен беріліс коэффициенті бар беріліс қорабы аталады.

ЖЭҚ генераторларының құрылымы электр станцияларында қолданылатын генераторларға ұқсайды. Олар ядролық отынды, қазбалы отынды жағу немесе су жіберу арқылы жұмыс істейді. Желдің әсерінен электр энергиясын өндіруге арналған көптеген электр машиналары бар. Олардың көпшілігі ерекше дизайн болып табылады. ЖЭҚ екі түрге бөлінеді: тік айналу осі бар ЖЭС және көлденең айналу осі бар ЖЭС.

Көлденең-осьтік жел генераторы неғұрлым сенімді болып табылады сурет 1.5-те көрсетілген, бұл тік осьтік жел турбиналық жүйелермен салыстырғанда оның шығу тиімділігіне байланысты жел энергиясының көп бөлігін анықтайды [42, 43]. Көлденең айналу осі бар турбинада ротордың жетекші білігі көлденең орналасқан. Көлденең айналу осі бар ЖЭС-да екі пышақ немесе үш пышақ бар. Олар ЖЭС-ның ең көп таралған түрді қамтиды және гондоладағы мұнараның жоғарғы жағына орнатылған. Ротордың жетекші білігін орналастыру машинаның осі болып саналады. Ол пышақтарды коаксиалды электр генераторымен байланыстырады [27, б. 70].



Сурет 1.5 – Көлденең айналу осі бар ЖЭС

Жел турбинасының роторы гондоланың алдында болуы мүмкін – жел роторы немесе гондоланың артында – жел роторы. 3 қалақшадан асатын турбиналар бар. Бұл турбиналар «монолитті өсімдіктер» және «ромашкалар» деп аталады және су сорғылары ретінде қолданылады. Олардан айырмашылығы, қалақтардың саны аз турбинаның роторлы қалақтарының ауданы тұтас емес. ЖЭҚ қалыпты жұмыс істеуі үшін оның қалақтары ротор қалақтарының айналу жазықтығының ауданынан өтетін жел ағынымен өзара әрекеттесуі тиіс. Ол беткі қабат деп аталады. Қалақтар саны көп ЖЭҚ төмен айналу жылдамдығымен жұмыс істейді. Олар орнату білігінде айналу моментін құрайды. Екі немесе үш қалақшалы жел қондырғылары сыпырылған бет арқылы өтетін жел ағындарына мүмкіндігінше әсер ету үшін жоғары жылдамдықпен айналады. Егер ротордың пышақтары көп болса, ротордың жұмысы тиімдірек болады. Қалақтар саны көп жел электр қондырғылары екі немесе үш жүзді турбиналар сияқты тиімді емес. 3 қалақтан артық турбиналар турбуленттілік есебінен бір - біріне кедергі жасайды - қанаттың көтеру күшін төмендететін қанаттан қалақ үзілген кезде ауа ағындарының бұралуы.

Тік айналу осы бар ЖЭС сурет 1.6-да көрсетілген.



Сурет 1.6 – Тік айналу осі бар ЖЭС

Суды көтеру үшін көптеген жүздері бар турбиналар қолданылады. Бұл айналмалы жылдамдықтың төмен коэффициентіне байланысты. Егер пышақтың соңында жоғары бастапқы сипаттамалары жасалса, қондырғы желдің төмен жылдамдығымен жұмыс істей алады [27, б. 70].

Ротордың жетек білігінің тік орналасуы бар турбиналар әртүрлі бағытта жүретін ауа массаларын алады. Бұл үшін жел бағытын өзгерткен кезде ротордың орналасуын өзгерту қажет емес. Электр генераторы мен редуктор мұнараның гондоласында емес, көлденең айналу осі бар турбиналардағыдай жерге орналастырылады. Тік айналу осі бар турбинаны француз инженері Дарье ойлап тапты. Ол бұл жобаны 1903 жылы патенттеген. Турбиналардың бұл екі түрінің ұқсастықтары бар, бірақ олар сыртқы жағынан ерекшеленеді. Желдің кинетикалық энергиясы ауа ағындарын жел турбинасының пышақтарымен біріктіру арқылы шығарылады және редуктор арқылы электр генераторына жіберіледі. Механикалық берілістің арқасында генератор әртүрлі жел жылдамдығында тиімді жұмыс істейді. Өндірілген электр энергиясын тұтынушы тікелей қолдана алады және жалпы пайдалану үшін электр желісіне қосыла алады, сонымен қатар аккумуляторлық батареяларда кешірек пайдалану үшін жинап, сонымен бірге бар жүктемені қоректендіре алады.

Желмен өзара әрекеттесуі бойынша ЖЭС қондырғылардың 2 түрге бөлінеді:

- роторға арнайы аэродинамикалық бейіндегі қатты бекітілген қалақтары бар қондырғылар, реттеусіз - үстел-реттеу деп аталады;
- шабуыл бұрышын өзгерту үшін питч - реттеу деп аталатын өзінің бойлық осімен айналу мүмкіндігімен жасалған тұтас қалақтары бар жел қондырғылары.

Олардың барлығының артықшылықтары мен кемшіліктері бар [27, б. 70-71]. Бұл қондырғылардың басты кемшілігі-пайдаланылатын ауа ағынының

кішкене ауданы, ол жел доңғалағының пышағының жұмыс бетінің ауданына тең. Сондықтан жел қозғалтқыштары төмен қуатты және әлеуетті тұтынушылар үшін емес. Кемшіліктерге оларды орнату үшін жер учаскелерін бөлу қажеттілігі жатады. Нарық жағдайында бұл өте маңызды. Ұсыныстар бар, олардың негізінде қоңырау түрінде тікбұрышты диффузорларды қолдану қажет. Диффузорлар жел доңғалағының бүкіл шеңберіне кең бөлігі - негізімен ауа ағынына және тар бөлігі – жел доңғалағының жұмыс бетіне бағытталған және оған жақын орналасқан мойын арқылы орнатылады. Жел доңғалағының айналасында және кез-келген бағытта ауа ағынын бірдей пайдалануға мүмкіндік беретін диффузорлар. Сонымен қатар, олар пайдаланылған ауа ағынының ауданын және сәйкесінше жел доңғалағының қуатын ондаған есе арттырады. Демек, пайдаланылатын ауа ағынының шағын ауданын көрсететін тік айналу жел қозғалтқыштарының негізгі кемшілігі жойылады [44]. Мұндай жел қондырғыларын орналастыру жер учаскелерін бөлуді талап етпейді. Оларды ғимараттардың төбесіне, автожолдардың үстіне қою, сондай-ақ фотоэлементтермен бірге пайдалану туралы ұсыныстар бар [44, б. 13-14]. Питч-реттеуі бар ЖЭҚ ауа массаларын тиімдірек пайдалана алады және электр энергиясын көбірек өндіре алады. Бұл жағдайда қалақтар көлденен бағытта күштеп айналу арқылы шабуыл бұрышын өзгерте алады. Олар желдің төменгі жылдамдығында электр энергиясын өндіреді. Жел қондырғылары жиі жел қондырғыларының бұзылуына әкелетін арнайы мойынтіректермен жабдықталған. Бұдан басқа, ЖЭҚ-ті реттеудің питч-жүйелерін енгізу үшін суық климат жағдайларында (Қазақстанның қысқы температуралары -30°C төмен болған кезде) гидравлика қажет [27, б. 67-69].

1.3.1 Қазақстан ғалымдарының жел энергетика қондырғыларының әзірлемелері

«Елдің өзі алдағы бес жылда Болашақ энергиясына көшу идеясын көрсетуі тиіс, Қазақстан энергияның таза түрлерін әзірлеу және енгізу саласында инновациялық серпіліс жасауы тиіс» [35, б. 109].

Қоғамдық ұйым өткізетін «Баламалы және жаңартылатын энергия көздері» конкурсына ұсынылған отандық инноваторлар мен ғалымдардың ЖЭК-не шолу жүргіземіз, «ЭКСПО-2017» халықаралық мамандандырылған көрмесі қарсаңында «жасыл экономиканы қолдау коалициясы G-Global дамыту» ЗТБ Қазақстанда «жасыл» технологиялар идеяларын ілгерілетумен айналысады.

Бұл тәжірибелік үлгілер мен әзірлемелер:

- ҰИА академигі Болотов А.В.;
- ҚР ҰҒА академигі. Ершина Ш.А.;
- техника ғылымдарының докторы Камбарова М.Н.;
- техника ғылымдарының докторы Буктукова С.Н.;
- техника ғылымдарының докторы Байшагирова Х.Ж.;
- техника ғылымдарының кандидаты Кунакбаева Т.О.;
- ҚР ҰҒА академигі Өтелбаев М.О.;
- физика-математика ғылымдарының докторы Кусаинова К.К.;

– физика-математика ғылымдарының кандидаты Жилкашинова Э.М және т.б.

Қазақстанда жел роторлы турбиналары бар 50-ден астам станция жұмыс істейді. Бұл қазақстандық ғалым, техника ғылымдарының докторы, профессор А.В. Болотовтың бірегей әзірлемесі сурет 1.7 көрсетілген. Ол қарама-қарсы бағытта айналатын екі модулі бар тік-осьтік роторлы турбинаны пайдалануға негізделген [45]. Бұл дизайн тіпті төмен жел жылдамдығында да ток береді, онда пропеллер станциялары жұмыс істемейді. Болотов жел роторлы турбинасының параметрлері: температура диапазоны -40°C –тан $+40^{\circ}\text{C}$ -қа дейін, модульдің салмағы – 750 кг, номиналды жылдамдығы – 12,3 м/с, қуаты - 3-10 КВт, ерекшеліктері - Жоғары қауіпсіздік, ашық қозғалмалы бөліктердің тербелісі жоқ, сенімділік, жоғары ресурс, пайдалану мерзімі 10 жыл, турбуленттілік жағдайында жұмыс істеу, желдің бағытына байланысты емес, құрылымның модульділігі, күн панельдерімен үйлескен синергетикалық әсер, пайдалану шығындарының төмендігі [46].



Сурет 1.7 – Академик А.В. Болотовтың ВРТБ қондырғысы

ҚР БҒМ тау ісі жөніндегі Институттың профессоры Буктуков Н.С.-тің құрылғысы (сурет 1.8), жылдың барлық 300-330 күнінде желдің кез-келген бағытымен - 3 м/с-тен 60-80 м/с дейін жылдамдығында жұмыс істейді [47]. Сонымен қатар, шет елдік қымбат жел станцияларына қарағанда, онда қосымша генераторы, өлшеуіш аспаптың басқару құрылғысы, мультиплексоры, қуаттандырғышы мен аккумуляторды қорғайтын құрылғысы бірге жүреді [48]. Қарапайым есеп қисаптан, отандық жобаның, орындаушы механизмін есепке алмағанда жел роторынан 4 есе арзан, және қалақты қондырғылардан 7 есе арзан – Буктуковтың жел станциясында мұнара болмайды, сонымен қатар қолдану барысында өте жеңіл болмақ. Сондай-ақ, бұл өнертабыс Қазақ даласында және аралдарға шамшырақ ретінде қолдануға болады. Оның бір артықшылығы, желдің жылдамдығы артқан сайын, желдеткіш жиырылығы құбыр тәріздес пішінге айналады [47, б. 5].



Сурет 1.8 - Технакалық ғылымдарының докторы Буктуков Н.С. ЖЭҚ-сы

Аль-Фараби атындағы КазНУ-дың, ҚР ҰҒА академигі Өтелбаев М.-ның басшылығымен және механика кафедрасының доценті Қонақбаев Т.О., сурет 1.9-да көрсетілген желді электростанцияның (КЖЭҚ) көпқабатты моделі ұсынылды. Ол, жердегі бір қабатта орнатылған, желді электростанциялардан ерекшелігі бар. КЖЭҚ-сы – қабаттарында әртүрлі типтегі жел турбиналары орналасқан көп қабатты құрылым. КЖЭҚ-ның басты ерекшеліктері: қабаттар арасындағы әуе дәлізі, желдің энергиясын тұрақты пайдаланылуы, жер аумағының үнемділігі. 2013 жылы жел электростанцияның үш қабатты шағын үлгісі түрінде дайындалып, сыналған болатын.



Сурет 1.9 - Академик Өтелбаев М.О. мен физика-математика ғылымдар кандидаты Қонақбаев Т.О.-ның жел электростанциясы

Ш. Уалиханов атындағы Көкшетау мемлекеттік университетінде диффузорлы композициялық жел электр станциясының тәжірибелі үлгісі жасалып шықты (ДЖЭҚ). Ол шиналы пластиктен жасалды және қолданылу

барысында электр энергиясының ыңғайлы портативті көзі, экологиялық таза болып табылды (сурет 1.10). Сынақ барысында, ДЖЭҚ-сы диффузоры жоқ ЖЭҚ-на қарағанда екі есеге мықты болып шықты. Басты теориялық ой – диффузордың тиімді екенін дәлелдеді. ДЖЭҚ параметрлері: мұнара биіктігі – 4 м, салмағы - 95 кг, температура режимі –50°С-дан +80°С-қа дейін, жоба қуаттылығы – 1 кВт, жұмыс жасау ұзақтылығы 20 жыл, жел жылдамдығы 4-25 м/с болғанда тоқ өндіріледі. ДЖЭҚ монтаж (демонтаж) жұмыстарын көтергіш құрылғылары көмегімен 3 жұмысшы дала жағдайында 2-3 сағатта жасай алады [49; 47, б. 7].

Негізгі түйіндер мен диффузордың шыныпластигінен жасалғандықтан оның географиялық пайдаланылуы мен жұмыс күнтәртібінің ұзақтылығы артады. Бұл ретте композициялық материалдарды өңдеуге арналған ресурстарды үнемдейтін технология қолданылды. Сондай-ақ, оның жоғарғы мобильдігі: ауқымды диапазонда пайдалануға болатындығы, жөндеуге жарамдылығы, қызмет көрсету ыңғайлылығы, үнсіз жұмыс, әр түрлі ауа-райына қолайлылығы, көрікті дизайн т.с.с. [49, б. 1-2].



Сурет 1.10 – Техникалық ғылымдар докторы Байшагиров Х.Ж.-ның ЖЭДҚ-сы

Ғылыми сыйымдылыққа бағыттала отырып жасалған, диффузормен бірге композициялық желді энергетикалық қондырғысын ойлап табу, ол Қазақстан индустриясына жаңа бастама болмақ. Бір қатар, тұрақтылық пен аэродинамикалық мәселелер, композициялық материалдардың технологиясы, инженерлік және «ноу-хау»-ға кіретін конструкторлық шешімдер

қарастырылуда. Құрылғының өзі, халық қолданысына аса тиімді және аса қажетті өнім [50].

Букетов Е. атындағы КарУ, қолданбалы математика институтында, физика-математика ғылымы Кусаинов К.К.-пен «Айналмалы цилиндрдің өзгермелі қиылысы негізінде желдің аз жылдамдығына арналған желді қозғалтқыш өндірісі» туралы ғылыми зерттеулер жүргізілді. Магнус эффектісімен ауқымды диапазоннан келген ағын жылдамдығы (3 м/с-15 м/с), зерттелудегі дененің айналым жылдамдығы, геометриялық параметрдің өзгерісі, көтеру күші зерттелді [46, б. 31-32]. Аэродинамикалық көтеру күші коэффициентінің тәуелділігі тұрақталды: зерттелетін дененің диаметрінен, жел жылдамдығынан, сфералық жолмен жүріп өткен айналмалы цилиндрдің жылдамдығына байланысты. Көтермелі күштің максималды тұрақты коэффициентін қалыптастыратын оптималды диапазонның көлемі анықталды [46, б. 33-34]. Пайдалану көзі ретінде 700 Вт-тік автокөлік генератор түрінде пайдаланылған, екі түрден тұратын жел қозғалтқышының макет үлгісі дайындалып өңделді. Желді энергетикалық қондырғыға арналған синхронды генератор, төмен айналымды шектеулер өңделіп жасалды.

Магнус эффектісімен жұмыс істетін ЖЭҚ сурет 1.11 келтірілген.



Сурет 1.11 – Физика-математика ғылымдарының докторы Кусаинов К.К.-тың ЖЭҚ-ның моделі

«Ecowatt» ЖШС-нің профессоры Қамбаров М.Н. «Қаз қанат» ЖЭҚ-сын құрастырды (сурет 1.12), оның параметрлері: номиналды қуаттылығы 5 кВт, максималды қуаттылығы - 15 кВт, кернеу – 380/220 В, жел жылдамдығы - 3 м/с-нан 40 м/с-на дейін тоқтаусыз, қалақтар саны – 2 дана, қалақтың өлшемдері – жоғарғы хордасы 0,5м, төменгі хордасы 1м, тіректердің саны - 2 дана, қалақтың радиусы - 1,8м, биіктігі - 2,4м, біліктің жерден биіктігі - 2,4м, жел бағыты - арнайы механизмдерсіз және қалақтардың флюгерлік әсерінсіз 4 жалпақ тіректің есебінен, қалақтардың әсер ету бұрышы - 8 градус (реттеусіз) [51].



Сурет 1.12 - Техникалық ғылымдар докторы М.Н. Қамбаровтың «Қазқанат» ЖЭҚ-сы

С.Аманжолов атындағы (ВКТУ) қарамағындағы Ұлттық ғылыми зертханасында физика-физикатика ғылымдарының кандидаты А.М.Жилкашинованың желкенді жел генераторы 5,5 кВт қуаттылығымен үш фазалы дизайндағы көлденең айналу осі бар, кернеуі 380 В болатын желкенді жел генераторының тәжірибелік үлгісі жасалды және жасалды, сонымен қатар пайдалануға берілді, ол сурет 1.13-те көрсетілген. Тәжірбиелі дана, оқу-ғылыми өндірістік «Сибины» ШҚМУ базасында орналастырылды [52]. Желкенді жел генераторын таңдау мақсаты, желкенді шеңбер, соғып тұрған желдің бағытына қарай тез ыңғайлануына орай негізделіп жасалған, демек желді генератор кез-келген жел жылдамдығына байланысты жұмыс жасай береді.

Техникалық мінездемесі: желді құрылғының биіктігі – 4 м; қуаттылығы – 2 кВт; желді шеңбердің диаметрі – 2,5м; желкендер саны – 8 дана; алтылық тік тісті мультипликатор – 1:40; генератор – асинхронды; желдің күшпен соғуы – 2 м/с.

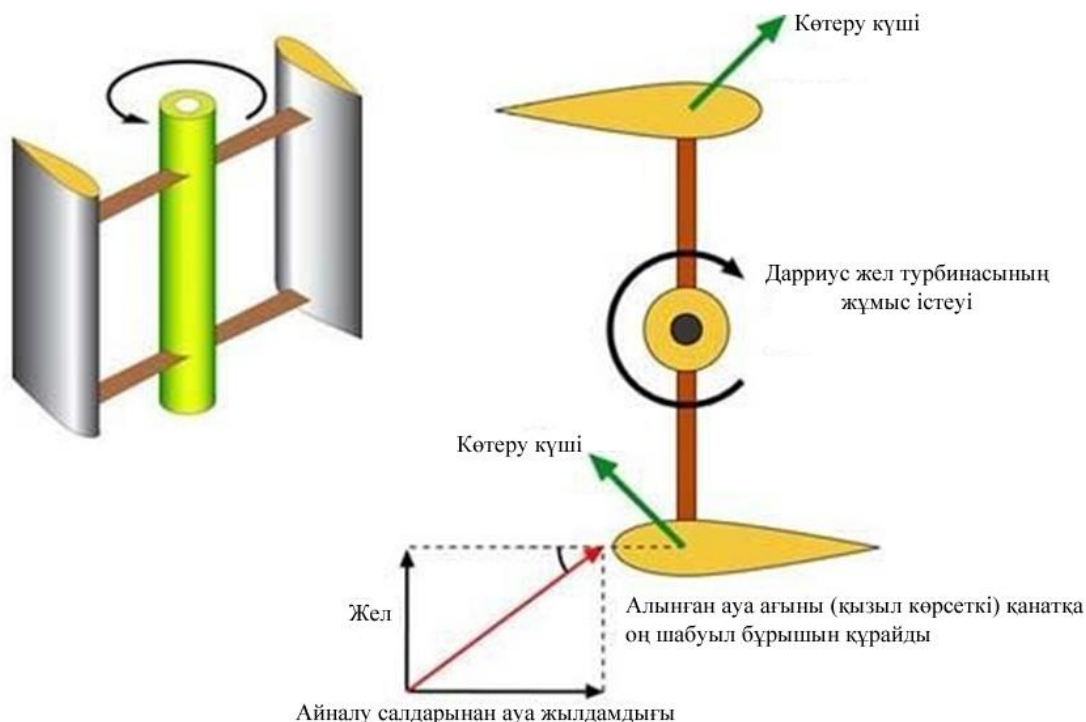


Сурет 1.13 – Физика-математика ғылымдарының кандидаты А.М. Жилкашинованың желкенді ЖЭҚ-сы

Дарье типті, вертикалды осімен құрастырылған ЖЭҚ-сы, Аль-Фараби атындағы КазНУ қарамағындағы математика және механика Ғылыми-зерттеу институтында дайындалды. Жобаның тақырыптық бағыты болып альтернативті

және қайта қалпына келетін энергия көзі болып табылады. Оларға: желді, күн сәулесі, биоэнергетика, гидроэнергетика, жылу насосы, пьезогенераторлар, атом энергиясы, энергетикалық инверсия, және т.б.

Дарье типті вертикальді жел электрлік қондырғының турбинасының жұмыс істеу принципі сурет 1.14 көрсетілген.



Сурет 1.14 – Дарье вертикальіндегі турбина жұмысының принципі қызметі.

Нәтижелі жел жылдамдығы және қанатқа әсер ететін көтергіш күштің салдарынан пайда болатын соққының оң бұрышынан қалыптасқан ауа жылдамдығы

Дарье роторы вертикалды осьпен айналып тұрады, оған бастапқы негізіне және үстіңгі бөлігіне жалпақ қалақшалар орнатылған. Жылдамдық – бұл құрылғының басты артықшылығы. Ал, желді генератордың негізгі кемшілігіне: желдің төменгі жылдамдығында ротордың өзіндік қосылуының жоқтығы, жоғарғы шу эффектісі, дірілдеу, аэродинамикалық күш түскендегі ротордың әлсіздігі.

Зерттеудің тәжірбиелік құндылығы, осы аппараттың өндірісі, көптеген облыстағы халық шаруашылығында қолдануы көптеп кездесті. Мысалға, шекара заставадарында, жеке, бұл аппаратты орнатуға болады. Қазіргі таңда, дизельдік генератор қолданылады, ал ол алыста орналасқан балық өсіру шаруасы мен мал өсіру фермаларда орналасқан жанар майды сақтайтын ыдыстарға табиғи отынды тасымалдауды қажет етеді. Осы типтегі аппаратқа мұнайды айдау және қыздыру үшін мұнайқұбыр кәсіпшілігімен айналысатын мұнайшылар қатты қызығады. Дарье аппаратын шағын және орта өнім шаруашылығында орнатуға әбден

болады. Ол электрожеткізу желісіндегі шығындарды болдырмайды. Осындай аппараттарды орнату, өзіндік құны мен еңбек сыйымдылығы төмен, сонымен бірге сенімді, көп шығындарды талап етпейді. Әр ЖЭҚ-нің жаңа нұсқасын әзірлеуге монографияда баяндалған теориялық әдіснамалар енгізілген.

Қазіргі таңда ПЭК турбинасының вертикалды осьпен айналымы 20%-дан аспайды. Ең негізгі кемшілікке – вертикалды осьпен айналатын турбинаның тиімділіктің төмендігі, енді зерттеушілермен желді турбинаның жаңа түрі ойлап шығарылды. Қазіргі вертикалды осьпен айналатын желді генераторларға қарағанда 2 есе тиімді. Мұндай жел қозғалтқыштың атауы «Шыңғысхан» (сурет 1.15).



Сурет 1.15 - «Шыңғысхан» тиімділігі жоғары жел қозғалтқышы

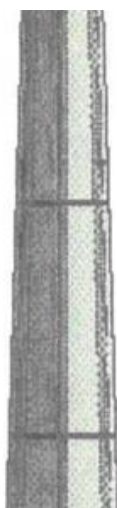
Бец Заңы бойынша, пропеллер түріндегі көлденең жел турбинасынан өндірілетін максималды энергия ауаның кинетикалық энергиясының 59% құрайды. Вертикалды – осьті орнатудағы зерттеу жұмыстары, ПЭК шегін анықтамады. Қазіргі таңда вертикалды осьтің ең кең таралған қондырғысы - ол Савониус роторы. Оның құрлымы, қарамақарсы жаққа бағытталған екі жартылай цилиндрлі қалақшалардан тұрады. Савониус роторын оптималды түрде бүккенде, іріктеу коэффициенті 25% жеткізуге болады. Бұл құрылым, бүгілген парабола пішініне ұқсас екі немесе үш қалақшалардан тұрады. Осы ротордың ПЭК-сы Савониус роторына қарағанда айтарлықтай жоғары, бірақ, бұл турбина түрі өздігінше қосыла алмайды және энергия жетегін қажет етеді. Онда жиілікті бақылау механизмі жоқ. Барлық көрсетілген ротор түрлерінің тағы бір кемшілігі, ол: бұл турбиналарды айналған сәтінде тұрақтылықты жоғалтады және тербеледі. Бұл уақытынан бұрын роторды бұзылуға жетелейді. Сол үшін, бұл құрылым тірек тростарына тәуелді, яғни өнімнің өзіндік құны артады және орнатылуы қиындай түседі. Барлық көрсетілген турбиналар аудандағы ауаны тазалайды (m^2).

Жел қозғалтқышы жұмыс қалақшалардан вертикалді осьпен айналатын роторға ие, ол генератор мен тиісті механизм жұмысының төменгі бұрышына бекітілген ось пен көмекші қалақшадан тұрады [53]. Жұмыс, трапеция тәрізді қалақтар, төменгі негіздері бар, ротордың жоғарғы және төменгі фланецтеріне 5-45 градус бұрышпен қатаң біріктірілген.

«Шыңғысхан» ЖЭҚ-ы сөзсіз бір қатар артықшылығы бар: жоғарғы энергетикалық мінездемесі: ауқымды әуе ағымын жинады (m^3), алайда барлық ЖЭҚ-лары ауаны жинастыруы (m^2) ғана. Қарапайым VAWT қарағанда, 2 есеге көп ПЭК-ны алу болжануда.

Желді қозғалтқыш, қатты айналым кезінде гироскоп принципі бойынша жұмыс жасайды, демек құрылғының тұрақтылығы мен мықтылығын жақсартады. Көтеру күші, оське түсетін үйкеліс күшін төмендете отырып, ПЭК-ны жақсартады және біліктің қызмет ету мерзімін ұзартады. Желді қозғалтқыш жиналмалы құрылымынан тұрады, демек оны монтаждау да, эксплуатациялау да жеңіл болмақ. Ротор әуе ағынының кез келген бағытында айнала береді және бағдар құрылғыларын қажет етпейді.

Вертикал осьті желді электробекеті өздігінен басқарыла береді және (сурет 1.16) кез келген бағыттағы жел жылдамдығында, сонымен қатар, ашық және желсіз ауа-райында, қызған ауаның көтеру күшінің есебінен электроэнергияны өндіре береді. Желдің аз мөлшерінде қалақшаның ашылуы гравитация күшінен және жинақтайтын аумақтайтын ауқымды болуына алып келеді. Және керісінше, жел қысымындағы қалақшалардың жабылуынан, жел жылдамдығы артқан кезде аумақ төмендейді. Сонымен қатар, ЖЭҚ-ы сыртқы тордың жарты бөлікті формасын қабылдайды [54].



Сурет 1.16 – Өздігінен реттелетін жел электр станциясы

Берілген зерттеулер бойынша, қалақшаларды жаққан кезде ЖЭҚ-ы жұмысын тоқтатпайды, яғни желге деген қарсылық төмендейді, қалақшалар ашыла бастайды, бірақ қатты желден қалақшалар жабылады және ары қарай айнала береді.

Желсіз, ашық ауа-райында, қаптаманың конустық бөлігінің астындағы бет және ЖЭҚ тіректеріндегі қаптама күн сәулесінен қызады және тігінен бағытталған ауа ағынын жасайды. Берілген ауа өткізгіштен өтіп, ауа ағымы қалақшаларға жетеді [54, б.1-2]. Олар ауа ағымын қабылдай, айнала отырып, электроэнергияны өндіріп электромеханикалық қондырғыға жетіп отырады.

Айналардың көмегімен боялған аудандарда қосымша қызу басталады. Бұл үрдіс, желсіз және ашық ауа-райында ауа ағымын көбейтеді. Осы қызудың көмегімен электроэнергия өңделіп шығады. Уақыт өте келе жел энергиясын пайдалану кезінде Коэффициент артады. Бұл ретте ЖЭС 0 м/с-тан 60 м/с дейінгі жылдамдық диапазонында жұмыс істейді және күн санынан көп жұмыс істейді. Демек, электр энергиясын өндіру артып келеді.

1.3.2 Желкенді жел турбиналары

Қазіргі таңда жел генераторлардың көптеген құрылысы кездеседі. Олардың барлығы 2 түрге бөлінеді:

- бірінші түрге, ағым қысым күшінен пайда болуы – вертикалды осьпен айналатын диірмен;
- екінші түрге, желдің көтерілу күшін пайдалану - горизонтальный осьпен айналатын диірмен.

Көбінесе көлденең айналу осі бар жел диірмені желдің көтергіш күшін-бұранданы, ал тік айналу осі бар жел диірмені ағынның қысым күшін-желкенді пайдаланады [55]. Бірақ, ерекшелік бар – бұл Дарье роторы. Онда вертикалды айналу осі бар. Ол желдің көтеру күшін, горизонтальді түрде де пайдалана алады.

Жел диірменіне әсер ететін күшті қарастырған кезде, ағынның бойында тұрған тақтайшаны алыңыз. Егер пластина жел жылдамдығы бойынша айналса, онда ол ешқандай қысым көрмейді, және ешқандай қызмет атқармайды. Егер пластина қимылсыз тұрса, онда ол желдің қатты қысымына түседі, бірақ бәрібір де ешқандай қызмет жасамай тұрады. Егер пластина желдің бағытында айналса, ол қандай да бір қызмет атқарады, бірақ желдің аз ғана қысымына түседі, өйткені ол одан қашады. Пластинаның ағымнан үш есеге аз қиымладса, максималды түрде жұмыс жасайтындығы дәлелденген [55, б. 1-3]. Бұранда ағым жылдамдығымен қимылдайды да, максималды жұмыс атқарады. Бұрандалар желкенге қарағанда 3 есеге тиімдірек. Теорияда айтылғандай, мінсіз бұранданың горизонтальді осьпен айналатын желдің энергиясын пайдалану коэффициенті (ЖЭПК) 0,683-ке тең. Желкеннің ағымдағы қысым күшін пайдаланғандағы ЖЭПК-ті 0,192-ге тең. Яғни, қатынасы шамамен үшке-бір.

Демек бұрандалар желкенге қарағанда үш есеге тиімдірек жел турбинасына қойлатын талаптарға, яғни генераторды, сорғыны және т.б. айналдыруы қажет. Жеке талаптарға сәйкес жел турбинасы жұмыстың күшейуіне байланысты бағаланады. Дәл осы жерде жел турбинасының тиімділігін бағалаудағы қателік пайда болады. Салыстыруды басқаша жүргізіп көрейік. Бұранда мен желкенді алайық, пьезо эффект негізіндегі пьезо электриктер арқылы электроэнергияны генерациялайтын генераторды жүктегіш ретінде қолданайық (тұтандырғыш сияқты).

Желді турбинаға максималды қысымды қалыптастыру талап етіледі.

Жұмысты басқару үшін пьезо электрикті қысып және жіберіп отыру керек. Қаттырақ басқан сайын эффект күштірек болмақ. Желкенді қарастырайық. Ағынға қарсы тұрған пластина максималды қысымға ие болады, және сол қысымды қандайда бір механизм арқылы пьезо электрикке жеткізеді [55, б. 2-3]. Қайта қосылу болған кезде пластина мен пьезоэлектриктің арасындағы өзара байланысты үзеді. Пластина желдің бағытында жеңіл қозғалады, ал пьезоэлектрик ешқандай қысымға түспейді. Бірнеше секундтан кейін, механизм қайта қосылады, және пластина барлық ағын күшімен және инерциямен қайтадан пьезоэлектрикке қысым жасайды. Бұrandаны қарастырайық. Жел жылдамдығына үлгеру үшін оған біраз уақыт қажет, ал содан кейін қалыптасқан қысым әсерінен қайта тежеу басталады және қайта үдету үшін уақыт қажет болады. Енді біз бір уақытта желкеннің бұрандаға қарағанда «басу-босату» циклыын ұзағырақ жасай алатындығы көрініп тұр.

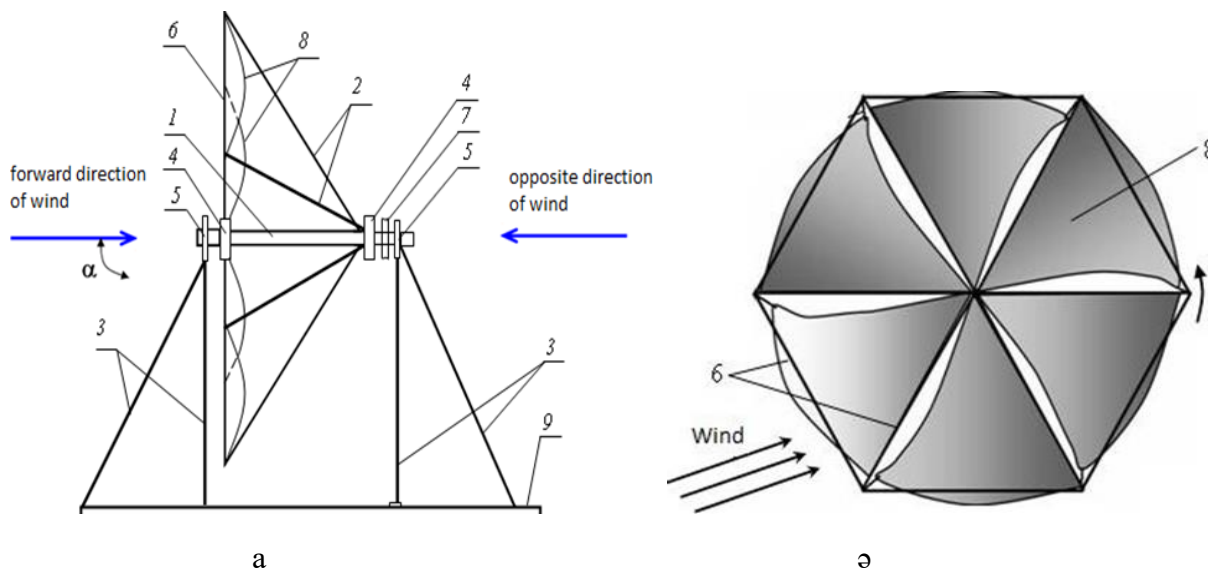
«Күш-ол жылдамдықтың туындысы болып табылады» деген формуланы пайдалана отырып қарама-қайшы нәтижені аламыз. Желкен енді бұрандаға қарағанда айтарлықтай тиімді.

Осы мысалдарға қарап келесі шешімдерді қабылдаймыз: егер жылдам айналдыру қажет болса, желдің көтерілу күші «бұранда»-ны пайдалану тиімді [21, б. 22-55]. Егер қатты басу қажет болса, онда «желкенді»-демек желдің қысу күшін пайдаланамыз. Қазір желкен бұrandаны озып тұр, егер үлкен қысыммен тарту керек болса. Мысалы, сорғыға қойлатын талап – ауқымды айналу сәті, жоғарғы басталу шегі, ал айналу жылдамдығы – екінші көрсеткіш. Келешекте желкендер бұrandаларға қарағанда тиімдірек болуы мүмкін.

ЖЭҚ-ның әр түрлі сипаттамасын талдауда, желді турбиналардың желкенді түрі, желдің төменгі жылдамдығы үшін өте қолайлы желкенді екен. Желді турбинаның түрінің артықшылығы, оның – 3 м/с–тен аздау әлсіз желде электроэнергияны генерациялауында болып тұр.

ЖЭҚ жұмыс жасаушы дене ретінде желкенді қолданылады, ол аэродинамикалық қиылысу профилімен, ауаға толған тороидальді пішінде болады [56]. Желкен көлемі, желдің жылдамдығына байланысты, ауаны шығару немесе жинау жолымен өзгеріп тұрады. Мұндай желкеннің ЖЭҚ-ның 1,5 м/с-тан 2 м/с-қа дейінгі жел жылдамдығы кезінде жұмыс жасауға мүмкіндік береді. ЖЭҚ жұмыс жасаушы дене ретінде желкенді қолданылады, ол аэродинамикалық қиылысу профилімен, ауаға толған тороидальді пішінде болады [56]. Желкен көлемі, желдің жылдамдығына байланысты, ауаны шығару немесе жинау жолымен өзгеріп тұрады. Мұндай желкеннің ЖЭҚ-ның 1,5 м/с-тан 2 м/с-қа дейінгі жел жылдамдығы кезінде жұмыс жасауға мүмкіндік береді.

Желді турбинанын желкенді түріндегі желкенінің динамикалық формасын қарастырып көрейік (сурет 1.17).



а - жанынан қарағанда: 1 - білік; 2 - желді дөнгелектің тірек таяқшалары; 3 - байланыстырушы заттар; 4 - айналмалы диск; 5 - подшипник; 6-жақтау таяқшалары; 7 - шкив; 8 - желкендер; б - алдынан қарағанда: 6-жақтау таяқшалары; 8 - желкендер

Сурет 1.17 - Желкенді түрдегі желді турбина моделінің сұлбасы

ЖЭҚ жұмыс жасаушы дене ретінде желкенді қолданылады, ол аэродинамикалық қиылысу профилімен, ауаға толған тороидальді пішінде болады [56]. Желкен көлемі, желдің жылдамдығына байланысты, ауаны шығару немесе жинау жолымен өзгеріп тұрады. Мұндай желкеннің ЖЭҚ-ның 1,5 м/с-тан 2 м/с-қа дейінгі жел жылдамдығы кезінде жұмыс жасауға мүмкіндік береді. Көтеру күші мен кез келген қарсылықтың әсерінен, желкен, желдің бағыты мен жылдамдығына байланысты кеңістікте тербеліс қимылдарын жасайды.

ЖЭҚ-ның тривиальді тапсырмасы, ауа массасының кинетикалық энергия саны және содан энергияға айналуы аздаған шығынмен электроэнергияға жетуден тұрады. Ауа массасының кинетикалық энергиясын тиімді қабылдау үшін, ЖЭҚ жұмысшы күші, ауа ағымының күшіне және жылдамдығына, көлеміне өзгеру бағытына өте сезімтал болуы қажет [44, б. 16, 18]. Осы барлық талаптарға желкенді жұмыс мүшесі жауап береді. Біріншіден, тіке тіректерде орналасқан манипулятордың жоғарғы платформасымен байланысқан, желкен, дөнгелек пішінде болуы қажет, яғни желдің кез-келген көлденен бағытын қабылдай алуы қажет. Осы денелерге аэростат пішінде, парашютты жоспарлайтын аэростат тәріздес болуы керек. Бірақ көрсетілген сипаттамада, тығыз, төзімді, ауа өткізбейтін материалдардан жасалған бөлімдерді аэродинамикалық профильді тороидальді пішіндегі желкендер ұсынылады [22, б. 32]. Бұларға өте жоғарғы модульді полиэтилен немесе басқа тығыз материал бола алады.

Желкенді ЖЭҚ-ның функционалды мүмкіндіктерін растау үшін желкеннің қимылын зерттейтін зерханалық жұмыстың ЖЭҚ моделі сурет 1.18-де көрсетілген.



Сурет 1.18 - ЖЭҚ жұмысшы моделі

Мұнда манипулторлы түрлендіргіштің жылжымалы платформасына 4 тороидальді желкен 5 мықтап бекітіледі. Шток-цилиндрдің 2 әр шток бірікпесіне сызықты генератордың роторы 3 жалғанады, ол электр тоғын генерациялайды және ол микроамперметрлер блогымен 6 тіркелінеді [57]. Модель парус аз биіктікте орналасады. Бұдан бөлек парустің пішіні қимада аэродинамикалық формасыз және желдетуін өзгертпейді. Бұл модель ЖЭҚ-ның жұмыс істеу принципін көрсетеді.

Атап айтқанда, желдің жылдамдығы мен бағытына байланысты жел күшінің ықпалымен, желкен ауада қимыл жасайды. Демек, желкен, ауа массаның кинетикалық энергиясын басып алады, ал манипуляторлы қалыптастырғыш сол энергияны, цилиндрге келетін алты қор қимылына жететін механикалық энергияға келіп қалыптасады, ол электроэнергияны генерациялауға алып келеді. Осы модельден, желкен, жел күшінің әсерінен қимылдай отыра бір мезетте цилиндр-штоктың бөлімдеріне келген пружинаны қысады. Кері қадамды желкен пружинаның әсерімен қозғалтады. Бұл модель тор түріндегі желкен ЖО-ның желдің әсерінен әсерінен қирауын болдырмайтындығын көрсетеді. Мысалы, қатты желдің әсерінен ЖО-ны максималды бұрышқа дейін ауытқитын, соның салдарынан желкеннің тороидальді пішініне байланысты ауа ағыны үзіліп тұрады. Содан кейін, жел тынышталған сәтте, ЖО-ны өзінің серпінің сығылу күшіне байланысты бастапқы қалпына оралады. Берілген желдің бағытында телескопиялық біріктірулердің 2-3-і белсенді жұмыс жасап тұрады. Жел бағытын өзгерткен жағдайда-басқа 2-3 телескопиялық біріктірулер жұмыс жасай береді [56, б. 1-3]. Қатты желдің жоқтығынан ЖО-ның қозғалысы, аздаған амплитудасымен тербеліп тұрады. Прототиптің қолданыстағы ЖЭҚ-нан айтарлықтай айырмашылығы-автоматты басқарылатын желкені және алты

еркіндік дәрежесі бар манипуляциялық түрлендіргішті қолдану.

1.4 Зерттеу міндеттерін белгілеу мен тұжырымдары

Жұмыста қаралатын желкенді ЖЭҚ-ның жаңалығы оның тороидалды формадағы желкенінің болуы және оның бетінің ауданы автоматты басқарылуында, оның бетінен ауаның ағып өтуінде. Осылайша, тұтастай алғанда ЖЭУ жұмысын автоматты басқару болжанады [44, б. 15-17].

Кейбір зерттеушілер бұған дейін жел энергиясын түрлендіру жүйелерін басқарудың тәсілдері туралы мақалалар жариялаған. Авторлары Ф.Д. Бианки бірге [58] олар жел энергиясын түрлендіру жүйелерін жобалауды басқаруға бағытталған динамикалық модельдеуді енгізді. П. Мориарти және басқ., [59] түрлі жел турбиналық жүйелері талқылады, генераторлардың түрлеріне және бұрыштық жылдамдыққа сәйкес жіктеу және бағалау. Y. Z. Sun және басқ., [60] жел турбиналық жүйелердің тұрақтылығы мен сенімділігін, электр энергиясының сапасын, жел турбиналарын беру және сақтау жүйелерін және т. б. зерттеді [61] сүйені отырып, олар негізінен көп кіріс/шығыс және пропорционалды интегралды туындыларды қамтиды (ПИД). J. Yan [62] мақаласында анық емес логика мен нейрондық желі ұғымдарына негізделген жел турбиналық жүйесін басқаруға шолу жасалады. Кеңес ретінде [63] авторлар жел турбиналық жүйесінің жиілігін жел энергиясымен қанықтыру арқылы басқаруға шолу жасады. И.Н. Лакс және т.б. [64] жеке көлденең жел турбинасын қолдана отырып, жел турбинасының энергетикалық жүйесін басқарудың қазіргі, өткен және болашақ тенденцияларына назар аударады. Кеңес беру жұмысы [65] (2012) қарастырылған және оңтайлы қуатты бақылау жүйесін жел энергиясын түрлендіру жүйесінің екі тізбекті асинхронды машиналарымен салыстыруға арналған. Ю. Н. Мурти және басқалар [66], жел энергетикасы жүйесінде электронды энергияны қолдану туралы егжей-тегжейлі қарастырған. [67] Сілтеме жасай отырып, автор жел энергетикасы жүйелерін модельдеуге және басқаруға назар аударады. В. Канте және т. б., [68], тұрақты магнитті синхронды машиналарға негізделген жел турбиналары жүйесін модельдеу және басқару қарастырылған. Жаңартылатын энергия көздерін дамыту бойынша келтірілген деректерге сүйені отырып және олардың келешегін бағалай отырып, тороидалды желкенді қондырғы қуаты аз жел энергетикалық қондырғылар арасында лайықты орын алады деп сеніммен айтуға болады, өйткені ол оны бар аналогтарынан ерекшелейтін бірегей сипаттамаларға ие [44, б. 17-18].

2 ЖЕЛ ЭЛЕКТР СТАНЦИЯСЫНЫҢ ЖЕЛКЕНДЕРІНІҢ ҚҰРЫЛЫМЫ МЕН НЫСАНЫН НЕГІЗДЕУ

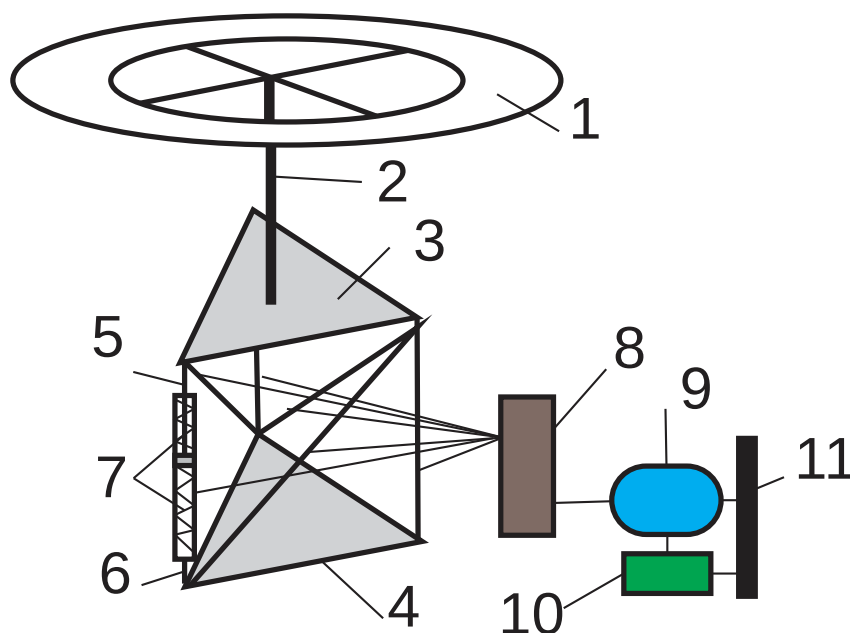
2.1 Желкенді жел электр станциясының құрылымдық және функционалдық элементтері

Қолданыстағы ЖЭС талдауы көрсеткендей, зерттеулер мен көпжылдық жұмыс тәжірибесі турбиналардың барлық түрлері үшін негізгі проблемалар желдің, желдің жылдамдығы мен күшінің алдын-ала болжанбауын тудырады, көбінесе қысқа уақыт аралығында өзгереді. Сондай - ақ, проблема турбиналық ЖЭС номиналды қуатымен жұмыс істейтін жел жылдамдығы диапазонының төменгі шекарасы, әдетте, жеткілікті жоғары-максималды тиімділігі 0.3-ке тең 10 м/с-тан асады [69]. Осыған байланысты желдің орташа жылдамдығы 3 м/с болатын кең аумақтарда турбиналарды пайдалануға болмайды. Осыған байланысты жел энергетикасындағы ЖЭС конструкциясын түбегейлі өзгертуге, атап айтқанда, айналмалы турбинадан бас тартуға және желкенді ЖЭС құруға бағытталған жаңа шешімдер қызығушылық тудырады. Мысалы, теңіз кемелері үшін желкендерді қолдану тәжірибесі яхталардың желдің жылдамдығы жоғары жылдамдықпен қозғала алатындығын көрсетті, бұл ретте теңіз кемелері үшін желкендерді есептеу әдістері әзірленді. Алғаш рет тәжірибеде айналатын турбинасы жоқ ЖЭС құрылды, ол тунистік стартап Saphon Energy. Алайда, негізінен, мачтаның серпімді тербелістерінен және жұмыс істемеуінен туындаған қосымша динамикалық жүктемелерге байланысты бұл желкенді ЖЭС практикалық қолдануға ие болмады. Негізгі ағынға перпендикуляр бағытта ауа ағынымен пайда болатын Аэро-серпімді резонанстық құбылыстарға байланысты тербелмелетін жел генераторы көрсетілген [70], бірақ бұл генератордың қуаты аз, әлі де даму сатысында.

Жаңа желкенді ЖЭС [71, 72] жұмыстарында ұсынылған, тороидалдык парусы бар және ол желдің көтеріліс күшін және желдің кедергі күшінің әсерінен циклдық қозғалады. Осы ЖЭС конструкциясының ерекшелігі парустан, дінгектен және манипулятордың жылжымалы платформасынан тұратын жұмыс органының (ЖО) қозғалысы SHOLKOR алты жылжымалы параллель манипуляторының актуаторларына беріледі [73], бұл қозғалыстарды алты трансляциялық қозғалысқа айналдырады. Одан әрі прогрессивті қозғалыстар қуатты таңдау жүйесі арқылы электр энергиясына айналады. Осы диссертация осы желкенді ЖЭС зерттеулерін жалғастырады және мыналарды қамтиды: желкеннің пішіні мен қимасын негіздеу; жетілдірілген динамикалық модель құру; белсенді басқарылатын демпферлік жүйе ретінде қосымша параллель манипуляторды қолдану; демпферлік күштің бастапқы мәнін өзгерту арқылы ЖЭС-ті басқару (алдын ала керу).

Диссертациялық жұмыстағы зерттеу объектісі келесі функционалдық және құрылымдық элементтерден тұратын жаңа желкенді ЖЭС болып табылады: үрленген желкен- 1; мачта - 2; жоғарғы - 3 және төменгі - 4 платформалардан тұратын манипуляторлық түрлендіргіш (МТ) - 5 штоктан тұратын алты актуатормен қосылған, цилиндр - 6; серпімді элементтерден демпфирлеу

жүйелері (ДЖ) - 7; қуатты іріктеу жүйесі (ҚІЖ) – 8; басқаруды автоматтандыру жүйелері (көрсетілмеген); электр тоғын - 9 және аккумуляторды генерациялайтын электр машинасынан басқарылатын генерациялау және жинақтау жүйесі 10. 11 - Позиция тұтынушының электр желісін білдіреді.



Сурет 2.1 – Желкенді ЖЭС сұлбасы

Парус-бұл көлденең қиманың аэродинамикалық профилі бар тороидаьды пішінді ауамен (газбен) толтырылған қуыс дене. Желдің жылдамдығына байланысты желкеннің көлемі (бетінің ауданы) ауаны айдау немесе шығару арқылы өзгереді. Мысалы, желдің жоғары жылдамдығы кезінде желкенділікті азайту керек. Ол үшін желкеннен ауа шығады және желкеннің беткі ауданы азаяды. Керісінше, желдің төмен жылдамдығы кезінде желкенге ауаны айдау және желкеннің беткі аймағын ұлғайту арқылы артады. Осылайша, басқарылатын желкенділігі бар таңдалған желкен жел энергиясын түсіру тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Осыған байланысты диссертацияда желкеннің пішіні мен формасын таңдауды негіздеу мәселесі одан әрі шешіледі.

Мачта-2 (сурет 2.1) желкендерге әсер ететін аэродинамикалық жүктемелерді қабылдайтын көтергіш конструкция болып табылады. Діңгектің ұзындығы 10 м-ден асуы керек, жеңіл және берік материалдан жасалуы тиіс. ЖЭС-те парус ауа массасының кинетикалық энергиясын алады және желдің бағыты мен жылдамдығына байланысты қозғалыстар жасайды. Сонымен қатар, желдің бағыты, сондай-ақ оның жылдамдығы қысқа уақыт аралығында айтарлықтай шамаларға өзгеруі мүмкін. Сондықтан жұмыс органының қозғалысы (ЖО), яғни желкендер, діңгектер және жоғарғы платформа-3 манипулятор алты еркіндік дәрежесімен кеңістікте қозғалады. Осыған байланысты ЖО кеңістіктік қозғалысын "ұйымдастырылған" механикалық қозғалысқа айналдыру үшін жел энергиясының бастапқы түрлендіргіші ретінде алты жылжымалы параллель SHOLKOR манипуляторы қолданылады.

Манипулятор түрлендіргіші (МТ) жел энергиясын цилиндрлерге қатысты алты өзектің-5 прогрессивті қозғалыстарының механикалық энергиясына айналдырады-6. МТ ретінде параллельді манипуляторды қолдану себебі, SHOLKOR манипуляторы келесідей артықшылықтарға ие:

- Барлық алты актуатор бір-біріне тәуелсіз қозғала алады. Мысалы, бір актуатордың ұзындығын басқа актуаторлардың ұзындығын өзгертпей жылжытуға және өзгертуге болады.

- Белгілі бір актуаторлар жиынтығының ұзындығын белгілі бір жолмен жылжыту және өзгерту арқылы сіз жылжымалы платформаның кез-келген қажетті кеңістіктік орнын немесе оның төменгі жағына қатысты қарапайым қозғалысын ала аласыз.

- Жылжымалы платформаның әр кеңістіктегі орналасуы актуаторлардың белгілі бір ұзындығына сәйкес келеді. Осыдан жылжымалы платформаны жылжытуға болады-2 (сурет 2.1) бұл ретте актуаторлардың ұзындығы бір мәнді өзгереді.

Сондай-ақ, кинематиканы талдаудан SHOLKOR параллель манипуляторында кинематиканың тікелей және кері мәселесі біржақты шешілетіні белгілі. Демпферлік жүйе таңдалған қаттылықтың 7 серіппелерінен тұрады (төменде көрсетілген). ДЖ желдің әсерінен ауытқудан кейінгі ЖО-ның бастапқы күйіне қайтаруға арналған. Осылайша, ЖО кеңістіктікте циклдік қозғалыстар жасайды. МП актуаторларындағы принципалдық қозғалыстарын одан әрі электр энергиясына түрлендіру үшін сызықтық электр генераторларын қолдануға болады. Бұл тәсіл төменде сипатталған қолданыстағы демонстрациялық модельді жасау кезінде қабылданды. Алайда, сызықтық генераторлар әлі де жетілмеген дизайнға ие, үлкен массаға ие және қымбат, сондықтан жұмыста айналмалы және айналмалы қозғалыстарға аудармалы қозғалыстың механикалық түрлендіргіштерінен тұратын-8 қуатты іріктеу жүйесін пайдалану ұсынылады. ҚЖЖ-сі актуаторлар штоктарының қайтарымды-үдемелі қозғалыстарының энергиясын электр тогын өндіретін-9 электр машинасының роторын айналуына әкелетін энергияға түрлендіреді. Генерациялау және жинақтау жүйесі-9 генераторынан және-10 аккумуляторынан тұрады, тұтынушының-11 желісіне қажетті жеткізу қуатын ұстап тұруға арналған басқару жүйесі бар. Қарастырылып отырған желкенді желкендердің ерекшелігі - бұл автоматты басқару жүйесі (АБЖ). Басқару жүйесі 4 ішкі жүйеден тұрады:

- Желкенділікпен басқару.
- Демпфирлеуді басқару.
- Электрэнергиясын генерациялауды бақылау.
- Штаттан тыс жағдайларда басқару.

Желкендік ЖЭС-ның АБЖ-сі әрі қарай түпкілікті қарастырылады.

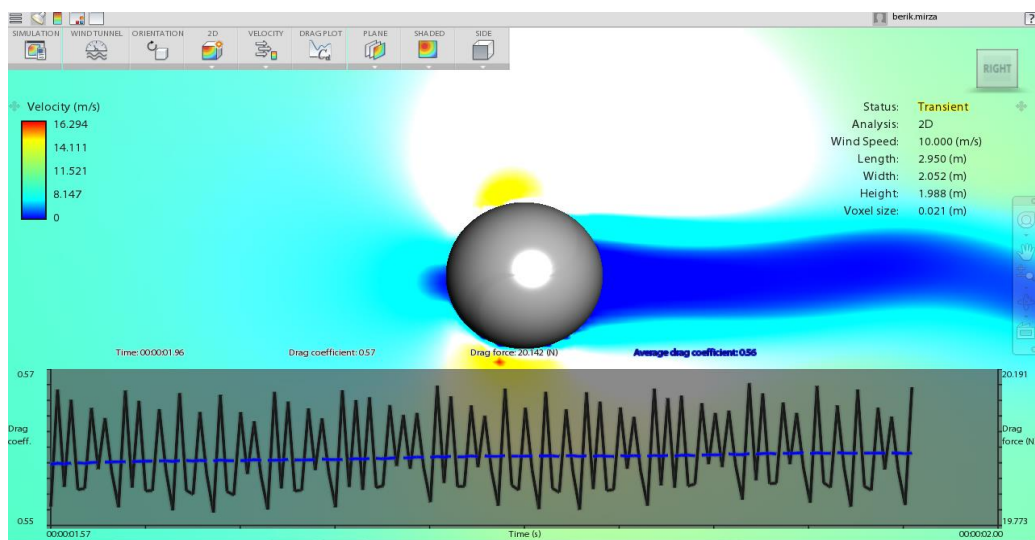
2.2 Түрлі пішіндегі желкендердің аэродинамикалық спектрін компьютерлік модельдеу

Кез-келген ЖЭС-ның тривиальдік мақсаты, ауа массасының кинетикалық энергиясын мүмкіндігінше көп алу және бұл энергияны аз шығынмен электр энергиясына айналдыру.

Кеңінен қолданылатын турбиналық жел электр станциялары ауа массасының кинетикалық энергиясын - қалақтары қабылдайды және көтеру күштерінің әсерінен айналады. Кейіннен турбиналық пышақтардың механикалық беріліс қорабы арқылы айналуы электр генераторларының роторларын айналуға итермелейді. Ауа массасының кинетикалық энергиясын тиімді қабылдау үшін ЖЭС-тің жұмыс органы ауа ағынының жылдамдығы мен күшінің шамасы мен бағытының өзгеруіне сезімтал болуы керек. Бұл талаптарға ұсынылып отырған ЖО-ны қойылған талаптарға жауап бере алады.

Бұл жұмыста, айтылғандай, көлденең қимасындағы аэродинамикалық профилі бар тороидальды пішінді үрлемелі парус ұсынылады, мысалы, серпімді, ауа өткізбейтін берік материалдан, мысалы ультра жоғары модульді полиэтиленнен немесе басқа парашют маталарынан жасалған.

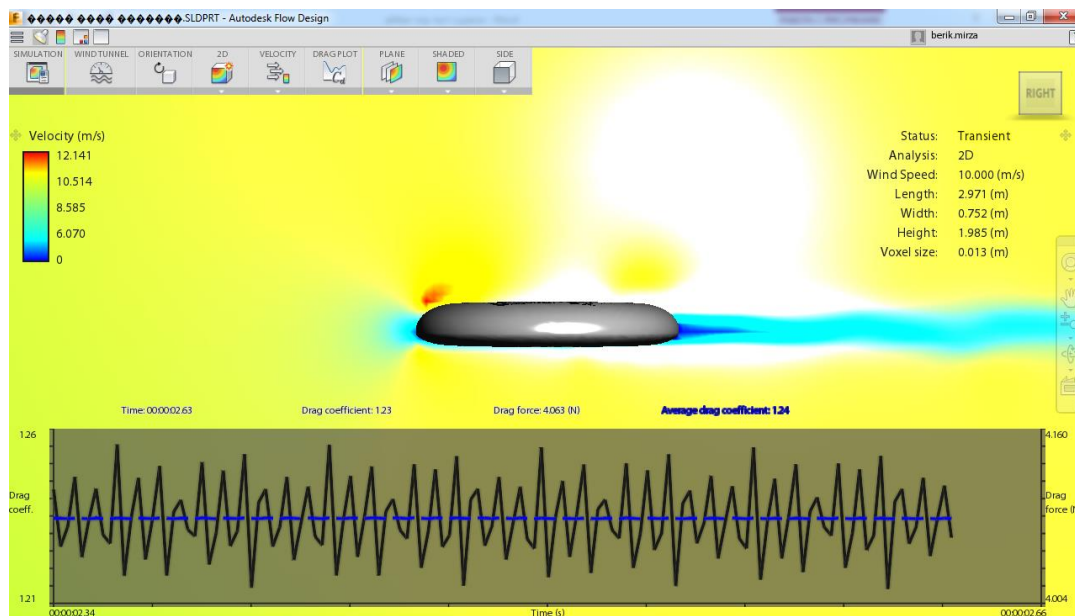
Желкеннің пішінін ақтау үшін, диаметрі $D=400$ мм болатын шардың аэродинамикалық спектрін компьютерлік модельдеу жүргізілді (сурет 2.2а) және тең көлемді тордың (сурет 2.2ә, 2.2б) сәйкесінше тордың айналасындағы ағын және ауа ағыны 10 м/с жылдамдықпен қозғалатын қимасы сәйкесінше көрсетілген. Autodesk Flow Design бағдарламалық қамтамасыздандыруының көмегімен алынған аэродинамикалық спектрлер шар мен тордың беттік кедергі коэффициенттері сәйкесінше $c_s=0.44$ және $c_t=1.24$ екенін көрсетті. Ағынның табиғаты бойынша тор мен шардың жоғарғы бетінде реактивті жылдамдығы жоғарылаған 2 бөлім бар екенін көруге болады. Сонымен қатар, тордың жоғарғы бетіндегі ағынның жылдамдығы допқа қарағанда үлкен.



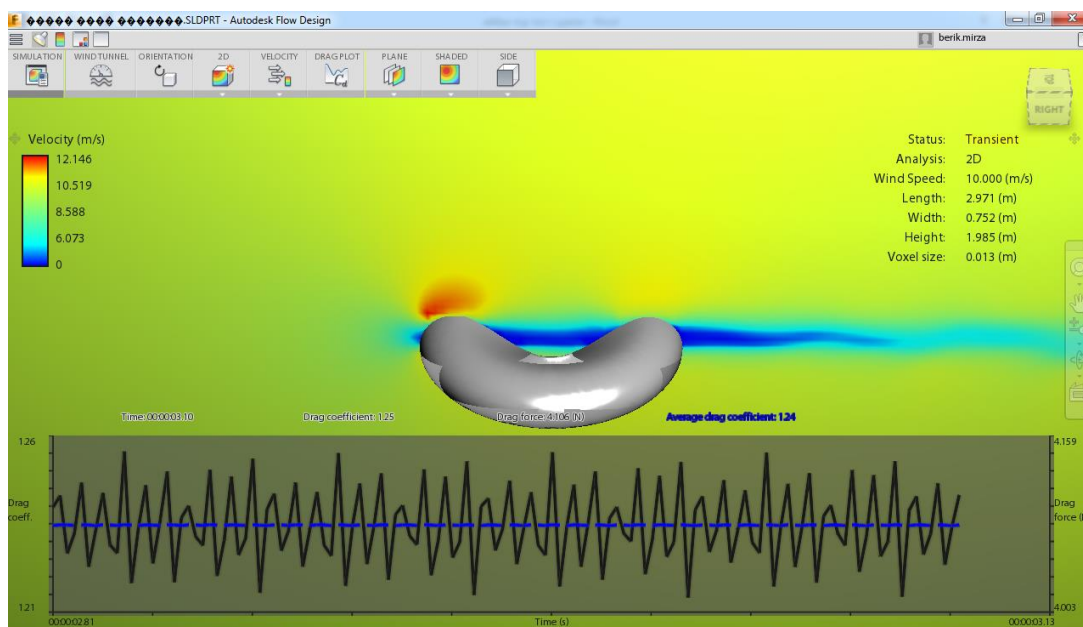
а

а – шардың аэродинамикалық спектрін компьютерлік модельдеу

Сурет 2.2 – Парустардың аэродинамикалық спектрі, парақ 1



а



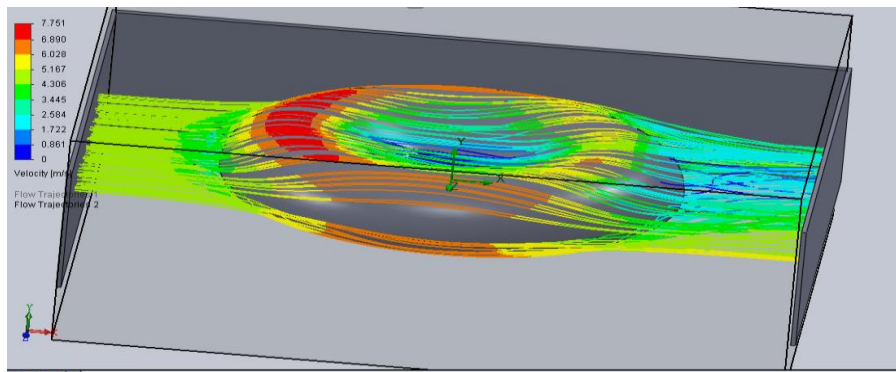
б

а - желкеннің аэродинамикалық спектрін компьютерлік модельдеу; б – желкеннің көлденен қимасының аэродинамикалық спектрін компьютерлік модельдеу

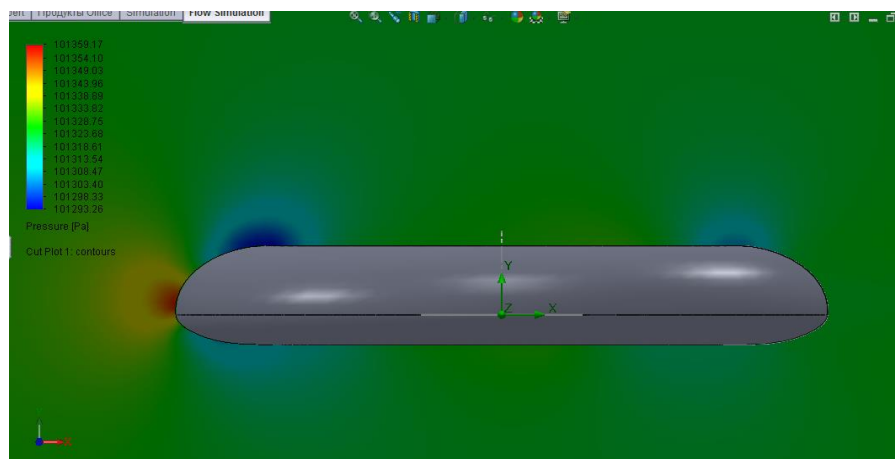
Сурет 2.2 – Парустардың аэродинамикалық спектрі, парақ 2

Алынған аэродинамикалық спектрлерге сүйене отырып, тороидтық паруска бір уақытта тарту және көтеру күштері әсер етеді деген қорытынды жасауға болады, және бұл күштер шамада шарға әсер ететін аэродинамикалық күштерден асып түседі. Бұдан тор тәрізді желкен аэродинамикалық сипаттамалары бойынша шар тәрізді желкеннен салыстырғанда артық екендігі шығады.

Сонымен қатар, тороидалды желкенді таңдау ауа ағынының шабуылының белгілі бір бұрыштарында үзіліп кетуін қамтамасыз етеді және осылайша ЖО-ге циклдік қозғалыстар жасауға мүмкіндік береді. Мұны растау үшін, желдің жылдамдығы 7 м/с жел күшімен компьютерді үрлеу Solid Work Flow Simulation бағдарламалық жасақтамасы арқылы жүзеге асырылды (сурет 2.3а), бұл желкеннің алдыңғы бөлігіндегі желдің жылдамдығы жоғары екенін көрсетті, бұл ЖО-ның тік позициядан ауытқытатын көтеру күшінің болуын көрсетеді. Желкеннің бетіне қысымды виртуалды үрлеу арқылы зерттеу (сурет 2.3ә) көрсетті, желкеннің фронтальды бөлігінің үстіндегі қысым фронтальды қысымнан төмен екенін, бұл ЖО желдің әсерінен тік позициядан ауытқиды. ЖО ауытқуы кезінде аэродинамикалық спектрді зерттеу үшін, желкенді үрлеу шабуылдың 150 бұрышында жүргізілді, компьютерлік модельдеу нәтижелері көтеру күшінің жоғалып кететінін көрсетеді (сурет 2.3б), ал ауа ағыны желкеннің жоғарғы жағынан үзіледі (сурет 2.3в). Бұл мән-жай туындау себебі желкеннің формасы тороидалды болуында. ЖО-ның бұрышы ауытқығаннан кейін демпферлік жүйенің әсерінен ЖО-ны бастапқы күйіне қайтару үшін жағдайлар жасайды.



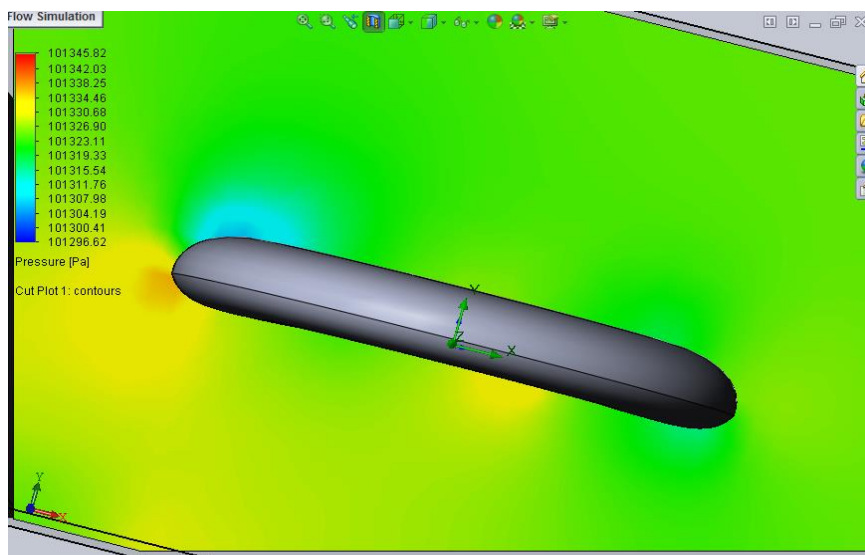
а



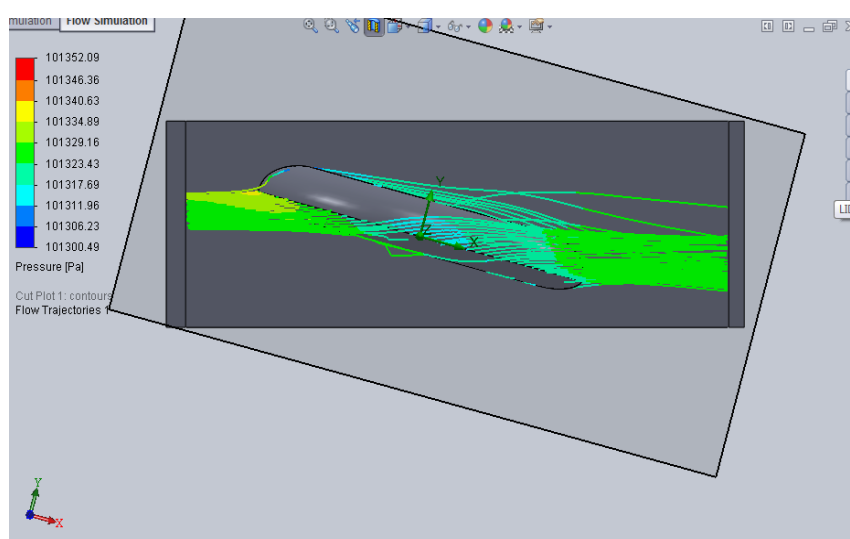
ә

а – ауа ағынының үстінен қарағандағы көрінісі; ә – ал ауа ағыны желкеннен үзілуі

Сурет 2.3 - Solid Work Flow Simulation программасын қолданып желкенді виртуальді үрлеу, парақ 1



б



в

б – желкенді атқылау бұрышы; в – ауа ағынының үзілуі

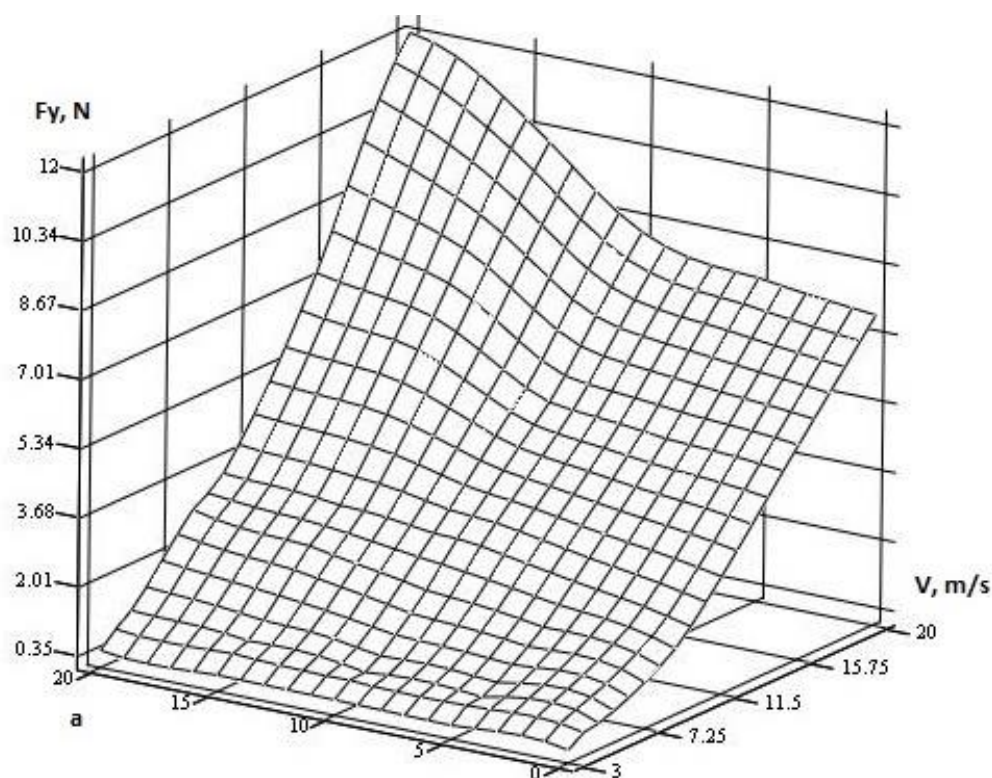
Сурет 2.3 - Solid Work Flow Simulation программасын қолданып желкенді виртуальді үрлеу, парақ 2

2.3 Тороидальды желкендерге әсер ететін аэродинамикалық күштерді эксперименттік зерттеу

Аэродинамикалық профилі бар сызықтық денелердің аэродинамикалық сипаттамалары жеткілікті зерттелген, мысалы, ұшақ құрылысында. Ұшақ қанатының қималарының жиынтығы түзу түрінде генератрицасы бар цилиндрлік пішінді сызықты денені құрайды. Тороидальды паруста түзетін беттер шеңберлерді білдіреді. Қиманың аэродинамикалық бейіні бар тороидальды денелердің аэродинамикалық сипаттамалары зерттелмеген. Осыған байланысты аэродинамикалық қимасы бар профильді аэродинамикалық құбырда эксперименттік зерттеулер өткізілді (Қосымша В). Аэродинамикалық сынақ үшін пеноплекстен тороидальды парустың үш моделі жасалды, келесі

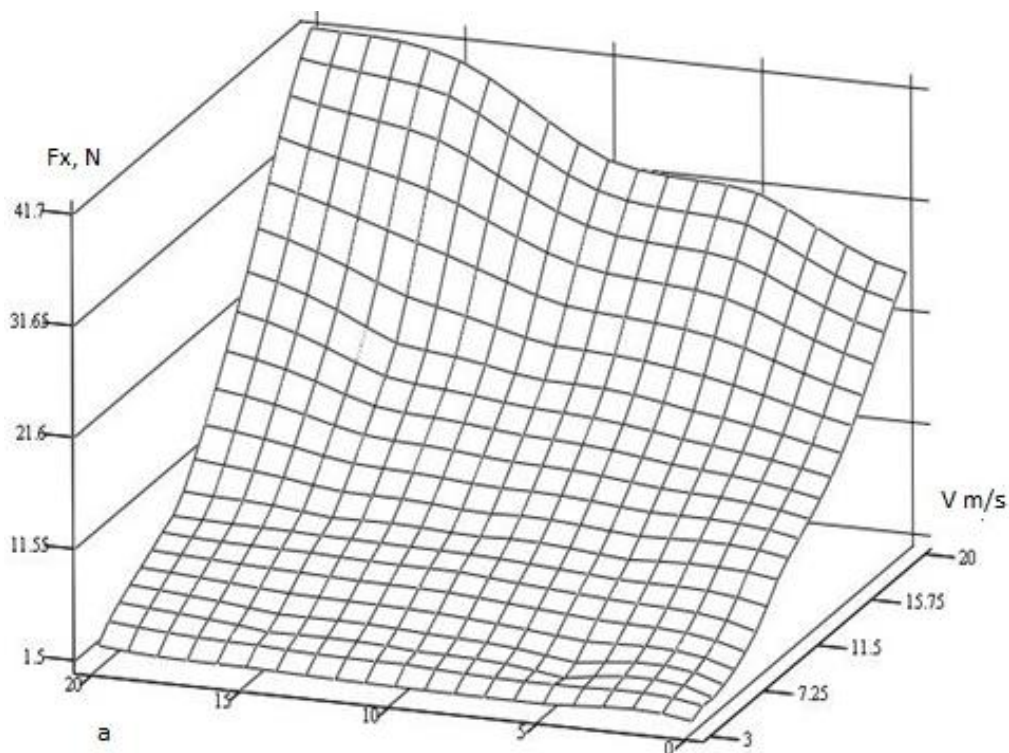
өлшемдермен: сыртқы диаметрі $D_1=500$ мм, $D_2=450$ мм, $D_3=400$ мм; ішкі диаметрі $d_1=126$ мм, $d_2=112$ мм, $d_3=100$ мм; биіктігі $h_1=70$ мм, $h_2=64$ мм, $h_3=56$ мм. Барлық торлардың көлденең қимасы NASA - 2210 аэродинамикалық бейініне сәйкес келеді [74]. Эксперимент барысында тороидальды желкендердің үш өлшемі үшін желдің жылдамдығы мен шабуыл бұрышының әртүрлі мәндеріндегі көтеру мен қарсылық күштері анықталды. Бұл жағдайда желдің жылдамдығы 3-тен 20 м/с-қа дейін, ал шабуылдың бұрышы 0° -тан 20° -қа дейін өзгерді. Өңделген деректер бойынша (Т. 1.2) барлық үш өлшем үшін графиктер салынды және заңдылықтар анықталды.

Диаметрі 40 см болатын қиманың фронтальды кедергісінің жел жылдамдығына қатысты сипаттамасы сурет 2.4 көрсетілген.



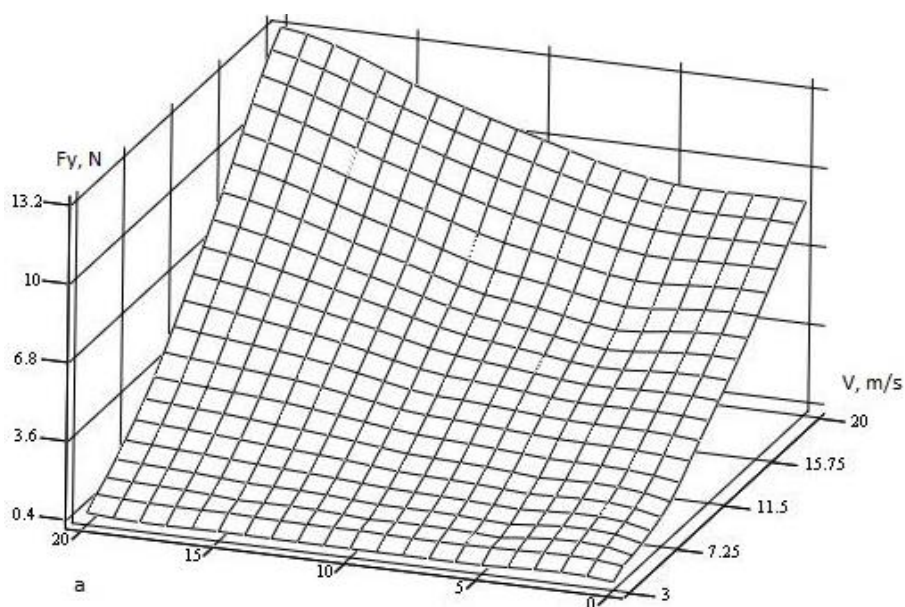
Сурет 2.4 - Диаметрі 40 см желкендерге арналған жел жылдамдығы мен шабуыл бұрышына фронтальды кедергінің тәуелділік графигі

Диаметрі 40 см болатын қиманың көтеру күшінің жел жылдамдығына қатысты сипаттамасы сурет 2.5 көрсетілген.



Сурет 2.5 - 45 см диаметрлі желкендерге арналған көтеру күшінің желдің жылдамдығы мен шабуыл бұрышына тәуелділік графигі

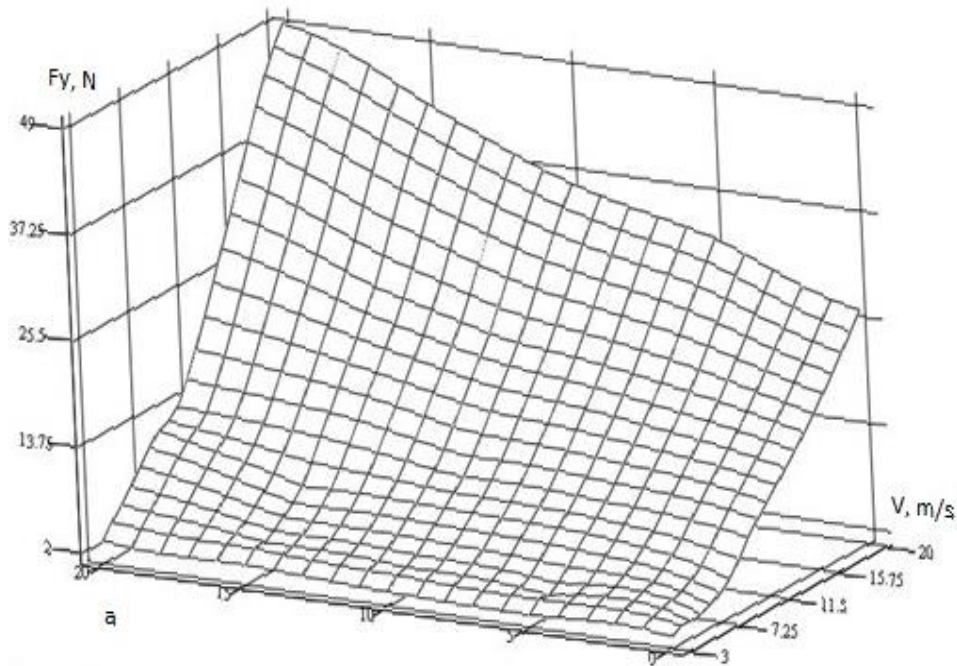
Диаметрі 45 см болатын қиманың фронтальды кедергісінің жел жылдамдығына қатысты сипаттамасы сурет 2.6 көрсетілген.



Сурет 2.6 - Диаметрі 45 см желкендерге арналған жел жылдамдығы мен шабуыл бұрышының маңдай кедергісінің тәуелділік графигі

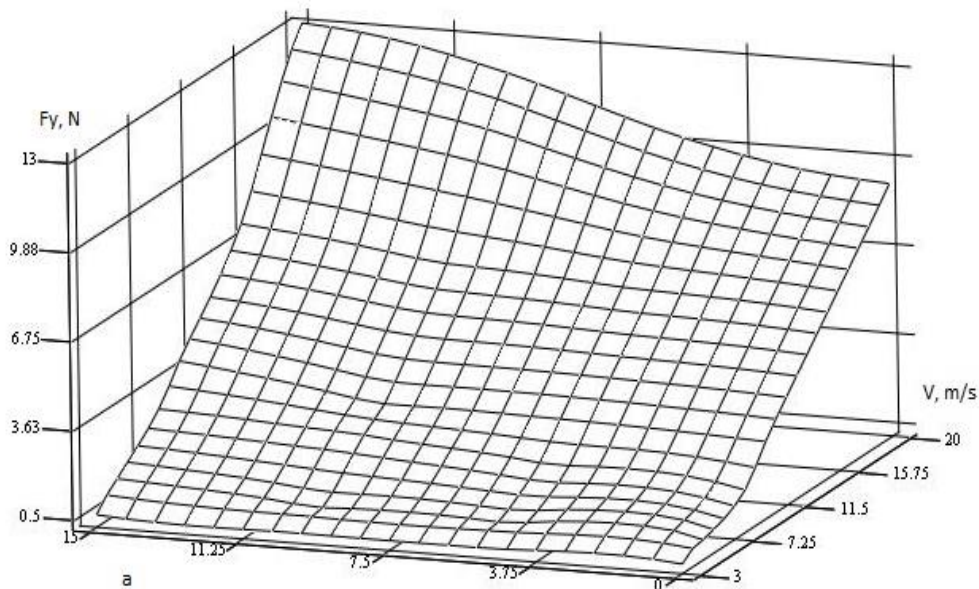
Диаметрі 50 см болатын қиманың көтеру күшінің жел жылдамдығына

қатысты сипаттамасы сурет 2.7 көрсетілген.



Сурет 2.7 - Көтеру күшінің жел жылдамдығына және 50 см диаметрлі желкен үшін шабуыл бұрышына тәуелділік графигі

Диаметрі 50 см болатын желкеннің жел жылдамдығы мен шабуыл бұрышынан фронтальды кедергінің тәуелділік графигі сурет 2.8 көрсетілген.



Сурет 2.8 - Диаметрi 50 см желкендерге арналған жел жылдамдығы мен шабуыл бұрышынан фронтальды кедергінің тәуелділік графигі

Компьютерлік модельдеу мен эксперименттердің нәтижелері бойынша келесі қорытынды жасауға болады: тороидальды желкенді ауа ағынымен ағу

кезінде фронтальды қарсылық күштері мен көтеру күштері пайда болады; көтеру күштері фронтальды қарсыласу күштерінен үлкен; аэродинамикалық күштер шабуыл жылдамдығы мен бұрышының жоғарылауымен жоғарылайды; желкендердің геометриялық өлшемдерінің ұлғаюымен аэродинамикалық күштер артады; желдің төмен жылдамдығында аэродинамикалық күштерге шабуыл бұрышының әсері шамалы.

2.4 Демонстрациялық модель мысалында ЖЭҚ-ның желкендердің құрылғысы мен жұмыс істеу принципін сипаттау

Желкенді ЖЭС-тің функционалдық мүмкіндіктерін растау үшін ЖЭС-тің қолданыстағы моделі жасалды, сурет 1.9-да манипулятор келтірілген, ол жұмыста ұсынылған ЖЭС-тен ерекшеленеді [52, б. 1], өйткені желкендердің саны өзгеруі мүмкін. Мұнда 1 параллель SHOLKOR манипуляторының бекітілген платформасы 2 алты актуатор арқылы 3 жоғарғы платформасына қосылған. 3-актуаторлардың шток-цилиндрі қосылысының әрбір штокына электр тогын генерациялайтын 4 сызықтық электр генераторының роторы қосылады, микроамперметрлер блогында 7 тіркелген. Манипулятордың жоғарғы платформасы 2 тороидальді желкендермен 5 мачтасы 6 арқылы тығыз байланысқан. Фронтальды қарсылық пен көтеру күшінің әсерінен парус желдің бағыты мен жылдамдығына байланысты кеңістіктікте циклдік қозғалыстар жасайды. Бұрандалы серіппелер түрінде серпімді элементтер өзек цилиндріне орнатылады (төменде көрсетілген). Осылайша, манипулятор қосымша Белсенді демпферлік құрылғы рөлін атқарады. ЖО аэродинамикалық күштердің әсерінен қозғалады және демпферлік күштердің әсерінен бастапқы күйіне оралады. Қолданыстағы модельді сынау (Т 2.1) тор түріндегі желкеннің пішіні ЖО-ның циклдік қозғалысына ықпал ететінін көрсетті, желкендер санының көбеюі әр желкеннің өлшемін азайтуға мүмкіндік береді. Желдің екпіні кезінде желкендері бар мачта белгілі бір бұрышқа ауытқығанда желкеннен ауа ағынының үзілуі орын алған. Нәтижесінде ауа ағынының әсері азаяды және ЖО параллель манипулятордың демпферлік күштерінің әсерінен бастапқы күйіне оралды. Қолданыстағы демонстрациялық модельдің көмегімен жаңа желкенді ЖЭҚ қолданыстағы турбиналық ЖЭС-тен ерекшеленетіні айқындалды:

- екеуінде де циклдік қозғалатын ЖО бар, онда желкеннің ауа бетінің ауданы автоматты түрде өзгереді. Осының арқасында ЖЭС желдің жылдамдығы 2.5 м/с-тан дауылға дейінгі жылдамдықта электр энергиясын өндіреді;

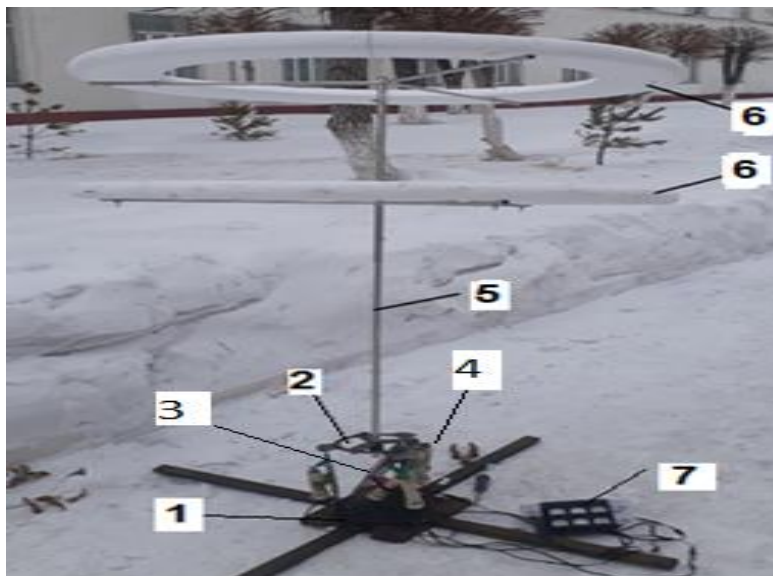
- желдің әсерінен ЖО қозғалысын "ұйымдастырылған" механикалық қозғалысқа айналдыру үшін алты жылжымалы параллель SHOLKOR манипуляторы қолданылады, бұл жел бағытына қарамастан ЖЭҚ-на жұмыс істеуге мүмкіндік береді;

- параллель манипулятор бір уақытта белсенді;

- кеңістіктік демпфер болып табылады, демпфер ЖО-ның циклдік қозғалысын қамтамасыз ету мақсатында желдің жылдамдығына байланысты демпфер автоматты түрде басқарылады.

Тербелмелі жұмыс органы бар ЖЭС-ның демонстрациялық моделі

төменде сурет 2.9-да көрсетілген.



1 - қозғалмайтын платформа; 2 – жоғарғы платформа; 3 - актуаторлар; 4 – сызықты генератор; 5 - мачта; 6-желкен; 7 – амперметрлер блогы.

Сурет 2.9 - Тербелмелі жұмыс органы бар ЖЭС-ның демонстрациялық моделі

2.5 2-бөлім бойынша қорытындылар

1. Автоматты түрде басқарылатын желкенді желкенді желінің құрылымы прототиптен ерекшеленеді: үрленетін желкен; манипуляторлық түрлендіргішпен біріктірілген демпферлік жүйе; қуатты іріктеу жүйесі; электр энергиясын генерациялау және жинақтау жүйесі.

2. Autodesk Flow Design бағдарламасын қолдана отырып, түрлі пішіндегі желкендердің аэродинамикалық спектрін компьютерлік модельдеу желкендердің тороидалды түрін таңдауды негіздеуге мүмкіндік берді.

3. Solid Work Flow Simulation бағдарламасын қолдана отырып, тороидалды пішінді желкендерді әртүрлі жел жылдамдығында виртуалды үрлеу желкен қимасының аэродинамикалық профилінің артықшылығын көрсетті, сондай-ақ, ЖО-ны 150-ке тік позициядан ауытқыған кезде ауа ағынының үзілуі орын алады.

4. Үрлеудің әртүрлі бұрыштары кезінде аэродинамикалық құбырда жүргізілген үш геометриялық өлшемдегі желкендерді эксперименттік зерттеу нәтижесінде эксперименттік деректер алынды, оларды өңдеу нәтижесінде аэродинамикалық күштерді өзгеру графигі құрылды.

5. Аэродинамикалық профильді тороидалды формалы желкені бар ЖЭҚ-ның демонстрациялық моделі құрылды.

6. Нақты жағдайларда қолданыстағы модельді сынау нәтижелерінде, сызықтық генераторларда желкенге әсер еткен жел әсерінен тоқ өндірілді, ол микроамперметр арқылы өлшенген.

3 ЖЕЛКЕНДІ ЖЕЛ ЭЛЕКТР СТАНЦИЯСЫНЫҢ ДИНАМИКАЛЫҚ МОДЕЛІ

3.1 ЖЭС-тің жұмыс органын динамикалық талдау

Динамикалық ЖО моделін құрастыру кезінде желкен қатты дене ретінде қабылданады. Желкен бетінің ауданының максималды шамасы ЖЭС үшін талап етілетін N қуаты бойынша орнатылады [75];

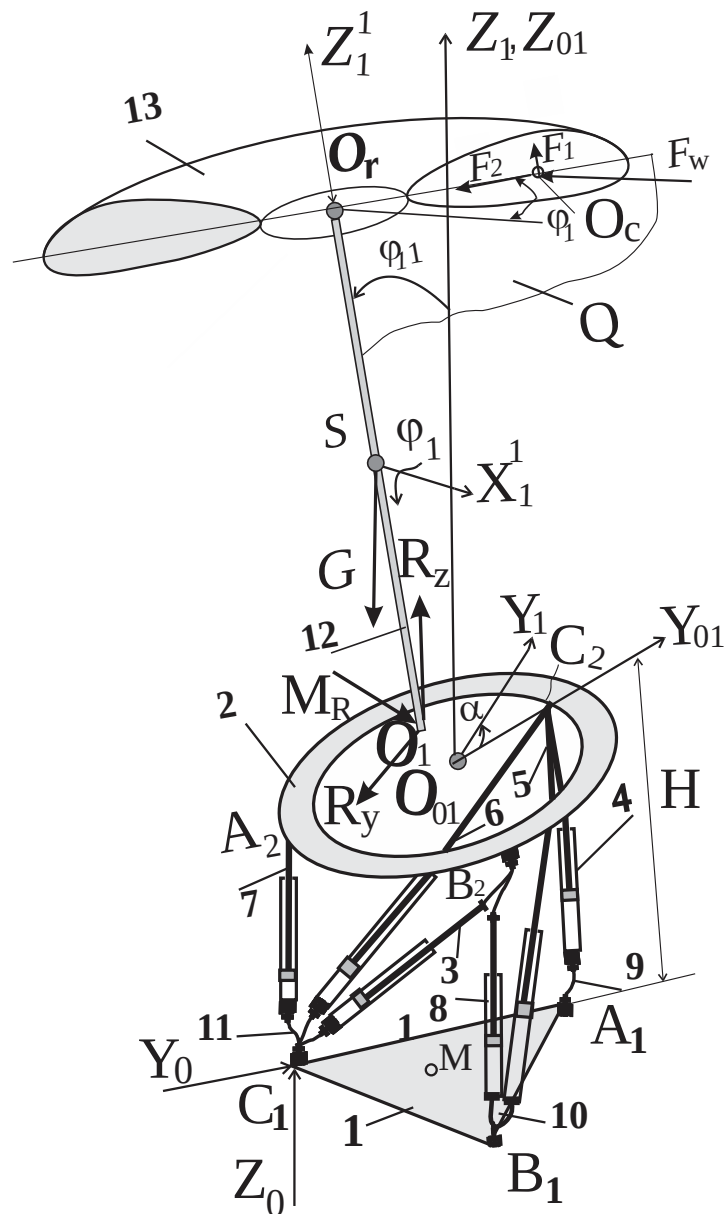
$$S = \frac{2N}{\eta \cdot \rho \cdot v_w^3}, \quad (3.1)$$

мұнда ρ - ауаның тығыздығы.

Алдын ала есептеу $v_w=2,5$ м/с-қа тең желдің минималды жылдамдығы бойынша жүргізіледі. Пайдалы әсер коэффициенті шамамен $\eta=0.5$ шамасына тең деп қабылданады. Егер желкендердің өлшемдері қолайсыз үлкен болса, онда олардың беттерінің ауданы қажетті мәнге сәйкес келетін етіп бірнеше желкендер таңдалады. Жұмыста [52, б.1-2] желкеннің тороидалды формасы діңгекті $\beta \pm 10$ бұрышқа еңкейткен кезде ауа ағынының үзілуін қамтамасыз ететіні анықталды. Мұнда бұрын қалыптасқан динамикалық модель [52, б.2] жұмыста ұсынылған динамикалық модельге ұқсас күй теңдеулерін қолдану арқылы жетілдірілген [76]. Сызықтық модельден кейін алынған динамикалық модель басқарылатын демпфирлік күштерді анықтау үшін манипуляторға әсер ететін күштерді алуға мүмкіндік береді. Алдағы уақытта желдің әсерінен ЖО қозғалысы тік жүріс ретінде, ал демпфирлік күштердің әсерінен қозғалыс кері жүріс ретінде алынады. ЖЭС параметрлері мен басқарылатын демпфирлік күштерді есептеу ЖО діңгегінің тік және кері жүріс кезінде вертикалды жағдайдан ауытқуы β бұрышынан аспайтындай шартқа сүйене отырып жүргізіледі. Сурет 3.1-де икемді тростық қосылыстар арқылы актуаторлармен қосылған 4-8 манипулятордың төменгі 1 және жоғарғы 2 платформасынан тұратын ЖЭС есептік схемасы көрсетілген: 9 – екі буыннан; 10 - үш буыннан; 11 - төрт буыннан тұрады. 12 мачтасы 13 желкенді 2 манипулятордың жоғарғы платформасына қатты қосады. ЖО динамикасын талдау үшін бірнеше координаттар жүйесі қабылданды. $C_1X_0Y_0Z_0$ қозғалыссыз координаттар жүйесі 1 манипулятордың қозғалыссыз платформасымен байланысты, C_1Z_0 осі вертикалды жоғары бағытталған, ал C_1Y_0 осі C_1A_1 қабырғасы бойымен бағытталған. $O_{01}X_{01}Y_{01}Z_{01}$ қосалқы қозғалыссыз жүйесінің басталуы O_{01} бастапқы позициясындағы жылжымалы платформаның центрімен сәйкес келеді. $O_{01}Z_1$ осі C_1Z_0 осіне параллель.

Математикалық модельді құрастыру үшін ЖО-ның қозғалысы $O_{10}Y_1Z_1$ жазықтығымен сәйкес келетін Q (сурет 3.1) жазықтығында болады деп қабылданған, ол осьте сәйкесінше жел күшінің нәтижелік векторы F_w және ЖО-ның діңгектерінің осі O_1O орналасқан. Желдің құраушы вертикальды F_1 және горизонтальды F_2 күштері, G ауырлық күштері Q жазықтығында әсер етеді және $O_{10}Y_1Z_1$ жазықтығында ЖО-ның жазық қозғалысын туындатады. $O_{10}Y_1Z_1$

жазықтығының орналасуы желдің бағытына тәуелді және C_1Y_0 мен $O_{01}Y_{01}$ осьтерінің арасындағы α бұрышымен анықталады.



Сурет 3.1 - ЖЭС есептік сызбасы

Математикалық модельді құрастыру үшін ЖО-ның қозғалысы $O_{10}Y_1Z_1$ жазықтығымен сәйкес келетін Q (сурет 3.1) жазықтығында болады деп қабылданған, ол осьте сәйкесінше жел күшінің нәтижелік векторы F_w және ЖО-ның дінгектерінің осі O_1O орналасқан. Желдің құраушы вертикальды F_1 және горизонтальды F_2 күштері, G ауырлық күштері Q жазықтығында әсер етеді және $O_{10}Y_1Z_1$ жазықтығында ЖО-ның жазық қозғалысын туындатады. $O_{10}Y_1Z_1$ жазықтығының орналасуы желдің бағытына тәуелді және C_1Y_0 мен $O_{01}Y_{01}$ осьтерінің арасындағы α бұрышымен анықталады. Жазық параллелді қозғалыс кезінде ЖО $O_{10}Y_1Z_1$ жазықтығында SX_1^1 осін айналып қозғалады және $O_{01}X_1$ осіне параллель болады. Жұмыс органының массалар центрі S O_1Z_1 осінде $O_1S = L_s$

қашықтығында орналасады. ЖО-ның математикалық моделін құрастыру барысында бұл моделді алдағы уақытта параллелді манипуляторда демпфирлеуші күштерді анықтауға пайдаланатыны ескеріледі. Соған сәйкес динамика теңдеулері күй теңдеулері түрінде келтірілген. Күй параметрлері ретінде $\mathbf{X}_1 = [X_{11} \ X_{12} \ X_{13}]^T = [y_s \ z_s \ \varphi_1]^T$ және $\mathbf{X}_2 = [X_{21} \ X_{22} \ X_{23}]^T = [\dot{y}_s \ \dot{z}_s \ \omega_1]^T$ жылдамдық векторлары қабылданған, мұндағы (y_s, z_s) – масса центрінің координаттары. Тік жүріс кезінде динамиканың матрицалық теңдеуі келесі түрде болады:

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{X}}_1 &= \mathbf{X}_2, \\ \dot{\mathbf{X}}_2 &= \mathbf{M}^{-1}[\mathbf{D}(\mathbf{X}_1) \frac{1}{2} \rho S_p v_w^2 - \mathbf{F}(\mathbf{X}_1)]. \end{aligned} \quad (3.2)$$

мұнда v_w – жүктеме кезінде жел жылдамдығының математикалық кідірісі;

S_p – тороидалды желкеннің (желкендердің) бетінің ауданы;

ρ – ауаның тығыздығы;

$\mathbf{M}^{-1}$ (3x3) – инерцияның кері матрицасы келесі мәнге тең:

$$\mathbf{M}^{-1} = \begin{pmatrix} 1/m & 0 & 0 \\ 0 & 1/m & 0 \\ 0 & 0 & 1/J_{sx} \end{pmatrix}. \quad (3.3)$$

Желдің әсерінен жалпылама күштің коэффициенті $\mathbf{D}$ (3x1) матрицасымен анықталады

$$\mathbf{D} = \begin{pmatrix} c_A \sin(X_{13}) + c_W \cos(X_{13}) \\ c_A \cos(X_{13}) + c_W \sin(X_{13}) \\ c_A \cdot O_r O_c + c_W \cdot O_r O_s \end{pmatrix}, \quad (3.4)$$

мұнда c_A, c_W тұрақтылар – аэродинамикалық профильді желкеннің таңдалынған қимасы үшін сәйкесінше көтеруші күш пен кедергі күшінің тәжірибелік түрде анықталатын коэффициенттері. $\mathbf{F}(\mathbf{X})$ (3x1) – ауырлық күші G , реакция күші R_Y , R_Z және реакция күштерінің моментінен анықталған жалпылама күш, матрица арқылы сипатталады:

$$\mathbf{F}(\mathbf{X}_1) = \begin{pmatrix} R_Y \\ R_Z - G \\ O_1 S(R_Y \cos(X_{13}) + R_Z \sin(X_{13})) + M_R \end{pmatrix}. \quad (3.5)$$

ЖО-ның тік жүрісі $\varphi_1 = \beta$ бұрышы кезінде аяқталады да, $\beta - \varphi_1$ бұрышына кері жүріс басталады, мұндағы $0 \leq \varphi_1 \leq 2\beta$. Кері жүріс демпфирлеуші күштер

әсерінен болады, ал желдің минималды әсері ЖО-ның қозғалысына кедергі келтіреді. Соған орай динамиканың теңдеуі өзгереді: екінші теңдікте (3.2) оң бөлігі (-1)-ге көбейтіледі. Сонымен, қажетті тәуелділіктер қорытындысын тік жүріс үлгісінің негізінде жасаса жеткілікті. Кері жүріс үшін қорытындылар алу қиындық тудырмайды, себебі динамика теңдеулеріндегі айырмашылық үлкен емес. Күй параметрлеріне байланысты реакция күштерін анықтау үшін ыңғайлы болатындай түрге келтіріп екінші теңдеуді (3.2) түрлендіру керек. Кіріс айнымалы параметрлер үшін күй параметрлері алынады, ал шығыс айнымалылары үшін реакция күштері алынады (Қосымша Г). ЖО-ның массалар центрі бастапқы орнында болған кездегі тұрақсыздықты қарастырайық. Бұл орналасу (M) массалар центрінің траекториясының жұмыс нүктесі деп аталады. Массалар центрі жерден қаншалықты жоғары орналасқан сайын жылдамдық соғұрлым артады, себебі жел жылдамдығының градиенті Хеллманның экспоненциалды заңына сәйкес артады [77]. Күй векторының өзгерісі реакция күштерінің өзгерісіне алып келеді, оны (3.3-3.5) теңдіктерінің екінші матрицалық теңдікке (3.2) келтірілуі арқылы төменде көруге болады.

$$\begin{aligned} R_Y = G_1(\mathbf{X}) &= -m\dot{X}_{21} + [c_A \sin(X_{13}) + c_W \cos(X_{13})] \cdot \frac{1}{2} \rho S_P v_W^2, \\ R_Z = G_2(\mathbf{X}) &= -m\dot{X}_{22} + [c_W \sin(X_{13}) + c_A \cos(X_{13})] \cdot \frac{1}{2} \rho S_P v_W^2 - G, \\ M_R = G_3(\mathbf{X}) &= -J_{SX} \dot{X}_{23} + [c_A \cdot O_r O_c + c_W \cdot O_r O_s] \cdot \frac{1}{2} \rho S_P v_W^2 - O_1 S [R_Y \cos(X_{13}) + R_Z \sin(X_{13})] \cdot \frac{1}{2} \end{aligned} \quad (3.6)$$

Жұмыс нүктесінің M жанында массалар центрі үзіліссіз қисық ретінде болатындықтан теңдіктер жүйесін (3.6) шешу үшін жанама аппроксимация әдісін қолданамыз. Бұл жағдайда күй параметрлерінің ауытқуларына сәйкес реакция күштерінің аздаған ауытқулары келесі қатынаспен анықталады:

$$(\Delta R_Y \quad \Delta R_Z \quad \Delta M_R)^T = \mathbf{J}_{36}(G)|_M \cdot (\Delta X_{11} \quad \Delta X_{12} \quad \Delta X_{13} \quad \Delta X_{21} \quad \Delta X_{22} \quad \Delta X_{23})^T, \quad (3.7)$$

мұнда Якобиан жұмыс нүктесінде M келесідей болады:

$$\mathbf{J}_{36}(G)|_M = \begin{pmatrix} \frac{\partial G_1}{\partial X_{11}} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \frac{\partial G_1}{\partial X_{23}} \\ \frac{\partial G_2}{\partial X_{11}} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \frac{\partial G_2}{\partial X_{23}} \\ \frac{\partial G_3}{\partial X_{11}} & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \frac{\partial G_3}{\partial X_{23}} \end{pmatrix} \bigg|_M \quad (3.8)$$

(3.6) теңдеулерінде күй параметрлері (кинетикалық сипаттамалар) ЖО жазық параллелді қозғалыс жасайды деген есеппен ұсынылған.

(3.7) тәуелділіктеріндегі жұмыс нүктесіндегі күй параметрлерінің шамасына қарап жұмыс нүктесіндегі ЖО-ның реакция күшінің құраушылары шамасы анықталады:

$$\begin{aligned} R_{Y0}|_M &= -m\dot{X}_{21} + c_w \cdot \frac{1}{2} \rho S_p v_w^2, \\ R_{Z0}|_M &= -m\dot{X}_{22} + c_A \cdot \frac{1}{2} \rho S_p v_w^2 - G, \\ M_{R0}|_M &= -J_{SX} \dot{X}_{23} + [c_A \cdot O_r O_c + c_w \cdot O_r O_s] \cdot \frac{1}{2} \rho S_p v_w^2 - O_1 S \cdot R_{Y0}|_M. \end{aligned} \quad (3.9)$$

R_Y, R_Z, M_R реакция күштері келесі суммалар түріне келеді:

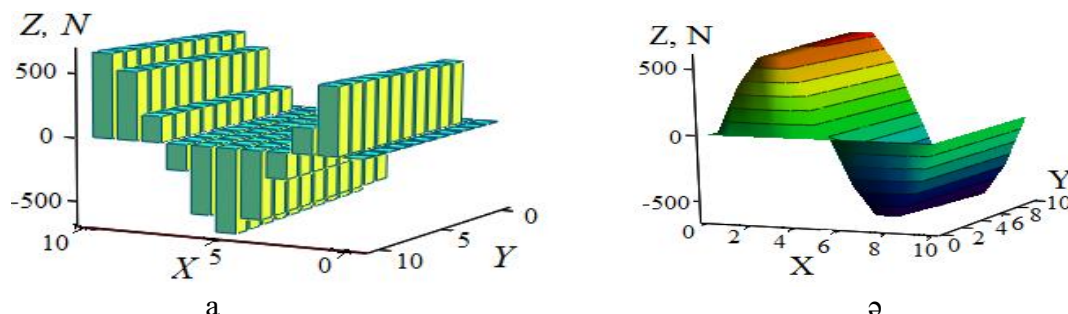
$$\begin{aligned} R_Y &= R_{Y0}|_M + \Delta R_Y, \\ R_Z &= R_{Z0}|_M + \Delta R_Z, \\ M_R &= M_{R0}|_M + \Delta M_R. \end{aligned} \quad (3.10)$$

(3.7-3.10) ескере отырып реакция күштерінің есебі үшін келесідей теңдіктерді аламыз:

$$\begin{aligned} R_Y &= R_{Y0}|_M + [c_A \cos(X_{13}) - c_w \sin(X_{13})] \Delta X_{13} \cdot \frac{1}{2} \rho S_p v_w^2, \\ R_Z &= G_2(\mathbf{X}) = R_{Z0}|_M + [c_w \cos(X_{13}) - c_A \sin(X_{13})] \cdot \Delta X_{13} \cdot \frac{1}{2} \rho S_p v_w^2, \\ M_R &= G_3(\mathbf{X}) = M_{R0}|_M + O_1 S [R_Y \sin(\varphi_1) - R_Z \cos(\varphi_1)] \Delta X_{13}. \end{aligned} \quad (3.11)$$

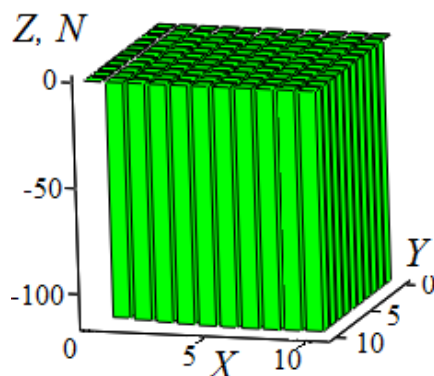
Осы күштер мен реакция күштерінің моменті алдағы уақытта актуаторлар мен серіппелік демпфирлердегі күштерді анықтауға мүмкіндік береді.

Алынған алгоритм негізінде Mathcad-та (Т 3.1) бағдарлама құрастырылды және сурет 3.2-де көрсетілген координаталардың қозғалыссыз осьтеріне реакция күштерінің проекциялары анықталды.

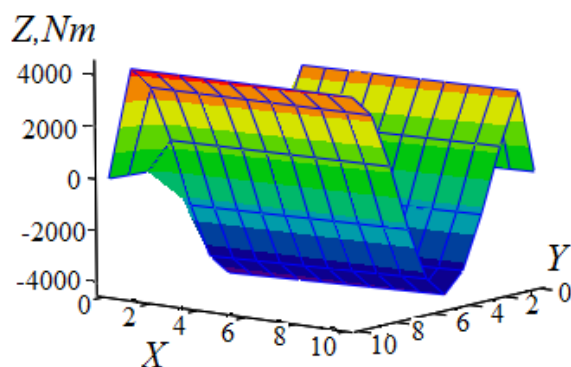


а – реакция күші у осы бойынша; ә – реакция күші х осы бойынша

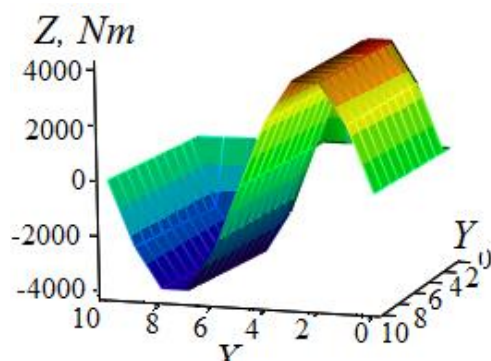
Сурет 3.2 – Желдің бағытына және дінгектің көлбеулік бұрышына сәйкес реакция күш моменттерінің және күштердің қозғалыссыз осьтеріне проекциялардың өзгерісінің графиктері, парақ 1



б



в



г

б – реакция күші z осы бойынша; в – күштер моменті y осы бойынша; г – күштер моменті z осы бойынша

Сурет 3.2 – Желдің бағытына және дінгектің көлбеулік бұрышына сәйкес реакция күш моменттерінің және күштердің қозғалыссыз осьтеріне проекциялардың өзгерісінің графиктері, парақ 2

Алынған алгоритм негізінде Mathcad-та (Т 3.1) бағдарлама құрастырылды және сурет 3.2-де көрсетілген координаталардың қозғалыссыз осьтеріне реакция күштерінің проекциялары анықталды. Бастапқы мәндер ретінде ЖЭС-ның қуаты 1 кВт, дінгектің ұзындығы 10 м, желдің жылдамдығы 3 м/с, ЖО массасы 1290 кг деп қабылданған. Сурет 3.2-де ЖО проекцияларында желдің бағытынан (α) және бұрылу бұрышынан (φ) келесі шамалардың тауелділіктері көрсетілген: R_Y күшінің $O_{01}Y_{01}$ (a) осіне; R_Y күшінің $O_{01}X_{01}$ (b) осіне; R_Z күшінің $O_{01}Z_{01}$ (c) осіне; M_R реакция күштер моментінің $O_{01}X_{01}$ (d) осіне; M_R реакция күштер моментінің $O_{01}Y_{01}$ (e) осіне. Бұл жағдайда X осі бойынша $\pi/10$ тұрақты интервалдар арқылы жел бағытының бұрышы α шегеріледі, Y осі бойынша ЖО-ның бұрылу бұрышы $\varphi = \pi/180$ шегеріледі. Графиктердің талдауынан келесі тұжырымдарды жасауға болады: кері итеруші күш ауырлық күштерінен

реакцияны азайтады (сурет 3.2с); бұрылу бұрышын өзгерту күштерді және реакция күштерінің моменттерін өзгертеді; желдің бағытын өзгерту күштер мен моменттерге әсер етеді; энергияның неғұрлым үлкен бөлігі тербеліс кезінде беріледі (сурет 3.2d, 3.2e). Шынымен де, егер ЖО-ның максималды тербелісі $\omega=0.3 \text{ c}^{-1}$ деп берілген желдің жылдамдығы кезінде болатыны ескерсек, тербеліс арқылы механикалық энергия ретінде реакцияның басқа күштерінің қуаттарын ескермегеннің өзінде шамамен 1290 Вт қуат беріледі деп есептеуге болады. Бұл желкен бетінің ауданын есептеуге берілген қуаттан жоғары (3.1). Бұдан маңызды нәтиже алуға болады: жел энергиясын механикалық энергияға түрлендіру барысында желкенге әсер ететін кері итеруші күш арқылы қосымша энергия алуға болады. Бұл жағдай жел энергиясын түрлендіруде желкенді ЖЭС пайдаланудың артықшылықтарын көрсетеді.

3.2 Желкенді ЖЭС–ның ЖО-ның қозғалысын талдау

Бұл жерде ЖО-ның орналасуы S центрінің $(\Delta y_s, \Delta z_s)$ координаталарымен берілген жағдайда жоғары платформаның A_2, B_2, C_2 түйіндерінің орналасуын анықтау тапсырмасы қойылады. Бастапқы мәндер ретінде төменгі және жоғарғы платформа тең қабырғалы a дұрыс үшбұрыш түрінде берілген деп есептелінеді. Бастапқы орналасу кезінде платформа биіктігі H тең. Кинематиканың тапсырмаларын орындау үшін робототехникада қолданылатын біртекті түрлендіру матрицалары қолданылады [78]. Алдында таңдалынған координаттар жүйесі қолданылады. ЖО-ның қазіргі орналасуы үш жақты қозғалмалы призма SA_2, B_2, C_2 арқылы көрсетілген. Қосалқы қозғалыссыз координата жүйесін таңдау шартына сүйене отырып A_2, B_2, C_2 түйіндерінің координаттары платформаның бастапқы жағдайында радиус векторлармен анықталатыны түсінікті:

$$\begin{aligned} r_{A_2} &= \begin{pmatrix} -a\frac{\sqrt{3}}{6} & -a/2 & 0 & 1 \end{pmatrix}^T, \quad r_{B_2} = \begin{pmatrix} a\frac{\sqrt{3}}{3} & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}^T, \\ r_{C_2} &= \begin{pmatrix} -a\frac{\sqrt{3}}{6} & a/2 & 0 & 1 \end{pmatrix}^T. \end{aligned} \quad (3.12)$$

$O_{01}X_{01}Y_{01}Z_{01}$ жүйесінің $O_{01}Z_{01}$ осінің айналасындағы α бұрышына бұрылысы түрлендірудің біртекті матрицасымен A_1^{01} сипатталады. Ол жағдайда локалды координаттар жүйесіндегі $O_{01}X_1Y_1Z_1$ түйіндер координаты (3.13) келесі теңдікпен анықталады:

$$r_{A_2}^1 = A_1^{01} r_{A_2}, \quad r_{B_2}^1 = A_1^{01} r_{B_2}, \quad r_{C_2}^1 = A_1^{01} r_{C_2}, \quad (3.13)$$

$O_{01}X_1Y_1Z_1$ координаттар жүйесінде жоғарғы платформаның түйіндік нүктелерінің және O_1 центрінің орналасуын анықтау үшін біртекті матрицалар

қолданылады: A_T – қозғалмалы $O_1X_1^1Y_1^1Z_1^1$ жүйесінің $\Delta y_s, \Delta z_s$ шамасына және $O_1Z_1^1$ осінің бойымен L_s шамасына параллелді ауытқуы кезінде түлендірулерді көрсетеді; A_R - SX_1^1 осі айналасында $\Delta\varphi_1^1$ бұрышына; A_L - $S_1Z_1^1$ осі бойымен L_s шамасына параллелді ауысу матрицасы. ЖО-ның аздаған орын ауыстыруы кезінде $O_{01}X_1Y_1Z_1$ координаттар жүйесінде жоғарғы платформаның түйіндік нүктелерінің және O_1 центрінің орналасуын анықтау үшін түрлендіру композиция матрицасы қолданылады:

$$T_1^{11} = A_T \cdot A_R \cdot A_L.$$

Енді $O_{01}X_1Y_1Z_1$ локалды жүйесіндегі O_1 центрінің және түйіндік нүктелердің орналасуын келесі теңдік арқылы табуға болады:

$$r_{A2}^{01} = T_1^{11} r_{A2}^1, \quad r_{B2}^{01} = T_1^{11} r_{B2}^1, \quad r_{C2}^{01} = T_1^{11} r_{C2}^1, \quad r_{O1}^{01} = T_1^{11} (0 \ 0 \ 0 \ 1)^T. \quad (3.14)$$

Ол нүктелердің $C_1X_0Y_0Z_0$ қозғалыссыз жүйесіндегі координаттары (3.14) келесідей:

$$r_{A2}^0 = T_0^1 r_{A2}^{01}, \quad r_{B2}^0 = T_0^1 r_{B2}^{01}, \quad r_{C2}^0 = T_0^1 r_{C2}^{01}, \quad r_{O1}^0 = T_0^1 r_{O1}^{01}, \quad (3.15)$$

мұнда түрлендіру матрицасы:

$$T_0^1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & b\sqrt{3}/2 \\ 0 & 1 & 0 & b/2 \\ 0 & 0 & 1 & H \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Манипулятордың жоғарғы платформасының орналасуының өзгеруі актуаторлардың ұзындығының және реакция күштерінің векторларының бағытының өзгеруіне алып келеді, ол өз кезегінде актуаторлардың жоғарғы платформасына әсерін тигізеді. Осы шамаларды анықтау үшін манипулятор үшін кинематиканың кері есебі есептеледі. Бұл тапсырма [79] бойынша егер жоғарғы қозғалмалы платформаның орналасуы белгілі болған жағдайда түйіндік нүктелердің координаталары (A_2, B_2, C_2) арқылы актуаторлардың орналасуы және ұзындығы анықталады, сәйкесінше актуаторлардың осі бойымен әсер ететін реакция күштерінің бағыты белгілі болады. Үлгі ретінде 6 актуатор (Сурет 3.1) үшін ғана кері тапсырманың шешілуін көрсетейік. (3.15) теңдігінен $C_2(x_{C2}^0 \ y_{C2}^0 \ z_{C2}^0)$ түйінінің координаттары белгілі, $C_1(0 \ 0 \ 0)$ түйінінің координаттары нольге тең. 6 актуатордың ұзындығы келесідей:

$$l_{6t} = \sqrt{(x_{C2}^0)^2 + (y_{C2}^0)^2 + (z_{C2}^0)^2} . \quad (3.16)$$

Қозғалыссыз координат жүйесіндегі 6 актуатор және C_1X_0, C_1Y_0, C_1Z_0 осьтерінің арасындағы $\alpha_6, \beta_6, \gamma_6$ бұрыштары келесі түрде анықталады:

$$\alpha_6 = \arccos(x_{C2}^0 / l_{6t}), \quad \beta_6 = \arccos(y_{C2}^0 / l_{6t}), \quad \gamma_6 = \arccos(z_{C2}^0 / l_{6t}) . \quad (3.17)$$

6 актуатор ұзындығының өзгерісі келесідей:

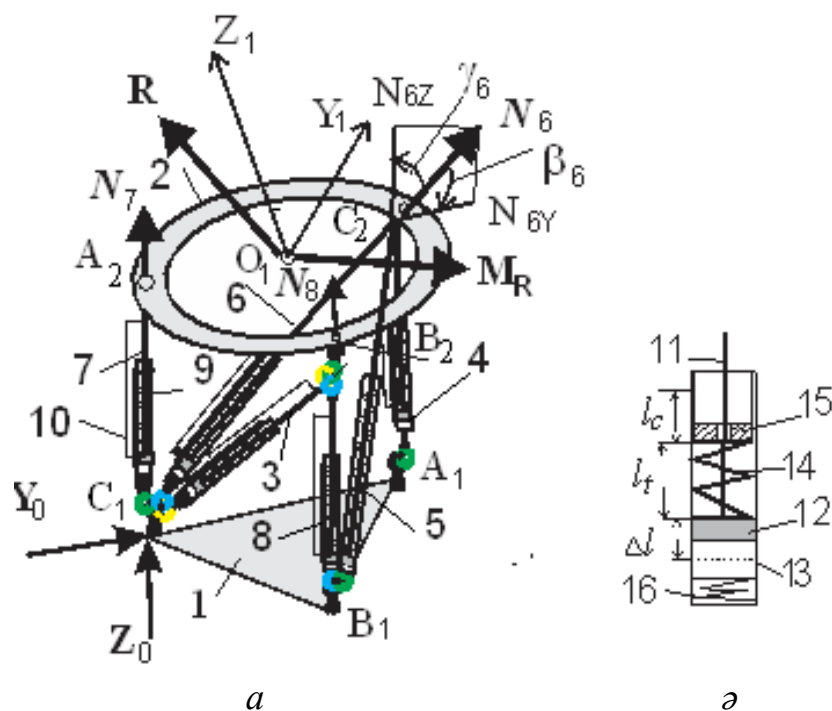
$$\Delta l_6 = l_{6t} - l_6 . \quad (3.18)$$

$\alpha_6, \beta_6, \gamma_6$ бұрыштары белгілі болған жағдайда координаттардық қозғалыссыз осі үшін 6 актуатордың (сурет 3.1) реакция күштерінің проекциялары N_{6x}, N_{6y}, N_{6z} оңай есептелінеді. Басқа актуаторлар үшін ұқсас есептер (3.16-3.18) шығарылады және актуатордың қозғалыссыз координаттар жүйесіндегі ұзындығы мен орналасуы анықталады.

3.3 Параллель манипулятордың демпферлік жүйесін талдау

Сурет 3.3а-да серіппелі демферлі параллелді манипулятордан тұратын кеңістіктік демпфирлеуші жүйе [80] көрсетілген. Бұл жерде қозғалыссыз платформа 1 мен қозғалатын платформа 2 актуаторлармен байланысқан серіппелі алты демпфирмен 3-8 жалғанған. Бұл демпфирлер өзара және платформамен тізбектік жалғанулар арқылы қосылған [71, б. 153] (тростық жалғанулар да болуы мүмкін). Демпфирлерді басқару жүйесінде кері байланысты орнату үшін әрбір (бағыттаушы) цилиндр 9 орын ауыстыру датчигына 10 ие, ол датчик цилиндрға қатысты штоктың орнын анықтайды.

Сурет 3.3а-да алдын ала таңдалған координаттардың қозғалыссыз $C_1X_0Y_0Z_0$ және қозғалмалы $O_1X_1Y_1Z_1$ локалды жүйелері көрсетілген. Демпфирлер жақтан 2 платформаға әсер ететін реакция күштері олардың осьтері бойымен бағытталған. Сызбаны күрделендірмеу үшін N_6, N_7, N_8 реакция күштері тек 6, 7, 8 демпфирлерге ғана көрсетілген. N_6 реакция күшінің мысалы ретінде демпфирдің әрбір осі мен $C_1X_0Y_0Z_0$ жүйесінің әрбір осі арасында пайда болған күштер мен бұрыштардың проекциясы қарастырылған, олар манипулятордың әрбір орналасуы үшін (3.16, 3.17) кері есептерінен белгілі.



а – манипулятордың сызбасы; ә – демпфирдің сызбасы

Сурет 3.3 – Демпфирлеуші жүйе

Әрбір демпфирдің реакция күштері 3 күштен тұрады: актуатор массасы мен үйкеліс күші арқылы туындаған – N_M ; серіппелердің серпімділігі арқылы туындаған – $N_D = kl_d$; серіппелердің керілуінен туындаған – $N_C = kl_c$:

$$N_n = N_{nm} \pm k \cdot \Delta l_n \pm k \cdot l_c (i=3-8). \quad (3.19)$$

Соңғы құраушы ($N_C = kl_c$ күші) көлемі бойынша басқару жүйесі арқылы өзгеріске ұшырайды. Сурет 3.3ә-да 13 бағыттаушы бойымен қозғалатын 12 плунжері бар 11 штоктан тұратын бір демпфирдің сызбасы келтірілген. Демпфирлеу қаттылық коэффициенті (k) бар 14 серіппесі арқылы жүзеге асырылады. Демпфирде серіппе ЖО желдің екпіні әсерінен қозғалғанда қысылады да, кері жүрісте ЖО бастапқы қалпына қайтарады [81]. Серіппенің ұзындығы (сурет 3.3ә) еркін күйде $l = l_c + l_t + \Delta l$, мұндағы l_c - алдын-ала тартылған кезде серіппе ұзындығының бақыланатын өзгерісі; l_t - серіппенің деформацияланбаған бөлігінің ұзындығы; Δl - серіппенің деформация шамасы (3.18).

3.4 ЖЭС энергетикалық талдауы үшін тендеулерді қалыптастыру

ЖЭК қуатын бағалау үшін генерациялау жүйесін жобалау кезінде немесе пайдалану процесінде актуаторлардағы күштер туралы деректер талап етіледі. Цилиндр өзегіндегі күштер мен максималды жүріс демпфирлердің құрылымын таңдауға мүмкіндік береді. Бастапқы деректер ретінде O_1 нүктесінде қолданылатын реакция күшінің негізгі векторы $\vec{R} = \vec{R}_z + \vec{R}_y$ және ЖО

динамикалық талдауы нәтижесінде тәуелділіктер бойынша алынған реакция күштері жұбының векторы $\vec{M}_R$ (3.11) қолданылады. Айта кететін жайт, күш $\vec{R}$ Q жазықтығында орналасқан (сурет 3.1) және күштер жұбының момент векторы $\vec{M}_R$ $O_1Y_1Z_1$ жылжымалы жазықтығына сәйкес келетін Q жазықтығына перпендикуляр бағытталған. Осылайша, желдің берілген бағыты бойынша $\vec{R}$ және $\vec{M}_R$ шамалары белгілі. Шын мәнінде, 2-платформаға актуаторлардың осьтері бойымен бағытталған $N_3, N_4, N_5, N_6, N_7, N_8$ реакция күштері әсер етеді. Естеріңізге сала кетейік, әр позиция үшін осы күштердің әрекет ету сызықтарының бағыттары кинематиканың кері есебін шешу арқылы анықталады. $\vec{R}$ және $\vec{M}_R$ күштері күй параметрлеріне байланысты (3.11) теңдіктерден анықталады. Екінші жағынан, бұл күштер алты актуатордың реакцияларының кеңістіктік күштерін теңестіреді, сондықтан оларды платформаға қолданылатын күштер жүйесінің кинетостатикалық тепе-теңдік теңдеулерінен анықтауға болады:

$$\begin{aligned} \sum_{n=3}^{n=8} N_{nx} + R_x = 0; \quad \sum_{n=3}^{n=8} N_{ny} + R_y = 0; \quad \sum_{n=3}^{n=8} N_{nz} + R_z = 0; \\ \sum_{n=3}^{n=8} M_x(N_n) + M_{Rx} = 0; \quad \sum_{n=3}^{n=8} M_y(N_n) + M_{Ry} = 0; \quad \sum_{n=3}^{n=8} M_z(N_n) = 0. \end{aligned} \quad (3.20)$$

Осылайша, (3.20) теңдеулер жүйесінен ЖО-на әсер ететін $\vec{R}$ және $\vec{M}_R$ күштері арқылы туындаған актуаторлардағы N_i ($i=3, \dots, 8$) анықталады. Реакция күштерінің әрқайсысы күштердің қосындысын білдіреді (3.18). Бұл жағдайда күй параметрлеріне байланысты серіппелердің деформацияларының мәні белгілі. Серіппенің қаттылық коэффициентінің және керілу шамалары қосымша жағдайлардан анықталады, атап айтқанда, серіппелердің серпімділік күштерінің тікелей соққысының соңында демпфирлер сыртқы күштердің әсерін теңестіреді (керіліс нөлге тең). Сонымен қатар, барлық демпферлік серіппелер бірдей қаттылыққа ие, ал ЖО-ның максималды көлбеу бұрышы тұзу кезінде β тең болады деп болжам жасалынады. Серіппелердің сыртқы күштері мен серпімділік күштерінің тең жұмыс жағдайынан серіппелердің қаттылығы анықталады:

$$k = \frac{2 \cdot M_s(F_1, F_2, G) \cdot \beta}{\sum_{i=3}^{i=8} \Delta l_i^2}, \quad (3.21)$$

мұнда $M_s(F_1, F_2, G)$ - массаның центріне β бұрышына айналу кезінде ЖО-на қолданылатын сыртқы күштердің жұмысы;

Δl_i - i -демпфирдің ЖО β бұрышына бұрылу кезіндегі серіппе деформациясы (берілген α бұрышы кезінде манипулятор үшін кинематиканың кері есебінің шешімімен анықталады). Керілістің шамасы кері жүрісте ЖО

$\beta \leq \varphi_1 \leq 2\beta$ бұрышқа бұрылатындай анықталады. Сонымен қатар жұмыс теңдігі шартын негізге алуға болады:

$$M_s(F_1, F_2, G) \cdot \varphi_1 = k \sum_{i=3}^8 [(\Delta l_i / 2 + l_{ic}) \Delta l_1]. \quad (3.22)$$

Уақыттың нақты масштабындағы басқару жүйесінің алгоритмі (3.22) теңдіктен анықталған i -ші демпфирдің l_c серіппесінің керілу шамасын анықтайды. ол кері жүріс кезінде ЖО-ның бастапқы орнына келуі үшін қажет. Осылайша, ЖЭС жұмыс органының циклдік қозғалысы қамтамасыз етіледі.

3.5 3-бөлім бойынша қорытындылар

- Желкенді ЖЭС таңдау және зерттеу үшін күй теңдеулері негізінде математикалық аппарат құрастырылды.
- Берілген қуатпен ЖЭС үшін өткізілген есептеулер желкенге бір уақытта кедергі күшінің және кері итеруші күштің әсер етуіне байланысты желкенді ЖЭС жел энергиясын әлдеқайда тиімді түрде түрлендіретінін көрсетті.
- Математикалық аппаратты қолдану арқылы құрастырылған алгоритм параллелді манипулятордың параметрін таңдауға мүмкіндік беретіні, сондай-ақ серіппенің керілісінің өзгерісі арқылы басқарылатын демпфирлеуші белсенді құрылғыны таңдауға мүмкіндік беретіні көрсетілді.

4 ТЕРБЕЛМЕЛІ ҮРЛЕМЕЛІ ЖЕЛКЕНДЕРІ БАР ЖЕЛ ЭЛЕКТР СТАНЦИЯСЫНЫҢ АВТОМАТТЫ БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІ

4.1 ЖЭС басқару міндеттері

Жаңартылатын энергия көздері экологиялық тұрғыдан перспективалы энергия көздері болып табылады, олар болашақта электр энергиясының басқа көздерімен қатар дәстүрлі көмірсутек шикізаты көздерді ауыстыруға келуге тиіс. Жоғарыда айтылғандай, жаңартылатын энергетикада ең кең таралған турбиналық ЖЭС болып табылады.

Белгілі турбиналық ЖЭС зерттеулері негізінен өзіндік құнын төмендетуге, жел ағынының тұрақсыз сипатына байланысты электр энергиясының өнімділігін арттыруға бағытталған. Осы мәселелерді шешу үшін зерттеушілер өндірілетін энергияға, жел турбиналарының айналу жылдамдығына және сенімділікке байланысты әртүрлі мәселелерді шешу үшін басқарудың әртүрлі инновациялық әдістеріне келді. Басқару жүйесі жел электр жүйесінің әртүрлі бөліктерінде және ішкі жүйелерінде әртүрлі мақсаттарда қолданылады [82]. ЖЭС басқару жүйесі негізінен үш санатқа бөлінеді:

- Ротор қалақтарын тангаж бойынша басқару [83].
- Максималды қуат нүктесін бақылау арқылы басқару [84, 85].
- Генераторды қоректендіру желісі жағынан басқару [86].

Қазіргі заманғы микроэлектроника құралдарының кең арсеналы [87] және жасанды интеллект аппараты [88, 89], робастикалық басқару [90-92] турбиналық ЖЭС басқару жүйелерін жетілдіруге бағытталған.

Турбиналық ЖЭС-те қолданылатын аппараттық, бағдарламалық және басқа да басқару құралдары желкенді ЖЭС-те де пайдаланылуы мүмкін. Алайда, желкенді ЖЭС-тегі басқару жүйесі шешетін міндеттер жоғарыда аталған мәселелерден және оларды турбиналық ЖЭС-ке қатысты шешу әдістерінен түбегейлі айырмашылыққа ие. Бұл айырмашылық жел энергиясын электр энергиясына түрлендіру технологиясындағы және осы технологияны жүзеге асыру үшін қолданылатын техникалық құралдардағы осы ЖЭС-тер арасындағы түбегейлі айырмашылыққа байланысты. Алайда, осы ЖЭС-ке тән бірқатар кемшіліктерге байланысты, қазіргі уақытта айналмалы турбиналары жоқ бір немесе бірнеше желкендері бар желкенді желкендер ұсынылады.

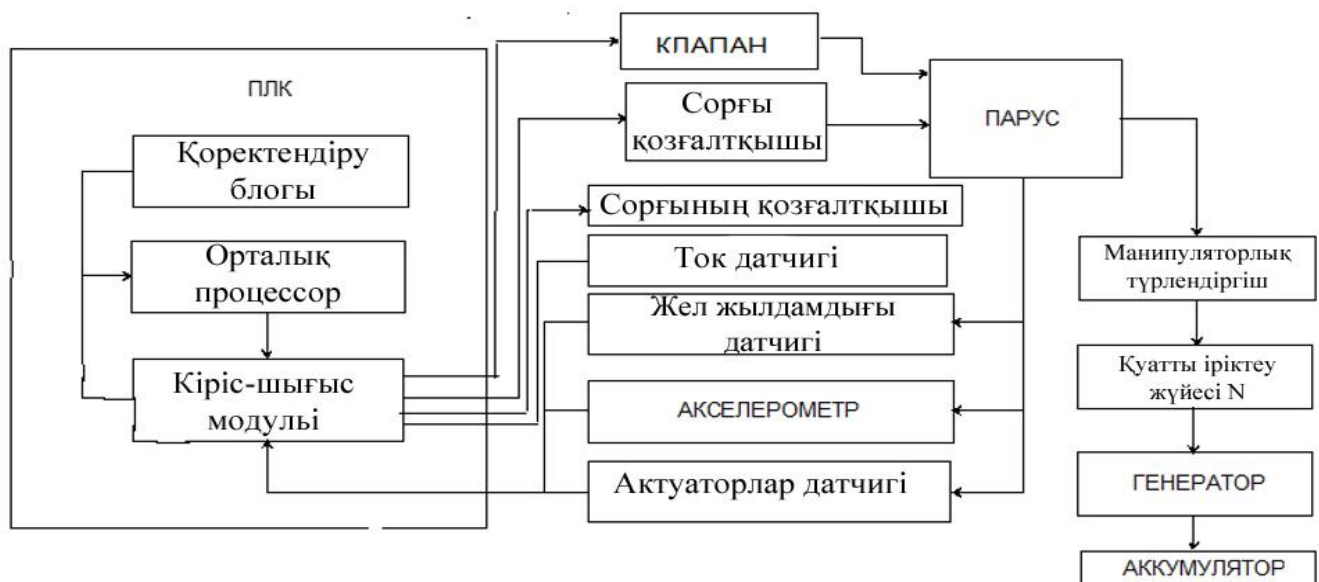
Мұнда міндет-ауа массасының әсер ету сипатына қарамастан, қажетті өнімділікпен тұрақты жұмыс істеу жағдайына сүйене отырып, жұмыста сипатталған желкенді жел электр станциясының автоматты басқару жүйесін құру [72, б. 21-23]. Тапсырманы орындау үшін желкенді, демпфирлеуді басқаруды автоматтандыру міндеттері, сондай-ақ төтенше жағдайлардан қорғау жүйесі шешіледі.

4.2 Жел энергиясын желкенді ЖЭС-ке түрлендіру технологиясын автоматтандыру және қолданылатын техникалық құрылғылар

Желкенді жел электр станциясындағы жел энергиясын түрлендіру технологиясы (Т. 2.1) тороидальды пішінді желкенді көлденең қимада

аэродинамикалық профиль ауа массасының кинетикалық энергиясын ұстап, күш пен қозғалысты алты жылжымалы параллель манипулятордың жоғарғы платформасына береді. Манипулятор бұл энергияны актуаторлардың ауыспалы қозғалыстарының механикалық энергиясына, яғни бағыттаушыларға қатысты алты өзекке айналдырады. Әрі қарай, қуатты таңдау жүйесі арқылы актуаторлардың механикалық энергиясы электр тогының генераторы роторының білігіне беріледі. Манипулятор қосымша белсенді демпферлік құрылғы рөлін атқарады. Жүйе келесідей жұмыс істейді: желдің екпіні кезінде желкенді мачта желдің аэродинамикалық күштерінің әсерінен белгілі бір бұрышқа ауытқиды. Белгілі бір бұрышта (шамамен 100) мачтаның тік күйден ауытқуы кезінде тороидалды желкеннен ауа ағыны үзіледі. Нәтижесінде ауа ағынының әсері азаяды және мачтасы бар парус манипулятордың демпферлік күштерінің әсерінен бастапқы күйіне оралады. Содан кейін цикл қайталанады, яғни желкен алынған жел күшінің әсер ету жазықтығында қозғалады. Параллель манипулятордың мүмкіндіктеріне байланысты желкенді жел турбинасының жұмысы желдің бағытына байланысты емес. Алайда жел электр станциясының жұмысы үшін желдің жылдамдығы мен екпінінің өзгеруі шешуші болып табылады. Желкенді жел 2.5 м/с бастап дауылға дейін жел жылдамдығының өзгеруінің үлкен диапазонында берілген Шығыс қуатымен жұмыс істей алады. Мұндай мүмкіндік ЖЭС конструкциясымен және автоматты басқару жүйесімен қамтамасыз етіледі. Автоматты басқару жүйесі 4 ішкі жүйеден тұрады:

- желкенді басқару;
- демпфирлеуді басқару;
- электр энергиясын өндіруді бақылау;
- штаттан тыс жағдайлар кезінде басқару.

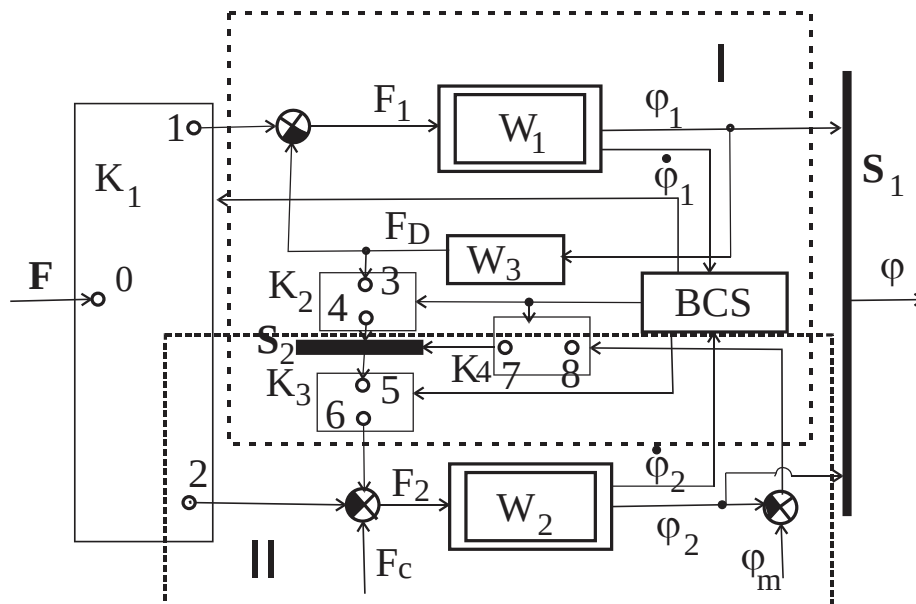


Сурет 4.1 - Автоматты басқарылатын желкенді ЖЭС-тің функционалдық схемасы

Желкенді ЖЭС АБЖ функционалдык схемасы сурет 4.1-де көрсетілген. Схемаға желкенді желкеннен, демпферлік элементтері бар манипуляторлы түрлендіргіштен, қуатты таңдау жүйесінен, генератордан, аккумулятордан және қуат түрлендіргіштерінен тұратын ЖЭС функционалды құрылғылары кіреді (суретте көрсетілмеген). Ақпараттық-өлшеу құрылғыларына PLC, жылдамдық датчиктері (анемометр), үш акселерометр, желкендегі қысым датчигі, генератордың ток датчигі, алты актуаторлардың қозғалыс датчиктері кіреді. Басқарылатын жетектер Шығыс соленоидты клапаннан, пневмонасос жетегінің тұрақты ток қозғалтқышынан, жеке желкендердің сорғылары мен клапандарын қосуға арналған пневматикалық таратқыштан, сондай-ақ демпферлік серіппелердің алдын-ала тартқыш құрылғысының үш қозғалтқышынан тұрады.

4.3 Желкенді ЖЭС-ның автоматты басқару жүйесі

Желкенді автоматты басқару жүйесі бағдарламалық логикалық бақылау және SCAD арқылы басқарылады. Басқару жүйелері (БЖ) [93] ауыспалы құрылымға ие (сурет 4.2) екі конфигурациядан тұрады - I, II, жұмыс органының тура және кері жүрісіне сәйкес келетін, желкеннен, мачтадан және оған қатты байланған манипулятордың жоғарғы платформасынан тұрады. Бірінші конфигурация (тікелей жүріс) K1 негізгі элементімен 0 және 1 контактілерін қосу арқылы қосылады. Сонымен қатар, K2, K3, K4 басқа негізгі элементтері бір уақытта іске қосылады, 3,4 контактілерді жауып, 5,6 және 7,8 контактілерді ашады. БЖ құрылымында I конфигурациясы бойынша бұзушы әсер-желдің импульсті күші F.



Сурет 4.2 - Ауыспалы құрылымы бар ЖО-ның басқару жүйесі

Желдің әсерінен пульстайтын жүктеме екі компоненттен тұрады: біріншісі-желдің төмен жиілікті компонентінен пайда болған квазистатикалық; екіншісі резонанстық жиілікті білдіреді. Есептеулерде ең көп таралған төмен

жиілікті компонент қолданылады. Резонанстық компонент қарастырылмайды, өйткені автоматты басқару жүйесі резонанс құбылысын болдырмайды.

Желдің пульсациясының заңдылығы эксперименттердің нәтижелері бойынша қабылданады, бұл желдің екпінімен сипатталады [94]. Беріліс функциясы (БФ) W_1 болатын сызықты емес объектінің басқарылуының шығыс мәні бұрыштық орын ауыстыру φ_1 мен бұрыштық жылдамдық ω_1 болады. Кері байланысты ПФ W_3 -пен демпферлік байланыс түзеді F_D серпенділік күшін құрады, оның энергиясы сумматор S_2 жиналады. Екінші конфигурациясы II басқару жүйесінің 0 және 2 түйіспелерін K_1 негізгі элементімен қосады, сонымен бірге K_2 , K_3 , K_4 негізгі элементтері, 3,4 контактілері ашылады және 5,6 және 7,8 контактілері жабылады. Бұл конфигурацияда басқару объектісіне ПФ W_2 , F_2 күші әсер етеді:

$$F_2 = F_D + F_C - F$$

мұнда F_D – сығылған серіппенің серпінділік күші (серпінді элементтің);

F_C – басқарушы күш, серіппені алдын ала керу нәтижесінде алынатын;

F – екпіндер болмаған кезде желдің әсерінен қалған пульсирленген жүктеме. Шығу әсері - бұл ЖО-ның қозғалысының параметрлері. РО-ның массасының центрінің жылдамдығы нөлге тең болған кезде кілт іске қосылады және жүйе бірінші конфигурацияны қабылдайды. Желкенді автоматты басқару жүйесін және жел электр станциясын синтездеу кезінде алдын-ала жүктеменің өзгеру заңы анықталады (басқару кезінде), желдің ұйытқушы әсеріне байланысты әр түрлі амплитудасы бар РО тұрақты өздігінен тербелуін қамтамасыз ететін. Жүйенің меншікті тербелістері (өздігінен тербелістер) сипаттамалық теңдеудің конъюгативті тамырлары қиял болған жағдайда пайда болатыны белгілі. Тамырлардың осы жағдайларға сәйкес келуіне және осы мерзімді шешімдердің тұрақты болуына жүйенің өзгермелі параметрлерін таңдау арқылы қол жеткізуге болады, мысалы, желкеннің беткі ауданы, көлденең қимасы мен өлшемдері, демпферлік серіппелердің серпінділігі. Бұл үлкен тербеліс процестерінде тұрақты басқарылатын ЖЭС құрудың нақты мүмкіндігін растайды.

4.4 Желкеннен ауаны шығару электромагниттік клапанының басқару жүйесі

Электромагниттік шығару клапаны (ЭШК) желкенге орнатылады және сығылған ауаны желкеннен сыртқы ортаға шығаруға арналған. ЭШК электромагниттік және механикалық компоненттен тұрады. Электромагниттік компонент үшін келесі сызықтық дифференциалдық теңдеуді операторлық түрінде жазуға болады:

$$RI + LpI = U - k_E px, \quad (4.1)$$

мұнда R-басқару орамасының және басқару көзінің жалпы активті кедергісі;

U - клапанның кіріс кернеуі;

L - басқару орамасының индуктивтілігі;

k_E - қарсы ЭҚК коэффициенті;

x - электромагнит зәкірін жылжыту. Электромагниттің тарту күші анықталады

$$P_M = k_M I, \quad (4.2)$$

мұнда P_M – электромагниттің тарту күші. Электромагниттік клапанның механикалық бөлігі үшін келесі екінші ретті дифференциалдық теңдеуді оператор түрінде жазуға болады:

$$Mp^2x + \mu px + cx = P_M + P_R. \quad (4.3)$$

мұнда M – зәкір массасының және клапанның механикалық бөлігінің жылжымалы элементтерінің келтірілген массасының қосындысы;

μ - ауаның тұтқырлығы;

c - механикалық және магниттік серіппенің жалпы қаттылығы;

P_R - зәкірге келтірілген күш, клапанның механикалық бөлігіне қолданылатын күштердің әсерінен, (3.1-3.3) теңдеулерді бірге шеше отырып, динамикалық сілтеме ретінде ЭШК үшін теңдеуді аламыз:

$$A(p)x = k_1 U + k_2 B(p) + P, \quad (4.4)$$

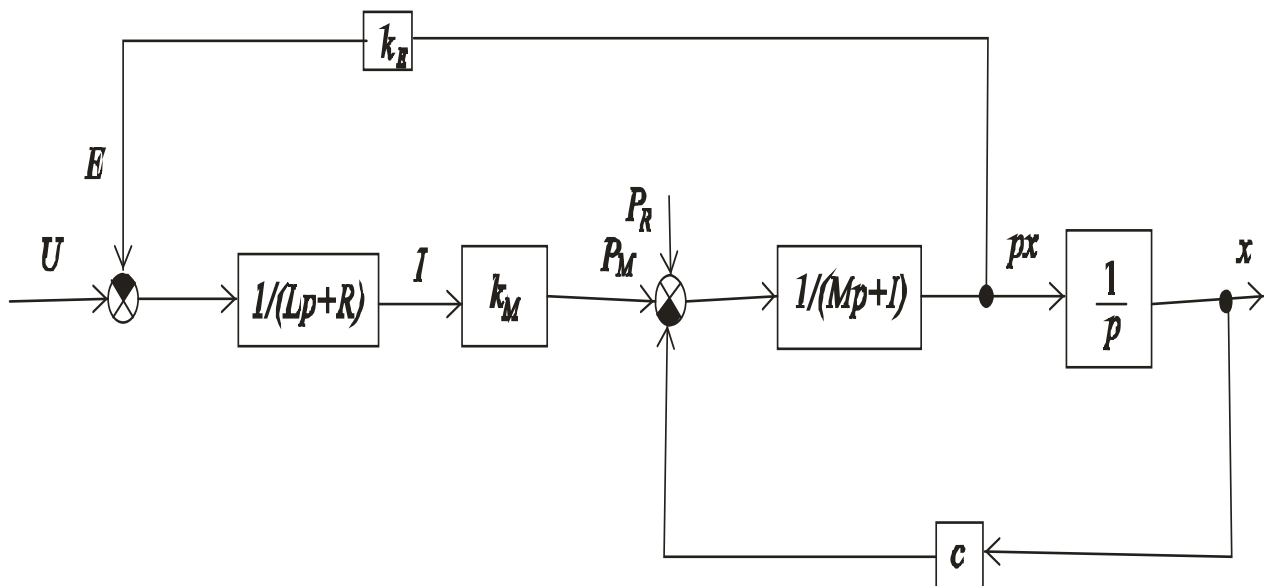
мұнда $A(p)$ – меншікті жүйе операторы;

k_1, k_2 – беріліс коэффициенттері;

$B(p)$ - жүйелердің кіріс операторы. Динамикалық байланыс ретінде жалпыланған ЭШК теңдеуіне кіретін айнымалылар келесі тәуелділіктермен анықталады:

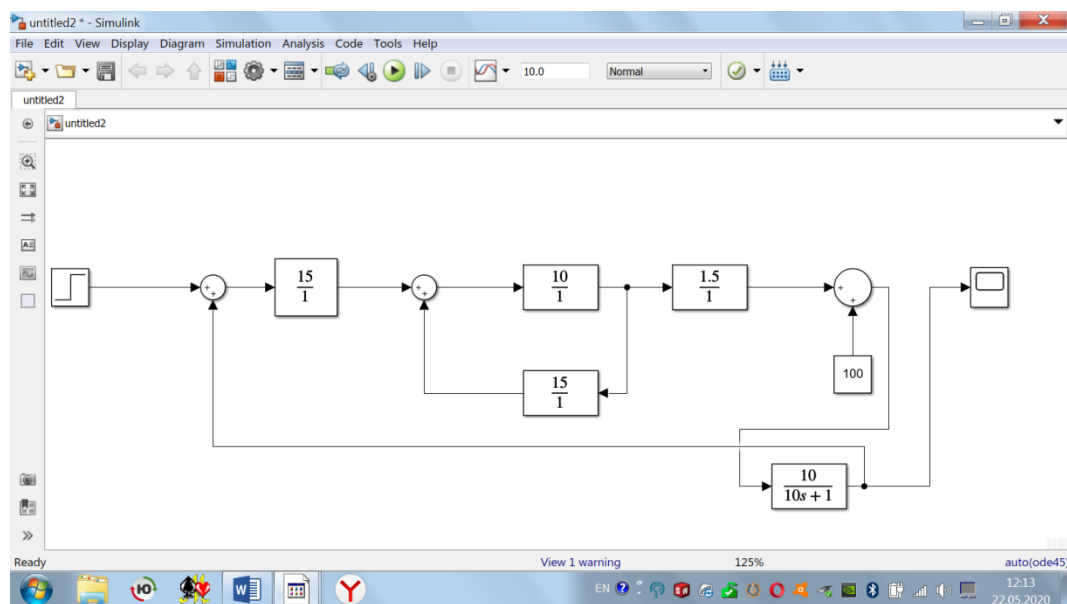
$$A(p) = \frac{LM}{Rc} p^3 + \frac{\mu L + MR}{Rc} p^2 + \left(\frac{L}{R} + \frac{\mu}{c} + \frac{k_E k_M}{Rc} \right) p + 1;$$
$$B(p) = \frac{L/R p + 1}{c}; \quad k_1 = \frac{k_M}{Rc}; \quad k_2 = 1/c;$$

(3.4) теңдеуіне сәйкес динамикалық буынның құрылымдық схемасы сурет 4.3-те көрсетілген түрде құрылады.



Сурет 4.3 – ЭШК-ның құрылымдық схемасы

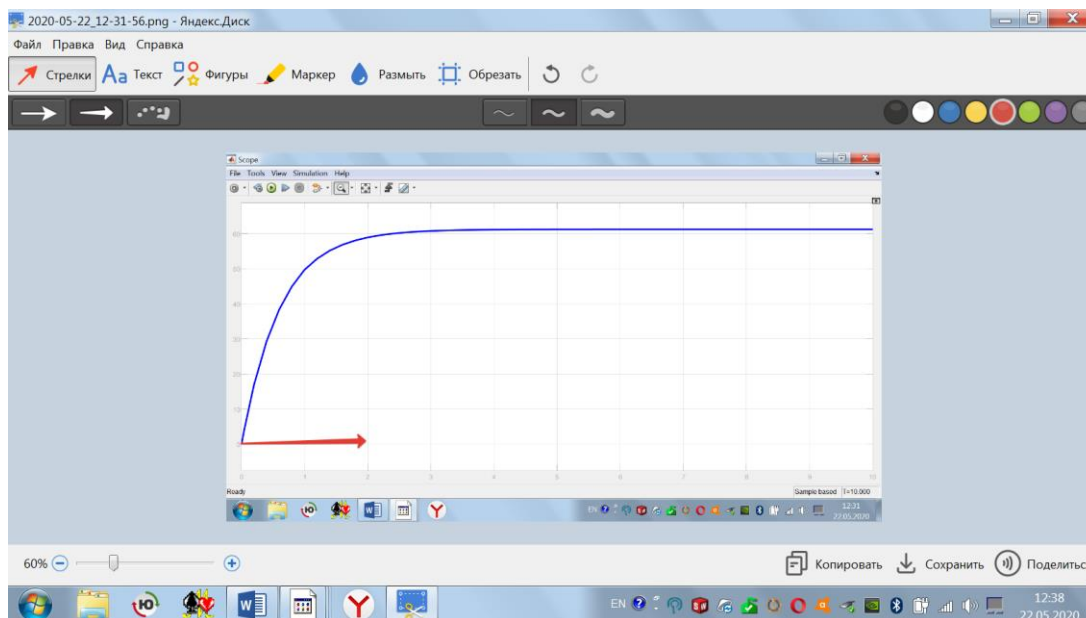
Алынған схема құрылымына сәйкес, нақты ЭШК параметрлері үшін MatLab Simulink ортасында компьютерлік модельдеу жүргізілді (сурет 4.4а) және өтпелі функция алынды (сурет 4.4ә), бұл өтпелі сипаттаманың түрін бағалауға және T_1 жүйесінің тұрақты уақыт шамасын анықтауға мүмкіндік берді (көрсеткімен көрсетілген).



а

а – принципіалдық сұлбасы;

Сурет 4.4 - Электромагнитті клапанның динамикасын зерттеу, парақ 1



а
а – клапан сипаттамасы

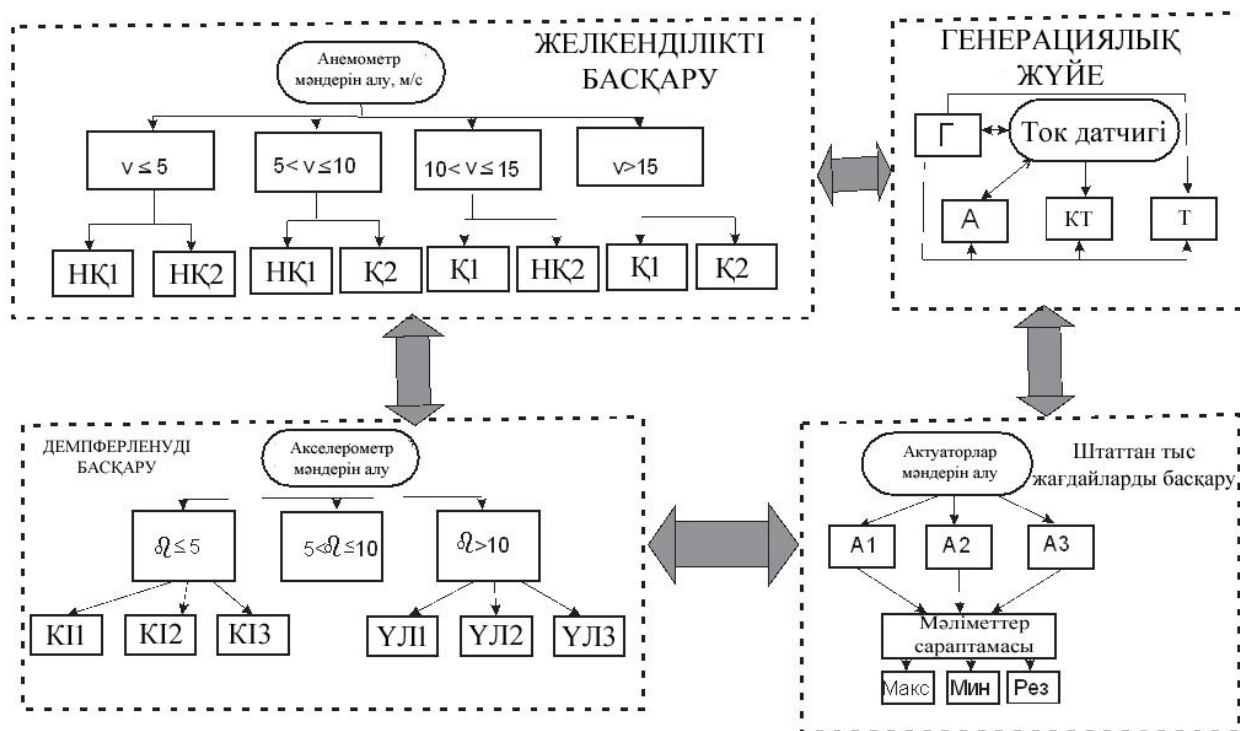
Сурет 4.4 - Электромагнитті клапанның динамикасын зерттеу, парақ 2

4.5 Үрілетін тербелмелі желкендері бар ЖЭҚ-ның АБЖ-нің басқару алгоритмі

Автоматты басқару жүйесінің аппараттық бөлігі жоғарыда 4.2-тармақта көрсетілген. ЖЭС-тің АБЖ-дағы кіші жүйелер арасындағы өзара әрекеттесуді ПЛК жүзеге асырады (сурет 4.1). Әрбір ішкі жүйеде және тұтастай алғанда басқару алгоритмі сурет 4.5-те көрсетілген. Мұнда келесі белгілер енгізілген: ВН1 - пневмосорғы 1 қосу (ЭМК өшірулі); ВК1 – ЭМК қосу (клапан қосылған кезде сорғы автоматты түрде өшеді); УМ1 – актуатордың алдын-ала жүктемесінің азаюы 1; УВ1 – алдын-ала жүктеменің өсуі; А1 – ауыстыру датчигінің көрсеткіші актуатор 1. Желкенді автоматты басқару жел жылдамдығына байланысты желкенді бетінің ауданын өзгертуге арналған. Сонымен қатар, әлсіз желде желкендердің сезімталдығын арттыру үшін жел электр станциясының бір мачтада екі желкені бар екендігі қарастырылған. Сонымен қатар, 1 - парус 2 - парустың үстінде 2 метр қашықтықта орналасқан.

Мысалы, желдің жылдамдығы 10-нан 15 м/с-қа дейін АБЖ-сі 2 желкеннің жұмыс істеуін қамтамасыз етеді, 1 желкеннен ауа шығады, сондықтан ол ауа ағынымен ең аз жанасу аймағына ие. Анемометр қабылдаған желдің жылдамдығына байланысты қажетті желкенділікті қамтамасыз ету АБЖ-нің негізгі міндеті. Бұл жүйе ең алдымен ЖЭС-ның АБЖ-ін орнатқан кезде іске қосылады және жұмыс істейді. Демпферлеудің ішкі жүйесі жұмыс органының циклдік қозғалыстар жасауына арналған. Демпфирлеудің АБЖ басқарылатын тетіктер түрінде атқарушы құрылғылармен іске асырылады, шыбықтардың көмегімен актуаторлардың демпферлік серіппесінің алдын-ала сығылу шамасын мачтаның тік позициядан ауытқу бұрышына β байланысты өзгертеді. В ауытқу

бұрыштары ПЛК-да мачтаның ең жоғарғы нүктесінде орнатылған үш акселерометрдің көрсеткіштері бойынша есептеледі.



Сурет 4.5 - ЖЭС АБЖ-нің жұмыс істеу алгоритмі

Мысалы, желдің жылдамдығы 10-нан 15 м/с-қа дейін АБЖ-сі 2 желкеннің жұмыс істеуін қамтамасыз етеді, 1 желкеннен ауа шығады, сондықтан ол ауа ағынымен ең аз жанасу аймағына ие. Анемометр қабылдаған желдің жылдамдығына байланысты қажетті желкенділікті қамтамасыз ету АБЖ-нің негізгі міндеті. Бұл жүйе ең алдымен ЖЭС-ның АБЖ-ін орнатқан кезде іске қосылады және жұмыс істейді. Демпферлеудің ішкі жүйесі жұмыс органының циклдік қозғалыстар жасауына арналған. Демпфирлеудің АБЖ басқарылатын тетіктер түрінде атқарушы құрылғылармен іске асырылады, шыбықтардың көмегімен актуаторлардың демпферлік серіппесінің алдын-ала сығылу шамасын мачтаның тік позициядан ауытқу бұрышына β байланысты өзгертеді. В ауытқу бұрыштары ПЛК-да мачтаның ең жоғарғы нүктесінде орнатылған үш акселерометрдің көрсеткіштері бойынша есептеледі.

Электр энергиясын өндіруді басқарудың ішкі жүйесі ЖЭС жұмысын реттейді, жинақтауды басқарады. Ішкі жүйеге электр тогының генераторы (Г), батарея (А), Қуат электронды түрлендіргіштер (КТ), басқарылатын сүзгі, ток сенсоры кіреді. Ағымдағы сенсор желкенді өзгерту және демпферлік ішкі жүйенің кері байланысында қолданылады. Бұдан басқа, ток датчигінің деректері бойынша күштік түрлендіргіштер реттеледі, аккумуляторларды және тұтынушыларды (Т) қосу кілттері қосылады.

Штаттан тыс жағдайларға ден қоюдың кіші жүйесі штаттан тыс жағдайларды анықтауға және алдын алуға арналған. Төтенше жағдайларға

шамадан тыс сыртқы әсер – дауыл, температураның күрт өзгеруі және т. б. жатады. Сондай-ақ, штаттан тыс жағдайға серпімді демпферлік күштерден немесе басқа әсерлерден туындаған резонанстық құбылыстар, сондай-ақ АБЖ-нің аспаптары мен құрылғыларының істен шығуы жатады. Штаттан тыс жағдайларға жауап берудің ішкі жүйесі үшін кіріс мәндері қозғалыс датчиктерінің көмегімен орнатылған актуаторлардағы қозғалыстар болып табылады. Сондай-ақ, осы ішкі жүйеде ПЛК көмегімен актуатордың нөмірі нақты уақыт режимінде орнатылады, онда минималды және максималды орын ауыстыру жүреді, сонымен қатар қозғалыс амплитудасының жоғарылауы үшін резонанс жағдайы анықталады. Барлық ішкі жүйелер бір-бірімен өзара әрекеттеседі, мысалы, алдын-ала жүктемені арттыру қажет болған жағдайда, штаттан тыс жағдайлардың ішкі жүйесіне сәйкес максималды қозғалысы бар актуатор таңдалады. Егер демпфирлеуді басқару ішкі жүйесінде алдыңғыны азайту β бұрышын арттыра алмаса, онда ПЛК арқылы басқару ішкі жүйесі желкенділікті арттырады және т. б.

4.6 Желкенді ЖЭС-ның АБЖ-нің бағдарламалық бөлігін қалыптастыру

Жоғарыда қалыптасқан негізінде (Т.4.4, 4.5) аппараттық бөлік және басқару алгоритмі мұнда желкенді ЖЭС АБЖ-ны басқаруға арналған бағдарламалық бөлік жасалды. Бағдарламалық жасақтама 3 желкенді пайдалануды қарастырады, олардың саны желдің жылдамдығына байланысты өзгереді.

Желкенді басқару үшін бағдарламаланатын логикалық контроллер (ПЛК) негізінде автоматты басқару жүйесі жасалды, SIMATIC S7-1200 CPU моделі 1212C DC/DC/Rly таңдалды. ПЛК сенсорлардан сигнал алады және сигналды басқару құрылғыларына (қозғалтқыштарға) жібереді. Желкенді басқару бағдарламасы TIA Portal интеграцияланған дизайн ортасында жасалған. FBD бағдарламалау тілінде. Басқару тақтасының визуализациясы WinCC ортасында жасалған. TIA Portal (Totally Integrated Automation Portal) кез-келген автоматтандыру тапсырмасын орындау үшін барлық қажетті функциялары бар. TIA Portal бұл біртұтас құрылым аясында қол жетімді әртүрлі SIMATIC жүйелері бар кешенді дизайн үшін алғашқы жұмыс ортасы. TIA Portal аппараттық конфигурациядан процесті визуализациялауға дейінгі барлық қажетті бағдарламалық пакеттерді қамтиды.

WinCC жүйесінде технологиялық процестерді басқаруға және оларды визуализациялауға арналған бірқатар негізгі редакторлар бар, оларды функционалды мүмкіндіктеріне жеке талаптарға сәйкес қосымшалар құру үшін пайдалануға болады:

- графикалық жүйенің редакторы GraphicsDesigner (графикалық дизайнер) – еркін конфигурацияланатын графикалық нысандар мен олардың байланыстарын қолдана отырып, процесті визуализациялауға және басқаруға арналған графикалық жүйе;

- alarmlogging редакторы (авариялық хабарларды тіркеу) - оқиғаларды

тіркеуге және мұрағаттауға арналған, оларды көрсету және басқару, хабарламалар санаттарын еркін таңдау, хабарламаларды көрсету және мұрағаттау мүмкіндігімен хабарламалар жүйесі;

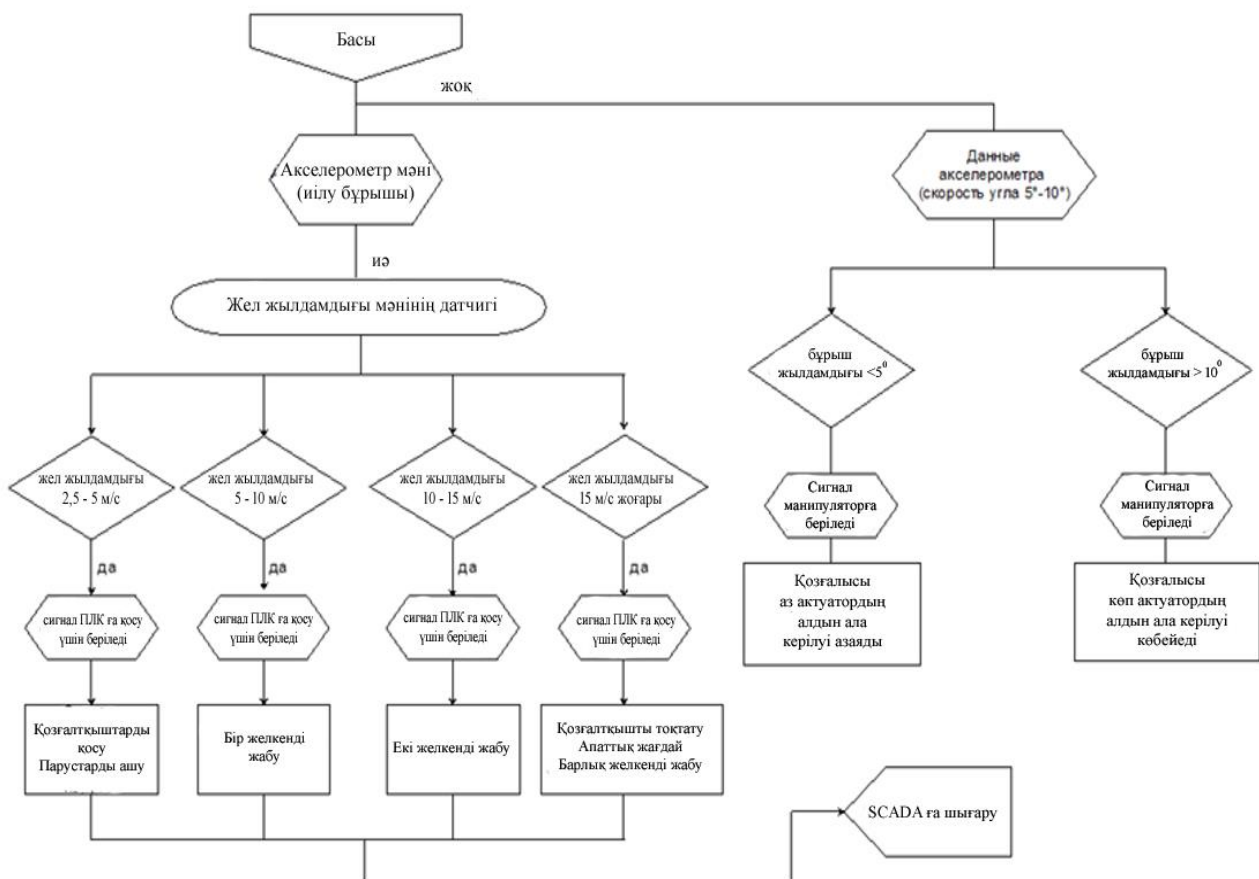
- taglogging редакторы (тегтерді тіркеу) - процестің өлшенетін мәндерін жинау, тіркеу (мұрағаттау) және өңдеу(қысу) жүйесі, мысалы, оларды трендтер мен кестелер түрінде көрсету немесе кейіннен өңдеу үшін;

- reportdesigner редакторы (есептер дизайнері) – пайдаланушы таңдаған шаблондарды пайдалана отырып, пайдаланушының есептері немесе жобалық құжаттама түрінде орындалатын хронологиялық немесе хабарламаларды, оператордың іс-әрекеттерін және ағымдағы деректерді құжаттау оқиғаларына байланысты есептерді қалыптастыру жүйесі;

- UserAdministrator редакторы (пайдаланушы әкімшісі) – пайдаланушыларды және тиісті кіру құқықтарын басқаруға арналған құрал;

- tagmanagement редакторы (тегтерді басқару) - байланыс драйвері, ол арқылы WinCC автоматтандыру жүйесіне, сондай-ақ деректер алмасу параметрлеріне қосылады. Тиісті тегтер осы байланыс драйверінің қалтасында жасалады.

Басқару алгоритмінің блок-схемасы төменде сурет 4.6 келтірілген.



Сурет 4.6 – Басқару алгоритмінің блок-схемасы

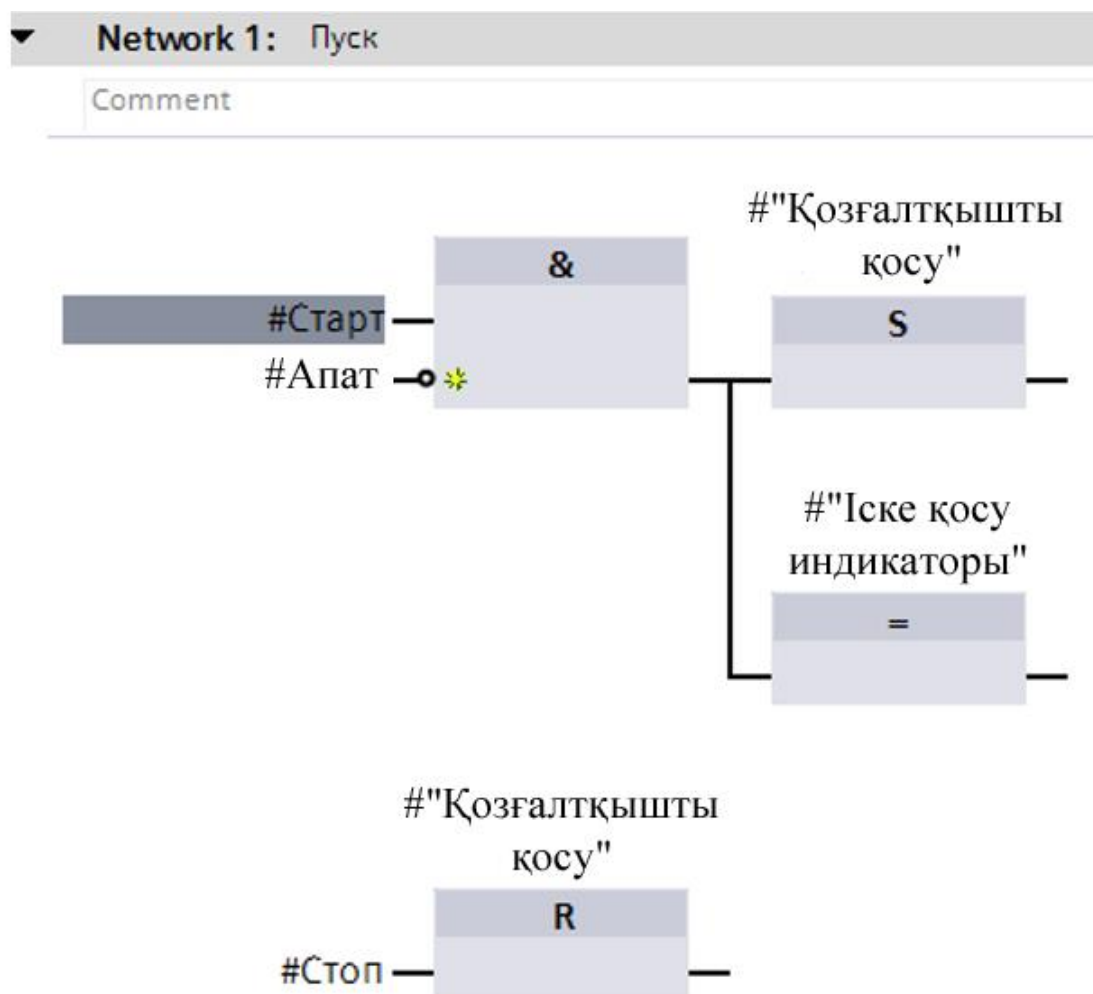
Жоғарыда сипатталған алгоритмге сәйкес контроллерді таңдағаннан кейін біз басқарылатын кіріс және шығыс айнымалыларының тізімін жасаймыз. Пайдаланылған кіріс және шығыс айнымалылардың тізімі сурет 4.7-де көрсетілген (қолданылатын айнымалылардың түрі «Data type» бөлімінде көрсетілген).

	Name	Data type
1	▼ Input	
2	■ Старт	Bool
3	■ Стоп	Bool
4	■ Апатты тастау	Bool
5	■ Акселерометр	Int
6	■ Жел жылдамдығы	Int
7	■ Жел жылдамдығының уставкасы	Real
8	■ Жел жылдамдығының уставкасы_1	Real
9	■ Жел жылдамдығының уставкасы_2	Real
10	■ Жел жылдамдығының уставкасы_3	Real
11	■ Акселерометр уставкасы_1	Real
12	■ Акселерометр уставкасы_2	Real
13	▼ Output	
14	■ Қозғалтқышты қосу	Bool
15	■ Іске қосу индикаторы	Bool
16	■ Желкен 1	Bool
17	■ Желкен 2	Bool
18	■ Желкен 3	Bool
19	■ Желкеннің жабылуы 1	Bool
20	■ Желкеннің жабылуы 2	Bool
21	■ Желкеннің жабылуы 3	Bool
22	■ Серіппенің керілуін көбейту	Bool
23	■ Серіппенің керілуін азайту	Bool
24	■ Апат	Bool
25	■ Акселерометр HMI	DInt
26	■ Жел жылдамдығы HMI	DInt
27	InOut	
28	Static	

Сурет 4.7 – Қолданылатын кіруші/шығушы айнымалылар

Біз CPU 1212C ПЛК жұмысында қолданатын 2 аналогты 8 дискретті кіріс және 6 дискретті шығыс бар. Бағдарламалауда қолданылатын Шығыс сигналдарының саны контроллердің физикалық шығуларының санынан асып кететіндіктен, біз ПЛК шығуларының санын кеңейту үшін арнайы SM кеңейту модульдерін DQ 8x24vdc қолдандық.

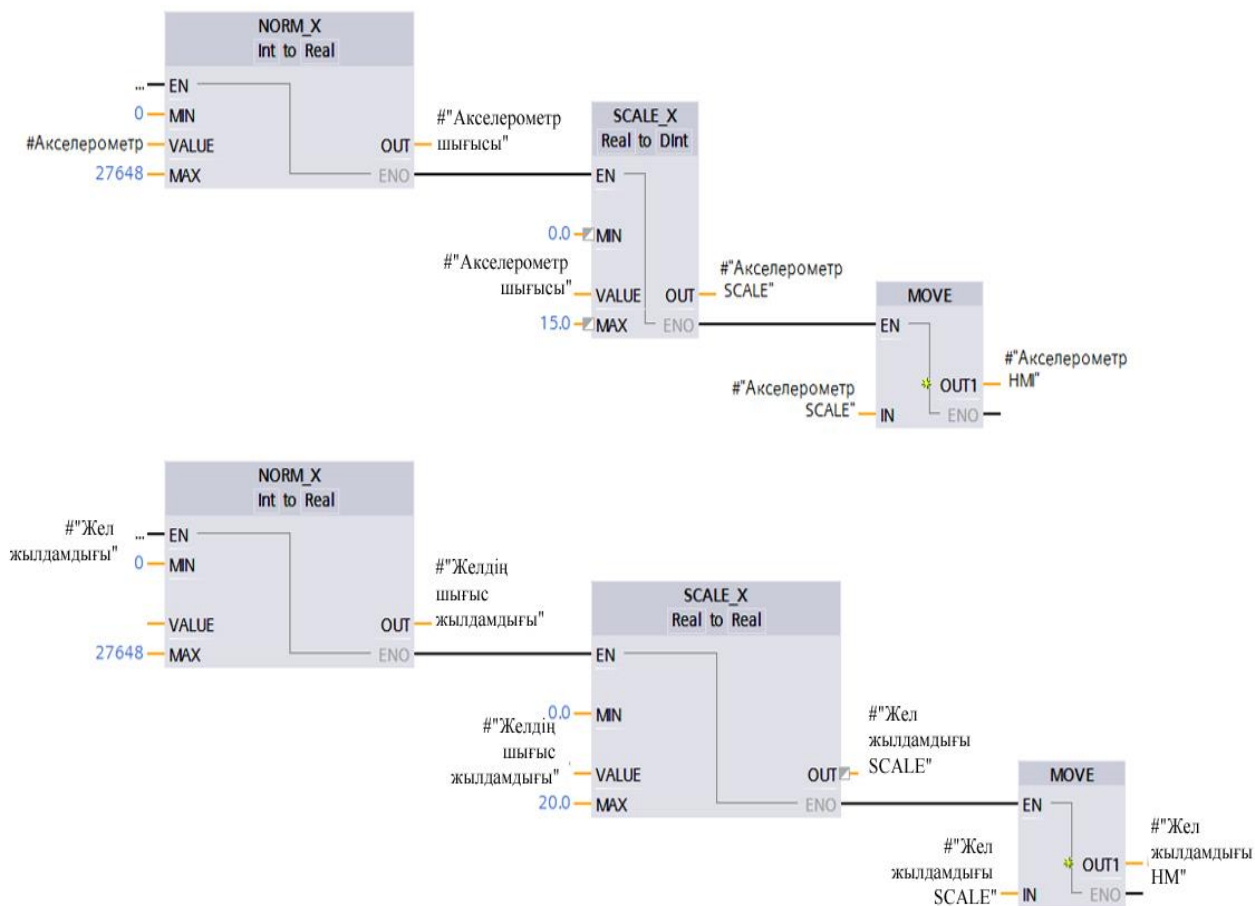
Бағдарламалау кезеңі-жүйені бастау және тоқтату. Жүйені іске қосу кезінде іске қосу индикаторы жанады және ЖЭС желкендерін түсіру (жабу) жетегіне немесе көтерумен (ашумен) сигнал беріледі. ЖЭС тоқтаған кезде іске қосу үшін бастапқы сигнал шығарылады. Желкенді іске қосу логикасы сурет 4.8-де көрсетілген.



Сурет 4.8 - Желкендік ЖЭС-ның қосылуы

Жел жылдамдығының датчигі және ЖЭС орналасу датчигі (акселерометр) ұқсас болып табылады және «4-20мА» ток ілмегінде жұмыс істейді. Жел жылдамдығының көрсеткіштері ПЛК-ға жіберіледі, мұнда контроллер жылдамдыққа байланысты ЖЭС-тің қажетті желкендерінің санын анықтайды. Акселерометрдің көрсеткіштері актуаторлардағы серіппелердің керілу кәфицентін анықтайды.

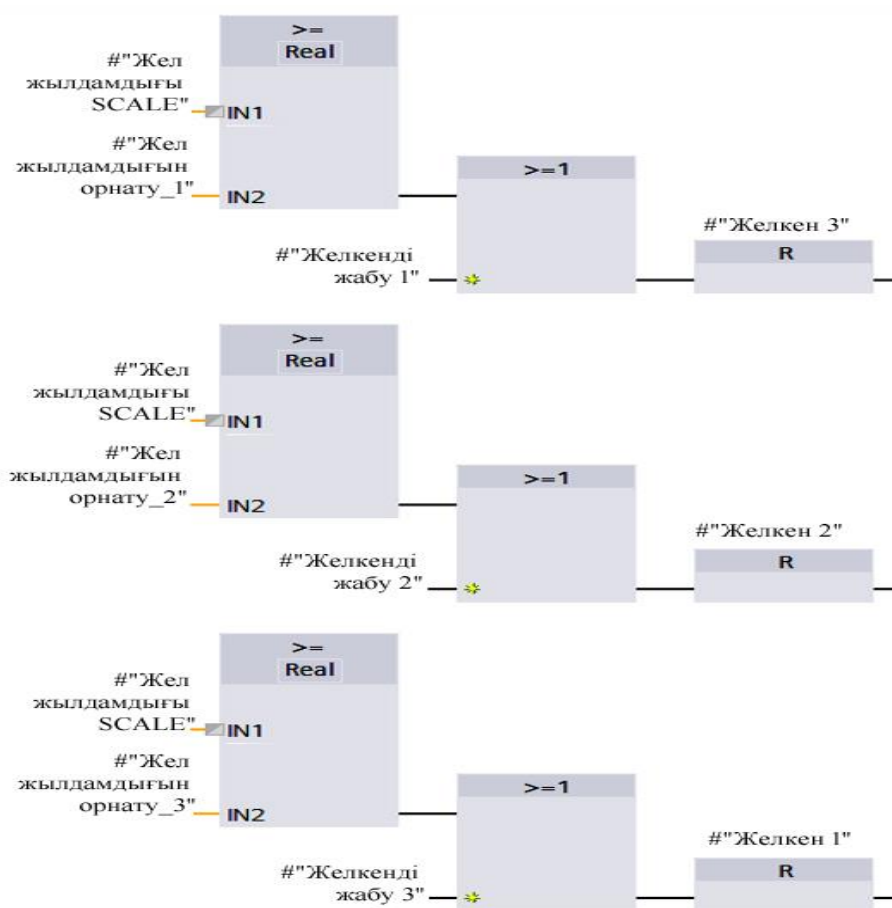
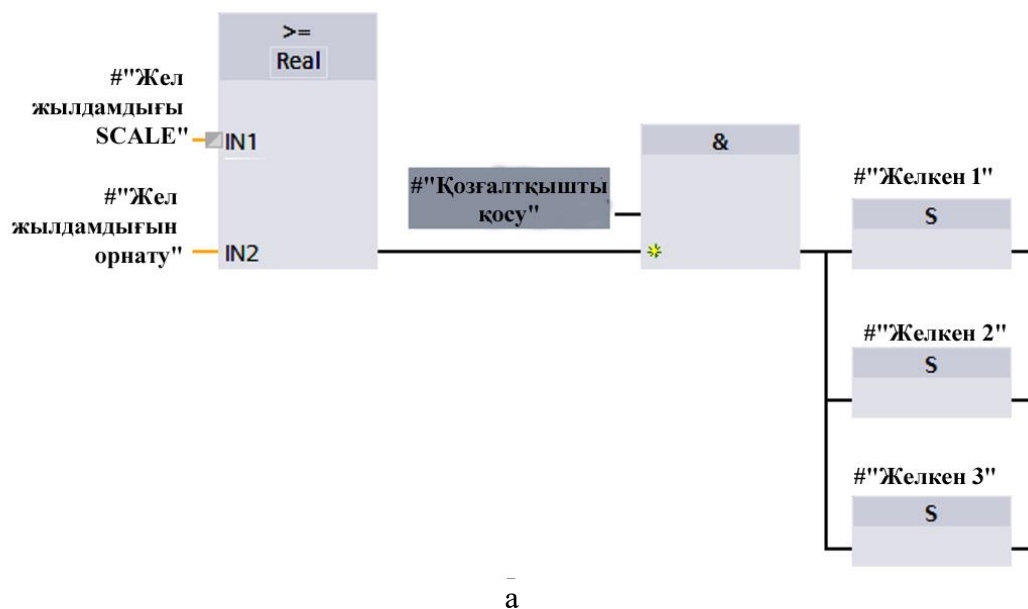
Датчиктердің логикасы сурет 4.9-да көрсетілген.



Сурет 4.9 - «4-20мА» датчиктерінің жұмыс істеу логикасы

Бағдарламалаудың келесі кезеңі-жылдамдық пен позиция датчиктерінен алынған мәліметтер негізінде желкендерді басқару. Басқару алгоритміне сәйкес желдің белгілі бір жылдамдығына есептелген энергияны тиімді өндіру үшін үш желкен қолданылады.

Басқару логикасына сәйкес сурет 4.10а,ә - да желкен саны желдің жылдамдығына байланысты.



а – қозғалтқышты басқару; ә – желкенді басқару

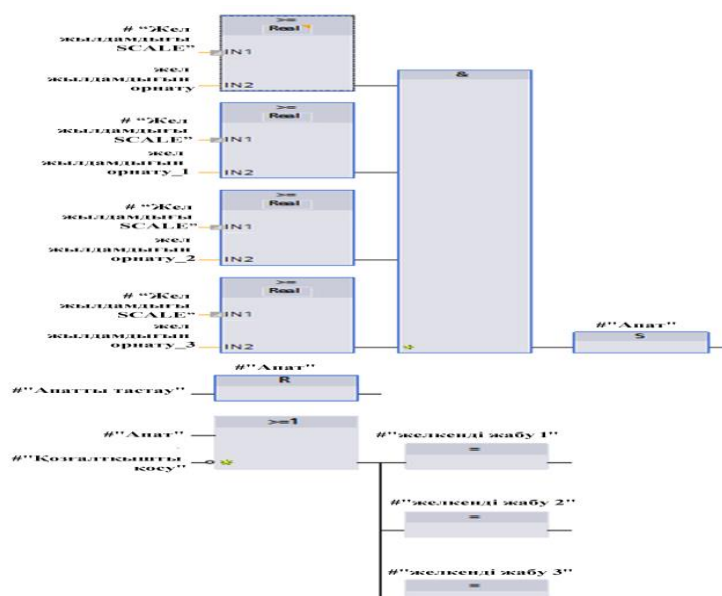
Сурет 4.10 - ЖЭС-сы желкендерінің басқару логикасы

Актуаторлардағы серіппелердің керілуін басқару логикасы сурет 4.11-де көрсетілген. Акселерометрдің көрсеткіштеріне сай орнатылған ауытқыған бұрыштарға сай жүйе серіппелердің тартылысын реттеп отырады.



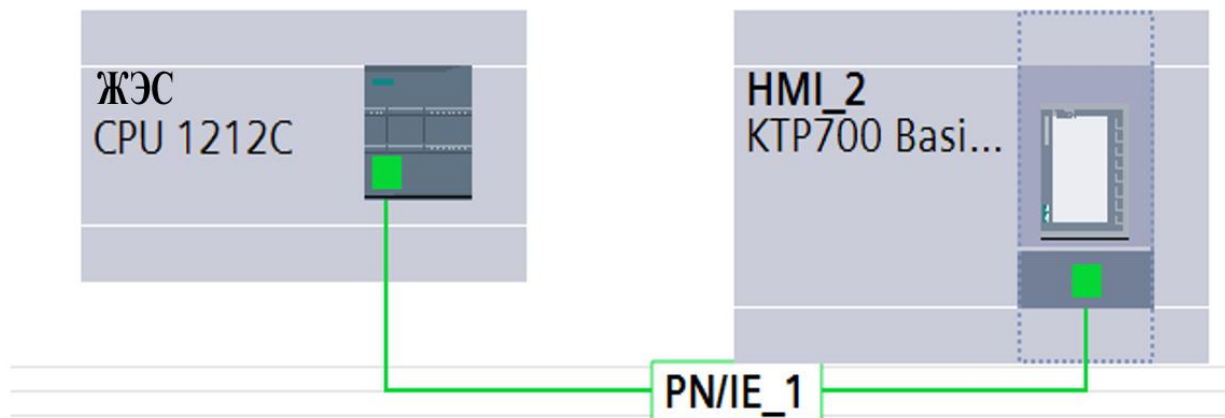
Сурет 4.11 - Серіппелердің тартылуын басқару

Бағдарламалаудың соңғы кезеңі төтенше жағдайларды пысықтау болып табылады. Желкенді ЖЭС-тің басқару жүйесінде оператор орнатқан жел жылдамдығының шекті мәндері кезінде төтенше жағдай туындайды. Шекті мәндерге жеткен кезде авариялық ескерту іске қосылады және ЖЭС-тің барлық желкендері түсіріледі. Авария сигналы оператор қолмен қайта қосқанға дейін сақталады. Төтенше жағдайлардың логикасы сурет 4.12-де көрсетілген.



Сурет 4.12 - ЖЭС-тің авариялық жағдайдағы логикасы

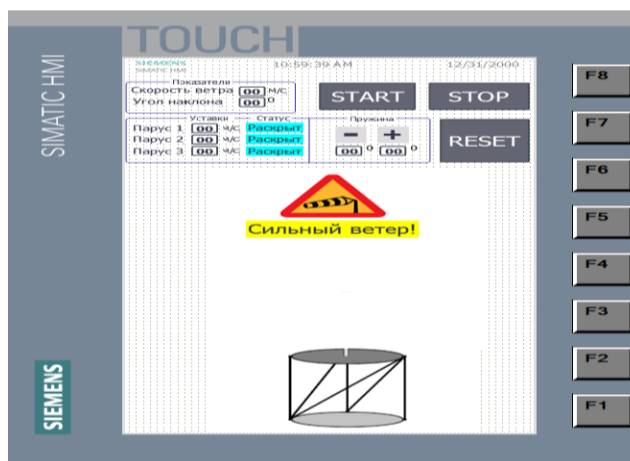
Бағдарламаның келесі бөлігі-оператордың басқару тақтасын визуализациялау кезеңі болып табылады. Желкенді ЖЭС-ті басқару үшін KTP700 basic PN Portrait моделінің сенсорлық тақтасын пайдалану ұсынылады. Панельді таңдағаннан кейін ktp700 basic PN панельдері және ПЛК байланысқа түседі. Дайын түрде біріктіру сурет 4.13-те көрсетілген.



Сурет 4.13 - Оператор тақтасы мен ПЛК байланысы

Дайын түрде визуализация сурет 4.14-те көрсетілген және өзіндік функциялары мен көрсеткіштері бар:

- Бастау және тоқтату.
- Ағымдағы желдің жылдамдығы.
- Ағымдағы көлбеу бұрышы.
- Жел жылдамдығын белгілеу.
- ЖО-ның иілу бұрышы.
- ЖЭС аймағы мәртебесінің индикациясы.
- Апаттардың индикациясы.
- Серіппелердің керілуінің индикациясы.



Сурет 4.14 - Оператор панелінің интерфейсі

4.7 4-бөлім бойынша қорытындылар

1. Желкенді ЖЭС-тің басқару жүйесінің құрылымы қалыптасты. САУ ЖЭС-тің АБЖ 4 кіші жүйеден құралған:

- желкенділікті басқару;
- демпфирлеуді басқару;
- электр энергиясын генерациялау бақылау;
- штаттан тыс жағдайлар кезіндегі басқару әдістері.

2. Атқарушы құрылғылардың бірінің басқару жүйесі – желкенді басқару үшін қолданылатын электромеханикалық шығатын клапан зерттелді.

3. Барлық ішкі жүйелер мен желкенді желкенді автоматты басқару жүйесінің жұмыс істеу алгоритмі жасалды.

4. Желкенді ЖЭС АБЖ блок-схемасы мен бағдарламалық бөлігі жасалды.

5. АБЖ-сі айнымалы құрылымы бар сызықты емес жүйе ретінде ұсынылған. АБЖ-ның функционалдық схемасы қарастырылған, ақпараттық-өлшеу жүйесінен, атқарушы құрылғылардан және басқару PLC-тен тұратын.

5 ТЕРБЕЛМЕЛІ ҮРІЛЕТІН ЖЕЛКЕНДІ ЖЕЛ ЭЛЕКТР СТАНЦИЯСЫНЫҢ ЭЛЕКТР ЭНЕРГИЯСЫН ГЕНЕРАЦИЯЛАУ ЖҮЙЕСІ

5.1 Қуатты іріктеу жүйесін энергетикалық талдау

Диссертациялық жұмыстың бұл бөлімінде қуатты таңдау жүйесін және генерациялау және жинақтау жүйелерін құру мәселелері қарастырылады. 2.1-тармақта айтылғандай, жаңа желкенді ЖЭС келесі жүйелерден тұрады: жел энергиясын алатын желкенді және діңгекті жұмыс органы; ЖО қозғалысын алты трансляциялық қозғалысқа айналдыратын және демпфер функциясын орындайтын алты жылжымалы параллель манипулятор. Сондай-ақ, желкенді жел электр станциясы осы бөлімде қарастырылған қуат алу жүйесінен – электр энергиясының қажетті сипаттамаларын қамтамасыз ететін генератордың роторының және электр энергиясын генерациялау және жинақтау жүйелерінің айналмалы қозғалысына манипулятор актуаторларының механикалық қозғалыстарын түрлендіргішінен тұрады. Айта кету керек, ҚІЖ желкенді ЖЭС-те болмауы мүмкін, онда актуаторлардың қозғалысы тікелей желілік генераторлардың роторларына беріледі. Мұнда ҚІЖ механикалық түрлендіргіштерден тұрады және параллель манипулятордың аударма қозғалыстарының энергиясын электр машиналарының айналмалы роторларының (генераторлардың) қозғалыс энергиясына түрлендіруге арналған. Бұл жағдайда электр генераторларының саны бір немесе одан да көп болуы мүмкін. Генераторларды таңдамас бұрын, параллель манипулятордың шығысындағы қуат немесе ҚІЖ туралы ақпарат болуы керек. Төменде берілетін қуатты бағалауға мүмкіндік беретін алгоритм келтірілген.

5.1.1 ҚІЖ-ны энергетикалық талдау үшін пайдаланылатын шамаларды анықтау

МП және ҚІЖ энергетикалық талдау үшін бастапқы шамаларды анықтау бойынша есепті шешу үшін 3.1-тармақта көрсетілген сурет 3.1-де ұқсас есептелген модель қолданылады (сурет 5.1) Бұл, 3-тарауда ұсынылған динамикалық модель энергетикалық талдау ҚІЖ үшін пайдаланылануына байланысты болып отыр. Бұрын қабылданған белгілер жаңа мәселені шешу үшін де сақталған.

Сурет 5.1-де икемді тростық қосылыстар арқылы актуаторлармен қосылған 4-8 манипулятордың төменгі 1 және жоғарғы 2 платформасынан тұратын желкенді ЖЭС-тің жалпы есептік схемасы көрсетілген.

Олар: 9 - екі сілтемеден; 10 - үш сілтемеден; 11 - төрт сілтемеден тұрады. 12-ші мачта 13-ші желкенді 2 манипулятордың жоғарғы платформасына қатты қосады.

ортасында басталатын $O_{01}X_{01}Y_{01}Z_{01}$ қосалқы қозғалмайтын жүйе $C_1X_0Y_0Z_0$ жүйесінің осьтеріне параллель осьтерге ие. Сондай-ақ, желдің бағытына байланысты Q жазықтығымен байланысты $O_{01}X_1Y_1Z_1$ жүйесі енгізілді. РО-ның қазіргі жағдайы SA_2, B_2, C_2 жылжымалы үшбұрышты призманың көмегімен ұсынылған. Бекітілген $O_{01}X_{01}Y_{01}Z_{01}$ жүйесіндегі жоғарғы платформаның түйіндерінің координаттарын анықтаймыз. Көмекші бекітілген координаттар жүйесін таңдау шартынан платформаның бастапқы күйінде A_2, B_2, C_2 түйіндерінің координаттары радиусты векторлармен анықтайды:

$$r_{A_2} = (0 \ 0 \ H \ 1)^T, \ r_{B_2} = \left(a \frac{\sqrt{3}}{2} \ a/2 \ H \ 1 \right)^T, \ r_{C_2} = (0 \ a \ H \ 1)^T. \quad (5.1)$$

$O_{01}X_1Y_1Z_1$ жергілікті координаттар жүйесіндегі түйіндердің координаттары $O_{01}Z_{01}$ осі бойынша H мәніне ауыстыру арқылы алынған, $O_{01}Y_{01}$ осі бойынша $a/2$ шамасына және $O_{01}X_{01}$ осі бойынша $a\sqrt{3}/6$ шамаға ығысу арқылы, $O_{01}Z_{01}$ осінің айналасындағы жүйені бұрышқа бұру арқылы α теңдіктен анықталады:

$$r_{A_2}^1 = A_1^{01} r_{A_2}, \ r_{B_2}^1 = A_1^{01} r_{B_2}, \ r_{C_2}^1 = A_1^{01} r_{C_2}, \quad (5.2)$$

түрлендіру матрицасы қайда:

$$A_1^{01} = \begin{pmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 & -a/2 \\ -\sin \alpha & \cos \alpha & 0 & -a\sqrt{3}/6 \\ 0 & 0 & 1 & -H \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (5.3)$$

$O_1X_1^1Y_1^1Z_1^1$ жылжымалы жүйесін $\Delta y_s, \Delta z_s$ шамасына параллель беру кезіндегі түрлендіру матрицасы және $O_1Z_1^1$ осі бойымен L_s шамасына ығысу:

$$A_T = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & \Delta y_s^i \\ 0 & 0 & 1 & \Delta z_s^i + L_s \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (5.4)$$

SX_1^1 осі бойынша айналу бұрышы $\Delta \varphi_1^i$ матрицамен сипатталады:

$$A_R = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \Delta \varphi_1^i & -\sin \Delta \varphi_1^i & 0 \\ 0 & \sin \Delta \varphi_1^i & \cos \Delta \varphi_1^i & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (5.5)$$

$S_1 Z_1^1$ осі бойымен параллель тасымалдау матрицасы $-L_S$:

$$A_L = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -L_S \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}. \quad (5.6)$$

$O_{01}X_1Y_1Z_1$ координаттар жүйесінде жоғарғы платформа мен O_1 орталығының түйіндік нүктелерінің орналасуын анықтау үшін РО-ның шағын қозғалыстарында түрлендіру матрицасы қолданылады (5.4-5.6):

$$T_1^{11} = A_T \cdot A_R \cdot A_L. \quad (5.7)$$

Енді $O_{01}X_1Y_1Z_1$ жергілікті жүйесіндегі платформаның түйіндік нүктелері мен O_1 орталығының орны теңдіктерден анықталады:

$$r_{A_2}^{01} = T_1^{11} r_{A_2}^1, \quad r_{B_2}^{01} = T_1^{11} r_{B_2}^1, \quad r_{C_2}^{01} = T_1^{11} r_{C_2}^1, \quad r_{O_1}^{01} = T_1^{11} (0 \ 0 \ 0 \ 1)^T. \quad (5.8)$$

$C_1X_0Y_0Z_0$ бар қозғалмайтын жүйеде осы нүктелердің координаталары тең:

$$r_{A_2}^0 = T_0^1 r_{A_2}^{01}, \quad r_{B_2}^0 = T_0^1 r_{B_2}^{01}, \quad r_{C_2}^0 = T_0^1 r_{C_2}^{01}, \quad r_{O_1}^0 = T_0^1 r_{O_1}^{01}, \quad (5.9)$$

мұндағы түрлендіру матрицасы кері матрица ретінде анықталады (5.5):

$$T_0^1 = (A_1^{01})^{-1}. \quad (5.10)$$

Манипулятордың жоғарғы платформасының позициясының өзгеруі актуаторлардың позициясының, ұзындығының және актуаторлардан жоғарғы платформаға әсер ететін реакция күштері векторларының бағытын өзгертеді. Осы шамаларды анықтау үшін кинематиканың кері мәселесі манипулятор үшін шешіледі. Бұл міндет [79, б. 47] тораптық нүктелер координаталары (A_2, B_2, C_2) бойынша жылжымалы жоғарғы платформаның белгілі жағдайында актуаторлардың бағдары мен ұзындығы анықталады, сәйкесінше актуаторлардың осі бойымен әрекет ететін актуаторлардың реакция күштерінің бағыттары анықталады. Мысал ретінде актуатор 6 үшін кері мәселенің шешімін көрсетеміз.

$$l_{6t} = \sqrt{(x_{C_2}^0)^2 + (y_{C_2}^0)^2 + (z_{C_2}^0)^2}. \quad (5.11)$$

Бұрыштар $\alpha_6, \beta_6, \gamma_6$ между осью актуатор 6 осі және C_1X_0, C_1Y_0, C_1Z_0 осьтері тұрақты координаттар жүйесі ретінде анықталады:

$$\alpha_6 = \arccos(x_{C2}^0 / l_{6t}), \quad \beta_6 = \arccos(y_{C2}^0 / l_{6t}), \quad \gamma_6 = \arccos(z_{C2}^0 / l_{6t}). \quad (5.12)$$

Актуатор 6-ның ұзындығының өзгеруі мыңған тең:

$$\Delta l_6 = l_{6t} - l_6. \quad (5.13)$$

Егер бұрыштар $\alpha_6, \beta_6, \gamma_6$ белгілі болса, ол төменде көрсетілгендей оңай анықталады және тұрақты координаттар осіне актуатор 6-ның N_{6X}, N_{6Y}, N_{6Z} реакция күштерінің проекциялары. Басқа актуаторлар үшін ұқсас есептеулер жүргізіледі.

Тораптық нүктелердің координаттары (5.9) мынадай формула бойынша анықталған:

$$r_{A2}^0 = \begin{pmatrix} x_{A2}^0 \\ y_{A2}^0 \\ z_{A2}^0 \\ 1 \end{pmatrix}, \quad r_{B2}^0 = \begin{pmatrix} x_{B2}^0 \\ y_{B2}^0 \\ z_{B2}^0 \\ 1 \end{pmatrix}, \quad r_{C2}^0 = \begin{pmatrix} x_{C2}^0 \\ y_{C2}^0 \\ z_{C2}^0 \\ 1 \end{pmatrix}, \quad r_{O1}^0 = \begin{pmatrix} x_{O1}^0 \\ y_{O1}^0 \\ z_{O1}^0 \\ 1 \end{pmatrix}. \quad (5.14)$$

Актуаторлар ұзындығының ағымдағы мәні өрнектерден анықталады:

$$\begin{aligned} l_{3t} &= \sqrt{(x_{B2}^0 - x_{C1})^2 + (y_{B2}^0 - y_{C1})^2 + (z_{B2}^0 - z_{C1})^2}, \\ l_{4t} &= \sqrt{(x_{C2}^0 - x_{A1})^2 + (y_{C2}^0 - y_{A1})^2 + (z_{C2}^0 - z_{A1})^2}, \\ l_{5t} &= \sqrt{(x_{C2}^0 - x_{B1})^2 + (y_{C2}^0 - y_{B1})^2 + (z_{C2}^0 - z_{B1})^2}, \\ l_{6t} &= \sqrt{(x_{C2}^0 - x_{C1})^2 + (y_{C2}^0 - y_{C1})^2 + (z_{C2}^0 - z_{C1})^2}, \\ l_{7t} &= \sqrt{(x_{B2}^0 - x_{C1})^2 + (y_{B2}^0 - y_{C1})^2 + (z_{B2}^0 - z_{C1})^2}, \\ l_{8t} &= \sqrt{(x_{B2}^0 - x_{B1})^2 + (y_{B2}^0 - y_{B1})^2 + (z_{B2}^0 - z_{B1})^2}. \end{aligned} \quad (5.15)$$

Мұнда төменгі платформаның түйіндерінің координаттары белгілі, яғни:

$$\begin{aligned} x_{C1} = y_{C1} = z_{C1} = 0; \quad x_{A1} = z_{A1} = 0, \quad y_{A1} = a; \quad x_{B1} = a \cdot \sqrt{3} / 2, \\ y_{B1} = a / 2, \quad z_{B1} = 0 \end{aligned} \quad (5.16)$$

Айта кету керек, бастапқы позицияда қабырғалардың ұзындығы (актуаторлар) тең:

$$\begin{aligned} l_{30} = l_{50} = l_{60} = A, \\ l_{40} = l_{70} = l_{80} = H, \end{aligned} \quad (5.17)$$

мұнда H – манипулятор биіктігі (берілген);

$A = \sqrt{H^2 + a^2}$ – бастапқы позициядағы диагональ ұзындығы.

Жиектердің ұзындығының өзгеруі

$$\begin{aligned}\Delta l_3 &= l_{3t} - l_{30}, & \Delta l_4 &= l_{4t} - l_{40}, & \Delta l_5 &= l_{5t} - l_{50}, & \Delta l_6 &= l_{6t} - l_{60}, \\ \Delta l_7 &= l_{7t} - l_{70}, & \Delta l_8 &= l_{8t} - l_{80}.\end{aligned}\quad (5.18)$$

Бұрыштар (α, β, γ) тиісінше бекітілген осьтер арасында C_1X_0, C_1Y_0, C_1Z_0 және алты актуатордың осьтері (3-8) теңдіктерден анықталады

$$\begin{aligned}\alpha_3 &= \arccos((x_{B2}^0 - x_{C1})/l_{3t}), & \beta_3 &= \arccos((y_{B2}^0 - y_{C1})/l_{3t}), & \gamma_3 &= \arccos((z_{B2}^0 - z_{C1})/l_{3t}); \\ \alpha_4 &= \arccos((x_{C2}^0 - x_{A1})/l_{4t}), & \beta_4 &= \arccos((y_{C2}^0 - y_{A1})/l_{4t}), & \gamma_4 &= \arccos((z_{C2}^0 - z_{A1})/l_{4t}); \\ \alpha_5 &= \arccos((x_{C2}^0 - x_{B1})/l_{5t}), & \beta_5 &= \arccos((y_{C2}^0 - y_{B1})/l_{5t}), & \gamma_5 &= \arccos((z_{C2}^0 - z_{B1})/l_{5t}); \\ \alpha_6 &= \arccos((x_{C2}^0 - x_{C1})/l_{6t}), & \beta_6 &= \arccos((y_{C2}^0 - y_{C1})/l_{6t}), & \gamma_6 &= \arccos((z_{C2}^0 - z_{C1})/l_{6t}); \\ \alpha_7 &= \arccos((x_{A2}^0 - x_{C1})/l_{7t}), & \beta_7 &= \arccos((y_{A2}^0 - y_{C1})/l_{7t}), & \gamma_7 &= \arccos((z_{A2}^0 - z_{C1})/l_{7t}); \\ \alpha_8 &= \arccos((x_{B2}^0 - x_{B1})/l_{8t}), & \beta_8 &= \arccos((y_{B2}^0 - y_{B1})/l_{8t}), & \gamma_8 &= \arccos((z_{B2}^0 - z_{D1})/l_{8t});\end{aligned}\quad (5.19)$$

Біз актуаторлардағы осьтік күштерді күштердің тепе-теңдік теңдеулерінен есептеу үшін теңдеулер жүйесін құрамыз:

$$\begin{aligned}\sum_{n=3}^{n=8} N_{nx} + R_x &= 0; & \sum_{n=3}^{n=8} N_{ny} + R_y &= 0; & \sum_{n=3}^{n=8} N_{nz} + R_z &= 0; \\ \sum_{n=3}^{n=8} M_x(N_n) + M_{Rx} &= 0; & \sum_{n=3}^{n=8} M_y(N_n) + M_{Ry} &= 0; & \sum_{n=3}^{n=8} M_z(N_n) &= 0.\end{aligned}\quad (5.20)$$

мұнда R_y, R_z – ЖО-нан әрекет ететін күштердің проекциясы;

M_{Rx}, M_{Ry} – ЖО-нан әрекет ететін күштер жұптарының моментінің проекциясы. Бұл күштер мен моменттер ЖО динамикасының теңдеулерін шешу арқылы анықталады, авторлар жұмысында ұсынылған [94, б. 65-66]. Осылайша, теңдеулер жүйесі (5.20) түрінде жазылуы мүмкін:

$$\begin{aligned}
& N_3 \cos \alpha_3 + N_4 \cos \alpha_4 + N_5 \cos \alpha_5 + N_6 \cos \alpha_6 + N_7 \cos \alpha_7 + N_8 \cos \alpha_8 + R_x = 0, \\
& N_3 \cos \beta_3 + N_4 \cos \beta_4 + N_5 \cos \beta_5 + N_6 \cos \beta_6 + N_7 \cos \beta_7 + N_8 \cos \beta_8 + R_y = 0, \\
& N_3 \cos \gamma_3 + N_4 \cos \gamma_4 + N_5 \cos \gamma_5 + N_6 \cos \gamma_6 + N_7 \cos \gamma_7 + N_8 \cos \gamma_8 + R_z = 0, \\
& y_{A2}^0 \cdot N_7 \cos \gamma_7 - z_{A2}^0 \cdot N_7 \cos \beta_7 + y_{B2}^0 (N_3 \cos \gamma_3 + N_8 \cos \gamma_3) - z_{B2}^0 (N_3 \cos \beta_3 + N_8 \cos \beta_8) + \\
& y_{C2}^0 (N_4 \cos \gamma_4 + N_5 \cos \gamma_5 + N_6 \cos \gamma_6) - z_{C2}^0 (N_4 \cos \beta_4 + N_5 \cos \beta_5 + N_6 \cos \beta_6) + y_{O1}^0 \cdot R_z - \\
& z_{O1}^0 \cdot R_y + M_{RX} = 0, \\
& z_{A2}^0 \cdot N_7 \cos \alpha_7 - x_{A2}^0 \cdot N_7 \cos \gamma_7 + z_{B2}^0 (N_3 \cos \alpha_3 + N_8 \cos \alpha_3) - x_{B2}^0 (N_3 \cos \gamma_3 + N_8 \cos \gamma_8) + \\
& z_{C2}^0 (N_4 \cos \alpha_4 + N_5 \cos \alpha_5 + N_6 \cos \alpha_6) - x_{C2}^0 (N_4 \cos \gamma_4 + N_5 \cos \gamma_5 + N_6 \cos \gamma_6) + x_{O1}^0 \cdot R_y - \\
& z_{O1}^0 \cdot R_x + M_{RY} = 0, \\
& x_{A2}^0 \cdot N_7 \cos \beta_7 - y_{A2}^0 \cdot N_7 \cos \alpha_7 + x_{B2}^0 (N_3 \cos \beta_3 + N_8 \cos \beta_8) - y_{B2}^0 (N_3 \cos \alpha_3 + \\
& N_8 \cos \alpha_8) + x_{C2}^0 (N_4 \cos \beta_4 + N_5 \cos \beta_5 + N_6 \cos \beta_6) - y_{C2}^0 (N_4 \cos \alpha_4 + \\
& N_5 \cos \alpha_5 + N_6 \cos \alpha_6) = 0.
\end{aligned} \tag{5.21}$$

Жүйені шешу нәтижесінде (5.21) алты тендеуден қажетті күштер анықталады N_3 - N_8 , алты актуатордың әрқайсысына әсер ететін. Бұл күштер болашақта ҚІЖ-ге энергетикалық талдау үшін қолданылады.

5.2 МТ пен ҚІЖ-нің күштік және энергетикалық анализінің нәтижесі

Актуаторларға әсер ететін және ҚІЖ-сі беретін қуаттың осьтік күш-жігерінің мәндерін анықтау үшін жоғарыда ұсынылған алгоритм және ЖО-ның есептеу нәтижелері пайдаланылады (3-бөлім). Берілген алгоритм негізінде бағдарлама жасалып, компьютерде есептеулер жүргізілді (Т.4.1). Бұл ретте бастапқы деректер ретінде желкенді ЖЭС қуаты $N=5$ кВт деп қабылданған; желдің жылдамдығы $v=3$ м/с; мачта ұзындығы $L=10$ м.; тұрақты жоғарғы және төменгі үшбұрыштардың өлшемдері тең $a=1$ м. Есептеулер бұрышқа бұрылуға сәйкес келетін ЖО жағдайы үшін жүргізіледі:

$$\Delta \varphi_i = i \cdot \beta / N, \quad i=1, \dots, N, \tag{5.22}$$

мұнда $\beta=1^\circ$ - мачтаның тік қалыптан ағымдағы ауытқу бұрышы;

$N=10$ кезінде ЖО-ның максималды ауытқу бұрышы 9° -ға жетеді. ЖО-ның максималды бұрыштық жылдамдығы желдің жылдамдығына байланысты $\omega_M = v / L$. Тік жүріс уақыты T келесі тендеумен анықталады $T = 2\beta_M / \omega_M$, онда $\beta_M = \pi/18$. Демек, бұрылуға сәйкес келетін t уақыты $t=T/10$ болады. Енді теңдіктердің көмегімен (5.13, 5.18) тиісті актуаторлардың үдемелі қозғалысының жылдамдығын анықтауға болады. Мысалы, 6-шы актуатордың жылдамдығы $v_6 = \Delta l_6 / t$ тең. Сол сияқты басқа актуаторлар үшін де жылдамдықтар анықталады. Кесте 5.1-де желдің бір бағыты кезінде ЖО-ның бұрылу бұрыштары 0-ден 9 градусқа дейін (В.М.) актуаторлардың осьтік орын

ауыстыруларының мәнін есептеу нәтижелері келтірілген ($\alpha=0$). В Жалпы есептеулер α бұрыштар 0° -ден 324° – дейін, әр 36° сайын.

Кесте 5.1 - Мачтаның бұрылу бұрыштары кезінде актуаторлардағы орын ауыстырудың тәуелділігі 0^0 ден 9^0 қадам 1^0

Φ бұр	Актуаторлар					
	3	4	5	6	7	8
0	0	0	0	0	0	0
1	$5,548 \cdot 10^{-3}$	0,021	0,016	0,016	$5,548 \cdot 10^{-3}$	$7,353 \cdot 10^{-3}$
2	0,014	0,045	0,034	0,034	0,014	0,018
3	0,024	0,072	0,055	0,054	0,024	0,032
4	0,037	0,103	0,078	0,077	0,037	0,049
5	0,052	0,137	0,104	0,102	0,052	0,069
6	0,07	0,174	0,132	0,13	0,07	0,092
7	0,09	0,214	0,163	0,16	0,09	0,119
8	0,113	0,257	0,196	0,193	0,113	0,148
9	0,138	0,303	0,232	0,229	0,138	0,181

Осы есептеулерден кесте 5.1-де көрсетілгендей, С2 түйіні арқылы өтетін желдің осы бағытында ең үлкен орын ауыстырулар 4, 5, 6 актуаторларында байқалады. Желдің бағыты өзгерген кезде актуаторлардың басқа тобы ең көп орын ауыстырады.

Кесте 5.2 - 1 градус арқылы 0^0 -ден 9^0 -ға дейінгі мачтаның бұрылу бұрышына байланысты Н 3-8 актуаторлардағы күш

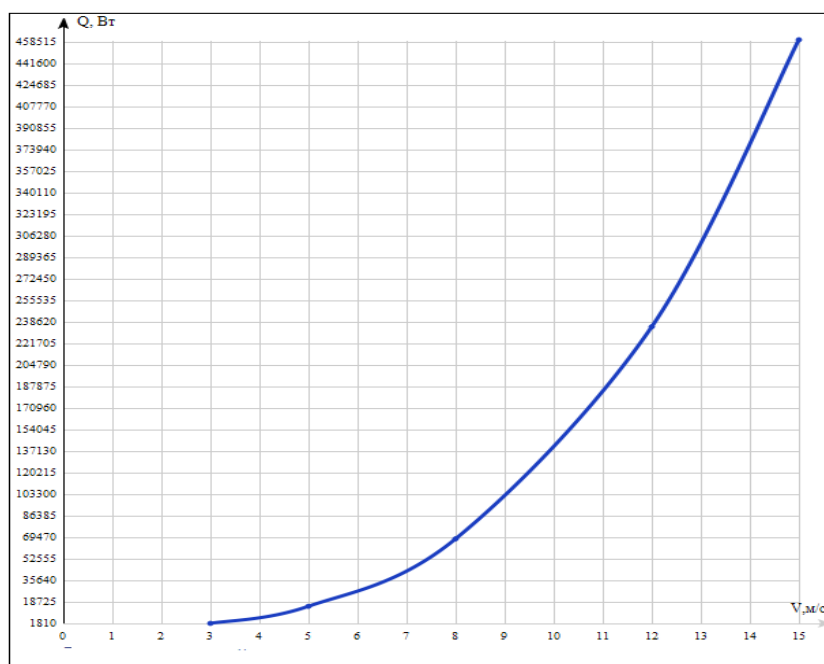
Φ бұр	Актуаторлар					
	3	4	5	6	7	8
0	$-1,73 \cdot 10^{-12}$	$6,113 \cdot 10^3$	$2,406 \cdot 10^{-12}$	946,416	$1,508 \cdot 10^4$	$-1,873 \cdot 10^4$
1	-0,648	$6,148 \cdot 10^3$	-0,65	951,625	$1,52 \cdot 10^4$	$-1,88 \cdot 10^4$
2	-2,597	$6,182 \cdot 10^3$	-2,617	957,264	$1,532 \cdot 10^4$	$-1,887 \cdot 10^4$
3	-5,858	$6,215 \cdot 10^3$	-5,926	963,301	$1,544 \cdot 10^4$	$-1,893 \cdot 10^4$
4	-10,439	$6,247 \cdot 10^3$	-10,6	969,703	$1,556 \cdot 10^4$	$-1,899 \cdot 10^4$
5	-16,349	$6,277 \cdot 10^3$	-16,663	976,435	$1,568 \cdot 10^4$	$-1,905 \cdot 10^4$
6	-23,595	$6,305 \cdot 10^3$	-24,137	983,46	$1,58 \cdot 10^4$	$-1,91 \cdot 10^4$
7	-32,184	$6,332 \cdot 10^3$	-33,044	990,739	$1,591 \cdot 10^4$	$-1,915 \cdot 10^4$
8	-42,122	$6,357 \cdot 10^3$	-43,405	998,23	$1,603 \cdot 10^4$	$-1,919 \cdot 10^4$
9	-53,412	$6,38 \cdot 10^3$	-55,238	$1,006 \cdot 10^3$	$1,614 \cdot 10^4$	$-1,925 \cdot 10^4$

ЖО бұрылу бұрыштары кесте 5.2-де 0-ден 9 градусқа дейін және $\alpha=0$ кезінде манипулятордың жоғарғы платформасы жағынан актуаторларға әсер ететін осьтік күштерді есептеу нәтижесінде алынған деректер келтірілген.

Деректерді талдау (кесте 5.2) ең көп күш 4, 7, 8 кабырғалық актуаторларда әсер ететінін көрсетеді. Сондықтан, осы актуаторларда ең жоғары қуатты қозғалыс байқалады. Осыны негізге ала отырып, қуатты одан әрі іріктеу осы актуаторлардан жүзеге асырылады. Қуатты іріктеу арқылы берілетін энергияны сандық бағалау үшін желдің жылдамдығына байланысты ЖО-ның тікелей соққысы кезінде ЖЭС-тің Q_m лездік қуатын анықтаймыз:

$$Q = \frac{1}{T} \sum_{i=3}^8 |N_i| \cdot v_i ,$$

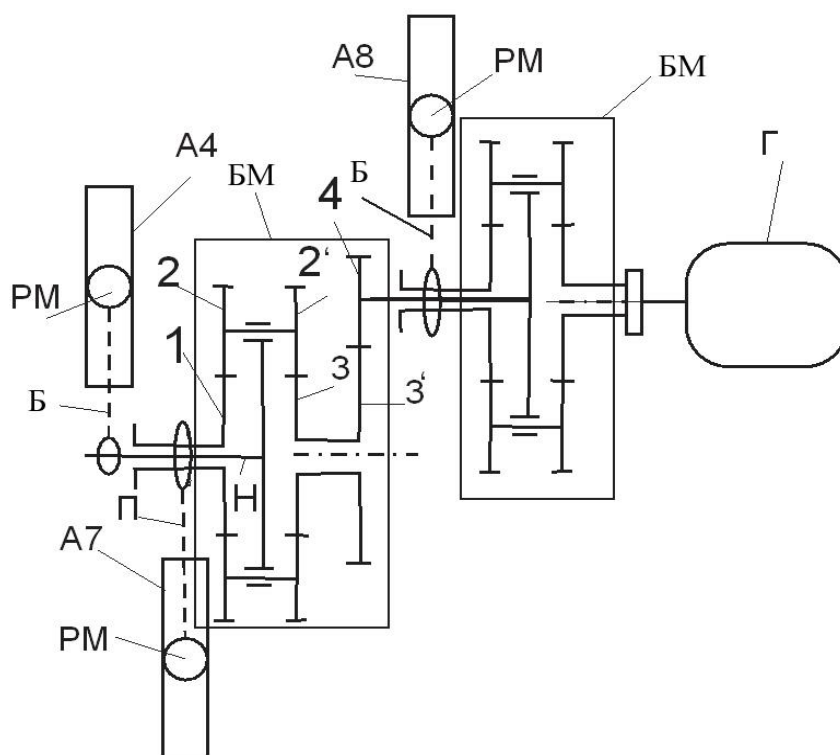
мұнда N_i , v_i - тиісінше актуаторлардағы күш-жігер және актуаторлар штоктарының қозғалыс жылдамдығы. Есептеулер нәтижелері бойынша диаграмма жасалды (сурет 5.2) ЖО-ны тікелей жүріс кезінде желдің жылдамдығына байланысты ЖЭС-тің өндіретін қуаты. Айта кету керек, бағдарламаның басында жел жылдамдығы 3 м/с болатын желкен бетінің ауданы есептелген, ал болашақта жел жылдамдығының өзгеруімен бұл аймақ есептеулерде сақталған. Шын мәнінде, желдің жылдамдығы жоғарылаған кезде басқару жүйесі желкенді автоматты түрде кішірейтеді, сондықтан өндірілген қуат берілген мән шегінде сақталады. Болашақта ҚІЖ-нің энергиясын электр энергиясын өндіретін электр машинасының роторына барынша тиімді беру үшін ҚІЖ-нің құрылымын қалыптастыру міндеті тұр.



Сурет 5.2 - Жел жылдамдығына байланысты желкенді ЖЭС қуатының өзгеру диаграммасы

5.3 Қуатты іріктеу жүйесінің құрылымын таңдау

ҚІЖ-нің құрылымын таңдау кезінде энергияны түрлендіру және беру кезінде шығындар аз болуын, сондай-ақ болашақта таңдалған құрылғылардың құны ЖЭС-тің өзіндік құнының айтарлықтай өсуіне әкелмеуін негізге аламыз. Жалпы, ҚІЖ-нің құрылымына (сурет 5.3) келесі құрылғылар кіреді: актуаторлар (А), актуаторлардағы кері-ілгерілемелі қозғалыстарды айналмалы қозғалысқа түрлендіретін құрылғы; тросты, белдікті берілістер (Б); дифференциалды тісті беріліс механизмдері (БМ); генератор роторы (Г). Кері-ілгерілемелі қозғалыстарды айнымалы қозғалыстарға бір бағытта айналдыратын құрылғы ретінде арнайы рейкалық конструкциялы механизмдер қолданылды. ҚІЖ-нің сурет 5.3-те көрсетілген таңдалған құрылымы 4,7,8 үш актуатордан және екі дифференциалды механизмнен тұрады. Дифференциалды механизмнің кинематикалық схемасы толығырақ ұсынылған. Бірінші МТ-те 2 кіріс бар: актуаторлардан 4 және 7 тиісінше n және k доңғалақ 1 және шығу-доңғалақ 3 арқылы. Сонымен қатар, доңғалақтың 3 бұрыштық жылдамдығы n және доңғалақтың 1 бұрыштық жылдамдығының қосындысына тең. Әрі қарай, екінші МТ-те екі кіреберіс бар: доңғалақтан 4 және жүргізуші және бір шығу, генератор білігіне қосылған. Бұл схема генератор білігін бұрыштық жылдамдықпен актуаторлардан берілген 4,7,8 бұрыштық айналу жылдамдығының қосындысына тең айналдыруға мүмкіндік береді. Желдің жылдамдығы 3 м/с тең болған кезде ҚІЖ 600 айн/мин бұрыштық жылдамдықпен генератордың роторын қозғалысқа келтіреді және $N=7.5$ кВт қуатын береді.



Сурет 5.3 - Қуатты іріктеу жүйесінің құрылымы

ҚІЖ-сі құрылымының басқа мүмкін нұсқалары олардың қажетті артықшылықтар бермейтіндігіне байланысты қарастырылмайды. Мысалы, егер ҚІЖ-ге диагональды актуаторларды 3, 5, 6 қоссаңыз, онда олар қосымша екі МТ және басқа құрылғыларды енгізуді қажет етеді, сондай-ақ, екі генератордың жұмысын үйлестіру және басқару үшін қосымша тағы бір генератор мен қуат түрлендіргіштер жүйесі. Мұндай ҚІЖ-сі пайдалы әсер коэффициентте үлкен шығындарға ие болады, сондай-ақ генератор мен күштік электроникаға қосымша шығындарды талап етеді.

5.4 Электр энергиясын генерациялау жүйесін құру

Желкенді ЖЭС-те электр энергиясын өндіру үшін әртүрлі электр машиналарын пайдалануға болады. Қажетті қуатты электр генераторын таңдау, пайдалану сенімділігін, оңтайлы құнын және жоғары тиімділігі барын таңдау өзекті және көп мақсатты міндет болып табылады. Желкенді ЖЭС-да генерациялау жүйесі турбиналық ЖЭС-термен бірдей жел динамикасында жұмыс істейді. Осыған сүйене отырып, турбиनाлық жел электр станциялары үшін электр энергиясын өндіретін жүйені таңдау тәжірибесін желкенді жел электр станциясында сәтті қолдануға болады. Турбиналық ЖЭС қазіргі уақытта нарықта қол жетімді жел генераторларының әртүрлі маңызды түрлері бар, олар жұмыста егжей-тегжейлі сипатталған [95, 96]. Қысқа тұйықталған индукциялық машина (SCIM) жел генераторларының тұрақты жылдамдығы үшін қолданылатын барлық басқа электр машиналарымен танымал. Ол жел генераторының роторына қосылады, ал статор конденсатор батареясының көмегімен торға тікелей қосылады. Машинаның бұл түрінің кейбір кемшіліктері бар, мысалы: энергияны түрлендіру жүйесі кезінде оның тиімділігі төмен, беріліс қорабына жоғары техникалық қызмет көрсету, белсенді және реактивті қуатты басқарудың минималды мүмкіндігі, сондай-ақ SCIMs жоғары механикалық жүктемеге ие. Қос қуатты асинхронды машина (DFIM) [97-99] - бұл жел турбиналық жүйесінің шамамен 50%-ы бар жел турбиналық қосымшалар үшін кеңінен қолданылатын машиналардың бірі. Бұл машиналарды ауыспалы жылдамдық технологиясына қолдану жетектегі механикалық жүктеменің төмендеуіне және қуаттың ауытқуына әкеледі, сонымен қатар қуаттың жоғалуын азайтады. SCIM-мен салыстырғанда DFIM жағдайында желдің жылдамдығы жоғары болған кезде, жел энергиясымен алынатын қуат қадамды басқару арқылы шектелуі мүмкін. DFIM көптеген артықшылықтарға ие, мысалы, механикалық жүктемелерді азайту, жылдамдықты басқару әдісін қолдана отырып, максималды қуатты бақылау мүмкіндігі және белсенді және реактивті қуатты басқаруда икемділік. Алайда, қос қуатты асинхронды машиналарда щеткалар қолданылады, бұл сенімділікті азайтады және қосымша күтімді қажет етеді. Синхронды тікелей жетекті машиналар (DDSM) асинхронды Қос қуатты машиналарға ұқсас; олардың DFIM сияқты кейбір артықшылықтары бар, DDSM көбейткіштерсіз жұмыс істей алады. Щеткасыз екі жақты индукциялық машина (BDFIM) автономды қосымшалар үшін қолайлы dfim баламасы ретінде пайда болды. BDFIM-дің басты артықшылығы-тиісті қолдану уақыты шектелген

щеткалар жоқ, ал статор орамалары тікелей қосылуды болдырмас үшін бөлек полюстерге ие. Генерациялау жүйесі генератордан басқа қосымша құрылғыларды қамтиды. Сурет 5.4-те ЖЭС-тің электр энергиясын өндірудің жеңілдетілген функционалдық схемасы көрсетілген (мұнда желкенділікті басқару жүйесімен байланыс көрсетілмеген). Схемада ЖО-ны қабылдаған жел энергиясы ҚІЖ-да түрленеді және генерациялау жүйесіне беріледі. Генерациялау жүйесі жинақтау функциясын реттейтін контроллерден тұрады; электрондық түрлендіргіштерден, аккумуляторлардан.

Сурет 5.4 - ЖЭС-нің электр энергиясын генерациялау жүйесі

5.5 Желкенді ЖЭС-ның генерациялау және жинақтау жүйелеріне шығушы кернеуді реттейтін басқарылатын жүйе

- микроконтроллерді басқару жүйесін енгізу;
- сандық чиптерді қолдану;
- компоненттік базаны азайту және электр тізбегінің қуат бөлігін басқару үшін гальваникалық түйісулерді пайдалану, ал инвазивті емес сенсор, ток сенсоры ретінде қолданылады;
- басқару процесін алгоритмдік синхрондауды қолдану.

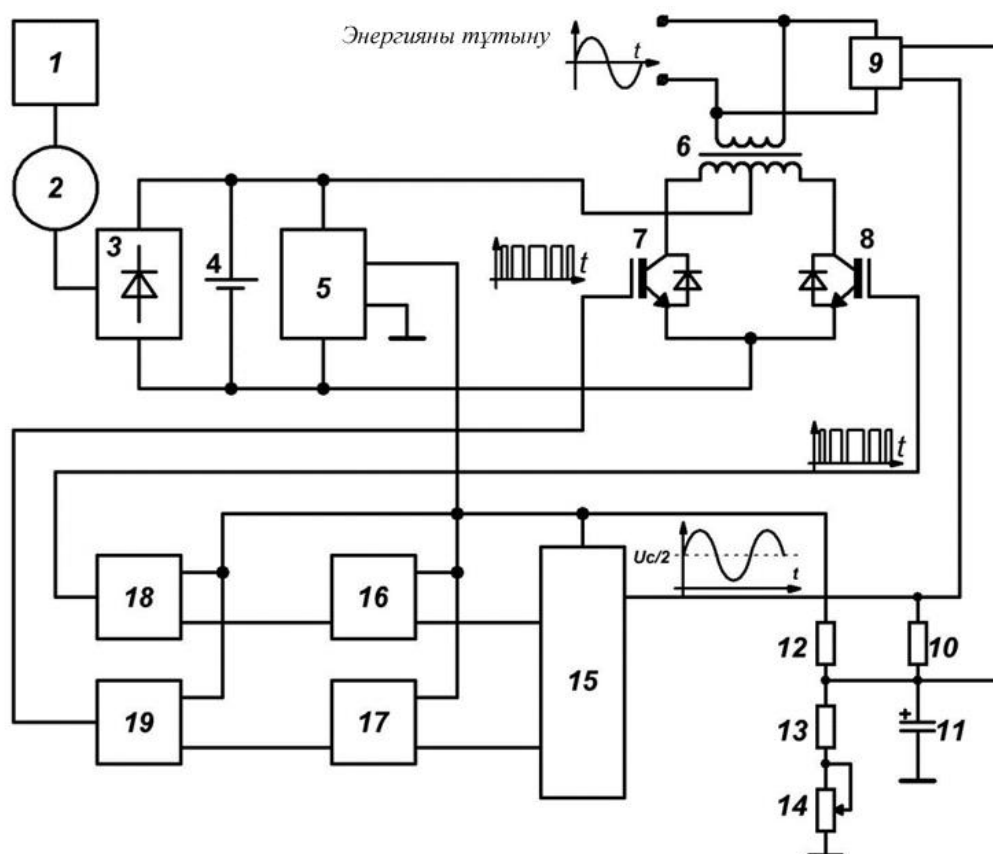
Сурет 5.5-те желкенді ЖЭС үшін шығу кернеуін тұрақтандыратын микроконтроллерлік құрылғы ұсынылған, ол 1 ҚІЖ-нен тұрады, синхронды генератор 2, түзеткіш 3, аккумуляторлық батарея 4, кернеу тұрақтандырғышына қосылған шықпалар 5, сондай-ақ, 4 аккумуляторының оң полюсі трансформатордың бастапқы орамасының жалпы терминалына 6 қосылған, бастапқы орамасы екі орамадан тұрады, транзистор 7 коллекторы бастапқы ораманың бір шықпасына қосылған, оның эмитері аккумулятордың теріс шығуына қосылған 4, 6 трансформаторының бастапқы орамасының басқа терминалына 8 транзисторлық коллектор қосылған, сондай-ақ, оның эмитері аккумулятордың теріс шығуына қосылған 4, инвазивті емес ток сенсоры 9 трансформаторының екінші орамасына 6 қосылған, 10 жүктеме резисторы қосылған бір шықпаға, тегістейтін конденсатор 11 және датчиктің қуат кернеуін бөлгіш, резисторлардан құралған 12, 13 және реттеу резисторы 14, 9 ток сенсорының екінші шығысы 10 резисторының басқа шығысына және 15 аналогты сандық микроконтроллер түрлендіргішінің кірісіне қосылған, бір шығысы қуат күшейткішіне 16 қосылған, тағы бір шығысы қуат күшейткішіне 17 қосылған, 16 күшейткіштің шығысы 18 оптрон айырымына қосылған, шығысы транзистордың қақпасына қосылған 8, ал қуат күшейткішінің шығысы 17 көтерме ажыратқышқа 19 қосылған, шығысы транзистордың қақпасына қосылған 7.

Желкенді желге арналған Шығу кернеуін тұрақтандыратын микроконтроллерлік құрылғы келесідей жұмыс істейді. Қуат қосылған кезде кернеу тұрақтандырғышы 5 батареясынан 4 кернеуді түрлендіреді, оны 5 В-қа жақын тұрақтандырады, 15 микроконтроллерді қоректендіру үшін қажет, бұл өз кезегінде терминалдарда басқару импульстарын қалыптастыра бастайды. Импульстар ендік импульсті модуляция заңына сәйкес қалыптасады, тірек тербелісі ретінде жиілігі 50 Гц синусоидалды тербеліс қабылданады. Сонымен қатар, жарты кезеңде 15 микроконтроллердің бір терминалында импульстар пайда болады, ал жарты циклдің екінші жартысында микроконтроллердің екінші терминалында импульстар пайда болады. Импульстердің қайталану жиілігі кемінде 2 кГц құрайды, бұл кезде импульстардың ені синусоидалы заңға сәйкес 254-ке көбейтіледі, ал импульстің максималды ені 0-ден 253-ке дейінгі N санын құрайды, ол бастапқыда 15 микроконтроллердің EEPROM-да сақталады. Импульстар сәйкесінше 16 және 17 күшейткіштерге беріледі, оларда олар күшейтіліп, сәйкесінше 18 және 19 оптрондарына беріледі. Оптонынан 18 импульстар транзистордың қақпасына 8, ал оптронынан 19 импульстар транзистордың қақпасына 7 беріледі. 7 және 8 транзисторлары қақпаға оң сигнал берілген кезде ашылады. Осылайша, периодтың жартысы 7 транзисторының қақпасына импульстар беріледі, олардың ені артады, содан кейін синусоидалы заңға сәйкес азаяды, оны ашып, жабады, осылайша 5 трансформатордың бастапқы орамасының жартысын қуат көзіне қосады және ажыратады. Бұл уақытта транзистор 8 жабық. Екінші орамада ЭҚК бір бағытта жүреді. Содан кейін жартылай циклдің екінші жартысы жабық күйде транзистор 7 болып табылады, ал импульстар 8 транзистордың қақпасына беріледі, оны жабық және

ашық күйге келтіреді, яғни трансформатордың бастапқы орамасының екінші жартысын 5 қосу және ажырату қуат көзіне. Трансформатордың қайталама орамасында 5 ЭҚК басқа бағытта қозғалады.

Сонымен қатар, трансформатор орамаларының индуктивтілігіне байланысты 5, мұндай сигналдар олар арқылы өткеннен кейін 180° ығыстырылған жартылай синусоид түрінде болады. Екінші орамада ЭҚК пайда болады және синусоидалы ток жүктеме арқылы ағыла бастайды. Бұл 9 - сенсордың магнит тізбегінің циклінде орналасқан өткізгіштің айналасындағы ток магнит өрісін жасайды, 9 - сенсор орамасында индукция тогы ағыла бастайды. Кернеу тұрақтандырғышынан 9, 12, 13 резисторларынан және 14 түзеткіш резисторынан тұратын кернеу бөлгіші арқылы датчиктің терминалдарының біріне 2,5В кернеуі беріледі. Сенсордың 9 сигналдық шығысындағы кернеу токтың бағытына байланысты 2,5 В-тан 1,5...3,5 В-қа дейін көбейе немесе азая бастайды. сенсордан 9 сигнал шығысы микроконтроллердің 15 АСТ шығысына қосылады, ал сенсордың шығысы ток болғандықтан, 10 резисторының жүктеме кедергісі параллель қосылған, соның ішінде АСТ шығысын жою үшін қажет, 11 электролиттік конденсаторда туындаған кедергілерді.

Желкенді жел электр станциясының микроконтроллерлік құрылғы сурет 5.5 келтірілген.



Сурет 5.5 – Желкенді ЖЭС шығыс кернеуін тұрақтандыратын микроконтроллерлік құрылғы

АСТ үшін тірек кернеуі-бұл қуат кернеуі. Микроконтроллерінің 15 АСТ аналогтық сигналды 0-ден 1023-ке дейінгі екілік санға түрлендіріп, оны регистрлерге жазады. Әрі қарай, бұл мән салыстыру процесіне ұшырайды және соған байланысты импульстік ендік модуляциясын реттеу туралы шешім қабылданады. Мысалы, жел жылдамдығының өзгеруінен туындаған трансформатордың шығыс кернеуі өзгерген кезде ток едәуір өсті, сәйкесінше әр жаңа салыстырумен басқару импульстарының максималды ені бір мәнге азаяды және N-1, N-2 болады және т.б. трансформатордың екінші орамасындағы кернеу тұрақтанғанға дейін 6. Керісінше, егер трансформатордың 6 шығысындағы ток азайса, басқару импульстарының ені керісінше артады. Осылайша, шығыс кернеуі тұрақтандырылады. Желкенді ЖЭС үшін шығу кернеуін тұрақтандыратын микроконтроллерлік құрылғы, ҚІЖ-сі бар, синхрондық генератор, түзеткіш, кернеу стабилизаторы, аккумуляторлық батарея, трансформатордың бастапқы орамасының жалпы шығысына қосылған оң полюс, бастапқы орамасы екі орамадан тұрады, бір транзистордың коллекторы трансформатордың бастапқы орамасының бір шығысына қосылған, оның эмиттері аккумуляторлық батареяның теріс шығысына қосылған, трансформатордың бастапқы орамасының басқа шығысына басқа транзистордың коллекторы қосылған, оның эмиттері аккумуляторлық батареяның теріс шығысына қосылған. Басқару жүйесін жетілдіру үшін инвазивті емес ток сенсоры трансформатордың қайталама орамасына қосылған, оның бір шығысына жүктеме резисторы, тегістейтін конденсатор және резисторлардан тұратын сенсордың кернеу бөлгіші қосылған, екінші сенсор шығысы жүктеме резисторының басқа терминалына және аналогтың кірісіне қосылған-сандық микроконтроллер түрлендіргіші, оның бір шығысы күшейткіш арқылы шығыс бір транзистордың қақпасын арқылы қосылған, ал екінші қуат күшейткіші арқылы шығыс басқа транзистордың қақпасына қосылған басқа оптрон түйіспесіне қосылған.

5.6 5-бөлім бойынша қорытындылар

– Желкенді жел станциясында жел жүктемесін генератордың роторының білігіне қабылдайтын жұмыс органынан берілетін жел күштерінің қуатын бағалауға мүмкіндік беретін алгоритм алынды. Есептеулер негізінде желкенді ЖЭС-тің энергетикалық сипаттамалары желдің жылдамдығына байланысты генерациялау жүйесіне берілетін ҚІЖ-нің қуатын зерттеу арқылы зерттелді. ҚІЖ-сі құрылымының негіздемесі келтірілген. Желкенді ЖЭС-те генерациялау жүйесі турбиналық ЖЭС-тер сияқты желдің динамикасында жұмыс істейді. Осыған сүйене отырып, желкенді ЖЭС-те турбиналық ЖЭС-тің электр энергиясын өндіру жүйесін таңдау тәжірибесін сәтті қолдана алады. Жұмыста генерациялау жүйесінің генераторы таңдалады және желкенді ЖЭС үшін генерациялау және жинақтау жүйесінің функционалды схемасы ұсынылады. Желкенді ЖЭС-тің электр энергиясын генерациялау және сақтау кезінде шығыс кернеуін тұрақтандырудың басқарылатын жүйесін қолдану ұсынылады.

ҚОРЫТЫНДЫ

Компьютерлік модельдеу және аэродинамикалық құбырдағы эксперименттік зерттеулер парустың параметрлері негізделген және таңдалған.

Желкенді ЖЭС-тің қолданыстағы моделі жасалды және сынау арқылы желкенді ЖЭС-тің функционалдық мүмкіндіктері расталды.

Тербелмелі жұмыс органымен желкенді ЖЭС параметрлерін зерттеу және таңдау үшін аналитикалық аппарат құрылды.

Бастапқы манипулятор түрлендіргіші мен демпферлік жүйенің параметрлерін анықтау алгоритмі жасалды.

4 кіші жүйеден тұратын желкенді ЖЭС автоматты басқару жүйесі құрылды:

- желкенді басқару;
- демпфирлеуді басқару;
- электр энергиясын өндіруді бақылау;
- штаттан тыс жағдайлар кезінде басқару.

Желкенді ЖЭС үшін генератор роторының білігіне ҚІЖ арқылы жел жүктемесін қабылдайтын жұмыс органынан берілетін жел күшінің қуатын бағалауға мүмкіндік беретін алгоритм әзірленді.

Желкенді ЖЭС-тің энергетикалық сипаттамалары желдің жылдамдығына байланысты генерациялау жүйесіне берілетін ҚІЖ-нің қуатын зерттеу арқылы зерттелді.

ҚІЖ құрылымы және желкенді ЖЭС электр энергиясын генерациялау және жинақтау жүйелері негізделген.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. M. H. Baloch, J. Wang, G. S. Kaloi, "A Review of the State of the Art Control Techniques for Wind Energy Conversion System", International Journal of Renewable Energy Research, vol. 6, no. 4, pp. 1276-1295, 2016. (Article)
2. K. S. P'yankov, M. N. Toporkov, "Mathematical modeling of flows in wind turbines with a vertical axis", Fluid Dynamics, vol. 49, pp. 258, 2014. (Article)
3. R. Gasch, J. Twele, "Langer Grundlagen Windkraft, Entwurf, Planung und Betrieb", Springer vol. 23, pp. 599, 2016. (Article)
4. S. Apelfröjd, S. Eriksson, H. Bernhoff, "A Review of Research on Large Scale Modern Vertical Axis", Wind Turbines at Uppsala University Energies, vol. 9, pp. 570, 2016. (Article)
5. A.J. Buchner, M.W. Lohry, L. Martinelli, J. Soria, A.J. Smits, "Dynamic stall in vertical axis wind turbines: comparing experiments and computations", J. Wind Eng. Ind. Aerodyn. Vol. 146, pp. 163-171, 2015. (Article)
6. H. U. Banna, A. Luna, Sh. Ying, H. Ghorbani, P. Rodriguez, "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 , pp. 615-622, 19-22 Oct. 2014 . (Conference Paper)
- A. Harrouz, I. Colak, K. Kayisli, "Energy Modeling Output of Wind System based on Wind Speed", in the International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA), Brasov, Romania, pp. 63-68, 3-6 November, 2019. (Conference Paper)
7. S. A. Akdağ, Ö. Güler, E. Yağci, "Wind speed extrapolation methods and their effect on energy generation estimation", in the International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA), Madrid, Spain, pp. 428-430, 20-23 October, 2013. (Conference Paper)
8. C. J. Bai, W.C. Wang, "Review of computational and experimental approaches to analysis of aerodynamic performance in horizontal-axis wind turbines", Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 63, pp. 506-519, 2016. (Article)
9. M. Holl, P.F. Pelz, M. Platzer, "Analytical method towards an optimal energetic and economical wind energy converter", J. Energy, vol. 94, pp. 344-351, 2016. (Article)
10. US20140341736A1, Sail wind turbine, November 2014. (Standards and Report)
11. M. M. Hussein et al., "Control of a grid connected variable speed wind energy conversion system," in the International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA), Nagasaki, pp. 1-5, Japan, 11-14 Nov. 2012. (Conference Paper)
12. Ö. Kiymaz , T. Yavuz, "Wind power electrical systems integration and technical and economic analysis of hybrid wind power plants", in the IEEE International Conference on Renewable Energy Research and Applications (ICRERA), Birmingham, UK, pp. 158-163, 20-23 Nov. 2016. (Conference Paper)
13. K. V. Wong, "Land-Sail Vehicle to Generate Electricity", J. Energy Resour. Technol. vol. 137(1), 124-129, September 2014. (Article)

14. US 2013 0181458A1, System for converting wind energy, Jul.18, 2013. (Standards and Reports)
15. World population prospects: The 2012 revision. // Economic & Social Affairs. - New York, 2013. - №228.
16. International energy outlook 2013. // U.S. Energy Information Administration. – 2013. - №0484.
17. Орлова Г.А., Марков А.К. Экономический рост: теория и практика. // Вестник Российский внешнеэкономический. – Москва, 2014. - №7.
18. Рамочная конвенция Организации Объединенных Наций об изменении климата. (Принята 9 мая 1992 года). www.un.org. 10.07.2020.
19. Вирт А.Д. Глобальное управление в сфере изменения климата. Парижское соглашение. // Вестник Международных отношений организаций. – Москва, 2017. - Т. 12, Вып.3.
20. Национальный энергетический доклад. // KAZENERGY. - Нур-Султан, 2017. - № 2. www.kazenergy.com. 09.07.2020.
21. Баркин О.Г., Волкова И.О., Кожуховский И.С. Электроэнергетика России: проблемы выбора модели развития. Колесник В.Г., Косыгина А.В. и др. // Аналит. доклад к XV Апрельской междунар. науч. конф. по проблемам развития экономики и общества. - Москва: НИУ ВШЭ, 2014.
22. Алдаяров М., Иштван Д., Николакаис Т. Затянувшийся переход: Опыт проведения реформ и новые вызовы в секторе электроэнергетики Казахстана. // Направления развития. - Вашингтон, 2017. - С. 89-95.
23. Сычев Д.С. Исследование влияния ограничения скорости изменения уровня воды в водохранилище в зависимости от атмосферных факторов, обеспечивающих безопасность ГТС, и их влияние на энергетические показатели ГЭС. // дис. ... к. т. н.: 05.14.08 / Национальный исследовательский университет «МЭИ». – Москва, 2018.
24. Левинзон С. В. Энергосбережение. Новые технологии и перспективы. // Международный журнал экспериментального образования. – Москва, 2016.
25. Гнатусь Н.А. Тепловая энергия Земли - основа будущей теплоэнергетики. // Новости теплоснабжения. – Москва, 2006. - № 12 (76). www.nts.ru. 10.07.2020.
26. Мартьянов А.С. Исследование алгоритмов управления и разработка контроллера ветроэнергетической установки с вертикальной осью вращения. // дис. ... к. т. н.: 08.04.16 / ЮУрГУ (НИУ). - Челябинск, 2016.
27. Шевченко М.В. Современные ВЭС и особенности их конструкции. // Вестник Камчат. ГТУ. - 2006. - № 5.
28. Национальный энергетический доклад. // KAZENERGY. – Нур-Султан, 2018. - №3.
29. Станкевич, Д.О. Исследование №2 «Новые энергетические технологии». Николаев А.Г., Андреева Е.В. и др. // Ассоциация «НП Совет рынка». - Москва, 2017. www.np-sr.ru. 10.07.2020.
30. Клименко В. Н., Мазур А. И., Сабашук П. П. Когенерационные системы с тепловыми двигателями: справочное пособие. // ИПЦ АЛКОН НАН Украины. – Киев, 2008.

31. Шаталова О.И., Шиянов С.Е., Снегирева Н.В. Стратегические приоритеты новой индустриализации на основе инновационного развития экономики. Кашеева Е.В., Кобелева А. А. // Вестник АГУ. – Майкоп, 2016. - №3 (185).
32. Корепанова О.Ю., Касаткина Н.Ю., Корепанов Ю.Г. Потенциал использования геотермальной энергии в сельском хозяйстве на территории РФ. Алексеева А.Ю., Касаткин В.В. // 2016. - № 3 (49).
33. Найт Н. Геотермальная энергия: плюсы и минусы. Геотермальные источники энергии. 2015. www.syl.ru. 08.07.2020.
34. Закон РК О поддержке использования возобновляемых источников энергии (с изменениями и дополнениями по состоянию на 28.12.2018 г.) www.online.zakon.kz. 09.07.2020.
35. Global Wind energy council. www.gwec.net. 03.09.2020.
36. Renewables 2014. Global status report. // Ren21. - 2014. www.ren21.net. 03.09.2020.
37. Global wind statistics 2013. // GWEC. – 2014. www.gwec.net. 03.09.2020.
38. Half-year report 2013. // The World Wind Energy Association (WWEA). – Bonn, 2013. www.wwindea.org. 03.09.2020.
39. Kaldellis J.K., Zafirakis D. The wind energy revolution: a short review of long history. // Renew Energy. – 2011. - Vol. 36. - P. 1887 – 901.
40. Hansen L.H. Generators and power electronics technology for wind turbines. // IEEE proc. On Industrial Electronics Society Conference. - Denver, 2001. - P. 2000 – 5.
41. US Department of Energy. Energy efficiency and renewable energy. Wind program information resources. - 2014. www.energy.gov. 03.09.2020.
42. Baghzouz Y. Characteristics of wind power systems. // UNLV. – Las-Vegas, 2014.
43. Носонов А.М. Матер. междунар. науч.-практич. конф. «Козыбаевские чтения-2018: Евразийский потенциал и новые возможности развития в условиях глобальных вызовов». // Вестник СКГУ. – Петропавловск, 2018. – Т. 1.
44. Ветровая энергия – реальный источник возобновляемой энергии для Казахстана. // articlekz.com. 07.07.2020.
45. Кусаиынов К., Танашева Н.К., Тургунов М.М. Исследование аэродинамических характеристик вращающихся пористых цилиндров. Алибекова А.Р. // Журнал технической физики. – 2015. - Т. 85, Вып.5.
46. Байшагиров Х.Ж. Малые ветроустановки Казахстана: Разработки, проблемы и пути их решения. // Вестник. КазНАЕН. – Астана, 2017. - № 1.
47. Батырбеков Э. Построение мира без ядерного оружия // ЧЕЛОВЕК. ЭНЕРГИЯ. АТОМ. - Курчатов, 2016. - №2 (26).
48. Байшагиров Х.Ж., Есдаuletova К.Д., Казиева Д.Б. О проблемах создания малых ветроустановок в Казахстане. // Вестник КГУ. – Кокшетау, 2014.
49. Байшагиров Х.Ж., Ермаганбетова С.К., Казиева Д.Б. К созданию малых ветроэнергетических установок. // IV Междунар. науч.–практич. конф. на тему:

«Актуальные проблемы транспорта и энергетики: пути их инновационного решения», посвященная 20-летию ЕНУ. - Астана: ЕНУ, 2016.

50. Мурзинов. А.А. Повышение устойчивости синхронных генераторов в системе внутривозовского электроснабжения с помощью быстродействующего статического компенсатора реактивной мощности. // дис. ... к. т. н.: 11.03.11 / Магнитогорский государственный технический университет. – Магнитогорск, 2011.

51. Шоланов К.С., Кабанбаев А.Б., Мирзабаев Б.И. Исследования применения парусных ветрогенераторов в Казахстане // Труды Университета 2019. – Караганда: КарГТУ, 2019.

52. Пат. 28840 Республика Казахстан, МПК F03D 3/00. Ветродвижитель К.Стахнова комбинированный автономный ВДСКА / Стахнов К.М., Ахмуханов М.Н. - № 2012/1218.1; заявл. 19.11.2012; опубл. 15.08.2014, Бюл. № 8.

53. Буктуков Н. С. Возобновляемые источники энергии – энергетическая независимость. Буктуков Б. Ж., Жакып А. К., Молдабаева Г. Ж. // ENGINEER.KZ. №0 2018. www.engineerkz.com. 09.07.2020.

54. Денисенко И.П., Ливанова Т.В. Ветрогенераторы. // Сборник трудов III Междунар. науч.–практич. Конф. «Актуальные проблемы и пути развития энергетики, техники и технологий». - Балаково: Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», 2017. - С.19-22.

55. Байшагиров Х.Ж., Есдавлетова К.Д., Казиева Д.Б. О проблемах создания малых ветроустановок в Казахстане. // Вестник КГУ. – Кокшетау, 2014.

56. 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. – Т. 1.

57. Bianchi F., Battista H., Mantz R. Wind Turbine Control System: Principles, Modelling, and Gain Scheduling Design. - London: Publisher «Springer», 2007.

58. Moriarty P., Butterfield S. Wind turbine modeling overview for control engineers. // American Control Conference (ACC). – St. Louis, 2009. - P. 2090 – 2095.

59. Sun Y., Lin J., Jie Li G., Li X. A review on the integration of wind farms with variable speed wind turbine systems into power systems. // International Conference on Sustainable Power Generation and Supply (SUPERGEN). – Nanjing, 2009. - P. 1 - 6.

60. Li H., Chen Z. Overview of different wind generator systems and their comparisons. // IET Renewable Power Generation. – 2008. - Vol. 2. - №2. - P. 123 – 138.

61. Yan J., Chen J., Ma H., Liu H. The survey of electrical control systems of wind turbine generators. L.Chen. // International Conference on Sustainable Power Generation and Supply (SUPERGEN). – 2009. - P. 1 - 5.

62. Sun Yuan-zhang, Wang L. Review on frequency control of power systems with wind power penetration. // IEEE International Conference on Power Syst. Technology (POWERCON). – Hangzhou, 2010. - P. 1 - 8.
63. Laks J., Pao L., Wright A. Control of wind turbines: Past, present, and future. // American Control Conference (ACC). – 2009. - P. 2096 - 2103.
64. Ling W., Guoxiang W., Xu C. Comparison of wind turbine efficiency in maximum power extraction of wind turbines with doubly fed induction generator. // Przegląd Elektro techniczny Electrical Review. – 2012. - P. 5.
65. Murthy M. A review on power electronics application on wind turbines. // International Journal of Research in Eng. & Technology. – 2013. - Vol. 2. - №11.
66. Soriano L., Yu W., Rubio J. Review article modeling and control of wind turbine. // Mathematical problems in Eng. - Mexico City, 2013. - Vol. 2013. - P. 13.
67. Kante V., Khan D. A review paper on modeling and simulation of permanent magnet synchronous generator based on wind energy conversion system. // International jour. of Engg. Research and Appl. – 2014. – Vol. 4. – № 6. – P. 34 - 43.
68. M. Platzer, J. Young, N. Sarigul-Klijn, “Renewable Hydrogen Production Using Sailing Ships”. J. Energy Resour. Technol vol. 136(2), pp. 135-140, 2014. (Article)
69. J.C. Cajas, M. Zavala, G. Houzeaux, E.Casoni, M.Vázquez, C. Moulinec and Y. Fournier, “Fluid Structure Interaction in HPC Multi-Code coupling”, in the Fourth International Conference on Parallel, Distributed, Grid and Cloud Computing for Engineering (PARENG15), Dubrovnik (Croatia), pp 24-27, March 2015. (Conf. Paper)
70. K.S. Sholanov, Power plants (variants) on the basis of parallel manipulator, WO/2018/147716, 16.08.2018.(St. and Rep.)
71. K.S. Sholanov, K. Abzhaparov, B. Mirzabaev, “Justifying and choosing parameters of the wind power installation with an automatically controlled sailing working body”, Journal Energy Web and Information Technologies, vol. 6, pp. 1-8, July 2018. (Article)
72. K.S. Sholanov, Platform robot manipulator, WO/2015/016692, 05.02.2015. (Standards and Reports)
73. Фролов В.А. Аэродинамические характеристики профиля и крыла. Самара, СГАУ, 2007, 48 с.
74. Volker Quaschnig. Understanding Renewable Energy Systems. Earthscan
75. London, 2012, pp.429.
76. Csaki F.. Nonlinear, Optimal and Adaptive Systems, Budapest, 1972, pp.423.
77. D.A. Spera and T.R. Richard, “Modified power law equations for vertical wind profiles”, NASA Lewis Research Center, Wind Characteristics and Wind Energy Siting Conference sponsored by the U.S. Department of Energy, the American Meteorological Society, and the Pacific Northwest Laboratory Portland, Oregon, 19-21 June 1979. (Standards and Reports)
78. Fu K., R. Gonzalez and C.S.G. Lee, Robotics: Control, Sensing, Vision and Intelligence, McGraw-Hill, New York, 1987.
79. Merlet J.P., Parallel Robots, Springer Publishers, Dordrecht, 2006.

80. Шоланов К.С. Пространственная амортизационная демпфирующая система. Патент №332 Электронный бюллетень 16 08. 2017 г.
81. Vandiver J. K., Damping Parameters for flow-induced vibration, *Journal of Fluids and Structures*, 2012, vol. 35, pages 105-119.
82. D. W. Alan, L. J. Fingersh, and M. J. Balas, "Testing state space controls for the Control Advanced Research Turbine", 44th Meeting and Exhibit on Aerospace Sciences, Reno, Nevada, pp. 9-12, Jan. 2006.
83. M. Bayat and H. Karegar, "Predictive control of wind energy conversion system," 1st International Conference on Developments in Renewable Energy Technology (ICDRET), pp. 1-5, Dec. 2009.
84. Tsoumas, et al., "An optimal control strategy of a variable speed wind energy conversion system," 6th International Conference on Electrical Machines and Systems ICEMS, vol. 1, pp. 274 – 277, Nov. 2003.
85. F. Karim, M. F. Hossain, and M. S. Alam, "Modified Hill Climb Searching Method For Tracking Maximum Power Point In Wind Energy Conversion Systems," Proceedings International Conference on Mechanical Engineering (ICME), pp. 18-20, Dec. 2011.
86. M. M. Hussein et al., "Simple Sensor less Maximum Power Extraction Control for a Variable Speed Wind Energy Conversion System," *Int. Jour. of Sustainability & Green Energy*, vol. 1, no. 1, pp. 1-10, 2012.
87. J. W. Perng, G. Y. Chen and S. C. Hsieh, "Optimal PID Controller Design Based on PSO-RBFNN for Wind Turbine Systems," *Energies*, vol. 7, pp. 191-209, 2014.
88. J. Hostettler, X. Wang, "Sliding mode control of a permanent magnet synchronous generator for variable speed wind energy conversion systems," *Jou. of Cont. Sci. and Engg.*, vol. 3, no.1, pp. 453-459, 2015.
- A. Karakaya, E. Karaka, "Implementation of neural network-based maximum power tracking control for wind turbine generators," *Turk J Elec Eng & Comp Sci*, vol. 22, pp. 1410-1422, 2014.
89. M. Lima, J. Silvino, and P. de Resende, "H ∞ control for a variable speed adjustable-pitch wind energy conversion system," *IEEE Proceedings Ind. Electronics and International Symposium (ISIE)*, vol. 2, pp. 556-561, 1999.
90. Rocha et al., "Control of stall regulated wind turbine through H ∞ : loop shaping method," *IEEE Proceedings International Conference on Control Appl. (CCA)*, pp. 925-929, 2001.
91. R. Rocha and L. Filho, "A multivariable H ∞ control for wind energy conversion system," *IEEE Proceedings Int. Conference on Control Appl. (CCA)*, vol. 1, pp. 206-211, Jun. 2003. K.S.
92. Dorf R.C., Bishop R.H. *Modern control systems*. Prentice Hall, 2003, pp. 831.
93. 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*. Vol. 11, No. 2, June, 2020, pp. 723-737.

94. Zhang, Xizheng, and Y. Wang, "Robust Fuzzy Control for Doubly Fed Wind Power Systems with Variable Speed Based on Variable Structure Control Technique," Mathematical Problems in Engineering, 2014.
95. Baloch, Mazhar H., Jie Wang, and Ghulam S. Kaloi "Stability and nonlinear controller analysis of wind energy conversion system with random wind speed." International Journal of Electrical Power & Energy Systems 79 (2016): 75-83.
96. Kaloi, G.S., J. Wang, and M.H. Baloch, Active and reactive power control of the doubly fed induction generator based on wind energy conversion system. Energy Reports, 2016. 2: p. 194-200.
97. Kaloi, G.S., J. Wang, and M.H. Baloch, Dynamic Modeling and Control of DFIG for Wind Energy Conversion System Using Feedback Linearization. J Electr Eng Technol. 2016; 11(5): 1137-1146.
98. Kaloi, G., J. Wang, and M.H. Baloch, Study of stability analysis of a grid connected Doubly fed induction generator based on wind energy Application.
99. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 2016. 3(2): p. 305-313.
100. Инновационный патент РК № 29656. Устройство стабилизации выходного напряжения ветроэнергетической установки. /Кругликов А.П., Орынбаев С.А., Байбутанов Б.К.; опубл. 16.03.2015 г. Бюл. №3.

Қосымша А

ҒЗЖ (ТҚЖ) нәтижелерін оқу үрдісіне енгізу кесімі	Н 12/1-1.04-2020 1 баспа 25.06.2020	
--	--	---

БЕКІТЕМІН

Бірінші проректор М.а

(қолы)  (аты-жөні) _____
« 21 » 2020 ж.



Ғылыми-зерттеу жұмыстарының нәтижелерін оқу үрдісіне

ЕНГІЗУ КЕСІМІ

М.Х.Дулати атындағы ТарӨУ КЕ АҚ 2020 - 2021 оқу жылы

Осы кесіммен «Тербелісті үрдісін тиімді автоматтот басқару-ламон мен электр станциясының параметрлерін зерттеу және таңдау» тақырыбындағы зерттеу жұмысы кафедрасында
(кафедраның аты)
Касымбаев Айсен Батырбекович орындалған жұмыс нәтижелері
(орындаушының аты-жөні)
58071800-33, 58081200-АИЭЖ мамандығының
(мамандықтың аты)
«Дәстүрлі емес энергия көздерін пайдалану» пәнінен
(пәннің аты)
тәжірибелік және зертханалық
(тақырыптың атауы және оқу жұмысының түрі – зертханалық, практикалық сабақтар және т.б.)

енгізілгені расталады.

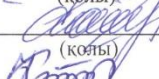
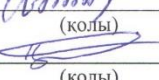
1. ҒЗЖ (ТҚЖ) нәтижелерінің жаңашылдығы мен энергетикалық құрал-жаппараттар мен таңдау туралы зерттеу жұмысы
(қолданыстағыдан айырмашылығы)
2. Оқу-тәжірибелік тексеру 2019-2020 оқу жылының 4 және 7 семестрлері
(оқу семестрін және қолдану ұзақтығын көрсету керек)
3. Енгізу тиімділігі Тәжірибелік және зертханалық
(оқу көрсеткіштерінің жақсаруы, СӨЖ жетілдіру және т.с.б.)
сабақтарының көрсеткіштері жақсарды

ОӘБ бастығы

ИӘЖҚҰБ бастығы

Кафедра меңгерушісі

Автор (қосалқы автор)

(қолы) 
(қолы) 
(қолы) 
(қолы) _____
(қолы)

(аты-жөні) Мажитбаев Б.Ж.
(аты-жөні) Ташкандеев С.К.
(аты-жөні) Б.те. Қонағали
(аты-жөні) Касымбаев А.Б.
(аты-жөні)

Қосымша Ә

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

REPUBLIC OF KAZAKHISTAN

PATENT
PATENT

№ 5431

ПАЙДАЛЫ МОДЕЛЬГЕ / НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ / FOR UTILITY MODEL

 (21) 2020/0379.2

(22) 17.04.2020

(45) 23.04.2021

(54) Бірнеше желкені бар жел электростанциясы
Ветровая электростанция с системой парусов
Wind power plant with sail system

(73) Кабанбаев Айбек Батырбекович (KZ)
Kabanbayev Aibek Batyrbekovich (KZ)

(72) Кабанбаев Айбек Батырбекович (KZ) Kabanbayev Aibek Batyrbekovich (KZ)
Абылдаев Айдар Абубакирович (KZ) Abildayev Aidar Abubakirovich (KZ)



ЭЦҚ қол қойылды
Подписано ЭЦП
Signed with EDS

Н. Әбілқайыров
Н. Абулқайров
N. Abulkairov

«Ұлттық зияткерлік меншік институты» РМҚ директорының м.а.
И.о. директора РИП «Национальный институт интеллектуальной собственности»
Executive director of RSE «National institute of intellectual property»

Қосымша Б

	
КАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ	РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН
АВТОРЛЫҚ ҚҰҚЫҚПЕН ҚОРҒАЛАТЫН ОБЪЕКТІЛЕРГЕ ҚҰҚЫҚТАРДЫҢ МЕМЛЕКЕТТІК ТІЗІМІГЕ МӨЛІМЕТТЕРДІ ЕНГІЗУ ТУРАЛЫ	
КУӘЛІК	
2019 жылғы «15» наурыз № 2310	
Автордың (лардың) жөні, аты, өкелінің аты (егер ол жеке басын куәландыратын жаққа көрсетілсе):	
КАБАНБАЕВ АЙБЕК БАТЫРБЕКОВИЧ, ЖАСАҚБАЕВ АҚБОЛ ДАНИЯРОВИЧ	
Авторлық құқық объектісі: ЭЕМ-те арналған бағдарлама	
«Информационно - измерительная программа для ветроэнергетической установки»	
Объектінің атауы: парусного типа»	
Объектіні жасаған күні: 30.05.2018	
СВИДЕТЕЛЬСТВО	
О ВНЕСЕНИИ СВЕДЕНИЙ В ГОСУДАРСТВЕННЫЙ РЕЕСТР ПРАВ НА ОБЪЕКТЫ, ОХРАНЯЕМЫЕ АВТОРСКИМ ПРАВОМ	
№ 2310 от «15» марта 2019 года	
Фамилия, имя, отчество (если оно указано в документе, удостоверяющем личность) автора (ов):	
КАБАНБАЕВ АЙБЕК БАТЫРБЕКОВИЧ, ЖАСАҚБАЕВ АҚБОЛ ДАНИЯРОВИЧ	
Вид объекта авторского права: программа для ЭВМ	
«Информационно - измерительная программа для ветроэнергетической установки»	
Название объекта: парусного типа»	
Дата создания объекта: 30.05.2018	
	
	Қысқартылған нұсқадағы «Қазақстан Республикасының Авторлық құқық заңында» көрсетілген мәліметтерді тексеру Патенттің құқық иелігіне қосылған рәсімдерді тексеру «Қазақстан Республикасының Авторлық құқық заңында» көрсетілген мәліметтерді тексеру
Толдирған ЭЦП	Батабаев Ж.О.

Қосымша В

Желкен d40 см, атқылау бұрышы 0 градус

м/с	Ат.б.	Ғк.к.	Ғб.к.	Cy	Cx	Re
3	0	0,35	1,5	0,23459	1	80540
5	0	0,7	2	0,1689	0,482	134200
8	0	1,35	4,5	0,1272	0,428	215000
10	0	2,1	8	0,126	0,482	268000
15	0	4,8	14,3	0,1286	0,383	403000
20	0	7,5	25,5	0,113	0,383	536900

Желкен d40 см, атқылау бұрышы 5 градус

м/с	Ат.б.	Ғк.к.	Ғб.к.	Cy	Cx	Re
3	5	0,37	1,6	0,248	1	80540
5	5	0,75	2,3	0,18	0,555	134200
8	5	1,7	6	0,16	0,565	215000
10	5	2,6	8,3	0,156	0,500	268000
15	5	5	16,7	0,134	0,447	403000
20	5	7,82	31,2	0,117	0,47	536900

Желкен d40 см, атқылау бұрышы 10 градус

м/с	Ат.б.	Ғк.к.	Ғб.к.	Cy	Cx	Re
3	10	0,41	1,7	0,274	1,1	80540
5	10	0,78	3,4	0,188	0,820	134200
8	10	2	7	0,188	0,659	215000
10	10	3,05	8,9	0,183	0,536	268000
15	10	5,3	18	0,142	0,482	403000
20	10	8,35	32,7	0,125	0,493	536900

Желкен d40 см, атқылау бұрышы 15 градус

м/с	Ат.б.	Ғк.к.	Ғб.к.	Cy	Cx	Re
3	15	0,43	2	0,288	1,3	80540
5	15	1	3,7	0,241	0,892	134200
8	15	2,5	7,3	0,235	0,688	215000
10	15	3,3	9,2	0,199	0,554	268000
15	15	6,8	20	0,182	0,536	403000
20	15	9	40,2	0,135	0,6	536900

Желкен d45 см, атқылау бұрышы 0 градус

м/с	Ат.б.	Ғк.к.	Ғб.к.	Cy	Cx	Re
3	0	0,4	2	0,21	1	91000
5	0	0,8	2,6	0,15	0,49	151000
8	0	1,5	4,8	0,11	0,353	241600
10	0	2,6	8,8	0,12	0,41	302000
15	0	5,4	16,7	0,11	0,349	450000
20	0	8,75	26,6	0,1	0,313	604000

Желкен d45 см, атқылау бұрышы 5 градус

м/с	Ат.б.	Ғк.к.	Ғб.к.	Cy	Cx	Re
3	5	0,41	2,1	0,215	1,1	91000
5	5	0,85	3,20	0,16	0,63	151000
8	5	1,8	7,5	0,132	0,55	241600
10	5	2,8	10,3	0,132	0,48	302000
15	5	5,05	19,9	0,105	0,416	450000
20	5	8,8	32,2	0,103	0,379	604000

Желкен d45 см, атқылау бұрышы 10 градус

м/с	Ат.б.	Ғк.к.	Ғб.к.	Cy	Cx	Re
3	10	0,42	2,3	0,221	1,2	91000
5	10	0,95	4,0	0,179	0,754	151000
8	10	2,10	7,95	0,154	0,584	241600
10	10	3,10	10,75	0,146	0,507	302000
15	10	5,85	21,95	0,122	0,459	450000
20	10	9,95	35,9	0,117	0,422	604000

Желкен d45 см, атқылау бұрышы 15 градус

м/с	Ат.б.	Ғк.к.	Ғб.к.	Cy	Cx	Re
3	15	0,45	2,95	0,236	1,556	91000
5	15	1,1	4,4	0,207	0,829	151000
8	15	2,6	8	0,191	0,588	241600
10	15	3,9	13	0,183	0,6	302000
15	15	7,3	25,9	0,152	0,542	450000
20	15	11,55	42,4	0,117	0,499	604000

Желкен d50 см, атқылау бұрышы 0 градус

м/с	Ат.б.	Ғк.к.	Ғб.к.	Cy	Cx	Re
3	0	0,5	2,1	0,217	0,9	100671
5	0	0,9	3,2	0,14	0,5	167785
8	0	1,6	8,1	0,097	0,493	268456
10	0	3	10,3	0,116	0,401	335570
15	0	6	19,9	0,103	0,344	503355

Желкен d50 см, атқылау бұрышы 5 градус

м/с	Ат.б.	Ғк.к.	Ғб.к.	Cy	Cx	Re
3	5	0,51	2,3	0,221	1	100671
5	5	0,95	3,5	0,148	0,546	167785
8	5	1,95	8,2	0,118	0,5	268456
10	5	3,2	10,75	0,124	0,419	335570
15	5	6,3	21,95	0,109	0,380	503355
20	5	9,95	35	0,096	0,341	671140

Желкен d50 см, атқылау бұрышы 10 градус

м/с	Ат.б.	Ғк.к.	Ғб.к.	Cy	Cx	Re
3	10	0,52	3,3	0,226	1,4	100671
5	10	1	4,7	0,156	0,73	167785
8	10	2,5	9,2	0,152	0,56	268456
10	10	3,25	15,7	0,126	0,612	335570
15	10	6,7	25,9	0,116	0,448	503355
20	10	11,90	47,3	0,115	0,46	671140

Желкен d50 см, атқылау бұрышы 15 градус

м/с	Ат.б.	Ғк.к.	Ғб.к.	Cy	Cx	Re
3	15	0,6	3,5	0,26	1,5	100671
5	15	1,5	6	0,234	0,93	167785
8	15	2,8	12	0,17	0,73	268456
10	15	4,2	17	0,16	0,662	335570
15	15	7,5	31	0,129	0,537	503355
20	15	13	51	0,126	0,497	671140

Қосымша Г

Реакция күштерін есептеуге арналған Mathcad бағдарламасының фрагменті

$N_{max} := 1000$ $\nu := 3$ $L_{max} := 10$ $a := \sqrt{3}$ $b := \sqrt{3}$

$$d_1 := \begin{pmatrix} -a \cdot \frac{\sqrt{3}}{6} \\ -\frac{a}{2} \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad d_2 := \begin{pmatrix} a \cdot \frac{\sqrt{3}}{3} \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} \quad d_3 := \begin{pmatrix} -a \cdot \frac{\sqrt{3}}{6} \\ \frac{a}{2} \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

1. Определяем площадь паруса

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

$$S := \frac{2 \cdot N}{\eta \cdot \rho \cdot \nu^3}$$
 $S = 53.794$

2. Определяем объем тора. Вес воздыха G.

 $R_{tor} := 3 \quad r := 0.5 \quad G_{air} := 190 \quad OO_1 := 3$

$$V_{tor} := 2 \cdot \pi^2 \cdot R \cdot r^2$$
 $V = 14.804$

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

 $G_2 := 1290$

4. Находим положение с.м.

 $SO_1 := 3.5 \quad SO_2 := 6.5 \quad L_{M2} := 6.5$

5. Для NASA-2210 коэфф.

 $k_{M1} := 0.26 \quad c_2 := 1.98$

6. Определяем угловую скорость

$$\omega := \frac{\nu}{L_2 + SO_1} \quad \omega = 0.3$$

7. Принимаем угол отклонения

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

8. Определяем время прямого хода

$$T_w := \frac{2 \cdot \beta}{\omega} \quad T = 2.094$$

9. Считаем max ускорение

$$t_1 := \frac{T}{2} \quad k_w := \frac{2 \cdot \omega}{t_1} \quad \varepsilon = 0.573$$

10. Вчисляем равние притяжения угла поворота.

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

11. Vichislaem ravnie prirashenia yglvoi skorosti.

$\Delta\omega := \frac{\omega}{10} \quad \Delta\omega = 0.03$

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

$$\begin{aligned} X_1 &:= \varepsilon \cdot L_2 & X_1 &= 3.724 \\ X_2 &:= -\omega^2 \cdot L_2 & X_2 &= -0.585 \end{aligned}$$

Nachalo pervogo cikla

k := 1

i := 5

$$\begin{pmatrix} 3 & 4 & 5 \\ 1 & 2 & 3 \\ 8 & 9 & 7 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 \\ 2 \\ 3 \end{pmatrix} \rightarrow \begin{pmatrix} 26 \\ 14 \\ 47 \end{pmatrix}$$

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

$$A1(k) := \begin{pmatrix} \cos(\alpha(k)) & \sin(\alpha(k)) & 0 & 0 \\ -\sin(\alpha(k)) & \cos(\alpha(k)) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$d_{m1}(k) := A1(k) \cdot d_1$

$$d_{m1}(10) = \begin{pmatrix} 0.5 \\ 0.866 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$d_{m2}(k) := A1(1) \cdot d_2$

$$d_{m2}(10) = \begin{pmatrix} 0.951 \\ -0.309 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

$d_{m3}(k) := A1(1) \cdot d_3$

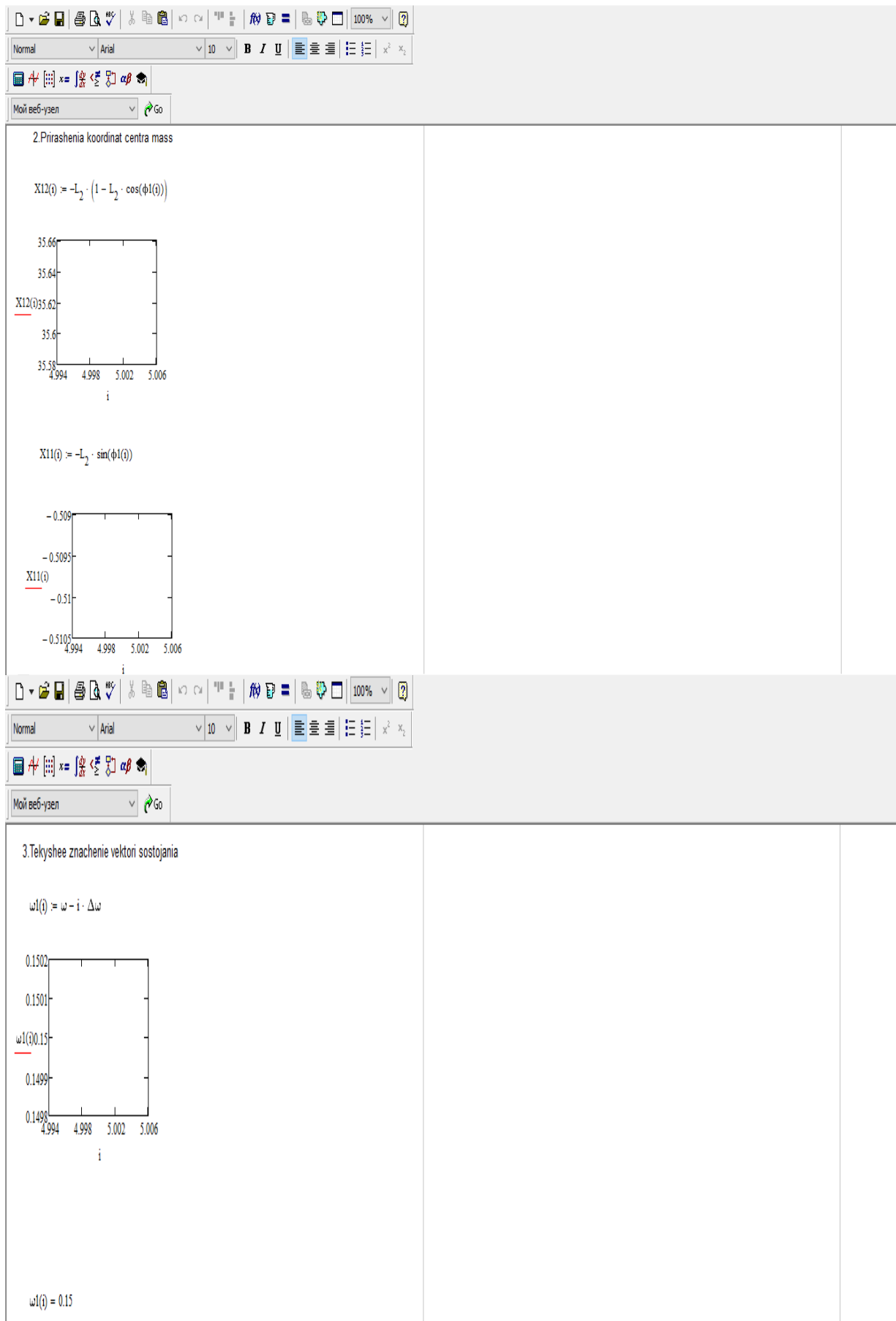
$$d_{m3}(10) = \begin{pmatrix} -0.208 \\ 0.978 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

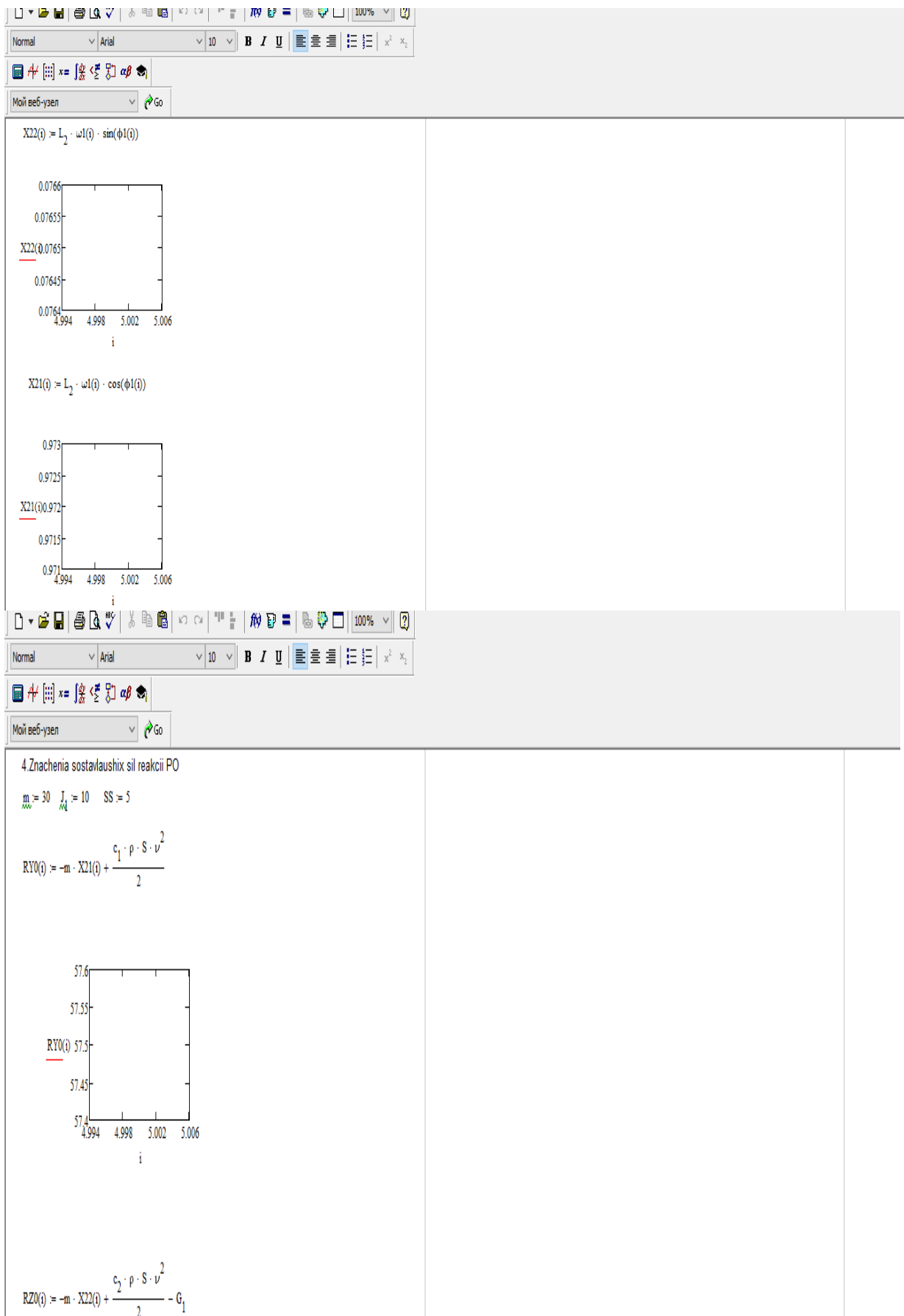
Nachalo 2-go cikla

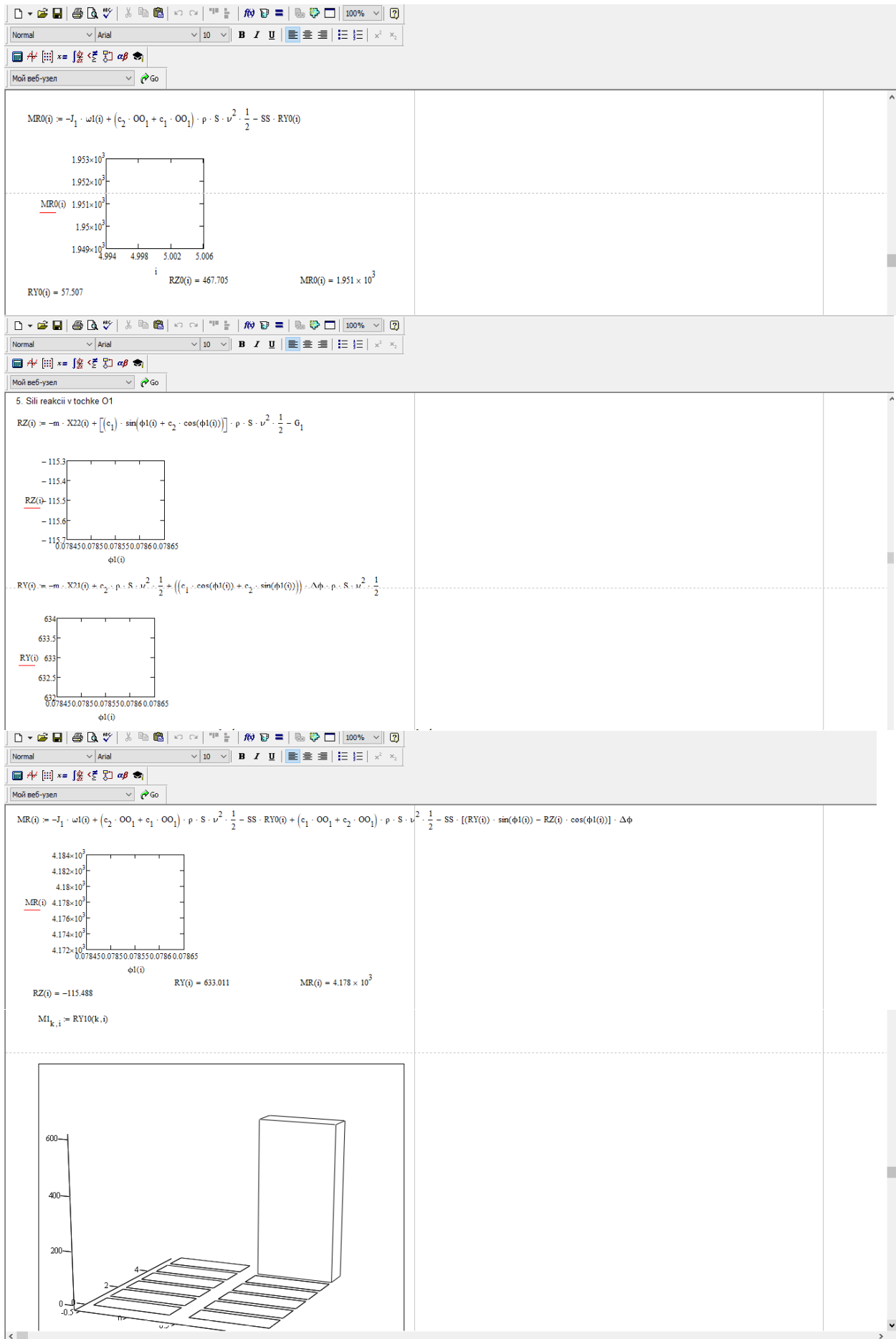
1. Vichislaem prirashenie ygla

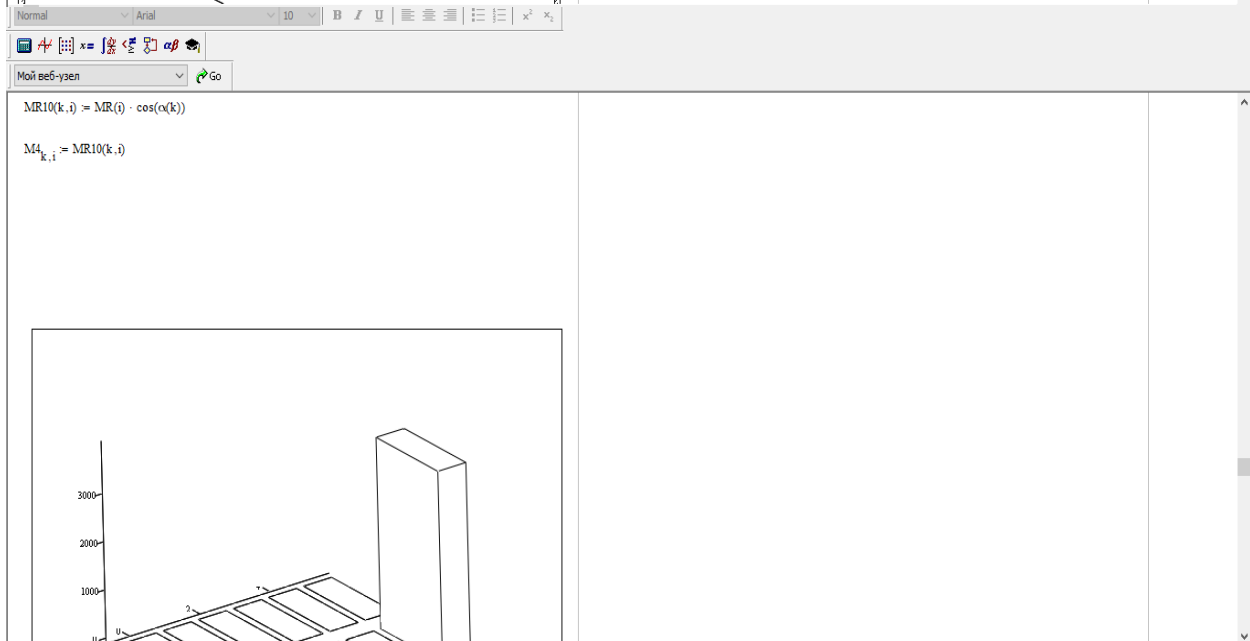
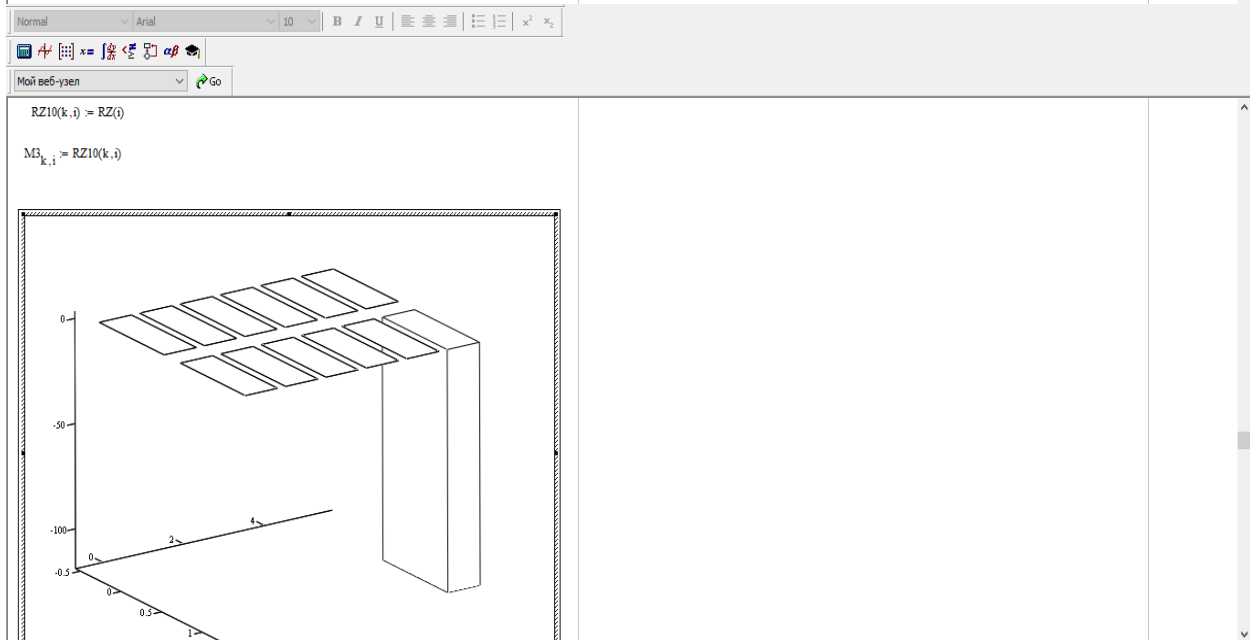
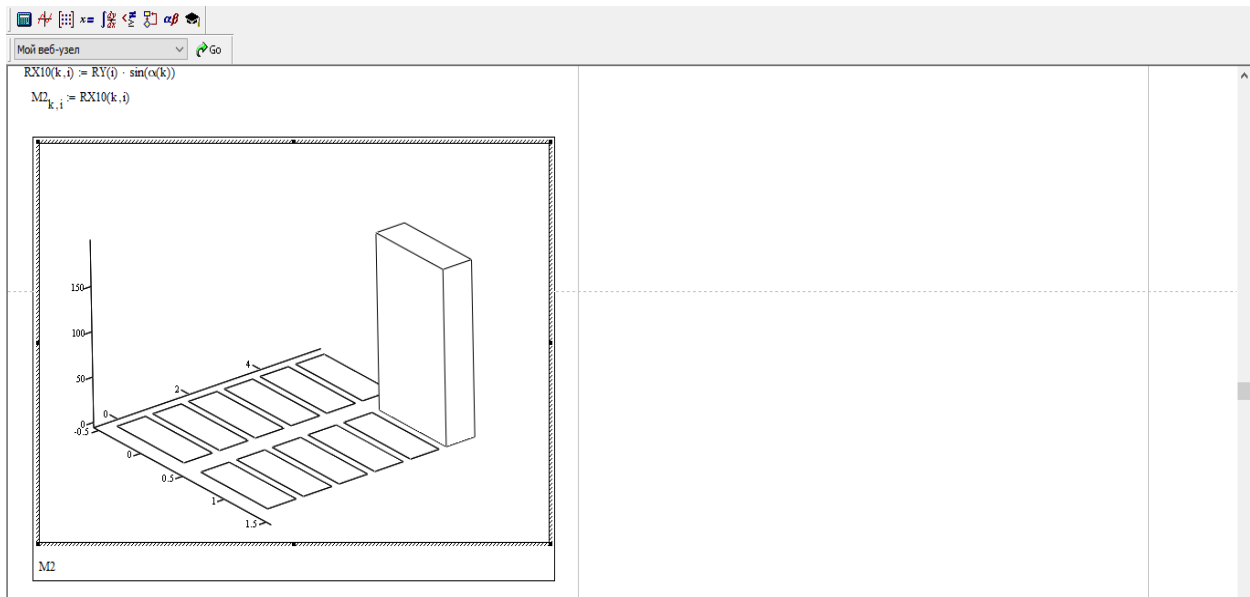
$\phi(i) := i \cdot \Delta\phi$

$\phi(1) = 0.079$









Normal
Arial
10
B
I
U
x²
x₂

Мой веб-узел
Go

$$MRX0(k, i) := MR(i) \cdot \sin(\alpha(k))$$

$$M_{k,i}^* := MRX0(k, i)$$

Normal
Arial
10
B
I
U
x²
x₂

Мой веб-узел
Go

6. Polozhenie yzlovix tochek.

Matrica preobrazovania pri paralelnom perenose podvignoi sistemi

$$L_1 := 6.5$$

$$A2(i) := \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & X11(i) \\ 0 & 0 & 1 & X12(i) + L_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Povorot vokrug osi.

$$A3(i) := \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\phi1(i)) & -\sin(\phi1(i)) & 0 \\ 0 & \sin(\phi1(i)) & \cos(\phi1(i)) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Matrica paralelnogo perenosa vdol' osi

$$A4(i) := \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -L_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Normal
Arial
10
B
I
U
x²
x₂

Мой веб-узел
Go

$$A4(i) := \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -L_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Matrica preobrazovania

$$T1(i) := A2(i) \cdot A3(i) \cdot A4(i)$$

$$T1(10) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0.988 & -0.156 & 0 \\ 0 & 0.156 & 0.988 & 35.31 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$dm11(i, k) := T1(i) \cdot dm1(k) \quad dm22(i, k) := T1(i) \cdot dm2(k) \quad dm33(i, k) := T1(i) \cdot dm3(k)$$