

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ  
МИНИСТРЛІГІ  
Қ.А.ЯСАУИ АТЫНДАҒЫ ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ҚАЗАҚ-ТҮРІК УНИВЕРСИТЕТІ

ӘОЖ – 620.4

Қолжазба құқығында

**Сагинбаев Жомарт Тахирович**

**КІШІ ӨНДІРІСКЕ ЖЕЛІ ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ ҚОНДЫРҒЫСЫН  
ЖОБАЛАУ**

6М071800 – ЭЛЕКТР ЭНЕРГЕТИКАСЫ мамандығы бойынша техника  
ғылымдарының магистрі академиялық дәреже алу үшін магистрлік диссертация

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫНЫҢ БІЛІМ ЖӘНЕ ҒЫЛЫМ  
МИНИСТРЛІГІ  
Қ.А.ЯСАУИ АТЫНДАҒЫ ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ҚАЗАҚ-ТҮРІК УНИВЕРСИТЕТІ

**Қорғауға жіберілді:**

Электр инженериясы  
кафедрасының меңгерушісі,  
техн.ғ.к., доцент

\_\_\_\_\_ Н.М.Айтжанов

(қолы)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20 \_\_\_\_ ж.

**Магистрлік диссертация**

КШШ ӨНДІРІСКЕ ЖЕЛ ЭНЕРГЕТИКАЛЫҚ ҚОНДЫРҒЫСЫН ЖОБАЛАУ

мамандығы: 6M071800 – ЭЛЕКТР ЭНЕРГЕТИКАСЫ

Магистрант \_\_\_\_\_ Ж.Т. Сагинбаев  
(қолы) (аты-жөні, тегі)

Ғылыми жетекшісі,  
техн.ғ.д. \_\_\_\_\_ Н.Т. Рустамов  
(қолы) (аты-жөні, тегі)



## АҢДАТПА

Диссертациялық жұмыстың мақсаты жел энергиясын қолдана отырып жел генератор қалақшаларының пішіндерін оңтайландыру арқылы жел энергиясын пайдалану тиімділігін арттыру болып саналады.

Бұл жағдайда тек қана генераторлардың қалақшаларын ғана емес ол генераторлардың қондырылған мачтасының пішінінде оңтайландырудың алгоритмдік технологиясы қарастырылған.

Эксперименталдық бөлімде диссертациялық жұмыста келтірілген теориялық алгоритмдерді қолдану арқылы 10 көріністегі жел генераторларының қалақшалары қарастырылып олардың тиімділігі график түрінде бейнеленген.

Жұмыс ауыл шаруашылығында желдік энергетиканы пайдаланудың қазіргі жағдайын көрсету мен сараптауға арналады.

Жасалған және жетілдірілген алгоритмдер ауылдық жерлердегі шағын өндіріс орындары үшін тиімді жел энергетикалық қондырғысын жобалау мен құруға негіз бола алады.

## АННОТАЦИЯ

В магистерской диссертационной работе рассматривается рациональное использование энергии ветра с оптимизацией лопастей ветрогенератора.

В работе также приведена технология алгоритмов оптимизации лопастей ветрогенератора.

В экспериментальной части работы исследованы 10 видов лопастей ветрогенератора с использованием теоретического алгоритма и построена зависимость мощностей ветрогенератора от скорости ветра.

Практическое значение работы состоит в том, что полученные результаты разработки и расчета ветровой установки можно использовать для проектирования и строительства электрической станции малой мощности в сельских регионах.

ОКГУ

## ANNOTATION

Dissertation work is efficient use of wind energy with the using of wind power generators by optimizing wind wing form.

In this case, not only wind wing generator, it generates in the form of algorithmic optimization technology.

In experimental section, the dissertation work considered theoretical algorithms by using wind wing generator in 10<sup>th</sup> picture and shown their efficiency in the form of a graph.

The dissertation work is dedicated to the analysis of the current situation and using of wind energy in agriculture.

Created and developed algorithms can serve as a basis for the design and construction of efficient a wind power rig for small enterprises in rural areas.

ONLY YUNITH

## НОРМАТИВТІК СІЛТЕМЕЛЕР

Осы магистрлік диссертацияда келесі стандарттарға сілтемелер пайдаланған:

1. МЖСТ 1577 – мемлекеттік стандарт;
2. ОСТ 190038-88 – стандарт;
3. 2009 жылғы «Жаңғыртылатын энергия көздерін пайдалануды қолдау жөніндегі» Қазақстан Республикасының Заңы

Оқу үлгісін

## АНЫҚТАМАЛАР, БЕЛГІЛЕНУЛЕР МЕН ҚЫСҚАРТУЛАР

Осы магистрлік диссертацияда сәйкес анықтамалары бар келесі терминдер пайдаланады:

Қайта жаңғыртылатын энергия көздері деп – қоршаған ортада периодты түрде пайда болып отыратын, немесе тұрақты түрде бар энергия көздерін айтамыз.

Жел – ауа ағынының бағытталған қозғалысы және күн энергиясының түрленген формасы болып табылады.

Қазақстан Республикасының жел атласы дегеніміз – жер бетінен 80 метр биіктікте желдің таралу картасы.

Белгілер және қысқартулар:

ЖЭҚ – жел энергетикалық қондырғы

ЖЭС – жылу электр станция

ГЭС – гидро электр станция

ПЭК – пайдалы әсер коэффициент

ЖГ – желдік генераторлар

ЖЭС – жел электр станциялар

ЖҚ – желдік құрылғы

АКБ – аккумуляторлық батарея

ЖД – желдік дөңгелек

ТҚ – техникалық қызмет көрсету

Ж – жөндеу жұмысы

т.б. – тағы басқалар

% - пайыз

м/с – метр секунд

кВт – киловатт

МВт – мега ватт

айн/мин – айналым минут

кг – килограмм

м – метр

Вт - ватт

В – вольт

А – ампер

тг - тенге

мм<sup>2</sup> – шаршы миллиметр

А·сағ – ампер сағат

Гц - герц

°С – градус цельсий

мм - миллиметр

кВт/сағ – киловатт сағат

U – кернеу

I – ток күші

мкА – микро ампер

мкВт – микро ватт

## МАЗМҰНЫ

<b>КІРІСПЕ</b>	9
<b>1 ЖЕЛ ЭНЕРГИЯСЫН ПАЙДАЛАНУҒА ЖЕЛ ГЕНЕРАТОР ҚАЛАҚШАЛАРЫНЫҢ ҚАЖЕТТІЛІГІ</b>	12
1.1 Қазіргі заманғы желэнергетикалық құрылғыларды көрсету және сараптау	13
1.2 Түрлі жылдамдықтар барысындағы жел ағымдарының қуатын бағалау	24
1.3 Электр қуатының өзіндік құнын есептеу әдістемесі	27
1.4 Жел дөңгелегін есептеу алгоритмі	34
1.5 Желдік дөңгелектің ПӘК-нің қуаты мен бағасы	40
<b>2 ЖЭҚ ҮШІН МАЧТАЛАРДЫ ЖОБАЛАУ</b>	44
2.1 2.1 Жел энергетикалық құрылғы (ЖЭҚ) үшін керілген тростары бар мачталарды есептеу әдістемесі	44
2.2 Бекітілген тростары бар ЖЭҚ-тың сызбасын есептеу	50
2.3 ЖЭҚ үшін қанат тәріздес симметриялық профилі бар мачтаны жобалау	62
2.4 Тәжірибелік бөлім. Шағын жел энергетикалық қондырғысының әртүрлі пішіндегі қалақшаларының қуатын анықтау	69
<b>ҚОРЫТЫНДЫ</b>	83
<b>ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ</b>	84



## КІРІСПЕ

**Тақырыптың өзектілігі.** Энергетика және электрмен қамтамасыз ету жүйелерінің дамуынсыз ғылыми-техникалық прогресс мүмкін емес. Адамзат атаулының барлығына энергия қажет және оған деген сұраныс жыл сайын арту үстінде. Сонымен қоса, табиғи отын қорлары (мұнай, көмір, табиғи газ және т.б.) шексіз емес. Сондықтан қазіргі таңдағы өзекті мәселе - тиімді энергия көздерін табу. Мұндай энергия көздері отын құнының төмен болуы, ұзақ уақытқа жарамдылығы, пайдалану тәсілі және құрылысының қарапайым болуымен ерекшеленуі қажет [1].

Қазіргі жағдайда қарапайым бір мәселені жақсылап ұғынып алғанымыз жөн - қайта жаңғыртылмайтын энергия көздері шексіз емес. Ерте ме, кеш пе органикалық және ядролық отын қорлары сарқылады. Адамзат қазірден бастап қоры сарқылмайтын немесе қайта жаңғыртылатын жаңа энергия көздерін іздестіре бастауы қажет. Себебі жаңа энергия көздерін пайдалануға бір мезгілде көше алмаймыз. Оған көптеген қиындықтар бар. Ең негізгілеріне тоқталатын болсақ, қазіргі таңда дамыған және дамушы елдердің экономикасы, тұрмыс салты түгелдей мұнай, көмір, газға негізделген. Мемлекеттің ішкі құрылымын және экономикасын, қоғамның өмір салтын қысқа уақыт ішінде өзгерту мүмкін емес [2].

Ал қайта жаңғыртылатын энергия көздері деп – қоршаған ортада периодты түрде пайда болып отыратын, немесе тұрақты түрде бар энергия көздерін айтамыз. Мысалы, Жел энергиясы. Мұндай энергияның ең негізгі ерекшелігі - адам тіршілік әрекетінің қатысуынсыз қоршаған ортада пайда болуында [3].

Жаңғыртылмайтын энергия көздерінің қайта жаңғыртылатын энергия көздерінен негізгі айырмашылығы потенциалды энергия табиғатта байланысқан күйде таралған және адамның мақсатты әрекетінсіз босап шықпайды.

Қазіргі таңда қайта жаңғыртылатын, қолжетімді энергия көзі ретінде жел энергиясы танылуда.

Мемлекетіміздің ерекшелігі - халықтың үлкен жер көлемінде шашыранды түрде орналасуы. Үлкен аумаққа шашыранды орналасқан тұтынушыларға электр энергиясын электр тарату желілері арқылы жеткізу оның шығынын көбейтеді. Мұндай жағдайда дәстүрлі энергия көздерінен бас тартып, қайта жаңғыртылатын энергия көздерін пайдалану тиімді болып табылады. Мысалыға айтатын болсақ жел энергиясы. Қайта жаңғыртылатын энергия көздерін пайдаланып, тұрмыста қажетті негізгі энергия түрі – электр энергиясын өндіру барысында біршама қиындықтар туындайды. Мұның негізгі себептері жел энергиясы табиғатта периодты түрде туындап отырады. Энергияның периодты түрде туындауы тұтынушылар үшін қолайсыздықтар туындатады. Осы себепті қайта жаңғыртылатын энергия көздерінің периодтылығынан туындайтын қиындықтарды жою - қазіргі таңның өзекті мәселесі [4].

**Зерттеудің мақсаты.** Диссертациялық жұмыстың мақсаты – жел генераторларының жұмыс істеу тиімділігін арттыру үшін сол генераторлардың

қалақша пішіндеріне байланысты болуын тәжірибе жүзінде дәлелдеу. Бұл мақсатқа жету үшін мынадай міндеттерді орындау қажет:

- әртүрлі пішіндегі қалақшаларға әсер ететін желдің қуатын есептеу;
- сол қалақшалар арқылы желдік генераторды жасау;
- әртүрлі пішіндегі қалақшалардың электр тогын өндіруін зерттеу;
- алынған нәтижелерге талдау жасау арқылы қалақшалардың ішіндегі ең оптималь нұсқасын таңдау;
- жел энергиясын қолданатын жел энергетикалық қондырғысының макеттік үлгісін жасау.

**Зерттеудің ғылыми жаңалығы.** Зерттеу жұмысының негізгі ғылыми жаңалығы төмендегідей:

- түрлі қалақшалардың пішіндеріне әсер ететін желдің қуатын есептеу алгоритмі;
- әртүрлі пішіндегі қалақшалы жел генераторларының тиімді электр энергиясын өндіріп шығаруын оңтайландыру;
- жел энергиясын пайдалануда жел генераторының тиімді жұмыс жасауы оның қалақша пішініне тікелей байланысты екендігін көрсету;
- қайта жаңғыртылатын энергия көзін кіші өндірісте қолданылатын жел энергетикалық қондырғысы ретінде орнатуға модель жасау;
- қалақшалардың тиімділігін оңтайландыру үшін тәжірибелік әдістерді ұсыну.

**Зерттеу нәтижелерінің ғылыми және тәжірибелік маңыздылығы.**

Зерттеу нәтижелерінің ғылыми және тәжірибелік маңыздылығы мынадай:

- қалақша пішіндеріне әсер ететін жел қысымын есепке алып, жел генераторларының қалақшаларын жасауда оның тиімді электр қуатын қамтамасыз ету;
- зерттеудің нәтижелерін оқу процесінде пайдалану;
- жел энергиясын кіші өндірісте қолдану әдістемесін жасау;
- үлкен қуатты және де көптеген электр жабдықтарын қажет ететін кіші өндіріске жел генераторларының тиімді қалақшасын таңдау болып саналады.

**Жұмыстың апробациясы.** Магистрлік диссертация бойынша алынған негізгі нәтижелер «Жаңа формацияда кәсіптік білім берудің өзекті мәселелері» III-дәстүрлі Халықаралық ғылыми-тәжірибелік интернет-конференцияда, А.Ясауи атындағы ХҚТУ-нің электр инженериясы кафедрасының семинарларында баяндалып, талқыланды.

**Магистрлік диссертация жұмысының құрылымы мен көлемі.** Диссертация кіріспеден, екі тараудан, қорытынды және пайдаланылған әдебиеттер тізімінен тұрады. Жұмыс негізгі мәтін парағында 86 бетте баяндалып, 56 сурет және 42 кестемен сипатталған. 51 әдебиет көзі қолданылған.

**Негізгі сөздердің тізбесі:** қайта жаңғыртылатын энергия, желэнергетикалық құрылғы, электр генераторы, ротор, аэродинамика, қалақша,



флюгер, инвертор, электрстанция, пропеллер, бұранда, қалақша, модифицирленген профиль, қалақ хордасы

**Жарияланымдар туралы мәліметтер.** Магистрлік диссертацияның негізгі мазмұны төмендегі тізімдегі 3 баспа жұмысында жарық көрген.

1. Қазіргі заманғы желэнергетикалық қондырғыларды көрсету және сараптау // А.Ясауи атындағы ХҚТУ-нің хабаршысы. – 2014. - №3(92) қараша-желтоқсан. – 8-14.

2. Желдік дөңгелек қалақтарының ПӘК қуаты мен бағасының есептелу жолдары // «Жаңа формацияда кәсіптік білім берудің өзекті мәселелері» III-дәстүрлі Халықаралық ғылыми-тәжірибелік интернет-конференцияның материалдары. – Түркістан-Мәскеу, 2015. – 345-350.

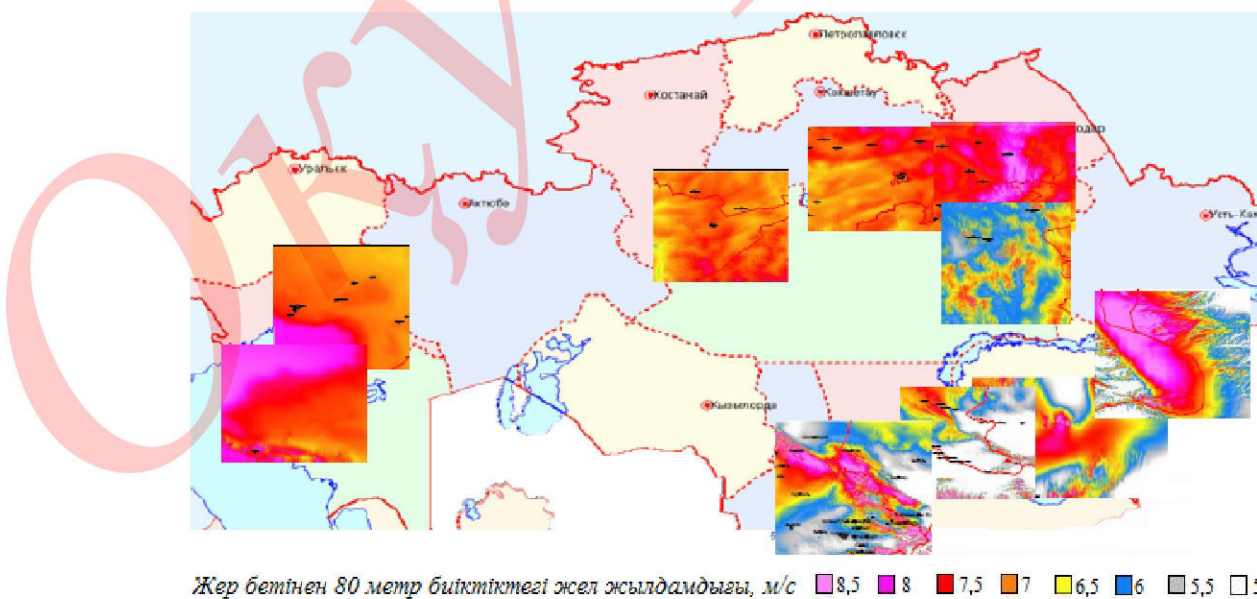
## 1 ЖЕЛ ЭНЕРГИЯСЫН ПАЙДАЛАНУҒА ЖЕЛ ГЕНЕРАТОР ҚАЛАҚШАЛАРЫНЫҢ ҚАЖЕТТІЛІГІ

Жел – ауа ағынының бағытталған қозғалысы және күн энергиясының түрленген формасы болып табылады. Оның себебі былай түсіндіріледі, судың және бұлтпен көлеңкеленген жер беті күнмен қыздырылмайды, ал күн сәулесі жақсы түсетін жер бетіндегі ауа тез жылжиды да жоғары көтеріледі, бұл ауаның орнын тығыздығы жоғары суық ауа массасы толтырады. Осылайша, жердің беті күн сәулесімен тегіс қыздырылмағандықтан жел пайда болады.

Желдің жылдамдығы жыл мезгіліне байланысты өзгеріп тұрады. Көп жағдайда қыста желдің жылдамдығы жаз мезгілімен салыстырғанда жоғары болады. Жердің бетінен жоғарылаған сайын желдің жылдамдығы жоғарылай береді. Жердің бетіне жақын қашықтықта желдің жылдамдығының төмен болуының себебі ауа массасының жер бетіне үйкеледі. Ауылды, ашық далалы аймақтарда жер бетінен қашықтық екі есе жоғарыласа желдің жылдамдығы 12%-ға жоғарылайды екен. Ауа массасының қозғалысына кедергі жасайтын табиғи және жасанды нысандардың әсерін болдырмау үшін жел энергетикалық қондырғыларды орманды жерлерден қашықта биік жерлерге орналастырады.

Қазіргі заманғы ЖЭҚ-ы (жел энергетикалық қондырғы) жел энергиясын электр энергиясына түрлендіретін құрылғылар. Жылдық орташа жел жылдамдығы 4-6 м/с жоғары аумақтарда ЖЭҚ-ын қолдану мүмкіншілігі мол болып саналады [5].

2009 жылы «Жаңғыртылатын энергия көздерін пайдалануды қолдау жөніндегі» Қазақстан Республикасының Заңы өз күшіне енген болатын. Заңның қабылдануымен ҚР-ның жел климаты бойынша мәліметтер базасы жинақталды, жел атласы құрастырылды.



Сурет 1.1. Қазақстан Республикасының жел қоры

Қазақстан Республикасының жел атласы дегеніміз – жер бетінен 80 метр биіктікте желдің таралу картасы. Осы карта ЖЭҚ-ды орналастыруға тиімді аймақтарды анықтап, болжам жасауға мүмкіндік береді.

Осы жел ресурстарын тиімді қолдану үшін желдік генераторларды пайдалануға тура келеді. Бұл процестің технологиясы қазіргі кезде өте дамыған. Бірақ жел ресурсының 20-30% ғана тиімді пайдаланылады. Бұл тиімділікті арттыру үшін жел генератор қалақшалырының пішіндерін пайдалану технологиясының әдісі болып саналады [6].

Бұл тарауда біз сол қалақша пішіндерін оңтайландыруды қарастырамыз.

### **1.1 Қазіргі заманғы желэнергетикалық құрылғыларды көрсету және сараптау**

Адамның жел күшін пайдалануды үйренген уақыты ежелде желкендер мен желдік диірмендер жасаудан басталса да, осы уақытқа дейін ол қуаттың дәстүрлік емес түріне жатқызылды. XX ғасырдың басынан бастап тиімді желдік қозғалтқышты жасау бойынша ғылыми зерттеулер бастау алды. Нәтижесінде 1918 жылы профессор В.Залевский желдік диірмен теориясының негізін салып, желдік қозғалтқышқа қойылатын талаптар қалыптастырды. Одан әрі желдік құрылғының жалпы теориясын танымал ресейлік ғалым Н.Е.Жуковский құрастырды. Осы ғылыми бағыттың дамуымен айналысқан Орталық аэрогидродинамикалық институтта 1931 жылы қуаты 100 кВт жел электрогенератор жасалды. Кейін оның негізінде Қырымда қуаты 5 МВт жел электрлік станцияның құрылысы басталды. Дегенмен, мұнай арзан қуат көзі және ЖЭС мен ГЭС-терге капитал салымдары арзан электр тасымалдағыштарын алуға мүмкіндік бергендіктен, XX ғасырдың ортасына дейін жел электрлік құрылғылар кеңінен таралған жоқ. Желдік энергетикаға қызығушылық өткен ғасырдың 1970 жылдарында энергетикалық дағдарыс пен мұнай бағасының күрт жоғарылауынан кейін ғана қайта жанданды. АҚШ-та желдік энергетиканың дамуымен айналыса бастаған Westinghouse Electric компаниясы MOD-OA сериялы қуаты 200 кВт алғашқы электрогенерациялағыш құрылғыны жасап шығарды. Осы сериялы (3,2 МВт) анағұрлым қуатты құрылғы Гавай аралдарына орнатылды [7].

Қазіргі таңда іске асырылатын желдік энергетикалық бағыт қуаты орташа - 250 кВт мен 10 кВт аралығындағы құрылғыларды жасауға негізделеді. Олардың шуы мен радиокедергісі аз және желдің энергетикалық ресурстары тұрақсыз аймақтарда пайдаланыла алады.

Бір уақытта желдік энергетиканың дамуы екі бағытта жылжыды. Олардың бірінде қуаттың басқа қайнар көздерімен қатар электрмен жабдықтаудың орталықтандырылған жүйелеріне орнатыла алатын электр станциялары үшін қуатты желдік генераторлардың құрылымы жетілдіріледі. Бұл мақсатта қолданылатын бірнеше жүздеген кВт-дан бірнеше МВт-ға дейінгі құрылғылар арнайы бөлінген территорияларда агрегаттардың тұтас паркін



қалыптастырады. Мұндай электр станцияларының каскадтары энергияның басқа түрінде жұмыс жасайтын станциялармен біріктіріледі және электрмен жабдықтаудың бірыңғай желісін құрайды. Қазіргі уақытта әлемде желді қолданудың есебінен барлық алынатын қуаттың 2 пайызына жуығы өндіріледі. Бұл көлем көп болмағанымен, жарқын болашақта желдің көмегімен электр қуаты өндірісі бірнеше есе артатын болады [8].

Деректер бойынша жел генераторларынан қуат барлық электр қуатының үлесі АҚШ-та 5 %, Данияда 20%, Үндістанда - 10% құрайтын болады. Еуропа елдеріндегі қуатты жел генераторлары арасында кең таралғандарының қуаты 600 кВт пен 2МВт аралығын құрайды, негізгі өндірушілердің бірі Vestas Danich Wind Technology фирмасы (Дания). Дегенмен, қазірдің өзінде оның аса қуатты құрылғыларының түрлерін шығары күтілуде. «Боинг» фирмасының (АҚШ) мамандарының болжамдары бойынша қуаты 7МВт желдеткіштерді жасау жоспарлануда. Қуатты жел энергетикасын дамытуға пайдасы төмен климаттық жағдайлар кедергі келтіруде, себебі, Жер планетасының кейбір жерлері жел қуатын тиімді қолдануға жарай бермейді. Бұл мақсатқа жағалаулар мен жайлау аймақтары тиімді. Сондықтан, Еуропадағы жел қозғалтқыштарының үлкен бөлігі Данияда, Голландияда және Германияның жағалауларына шоғырландырылған. Ресейде де жел энергетикасын дамытуға қолайлы жерлер бар. Оларға Кольский шығанағы мен Таяу Шығыстың жағалау бойлығы жатады, олар мамандардың бағалаулары бойынша ең желді территориялар болып саналады [9].

Республика үкіметі ауылдың әлеуметтік-экономикалық дамуына, ауыл тұрғындарының әлеуметтік-тұрмыстық жағдайларына үлкен назар аударып отыр. Аталған мәселені шешудің басты амалдарының бірі кіші технологиялар негізіндегі ауыл шаруашылық өнімдерін қайта өңдеу бойынша өндірісті дамыту болып табылады. Кіші технологиялар үшін қазіргі заманғы құрал-жабдықтарды сатып алу үшін қолайлы жағдайлар тағайындауда. Дегенмен, қажетті электр қуатын қамтамасыз етпейінше аталған міндеттерді орындау мүмкін емес. Сонымен қатар, 600-ден аса елді мекендердің электр қуатымен қамтылмағандығын, ал қалған елді мекендерге жеткізіліп тұрған, электрлік инфрақұрылымға жалғанған электр қуатының тұрмыстық қажеттіліктерді қанағаттандыруға ғана жететіндігін ескерген жөн. Осы жағдайларда, бірқатар ғалымдар осы мәселені шешу үшін жылу энергиясын дамытуды ұсынады, яғни электр қуатын табиғи қорлар – газ бен көмір арқылы өндіру керек. Дегенмен, бұл электр қуатын алудың ең экологиялық қолайсыз амал болып табылады.

Қазақстан экологиялық таза қайнар көз болып табылатын жел мен күн қуаты секілді энергияның қайта жаңаратын қорларға бай.

Республиканың мамандары метеорологтардың мәліметтеріне сүйене отырып, жел қуатының дамуында көптеген кедергілердің болатындығын мәлімдейді. Деректерге сәйкес, Қазақстандағы желдің орташа жылдық жылдамдығы (2...4) м/сек құрайды [10].

Аталған деректер өлшеу және жер бетінен 10 метр биіктік үшін «климатты бағалау әдістемесі» негізінде алынды. Дегенмен, биіктік артқан

сайын желдің жылдамдығы да артатындығы белгілі. Авиацияның метеорологиялық қызметтерінің деректері бойынша 100...200 метр биіктікте ауа массаларының қозғалысы 8...12 м/сек құрайды.

### **Желдік құрылғылардың топтастырылуы**

Ротор осінің орналасуы бойынша желдік генераторлар тік осьтік және көлденең осьтік деп бөлінеді. Айналымы көлденең осьтік желдік құрылғылардың арасында Дарье роторы және Савониус роторы бар желдік құрылғылар қолданыс тапты.

Қазіргі таңдағы желдік генераторлардың көпшілігінің келесі артықшылықтарға байланысты айналымы тік осьтік:

А) Савониус роторына қарағанда ПӘК анағұрлым биік және салмақтық-көлемдік көрсеткіштер жоғары.

Ә) Савониус және Дарье роторларына қарағанда қуатты реттегіші мен борандық қорғанысын іске асыру анағұрлым жеңіл.

Б) Дарье роторына қарағанда әлсіз желде ротордың сүргілеуі анағұрлым жақсы.

### **Қалақшаларының саны мен жылдам жүруі бойынша топтастыру**

Жылдам жүруі бойынша желдік генераторлар (ЖГ) жылдам жүретін және тыныш жүретіндерге бөлінеді. Жылдам жүретін желдік генераторлардың роторы аэродинамикалық профилі бар 2 немесе 3 қалақшаларды иеленеді. Тыныш жүретін ЖГ жапырақтық материалдан қарапайым жасалған 6 немесе одан да көп қалақшалардан тұрады. Жылдам жүретін ЖГ-ларда ПӘК жоғары және айналым жиілігі жоғары болса да, ротордың бастапқы мезеті кіші.

### **Орнатылған қуат бойынша топтастыру**

Орнатылған қуат бойынша ЖЭҚ-терді келесі түрлерге топтастыруға болады:

- 1) қуаты кіші ЖЭҚ (орнатылған қуаты 100кВт-қа дейін),
- 2) қуаты орташа ЖЭҚ (орнатылған қуаты 100 кВт-тан 1000 кВт-қа дейін),
- 3) мегаваттық класс немесе қуаты жоғары ЖЭҚ (орнатылған қуаты 100 кВт-тан жоғары)

### **Қуатты тұтынушылар түрі бойынша топтастыру**

Өндіретін қуатының түріне байланысты ЖЭҚ мынадай болады: электрлік, су сорғыштық, пневматикалық және жылулық. Бірінші жағдайда ротор трансмиссия арқылы электргенератормен байланысады, екіншісінде ротор су сорғышты іске қосады, ал үшінші жағдайда - компрессор, төртіншіде - механикалық жылулық араластырғыш қосылады. Қазіргі желдік құрылғылардың көпшілігі электрлік (95 пайыздан аса), себебі, электр қуатын қуаттың басқа түрлеріне тасымалдау мен айналдыру оңай.

Қуатты тұтынушылардың түріне байланысты автономдық желдік құрылғылар мен желілік мақсатта орнатылатын желдік құрылғылар белгілі. Бірінші жағдайда желдік құрылғылар орталық электр желілерінен алшақтанған тұтынушыларды электрмен жабдықтауды іске асырады. Екінші жағдайда құрастырылатын жел электр станциялар (ЖЭС) бірнеше ондаған және жүздеген желдік құрылғылардан тұрып, қуатты желіге жеткізеді. Ереже бойынша,



желілік құрылғылар қуаты 100 кВт-тан жоғары, ал автономдық құрылғылар 100 кВт-тан төмен [11].

Кесте 1.1.1. Қуаты 1-ден 10 кВт дейінгі ЖЭҚ-тердің статистикалық кестесі [12]

	Ел, қала, өнеркәсіп атауы, мекен жайы, Web сайт, сымтетігі	ЖЭҚ атауы (ЖЭС)	Қуаты	Желдің бас. жұм. жылдамдығы	Желдің есептік жылдамдығы	Жел дөңгелегі диаметрі/Қалақ саны	ЖҚ айналымы жиілігі	Желдің макс. жылдамдығы
			кВт	м/с	м/с	м/д.	Айн/мин	м/с
1.	Ресей, Москва қ. СП «Yangzhou Shinzhou Wind-driven Generator Co_Ltd.(SWG)» компаниясы <a href="http://www.solarhome.ru">www.solarhome.ru</a> <a href="http://www.china-swgs.com">www.china-swgs.com</a> тел: +7(916)3850200 +7(499)7489064	SWG-FD2,7-500	0.5	2	8	2.5/3	400	35
		SWG-E-1kW	1	2	9	2.7/3	400	35
		SWG-E-2kW	2	2	9	3.2/3	400	35
		SWG-E-3kW	3	2	9	3.2/3	400	35
		SWG-SW504 A-24	0.4	2.5	9.6	1.5/3	400	45
2.	Ресей, С.Петербург қ. НПО «Электросфера», Полостровский даңғылы 60 e-mail: <a href="mailto:sls.chief@windpower.ru">sls.chief@windpower.ru</a> <a href="http://www.breezex.ru">www.breezex.ru</a> Тел. (812)3244888,	ЖЭҚ «Бриз-Лидер»	5	3	12.6	5/3	500	50
3.	Украина, Киев қ. ООО(ТМ ДОМ WG) 00680, көш. Кржижановского 3. Тел: +380 (44) 5024149	WG-1000	1	2	9	2.9/3	400	35
		WG-2000	2	2	9	3.3/3	300	35
		WG-5000	5	2	12	5.8/3	200	60
4.	Ресей, Москва ЗАО «АТИК». Ленинград 5 <sup>а</sup> <a href="mailto:info@cleam-wind.ru">info@cleam-wind.ru</a>	ЖЭҚ-2000	2	3	10	3.12/2	600	45

## «1.1.1. кестенің соңы»

5.	Ресей, Москва обл ЗАО «Сапсан-энергия ветра», көш. Ленинградское 36, e-mail: <a href="mailto:seva@sapsan.ru">seva@sapsan.ru</a> , <a href="http://www.sev.ru">www.sev.ru</a> , Тел: (095) 7873959, 7876022	«Сапсан-1.0»	1	3	9	3.8/3	450	35
6.	Ресей, қ.Дубна Москва Обл. НПГ «САЙНМЕТ» 1117321. Ресей, Москва а/я 118. e-mail: <a href="mailto:info@scienmet.com">info@scienmet.com</a> <a href="http://www.scienmet.com">www.scienmet.com</a> Тел. 4953354469	SW-2/5	2	3.2	9.1	4.5/3	100...160	60
		Sw-20	20	3.2	8.9	12.6/3	81	60
7.	Ресей, Смоленск обл. ООО «Мельников» қ.Сафонова, көш.Родишева д.2/12. e-mail: <a href="mailto:mra.veter@mail.ru">mra.veter@mail.ru</a> <a href="http://www.electroveter.ru">www.electroveter.ru</a> Тел. 896058176	ЖЭҚ-3/5	3	3	11	4.6/3	500	
		ЖЭҚ-5/5	5	3	11	5.2/1	500	
		ЖЭҚ-10/7	10	3	11	7/1	500	
8.	Ресей. СП Ресей-Голландия «Компания ПМВ Ветроэнергетика» e-mail: <a href="mailto:levovis@mail.ru">levovis@mail.ru</a> <a href="mailto:windenegy@yandex.ru">windenegy@yandex.ru</a> <a href="mailto:solarenergy@mail.ru">solarenergy@mail.ru</a> . тел: (4212) 221384, 454141	ЛМВ-1000	1	2.5	7	3/3	320	35
		ЛМВ-2500	2.5	2	12	5/3	350	35
		ЛМВ-3600	3.6	4	12	5/3	430	35
		ЛМВ-10000	10	4	12	7/3	280	35

«1.1.1. кестенің соңы»

9.	Ресей, қ.Москва, ФГУП «КВАНТ» ғылыми- өндірістік кәсіпорны «Инкар-М» фирмасының генераторлары 3-ші Мытищинская, 1 б. e-mail: <a href="mailto:info@npp-kvant.ru">info@npp- kvant.ru</a> . тел: (495) 6873503	ГЕН30 0-1	1			300	
		ГЕН30 0-2	2			300	
		ГЕН50 0-6	6			500	
1 0.	Ресей, Ленинград Обл., ООО «МАХАОН», қ. Гаткина, даң.25. e-mail: <a href="mailto:www.mahaon@gt&lt;br/&gt;n.ru">www.mahaon@gt n.ru</a>	УВЭ «М- 1000»	1		2.2/2		

Кесте 1.1.2. Жел энергетикалық қондырғысының техникалық сипаттамасы

Желб асын ың салма ғы (кг)	Мач та биік тігі (м)	Қанат матери алы	Генератор					Шығ. Кернеу Инверт ор (құрыл ғы заряд.) қуаты.	АБ. Түр. көл. сыйым дылық	ЖЭҚ жалп ы құны
			Түрі	жұп шығ . V/J	Айнал ым жиілігі (айн/м ин)	Салм ақ кг	Баға (руб, ш.б.)			
32	12	Әйнек талшық пен армирл енген пласти к	Синх. 3- фазалы	24В	400	26		24/220 В	12В 200Ач 2д..	37500 Руб. мачта сыз
48	12	Әйнек талшық пен армирл	Синх. 3- фазалы	48В	400	34		48/220 В	12В 200Ач 4д..	72000 Руб. мачта сыз



		енген пластик								
	6,9,1 2	Эйн арм.пла стик,.	Синх. 3- фазалы	48В	400			48/220 В	12В 200Ач 8д..	82000 Руб. мачта сыз
	6,9,1 2	Эйн арм.пла стик .	Синх. 3- фазалы	48В	400			48/220 В	12В 260Ач 4д..	16500 0 Руб. мачта сыз
16	6	Көмір талшық пен армир.	Синх. 3- фазалы	24В	400			24/220 В	12В 120- 150Ач 2д..	39500 Руб. без мачт ы.
120	14	Эйнек пластик.	Синх. 3- фазалы	80... 120 В	500		25000 0 руб.	96В/22 0В 50Гц	6Ст- 190 12В.	43265 0 Руб. мачта сыз
	9	Эйнек талшық	Синх. 3- фазалы	48В	400		926 ш.б..	48/220 В	12В 40Ач 4д..	3381 ш.б..
	9	Эйнек талшық	Синх. 3- фазалы	120 В	300		1638 ш.б..	120- 220В	12В 40Ач 10д..	3975 ш.б..
	12	Эйнек талшық	Синх. 3- фазалы	240 В	200		6520 ш.б..	240- 220В	12В 100Ач 20 д..	13739 ш.б..
42	12	Биік модуль дік көмір эйнек.	На мақ. Fe-Nd- Br, 17жүп	48В	600					
54		Эйнек пластик	ЖТ-1- 56 Синх. 1фазал ы	48В	450		867 евро	48/220 В	6-G- F09- 100 4д..	5633 евро
	12		1фазал ы 3- фазалы	220 В	1000					
	18		1фазал ы 3- фазалы	220 В 380 В	2000					
0	10- 20									3430 евро

## «1.1.2. кестенің соңы»

80	10-20							48В-3кВт	12В, 4-х 190А/ч	4090 евро
100	10-20									6570 евро
	6..18	Әйнек ткань эпокси д компау нд.	12- полос. тұрақ. магн.	220 В	320			220В 50Гц	12В 230Ач	
	6..18	Әйнек ткань эпокси д компау нд.	24- полос. тұрақ. магн.	220 В	350			220В 50Гц	12В 230Ач	
	6..18	Әйнек ткань эпокси д компау нд.	24- полос. тұрақ. магн.	220 В	430			220В 50Гц	12В 230Ач	
	6..18	Әйнек мата эпокс.к омпаун ды бар	24- полос. тұрақ. магн.	220 В	500			220В 50Гц	12В 230Ач	
				60В	300	10				
				60В	300	20				
				130 В	500	30				
45								2кВт		

*1. Генераторлар:*

Желдік энергетикалық SWG (FD2,7-500, FD3,0-1000) құрылғысы орталық электрмен жабдықтау желілерінен алшақ орналасқан – қаладан тыс үйлердің, фермерлік шаруашылықтардың, телекоммуникация объектілерінің тұтынушыларын автономдық электрмен жабдықтауға арналады.

Электр қуатының сапасына мән беретін құрал-жабдықтарды қуаттандыру үшін желдік энергетикалық құрылғының құрамында шығу кернеуінің синусоидальдік пішіні бар инверторды пайдалануға кеңес беріледі.

## Кесте 1.1.3. Генератордың техникалық сипаттамасы

Өлшемдері	WG-500	SWG-G-1
Номинальдік қуат, Вт	500	1000
Тұрақты тоқтың номинальдік кернеуі, В	24	48
Ауыспалы тоқтың номинальдік кернеуі, В	17	34
Магниттік полостердің саны	10	10
Номинальдік жылдамдық, айн/мин	400	400
Максималдық жылдамдық, айн/мин	500	500
Салмағы, кг	26	34
Бағасы		

БРИЗ 5000 жел электрлік құрылғысы. Синхрондық үшфазалық үздіксіз магниттерден қоздырылады.

## Кесте 1.1.4. БРИЗ 5000 құрылғысының техникалық сипаттамасы

Өлшемдері	Бриз-5000
Номинальдік қуат, Вт	5000
Тұрақты тоқтың номинальдік кернеуі, В	80
Ауыспалы тоқтың номинальдік кернеуі, В	
магниттік полостердің саны	-
Номинальдік жылдамдық, айн/мин	500
Максималдық жылдамдық, айн/мин	500
Салмағы, кг	
Бағасы, тг	1350000

## 2. Желдік дөңгелек:

## Кесте 1.1.5. Желдік керней қалақшаларының техникалық сипаттамалары

Атауы	SWG-500	SWG-1000
Қуаты, Вт	500	1000
Қалақша материалы	әйнекталшық	әйнекталшық
Қалақша саны	3	3
Ауданы, мм <sup>2</sup>	4.9	5.7
Диаметрі, м	2.5	2.7

## 3. Желдің бағытына бейімделу жүйесі:

Желдің бағытына бейімделудің келесі жүйелері бар:

1) Флюгер. 50 кВт-қа дейінгі қуаты бар ЖЭҚ үшін пайдаланылады. Қарапайымдылығымен және беріктілігімен ерекшеленеді, бірақ ЖЭҚ басының бұрыштық бұрылу айналымын шектей алмайды.

2) Бейімділіктің электромеханикалық жүйесі. Бейімділікті іске асыратын электр сымы жел бағытының құралы бойынша басқарылады. 50 кВт-тан жоғары қуаты бар ЖЭҚ үшін пайдаланылады.

## 4. ЖҚ айналымының жиілігін реттеу жүйесі және борандық қорғаныс:

- орталықтан айналдыратын-серпіндік реттеу (флюгерік жағдайға дейінгі ( $\beta=90^\circ$  барысында  $V_b > 25$  м/сек) орталықтан айналдыратын күштер әсерінен қалақшалардың орнатылу бұрышының өзгерістері).

- ЖҚ-ны қисық ағымға бұру (желдің басын желдің бағытына қатысты бұру,  $V_B > 25$  м/сек барысында  $\beta = 90^\circ$  дейін)

5. ЖБ орнату жүйесі:

- флюгерлік жағдайға бойынша қалақшаларды шығару немесе құрылғының теріс бұрыштары.
- флюгерді  $90^\circ$ -ге бұру.
- генератордың қысқа тұйықталуы.
- мультипликатордағы тежегіш қалқан.

6. Тоқты шешу жүйесі:

- сақиналар мен щеткалардан тұратын тоқ шешкіш.
- автоматтық жүйе.

7. Аккумуляторлар:

Сыйымды аккумуляторлар тұтынушыға жинақталған қуатты 1 сағаттан бірнеше сағатқа дейін жинақтауға және беруге қабілетті. Электрлік аккумуляторлар электр қуатын тұтынушыға кесте бойынша жұмсау үшін тұрақты тоқ ретінде жинақтауға және сақтауға қабілетті. Электрлік аккумуляторлар элементі ерітілген күкірт қышқылымен жинақталған ыдыстан және оған түсірілген қорғасын тақтайшаларынан тұрады.

Кесте 1.1.6. Қуаты түрлі желдік генераторлар үшін ұсынылатын ыдыс

Модель	200 Вт	300 Вт	500 Вт	1000 Вт	2000 Вт	3000 Вт	5000 Вт	10 кВт	20 кВт
Аккумулятор кернеуі (В)	12								
Аккумулятор сыйымдылығы (А•сағ)	10	200	200	200	150	100	200	400	800
Саны	2	2	2	4	10	20	20	20	30

Кесте 1.1.7. Қуатталған аккумуляторлардың техникалық өлшемдері

Аккумуляторлар кернеуі (В)	12	24	36	48	120	240	360
Қуаттау барысындағы Буферлік кернеу (В)	15	30	45	60	150	300	450
Асқын кернеу (В)	15	30	45	60	150	300	450
Шамадан тыс кернеулену барысындағы кернеу (В)	14	28	42	56	140	280	420
Кернеудің төмендетілуі (В)	10,5	21	32	42	105	210	315



## «1.1.7. кестенің соңы»

Жеткіліксіз кернеулену барысындағы кернеу (В)	12	24	36	48	120	240	360
---	----	----	----	----	-----	-----	-----

*8. Бақылаушы:*

Желдік жүйелердің бақылаушысы желдік генераторлардан аккумуляторлық батарейлерді қуаттау үдерісін реттеуге және қуаттың тұрақты кернеуін қолдануға арналады.

## Кесте 1.1.8. Бақылаушының техникалық сипаттамасы

Модель	WWSO6-24
Желдік генератордың шығыс қуаты	600 Вт
Номинальдік кернеу АБ	24 В
Жүктемесіз кернеу	28 В
Қуатсыздану барысындағы қорғаныстық өшірілу кернеуі АБ	22 В
Өлшемдері, мм	190x68x150
Қуаттанудан қорғаныс	шамадан тыс кернеуленуден қорғаныс орнатылған қорғанысы

*9. Инвертор*

Инвертор 220В/50Гц қалыпты кернеуіне, АКБ қорына жинақталған, тұрақты тоқтың қуатын қайта түзеді. Инвертордың қуаты тұтынудың бастапқы қуатына орай таңдалады.

## Кесте 1.1.9. Инвертордың техникалық сипаттамасы

Желдік генератордың номинальдік қуаты, Вт	500	1000
Желдік генератордың номинальдік кернеуі, В	28	56
Максималдық шығыс қуаты, Вт	1000	2000
Аккумулятордың номинальдік кернеуі, В	24	48
Максималдық қуаттану кернеуі	34	68
Минималдық кернеу, В	21	42
Қайтарылатын минималдық кернеу, В	24	48
Номинальдік шығыс кернеуі, Вт	500	1000
Бос жүріс тоғы, А	≤0,5	≤0,35
Ауыспалы тоқтың шығыс кернеуі, В	110/220/230	110/220/230
Шығыс жиілігі, Гц	50/60	
Шығыс белгісінің пішіні	Таза синусоида	
Экранға шығаратын өлшем бірліктер	батарея қуатын, қуат тоғын, буферлік тәртіпті	
Салмағы, кг	14	16
Пайдалану шарты	температура: -10-40 <sup>0</sup> С ылғалдылығы: 85%-дан жоғары емес	
Өлшем бірліктер, мм	410*350*160	410*350*160

АҚШ-та барлық электр қуатының 5 пайызына жуығы желдік генераторларда өндірілетін болады, Данияда бұл көрсеткіш - 20%, Үндістанда -

10%. Еуропа елдерінде қуатты желдік генераторларының арасында қуаты 600 кВт-тан 2 МВт-қа дейінгі агрегаттар кең таралған, олардың негізгі өндірушілері Vestas Danich Wind Technology фирмасы (Дания). Дегенмен, қазірдің өзінде одан да қуатты құрылғылардың сериялық өндірісі күтілуде. «Боинг» фирмасы (АҚШ) мамандарының болжамдары бойынша қуаты 7 МВт-тық желдеткіштерді жасау жоспарланған. Қуатты желдік энергетиканың дамуы пайдалану көлемі төменгі климаттық жағдайларға байланысты, себебі, Жер шарының кейбір территориялары желдің қуатын тиімді қолдануға сәйкес емес. Бұл мақсатқа жағалаулық және жазық жерлер қолайлы. Сондықтан, Еуропадағы желдік қозғалтқыштардың үлкен көлемі Дания, Голландия мен Германияның жағалауларында шоғырланған. Ресейде де электр энергетикасының дамуына қолайлы аймақтар кездеседі. Оларға Кольский шығанағы мен Таяу Шығыстың жағалауларының бойы жатады, олар мамандардың бағалауы бойынша ең желді территорияға жатады [13].

## 1.2 Түрлі жылдамдықтар барысындағы жел ағымдарының қуатын бағалау

Нақты қуаттың ( $N_n$ ) жел генераторлары (ЖГ) үшін ауа ағымының ( $N_p$ ) қажетті қуатын анықтау барысында ( $\eta_{ЖД}$ ) жел дөңгелегінің, жел генератор ( $\eta_{ЖГ}$ ) мен трансмиссияның (редуктор) ( $\eta_T$ ) пайдалы әсер коэффициентін ескеру керек:

$$N_n = \frac{N_p}{\eta_{ЖД} * \eta_{ЖГ} * \eta_T} \quad (1.2.1)$$

Екінші жағынан, белгілі жылдамдықта ауа ағымының қуаты келесі қатынаспен анықталады:

$$N_n = \frac{q * W_{ж}}{102} \quad [\text{кВт}] \quad (1.2.2)$$

мұнда:  $q = \frac{\rho * V_{ж}^2}{2}$  – ағым қысымы (жылдамдықты қысым)

$\rho = 0,125 \text{ кг} * \text{с}^2 / \text{м}^4$  – ауа тығыздығы;

$W_{ж} = V_{ж} * S_n$  – ағымның секундтық шығыны ( $\text{м}^3/\text{с}$ )

$S_n = \frac{\pi * d_n^2}{4}$  – ауа ағымының ауданы, диаметр айналамен шектеледі –  $d_n$ :

Онда, ауа ағымының қуаты  $d_n$  - диаметр айналамен шектеліп, келесі қатынаспен анықталады:

$$N_n = \frac{\frac{\rho * V_{ж}^2}{2} * V_{ж} * \frac{\pi * d_n^2}{4}}{102} = 0,000481 * V_{ж}^3 * d_n^2 ;$$

$$N_n = 0,481 * 10^{-3} * V_{ж}^3 * d_n^2 \quad [\text{кВт}] \quad (1.2.3)$$

(1.2.1) және (1.2.3) теңдіктерінің оң жақтарын теңестіре отырып, ауа ағымына қажетті диаметр анықталады:

Бұдан: 
$$\frac{N_H}{\eta_{ЖД} * \eta_{ЖГ} * \eta_T} = 0,481 * 10^{-3} * V_{Ж}^3 * d_n^2$$

$$d_n = \sqrt{\frac{N_H}{0,481 * 10^{-3} * \eta_{ЖД} * \eta_{ЖГ} * \eta_T * V_{Ж}^3}} \quad (1.2.4)$$

Егер, алғашқы қатынаста қабылданса:

$$\eta_{ЖГ} = 0,85; \quad \eta_T = 0,94; \quad \text{онда} \quad d_n = 51 * \sqrt{\frac{N_H}{\eta_{ЖД} * V_{Ж}^3}} \quad (1.2.5)$$

Айта кететіні,  $\eta_{ЖД}$  пайдалы коэффициенті жоғары болған сайын, жел дөңгелегімен дамиды қуат жоғары болады [14].

Статистикалық деректер бойынша бірінші қатынаста:  $\eta_{ЖД}=0,45$  қабылданса; онда, ауа ағымының диаметріне тең жел дөңгелегінің қажетті диаметрі келесі қатынаспен анықталу мүмкін:

$$d_n = d_{ЖД} = 51 * \sqrt{\frac{N_H}{\eta_{ЖД} * V_{Ж}^3}} = 76,026 * \sqrt{\frac{N_H}{V_{Ж}^3}};$$

$$d_{ЖД} = 76,026 * \sqrt{\frac{N_H}{V_{Ж}^3}} \quad (1.2.6)$$

Қабылданған ПӘК мәні үшін, ауа ағымына қажетті қуат келесі қатынаспен анықталады:

$$N_n = \frac{N_H}{\eta_{ЖД} * \eta_{ЖГ} * \eta_T} \approx 2,78 * N_H;$$

Жел генераторларының түрлі қуаттары мен ауа ағымының жылдамдықтары барысында ЖД диаметрін өлшеу мысалдары [15].

Кесте 1.2.1. Жел дөңгелегінің диаметрін есептеу

№	$V_{Ж}$	$N_{ЖГ}$	$d_{ЖД}$	$N_{ЖГ}$	$d_{ЖД}$	$N_{ЖГ}$	$d_{ЖД}$	$N_{ЖГ}$	$d_{ЖД}$
	м/с	кВт	м	кВт	М	кВт	М	кВт	М
1	6	2	7,34	5	11,6	10	16,4	20	23,22
2	7	2	5,8	5	9,2	10	13	20	18,42
3	8	2	4,7	5	7,5	10	10,6	20	15
4	9	2	4	5	6,3	10	8,9	20	12,6
5	10	2	3,4	5	5,4	10	7,6	20	10,8



*Жел дөңгелегінің айналым жиілігі*

ЖД-ны жобалау барысындағы негізгі міндеттердің бірі ағымның диаметріне, жылдамдығы мен айналымына тәуелді жылдам жүрушілікті таңдау болып табылады:

$$Z = \frac{\omega * r_{л}}{V_{ж}} = \frac{2 * \pi * n_{жд} * r_{л}}{60 * V_{ж}} = 0,05236 \frac{n_{жд} * d_{жд}}{V_{ж}} \quad (1.2.7)$$

мұнда:  $n_{жд}$  – ЖД айналымының жиілігі (айн/мин)

$r_{л}$  – ЖД қалағының радиусы

ЖД жылдам жүруі бұл қалақ ұшының қоршаған ортаның жылдамдығының жел жылдамдығына қатынасы.

Сынақтық деректер негізінде  $n_{жд}$ ,  $d_{жд}$ ,  $V_{ж}$  түрлі болған жел дөңгелектері жағдайында ЖД-ның ПӘК ( $\eta_{жд,макс}$ ) максималдық мәні қалақ саны  $n_{к} = 3$  д. кезінде  $Z = (4...6)$  мәнінде жетеді.

Жылдам жүруі  $Z=5$  болғанда ЖД үшін айналым жиілігін анықтаудың қатынасы мынадай:

$$n_{жд} = \frac{Z * V_{жс}}{0,05236 * d_{жд}} \approx 19,1 \frac{Z * V_{жс}}{d_{жд}} \approx 95,5 \frac{V_{жс}}{d_{жд}} \quad [\text{айн/мин}] \quad (1.2.8)$$

$N_{н}$  мен  $V_{ж}$  түрлі мәндері үшін  $n_{жд}$  есептеу мысалдары кесте 1.2.2. келтіріледі.

Кесте 1.2.2. Жел дөңгелегінің есептелу мысалдары

$N_{н}$ кВт	$V_{ж}$ м/с	$d_{жд}$ м	$n_{жд}$ айн/мин	$N_{н}$ кВт	$V_{ж}$ м/с	$d_{жд}$ м	$n_{жд}$ айн/мин	$N_{н}$ кВт	$V_{ж}$ м/с	$d_{жд}$ м	$n_{жд}$ айн/мин
2	6	7,3	78	5	6	11,6	49,4	10	6	16,4	35
2	7	5,8	115,3	5	7	9,2	72,7	10	7	13	51,4
2	8	4,7	160	5	8	7,54	101	10	8	10,66	71,7

Осылайша,  $V_{ж} = (6...8)$  м/с жылдамдық диапазонында айналымның ең үлкен жиілігі  $n_{жд}=160$  айн/мин  $N_{н} = 2$  кВт,  $V_{ж} = 8$  м/с сәйкес, ал ең төменгі айналым жиілігі  $n_{жд} = 35$  айн/мин  $N_{н} = 10$  кВт,  $V_{ж} = 6$  м/с сай. Ауа ағымының жылдамдығы үшін  $V_{ж} = 7$  м/с қуаты  $N_{н} = 5$  кВт ЖГ үшін ЖД айналымының жиілігі  $n_{жд}=72,7$  айн/мин құрайды.

Егер ЖГ роторының айналым жиілігі номиналдық қуатқа сәйкес  $n_{жг} = (400...600)$  айн/мин құраса, онда қарастырылған ЖД үшін 5 пен 10 ретке дейін қатынасатын, арттыратын редуктор (мультипликатор) қолдану керек [16].

*Есепті деңгейден төмен жылдамдық барысындағы ЖЭЖ қуатын есептеу*

ЖГ номиналдық қуатына ЖД диаметрінің тәуелділігінен;

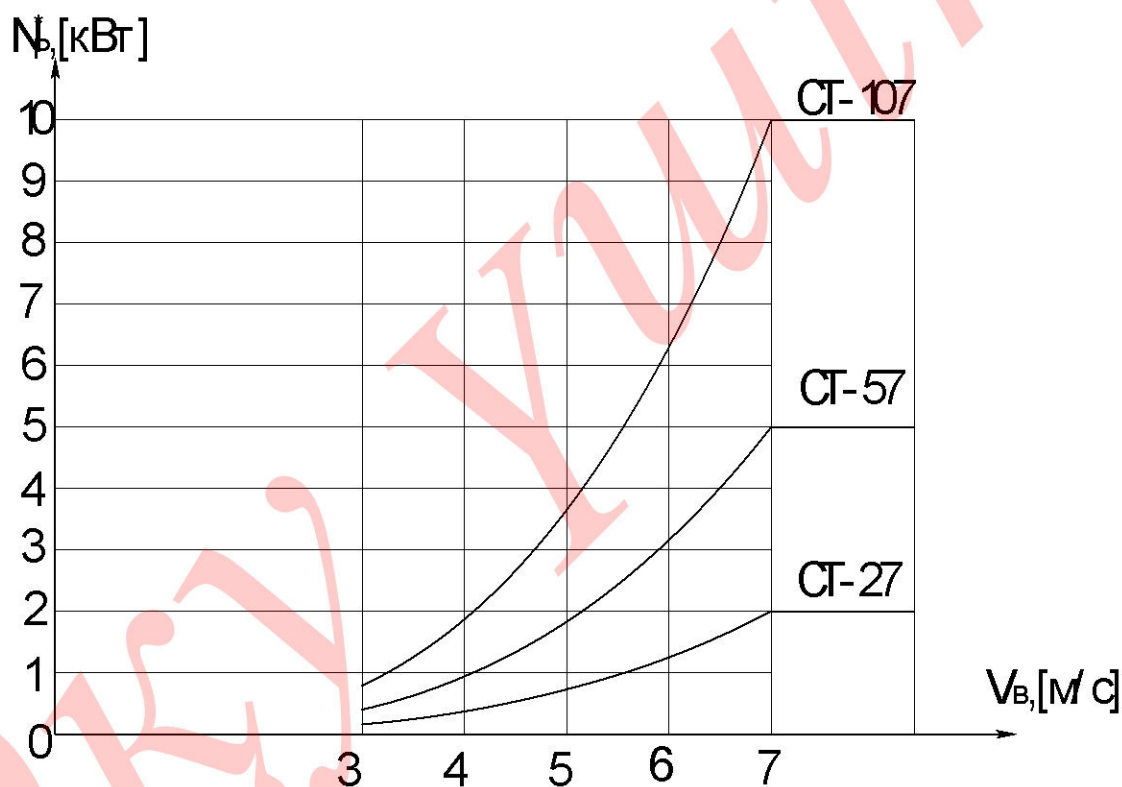
$$\text{яғни: } d_{жд} = 76,026 * \sqrt{\frac{N_{н}}{V_{ж}^3}}; \quad N_{н} = N_{р}^* = 0,000173 * d_{жд}^2 * V_{ж}^3; \quad (1.2.9)$$



ЖД айналым жиілігін формула бойынша бағалауға болады (1.2.8).

Кесте 1.2.3.  $V_{ж} = 7$  м/с желдің есептік жылдамдығы болғанда, ЖЭҚ үшін  $N_p$  қуатын анықтау мысалдары [17]

$V_{ж}$ м/с	$N_p^*$ кВт	$d_{жд}$ м	$n_{жд}$ айн/мин	$N_p^*$ кВт	$d_{жд}$ м	$n_{жд}$ айн/мин	$N_p^*$ кВт	$d_{жд}$ м	$n_{жд}$ айн/мин
7	2	5,8	115	5	9,2	72,7	10	13	51,4
6	1,25	5,8	98,8	3,16	9,2	62,3	6,3	13	44
5	0,73	5,8	82,3	1,83	9,2	52	3,65	13	36,7
4	0,37	5,8	66	0,94	9,2	41,5	1,87	13	29,4
3	0,16	5,8	49,34	0,4	9,2	31	0,79	13	22



Сурет 1.2.1. Номиналдық жылдамдығы түрлі ЖЭҚ үшін  $V_{ж}$  жел жылдамдығынан  $N_p^*$  тәуелділігі

### 1.3 Электр қуатының өзіндік құнын есептеу әдістемесі

*ЖЭҚ-пен өндірілетін, 1 кВт/сағ электр қуатының өзіндік құнын анықтау.*

*Бастапқы мәліметтер:*

1. Генератордың номиналдық қуаты –  $N_n$
2. Генераторға (мультипликатор) механикалық қуатты берудің құрылымдық өлшемдері (ЖД),

3. Сатып алынатын бұйымдардың өлшем бірліктері: инвертор, заряд бақылағышы, аккумуляторлық батареялар.

4. ЖЭҚ-тың кепілділік қызмет мерзімі [18]

*Есептеу әдістемесі.*

1. Электр қуатының өзіндік құны қолданыстың кепілділік мерзімі барысында өндірілетін электр қуатына ЖЭҚ-ты дайындаумен және қолданумен байланысты барлық шығындарға қатысты электр қуатының өзіндік құны:

$$a = \frac{C_{\Sigma}}{W_{\Sigma}} \text{ тг/кВт.сағ} \quad (1.3.1)$$

мұнда:  $a$  – өндірілетін электр қуатының өзіндік құны

$C_{\Sigma}$  - сомалық шығындар

$W_{\Sigma}$  - өндірілетін электр қуатының сомалық көлемі

Сомалық шығындар ЖЭҚ дайындау мен оның қолданылуына байланысты шығындарды құрайды.

$$C_{\Sigma} = C_{ВЭУ} + C_{\text{экс}} \quad (1.3.2)$$

Өз кезегінде ЖЭҚ құны мыналарды құрайды: сатып алу бұйымдарының құны (гидрогенератор, инвертор, заряд бақылаушы, аккумуляторлық батареялар (АБ)), қалақ құны, генераторға механикалық қуатты беру құны

1. ЖЭҚ құны

$$C_{ВЭУ} = C_{\text{пи}} + C_{\text{ЖД}} + C_{\text{мач}} + C_{\text{каб}} + C_{\text{пр}} \quad (1.3.3)$$

1.1. Сатып алу бұйымдарының құны:

$$C_{\text{пи}} = C_{\Gamma} + C_{\text{и}} + C_{\text{кз}} + C_{\text{а,б}} \quad (1.3.4)$$

1.1.1  $C_{\Gamma}$  - генератор құны.

$$C_{\Gamma} = \gamma_{\Gamma} \cdot N_{\text{н}} \quad (1.3.5)$$

$\gamma_{\Gamma}$  — генератордың шартты құны  $\gamma_{\Gamma} = (800 \dots 1400) \text{ \$/кВт}$

1.1.2  $C_{\text{и}}$  - инвертор құны.

$$C_{\text{и}} = \gamma_{\text{и}} \cdot N_{\text{и}} \quad (1.3.6)$$

мұнда:  $N_{\text{и}}$  - инвертор қуаты (кВт) **6.6.**  $N_{\text{и}} \geq N_{\text{н}}$

$\gamma_{\text{и}}$  - инвертордың шартты құны  $\gamma_{\text{и}} = (120 \dots 180) \text{ \$/кВт}$

1.1.3.  $C_{\text{кз}}$  – заряд бақылағышының құны

$$C_{кз} = \gamma_{кз} \cdot N_{н} \quad (1.3.7)$$

$\gamma_{кз}$  - заряд бақылағышының шартты құны

1.1.4  $C_{а.б}$  - аккумуляторлық батареялар құны

$$C_{а.б} = n_{а.б} \cdot \gamma_{а.б} \cdot N_{а.б} \quad (1.3.8)$$

мұнда:  $n_{а.б}$  - АБ көлемі;

$\gamma_{а.б}$  - АБ шартты құны  $\gamma_{а.б} = (80..100) \$/кВт$

$N_{а.б}$  - АБ қуаты

$$N_{а.б} = \frac{\omega \cdot V}{100} \text{ (кВт)} \quad (\text{Асағ} \cdot \text{В} = \text{кВт} / \text{сағ})$$

$\omega$  - АБ сыйымдылығы,  $V$  – тұрақты тоқ кернеуі.

мысалы: АБ: бст-190; 190 А·сағ;  $V=12$  В;  $N_{а.б} = \frac{190 \cdot 12}{1000} = 2,28$  (кВт·сағ)

1.2 Жел дөңгелегінің құны: ( $C_{жд}$ )

1.3 Жел дөңгелегінің құнына ЖД дайындау бойынша бөлшектерге жұмсалатын материалдық шығындарды құрайды

$$C_{жд} = C_{м} + C_{пр} \quad (1.3.9)$$

ЖД жобасы болған жағдайда материалдық шығындарды құрылыс бөлшектеріне кететін материалдардың шығынына сәйкес анықтауға болады [19].

ЖД құрылысы матадан жасалған және каркастан тұратын жапсырмадан тұрады. Өз кезегінде, қалақ каркасы мыналардан құралады: қалақтың ұзына бойы лонжероны мен ендік нервюра.

1.2.1 Материалдардың құны:

$$C_{м} = C_{тр} + C_{фан} + C_{стек} + C_{пен} + C_{пр} \quad (1.3.10)$$

мұнда:

$C_{тр}$  - құбыр құны 1м

$C_{фан}$  - фанер құны 1м<sup>2</sup>

$C_{стек}$  - айнекмата құны 1м<sup>2</sup>

$C_{стек}$  - пенопласт құны 1м<sup>3</sup>

$C_{пр}$  - басқа да бұйымдар

1.2.2 ЖД дайындау құны.

Алғашқы қатынастан көрінетіндей, ЖД дайындау шығындары материалдық шығындардың 40%-ын құрайды, яғни:

$$C_{пр} = 0,4 \cdot C_{м}$$

1.2.3 Мачта құны: ( $C_{\text{мач}}$ )

Мачта құнына мачтаны дайындау үшін жұмсалатын материалдар мен өндірістік шығындар кіреді.

$$C_{\text{мач}} = C_{\text{м}} + C_{\text{пр}}$$

## 1.2.4 Материалдар құны:

$$C_{\text{м}} = C_{\text{обш}} + C_{\text{пл}} + C_{\text{стр}} + C_{\text{трос}} + C_{\text{кран}} + C_{\text{швел}} + C_{\text{арм}} + C_{\text{пр}}$$

мұнда:

$C_{\text{обш}}$  - жапсырма құны  $1\text{м}^2$

$C_{\text{пл}}$  - плита құны

$C_{\text{стр}}$  - стрингер құны  $1\text{м}$

$C_{\text{трос}}$  - трос құны  $1\text{м}$

$C_{\text{кран}}$  - кронштейн құны

$C_{\text{швел}}$  - швеллер құны

$C_{\text{арм}}$  - арматура құны  $1\text{м}$

$C_{\text{пр}}$  - басқа да бұйымдар құны [20]

## 1.2.5 Мачтаны дайындау құны.

Алғашқы қатынастан байқалғандай, мачтаны дайындау шығындары материалдық шығындардың 40%-ын құрайды, яғни:

$$C_{\text{пр}} = 0,4 \cdot C_{\text{мач}}$$

Қолданыс шығындары ЖЭҚ-ға алдын-ала техникалық қызмет көрсетумен байланысты. Бұл шығындары материалдық шығындардың 10%-ын құрайды, яғни:

$$C_{\text{экс}} = 0,1 \cdot C_{\text{ЖЭҚ}}$$

Кепілдендірілген қолданыс мерзімі бойы өндірілетін электр қуатының сомалық мөлшері келесі формуламен анықталады:

$$W_{\Sigma} = W_{\Gamma} \cdot T_{\Gamma}$$

мұнда:  $W_{\Gamma}$  - электр қуатының орташа жылдық өндірілуі

$$W_{\Gamma} = \varepsilon \cdot 24 \cdot 365 \cdot N_{\text{н}} = 8760 \cdot \varepsilon \cdot N_{\text{н}}$$

мұнда:  $\varepsilon$  - өндірудің орташа жылдық коэффициенті

$$\varepsilon = (0,5 \dots 0,8)$$

$T_{\Gamma} = 20$  жыл – қолданыстың кепілдендірілген мерзімі  
 Онда  $W_{\Sigma} = 20 \cdot W_{\Gamma} = 175200 \cdot \varepsilon \cdot N_{\text{H}}$

ЖЭҚ өндіретін электр қуатының өзіндік құны [21]

$$a = \frac{C_{\Sigma}}{W_{\Sigma}} = \frac{1,1 \cdot C_{\text{МГЭС}}}{175200 \cdot \varepsilon \cdot N_{\text{H}}} \text{ (тг/кВт/сағ)}$$

*Есептеу мысалы:*

ЖЭҚ «мачта-қанатпен» өндірілген 1 кВт/сағ электр қуатының өзіндік құнын анықтау.

*Бастапқы мәліметтер:*

1. Генератордың номиналдық қуаты –  $N_{\text{H}} = 10$  кВт
2. Жел дөңгелегінің құрылымдық өлшем бірліктері (ЖД) - диаметр ЖД диаметрі  $D_{\text{ЖД}} = 13$  м, Қалақ саны  $n_{\text{л}} = 3$  д.

1. ЖЭҚ құны

$$C_{\text{ВЭУ}} = C_{\text{пи}} + C_{\text{ЖД}} + C_{\text{мач}} + C_{\text{каб}} + C_{\text{пр}}$$

$$C_{\text{ВЭУ}} = 30643200 + 1756650 + 3570700 + 150000 + 250000 = 36.370.550 \text{ y.e.}$$

1.1. Сатып алынатын бұйымдар құны:

$$C_{\text{пи}} = C_{\Gamma} + C_{\text{и}} + C_{\text{кз}} + C_{\text{а.б}}$$

$$C_{\text{пи}} = 13000 + 1200 + 1000 + 1824 = 17024\$ = 30.643.200 \text{ y.e.}$$

1.1.1  $C_{\Gamma}$  - генератор құны.

$$C_{\Gamma} = \gamma_{\Gamma} \cdot N_{\text{H}} = 1300 \cdot 10 = 13000\$$$

1.1.2  $C_{\text{и}}$  - инвертор құны.

$$C_{\text{и}} = \gamma_{\text{и}} \cdot N_{\text{и}} = 120 \cdot 10 = 1200\$$$

1.1.3.  $C$  - заряд бақылағышының құны

$$C_{\text{кз}} = \gamma_{\text{кз}} \cdot N_{\text{H}} = 100 \cdot 10 = 1000\$$$

1.1.4  $C_{\text{а.б}}$  - аккумуляторлық батареялар құны

$$C_{\text{а.б}} = n_{\text{а.б}} \cdot \gamma_{\text{а.б}} \cdot N_{\text{а.б}} = 8 \cdot 100 \cdot 2,28 = 1824\$$$

$$N_{\text{а.б}} = \frac{\omega \cdot V}{1000} = \frac{190 \cdot 12}{1000} = 2,28$$

1.2 Жел дөңгелегінің құны: ( $C_{\text{ЖД}}$ )



$$C_{\text{ЖД}} = (C_{\text{тр}} + C_{\text{фан}} + C_{\text{стек}} + C_{\text{пен}} + C_{\text{пр}}) * 3$$

Профиль құны:

$$C_{\text{тр}} = l_{\text{тр}} \cdot g_{\text{тр}}$$

мұнда:  $l_{\text{тр}}$  - профильдердің жалпы қажетті ұзындығы 4.7 м

$g_{\text{тр}}$  - 1 м құбыр құны 17500 у.е.

$C_{\text{фан}}$  - фанер құны  $1\text{ м}^2 = 5000$  у.е.

Фанердің қиылу ауданы  $S = 2,4 \text{ м}^2$

$C_{\text{стек}}$  - әйнекмата құны  $1\text{ м}^2 = 20000$  у.е.

Әйнекмата қиылу ауданы  $S = 4,75 \text{ м}^2$

$C_{\text{пен}}$  - пенопласт құны  $1\text{ м}^3 = 10000$  у.е.

Пенопласт көлемі  $V = 7,9 \text{ м}^3$

$C_{\text{пр}}$  - басқа да бұйымдар 150.000 у.е.

$$C_{\text{ЖД}} = (82.250 + 12000 + 95.000 + 79.000 + 150.000) * 3 = 1254750 \text{ у.е. [22]}$$

*ЖД дайындау құны [23].*

Алғашқы қатынаста ЖД дайындау шығыны материалдық шығындардың 40%-ын құрайтынын көрдік, яғни:

$$C_{\text{пр}} = 0,4 \cdot 1254750 = 501900 \text{ у.е.}$$

онда жел дөңгелегінің құны

$$C_{\text{ЖД}} = 1254750 + 501900 = 1.756.650 \text{ у.е.}$$

1.2.3 Мачта құны: ( $C_{\text{мач}}$ )

Мачта құнына мачталарды дайындау бойынша материалдық және өндірістік шығындарды құрайды.

$$C_{\text{мач}} = C_{\text{м}} + C_{\text{пр}}$$

1.2.4 Материалдар құны:

$$C_{\text{м}} = C_{\text{обш}} + C_{\text{пл}} + C_{\text{стр}} + C_{\text{трос}} + C_{\text{кран}} + C_{\text{швел}} + C_{\text{арм}} + C_{\text{пр}}$$

мұнда:

$C_{\text{обш}}$  - жапсырма құны  $1\text{ м}^2 = 6.500$  у.е.

Жапсырма ауданы  $S = 73 \text{ м}^2$

$C_{\text{пл}}$  - плита құны 1 кг = 2300 у.е.

Плитаның жалпы салмағы 246 кг

$C_{\text{стр}}$  - стрингер құны 1 м = 2000

Профильдердің жалпы қажетті ұзындығы  $40 \cdot 4 = 160\text{м}$

$C_{\text{трос}}$  - трос құны  $1\text{м} = 1000$

Жалпы қажетті ұзындығы  $2 \cdot 40 = 80\text{м}$

$C_{\text{кран}}$  - кронштейн құны  $200.000 \text{ у.е.}$

$C_{\text{швел}}$  - швеллер құны  $50.000 \text{ у.е.}$

$C_{\text{арм}}$  - арматура құны  $1\text{м} = 15000 \text{ у.е.}$

Арматураның жалпы қажетті ұзындығы  $8 \cdot 3 = 24\text{м}$

$C_{\text{пр}}$  - басқа да қажетті бұйымдар құны  $500.000 \text{ у.е.}$

$$C_{\text{М}} = 474.500 + 566.000 + 320000 + 80.000 + 200.000 + 50.000 + 360.000 + 500000 = 2.550500 \text{ у.е.}$$

1.2.5 «Мачта-қанатты» дайындау құны [24]

Алғашқы қатынаста «Мачта-қанатты» дайындау шығыны материалдық шығындардың 40%-ын құрайтынын көрдік, яғни:

$$C_{\text{пр}} = 0,4 \cdot C_{\text{М}} = 1.020200 \text{ у.е.}$$

онда «Мачта-қанат» құны

$$C_{\text{жд}} = 2550500 + 1020200 = 3.570.700 \text{ у.е.}$$

$$C_{\text{экс}} = 0,1 \cdot C_{\text{ЖЭҚ}} = 0,1 \cdot 36370550 = 3.637.055 \text{ у.е.}$$

ЖЭҚ жалпы құны

$$C = 36370550 + 3637055 \text{ у.е.} = 40.007.605 \text{ у.е.}$$

$$W_{\Sigma} = W_{\Gamma} \cdot T_{\Gamma} = 61320 \cdot 20 = 1226400 \text{ у.е.}$$

$$W_{\Gamma} = \varepsilon \cdot 24 \cdot 365 \cdot N_{\text{н}} = 8760 \cdot \varepsilon \cdot N_{\text{н}} = 8760 \cdot 0,7 \cdot 10 = 61320 \text{ у.е.}$$

Электр қуатының өзіндік құны қолданыстың кепілділік мерзімі барысында өндірілетін электр қуатына ЖЭҚ-ты дайындаумен және қолданумен байланысты барлық шығындардың қатынасы болып табылады.

$$a = \frac{C_{\Sigma}}{W_{\Sigma}} = \frac{1,1 \cdot 40007605}{1226400} = 35.89 \text{ у.е./кВт} \cdot \text{сағ}$$

мұнда:  $a$  - өндірілетін электр қуатының өзіндік құны

$C_{\Sigma}$  - сомалық шығындар

$W_{\Sigma}$  - өндірілетін электр қуатының сомалық көлемі

$$T_{\text{ок}} = \frac{C_{\text{в}}}{W_{\Gamma} \cdot 105} = \frac{40007605}{61320 \cdot 105} = 6.2 \text{ жыл}$$

Орташа құны  $105 \text{ у.е./кВт} \cdot \text{сағ}$  болса, ЖЭҚ 6.2 жылда өтеледі.

### 1.4 Жел дөңгелегін есептеу алгоритмі

ЖД есептеу үшін келесі бастапқы деректер қажет: [25]

1. Желдік генератордың номиналдық қуаты –  $N_H = 10$
2. Ауа ағымының (желдің) есептік жылдамдығы –  $V_{ж} = 7$
3. ЖД қалақ саны –  $n_{л}$  ( $n_{л} = 3$ );
4. Жылдам жүруі  $Z$  ( $Z = 5$ );
5. Қалақ профилі (модифицирленген профиль  $GA(W) - 1$ );
6. Қалақ пішіні – қалақтың қоршау координаттары.

1. Формула бойынша ЖД диаметрі анықталады :

$$d_{жд} = 76,026 * \sqrt{\frac{N_H}{V_{ж}^3}} = 13\text{м}$$

2. Формуласы бойынша ЖД айналымының жиілігі анықталады:
- 3.

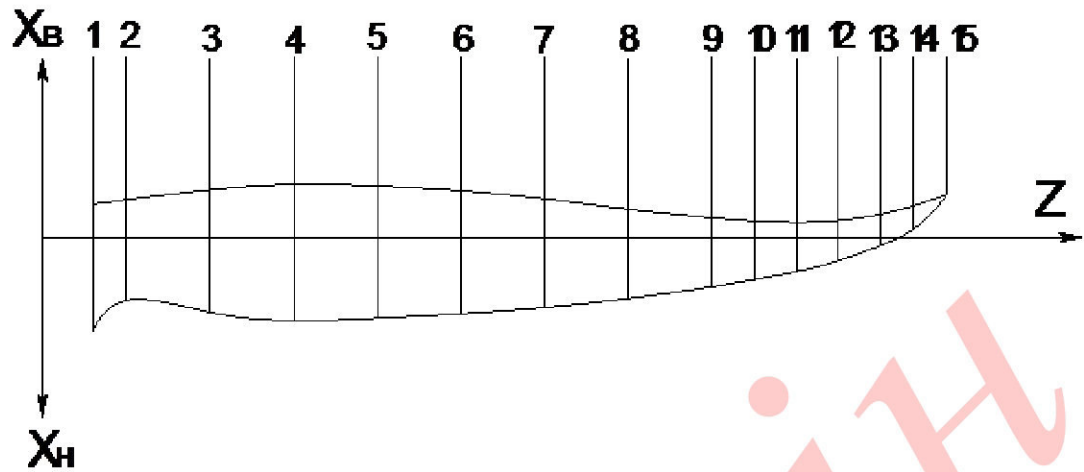
$$n_{жд} \approx 95,5 \frac{V_{ж}}{d_{жд}} = 51$$

4. Кесте 1.4.1 мен «1.4.1 суретке сәйкес» ЖД қалағының (жоспардағы түрі) геометрлік өлшем бірліктері анықталады.

Кесте 1.4.1. Қалақтың қоршау координаттарының кестесі

№ қи.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
$Z_i$ , %	5,5 56	9,2 6	18, 52	27, 78	37, 04	46, 3	55, 56	64,8 15	74,0 74	78, 7	83, 33	87, 96	92, 59	96,2 96	10 0
$b_i$ , %	14, 1	11, 24	13, 63	15, 23	14, 74	13, 7	12, 1	9,95 9,95	7,7 7,7	6,6 5	5,5 5,5	4,5 4,5	3,5 2	2,59 2,59	0
$X_{Вi}$ , %	3,7 3,7	4,2 4,2	5,3 5,3	5,9 3	5,7 4	5,2 5,2	4,3 4,3	3,15 3,15	2,2 2,2	1,8 5	1,7 1,7	1,9 1,9	2,5 9	3,52 3,52	4,8 4,8
$X_{Hi}$ , %	- 10, 4	- 7,0 4	- 8,3 3	-9,3 -9,3	-9,0 -9,0	- 8,5	-7,8 -7,8	-6,8 -6,8	-5,5 -5,5	- 4,7	-3,8 -3,8	-2,6 -2,6	- 0,9 3	+0,9 3	+4, 8



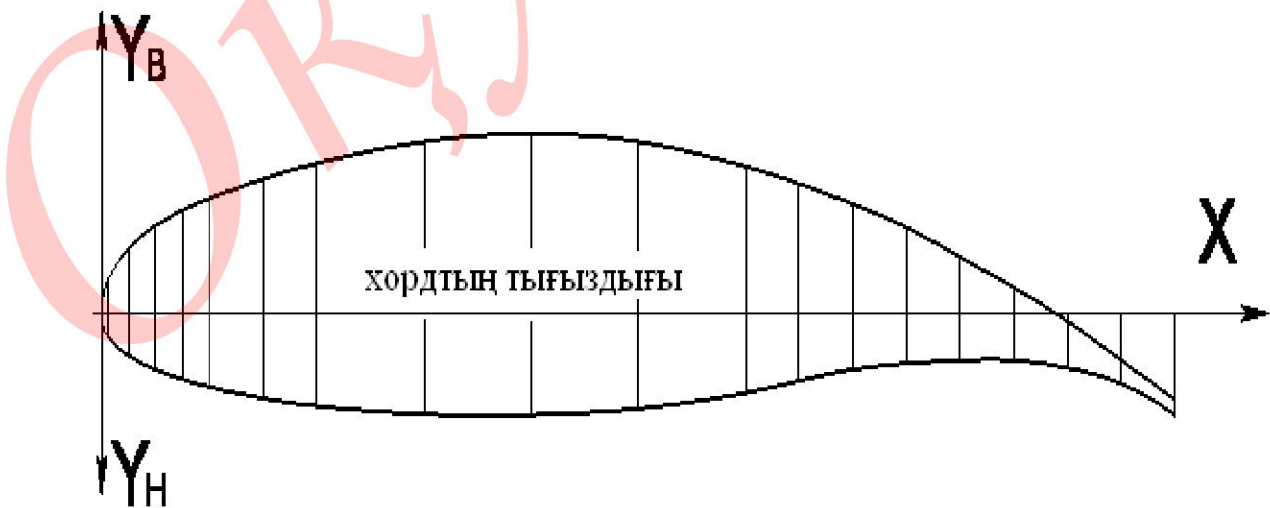


Сурет 1.4.1. Жоспардағы қалақтың түрі

ЖД қалақтарының қиығының геометрлік өлшем бірліктері кесте 1.4.2 сәйкес анықталады (сурет 1.4.1).

Кесте 1.4.2. Модифицирленген профиль GA (W) – 1 координаттарының кестесі.

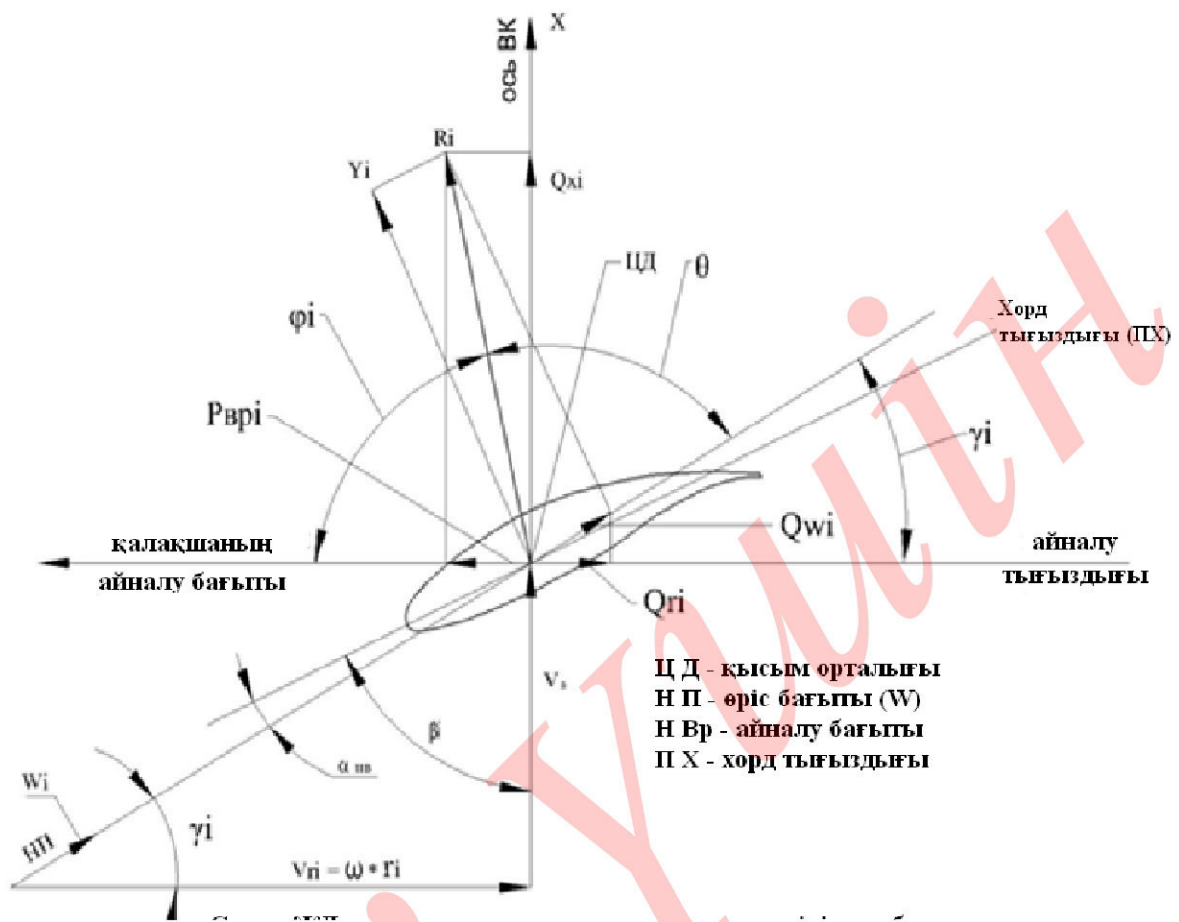
X, %	0	0,5	2,5	5,5	7,5	10	15	20	30	40	50	60	65	70	75	80	85	90	95	100
Ув, %	0	2,1	4,6	5,6	6,3	7,5	8,6	9,6	11,6	11,5	1	9,4	8,3	7,5	5,3	3,6	1,6	-0,5	-3,5	-5,5
Ун, %	0	-1,4	-2,7	-3,6	-4,4	-4,7	-5,4	-5,93	-6,45	-6,49	-6,1	-5,08	-4,3	-3,6	-3,2	-3	-3	-3,5	-4,5	-6,5



Сурет 1.4.2. Қалақ профилінің пішіні.

ЖД-ның аэродинамикалық сипаттамаларын анықтау.

ЖД қалағы қимасының есептік сызбасы көрсетілген (сурет 1.4.3).



Сурет 1.4.3. ЖД қалақша ауданындағы шындық күшінің сұлбасы

Аэродинамикалық сипаттамаларды есептеу үшін белгілі өлшем бірліктер мыналар:

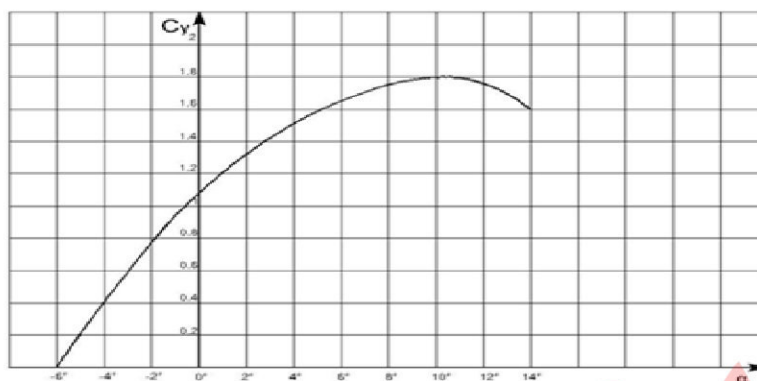
- желдің есептік жылдамдығы –  $V_{ж}$ ;
- желдік дөңгелек диаметрі –  $d_{жд}$ ;
- ЖТ-ның белгіленген қуаты барысында ЖД айналымының жиілігі –  $n_{жд}$ ;
- ЖД қалағының геометриялық өлшем бірліктері;
- профильдің шабуылға анағұрлым тиімді бұрышы -  $\alpha_{нв}$  [26]

Есептік өлшем бірліктер:

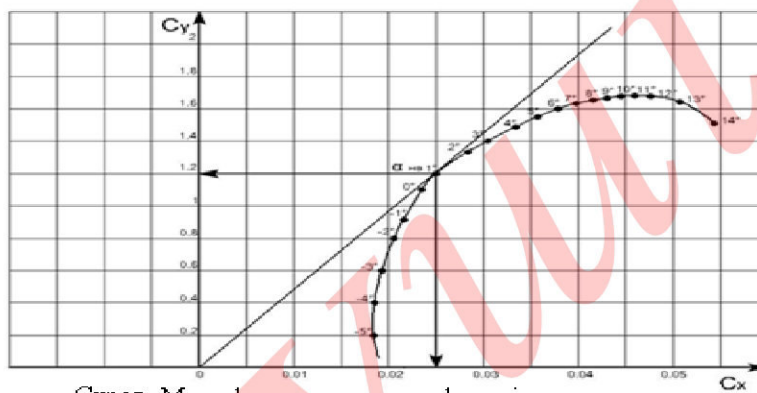
1.  $V_{гi}$  – осы радиустағы қалақтың айналадағы жылдамдығы:

$$V_{гi} = \frac{2 * \pi * n_{жд}}{60} * r_i = 0,10467 * n_{жд} * r_i ; ( м/с )$$

мұнда:  $r_i$  – қалақ қимасының  $i$ -лік радиусы (  $Z_i$  )



Сурет 1.4.4.  $C_y = f(\alpha)$  байланысы



Сурет 1.4.4. Модифицирленген профильді қалақша поляры

Кесте 1.4.3.  $\alpha$  бойынша  $C_y$  және  $C_x$  мәндері

$\alpha$	-6°	-5°	-4°	-3°	-2°	-1°	0°	+1°	+2°	+3°	+4°	+5°	+6°	+7°	+8°	+9°	+10°	+11°	+12°	+13°	+14°
$C_y$	0	0,2	0,4	0,6	0,8	0,96	1,1	1,2	1,32	1,4	1,49	1,58	1,6	1,61	1,63	1,637	1,639	1,7	1,639	1,63	1,5
$C_x$	0,019	0,018	0,0182	0,0197	0,021	0,0229	0,023	0,025	0,028	0,031	0,034	0,036	0,038	0,04	0,042	0,043	0,044	0,046	0,043	0,051	0,054

2.  $W_i$  – осы радиуста қалақтан өтетін, ағымның қатынастық жылдамдығы:

$$W_i = \sqrt{V_{ж}^2 + V_{ri}^2}; (м/с)$$

3.  $Y_i$  – (  $i$  ) және (  $i+1$  ) қималарымен шектелген,  $\Delta S_i$  ауданы бар ЖД қалағында іске асатын, аэродинамикалық (көтеріңкі) күштің көлемі:

$$Y_i = C_y * \frac{\rho * W_i^2}{2} * \Delta S_i;$$

мұнда :  $C_y = 1,2$  ;  $\rho = 0,125 \text{ кг/м}^3$  ;  $Y_i = 0,075 * W_i^2 * \Delta S_i$  ;  
 $\Delta S_i = 0,5( b_{i-1} + b_i ) * ( r_i - r_{i-1} )$  ; мұнда  $b_i$  – қалақ хордасы ,  $b_{i-1}$  –  
қима.

4.  $Q_{wi}$  –  $W_i$  ағымы бағытындағы аэродинамикалық қарсылық күші:

$$Q_{wi} = C_x * \frac{\rho * W_i^2}{2} * \Delta S_i = 0,00156 * W_i^2 * \Delta S_i ; \quad (C_x = 0,025)$$

5.  $R_i$  – ауданы  $\Delta S_i$  қалағына іске асатын, толық аэродинамикалық күш:

$$R_i = \sqrt{Y_i^2 + Q_{wi}^2} ;$$

6.  $\gamma_i$  – ЖД айналымының жазықтығы мен  $W_i$  ағымының бағыты арасындағы бұрыш:

$$\gamma_i = \arctg \left( \frac{V_{ж}}{V_{ri}} \right) ;$$

7.  $\beta_i$  – бұл радиустағы жазықтықтағы оске қатысты ЖД қалағын орнату бұрышы:

$$\beta_i = ( 90^\circ - \gamma_i + \alpha_{нв} ) ; \quad \alpha_{нв} = 1^\circ ;$$

8.  $\theta$  –  $R_i$  бағыты мен  $W_i$  ағым бағыты арасындағы бұрыш:

$$\theta = \arctg \left( \frac{C_y}{C_x} \right) = const \quad \theta = \arctg \left( \frac{1,2}{0,025} \right) = 88,8^\circ$$

$\alpha_{нв}$  – шабуылдың ең тиімді бұрышы профиль полярынан анықталады (6-сурет)

9.  $\varphi_i$  –  $R_i$  бағыты мен айналым жазықтығы арасындағы бұрыш:

$$\varphi_i = ( 180^\circ - \gamma_i - \theta ) ;$$

10.  $P_{вpi}$  – ауданы  $\Delta S_i$  қалақ элементіне әсер ететін, айналым күші (айналым жазықтығына  $R_i$  толық аэродинамикалық күшінің проекциясы):

$$P_{вpi} = R_i * \cos \varphi_i$$

11.  $Q_{ri}$  – ЖД айналымына қарсылық күші, айналым жазықтығына  $Q_{wi}$  проекциясы:

$$Q_{ri} = Q_{wi} * \cos \gamma_i$$

12.  $P_{вpi}^p$  – айналымның нәтижелу (нағыз) күші:

$$P_{вpi}^p = ( P_{вpi} - Q_{ri} )$$



13.  $P_{вр}^л$  – ЖД қалағына әсер ететін, аэродинамикалық айналым күші:

$$P_{вр}^л = \sum_{i=1}^{15} P_{врi}^p$$

14.  $P_{жд}$  – ЖД айналым күші;

$$P_{жд} = n_l * P_{вр}^л = 3 * P_{вр}^л$$

15.  $Q_{xi}$  – ЖД айналымы осі бойынша, яғни желдің жылдамдығы бағытында ЖД-ның беткі қарсылығының күші ( $R_i$  проекциясы):

$$Q_{xi} = R_i * \sin\varphi_i$$

16.  $Q_x^л$  – ЖД қалағының беткі қарсылығының күші:

$$Q_x^л = \sum_{i=1}^{15} Q_{xi}^p$$

17.  $Q_{жд}$  – ЖД беткі қарсылығының күші:

$$Q_{жд} = n_l * Q_x^л = 3 * Q_x^л ;$$

18.  $\Delta M_{врi}$  – ауданы  $\Delta S_i$  қалақ элементіне әрекет ететін, айналмалы мезет:

$$\Delta M_{врi} = P_{врi}^p * \left( \frac{r_i + r_{i+1}}{2} \right)$$

19.  $M_{вр}^л$  – ЖД қалағының айналмалы мезеті:

$$M_{вр}^л = \sum_{i=1}^{15} \Delta M_{врi}$$

20.  $M_{жд}$  – ЖД айналмалы мезеті:

$$M_{жд} = n_l * M_{вр}^л = 3 * M_{вр}^л$$

21.  $\Delta M_{zi}$  – ауданы  $\Delta S_i$  қалақ элементіне әрекет ететін, иілгіш мезет:

$$\Delta M_{zi} = Q_{xi}^p * \left( \frac{r_i + r_{i+1}}{2} \right)$$

22.  $M_{zi}^л$  – ЖД қалағының қималарына әрекет ететін, иілгіш мезет:

$$M_{zi}^л = \sum_{i=1}^{15} \Delta M_{zi} ; \text{ (еркін ұшынан сомаланады) [27]}$$

### 1.5 Желдік дөңгелектің ПӘК-нің қуаты мен бағасы

$M_{\text{ЖД}}$  айналмалы мезеттің белгілі мәнінде ЖД-ның анықталған қуаты келесі формуламен анықталады:

$$N_{\text{ЖД}}^{\text{P}} = M_{\text{ЖД}} * \omega * g = 2 * \pi * \frac{n_{\text{ЖД}}}{60} * g * M_{\text{ЖД}} = 1,027 * n_{\text{ЖД}} * M_{\text{ЖД}} = [\text{Вт}]$$

ЖГ қуаты белгіленген кезде қажетті айналмалы мезет ( $N_{\text{H}}$ ) және ротордың айналу жиілігі  $n_{\text{ЖГ}}$  келесі тәуелділікпен анықталуы мүмкін:

$$M_{\text{ЖГ}}^{\text{П}} = 974 \frac{N_{\text{H}}}{n_{\text{ЖГ}} * \eta_{\text{ЖГ}}} \quad [\text{кг} * \text{м}]$$

(Ньютонның II-заңының теңдеуінен айналмалы қозғалыс үшін:  $N = M * \omega$ ) [28]

ЖД ПӘК-де  $d_{\text{ЖД}}$  - ( $N_{\text{H}}$ ) диаметрімен шектелген ағым қуатына ЖД-да орнатылған қуаттың қатынасы анықталады:

$$\eta_{\text{ЖД}} = \frac{N_{\text{ЖД}}^{\text{P}}}{N_{\text{H}}} = \frac{1,027 * n_{\text{ЖД}} * M_{\text{ЖД}}}{0,481 * d_{\text{ЖД}}^2 * V_{\text{Ж}}^3} = 2,135 \frac{n_{\text{ЖД}} * M_{\text{ЖД}}}{d_{\text{ЖД}}^2 * V_{\text{Ж}}^3};$$

Желдік генераторға желдік дөңгелекпен берілетін қуат:

$$N_{\text{ЖГ}} = N_{\text{ЖД}}^{\text{P}} * \eta_{\text{ЖГ}} * \eta_{\text{T}} = 0,85 * 0,94 * N_{\text{ЖД}}^{\text{P}} = 0,799 * N_{\text{ЖД}}^{\text{P}}$$

#### *ЖД есептеу мысалдары.*

Мысал ретінде 1.5.1. кестеде  $V_{\text{В}} = 7\text{ м/с}$  болғанда, номиналдық қуаты  $N_{\text{H}} = 10\text{ кВт}$  ЖЭҚ-да жұмыс жасаған ЖД-ның аэродинамикалық күштері мен мезеттерінің есептеу нәтижелері келтірілген; ( $d_{\text{ЖД}} = 13\text{ м}$ ,  $n_{\text{ЖД}} = 72,7$  айн/мин). Тесттік есептеулер нәтижелері бойынша:

Қажетті қуат ЖГ –  $N_{\text{H}} = 10\text{ кВт}$ ;

Таралған айналу мезеті:

$$M_{\text{ЖД}} = 404,37\text{ кг*м}$$

ЖД қуаты:

$$N_{\text{ЖД}}^{\text{P}} = 1,027 * n_{\text{ЖД}} * M_{\text{ЖД}} = 1,027 * 51 * 404,37 = 213686\text{ Вт} = 21,369\text{ кВт};$$

ЖД-ның ЖГ-ға беретін қуаты:

$$N_{ЖГ} = \eta_{ЖГ} * \eta_{\tau} * N_{ЖД}^P = 0,85 * 0,94 * 21,654 = 17,088 \text{ кВт};$$

Қажетті айналу мезеті:

$$M_{ЖГ}^P = 974 \frac{N_H}{n_{ЖГ} * \eta_{ЖГ}} = 974 \frac{10}{500 * 0,85} = 11,46 \text{ кг * м};$$

ЖД-ның пайданы әрекет коэффициенті:

$$\eta_{ЖД} = 2,135 \frac{n_{ЖД} * M_{ЖД}}{d_{ЖД}^2 * V_{ж}^3} * 100\% = 2,135 \frac{51 * 142,7}{(13)^2 * (404,37)^3} * 100\% = 76,3\% .$$

Кесте 1.5.1. Тестілік есептеулердің нәтижелері

№		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	r <sub>i</sub> , m	0,2 55	0,4 25	0,8 50	1,2 75	1,7 00	2,12 5	2,55 0	2,94 6	3,40 0	3,6 12	3,8 24	4,0 37	4,2 49	4,4 20	4,6
2	b <sub>i</sub> , m	0,6 47	0,5 16	0,6 26	0,6 99	0,6 76	0,62 9	0,55 5	0,43 6	0,35 3	0,2 98	0,2 52	0,2 07	0,1 62	0,1 19	0
3	V <sub>r</sub> i,	1,9	3,2	6,5	9,7	13, 0	16,2	19,4	22,5	25,9	27, 5	29, 2	30, 8	32, 4	33, 7	35,0
4	W r <sub>i</sub>	7,2 6	7,7 1	9,5 4	11, 98	14, 73	17,6 5	20,6 6	23,5 2	26,8 4	28, 41	29, 98	31, 56	33, 14	34, 41	35,6 794
5	Δ S <sub>i</sub>	0	0,1 98	0,4 85	0,5 63	0,5 85	0,55 5	0,50 3	0,39 2	0,35 8	0,1 38	0,1 17	0,0 98	0,0 78	0,0 48	0,02 0
6	Y <sub>i</sub>	0	0,8 82	3,3 10	6,0 57	9,5 11	12,9 55	16,1 10	16,2 83	19,3 64	8,3 76	7,8 90	7,2 85	6,4 43	4,2 36	1,92 9
7	Q w <sub>i</sub>	0	0,0 18	0,0 69	0,1 26	0,1 98	0,27 0	0,33 6	0,33 9	0,40 3	0,1 74	0,1 64	0,1 52	0,1 34	0,0 88	0,04 0
8	R <sub>i</sub>	0	0,8 82	3,3 11	6,0 58	9,5 13	12,9 58	16,1 14	16,2 87	19,3 68	8,3 78	7,8 92	7,2 87	6,4 44	4,2 36	1,93 0
9	γ <sub>i</sub>	74, 5	65, 2	47, 2	35, 8	28, 4	23,4	19,8	17,3	15,1	14, 3	13, 5	12, 8	12, 2	11, 7	11,3
10	β <sub>i</sub>	16, 5	25, 8	43, 8	55, 2	62, 6	67,6	71,2	73,7	75,9	75, 9	75, 9	75, 9	75, 9	75, 9	75,9
11	φ <sub>i</sub>	16, 6	26, 0	43, 9	55, 4	62, 8	67,8	71,3	73,8	76,0	76, 9	77, 6	78, 3	78, 9	79, 4	79,8
12	P <sub>B</sub> r <sub>i</sub>	0	0,7 94	2,3 86	3,4 45	4,3 59	4,91 1	5,16 7	4,54 7	4,69 0	1,9 08	1,6 95	1,4 79	1,2 40	0,7 82	0,34 2
13	Q <sub>r</sub> i	0	0,0 08	0,0 47	0,1 02	0,1 74	0,24 8	0,31 6	0,32 4	0,38 9	0,1 69	0,1 60	0,1 48	0,1 31	0,0 86	0,03 9
14	P <sup>P</sup> в <sub>r<sub>i</sub></sub>	0	0,7 86	2,3 39	3,3 43	4,1 85	4,66 3	4,85 1	4,22 3	4,30 0	1,7 39	1,5 35	1,3 31	1,1 09	0,6 95	0,30 3
15	P <sup>П</sup> в <sub>p</sub>	$\square_{ep}^n = \sum_{\square=15}^{15} \square_{ep}^p = 37,744 \text{ кг}$														
16	P <sub>Ж</sub> д	$P_{ЖД} = 3 * \square_{ep}^n = 113,231 \text{ кг}$														

«1.5.1. кестенің соңы»

1 7	Q xi															1, 8 9	
		0	0,3 86	2,2 95	4,9 83	8,4 55	11, 992	15, 263	15, 639	18, 791	8,1 58	7,7 08	7,1 35	6,3 24	4,1 64	9	
1 8	Q <sup>л</sup> x	$Q_x^л = \sum_{i=1}^{15} Q_{xi}^л = 114,024 \text{ кг}$															
1 9	Q ЖД	$Q_{ЖД} = 3 * Q_x^л = 342,071 \text{ кг}$															
2 0	Δ M вр i																1, 8 9
		0	0,7 08	3,5 15	7,0 32	11, 319	15, 414	18, 852	18, 949	21, 321	9,1 42	8,5 32	7,8 00	6,7 95	4,4 30	0,98 2	
2 1	M <sup>л</sup> вр	13 4, 79	13 4,8	134 ,08	130 ,57	123 ,54	112 ,22	96, 80	77, 95	59, 00	37, 68	28, 54	20, 01	12, 21	5,4 1	0,98	
2 2	M ЖД	$M_{ЖД} = 3 * M_{вр}^л = 404,37 \text{ кг*м}$															
2 3	Δ M zi																6,2
		0	0,4	3,5	10, 6	23, 1	40, 0	59, 8	70, 6	93, 7	43, 1	43, 1	42, 0	38, 9	26, 6	6,2	
2 4	M <sup>л</sup> zi *	50 1, 7	50 1,7	501 ,3	497 ,8	487 ,1	464 ,0	424 ,0	364 ,3	293 ,6	200 ,0	15 6,8	11 3,8	71, 8	32, 8	6,2	

\* - максималдық иілу мезеті №1 қиындысына сәйкес, яғни қалақ түбінде.

\*\* - 9 қиындыдан, қалақты орнату бұрышы тұрақты болады яғни βi = 75,9° = const [29].

*ЖД қалақтарының беріктігін есептеу.*

Қалақтың ендік жиынтығының қажетті ауданын анықтаймыз. Қалақ құрылымы мата мен каркастан құралады. Өз кезегінде қалақ каркасы келесілерден тұрады: қалақтың бойлық-лонжеронынан және **ендік-нервюралардан**. Нервюралар арасындағы кеңістік пенопласттармен нығыздалып, қалақтың аэродинамикалық пішінін сақтауға септігін тигізеді.

Иілу мезеті қалақтың лонжерондарымен қабылданады:

$$M_{x\max} - \text{иілу мезеті} = 400 \text{ кг* м} = 4000000 \text{ Н * мм}$$

Максималдық иілу мезетінің мәнін анықтағаннан кейін (M<sub>xmax</sub>), ЖҚ диаметрінің сыртқы диаметрінің құбырлар қалыңдығы анықталады.

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{x\max}}{W_x} \leq [\sigma] W_x = \frac{M_{x\max}}{\sigma_{\max}} = \frac{4000000}{420} = 9523.8 \text{ мм}^3$$



[ $\sigma$ ]- ЖЭҚ мачтасының құбырының материалы үшін ықтимал кернеу. МЖСТ 1577 бойынша таңдалады- $93 \sigma = 420 \text{ Н/мм}^2$ .

$W_x$ - құбыр қиындысының қарсылық мезеті.

$\delta_T$  – құбыр қабырғасының қалыңдығы;

$d_T$  – құбыр диаметрі

$W_x$  белгілі болса және құбыр үшін  $W_x = \frac{\pi d^2 \cdot \delta}{4}$ , құбыр қабырғасының қалыңдығын белгілей отырып, диаметр анықталады  $d_T = \sqrt{\frac{4W_x}{\pi \cdot \delta_T}}$ :

Немесе МЖСТ бойынша құбыр диаметрін ала отырып, қабырғаның қажетті қалыңдығы анықталады  $\delta_T = \frac{4 \cdot W}{\pi \cdot d_T^2}$ ;

Құбырға диаметрі ОСТ 190038-88 бойынша таңдалады  $d_T=70\text{мм}$ .

$$\delta_T = \frac{4 \cdot W}{\pi \cdot d_T^2};$$

$$\delta_T = \frac{4W_x}{\pi d^2 \sigma} = \frac{4 \cdot 9523.8}{3.14 \cdot 70^2} = 2.47 \text{ мм}$$

Қабырға қалыңдығы ОСТ 190038-88 бойынша таңдалады.  $\delta_T = 3\text{мм}$

$$W_x^\phi = \frac{\pi d^2 \delta}{4} = \frac{3.14 \cdot 70^2 \cdot 3}{4} = 11539.5 \text{ мм}^3$$

$$\sigma_{кр} = \frac{M_{max}}{W_x^\phi} = \frac{4000000}{11539.5} = 346.64 \text{ Н/мм}^2;$$

$$\sigma_{max} < \sigma_{доп}$$

Құбыр ЖД қалағының беріктілігін қамтамасыз етеді [30].

## 2 ЖЭҚ ҮШІН МАЧТАЛАРДЫ ЖОБАЛАУ

Жел энергетикалық қондырғысын жобалағанда әр түрлі бөлшектер қажет болады. Соның ішіндегі жел генераторының ең ерекше бөлігі болып оның мачтасы болып есептелінеді. Себебі, жел энергетикалық қондырғысының бөліктерінің негізгі бөлшектері осы мачтаның жоғарысында орнатылады. Сондықтан да жел генераторының мачтасын жасауда өте мұқият болу керек. Жел генераторлары кемінде 3-4 метр биіктікте орнатылады және оның салмағы едәуір үлкен болып келгендіктен жел генераторының мачтасы сенімді, берік және қатты дауылды жел соққанда майысып кетпеуі керек. Жел генераторларының мачтасын әртүрлі етіп жасайды. Мысалы, дайын темір құбырмен, темірлерді бір бірімен дәнекерлеп анкерлі етіп жасауға болады. Жел генераторларының мачталарын жерге іргетас құйып, оны болттармен бекітіп жан-жағынан тростар арқылы тартып орнатады. Сондықтан жел генераторының мачталарын жасағанда қаттылығы өте жоғары материалдарды пайдаланымыз керек [31].

Бұл тарауда біз жел генераторларының мачталарын таңдау, есептеу, оңтайландыру және жобалау жұмыстарын қарастырамыз.

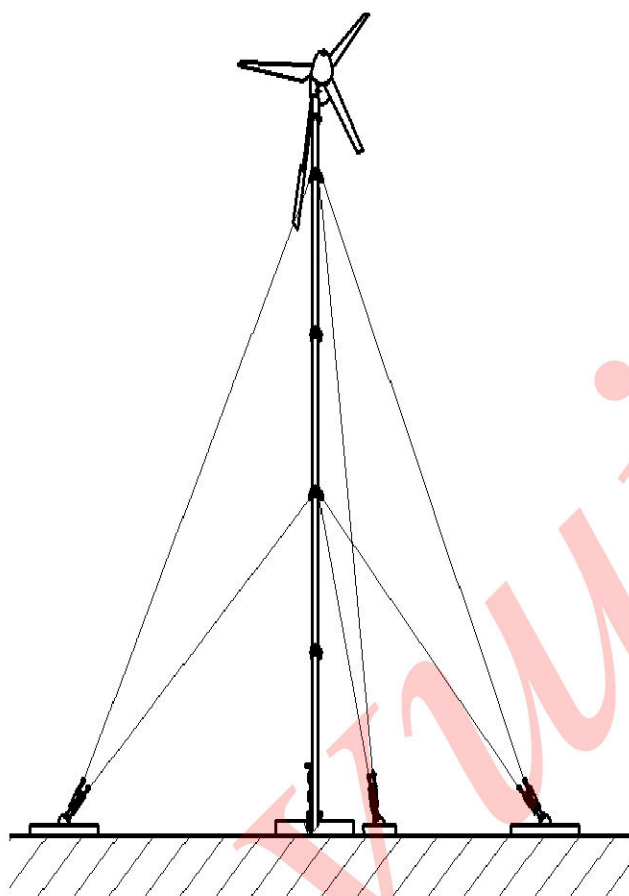
### 2.1 Жел энергетикалық құрылғы (ЖЭҚ) үшін керілген тростары бар мачталарды есептеу әдістемесі

Жел энергетикасы қайта жаңаратын қуатты дамытудың болашағы бар тиімді бағыттарының бірі болып табылады.

Жел қуатын пайдалану алшақтағы объектілер мен қаланың сыртындағы үйлерді электрмен қамтамасыз ету мәселесін шешуге септігін тигізеді [32].

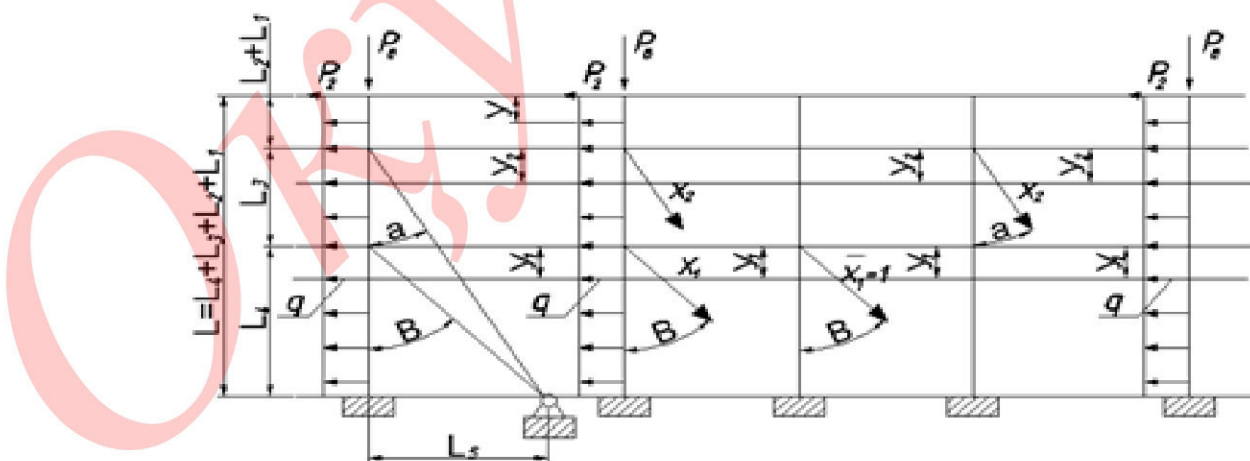
Бастапқы деректер.

1. ЖЭҚ қарсы тұру күші -  $P_T$
2. ЖЭҚ салмағы -  $m_B$
3. Желдің есептік жылдамдығы -  $V_{ж}^P$
4. Есептік желдік сызықтық жүктеме -  $q$
5. Мачта биіктігі -  $L$
6. Мачта құбырының диаметрі -  $d_m$
7. Тростарды бекіту қашықтығы -  $L_1, L_2, L_3, L_4,$
8. Мачта осінен керілген тростарды бекіту қашықтығы -  $L_5$



Сурет 2.1.1 (ЖЭҚ) құрылғы үшін мачтаның жалпы сызбасы

*Тростарды екі рет бекіту бойлары бар ЖЭҚ-тың сызбасын есептеу.*



Сурет 2.1.2    Сурет 2.1.3    Сурет 2.1.4    Сурет 2.1.5    Сурет 2.1.6

Сурет 2.1.2 – белгіленген жүйе (ЖЭҚ)

Сурет 2.1.3 – Негізгі жүйе (ЖЭҚ)

Сурет 2.1.4 – Жүйе күштен  $\bar{X}_1$

Сурет 2.1.5 – Жүйе  $\bar{X}_2$  күшінен

Сурет 2.1.6 – Жүйе сыртқы күштерден

Сурет 2.1.3 үшін канондық теңдікті құрайық

$$\begin{aligned} \delta_{11}X_1 + \delta_{12}X_2 + \Delta_{1p} &= 0 \\ \delta_{21}X_1 + \delta_{22}X_2 + \Delta_{2p} &= 0 \end{aligned} \quad (2.1.1)$$

формула (2.1.1) екі рет анықталмайтын теңдік .

$$\sin\beta = \frac{L_5}{\sqrt{L_4^2 + L_5^2}} \sin\alpha = \frac{L_5}{\sqrt{(L_4 + L_3)^2 + L_5^2}}$$

Сурет 2.1.4, сурет 2.1.5, сурет 2.1.6 үшін иілген мезеттердің теңдіктерін құрамыз

Жүйе  $\bar{X}_1$  күшінен

$$\begin{aligned} &0 \leq Y_1 \leq L_4 \\ \bar{M}_1^{\bar{X}_1} &= -\bar{X}_1 Y_1 \sin\beta; \bar{M}_2^{\bar{X}_1} = 0 \end{aligned}$$

Жүйе күштен  $\bar{X}_2$

$$\begin{aligned} &0 \leq Y_2 \leq L_3 \\ \bar{M}_2^{\bar{X}_2} &= -\bar{X}_2 Y_2 \sin\alpha; \bar{M}_1^{\bar{X}_2} = -\bar{X}_2 Y_1 (L_3 + L_1) \sin\alpha \end{aligned}$$

Жүйе сыртқы күштерден

$$\begin{aligned} &0 \leq Y_1 \leq L_4 \\ M_1^P &= P_r(L_3 + L_2 + L_1 + Y_1) + q \frac{(L_3 + L_2 + L_1 + Y_1)^2}{2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &0 \leq Y_2 \leq L_3 \\ M_2^P &= P_r(L_2 + L_1 + Y_2) + q \frac{(L_2 + L_1 + Y_2)^2}{2} \end{aligned}$$

$$\delta_{11} = \frac{1}{EI_x} \int_0^{L_4} \bar{M}_1^{\bar{X}_1} \bar{M}_1^{\bar{X}_1} dy_1 = \frac{1}{EI_x} \int_0^{L_4} (-Y_1 \sin\beta)^2 dy_1$$

$$\delta_{22} = \frac{1}{EI_x} \left( \int_0^{L_4} \bar{M}_1^{\bar{X}_2} \bar{M}_1^{\bar{X}_2} dy_1 + \int_0^{L_3} \bar{M}_2^{\bar{X}_2} \bar{M}_2^{\bar{X}_2} dy_2 \right)$$

$$\delta_{12} = \frac{1}{EI_x} \int_0^{L_4} \bar{M}_1^{\bar{X}_1} \bar{M}_1^{\bar{X}_2} dy_1$$

$$\Delta_{1p} = \frac{1}{EI_x} \int_0^{L_4} M_1^P \bar{M}_1^{\bar{X}_1} dy_1$$



$$\Delta_{2p} = \frac{1}{EI_x} \left[ \int_0^{L_4} M_1^p \bar{M}_1^{\bar{x}_2} dy_1 + \int_0^{L_3} M_2^p \bar{M}_2^{\bar{x}_2} dy_2 \right]$$

$$X_1 = \frac{-\Delta_{2p} \delta_{12} - (-\Delta_{1p}) \delta_{22}}{\delta_{11} \delta_{22} - \delta_{12} \delta_{21}} \quad (2.1.2)$$

$$X_2 = \frac{-\Delta_{1p} \delta_{21} - (-\Delta_{2p}) \delta_{11}}{\delta_{11} \delta_{22} - \delta_{12} \delta_{21}} \quad (2.1.3)$$

формула (2.1.2) мен (2.1.3) тростарға әсер ететін күштер [33].

трос кернеуінің  $X_1$  күші арқылы оның қиындысының ауданын анықтауға болады.

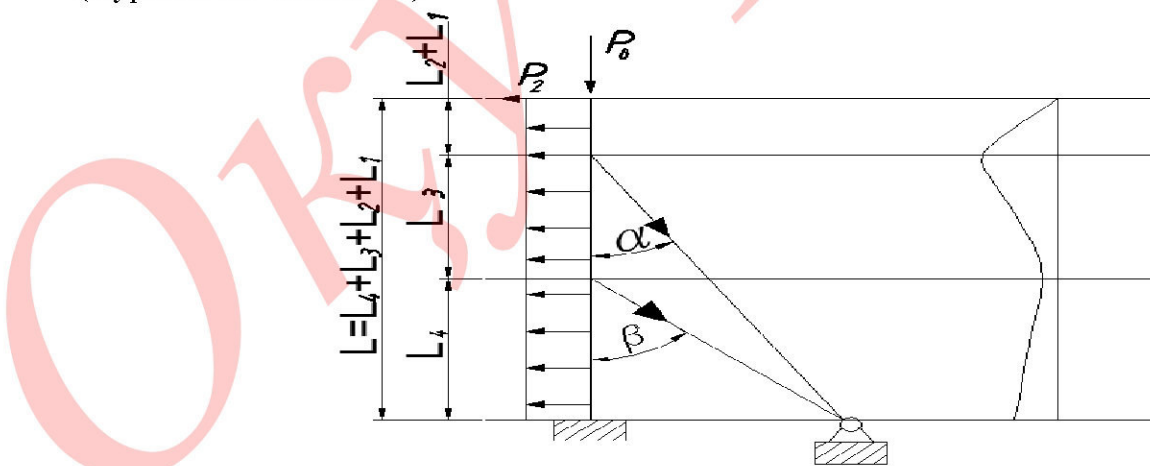
$$F_{1ки} = \frac{X_1}{[\sigma]}$$

$[\sigma]$ -трос материалы үшін ықтимал кернеу.

Трос кернеуінің  $X_2$  - күші арқылы қиындының ауданын анықтауға болады.

$$F_{2ки} = \frac{X_2}{[\sigma]}$$

ЖЭҚ мачтасының алдыңғы қиындысын анықтау үшін иілгіш мезеттердің теңдігін құрып, олардың эюраларын 1 м биіктік аралығымен құрауға болады. (Сурет 2.1.7 мен 2.1.8)



Сурет 2.1.7. Сурет 2.1.8. М иілгіш мезеттерінің эюралары

$$0 \leq y_1 \leq L_2 + L_1 M_{x_1} = P_r y_1 + q \frac{y_2^2}{2}$$

Кесте 2.1.1.

$Y_1$	$M_{x_1}$
0	0
1м	
2м	

$$0 \leq Y_2 \leq L_3 \quad M_{x_2} = P_r(L_1 + L_2 + Y_2) + q \frac{(Y_2 + L_1 + L_2)^2}{2} - X_2 Y_2 \sin \alpha$$

Кесте 2.1.2.

$Y_2$	$M_{x_2}$
0	0
1м	
2м	
3м	
...	
$L_3$	

$$0 \leq Y_3 \leq L_4 \quad M_{x_3} = P_r(L_1 + L_2 + L_3 + Y_3) + q \frac{(Y_3 + L_1 + L_2 + L_3)^2}{2} - X_2(L_3 + Y_3) \sin \alpha - X_1 Y_3 \sin \beta$$

Кесте 2.1.3.

$Y_3$	$M_{x_3}$
0	0
1м	
2м	
3м	
...	
$L_4$	

Кесте 2.1.1., 2.1.2., 2.1.3. кестелері бойынша иілгіштік мезетінің максималдық мәнін анықтауға болады ( $M_{max}$ )

$$\sigma_{max} = \frac{M_{x_{max}}}{W_x} \leq [\sigma] W_x = \frac{M_{x_{max}}}{\sigma_{max}}$$

$W_x$  мәні белгілі және құбыр үшін  $W_x = \frac{\pi d^2 \delta}{4}$  болса, құбыр қабырғасының қалыңдығы белгіленген жағдайда, оның диаметрін анықтауға болады

$$d_T = \sqrt{\frac{4W_x}{\pi \cdot \delta_T}}$$

Немесе құбыр диаметрін МЖСТ бойынша белгілесек, қабырғаның қажетті қалыңдығын анықтаймыз  $\delta_T = \frac{4 \cdot W}{\pi \cdot d_T^2}$ ;

$$\sigma_{max} = \frac{N_{СК}}{F} + \frac{M_{max}}{W_x} < \sigma_B;$$

$$N_{\text{СК}} = P_B + m_M$$

$m_M$  – мачтаның жалпы салмағы  
МК-4 салмағын анықтау.

МК-4 салмағы мынаған тең:

$$m_M = m_{\text{ЖТ}} + m_{\text{ТТ}} + m_{\text{құбыр}} + m_{\text{берік}}$$

$m_{\text{ТТ}}$  – төменгі трос салмағы;  $m_{\text{ЖТ}}$  – жоғарғы трос салмағы;

$m_{\text{құбыр}}$  – құбыр салмағы;

$m_{\text{берік}}$  – құрылғының басқа да бөлшектерінің салмағы;

$$l_{\text{HT}} = 3 \cdot L_{\text{AE}} + 3$$

$$l_{\text{BT}} = 3 \cdot L_{\text{AD}} + 3$$

МК-4 жалпы салмағы:

$$m_{\text{құр}} = m_{\text{трос1}} + m_{\text{трос2}} + m_{\text{құбыр}} + m_{\text{берік}}$$

$$F = \frac{\pi \cdot d_T^2}{4} \cdot (1 - c^2) \quad (2.1.4)$$

$$c^2 = \frac{d_0}{d_T} \quad (2.1.5)$$

$d_0$  – құбырдың ішкі диаметрі =  $d - 2\delta_T$

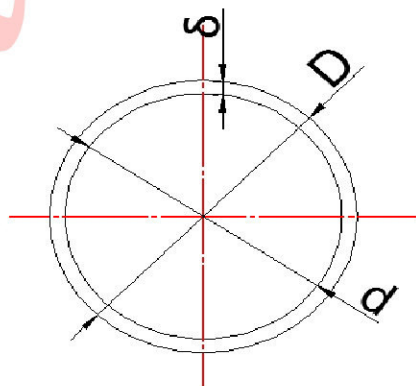
формула (4) пен (5) [34].

$[\sigma]$ - ЖЭЖ мачтасының құбыр материалы үшін ықтимал кернеу.

$W_x$ - құбыр қиындысының қарсылық мезеті.

$\delta_T$  – құбыр қабырғасының қалыңдығы;

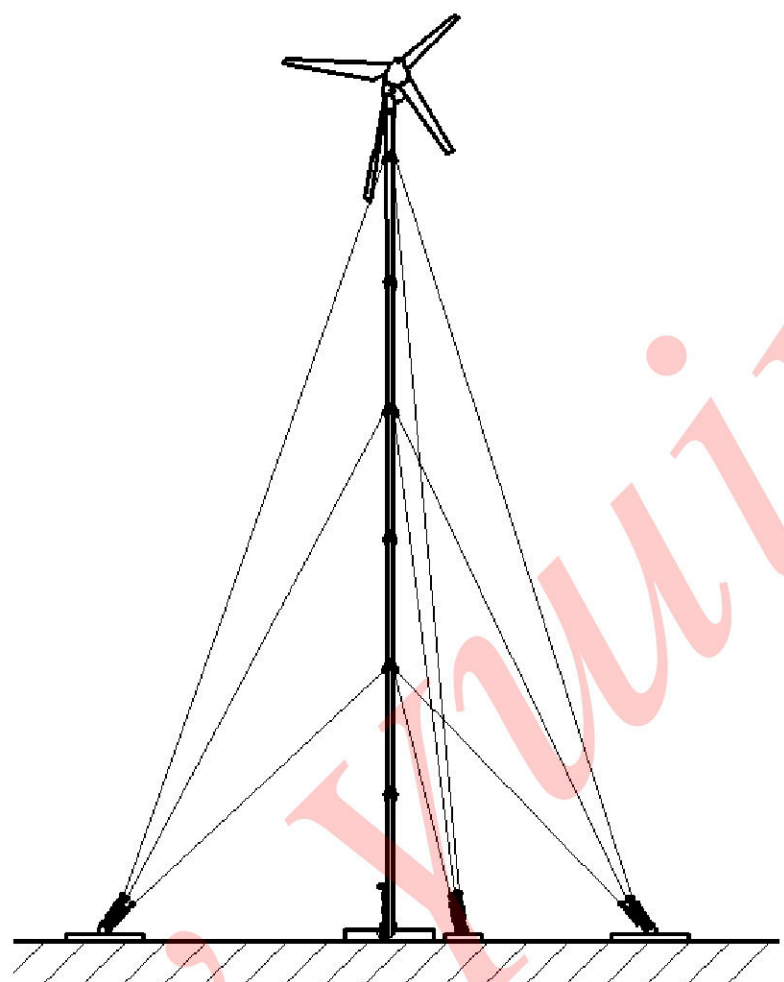
$d_T$  – құбыр диаметрі белгіленеді;



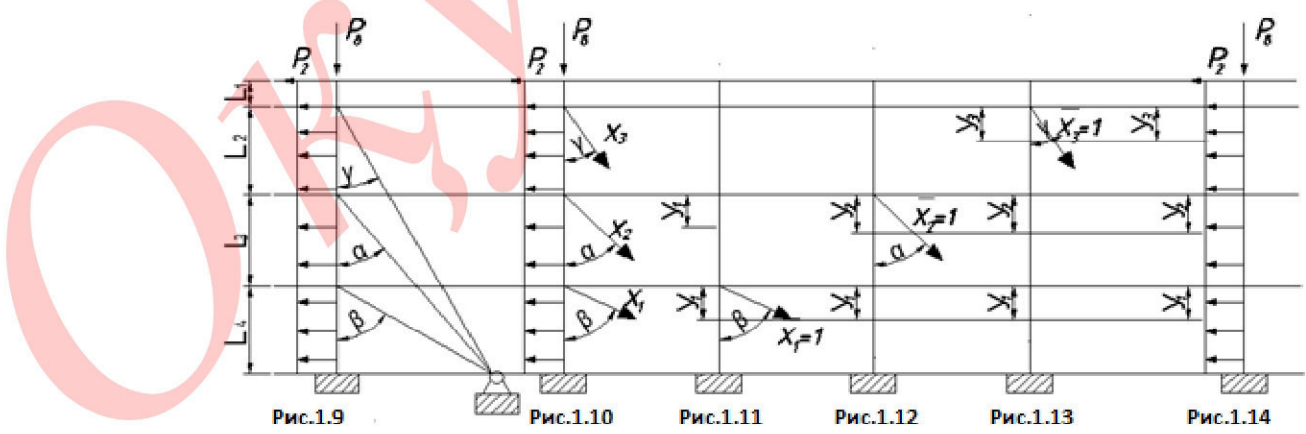
$$W_x = \frac{\pi d^2 \delta}{4} \delta_T = \frac{4 \cdot W}{\pi \cdot d_T^2 \cdot \sigma};$$

Сурет 2.1.9. Құбыр диаметрінің сызбасы

2.2 Бекітілген тростары бар ЖЭҚ-тың сызбасын есептеу



Сурет 2.2.1. Тростарды бекіткен үш қатары бар мачтаның жалпы сызбасы.



Сурет 2.2.2 Сурет 2.2.3 Сурет 2.2.4 Сурет 2.2.5 Сурет 2.2.6 Сурет 2.2.7

- Сурет 2.2.2 – белгіленген жүйе (ЖЭҚ)
- Сурет 2.2.3 – Негізгі жүйе (ЖЭҚ)
- Сурет 2.2.4 – Жүйе  $\bar{X}_1$  күштен
- Сурет 2.2.5 – Жүйе  $\bar{X}_2$  күштен



Сурет 2.2.6 – Жүйе  $\bar{X}_3$  күштен

Сурет 2.2.7 – сыртқы күштен жүйе

Сурет 2.2.2 және сурет 2.2.3 үшін канондық теңдік құраймыз.

$$\delta_{11}X_1 + \delta_{12}X_2 + \delta_{13}X_3 + \Delta_{1p} = 0$$

$$\delta_{21}X_1 + \delta_{22}X_2 + \delta_{23}X_3 + \Delta_{2p} = 0$$

$$\delta_{31}X_1 + \delta_{32}X_2 + \delta_{33}X_3 + \Delta_{3p} = 0$$

Сурет 2.2.4, сурет 2.2.5, сурет 2.2.6 және сурет 2.2.7 әр қайсысы үшін иілгіштік мезетінің теңдігі сызбасын құрастырамыз.

Сурет 2.2.4 үшін

$$0 \leq Y_1 \leq L_4$$

$$\bar{M}_1^{\bar{X}_1} = -\bar{X}_1 Y_1 \sin \beta = -Y_1 \sin \beta \sin \beta = \frac{L_5}{\sqrt{L_4^2 + L_5^2}}$$

Сурет 2.2.5 үшін

$$0 \leq Y_1 \leq L_4$$

$$\bar{M}_1^{\bar{X}_2} = -\bar{X}_2 (L_3 + Y_1) \sin \alpha = -(L_3 + Y_1) \sin \alpha$$

$$0 \leq Y_2 \leq L_3$$

$$\bar{M}_2^{\bar{X}_2} = -\bar{X}_2 Y_2 \sin \alpha = -Y_2 \sin \alpha$$

$$\sin \alpha = \frac{L_5}{\sqrt{(L_4 + L_3)^2 + L_5^2}}$$

Сурет 2.2.6 үшін

$$0 \leq Y_1 \leq L_4$$

$$\bar{M}_1^{\bar{X}_3} = -\bar{X}_3 (L_2 + L_3 + Y_1) \sin \gamma = -(L_2 + L_3 + Y_1) \sin \gamma$$

$$0 \leq Y_2 \leq L_3$$

$$\bar{M}_2^{\bar{X}_3} = -\bar{X}_3 (L_2 + Y_2) \sin \gamma = -(L_2 + Y_2) \sin \gamma$$

$$0 \leq Y_3 \leq L_2$$

$$\bar{M}_2^{\bar{X}_3} = -\bar{X}_3 Y_3 \sin \gamma$$

$$\sin \gamma = \frac{L_5}{\sqrt{(L_4 + L_3 + L_2)^2 + L_5^2}}$$

Сурет 2.2.7 әр бөлік үшін сыртқы күштерден иілгіштік мезетінің теңдеуін құраймыз.

$$0 \leq Y_1 \leq L_4$$

$$M_1^P = P_r (L_1 + L_2 + Y_2) + q \frac{(Y_1 + L_1 + L_2 + L_3)^2}{2}$$

$$0 \leq Y_2 \leq L_3$$

$$M_2^P = P_r(L_1 + L_2 + Y_2) + q \frac{(Y_2 + L_1 + L_2)^2}{2}$$

$$0 \leq Y_3 \leq L_2$$

$$M_2^P = P_r(L_1 + Y_3) + q \frac{(Y_3 + L_1)^2}{2}$$

Канондық теңдеуге кіретін барлық құрамдардың ауысуы статистикалық анықталатын жүйеде қалады.

$\Delta_{1p}$ ,  $\Delta_{2p}$  және т.б. ауысулар белгіленген күштерден ауысу деп аталса,  $\delta_{11}$ ,  $\delta_{22}$ ,  $\delta_{33}$  және т.б. бірліктік ауысулар басты ауысу, ал  $\delta_{11}$ ,  $\delta_{22}$ ,  $\delta_{33}$  бірлік ауысу Малевалдың ауысулардың өзара ықпалы теориясының негізінде ауытқушылық ауысулар деп аталады.

$$\delta_{12} = \delta_{21} \quad \delta_{13} = \delta_{31} \quad \delta_{23} = \delta_{32}$$

**Дудам 3** ауысу мәндері Мор әдісімен анықталады [35].

$$\delta_{11} = \frac{1}{EI_x} \int_0^{L_4} M_1^{\bar{x}_1} M_1^{\bar{x}_1} dy_1 = \frac{1}{EI_x} \int_0^{L_4} (-Y_1 \sin \beta)(-Y_1 \sin \beta) dy_1$$

$$\delta_{22} = \frac{1}{EI_x} \left( \int_0^{L_4} M_1^{\bar{x}_2} M_1^{\bar{x}_2} dy_1 + \int_0^{L_3} M_2^{\bar{x}_2} M_2^{\bar{x}_2} dy_2 \right)$$

$$\delta_{33} = \frac{1}{EI_x} \left( \int_0^{L_4} M_1^{\bar{x}_3} M_1^{\bar{x}_3} dy_1 + \int_0^{L_3} M_2^{\bar{x}_2} M_2^{\bar{x}_2} dy_2 + \int_0^{L_2} M_3^{\bar{x}_3} M_3^{\bar{x}_3} dy_3 \right)$$

$$\delta_{12} = \delta_{21} = \frac{1}{EI_x} \int_0^{L_4} M_1^{\bar{x}_1} M_1^{\bar{x}_2} dy_1$$

$$\delta_{13} = \delta_{31} = \frac{1}{EI_x} \int_0^{L_4} M_1^{\bar{x}_1} M_1^{\bar{x}_3} dy_1$$

$$\delta_{23} = \delta_{32} = \frac{1}{EI_x} \left( \int_0^{L_4} M_1^{\bar{x}_2} M_1^{\bar{x}_3} dy_1 + \int_0^{L_3} M_2^{\bar{x}_2} M_2^{\bar{x}_3} dy_2 \right)$$

$$\Delta_{1p} = \frac{1}{EI_x} \int_0^{L_4} M_1^{\bar{x}_1} M_1^p dy_1$$

$$\Delta_{2p} = \frac{1}{EI_x} \left[ \int_0^{L_4} M_1^{\bar{x}_2} M_1^p dy_1 + \int_0^{L_3} M_2^{\bar{x}_2} M_2^p dy_2 \right]$$

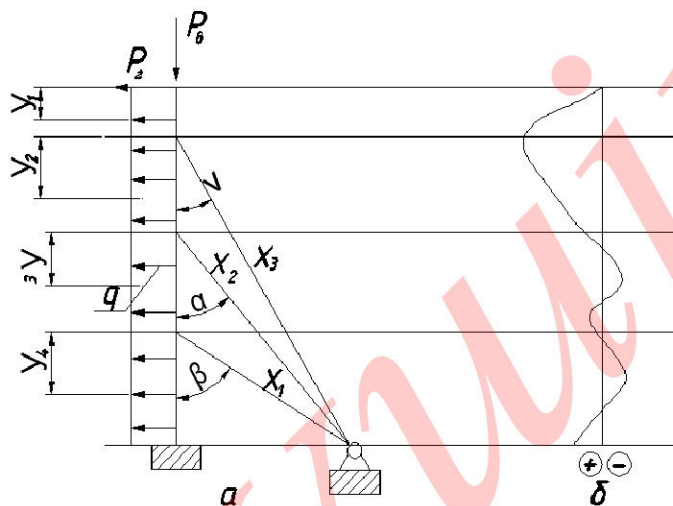
$$\Delta_{3p} = \frac{1}{EI_x} \left[ \int_0^{L_4} M_1^{\bar{x}_3} M_1^p dy_1 + \int_0^{L_3} M_2^{\bar{x}_2} M_2^p dy_2 + \int_0^{L_2} M_3^{\bar{x}_3} M_3^p dy_3 \right]$$

Алынған мәндер канондық теңдікке қойылады. Матрицалық амал арқылы  $X_1$ ;  $X_2$ ;  $X_3$  мәндері үшін анықталады. Тростардың ендік қиындысы анықталады.

$$F_{1ки} = \frac{X_1}{[\sigma]} F_{2ки} = \frac{X_2}{[\sigma]} F_{3ки} = \frac{X_3}{[\sigma]}$$

Мачта тіреуішінің ендік қиындысын анықтау.

ЖЭҚ мачтасы тіреуішінің ендік қиындысын түрлі биіктіктерде анықтау үшін иілгіштік мезеттерінің теңдіктерін құрып және биіктік бойынша 1 м қадаммен олардың эпюраларын құру керек. (Сурет 2.2.8 бен 2.2.9) [36].



Сурет 2.2.8. Сурет 2.2.9. М иілгіштік мезетінің эпюралары

$$0 \leq Y_1 \leq L_1 M_{x_1} = P_r Y_1 + q \frac{Y_1^2}{2}$$

Кесте 2.2.1.

$Y_1$	$M_{x_1}$
0	0
1м	
2м	
3м	
...	
$L_1$	

$$0 \leq Y_2 \leq L_2 M_{x_2} = P_r (L_1 + Y_2) + q \frac{(Y_2 + L_1)^2}{2} - X_3 Y_2 \sin \gamma$$

Кесте 2.2.2.

$Y_2$	$M_{x_2}$
0	0
1м	
2м	
3м	
...	
$L_2$	

$$0 \leq Y_3 \leq L_3 \quad M_{x_3} = P_r(L_1 + L_2 + Y_3) + q \frac{(Y_3 + L_1 + L_2)^2}{2} - X_2 Y_3 \sin \alpha - X_3(L_2 + Y_3) \sin \gamma$$

Кесте 2.2.3.

$Y_3$	$M_{x_3}$
0	0
1м	
2м	
3м	
...	
$L_3$	

$$0 \leq Y_4 \leq L_4$$

$$M_{x_3} = P_r(L_1 + L_2 + L_3 + Y_4) + q \frac{(Y_4 + L_1 + L_2 + L_3)^2}{2} - X_3(L_2 + L_3 + Y_4) \sin \gamma - X_2(L_3 + Y_4) \sin \alpha - X_1 Y_4 \sin \beta$$

Кесте 2.2.4.

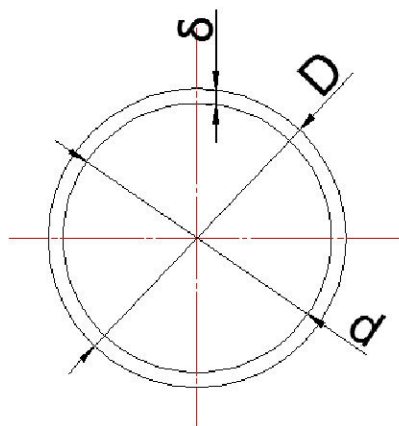
$Y_4$	$M_{x_4}$
0	0
1м	
2м	
3м	
...	
$L_4$	

Кесте 2.2.1., 2.2.2., 2.2.3., 2.2.4 кестелері бойынша максималдық иілгіштік мезетінің мәнін анықтауға болады ( $M_{\max}$ ) [37]

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{x_{\max}}}{W_x} \leq [\sigma] W_x = \frac{M_{x_{\max}}}{[\sigma]}$$

- $[\sigma]$  - ЖЭҚ мачтасының құбырының материалы үшін ықтимал кернеу.
- $W_x$  - құбыр қиындысының қарсылық мезеті.
- $\delta_T$  - құбыр қабырғасының қалыңдығы;
- $d_T$  - құбыр диаметрі;





$$W_x = \frac{\pi d^2 \delta}{4} \delta_T = \frac{4 \cdot W}{\pi \cdot d_T^2 \cdot \sigma};$$

Сурет 2.2.10. Құбыр диаметрінің сызбасы

*Есептеу мысалы.*

*Бастапқы мәліметтер.*

1. ЖЭҚ қарсылығы -  $P_T = 500 \text{ кг}$
2. ЖЭҚ салмағы -  $m_B = 120 \text{ кг}$ ;  $P_B = n_y \cdot m_B = 3 \cdot 120 = 360 \text{ кг}$ .
3. Желдің есептік жылдамдығы -  $V_B^P = 50 \text{ м/с}$
4. Мачта биіктігі -  $L = 38 \text{ м}$
5. Тростарды бекіту биіктігі -  $L_1 = 2 \text{ м}$ ;  $L_2 = 12 \text{ м}$ ;  $L_3 = 12 \text{ м}$   $L_4 = 12 \text{ м}$
6. Мачта осінен керілген тростардың бекітілу қашықтығы -  $L_5 = 15 \text{ м}$

Сурет 2.2.3 үшін канондық теңдікті құрамыз [38].

$$\delta_{11}X_1 + \delta_{12}X_2 + \delta_{13}X_3 + \Delta_{1p} = 0$$

$$\delta_{21}X_1 + \delta_{22}X_2 + \delta_{23}X_3 + \Delta_{2p} = 0$$

$$\delta_{31}X_1 + \delta_{32}X_2 + \delta_{33}X_3 + \Delta_{3p} = 0$$

Сурет 2.2.4, сурет 2.2.5, сурет 2.2.6 және сурет 2.2.7 үшін әр сызбаға иілгіштілік мезетінің теңдігін құрамыз.

Жүйе  $\bar{X}_1$  күштен (сурет 2.2.4)

$$0 \leq Y_1 \leq L_4$$

$$\bar{M}_1^{\bar{X}_1} = -\bar{X}_1 Y_1 \sin \beta = -Y_1 \sin \beta = -Y_1 \cdot 0,78$$

$$\sin \beta = \frac{L_5}{\sqrt{L_4^2 + L_5^2}} = 0,78 \quad \beta = 36,87^\circ$$

Жүйе  $\bar{X}_2$  күштен (сурет 2.2.5)

$$0 \leq Y_1 \leq L_4$$

$$\bar{M}_1^{\bar{X}_2} = -\bar{X}_2 (L_3 + Y_1) \sin \alpha = -(L_3 + Y_1) \sin \alpha =$$

$$-(12 + Y_1) \cdot 0,53$$

$$0 \leq Y_2 \leq L_3$$

$$\bar{M}_2^{\bar{X}_2} = -\bar{X}_2 Y_2 \sin \alpha = -Y_2 \sin \alpha = -Y_2 \cdot 0,53$$

$$\sin\alpha = \frac{L_5}{\sqrt{(L_4 + L_3)^2 + L_5^2}} = 0,53\alpha = 22.95^\circ$$

Жүйе  $\bar{X}_3$  күштен (сурет 2.2.6)

$$\begin{aligned} & 0 \leq Y_1 \leq L_4 \\ \bar{M}_1^{\bar{X}_3} &= -\bar{X}_3(L_2 + L_3 + Y_1)\sin\gamma = \\ & -(24 + Y_1)0,38 \\ & 0 \leq Y_2 \leq L_3 \\ \bar{M}_2^{\bar{X}_3} &= -\bar{X}_3(L_2 + Y_2)\sin\gamma = -(12 + Y_2)0,38 \\ & 0 \leq Y_3 \leq L_2 \\ \bar{M}_3^{\bar{X}_3} &= -\bar{X}_3 Y_3 \sin\gamma = -Y_3 0,38 \\ \sin\gamma &= \frac{L_5}{\sqrt{(L_4 + L_3 + L_2)^2 + L_5^2}} = 0,38 \quad \gamma = 18.663^\circ \end{aligned}$$

Сыртқы күштерден әр бөлік үшін иілгіштік мезетінің теңдігін құраймыз (сурет 2.2.7)

$$\begin{aligned} & 0 \leq Y_1 \leq L_4 \\ M_1^P &= P_r(L_1 + L_2 + Y_2) + q \frac{(Y_1 + L_1 + L_2 + L_3)^2}{2} \\ & 0 \leq Y_2 \leq L_3 \\ M_2^P &= P_r(L_1 + L_2 + Y_2) + q \frac{(Y_2 + L_1 + L_2)^2}{2} \\ & 0 \leq Y_3 \leq L_2 \\ M_3^P &= P_r(L_1 + Y_3) + q \frac{(Y_3 + L_1)^2}{2} \end{aligned}$$

Канондық теңдікке кіретін барлық ауысулар статистикалық жүйемен анықталады.

$\Delta_{1p}$ ,  $\Delta_{2p}$  мен т.б. ауысулар белгіленген күштерден ауысулар деп аталса,  $\delta_{11}$ ,  $\delta_{22}$ ,  $\delta_{33}$  және т.б. басты ауысулар, ал бірлік ауысулар  $\delta_{11}$ ,  $\delta_{22}$ ,  $\delta_{33}$  Малевал ауысуларына байланысты теорема негізінде ауытқушылық ауысулар деп аталады.

$$\delta_{12} = \delta_{21} \quad \delta_{13} = \delta_{31} \quad \delta_{23} = \delta_{32}$$

Мор әдісі арқылы **дудам** ауысуларының мәні анықталады [39].

$$\delta_{11} = \frac{1}{EI_x} \int_0^{L_4} M_1^{\bar{X}_1} M_1^{\bar{X}_1} dy_1 = \frac{1}{EI_x} \int_0^{L_4} (-Y_1 \sin\beta)(-Y_1 \sin\beta) dy_1 = 351,5$$

$$\delta_{22} = \frac{1}{EI_x} \left( \int_0^{L_4} M_1^{\bar{X}_2} M_1^{\bar{X}_2} dy_1 + \int_0^{L_3} M_2^{\bar{X}_2} M_2^{\bar{X}_2} dy_2 \right) = 1437,4$$

$$\delta_{33} = \frac{1}{EI_x} \left( \int_0^{L_4} M_1^{\bar{x}_3} M_1^{\bar{x}_3} dy_1 + \int_0^{L_3} M_2^{\bar{x}_2} M_2^{\bar{x}_2} dy_2 + \int_0^{L_2} M_3^{\bar{x}_3} M_3^{\bar{x}_3} dy_3 \right) = 275,5$$

$$\delta_{12} = \delta_{21} = \frac{1}{EI_x} \int_0^{L_4} M_1^{\bar{x}_1} M_1^{\bar{x}_2} dy_1 = 595,7$$

$$\delta_{13} = \delta_{31} = \frac{1}{EI_x} \int_0^{L_4} M_1^{\bar{x}_1} M_1^{\bar{x}_3} dy_1 = 691,7$$

$$\delta_{23} = \delta_{32} = \frac{1}{EI_x} \left( \int_0^{L_4} M_1^{\bar{x}_2} M_1^{\bar{x}_3} dy_1 + \int_0^{L_3} M_2^{\bar{x}_2} M_2^{\bar{x}_3} dy_2 \right) = 1754,9$$

$$\Delta_{1p} = \frac{1}{EI_x} \int_0^{L_4} M_1^{\bar{x}_1} M_1^p dy_1 = 13856,6$$

$$\Delta_{2p} = \frac{1}{EI_x} \left[ \int_0^{L_4} M_1^{\bar{x}_2} M_1^p dy_1 + \int_0^{L_3} M_2^{\bar{x}_2} M_2^p dy_2 \right] = 36795,2$$

$$\Delta_{3p} = \frac{1}{EI_x} \left[ \int_0^{L_4} M_1^{\bar{x}_3} M_1^p dy_1 + \int_0^{L_3} M_2^{\bar{x}_3} M_2^p dy_2 + \int_0^{L_2} M_3^{\bar{x}_3} M_3^p dy_3 \right] = 36451,4$$

Алынған мәндер канондық теңдікке қойылады. Матрицалық амалды қолдана отырып, әр мән үшін  $X_1$ ;  $X_2$ ;  $X_3$  анықталады [40].

*Тростардың ендік қиындысын анықтау.*

$[\sigma]$  - трос материалы үшін ықтимал кернеу. МЖСТ 3068-200 бойынша анықтаймыз:

$$[\sigma] = 800 \text{ Н/мм}^2$$

$$X_1 = 130,9 \text{ кг}$$

$$X_2 = 529,5 \text{ кг}$$

$$X_3 = 730 \text{ кг}$$

$$F_{1\text{қи}} = \frac{X_1}{[\sigma]} = 1,63 \text{ мм}^2$$

МЖСТ 3067-74 бойынша төменгі тросты таңдаймыз  $d_{\text{тр}} = 3,1 \text{ мм}$

$$F_{3\text{қи}} = \frac{X_3}{[\sigma]} = 6,62 \text{ мм}^2$$

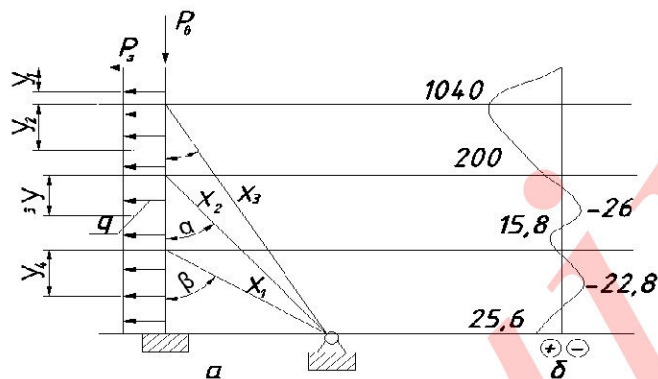
МЖСТ 3067-74 бойынша орташа тросты таңдаймыз.  $d_{\text{тр}} = 4 \text{ мм}$

$$F_{2\text{қи}} = \frac{X_2}{[\sigma]} = 9,1 \text{ мм}^2$$

МЖСТ 3067-74 бойынша жоғарғы тросты таңдаймыз.  $d_{\text{тр}} = 4,6 \text{ мм}$  [41]

ЖЭҚ-ның ендік қиындысын анықтау.

ЖЭҚ мачтасының ендік қиындысын иілгіштік мезеттеріндегі түрлі биіктіктерде анықтау үшін және олардың эпюраларын биіктік бойынша 1 м аралықта құру керек (Сурет 2.2.11 және 2.2.12) [42].



Сурет 2.2.11 және сурет 2.2.12

Кесте 2.2.5.

$$0 \leq Y_1 \leq L_1 M_{x_1} = P_r Y_1 + q \frac{Y_1^2}{2}$$

$Y_1$ [м]	$M_{x_1}$ [кг·м]
0	0
1	510
2	1040

$$0 \leq Y_2 \leq L_2 M_{x_2} = P_r (L_1 + Y_2) + q \frac{(Y_2 + L_1)^2}{2} - X_3 Y_2 \sin \gamma$$

Кесте 2.2.6.

$Y_2$ [м]	$M_{x_2}$ [кг·м]
0	1040
1	852
2	700
3	560
4	440
5	340
6	260
7	200
8	160
9	140
10	140
11	160
12	200



$$0 \leq Y_3 \leq L_3 \quad M_{x_3} = P_r(L_1 + L_2 + Y_3) + q \frac{(Y_3 + L_1 + L_2)^2}{2} - X_2 Y_3 \sin \alpha - X_3(L_2 + Y_3) \sin \gamma$$

Кесте 2.2.7.

$Y_3$ [м]	$M_{x_3}$ [кг·м]
0	200
2	140.05
4	91.9
6	43
8	-26
10	0.3
12	15.8

$$0 \leq Y_4 \leq L_4 \quad M_{x_4} = P_r(L_1 + L_2 + L_3 + Y_4) + q \frac{(Y_4 + L_1 + L_2 + L_3)^2}{2} - X_3(L_2 + L_3 + Y_4) \sin \gamma - X_2(L_3 + Y_4) \sin \alpha - X_1 Y_4 \sin \beta$$

Кесте 2.2.8.

$Y_4$ [м]	$M_{x_4}$ [кг·м]
0	15.8
2	8
4	-0.1
6	-22.8
8	-12
10	0.26
12	25.6

Кесте 2.2.5., 2.2.6., 2.2.7., 2.2.8. бойынша илгіштік мезетінің максималдық мәнін анықтауға болады.

Орындалатын шарт:

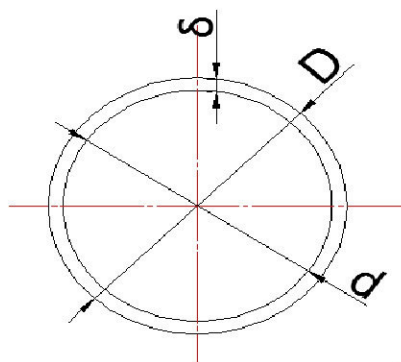
$$\sigma_{\max} = \frac{M_{x_{\max}}}{W_x} \leq [\sigma]$$

$[\sigma]$ - ЖЭҚ мачтасының құбырының материалы үшін ықтимал кернеу. МЖСТ 1577-93 бойынша таңдаймыз  $\sigma = 420 \text{ Н/мм}^2$  [43].

Бірінші қатынаста құбыр қиындыларының қарсылығын анықтауға болады:

$$W_x = \frac{M_{x_{\max}}}{\sigma_{\max}} = \frac{10440000}{420} = 24762 \text{ мм}^3$$

мұнда,  $W_x$ - құбыр қиындысының қарсылық мезеті.  
 $\delta_T$  – құбыр қабырғасының қалыңдығы;  
 $d_T$  – құбыр диаметрі;



Сурет 2.2.13. Құбыр диаметрінің сызбасы

$W_x$  белгілі мән болса және құбыр үшін  $W_x = \frac{\pi d^2 \cdot \delta}{4}$  екендігін ескерсек, құбыр қабырғасының қалыңдығын белгілеу арқылы оның диаметрі анықталады

$$d_T = \sqrt{\frac{4W_x}{\pi \cdot \delta_T}}$$

Немесе МЖСТ бойынша құбыр диаметрін анықтай отырып, қабырғаға қажетті қалыңдық анықталады  $\delta_T = \frac{4 \cdot W}{\pi \cdot d_T^2}$ ;

Құбыр диаметрі МЖСТ 10704-95 бойынша таңдалады  $d_T = 127 \text{ мм}$ .

$$\delta_T = \frac{4W_x}{\pi d^2 \sigma} = \frac{4 \cdot 24762}{3,14 \cdot 127^2} = 1,95 \text{ мм}$$

Қабырға қалыңдығы МЖСТ 10704-95 бойынша анықталады.  $\delta_T = 3 \text{ мм}$   
*Қарсылықтың мезетін анықтау [44]*

$$W_x^\phi = \frac{\pi d^2 \delta}{4} = \frac{3,14 \cdot 127^2 \cdot 3}{4} = 37983,795 \text{ мм}^3$$

ЖЭҚ-тен жүктемені ескере отырып, нақты кернеу мен мачтаның өзіндік салмағы ( $N_{СК}$ ).

$$\sigma_{\max} = \frac{N_{СК}}{F} + \frac{M_{\max}}{W_x};$$

мұнда,  $N_{СК}$ - сомалық жүктеме

$$N_{СК} = P_B + m_M;$$

мұнда,  $m_M$  – мачтаның жалпы салмағы  
салмақты анықтау МК-4.

МК-4 салмағы тең:

$$m_M = m_{1\text{трос}} + m_{2\text{трос}} + m_{3\text{трос}} + m_{\text{күб}} + m_{\text{берік}}$$

$m_{1\text{трос}}$  – 1 трос салмағы: МЖСТ 3067-74 бойынша таңдалады,  $1000m=37.8\text{кг}$

$m_{2\text{трос}}$  – 2 салмағы: МЖСТ 3067-74 бойынша таңдалады,  $1000m=63.9\text{кг}$

$m_{3\text{трос}}$  – 3 тросың салмағы : МЖСТ 3067 – 74 бойынша таңдалады,  $1000m = 85\text{кг}$

$m_{\text{күб}}$  –күбыр салмағы:  $1m=9.2\text{кг}$

$m_{\text{берік}}$  –күбырдың басқа бөлшектерінің салмағы;

$$m_{1\text{трос}} = 0.0378 \cdot 58.32 = 2.21\text{кг}$$

$$m_{2\text{трос}} = 0.0639 \cdot 87 = 5.6\text{кг}$$

$$m_{3\text{трос}} = 0.085 \cdot 120 = 10.2\text{кг}$$

$$m_{\text{күб}} = 9.2 \cdot 38 = 350\text{кг}$$

$$l_{1\text{трос}} = 3 \cdot L_{AE} + 3 = 3 \cdot 18.44 + 3 = 58.32\text{м}$$

$$l_{2\text{трос}} = 3 \cdot L_{AD} + 3 = 3 \cdot 28 + 3 = 87\text{м}$$

$$l_{3\text{трос}} = 3 \cdot L_{AC} + 3 = 3 \cdot 39 + 3 = 120\text{м}$$

Барлығы салмақ МК-4:

$$m_{\text{күр}} = m_{\text{трос}1} + m_{\text{трос}2} + m_{\text{күб}} + m_{\text{берік}} = 2.21 + 5.6 + 10.2 + 350 + 15 = 383\text{кг}$$

$$N_{\text{сж}} = P_B + m_M = 360 + 383 = 743\text{кг}$$

$$F = \frac{\pi \cdot d_T^2}{4} \cdot (1 - c^2) = \frac{3.14 \cdot 12.7^2}{4} \cdot (1 - 0.95^2) = 12.35\text{см}^2$$

$$c^2 = \frac{d_0}{d_T} = \frac{12.1}{12.7} = 0.95$$

$d_0$  – ішкі күбыр диаметрі

$$d_0 - 2\delta_T = 12.7 - 2 \cdot 0.3 = 12.1\text{см}$$

$$\sigma_{\text{сж}} = \frac{N_{\text{сж}}}{F} = \frac{743}{1235} = 0.61 \text{ кг/мм}^2 = 6.1 \text{ Н/мм}^2$$

$$\sigma_{\text{кр}} = \frac{M_{\text{max}}}{W_x^\phi} = \frac{10400000}{37983.795} = 274.01 \text{ Н/мм}^2;$$

$$\sigma_{\text{max}} = \sigma_{\text{кр}} + \sigma_{\text{сж}} = 274.01 + 6.1 = 281 \text{ Н/мм}^2$$

$$\sigma_{\text{max}} < [\sigma]$$

### 2.3 ЖЭЖ үшін қанат тәріздес симметриялық профилі бар мачтаны жобалау

«Мачта-қанат» құрылымына қойылатын талаптар. Қанаттың құрылымдық-күштілік сызбасы қауіпсіз зақымдылық қағидасы бойынша жобалану керек.

Құрылымның күштілік бөлшектерінің шапшаңқылық зақымдарының пайда болуына дейін кемінде 20 жыл болу керек.

Техникалық қызмет көрсету мен жөндеу жұмыстарының (ТҚ мен Ж) стратегияларына талаптарға құрылғы күрделі жөндеу жұмыстарынсыз жауап беру керек. Таңдалған өлшемдер барысында салмағы ең төмен тиімді құрылымдық күштілік сызба таңдалады. Барлық күштілік бөлшектер мен байламдар берік болу керек, яғни беріктілік нормаларына сәйкес кез-келген жүктемеге шыдамды болу керек.

Құрылғының қаттылығын қамтамасыз етіп, күрделі ауытқуларға жол берілмейді. Құрылым мен оның байламдары дамыған және үнемді технологиялық үдерістерде қолданылу керек.

Құрылымның қаттылығы аэродинамикалық ауытқуларға және мачтаның бұзылуына септігін тигізетін қауіпті дірілдерге төзімді болу керек. Ағымдағы тексеру мен қызмет көрсетуге жататын барлық бөліктер мен бөлшектер қол жетімді болу керек [45].

*«МАЧТА-ҚАНАТ» есептелу мысалы*

*Бастапқы мәліметтер:*

- жел генератордың номиналдық қуаты -  $N_H = 10$  кВт;

- жел ағымының жылдамдығы -  $V_B = 7$  м/с;

-жел генераторларының саны -  $n_{ЖГ} = 1$  дана.

- желдің дауылдық (есептік) жылдамдығы - 40 м/с.

Мачта-қанат жел генераторға тіреуіш болып, өз осі айналысында бұрыла алып, солайша, жел ағымын жақсы іздей алады [46].

Көлемдік өлшемдер:

тамырлық хорда көлемі –  $b_k = 2500$  мм

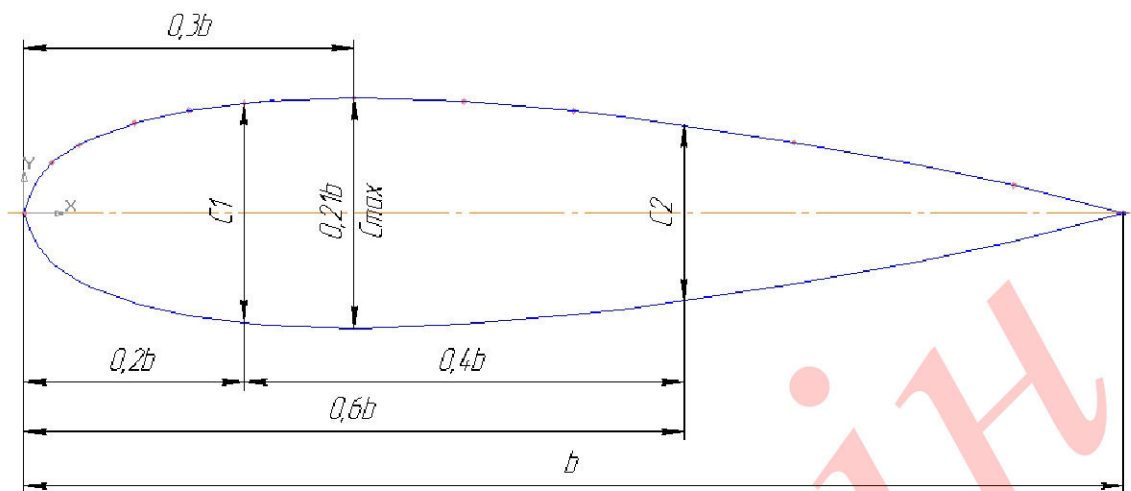
ұштық хорда көлемі –  $b_0 = 1000$  мм

мачта биіктігі -  $L_{\text{мачта}} = 40000$  мм

жел дөңгелегінің диаметрі -  $d_B = 13000$  мм

Қиындыда мачта – қанат қалыңдығы белгілі симметриялық профиль  
 $\bar{c} = 0.21$  (21%)





Сурет 2.3.1. Мачта-қанат қиындысының симметриялық профилі NASA 0015 – 21% жаңартылған.

Шеңберді сызу нүктелерінің координаттары;

Кесте 2.3.1. Бастапқы профиль

x	0	2.5	5	10	15	20	30	40	50	60	70	90	100
y ±	0	4.58	6.21 6	8.1 9	9.3 5	9.99	10. 5	10. 1	9.2 7	7.8 4	6.4 1	2.5 3	0
$\bar{c}$ %	0	9.16	12.4 3	16. 3	18. 7	19.9 9	21	20. 3	18. 54	15. 68	12. 8	5.0 7	0

$$C_{max} = 0,21 \cdot b \text{ (21\%)}$$

$$C_1 = 0,2 \cdot b; \quad C_2 = 0,2 \cdot b;$$

Үштық жорда  
 $b_{кц} = 1000 \text{ мм}$

тамырлық хорда  
 $b_0 = 2500 \text{ мм}$

$$b_x = 0,2 \cdot 1000 = 200 \text{ мм} \quad b_x = 0,2 \cdot 2500 = 500 \text{ мм}$$

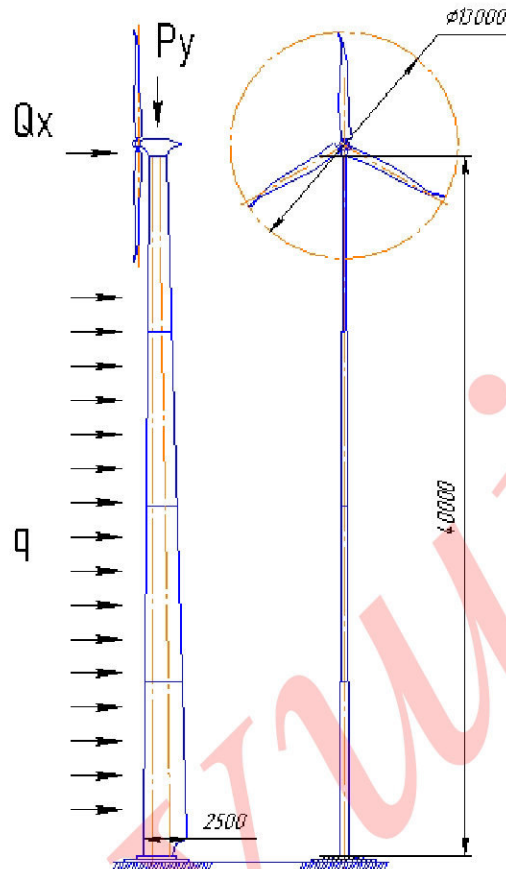
$$C_1 = 200 \text{ мм}; \quad C_1 = 500 \text{ мм};$$

$$b_x = 0,6 \cdot 1000 = 600 \text{ мм} \quad b_x = 0,6 \cdot 2500 = 1500 \text{ мм}$$

$$C_2 = 160 \text{ мм}; \quad C_2 = 392 \text{ мм}$$

«Мачта-қанатқа» әсер ететін, сыртқы жүктемелерді анықтау

«Мачта-қанатқа» әсер етеді: жел генераторынан салмақтық жүктеме (P), жел агрегатының қалақтарындағы ауа қарсылығынан жүктеме ( $Q_{ЖД}$ ), таралған аэродинамикалық жүктеме (q) және мачта-қанаттың құрылымының салмағынан жүктеме (сурет 2.3.2)



Сурет 2.3.2. Мачта-қанатқа әсер ететін күштер

$$P_y = 250 \text{ H}; Q_x = 3000 \text{ H}; S_{\text{кр}} = 70 \text{ м}^2;$$

Әр қиынды үшін қарсылықтың аэродинамикалық күші келесі формуламен анықталады:

$$q_i = \frac{Q_{\text{аэр}}}{S_{\text{қанат}}} * b_i;$$

мұнда:  $Q_{\text{аэр}}$  - беткі аэродинамикалық күш; қарсылық

$b$  – қанат хордасы;

$S$  – қанат ауданы [47].

Есеп:

Әр 10 метр сайын жоғары хорда 375 мм. азайғандықтан, онда  $b$  0,375 – ке кішірейеді.

$$Q_{\text{аэр}} = C_x \frac{\rho * V^2}{2} * S$$

мұнда:  $C_x$  – қарсылық коэффициенті;

$S_{\text{кр}}$  – қанат ауданы;

$\rho$  – ауа тығыздығы;

$V$  - желдің борандық жылдамдығы

$$Q_{\text{аэр}} = 0.024 * \frac{0.125 * 40^2}{2} * 70 = 109.4\text{кг};$$

$$q_0 = \frac{Q_{\text{аэр}}}{S_{\text{канат}}} * b_0 = \frac{109,4}{70} * 2,5 = 3,9\text{кг/м};$$

$$q_1 = \frac{Q_{\text{аэр}}}{S_{\text{канат}}} * b_1 = \frac{109,4}{70} * 2,125 = 3,32\text{кг/м};$$

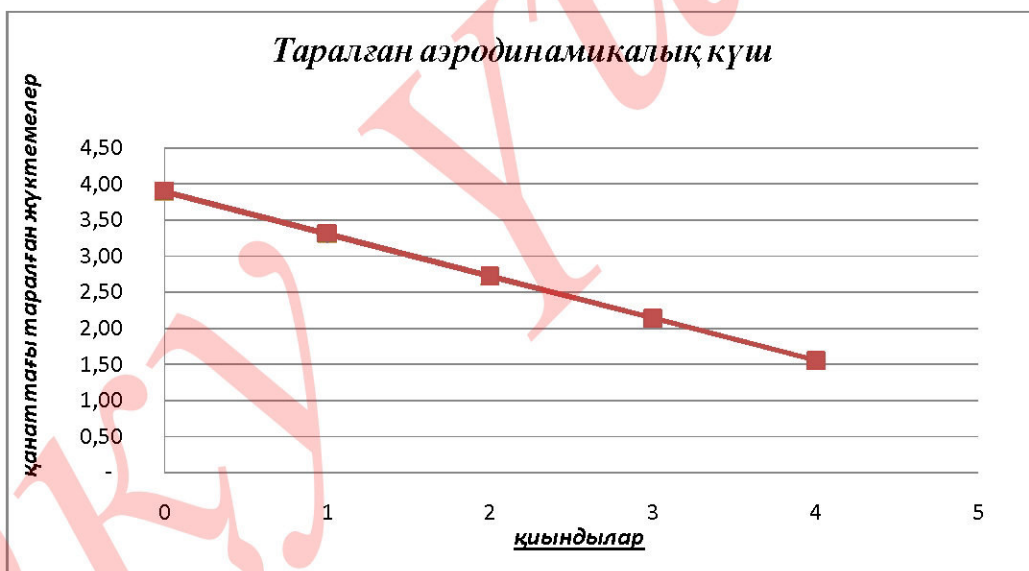
$$q_2 = \frac{Q_{\text{аэр}}}{S_{\text{канат}}} * b_2 = \frac{109,4}{70} * 1,75 = 2,7\text{кг/м};$$

$$q_3 = \frac{Q_{\text{аэр}}}{S_{\text{канат}}} * b_3 = \frac{109,4}{70} * 1,375 = 2,1\text{кг/м};$$

$$q_4 = \frac{Q_{\text{аэр}}}{S_{\text{канат}}} * b_4 = \frac{109,4}{70} * 1 = 1,5\text{кг/м};$$

$$q_{\text{ср}} = \frac{Q_{\text{аэр}}}{L_{\text{канат}}} = \frac{109.4}{40} = 2.7\text{кг/м};$$

Бұл деректер кестеге енгізіліп және сызбаға салынады (сурет 2.3.3) [48];



Сурет 2.3.3. Таралған аэродинамикалық күш

Кесте 2.3.2. Таралған аэродинамикалық күш

№	0	1	2	3	4
q <sub>i</sub>		3,32	2,7	2,1	1,5

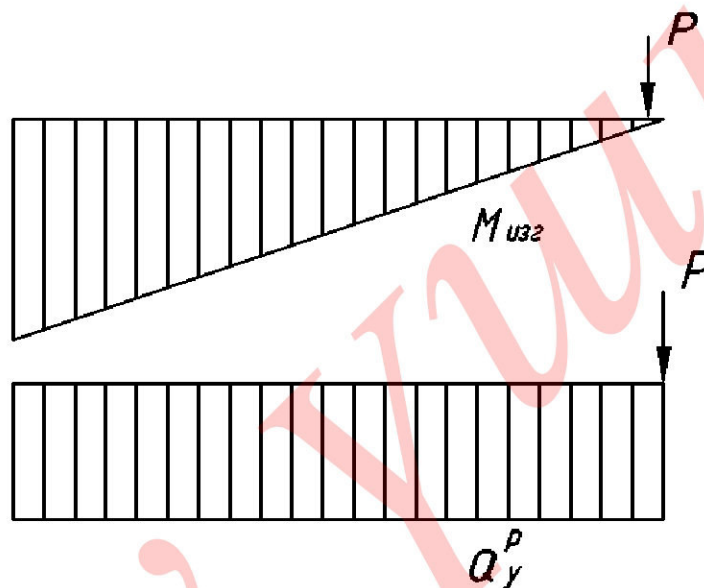
Иілу мезеті формула бойынша есептеледі;

$$M_{\text{иіл}}^P = P_x \cdot l_i + q_i \frac{l_i^2}{2}$$

Кесте 2.3.3.

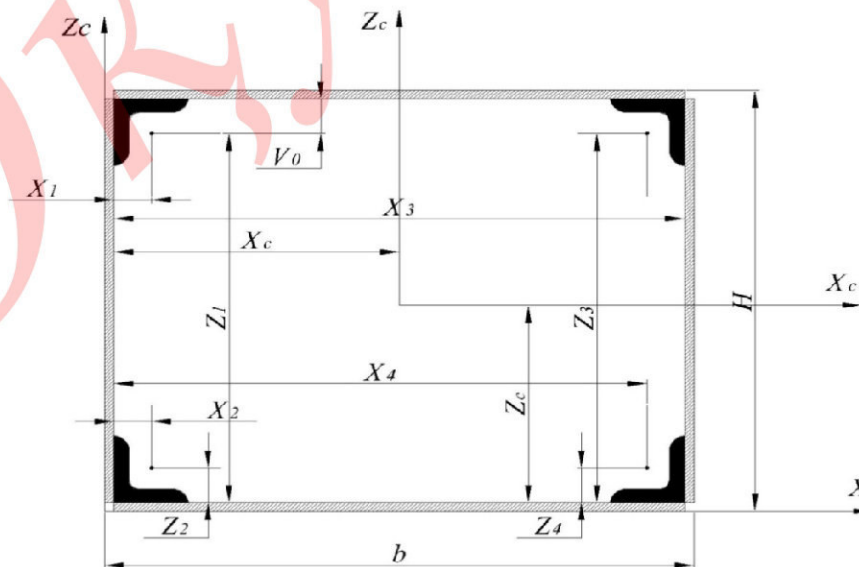
	$P_x$ [кг]	$l_i$ [м]	$q_i$ [кг/м]	$M_{изгi}^P$ [кг/м]
1	300	10	3.32	3166
2	300	10	2.7	3135
3	300	10	2.1	3105
4	300	10	1.5	3075

Қанатқа әсер ететін жүктемелер эпюрасы:



Сурет 2.3.4. Жүктеме эпюрасы

«Мачта-қанат» каркасының беріктілік есебі



Сурет 2.3.5. Лонжеронның иілуге қиындысы.



$$A_1 = B \cdot \delta = 3000 \text{ мм}^2 - \text{жоғарғы сөре қиындысының ауданы};$$

$$A_2 = H \cdot \delta = 1410 \text{ мм}^2 - 1 \text{ қабырға қиындысының ауданы};$$

$$A_4 = 1480 \text{ мм}^2 - 2 \text{ қабырға қиындысының ауданы};$$

$$A_1 = A_3 = 3000 \text{ мм}^2 - \text{қабырға қиындысының ауданы};$$

$$A_5 = A_8 = F_{\text{пр}} = 560.51 \text{ мм}^2 - \text{жоғарғы бой қиындысының ауданы};$$

$$A_6 = A_7 = F_{\text{пр}} = 724.73 \text{ мм}^2 - \text{төменгі бой қиындысының ауданы};$$

$$A = F - \text{материал қиындысының ауданы};$$

$$Y_1 = H - \delta / 2 = 531 - 3 / 2 = 529,5 \text{ мм};$$

$$Y_2 = H / 2 = 531 / 2 = 265,5 \text{ мм};$$

$$Y_3 = \delta / 2 = 3 / 2 = 1,5 \text{ мм};$$

$$Y_4 = Y_2 = 265,5 \text{ мм};$$

$$Y_5 = Y_6 = H - \delta - Y_0 = 531 - 1,5 - 2,28 - 2,44 = 524,78 \text{ мм};$$

$$Y_7 = Y_8 = \delta + Y_0 = 1,5 + 2,28 + 2,44 = 6,02 \text{ мм};$$

$$X_1 = B / 2 = 1000 / 2 = 500 \text{ мм};$$

$$X_2 = B - \delta / 2 = 1000 - 1,5 / 2 = 499,25 \text{ мм};$$

$$X_3 = X_1 = 500 \text{ мм};$$

$$X_4 = \delta / 2 = 3 / 2 = 1,5 \text{ мм};$$

$$X_5 = \delta + 2,28 = 1,5 + 2,28 = 3,78 \text{ мм};$$

$$X_6 = X_7 = B - X_5 = 1000 - 3,78 = 996,22 \text{ мм};$$

$$X_8 = X_5 = 3,78 \text{ мм};$$

У, X - бейтарап осьтегі қашықтық,  
Таңдалған профильдің ауырлық ортасы:  
ПР 7/5 үшін -  $(X_0 = Y_0) = 3,31 \text{ мм};$   
ПР 7,5/5 үшін -  $(X_0 = Y_0) = 5,27 \text{ мм}.$

“X” координатасында лонжеронның инерция мезеті:

$$J_x = (J_{x1} + Y_1^2 \cdot A_1) + (J_{x2} + Y_2^2 \cdot A_2) + (J_{x3} + Y_3^2 \cdot A_3) + (J_{x4} + Y_4^2 \cdot A_4) +$$

$$+ (J_{x5} + Y_5^2 \cdot A_5) + (J_{x6} + Y_6^2 \cdot A_6) + (J_{x7} + Y_7^2 \cdot A_7) + (J_{x8} + Y_8^2 \cdot A_8) = 1398842126 \text{ мм}^4;$$

$$J_{x1} = J_{x3} = \frac{\delta^3 B}{12} = \frac{3^3 \cdot 1000}{12} = 2250 \text{ мм}^4;$$

$$J_{x2} = J_{x4} = \frac{\delta^3 H}{12} = \frac{3^3 \cdot 531}{12} = 1194.75 \text{ мм}^4;$$

$$J_{x5} = J_{x7} = J_{x1} = J_{x3} = 2250 \text{ мм}^4;$$

$$J_{x6} = J_{x8} = J_{x2} = J_{x4} = 1194.75 \text{ мм}^4;$$

“Y” координатасында лонжеронның инерция мезеті:

$$J_y = (J_{y1} + X_1^2 \cdot A_1) + (J_{y2} + X_2^2 \cdot A_2) + (J_{y3} + X_3^2 \cdot A_3) + (J_{y4} + X_4^2 \cdot A_4) +$$

$$+ (J_{y5} + X_5^2 \cdot A_5) + (J_{y6} + X_6^2 \cdot A_6) + (J_{y7} + X_7^2 \cdot A_7) + (J_{y8} + X_8^2 \cdot A_8) = 3289985434 \text{ мм}^4;$$

$$J_{y1} = J_{y3} = \frac{\delta^3 H}{12} = \frac{1.5^3 531}{12} = 1194.75 \text{ мм}^4;$$

$$J_{y2} = J_{y4} = \frac{\delta^3 B}{12} = \frac{1.5^3 1000}{12} = 2250 \text{ мм}^4;$$

$$J_{y5} = J_{y7} = J_{y1} = J_{y3} = 1194.75 \text{ мм}^4;$$

$$J_{y6} = J_{y8} = J_{y2} = J_{y4} = 2250 \text{ мм}^4;$$

координатасында лонжеронның инерция мезеті  
“У” және “Х” :

$$J_{y.c} = J_x - J_c^2 \cdot (A_1 + A_2 + \dots + A_8) = 590990025,6 \text{ мм}^4;$$

$$J_{x.c} = J_y - J_c^2 \cdot (A_1 + A_2 + \dots + A_8) = 2482133333 \text{ мм}^4;$$

$$Y_c = \frac{H}{2} = \frac{531}{2} = 265.5 \text{ мм};$$

$$X_c = \frac{B}{2} = \frac{1000}{2} = 500 \text{ мм};$$

Ауданның қарсылық мезеті

$$W_x = \frac{J_{x.c}}{Y_c} \text{ мм}^3;$$

$$W_x = \frac{J_{x.c}}{Y_{\max}} = \frac{2482133333}{265.5} = 9348901,444 \text{ мм}^3;$$

$$W_y = \frac{J_{y.c}}{X_{\max}} = \frac{590990025,6}{500} = 1181980,051 \text{ мм}^3;$$

$$Y_{\max} = Y_c = 265,5 \text{ мм.}$$

$$X_{\max} = X_c = 500 \text{ мм.}$$

Лонжеронның есептеулеріне сүйене отырып, кернеу тексеріледі [49].

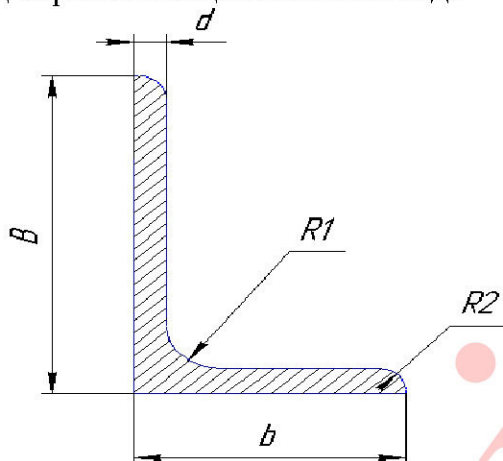
Ісілу барысындағы номиналдық кернеу:

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W} \leq [\sigma] \frac{H}{\text{мм}^2};$$

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W_x} = \frac{12 \cdot 10^6}{9348901,444} = 1,283573 \frac{\text{кГ}}{\text{мм}^2};$$

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W_y} = \frac{12 \cdot 10^6}{1181980,051} = 10,15246 \frac{\text{кГ}}{\text{мм}^2};$$

Лонжерон қанаттың беріктілігін қамтамасыз етеді.



Сурет 2.3.6. Д16Т –дан престелген профиль - ПР113

Кесте 2.3.4. Алдыңғы қиындының геометриялық өлшемдері

№ профиль нөмірі	Өлшемі, мм					Қиынды ауданы F, см <sup>2</sup>	Салмақ 1 м, кг
	B	b	d	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>		
5/3,2	50	32	3	7	2,5	2,45	2,69
5,6/3,6	56	36	4	8	4	3,58	2,81
6,3/4	63	40	5	8	4	4,98	3,91
7/4,5	70	45	5	9	4	5,59	4,39

Кесте 2.3.5. Артқы қиындының геометриялық өлшемдері

№ профиль нөмірі	Өлшемі, мм					Қиынды ауданы F, см <sup>2</sup>	Салмақ 1 м, кг
	B	b	d	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>		
5,6/3,6	56	36	4	8	4	3,58	2,81
6,3/4	63	40	5	8	4	4,98	3,91
7/4,5	70	45	5	9	4	5,59	4,39
7,5/5	75	50	6	10	5	7,25	5,69

## 2.4 Тәжірибелік бөлім. Шағын жел энергетикалық қондырғысының әртүрлі пішіндегі қалақшаларының қуатын анықтау

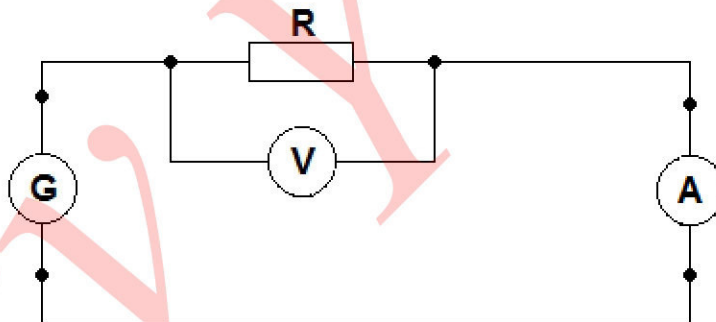
Тәжірибелік жұмыстың мақсаты шағын жел энергетикалық қондырғысының яғни генератор сипаттамаларының жел доңғалақтың қалақша санының, пішінінің өзгеруіне тәуелділігін зерттеу және мейлінше тиімді болып табылатын жел доңғалақты таңдау, осы тәжірибе негізінде кіші өндіріске қажетті тиімді жел генераторға таңдау жасай аламыз.

Бұл мақсатты орындау үшін қажетті құрал-жабдықтар: желдеткіш, анемометр, мультиметр, жүктеме, микроэлектргенератор, төрт түрлі пішіндегі төрт, үш, екі және бір қалақшалы жел доңғалағы 2.4.1 суретте бейнеленген.



Сурет 2.4.1. Жел генератор түрін таңдауға арналған тәжірибелік жұмыс құрал-жабдықтары

Микроэлектргенератор өндіретін ток күші мен кернеуді өлшеу үшін мультиметрдың жалғануына назар аударатырып 2.4.2 суретте көрсетілген сұлбаны құрастыру керек [50].



Сурет 2.4.2. Ток күші мен кернеуді өлшеу үшін микроэлектргенераторды жүктемеге жалғау сұлбасы

Микроэлектргенераторға төменде бейнеленген пішіндегі үш қалақшалы доңғалақты бекітіп, желдің жылдамдығын баяу қарқынмен жоғарылата отырып жел доңғалағы жүре бастаған кездегі жел жылдамдығын анықтап, кестеге түсіреміз. Үш қалақшалы микрожелгенератор 2.4.3 суретте көрсетілген.





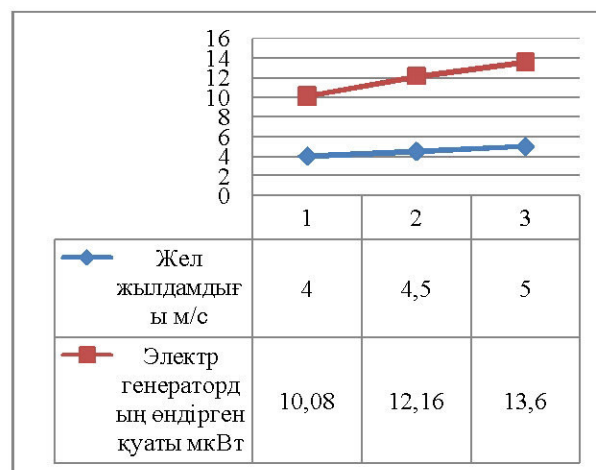
Сурет 2.4.3. Үш қалақшалы микрожелгенератор

Желдің жылдамдығын алдын ала өлшейміз де жел генераторға  $R=33$  Ом жүктеме мен өлшеуіш құралдарды 2.4.2 суреттегі сұлбаға сәйкес жалғаймыз. Жел генератор қалақшалары тұрақты жылдамдықпен айнала бастаған сәтте өлшеуіш құралдардың көрсеткіштерін, яғни  $U$  және  $I$  мәндерін кестеге түсіреміз. Желдің жылдамдығын өзгертіп (жоғарылатып) тәжірибені 5-6 рет қайталап және әр жел жылдамдығына сәйкес кернеу мен ток күші мәндерін кестеге жазып отырамыз. Үш қалақшалы жел доңғалақты сынақ нәтижелерін 2.4.1. кестеде көрсетеміз.

Кесте 2.4.1. Үш қалақшалы микрожелгенератордың сынақ нәтижесі

$V$ , жел жылдамдығы, м/с	4	4,5	5
$U$ , В	0,56	0,64	0,68
$I$ , мкА	18	19	20
$P$ , мкВт	10,08	12,16	13,6
Доңғалақтың жүру жел жылдамдығы, м/с		1,7 м/с	

Жасалынған сынақ нәтижесін пайдаланып электргенератор қуатының жел жылдамдығына тәуелділік графигін құрастырамыз. Мұндай тәуелділік графигі 2.4.4 суретте көрсетілген.



Сурет 2.4.4. Үш қалақшалы микрожелгенератор қуатының жел жылдамдығына тәуелділігі

Ендігі кезекте электр генераторға төменде бейнеленген пішіндегі екі қалақшалы жел доңғалақты бекітеміз және желдеткіштің көмегімен бірінші сынақтағымен бірдей диапазонда жел береміз. Екі қалақшалы микрожелгенератор 2.4.5 суретте көрсетілген.



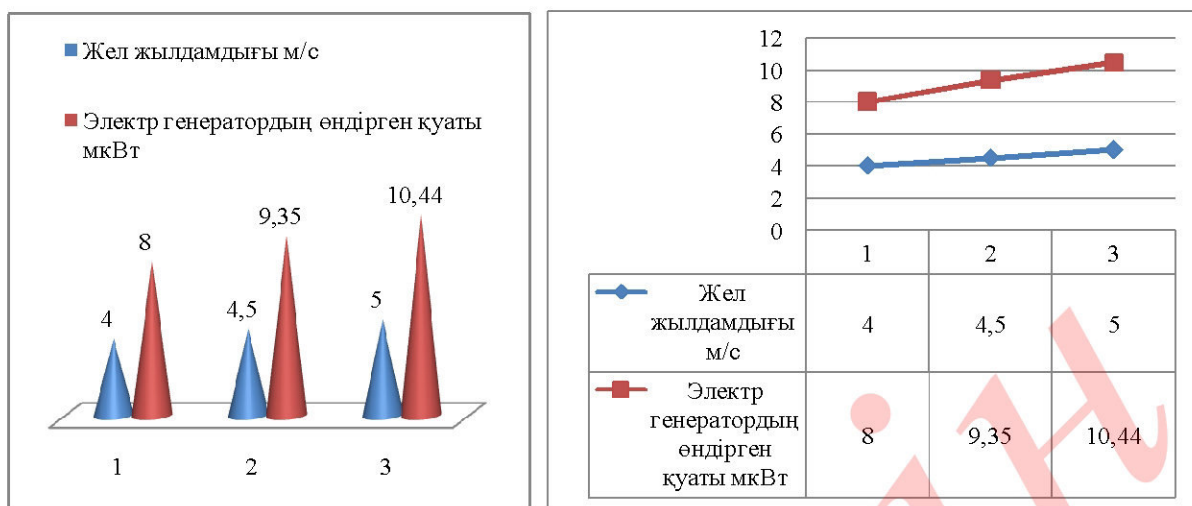
Сурет 2.4.5. Екі қалақшалы микрожелгенератор

Бұл жолы да желдің жылдамдығын баяу қарқынмен жоғарылата отырып жел доңғалағы жүре бастаған кездегі жел жылдамдығын анықтап аламыз. Сынақ нәтижелерін 2.4.2. кестеге түсіреміз.

Кесте 2.4.2. Екі қалақшалы микрожелгенератордың сынақ нәтижесі

$V$ , жел жылдамдығы, м/с	4	4,5	5
$U$ , В	0,50	0,55	0,58
$I$ , мкА	16	17	18
$P$ , мкВт	8	9,35	10,44
Доңғалақтың жүру жел жылдамдығы, м/с		1,3 м/с	

Екі қалақшалы микрожелгенератор қуатының жел жылдамдығына тәуелділік графигін құрастырамыз. Мұндай тәуелділік графигі 2.4.6 суретте көрсетілген.



Сурет 2.4.6. Екі қалақшалы микрожелгенератор қуатының жел жылдамдығына тәуелділігі

Келесі кезекте электргенераторға төменде бейнеленген пішіндегі бір қалақшалы жел доңғалақты бекітеміз де жоғарыда айтылған реттілікпен өлшеу жасаймыз. Бір қалақшалы микрожелгенератор 2.4.7 суретте көрсетілген.



Сурет 2.4.7. Бір қалақшалы микрожелгенератор

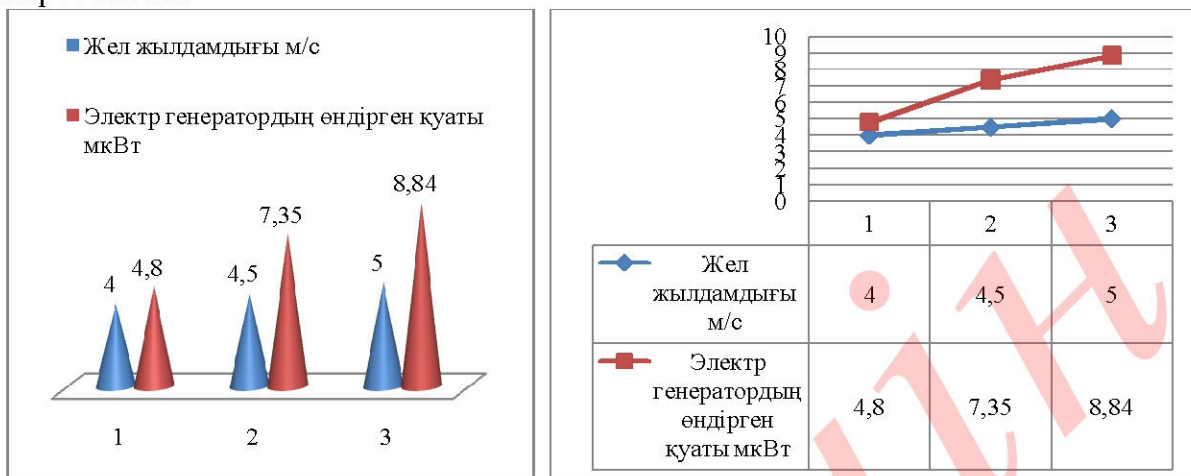
Бұл жолы да желдің жылдамдығын баяу қарқынмен жоғарылата отырып жел доңғалағы жүре бастаған кездегі жел жылдамдығын анықтап аламыз. Сынақ нәтижелерін 2.4.3. кестеге түсіреміз.

Кесте 2.4.3. Бір қалақшалы микрожелгенератордың сынақ нәтижесі

$V$ , жел жылдамдығы, м/с	4	4,5	5
$U$ , В	0,40	0,49	0,52
$I$ , мкА	12	15	17
$P$ , мкВт	4,8	7,35	8,84
Доңғалақтың жүру жел жылдамдығы, м/с	0,7 м/с		



Бір қалақшалы микрожелгенератор қуатының жел жылдамдығына тәуелділік графигін құрастырамыз. Мұндай тәуелділік графигі 2.4.8 суретте көрсетілген.



Сурет 2.4.8. Бір қалақшалы микрожелгенератор қуатының жел жылдамдығына тәуелділігі

Келесі кезекте микроэлектргенераторға төменде бейнеленген пішіндегі үш қалақшалы доңғалақты бекітіп, желдің жылдамдығын баяу қарқынмен жоғарылата отырып жел доңғалағы жүре бастаған кездегі жел жылдамдығын анықтап, кестеге түсіреміз. Үш қалақшалы микрожелгенератор 2.4.9 суретте көрсетілген.



Сурет 2.4.9. Үш қалақшалы микрожелгенератор

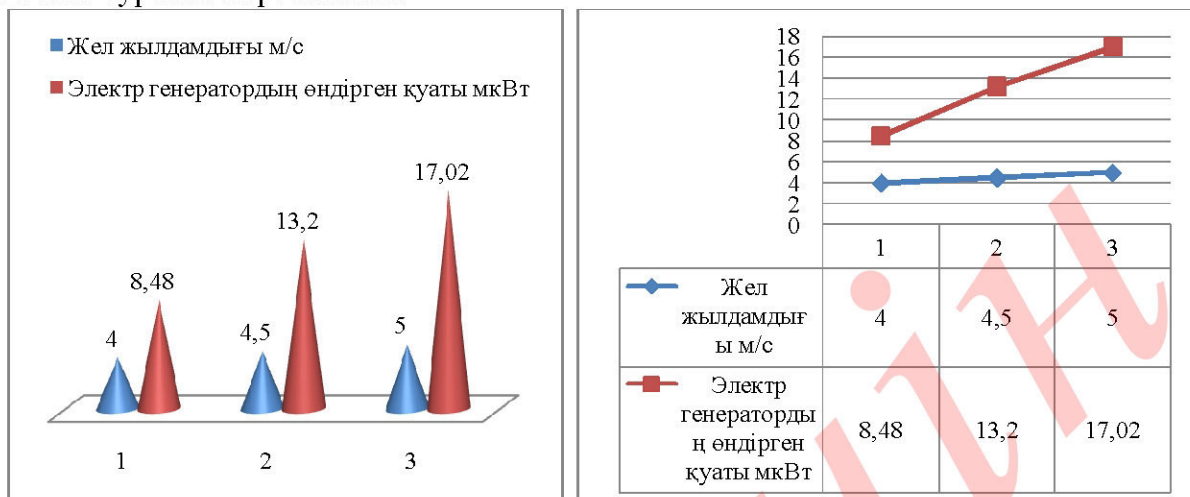
Бұл жолы да желдің жылдамдығын баяу қарқынмен жоғарылата отырып жел доңғалағы жүре бастаған кездегі жел жылдамдығын анықтап аламыз. Сынақ нәтижелерін 2.4.4. кестеге түсіреміз.

Кесте 2.4.4. Үш қалақшалы микрожел генератордың сынақ нәтижесі

$V$ , жел жылдамдығы, м/с	4	4,5	5
$U$ , В	0,53	0,66	0,74
$I$ , мкА	16	20	23
$P$ , мкВт	8,48	13,2	17,02
Доңғалақтың жүру жел жылдамдығы, м/с	0,5 м/с		



Жасалынған сынақ нәтижесін пайдаланып электргенератор қуатының жел жылдамдығына тәуелділік графигін құрастырамыз. Мұндай тәуелділік графигі 2.4.10 суретте көрсетілген.



Сурет 2.4.10. Үш қалақшалы микрожелгенератор қуатының жел жылдамдығына тәуелділігі

Келесі кезекте тағыда микроэлектргенераторға төменде бейнеленген пішіндегі екі қалақшалы доңғалақты бекітіп, желдің жылдамдығын баяу қарқынмен жоғарылата отырып жел доңғалағы жүре бастаған кездегі жел жылдамдығын анықтап, кестеге түсіреміз. Екі қалақшалы микрожелгенератор 2.4.11 суретте көрсетілген.



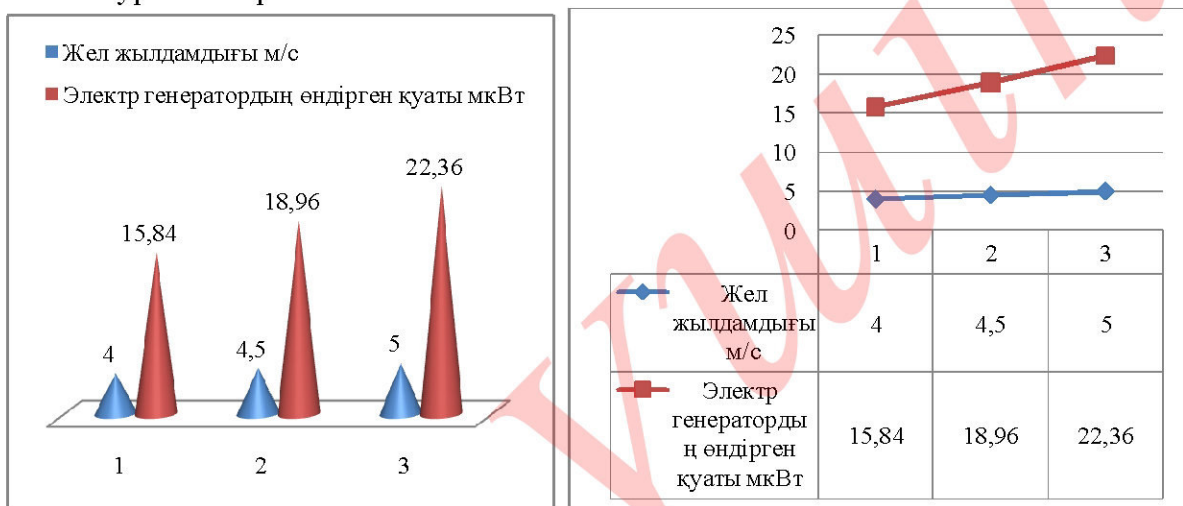
Сурет 2.4.11. Екі қалақшалы микрожелгенератор

Бұл жолы да желдің жылдамдығын баяу қарқынмен жоғарылата отырып жел доңғалағы жүре бастаған кездегі жел жылдамдығын анықтап аламыз. Сынақ нәтижелерін 2.4.5. кестеге түсіреміз.

Кесте 2.4.5. Екі қалақшалы микрожелгенератордың сынақ нәтижесі

$V$ , жел жылдамдығы, м/с	4	4,5	5
$U$ , В	0,72	0,79	0,86
$I$ , мкА	22	24	26
$P$ , мкВт	15,84	18,96	22,36
Доңғалақтың жүру жел жылдамдығы, м/с		1,7 м/с	

Жасалынған сынақ нәтижесін пайдаланып электргенератор қуатының жел жылдамдығына тәуелділік графигін құрастырамыз. Мұндай тәуелділік графигі 2.4.12 суретте көрсетілген.



Сурет 2.4.12. Екі қалақшалы микрожелгенератор қуатының жел жылдамдығына тәуелділігі

Ендігі кезекте микроэлектргенераторға төменде бейнеленген пішіндегі бір қалақшалы доңғалақты бекітіп, желдің жылдамдығын баяу қарқынмен жоғарылата отырып жел доңғалағы жүре бастаған кездегі жел жылдамдығын анықтап, кестеге түсіреміз. Бір қалақшалы микрожелгенератор 2.4.13 суретте көрсетілген.



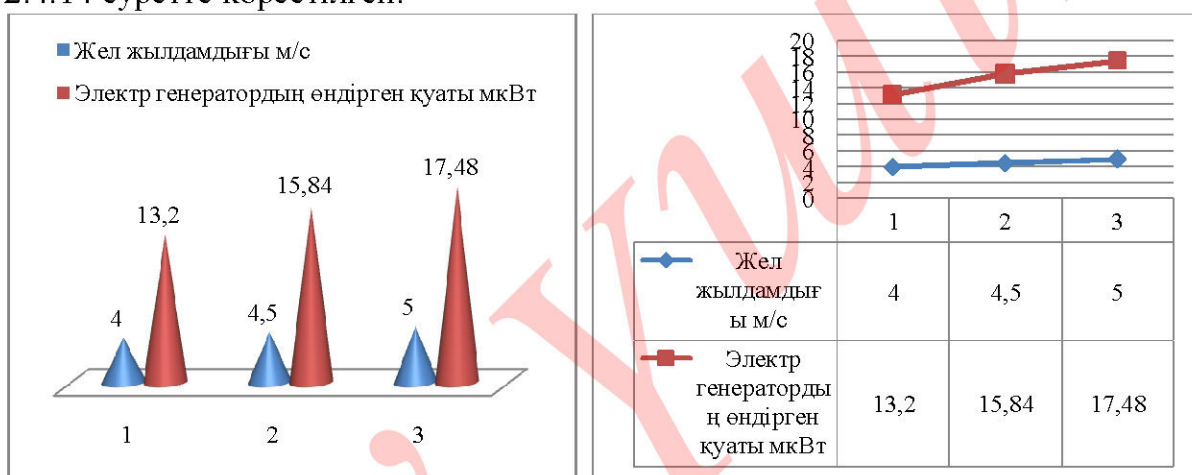
Сурет 2.4.13. Бір қалақшалы микрожелгенератор

Бұл жолы да желдің жылдамдығын баяу қарқынмен жоғарылата отырып жел доңғалағы жүре бастаған кездегі жел жылдамдығын анықтап аламыз. Сынақ нәтижелерін 2.4.6. кестеге түсіреміз.

Кесте 2.4.6. Бір қалақшалы микрожелгенератордың сынақ нәтижесі

$V$ , жел жылдамдығы, м/с	4	4,5	5
$U$ , В	0,66	0,72	0,76
$I$ , мкА	20	22	23
$P$ , мкВт	13,2	15,84	17,48
Доңғалақтың жүру жел жылдамдығы, м/с		1,7 м/с	

Жасалынған сынақ нәтижесін пайдаланып электргенератор қуатының жел жылдамдығына тәуелділік графигін құрастырамыз. Мұндай тәуелділік графигі 2.4.14 суретте көрсетілген.



Сурет 2.4.14. Бір қалақшалы микрожелгенератор қуатының жел жылдамдығына тәуелділігі

Тәжірибені жалғастыра келе микроэлектргенераторға төменде бейнеленген пішіндегі үш қалақшалы доңғалақты бекітіп, желдің жылдамдығын баяу қарқынмен жоғарылата отырып жел доңғалағы жүре бастаған кездегі жел жылдамдығын анықтап, кестеге түсіреміз. Үш қалақшалы микрожелгенератор 2.4.15 суретте көрсетілген.



Сурет 2.4.15. Үш қалақшалы микрожелгенератор

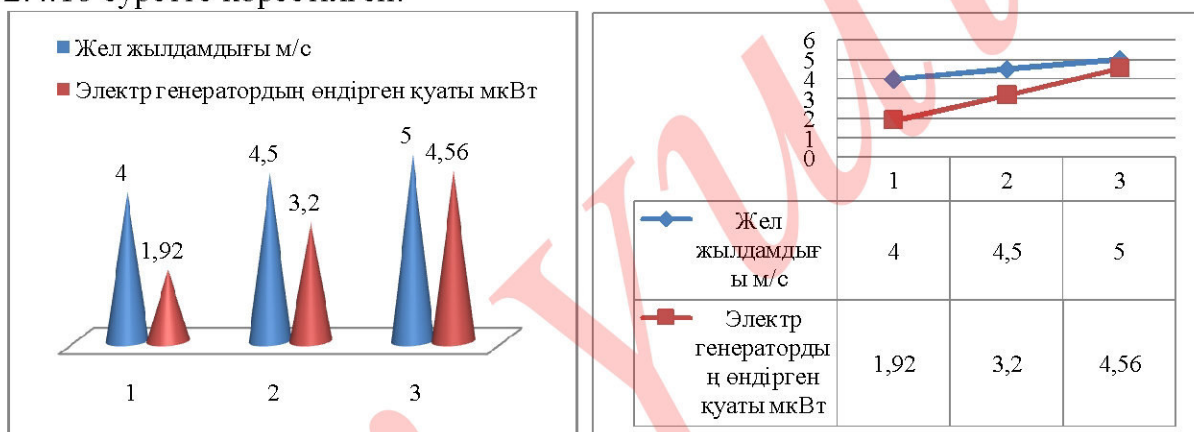


Бұл жолы да желдің жылдамдығын баяу қарқынмен жоғарылата отырып жел доңғалағы жүре бастаған кездегі жел жылдамдығын анықтап аламыз. Сынақ нәтижелерін 2.4.7. кестеге түсіреміз.

Кесте 2.4.7. Үш қалақшалы микрожелгенератордың сынақ нәтижесі

$V$ , жел жылдамдығы, м/с	4	4,5	5
$U$ , В	0,24	0,32	0,38
$I$ , мкА	8	10	12
$P$ , мкВт	1,92	3,2	4,56
Доңғалақтың жүру жел жылдамдығы, м/с		1,7 м/с	

Жасалынған сынақ нәтижесін пайдаланып электргенератор қуатының жел жылдамдығына тәуелділік графигін құрастырамыз. Мұндай тәуелділік графигі 2.4.16 суретте көрсетілген.



Сурет 2.4.16. Үш қалақшалы микрожелгенератор қуатының жел жылдамдығына тәуелділігі

Келесі кезекте микроэлектргенераторға төменде бейнеленген пішіндегі екі қалақшалы доңғалақты бекітіп, желдің жылдамдығын баяу қарқынмен жоғарылата отырып жел доңғалағы жүре бастаған кездегі жел жылдамдығын анықтап, кестеге түсіреміз. Екі қалақшалы микрожелгенератор 2.4.17 суретте көрсетілген.



Сурет 2.4.17. Екі қалақшалы микрожелгенератор

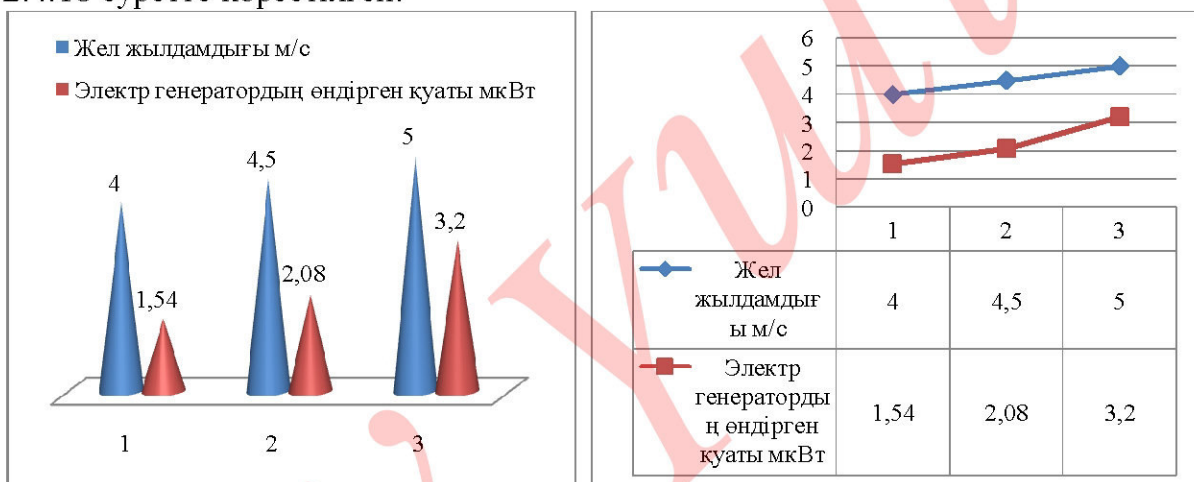


Бұл жолы да желдің жылдамдығын баяу қарқынмен жоғарылата отырып жел доңғалағы жүре бастаған кездегі жел жылдамдығын анықтап аламыз. Сынақ нәтижелерін 2.4.8. кестеге түсіреміз.

Кесте 2.4.8. Екі қалақшалы микрожелгенератордың сынақ нәтижесі

$V$ , жел жылдамдығы, м/с	4	4,5	5
$U$ , В	0,22	0,26	0,32
$I$ , мкА	7	8	10
$P$ , мкВт	1,54	2,08	3,2
Доңғалақтың жүру жел жылдамдығы, м/с		0,5 м/с	

Жасалынған сынақ нәтижесін пайдаланып электргенератор қуатының жел жылдамдығына тәуелділік графигін құрастырамыз. Мұндай тәуелділік графигі 2.4.18 суретте көрсетілген.



Сурет 2.4.18. Екі қалақшалы микрожелгенератор қуатының жел жылдамдығына тәуелділігі

Реттілікті орындай келе микроэлектргенераторға төменде бейнеленген пішіндегі бір қалақшалы доңғалақты бекітіп, желдің жылдамдығын баяу қарқынмен жоғарылата отырып жел доңғалағы жүре бастаған кездегі жел жылдамдығын анықтап, кестеге түсіреміз. Бір қалақшалы микрожелгенератор 2.4.19 суретте көрсетілген.



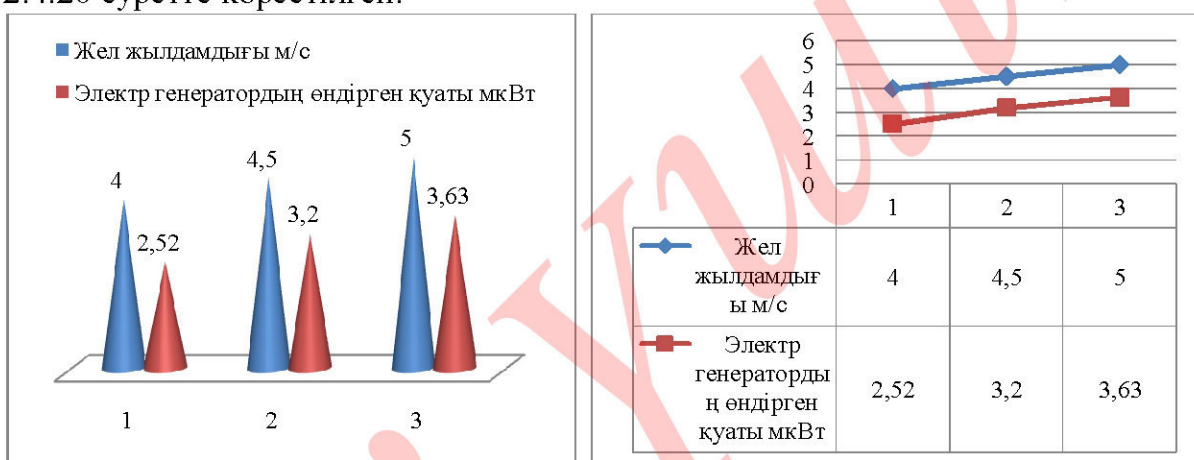
Сурет 2.4.19. Бір қалақшалы микрожелгенератор

Бұл жолы да желдің жылдамдығын баяу қарқынмен жоғарылата отырып жел доңғалағы жүре бастаған кездегі жел жылдамдығын анықтап аламыз. Сынақ нәтижелерін 2.4.9. кестеге түсіреміз.

Кесте 2.4.9. Бір қалақшалы микрожелгенератордың сынақ нәтижесі

$V$ , жел жылдамдығы, м/с	4	4,5	5
$U$ , В	0,28	0,32	0,33
$I$ , мкА	9	10	11
$P$ , мкВт	2,52	3,2	3,63
Доңғалақтың жүру жел жылдамдығы, м/с		0,9 м/с	

Жасалынған сынақ нәтижесін пайдаланып электргенератор қуатының жел жылдамдығына тәуелділік графигін құрастырамыз. Мұндай тәуелділік графигі 2.4.20 суретте көрсетілген.



Сурет 2.4.20. Бір қалақшалы микрожелгенератор қуатының жел жылдамдығына тәуелділігі

Тәжірибеміздің ең соңында микроэлектргенераторға мына көріністегі төрт қалақшалы доңғалақты бекітіп, желдің жылдамдығын баяу қарқынмен жоғарылата отырып жел доңғалағы жүре бастаған кездегі жел жылдамдығын анықтап, кестеге түсіреміз. Мұндай төрт қалақшалы микрожелгенератор 2.4.21 суретте көрсетілген.



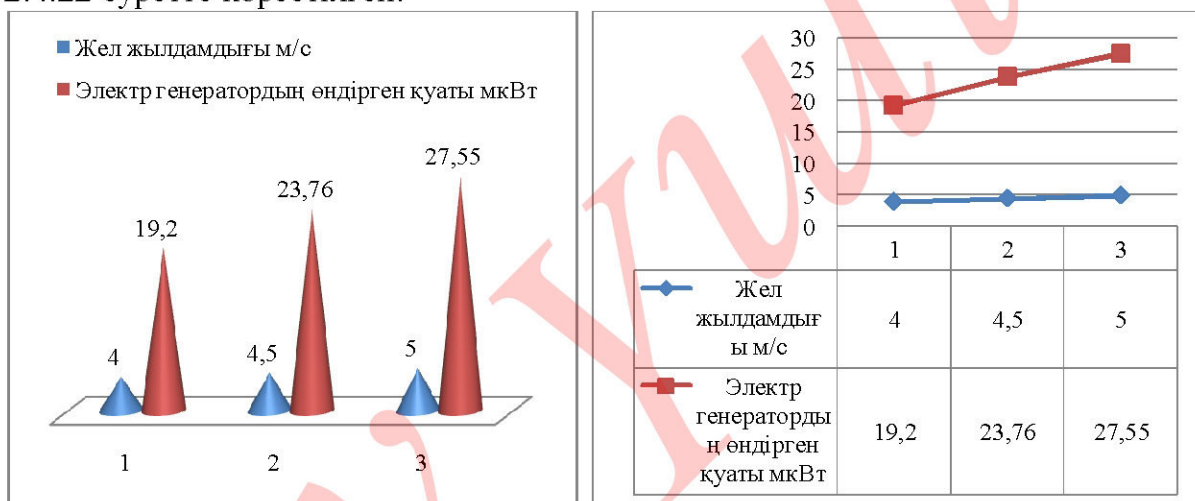
Сурет 2.4.21. Төрт қалақшалы микрожелгенератор

Бұл жолы да желдің жылдамдығын баяу қарқынмен жоғарылата отырып жел доңғалағы жүре бастаған кездегі жел жылдамдығын анықтап аламыз. Сынақ нәтижелерін 2.4.10. кестеге түсіреміз.

Кесте 2.4.10. Төрт қалақшалы микрожелгенератордың сынақ нәтижесі

$V$ , жел жылдамдығы, м/с	4	4,5	5
$U$ , В	0,80	0,88	0,92
$I$ , мкА	24	27	29
$P$ , мкВт	19,2	23,76	27,55
Доңғалақтың жүру жел жылдамдығы, м/с		2,5 м/с	

Жасалынған сынақ нәтижесін пайдаланып электргенератор қуатының жел жылдамдығына тәуелділік графигін құрастырамыз. Мұндай тәуелділік графигі 2.4.22 суретте көрсетілген.



Сурет 2.4.22. Төрт қалақшалы микрожелгенератор қуатының жел жылдамдығына тәуелділігі

Тәжірибені жасау барысында бірден көзге байқалатыны төрт қалақшалы, үш қалақшалы және екі қалақшалы жел доңғалақтармен бір қалақшалы жел доңғалақты салыстыратын болсақ, соңғысының яғни төрт қалақшалы желгенераторының айналу жылдамдығы жоғары екендігін байқауға болады. Оған себеп, оның жасалу пішініне байланысты желдің жан-жақты оның қырларына соғуы арқылы жүйріктігі арта түседі. Жүйріктік жоғары болған сайын минутына жасалынатын айналым саны көп болады.

Сонымен тәжірибе барысында төрт түрлі пішіндегі төрт қалақшалы, үш қалақшалы, екі қалақшалы, бір қалақшалы жел доңғалақ сынаққа алынды. Тәжірибе барысында бастапқы орындалған жұмыс жел доңғалағының жүру жылдамдығын анықтадық. ОҚО, Түркістан қаласының аумақтары бойынша орташа жел жылдамдығы 3-5 м/с аралығында, демек төрт қалақшалы жел доңғалақтың айналу мүмкіншілігі бар. Енді жоғарыда көрсетілгендей өлшенген жел жылдамдығында өндірілген қуат мөлшерін салыстыратын болсақ, ең үлкен қуат көрсеткіш төрт қалақшалы жел доңғалағында болды. Оның себебі төрт



қалақшалы жел доңғалақ жүйріктігі жоғары. Жүйріктік жоғары болған сайын минутына жасалынатын айналым саны көп болады. Осының арқасында қуат жоғары болады.

Жұмысты қорытындылай келе төрт қалақшалы жел доңғалақты таңдадық. Мұның себебі, қуаты төмен болып шыққан қалған үш түрлі пішіндегі үш қалақшалы, екі қалақшалы және бір қалақшалы жел доңғалақтары біздің өңір үшін тиімсіз. Кіші өндіріске жел энергетикалық қондырғысын жобалау үшін, қайта жаңғыртылатын энергияны мүмкіндігінше пайдалы жұмысқа, яғни пайдалы энергия өндіруге тиістіміз. Осы арада төрт қалақшалы жел доңғалақ айналу жылдамдығы жоғары болған себептен қуаты жоғары болып шықты.

Сонымен, тәжірибе нәтижелеріне сүйене отырып кіші өндіріс үшін төрт қалақшалы құрылысты жел генераторы таңдалынды.

Жалпы жел энергетикалық қондырғыларды жылдық орташа жел жылдамдығы 3-5 м/с болатын аудандарда пайдалану экономикалық тұрғыдан тиімді болып табылады. Біздің өңірде Түркістан қаласында жылдық орташа жел жылдамдығы 3-5 м/с шамасында. Бұл жел энергиясын электр энергия өндірісі мақсатында пайдалануға мүмкіншілік бар деген сөз [51].



## ҚОРЫТЫНДЫ

Бұл диссертациялық жұмыста желдің жылдамдығын пайдалана отырып кіші өндірістерге қажетті қуатты өндіріп беруші жел энергетикалық қондырғысын пайдалану мүмкіншілігі қарастырылып қажетті қондырғыларға таңдау жасалынды.

Тәжірибе барысында жел генератор қалақшалырының төрт түрлі пішіндегі төрт, үш, екі, бір қалақшалар алынып жел генераторының жұмыс істеу тиімділігіне есептеу жүргізілді және жел генераторларының жұмыс істеу тиімділігін арттыру үшін сол генераторлардың қалақша пішіндеріне байланысты болуы тәжірибе жүзінде дәлелденді. Және де қалақшаларды оңтайландыру керектігінің қажеттілігі көрсетілді. Жел энергетикалық қондырғысының ерекше бөлігі болып саналатын мачтасыныңда беріктілігі, сенімділігі және орнатылу биіктігіне есептеулер жүргізілді.

Жұмыстың негізгі нәтижелеріне келесілерді жатқызсақ болады:

1. Жел энергетикалық қондырғы (ЖЭҚ) үшін жел дөңгелегін (ЖД) есептеу әдістемесі жетілдірілді.
2. «Мачта-қанат» жаңа құрылымдық сызбасы бойынша жел энергетикалық қондырғысын (ЖЭҚ) орнатудың жобалық есептеулері жасалды.
3. «Мачта-қанат» беріктілік есебі жасалды.
4. Жел генератордың белгіленген қуаты мен желдің есептік жылдамдығы бойынша тиімді өлшем бірліктерді анықтау бойынша есептеулер жобаланды.
5. Жел дөңгелегінің беріктілік есептеулері жасалды.
6. Жел доңғалақ (ЖД) қалақтарын дайындау технологиялары жасалды.
7. Сол түрлі пішіндегі қалақшаларға желдің түрлі бағыттарын беру арқылы қуатты жақсы өндірген, қалақшалардың ішіндегі ең тиімді болып табылған төрт қалақшалы жел генераторы таңдалып жобасы жасалынды.

Ең тиімді болып табылған, оңтайландырылған жел генератор қалақшалары мен дайындалған және жетілдірілген алгоритмдер ауылдық елді мекендерде кіші өндірістер үшін тиімді жел энергетикалық қондырғысын (ЖЭҚ) жобалау мен құруға негіз бола алады.

## ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Харламова Т. Е. История науки и техники. Электроэнергетика. Учеб. пособие. – СПб.: СЗТУ, 2006. – 126 с.
2. Киреева Э. А., Быстрицкий Г. Ф. Справочник энергетика предприятий, учреждений и организаций. – 2-е изд, перераб. И доп. – М.: Колос, 2010. – 804 с.
3. Сокольский А. К. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Учеб. пособие. – М.: РГОТУПС, 2006, - 104 с.
4. Голицын М. В., Голицын А. М., Пронина Н. В. Альтернативные энергоносители. – М.: Наука, 2004. – 159 с.
5. Лосюк Ю. А., Кузьмич В. В. Нетрадиционные источники энергии: Учеб. пособие. – Мн.: УП «Технопринт», 2005. – 234 с.
6. Гали К. За возобновляемую энергетику // Энергетика и коммунальное хозяйство Республики Казахстан. – 2011. № 3 (3). – 50-51.
7. Алияров Б.К. Сараптамалық зерттеу «Қазақстан: Энергетиканың энергетикалық қауіпсіздігі, энергетикалық тәуелсіздігі мен тұрақтылығы. Жағдайы мен мүмкіндіктері», Энергетикалық зерттеулер институты, Алматы, 2009, 370 б.
8. Рустамов Н.Т., Конусов Б.Р., Рустамов Е.Н. Қуаттың гибридік қайнар көзін құру. // Қ.А.Ясауи атындағы ХҚТУ Хабаршы, № 1(81), 2013, 69-72 б.
9. Городов Р. В., Губин В. Е., Матвеев А. С. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: учебное пособие. – 1-е изд. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. 294 с.
10. Тастенов А. Сила ветра и солнца: новые перспективы // KAZENERGY. – 2013. № 06 (61). – 62-63.
11. Рустамов Н.Т., Қуатбеков Б.Н., Конусов Б.Р. Жел қондырғының жұмыс істеу принципі және жел доңғалағы қалақшаларының өлшемін анықтаудың қайта есептеу әдісі // Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университетінің хабаршысы, №1(45), 2014, 121-128 б. («Физика-математика ғылымдары» сериясы).
12. Интернет ресурс [www.electroveter.ru](http://www.electroveter.ru)
13. Четовникова Л. М. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии: учебное пособие. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2010. 69 с.
14. Основы расчета и конструирования деталей летательных аппаратов. Под ред. Кестельмана В.Н. «Высшая школа», Москва 1989 год.
15. Аэродинамических характеристик крыловых профилей. Автор С.Т.Кашафутдинов, В.Н.Лушин. Москва-1994г.
16. Чернавский С.А. и др. «Проектирование механических передач». Учебно-справочное пособие, «Машиностроение», г.Москва 1984 год.
17. Германович В., Турилин А. Альтернативные источники энергии. Практические конструкции по использованию энергии ветра, солнца, воды, земли биомассы. – СПб.: Наука и техника. 2011. – 320 с.



18. Возобновляемые источники энергии для малых крестьянских хозяйств / Дауменов Т. Д., Карсыбаев М. Ш., Мукажанов В. Н. // Вестник Алматинского института энергетике и связи. – 2008. №1 (1). – 48-52.
19. Писаренко Г.С., Агарев В.А. и др. «Сопротивления материалов», г. Киев 1986 год.
20. Ануриев В.И., «Справочник конструктора-машиностроителя», «Машиностроение», г. Москва 2001 год.
21. Проектирование конструкций самолетов. Автор Е.С.Войт и другие. Москва-1987г.
22. Беляев В.Н. и др. «Краткий курс машиностроение», г. Москва 1966 год.
23. Сопротивление материалов. Автор С.Хасанов, Набиев. Ташкент-2005г.
24. Кудрявцев В.Н. и др. «Курсовое проектирование деталей машин», г. Ленинград 1984 год.
25. Профили пресованный . Нормали мипистриства АН-1089. 1962г.
26. Павлович С. Н., Фираго Б. И. Ремонт и обслуживание электрооборудования: учеб. пособие. – 4-е изд. – Минск: Выш. шк., 2009. – 245 с.: ил.
27. Белей В. Ф. Ветроэнергетические установжи: тенденции развития, проблемы подключения и эксплуатации в составе электроэнергетических систем // Малая энергетика. – 2005. № 1-2 (2-3). – 67-70.
28. Тлеуов А. Х. Нетрадиционные источники энергии: Учеб. пособие. – Астана: Фолиант, 2009. – 248 с.
29. Данилов О. Л., Костюченко П. А. Практическое пособие по выбору и разработке энергосберегающих проектов. – М.: ЗАО «Технопромстрой», 2006. – 668 с.
30. Сибикин Ю. Д., Сибикин М. Ю. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии. Учебное издание. – М.: ИП РадиоСофт, 2008. – 228 с.: ил.
31. [www.electroveter.ru](http://www.electroveter.ru)
32. Янсон Р. А. Ветроустановжи: Учеб. Пособие по курсам «Ветроэнергетика», «Энергетика нетрадиционных и возобновляемых источников энергии», «Введение в специальность» / Под. Ред. М. И. Осипова. – М.: Изд-во МГТУ им Н. Э. Баумана, 2007. – 36 с.: ил.
33. Лукьянов М. М., Коношенко А. В. Проектирование электроустановок: учеб. пособие. – Челябинск: Книга, 2008. – 448 с., ил. – (Серия «Электроэнергетика, электрика, подготовка персонала»).
34. Гейтенко Е. Н. Источники вторичного электропитания. Схемотехника и расчет. Учебное пособие. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2008. – 448 с. (Серия – «Библиотека инженера»).
35. Куценко Г. Ф. Монтаж, эксплуатация и ремонт электроустановок: практическое пособие. – Мн.: Дизайн ПРО, 2006. 472 с., ил.
36. Браун М. Источники питания. Расчет и конструирование.: Пер. с англ. – К.: «МК-Пресс», 2007. – 288 с., ил.

37. Кошелев П. А., Парамонов С. В. Инженерные методы расчета систем электропитания: Методические указания к лабораторным работам. – СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2007. 28 с.
38. Серебряков А. С. Электротехническое материаловедение. Электроизоляционные материалы: Учебное пособие для вузов ж.-д. Транспорта. – М.: Маршрут, 2005. – 280 с.
39. Харитонов В. Автономные ветроэлектрические установочи. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2006. – 280 с.
40. Кашкаров А. П. Ветрогенераторы, солнечные батареи и другие полезные конструкции. – М.: ДМК Пресс, 2011. – 144 с.
41. Будзко И. А., Лещинская Т. Б., Сукманов В. И. Электроснабжение сельского хозяйства. – М.: Колос, 2000. – 536 с., ил.
42. Аполлонский С. М., Куклев Ю. В. Надежность и эффективность электрических аппаратов: Учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2011. – 448 с.: ил. – (Учебник для вузов. Специальная литература).
43. Неисчерпаемая энергия. Кн. 1. Ветроэлектрогенераторы / В. С. Кривцов, А. М. Олейников, А. И. Яковлев. – Учебник. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. Авиаци. Ин-т», Севастополь: Севаст. нац. техн. ун-т, 2003. – 400 с.
44. Жел қондырғының жұмыс істеу принципі және жел доңғалағы қалақшаларының өлшемін анықтаудың қайта есептеу әдісі // Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университетінің хабаршысы. – 2014. - №1(45). 121 – 128. («Физика-математика ғылымдары» сериясы).
45. Пугач Л. И., Серант Ф. А., Серант Д. Ф. Нетрадиционная энергетика – возобновляемые источники, использование биомассы, термохимическая подготовка, экологическая безопасность: учеб. пособие. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2006. – 347 с.
46. Неисчерпаемая энергия. Кн. 2. Ветроэнергетика / В. С. Кривцов, А. М. Олейников, А. И. Яковлев. – Учебник. – Харьков: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. Авиаци. Ин-т», Севастополь: Севаст. нац. техн. ун-т, 2004. – 519 с.
47. Лабейш В. Г. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии: Учеб. пособие. – СПб.: СЗТУ, 2003. – 79 с.
48. Кундас С. П., Позняк С. С., Шенец Л. В. Возобновляемые источники энергии: монография. – Минск: МГЭУ им. А. Д. Сахарова, 2009. 315 с.
49. Шишкин Н. Д. Малые энергоэкономичные комплексы с возобновляемыми источниками энергии. – М.: Готика, 2000. 236 с.: ил.
50. Евдокимов Ф. Е. Теоретические основы электротехники: Учеб. для студ. Образоват. Учреждений сред. Проф. Образования. – 9-е изд., стереотип. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. 560 с.
51. Дорошин Г. Перспективы развития ветроэнергетики в Казахстане // Энергетика и коммунальное хозяйство Республики Казахстан. – 2011. № 5 (5). – 80-83.