

ЭОЖ 621.548

Кошумбаев М.Б.¹, Туралина Д.Е., Толеуханова А.Б.*

¹ Академик Ш.Ш. Шокин атындағы КазГЗЭ институты Акционерлік қоғамы,
Қазақстан Республикасы, Алматы қ.
Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.
*E-mail: arai777.91@mail.ru

Бағыттаушы аппараты бар желэнергетикалық қондырғысының жаңа конструкциясын жасау бойынша теориялық және тәжірибелік зерттеулер

Бұл мақалада бағыттаушы аппараты бар желэнергетикалық қондырғысының жаңа тиімді конструкциясын жасау үшін жүргізілген теориялық және тәжірибелік зерттеулер нәтижелері баяндалады. Теориялық және тәжірибелік зерттеулер жүргізудің мақсаты жел энергетикалық қондырғысының пайдалы әсер коэффициентін арттыру болып табылады. Электрмен қамту аясынан тыс жерлердегі шалғайелді мекендерді электр энергиясымен қамту мақсатында тиімді жел энергетикасы қондырғысын (ЖЭҚ) жасау бүгінгі күннің өзекті мәселелерінің бірі болып табылады. Осы мәселенің шешімін табу мақсатында бағыттаушы аппараты бар құйынды желэнергетикалық қондырғысының жаңа конструкциялары ұсынылды. ұсынылған ЖЭҚ-ның жұмыс сызбалары мен модельдері (макеттері) жасалып, зертханалық жағдайда әр түрлі модельдерде тәжірибелік зерттеулер жүргізілді. Зерттеу нәтижесінде ең тиімді моделі (макеті) таңдап алынып, сол моделі толықтай зерттелді. Құйынды жел қондырғысының аэродинамикалық параметрлері зерттелді. Ауа қалақшаларды әр түрлі жылдамдықтармен ағып өткен кездегі сәйкес ротордың айналу саны анықталды. Тәжірибе барысында қондырғының жоғарғы бөлігіндегі тік орналасқан цилиндр тәріздес құбырдың маңыздылығы айқындалды. Сонымен қатар ауа қозғалысы бірнеше бағыттаушы каналдарға бағытталған кезде желдөңгелегінің айналу көрсеткішінің артатыны байқалды.

Жел қондырғысының моделі COMSOL Multiphysics бағдарламасында салынып, сандық түрде де зерттелді. Осы бағдарламада геометриялық моделі құрылды. Құрылған моделді ауамен ағып өткен кездегі бағыттаушы қабырғаларына түсетін қысыммен жылдамдықтың өзгерісі анықталды. Бағыттаушы қабырғалардың тік және қисық пішіндері қарастырылып, осы екі түрлі жағдайда жүргізілген зерттеу нәтижелері салыстырылды.

Түйін сөздер: жел энергетикалық қондырғысы, құйынды жел энергетикалық қондырғысы энергетикалық потенциал, бағыттаушы аппараттар, COMSOL Multiphysics бағдарламасы, жел генераторы.

Koshumbaev M.B., Turalina D.E., Toleukhanova A.B.

Theoretical and experimental research to develop of a new wind turbine construction with directing device Annotation

This article presents the results of theoretical and experimental studies on the development of a new design of the wind-powered assembly with a guiding vane. The object of the theoretical and experimental research is to improve the efficiency of wind turbines. One of the urgent problems is development of new useful windmill (wind turbine) to provide electricity to remotely located villages, with limited accesses to electrical power. To address this issue, new models of vortex wind generators, with guiding vanes, were presented. Also, drawings and models of vortex wind generators were developed, and laboratory experiments were conducted on different models. As a result, of the research, the most optimal model has been chosen and was fully investigated.

Aerodynamic parameters of the vortex wind generator were studied. The corresponding number of revolutions of rotor blades in wind flow were acquired. In the study, the need for vertical arrangement for upper cylindrical pipe was identified. Moreover, it was observed that directing wind into multiple guiding channels, increases the rpm.

Model of the assembly was built and numerically studied in the COMSOL Multiphysics software. The same program was used to built geometric model. Change of velocity and pressure acting on the guide wall when wind flow around a constructed model were determined as well. Curved and rectilinear forms of the guiding walls were considered, and results of research in these two cases were compared.

Key words: wind power turbine, whirling wind power turbine, energy potential, guide vanes, the program COMSOL Multiphysics, wind generator.

Кошумбаев М.Б., Туралина Д.Е., Толеуханова А.Б.

Теоретические и экспериментальные исследования по разработке новой конструкции ветроэнергетической установки с направляющим аппаратом

В данной статье представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований по разработке новой полезной конструкции ветроэнергетической установки с направляющим аппаратом. Целью проведения теоретических и экспериментальных исследований является повышение коэффициента полезного действия ветроэнергетической установки. Одной из актуальных проблем на сегодня является разработка новой полезной ветроэнергетической установки (ВЭУ) с целью обеспечить населенные пункты электроэнергией в местах отдаленных от электричества. Для решения этой проблемы были представлены новые модели вихревой ветроэнергетической установки с направляющими аппаратами. Были разработаны рабочие чертежи и модели (макеты) представленной ВЭУ, и в лабораторных условиях проведены экспериментальные исследования на различных моделях. В результате исследований была выбрана самая оптимальная модель (макет) которая была полностью исследована. Были изучены аэродинамические параметры вихревой ветроустановки. Получены соответствующие числа оборотов ротора при обтекании ветром лопаток. При исследовании была выявлена необходимость установки верхней трубы в виде цилиндра, которая расположена вертикально. К тому же, было замечено что при направлении ветра на несколько направляющих каналов, показатель оборотов ветроколеса увеличивается.

Модель ветроэнергетической установки была построена и численно исследована в программе COMSOL Multiphysics. В этой же программе была построена геометрическая модель. Так же определены изменения скорости и давления действующие на направляющие стенки при обтеканий ветром построенной модели. Были рассмотрены криволинейные и прямолинейные виды направляющих стенок, и были сопоставлены результаты исследования в этих двух случаях.

Ключевые слова: ветроэнергетическая установка, вихревая ветроэнергетическая установка, энергетический потенциал, направляющие аппараты, программа COMSOL Multiphysics, ветрогенератор.

Кіріспе

Қазіргі шақта Қазақстан - мұнай, газ, уранға бай қоймаларын иемденуші мемлекеттердің бірі бола тұра, жанармайды қарқынды түрде қолдану, оның тек таусылып қана қоймай, адамзат пен қоршаған ортаға үлкен зиян келтіретінін толық меңгерген ел. Алайда, қазіргі кезде әлемде минералды жанармайдың жетіспеушілік проблемасы орын тепті. Мұнай шығаруының төмендеп, оның бағасының біртіндеп артуы жайын есепке алғанда, жақын болашақта Жер тұрғындарының жапшай энергияның альтернативті түріне көшетіні анық. Мұнайды өңдеу көп мөлшерде зиян газдардың атмосфера қабатына бөлетінін, жалпы ғаламшардағы тіршілікке зиян тигізетінін атап өткен жөн. Энергетика және экология проблемаларының аса зор маңызын ескере отырып, Қазақстан

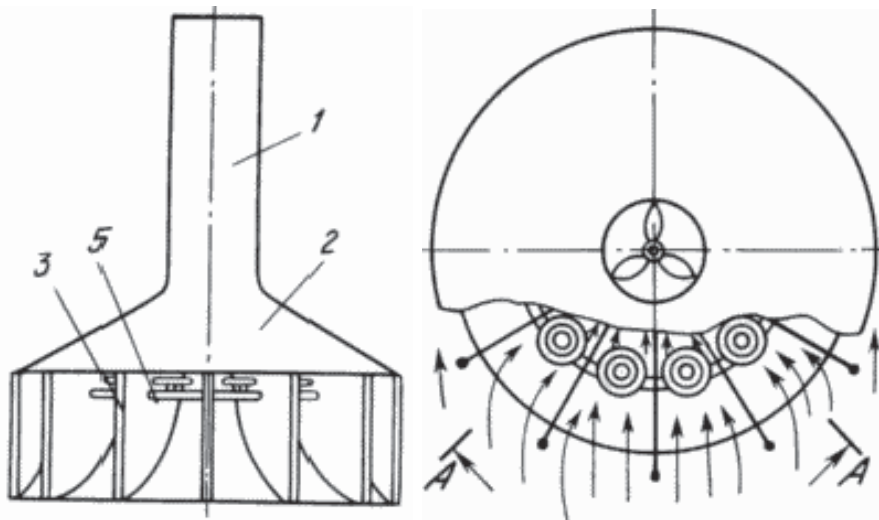
Республикасы әлемдік қоғамдастыққа EXPO-2017 көрмесін өткізу барысында "Болашақ энергиясы" атты тақырыпты ұсынды. Аталған тақырып қазіргі кезде адамзат үшін өзекті мәселеге айналып бара жатқан энергиясақтау проблемасын және альтернативті энергия, яғни күн энергиясы, жел, теңіз, мұхит және термалды су энергия көздерін енгізу тәсілдерін ашып көрсетуге мүмкіндік берері сөзсіз.

Қазақстанның ескірген энергетикалық өндіріс инфрақұрылымы және электр жабдықтау сапасы мен сенімділігін қолайлы деңгейде ұстап тұру үшін оны ауыстыру қажеттілігі жел энергиясын пайдалану және дамыту үшін үлкен мүмкіндік болып табылады [1].

Қазіргі таңда күн, жел немесе басқа энергия көздерін пайдалану жылдан жылға арта түсуде. Алайда, он жылдан астам дамып жатқан желді мотор теориясы әлі аяқталуынан алыс. Және айта кетерлік бір мәселе желді агрегаттардың аэродинамикалық есептеулері дәл анықталмауда.

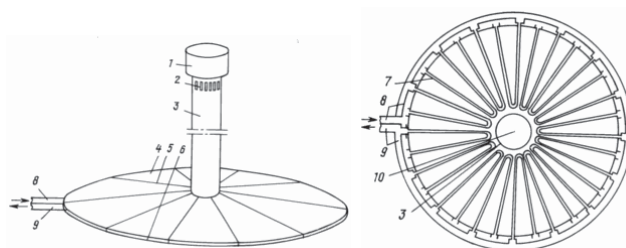
Жиырмамыншы ғасырдың соңғы ширегінде жел қондырғыларының аэродинамикалық мәселелері бірталай басылымдарда көрсетіліп айтылды [2, 3].

Сорғыш құбыр, беті ойыс конус, жел доңғалағы, генератор, аккумулятордан тұратын және түрі шатырға ұқсас ауа ағынын реттегіштерден тұратын жел электр станциясы (ЖЭС) белгілі [4]. Бұл қондырғыда (1-сурет) конус пен шатыр тарылатын әуе арналарын құрайды, олар өзара вертикаль қоршаулармен байланысады, оның кең бөлігі - ауа ағыны кіру үшін, ал тар бөлігі - жылдамдатылған ағынды тік сорғыш құбырға бағытталады, бұл құбырда вертикальді валда орналасқан жел дөңгелегі бар. ЖЭС кемшіліктеріне аз тиімділік жатады.



1-сурет – ЖЭС құрылғысы (Ресей Федерациясының патенті RU2062353)

Келесі осыған ұқсас ЖЭС (2-сурет) конструкциясында [5] жылулық құраушысы бар, яғни ағын қыздырылып күмбезге жіберіледі. Температура градиенті ауаның қозғалуына, ал ауа ағыны генератор қалақшасының қозғалысына әкеледі. Генератордың вертикальді валындағы құбыр ішінде жел дөңгелегімен бірге қалақшасы орналасқан. Ауа ағысын құйындату үшін құбырдың төменгі бөлігінде бағыттауыш қалақшалары бар.



2-сурет – Жылулық ЖЭС (Ресей Федерациясының патенті RU2070660)

Бізге белгілі осы екі ұқсас конструкциялардың кемшіліктері - пайдалы әсер коэффициентінің (ПӘК-тің) төмен болуында. Себебі ауа ағынының қалақшаның кері жүруіне әсері, тиімділіктің аз болуы, ауа қыздыру үшін арнайы құрылғының қажеттігі, ауа ағысын бұру үшін арнайы жапқыштардың керек болуы мұның бәрі ПӘК-тің төмен болуына әкеліп соғады.

Ұсынылатын шешім

Бұл жұмыста жоғарыда келтірілген ЖЭС-тің [4],[5] конструкцияларына ұқсас, бірақ пайдалы әсер коэффициенті жоғары ЖЭС-тің тиімді нұсқасы ұсынылды (3-5 суреттер). Ұсынылып отырған шешім бойынша концентратордың ішінде шатыр мен конус арасында қисықсызықты бағыттаушы қабырға орналастырылған. Олар қисықсызықты ауа каналын құрайды, ал қисықсызықты қалақшалар генератор осінде бекітілген. Бағыттаушы қабырғалар беті мен жел дөңгелегінің қалақшасы қисықсызықтылығы логарифмдік тәуелділікпен берілген.

Шатыр мен конустан, қалақшасы мен бірге жел дөңгелегінен, вертикалді білігі бар генератордан, сорып алатын түтігі және концентратордан тұратын жел агрегаты ұсынылған. Осы жағдайда концентраторда конус пен шатырды байданыстыратын қисықсызықты бағыттаушы қабырғалар орналасқан. Бұл қабырғалар сорып алатын түтікке тангенциалды бағытталған және қисықсызықты тарылатын ауа каналдарын құрастырады. Жел дөңгелегі генератордың қаптамасы ретінде орналасқан, ал оның сыртында қисықсызықты қалақтар орналасқан және де генератор білігінің бір ұшы конустың ортасында, екінші ұшы сорып алатын түтіктің жоғарғы бөлігіне бекітілген.

Концентратор, сорып алатын түтігі бар шатыр, бет жағы ойыс конус, жел дөңгелек пен генератор, ауа концентраторынан тұратындықтан құрылғының сапалы техникалық нәтижесін көрсетеді.

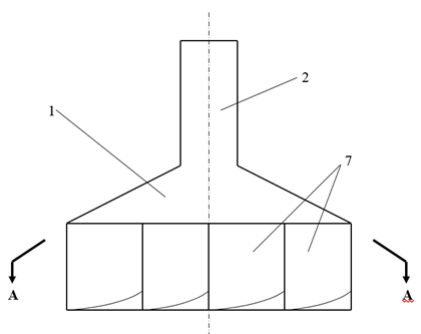
Белгілі құрылғылардан айырмашылығы - конденсатордың ішіндегі шатыр мен конус арасында ауа каналдарын тудыратын қисықсызықты бағыттаушы қабырғалар орнатылғандығы; генератор ішінде жел доңғалақтың центрі бойымен орналасқан қисықсызықты қалақ генератордың бетіне бекітілгендігі; жел доңғалағының бағыттаушы қабырғасы мен қалақтарының қисықсызықтылығы логарифмдік тәуелділікпен берілгендігі.

Ұсынылған шешімнің қысқаша сипаттамасы 3, 4 және 5 суреттегі сызбалармен түсіндіріледі. Бұл суреттерде желқондырғысының конструкциясы көрсетілген. 3 суретте шетінен қарағандағы түрі, 4 суретте қалақтары бар генератор түріндегі жел доңғалағы суреттелген, 5 суретте А-А қимасы көрсетілген.

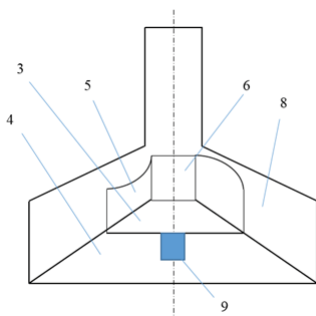
Шатырдың 1 ортасында цилиндрлі құбыр 2 орнатылған. Шатыр конустық негізі бар 4 ағын концентраторын, қисықсызықты тарылатын каналдарды құратын қисықсызықты

қалақтарды 7 жауып тұрады. Жел дөңгелегі коңустық негізге ие 3, оған қисықсызықты қалақшалар 5 бекітілген. Жел дөңгелегінің центрінде цилиндр орналасқан, оған шеткі жүздері иіліп қисықсызықты қалақтар бекітілген. Бағыттаушы қалақшалармен қабырғалардың қисықтығы логарифмдік тәуелділікпен берілген.

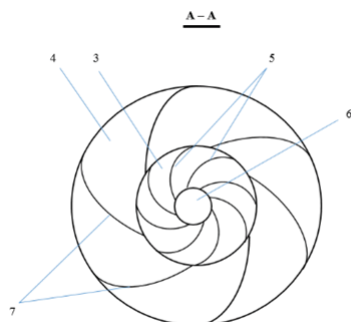
Құрылғы төмендегіше жұмыс істейді. Ауаның ағыны концентраторға түседі және шатыр 1 мен коңустың 4 арасында қисықсызықты бағыттаушы қабырғаларды 7 жағалай қозғалады. Күн энергиясының әсерінен шатыр мен құбыр 2 қызады, сол себепті ауа ағынының температурасы жоғарылайды. Қыздырылған ауа қисықсызықты арна бойымен қозғалады және оның жылдамдығы температураның жоғарылауы мен каналдың кішірейуне байланысты үлкейеді. Ауаның ағыны сорғыш құбырға кіретіндей бағытталған және құбырда құйынды қозғалыс пайда болады. Ауа ағыны қалақтардың біреуіне 5 ғана гидродинамикалық қысым түсіреді, ауаның қозғалысы кері жүрісіне ешқандай әсерін тигізбейді, яғни қалақ кедергіге ұшырамайды.



3-сурет – Желқондырғысының жанынан қарағандағы түрі



4-сурет – Желқондырғысы – вертикальді қимасы



5-сурет – Желқондырғысы - А-А қимасы бойынша қиығы

Генератордың 9 жел дөңгелегінен төмен және онымен бір өсте орналасуы жұмыстың тиімділігін арттырады, сонымен қатар прототиптерімен салыстырғанда конструкцияның ауырлық центрін төмендетуге мүмкіндік береді. Құйынды қозғалыстың энергиясы қисық сызықты қалақтарға 5 беріледі. Қалақтардың қисықсызықтылығының әсерінен ауа ағыны маңдайлап соқпайды. Тіпті концентратор арналарының кіретін саңылауларына, оның бағыты өзгергенде де ауа тасқыны маңдайлап соқпайды. Қалақ айналғанда, айналу моментін генераторға 9 береді, ал генератор механикалық айналу энергиясын электр энергиясына түрлендіреді. Ауаның ағыны концентраторға түсіп қызады және орталыққа спираль бойынша қозғалады. Ауаның спиральдық қозғалысы бағдарлаушы қабырғалар мен қалақтардың кескінімен шартталған. Құйынның бұрыштық жылдамдықтың бағыты қабырғалардың қисықтығына тәуелді. Концентратордың радиусының көбейуімен агрегаттың қуаты да өседі.

Ұсынылып отырған құрылғыда цилиндрдің және желдөңгелегінде конустық негіздің қолданылуы желдөңгелегінің жұмыс істеу тиімділігін және құйынды ағынмен үзіліссіз ағып өтілуін арттырады. Қалақтағы дірілдің жоғалуы, соққы әсерінің жойылуы, желдөңгелегінің шусыз жұмысы, айналу элементтерінің көрінбей орналасуы, генератордың желқондырғысының төменгі жағында орналасуы - оның бәрі ұсынылып отырған қондырғының қосымша артықшылықтарына жатқызуға болады.

Осы келтірілген ерекшеліктерін ескеретін болсақ, ұсынылып отырған ЖЭС қондырғысымен жұмыс істеу сенімді және оны өндіру табысты, ал электр энергиясымен қамту мүмкін емес шалғай аймақтар үшін тиімді болары сөзсіз.

Тәжірибелік зерттеу

Негізінде сызбалар бойынша үш түрлі тәжірибелік модельдер жасалды. Сол модельдерді зерттеу отырып анағұрлым тиімдірек модель толығымен зерттелді. Таңдалған моделдің центрінде цилиндр орналасқан, оған қисықсызықты қалақтары жалғанған конус бекітіледі.

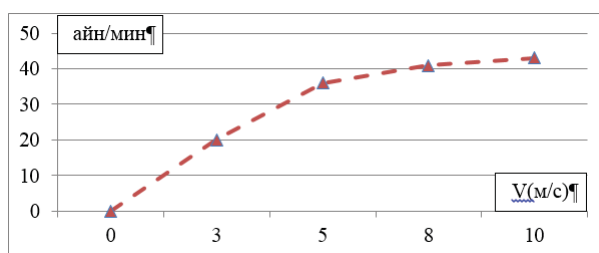
Желтурбинасының әр түрлі өлшемдері зерттеле отырып келесі өлшемдер таңдалды: концентратордың диаметрі 1000 мм және биіктігі 2000 мм, конустың биіктігі 1000 мм, желдөңгелегінің диаметрі 1072 мм, цилиндр тектес құбыр биіктігі 2000 мм және диаметрі 500 мм.

Желдөңгелегінің металдан жасалған негізі бар, оның центріне вертикальді өсі бойынша металдан жасалған құбыр орнатылған, ол центрдегі білікпен екі мойынтірек арқылы бекітілген.

Құйынды желқондырғының аэродинамикалық параметрлерін зерттеу зертханалық жағдайда әр түрлі модельдерде жүргізілді. Тәжірибе жүргізу үшін қондырғы концентраторының бетіне жел бағыттайтын арнайы құрылғы құрылды. Зерттеу желдөңгелегінің айналуы бағытталған жел жылдамдығынан қаншалықты тәуелді екенің бақылау мақсатымен жүргізілді. Желқондырғысының тиімді жұмыс жасауын анықтау үшін келесі жұмыстар жасалды:

- Концентраторға жел бірнеше қашықтықтан бағытталды
- Тәжірибе жоғарғы құбырмен және құбырсыз жасалды Жылдамдықтар арнайы заводтық құрылғылардың көмегімен өлшенді: CALDWELLWINDMETER құрылғысы; қол анемометрі LaCrosse WS9500; АНЕМОМЕТР UNI-T UT361 құрылғысы.

Бірінші жүргізілген кезді желдөңгелегі желдің 36 м/с жылдамдығы кезінде ақырындап айнала бастады. Шамамен бес минут өткеннен кейін осы жылдамдықта 20 айн/мин дейін жетті. Жел жылдамдығын 5 м/с арттырған кезде 36 айн/мин дейін өзгерді. Ағын жылдамдығы 8 м/с кезінде айналымдар 41 айн/мин көрсетті. Ал жылдамдықты 10 м/с арттырған кезде айналым саны айтарлықтай өзгермеді. Бұл құбылыстар 6-шы суретте көрсетілген.



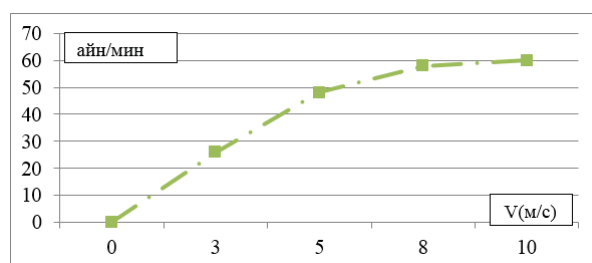
6-сурет – Айналу айналымдарының жел жылдамдығынан тәуелділігі

Концентратордың өзге де бөліктеріндегі ауа шығынының таралуын анықтау үшін концентратордың бүкіл периметрі бойымен жылдамдықтар өлшенді. Қисықсызықты каналдардағы жылдамдықтарды зерттеу кезінде ішке қарай бағытталған 1,2 м/с жылдамдық ағыны байқалды. Яғни концентратордың өзге бөліктерінде ішке қарай бағытталған ауа ағындары пайда болды. Бұл алынған зерттеу нәтижелері жоғарғы құбыр әсерінен ағынның жоғары ішке қарай тартылатын болжамды растады.

Желдөңгелегі айналған кезде әр түрлі жылдамдықтар бағытталса да бөгде дыбыстармен шулардың орын алуы байқалмады. Құйынды желқондырғысының қоршаған ортаға әсері сезілмеді.

Концентраторға жел бағытталуын тоқтатқан жағдайда желдөңгелегі 5-6 минут уақытында айналуын тоқтатпады. Бұл желдөңгелегінің коңустық негізі маховик болғандықтан желдөңгелегінің қосымша инерциясы пайда болатынын көрсетеді.

Желдөңгелегінің конструкциясының қаттылығы оның тұрақты айналуын қамтамасыздандырады және оған түсірілетін артық жүктеулерді жояды. Тәжірибелік зерттеулер көрсеткендей ауа ағынының желдөңгелегінің қпалақшаларына біркелкі емес берілуі оның қондырғының тұрақсыз режиміне әкеп соқпайды және де ауа ағынын концентратордың екі каналына бағыттаған жағдайда желдөңгелегінің айналу айналымы біржарым есе артады (7-сурет).



7-сурет – Жел дөңгелегінің жел жылдамдығынан тәуелді айналуы (2 каналға жел бағытталғанда)

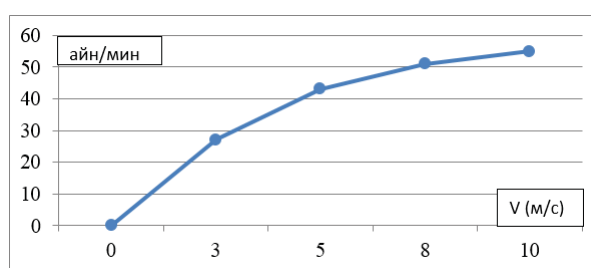
Жоғарғы құбырдың желтурбинасының жұмысына әсерін тексеру үшін қондырғыда жоғарғы құбырсыз тәжірибелер жүргізілді. Тәжірибе желдөңгелегінің бағытталған ауа

жылдамдығынан тәуелді айналуын зерттеу үшін бағытталды. Бұл кезде ауа ағыны концентратордың екі каналына бағытталды.

Алдыңғы жағдайдағыдай бағытталған жел жылдамдығының өзгерісі және желтурби-насының айналымы бекітіліп отырды.

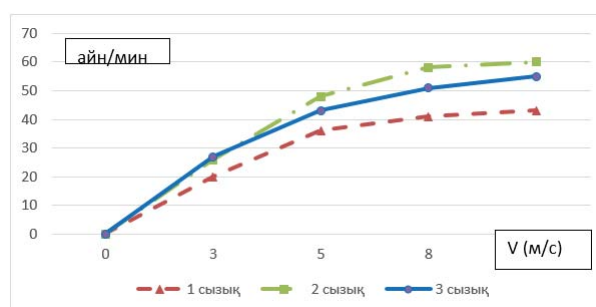
Ауа ағынының 3 м/с жылдамдығы кезінде желдөңгелегі минутына 27 айналым жасады. Ал ауа ағыны 5 м/с жылдамдықпен бағытталғанда желдөңгелегі 3 минут ішінде айналымы 43 айн/мин жетті. Жел жылдамдығы 8 м/с кезінде 52 айн/мин болса, жел жылдамдығы 10 м/с кезінде 55 айн/мин көрсетті. Бұл алынған нәтижелер 6-суретте көрсетілген.

8-суреттен көріп тұрғанымыздай жалпы көрінісісақталады, алайда желтурби-насындағы айналымдар саны 13-22 пайыз төмендейді. Бұл конструкцияның жоғарғы бөлігіндегі құбыр маңызды рөл атқаратынын және центрдегі өсі бойымен тұрақты құйынды қозғалыс туындайтынын көрсетеді.



8-сурет – Жел дөңгелегінің жел жылдамдығынан тәуелді айналуы (екі каналға жел бағытталғанда және жоғарғы цилиндрсіз)

Құйынды желқондырғысының жұмыс істеу тиімділігін бағалау үшін үш тәуелділікті бір графикте көрсетейік (9-сурет).



9-сурет – Жел дөңгелегінің жел жылдамдығынан тәуелді айналуы (үш жағдай)

1 сызық – жел дөңгелегінің жел жылдамдығынан тәуелді айналуы (бір каналға жел бағытталғанда); 2 сызық – жел дөңгелегінің жел жылдамдығынан тәуелді айналуы (екі каналға жел бағытталғанда); 3 сызық – жел дөңгелегінің жел жылдамдығынан тәуелді айналуы (екі каналға жел бағытталғанда және жоғарғы цилиндрсіз)

Сандық әдіспен зерттеу нәтижелері

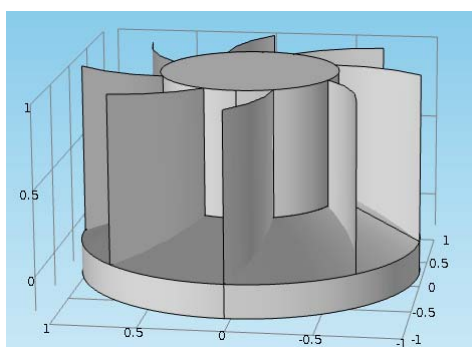
Есептің қойылымы

Қарастырылып отырған орта үш өлшемді кеңістік. Жел энергетикалық қондырғысын ағып өтетін сығылатын газдың (ауаның) стационарлы қозғалысы қарастырылады.

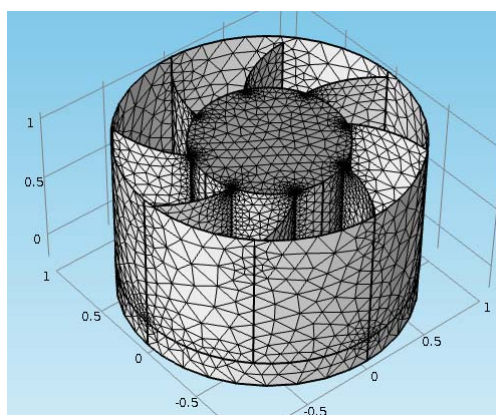
Есепті шығару барысында қондырғының бағыттаушы аппараттарына түсірілетін қысым мен бағыттаушы қабырғалар арқылы өтетін ауа жылдамдығының өзгерісі зерттеледі. Бағыттаушы қабырғалардың тік және қисық сызықты түрлері қарастырылады. Есеп жел жылдамдығының кең диапазонында жүргізіледі.

Геометриялық моделі

Мысал ретінде 10-суретте қисық сызықты бағыттаушы қабырғаларының құрылған геометриялық моделі көрсетілген. 11-суретте геометриялық модельге сәйкес құрылған тор (сетка) көрсетілген.



10-сурет – ЖЭҚ геометриялық моделі



11-сурет – Геометриялық модельге құрылған тор

Математикалық моделі

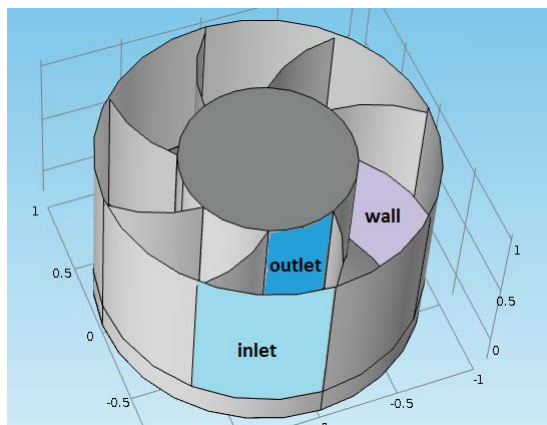
Қарастырып отырған орта сығылатын болғандықтан жалпы массаның сақталу заңы мен қозғалыс теңдеуі келесі түрде жазылады

$$\rho(\mathbf{u} \cdot \nabla)\mathbf{u} = \nabla \cdot [-\rho + \mu(\nabla\mathbf{u} + (\nabla\mathbf{u})^T) - \frac{2}{3}\nabla(\nabla \cdot \mathbf{u})] + \mathbf{F}$$

$$\nabla \cdot (\rho\mathbf{u}) = 0$$

Шекаралық шарттар

12 – суретте шекаралық шарттар бейне түрінде көрсетілген.



12-сурет – Берілген геометриялық модельдің шекаралық шарттары бейне түрінде

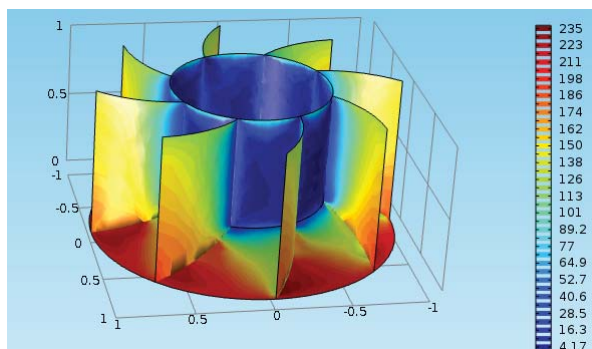
Inlet: $u = u_0 \quad v = v_0 \quad p = p_0$

Outlet: $[-p\mathbf{I} + \mu(\nabla\mathbf{u} + (\nabla\mathbf{u})^T)]\mathbf{n} = -\hat{p}_0\mathbf{n}, \hat{p}_0 \leq p_0$

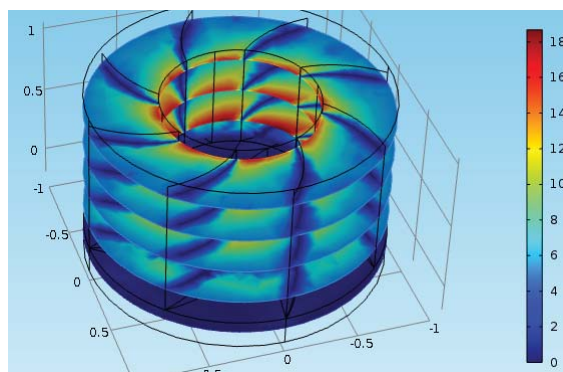
Wall: $u = 0 \quad v = 0 \quad p = 1[atm]$

COMSOL Multiphysics бағдарламасының көмегімен алынған нәтижелер

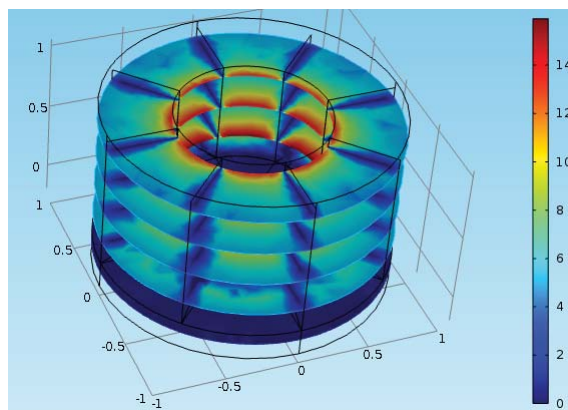
Желэнергетикалық қондырғыны желмен ағып өткен кездегі бағыттаушы қабырғаларға түскен қысымның таралуы және осы қабырғалар арасындағы жылдамдықтың өзгерісі сандық әдіспен зерттелді. Бағыттаушы қабырғалар арқылы жел қондырғысының ортасында орналасқан айналатын қалақшаларға келіп жететін ауа жылдамдығы анықталды. Бағыттаушы қабырғалардың тік және қисық сызықты түрлері қарастырылды. Мысал ретінде 13-суретте желэнергетикалық қондырғысын желмен ағып өткен кездегі бағыттаушы қабырғаларға түскен қысымның таралуы келтірілсе, 14-15 суреттерде сәйкесінше желэнергетикалық қондырғыны желмен бірдей жылдамдықпен ағып өткен кездегі қисықсызықты және тік бағыттаушы қабырғалар арасындағы жел жылдамдығының өзгерісі келтірілген. Көріп отырғандай, түзу қабырғалар арқылы өткен ауа жылдамдығымен салыстырғанда қисық қабырғалар арқылы өткен ауаның жылдамдығы көбірек болып тұр. Яғни айналатын қалақшаларға келіп жететін ауа жылдамдығы қисық қабырғалар арқылы өткен жағдайда көп болатынын көрсетеді. Есептеулер бастапқы жел жылдамдығының бірнеше мәндерінде (3м/сек пен 8м/сек аралығында) тік қабырға үшін де, қисық қабырға үшін де есептелінді. Есептеу нәтижелері 16- суретте график түрінде кескінделген. Осы графиктерден көргеніміздей, желдің бастапқы жылдамдығы артқан сайын айналатын қалақшаларға келіп жететін ауа жылдамдығының артатынын байқалады. Бұл графикте нәтижелер бағыттаушы қабырғалардың екі түріне, 1-сызық - қисық сызықты қабырғаға, 2-ші сызық тік қабырғаға қатысты салыстырылған. Бұл графиктен де қисық сызықты қабырға арқылы өтіп айналатын қалақшаларға келіп жететін ауаның жылдамдығы артатыны байқалады.



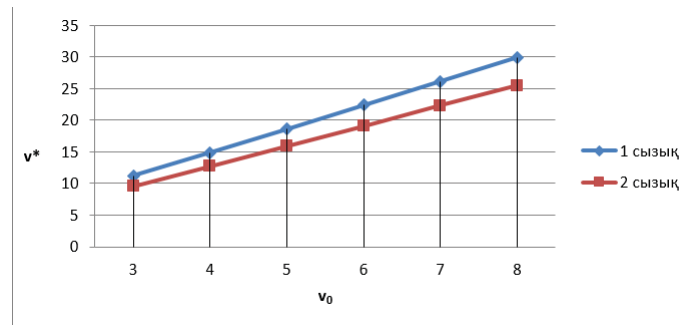
13-сурет – Желэнергетикалық қондырғыны желмен ағып өткен кездегі бағыттаушы қабырғаларға түскен қысымның таралуы



14-сурет – Желэнергетикалық қондырғыны желмен ағып өткен кездегі қысықсыздықты бағыттаушы қабырғалар арасындағы жел жылдамдығының өзгерісі



15-сурет – Желэнергетикалық қондырғыны желмен ағып өткен кездегі тік бағыттаушы қабырғаларының арасынан өтетін жел жылдамдығының өзгерісі



16-сурет – Бағыттаушы қабырғалар арқылы жел қондырғысының ортасында орналасқан айналатын қалақшаларға келіп жететін ауа жылдамдығының бастапқы жел жылдамдығына тәуелділігі: 1 сызық – қисықсызқты бағыттаушы қабырғалар жағдайында; 2 сызық – тік бағыттаушы қабырғалар жағдайында.

Қорытынды

Бұл мақалада бағыттаушы аппараты бар желэнергетикалық қондырғының ПӘК арттыру мақсатында теориялық және тәжірибелік зерттеулер жүргізілді. Теориялық зерттеулер нәтижелері бойынша әр бөлігінің эскизі және желқондырғысының конструкциясы құрылды. Осы эскиздер негізінде тәжірибелік зерттеулер жүргізуге арналған модельдердің сызбасы жасалды. Үш тәжірибелік моделдерде тәжірибе жүргізіліп, негізгі жұмыс моделі таңдалды. Сызбалар бойынша тәжірибелік модель жасалып зерттелді. Желдөңгелегінің бағытталған ауа ағыны жылдамдығынан тәуелді айналу тәуелділігі алынды. Тәжірибе барысында қондырғы конструкциясындағы цилиндрдің маңыздылығы анықталды. Желді бағыттайтын канал саның 2 есе көбейткен сайын жел дөңгелегінің айналуы 1,5 есеге дейін көбейе бастайтыны байқалды. COMSOL Multiphysics бағдарламасында сандық түрде қондырғы зерттелді. Осы бағдарламада геометриялық моделі құрылып, құрылған моделді ауамен ағып өтіп бағыттаушы қабырғаларына түсетін қысыммен жылдамдықтың өзгерісі анықталды. Бағыттаушы қисық қабырғалар бағыттаушы тік қабырғалармен салыстырылды. Салыстыру нәтижесінде қисықсызқты қабырғалардың артықшылықтары байқалды.

Әдебиеттер

- [1] Современное состояние и перспективы развития ветроэнергетики. – М.: АО «Информэнерго», 2000. – 157с.
- [2] Ярас Л., Хоффман Л., Ярас А., Обермайер Г. Энергия ветра. Пер. с англ.-Под ред.Я.И.Шефтера. – М.: Мир, 1982. – 256 с.
- [3] Wilson R.E. Wind turbine aerodynamics// J. of Ind. Aerod. 1980.V.5.P.357-372.
- [4] Фатеев Е.М. Ветро двигатели. – М.: Госэнергоиздат, 1946. – 520 с
- [5] Ветроэнергетика.Руководство по применению ветровых установок малой и средней мощности. М. Интерсоларцентр, 2001, с. 54-55.
- [6] *Перминов Э.М.* Развитие ветроэнергетики в европейских странах //Энергетик. – 2004. – №6. – С.30.
- [7] *Ершина А. К., Ершин Ш. А., Жапбасбаев У. К.* Основы теории ветровые турбины Дарье. Алматы, 2001. - 104 с.
- [8] COMSOL Multiphysics User's Guide May 2012, 1292 p.
- [9] Introduction to COMSOL Multiphysics December 2013, 162 p.
- [10] Specifications brochure GAMESA G90-2.0 MW. February 2007.
- [11] *Per Nielsen.* WindPRO 2.5 User Guide. 1.edition, Jan. 2006.

References

- [1] Sovremennoe sostoynie i perspektiv razvitiy vetroenergetiki – М.: АО «Informenergo», 2000. – 157с.
- [2] *Yras L., Xoffman L., Obermaier G.* Energij vetera. Per. s angl. Pod rec.Y.I.Sheftera. – М.: Mir, 1982. – 256 с.
- [3] *Wilson R.E.* Wind turbine aerodynamics// J. of Ind. Aerod. 1980.V.5.P.357-372.
- [4] *Fateeva E.M.* Vetrodvigatel. – М.: Gosenergoizat, 1946. – 520 с
- [5] *Vetroenergetika.* Rukovotstva po primeneniw vetrovix uctanovok maloi i sernoi moshnosti. М. Intersolarchentr, 2001, с. 54-55.
- [6] *Perminov Э.М.* Razvitie vetroenergetiki v evropeiskix stranax //Energetik. – 2004. – №6. – С.30.
- [7] *Ershina A K., Ershin Ш. А., Japbasbaev У. К.* Osnobi teorii vetrovie turbini Dare.-Almati, 2001. - 104 с.
- [8] COMSOL Multiphysics User's GuideMay 2012, 1292 p.
- [9] Introduction to COMSOL Multiphysics December 2013, 162 p.
- [10] Specifications brochure GAMESA G90-2.0 MW. February 2007.
- [11] *Per Nielsen.* WindPRO 2.5 User Guide. 1.edition, Jan. 2006.