

МЕХАНИЗАЦИЯ И ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА

УДК 621.548

**Әбілдаева С.А., Абдильдин Н.К., Ундирбаев М.С., Альчимбаева А.,
Жумартов М.А., Манатбаев Р.К., Тулепбергенов А.К.**

*Қазақ ұлттық аграрлық университеті,
аль-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті*

ПРОПЕЛЛЕРЛІК ЖЕЛ ТУРБИНАНЫҢ ОРНЫҚСЫЗ ЖҰМЫСЫНЫҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ МОДЕЛІ

Аңдатпа

Мақалада горизонталь айналдыру осі бар екі немесе үш қалақшадан тұратын жел турбинасы қалақтарының жұмыс әдістеріне зерттеу жүргізілген. Жел турбиналары аэродинамикасын теориялық тұрғыдан зерттеуде тоқ түтігінің айналып тұрған жел дөңгелегімен өзара қатынасы белсенді өткізгіш диск ретінде терең қарастырылады.

Кілт сөдер: Жел турбиналары, қалақша, ротор, атмосфералық ауа, жылдамдық, пропеллер.

Кіріспе

«Халық шаруашылығында жаңғырмалы энергия көздерін (гидровикалық энергияны күн, жел, ыстық су кездерінің энергиясын) пайдалану көлемі ұлғайып келеді.

Мемлекетіміздің алға қойып отырған, таусылмайтын жел энергиясы кездерін пайдалану да — бүгінгі күн тақырыбында тұрған басты мәселелердің бірі. Осынау өзекті мәселенің қазір айырықша қолға алынып, өрісінің күн өткен сайын кеңейе түсіп отырғаны да сондықтан.

Ауыл шаруашылығында жоғары еңбек өнімділігіне жету үшін қолда бар барлық мүмкіндіктерді пайдалану, өнімнің сапасын ұдайы жақсарту беру, оның техникалық дәрежесін, беріктігі мен төзімділігін арттыру, негізгі өндірістік қорларды толығырақ пайдалану, халық дәулетін мұқият сақтау, шикізатты, материалдарды, отынды, электр энергиясын ұқыпты жұмсау, үнем тәртібін күшейту қажеттігі атап көрсетілді.

Табиғи энергия көздерінің проблемасын шешу ғылымның және техниканың жетістіктеріне тікелей байланысты. Сондықтан соңғы жылдары елімізде жел мен күн сәулесінің және геотермиялық энергиясын тиімді пайдалану жөніндегі жұмыстар кең өріс алуда.

Материалдар мен әдістер

Горизонталь айналдыру осі бар екі немесе үш қалақшадан тұратын мұнараның басына бекітілген қондырғылар – желқондырғылардың ең көп тараған түрі болып табылады. Горизонталь айналдыру осі бар турбинаның роторының басқарушы білігі де көлденең орналасқан (сурет 1). Ал көп қалақшалардан тұратын горизонталь осі бар моделін монолиттік деп атайды. Бұл қондырғылар төменгі жылдамдықта жұмыс істейтіндіктен, су тарту насосында пайдаланады [1-3].

Қазіргі кезде бүкіл әлемнің дамыған мемлекеттерінде (Англия, Германия, Голландия, Канада, АҚШ және тағы басқалар) қазіргі заманғы жел турбиналарының өндірісі дамыған. Бұл жел турбиналарының жұмысшы қалақшалары ұшақ қанатының профилі типтес, сондықтан жұмысшы қалақшасының профиліндегі көтеру күшінің әсерінен қозғалады (айналады) [4-6].

Зерттеу нәтижелері

Желқондырғылардың қалақшалары ауа массасының қозғалысының әрекетінен айналады. Желтурбинасының қозғалатын бөлігін ротор деп атаймыз. Ротор жел ағының энергиясын көп қамтыса, соғұрлым көп электр энергиясын өндіреді. Ротордың ауданы ротордың диаметрінің ауданының квадратына тура пропорционал [5-8].

Атмосфералық ауа жұмыс қалағына қалақтың қозғалу бағытына қарсы болатын оның сызықты жылдамдығына $\vec{U} = \vec{r}_0 \times \vec{\omega}$ тең болатын жылдамдықпен келеді.

Жылдамдықтар аз болғандықтан (дыбысқа дейінгі), онда турбина кедергісі тудырған қысым жақындай түскен ағымға қарай таралады және жел ағымының еркін қозғалысына кедергі болады.

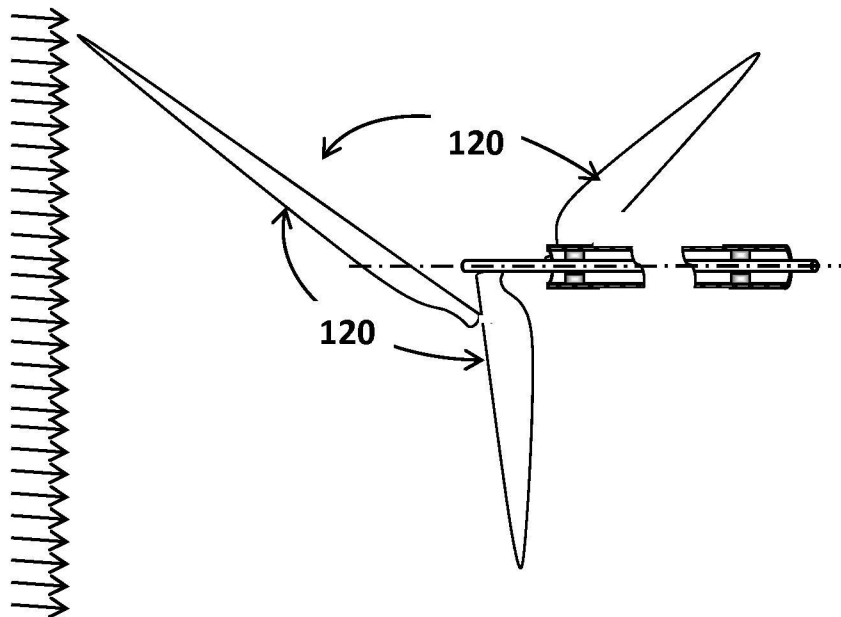
Осының нәтижесінде жел осы бөгетті айнала ағады, ал турбина қалақтарына жел агрегатынан әрі қарай орналасқан шексіздіктегі жел жылдамдығы (V_∞) әсер етпейді, тек соның индуктивті жылдамдық деп аталатын бір бөлігі ғана, яғни турбинаға өзінің энергиясын беретін жылдамдық (\vec{V}) әсер етеді.

Осының нәтижесінде жел осы бөгетті айнала ағады, ал турбина қалақтарына жел агрегатынан әрі қарай орналасқан шексіздіктегі жел жылдамдығы (V_∞) әсер етпейді, тек соның индуктивті жылдамдық деп аталатын бір бөлігі ғана, яғни турбинаға өзінің энергиясын беретін жылдамдық (\vec{V}) әсер етеді.

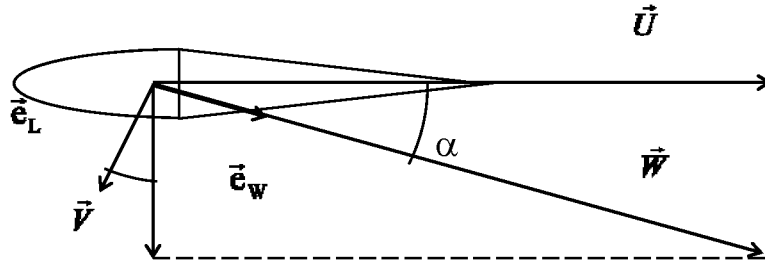
Осылай, шабуыл жылдамдығы векторы желдің индуктивті жылдамдығының векторы мен жұмыс қалағы қозғалысының сызықты жылдамдығы векторларының теріс таңбалы қосындысы ретінде жазылады:

$$\vec{W} = V\vec{e}_1 + (\omega r_0)\vec{e}_e \quad (1)$$

мұндағы, ω – турбина айналуының бұрыштық жылдамдығы, r_0 – пропеллрлік жел турбина қалақшаларының ұзындығы, V – желдің жылдамдығы. Төменде оның мәні қалай анықталатыны көрсетілетін болады.



1-сурет. Жел турбинасы қалақтарының бірінің сағат бағытына қарсы айналуының сызбанұсқасы



2 – сурет. Қанат кескіні

Шабуыл бұрышы келесі формуламен

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{(\vec{W}, \vec{e}_1)}{(\vec{W}, \vec{e}_e)} = \frac{V}{r_0 \omega}$$

немесе

$$\alpha = \operatorname{arctg} \left(\frac{V}{r_0 \omega} \right) \quad (2)$$

Аэродинамикалық күштерді анықтау үшін 2-суреттегідей бірлік векторларды енгіземіз: \vec{e}_w – шабуыл жылдамдығы векторы бойынша және \vec{e}_L – оған перпендикулярлы бағытталған.

$$\begin{aligned} \vec{e}_w &= \vec{e}_e \cos \alpha + \vec{e}_1 \sin \alpha, \\ \vec{e}_L &= \vec{e}_e \sin \alpha - \vec{e}_1 \cos \alpha, \end{aligned}$$

Онда аэродинамикалық күштердің элементарлы құраушыларын келесідей етіп ұсынуға болады:

а) жұмыс қалағы кескінінің көтеру күші

$$\vec{R}_L = C_L(\alpha) \rho \frac{W^2}{2} h dz \vec{e}_L, \quad (3)$$

мұндағы $C_L(\alpha)$ – көтеру күшінің коэффициенті, h – кескін хордасының ұзындығы, dz – биіктік бойынша қалақ элементі, \vec{e}_L – қанаттың көтеру күшінің бағыты бойынша бірлік вектор.

б) кедергі күші

$$\vec{R}_D = C_D(\alpha) \rho \frac{W^2}{2} h dz \vec{e}_w, \quad (4)$$

мұндағы, $C_D(\alpha)$ коэффициенті шабуыл бұрышынан белгілі функция, \vec{e}_w – кедергі күшінің бірлік векторы.

$\theta \in [0, 2\pi]$ өзгеруі кезінде қалақ элементіне dz әсер ететін аэродинамикалық күштердің моменті:

$$dM = r_o \left[(\vec{R}_D, \vec{e}_\theta) + (\vec{R}_L, \vec{e}_\theta) \right] = \rho \frac{W^2}{2} h dz r_o \left[C_D \cos(\alpha) + C_L \sin(\alpha) \right],$$

мұндағы z – ортогоналды координаттар жүйесінің үшінші осі. Н-ротордың жұмыс қалақтары үшінші z осіне параллельді орналасқан.

Жұмыс қалағын элементарлы dx аудандарына бөлеміз, сәйкесінше осы аудан көрініп тұратын бұрыш $d\theta$ келесі шамаға тең болады:

$$dx = r_o \sin \theta d\theta;$$

$$d\theta = -\frac{dx}{r_o \sin \theta},$$

мұнда $d\theta$ – x -тен $(x+dx)$ -ке дейін аралықта қалақ орын ауыстырғанда басып өткендегі Oz осі бойынша элементарлы айналу бұрышы $dx dz$ элементі бір айналымға кетіретін уақыт бөлігі:

$$\begin{aligned} r d\theta &= V d\tau = \frac{2\pi}{T} r_o d\tau, \\ d\theta &= \frac{2\pi}{T}, \quad \frac{d\theta}{T} = \frac{d\theta}{2\pi}. \end{aligned} \quad (5)$$

(5) формулада: T – турбинаның бір толық айналымға кеткен уақыты, $d\tau$ – көлденең қимасы $dx dz$ болатын болатын элементар ауданшадан өту уақыты.

Айналу сәті үшін келесі өрнектерді жазайық

$$M = \frac{N h r_o H}{\pi} \int_0^{2\pi} \rho \frac{W^2}{2} (C_L \sin \alpha - C_D \cos \alpha) d\theta \quad (6)$$

мұнда, N – ротор қалақтарының саны, H – жұмыс қалағының ұзындығы.

Ротордың жел жағынан жеден алынған қуат шамасы келесідей болады:

$$P = M\omega. \quad (7)$$

Ротордың желдік жағынан жел келесі энергиямен келеді:

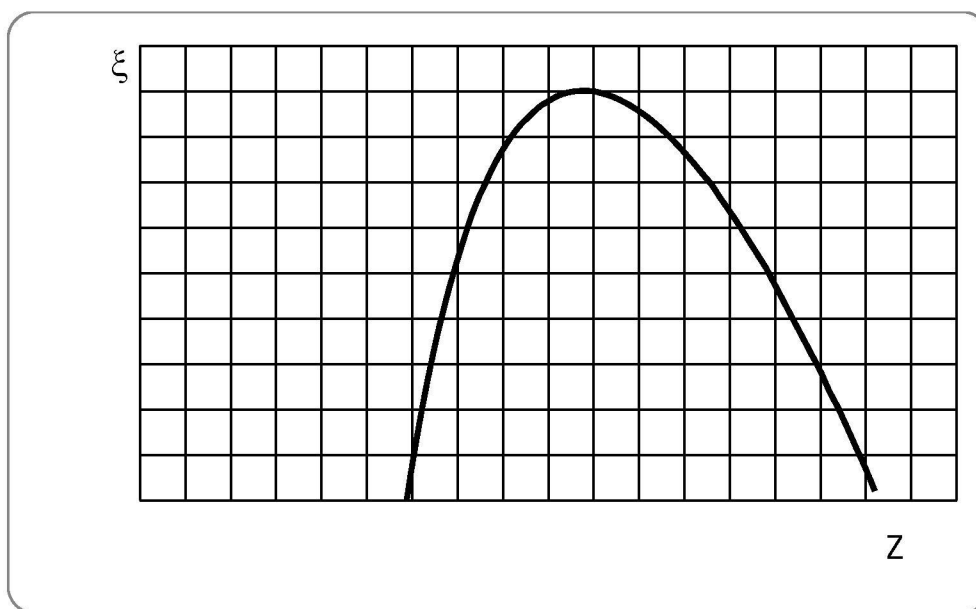
$$N = \rho \frac{V_\infty^3}{2} 2 r_o H. \quad (8)$$

Жоғарыдағы формулалар (1)-(9) компьютерде да есептеліп, төмендегі соңғы қорытқы формуладан жел энергиясын пайдалану коэффициентін есептейміз:

$$\xi = \frac{M\omega}{N}. \quad (9)$$

Дарье жел турбинасы аэродинамикалық параметрлерінің θ бұршынан тәуелділіктерін анықтау үшін түтік теориясының көп түтіктік пішінін қолданып, есептеулер жүргізілген болатын. C++ бағдарламалау тілінде коды құрылып, нәтижелерге қол жеткізілді.

Пропеллердің айналуын теориялық зерттеуді қарастырайық. Жел турбиналары аэродинамикасын теориялық тұрғыдан зерттеуде тоқ түтігінің айналып тұрған жел дөңгелегімен өзара қатынасы белсенді өткізгіш диск ретінде терең қарастырылады. Мұнда барлық негізгі нәтижелер алынды: айналу сәті, машина қуатының жел энергиясымен байланысы, жел энергиясын пайдалану коэффициенті және басқа да сипаттамалар.



3-сурет. Пропеллерлік жел турбинаның жел энергиясын пайдалану коэффициентінің ξ турбина жүрдектік параметрінен Z тәуелділігі

Жел ағымы әсерінен болатын пропеллер роторының бұрыштық жылдамдығын анықтау үшін механикалық жүйенің кинетикалық энергиясының өзгеру теоремасын қолданамыз. Бұл өрнек:

$$\frac{dL_z}{dt} = M_{\text{турб}} + \sum M_i \quad (10)$$

түрінде беріледі, мұндағы L_z – z осіне қатысты білік, серпігіш және жұмыс қалағынан тұратын жел турбинасының кинетикалық энергиясы. $M_{\text{турб}}$ - турбинаның жұмыс қалақшаларына әсер ететін аэродинамикалық күштердің айналу моменті, M_i - түрлі кедергі күштерінің моменті.

Екі түзу қалағы бар Дарье турбинасы үшін

$$I = \frac{2}{3} r_0^2 m_m + r_0^2 m_l + r_b^2 m_b, \quad (11)$$

мұндағы r_0 - айналу осінен қалақтарға дейінгі қашықтық (айналым ұзындығына тең), r_b - электр тогының генераторына айналым беретін білік радиусы, m_m , m_l , m_b - сәйкесінше серпіліс, қалақ, айналу білігінің массалары.

Уақыт айырымы келесідей берілсін:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \frac{d\theta}{dt}, \quad (12)$$

мұндағы $d\theta - dt$ уақыт аралығында z осіне қатысты жұмыс қалағының айналу бұрышына сәйкес келеді; T – турбинаның бір рет айналуына кететін уақыт.

Осыдан

$$dt = \frac{T}{2\pi} d\theta = \frac{1}{\omega} d\theta, \quad (13)$$

(10) формулаға (12)-ды қойып, келесі формуланы аламыз:

$$\omega \frac{dL_z}{d\theta} = M_{\text{турб}} + \sum M_i, \quad (14)$$

Бұл (14) формуланы келесідей түрде жазуға болады:

$$I\omega \frac{d\omega}{d\theta} = M_{\text{турб}} + \sum M_i, \quad (15)$$

(15) формуласын айырымдық түрде жазамыз

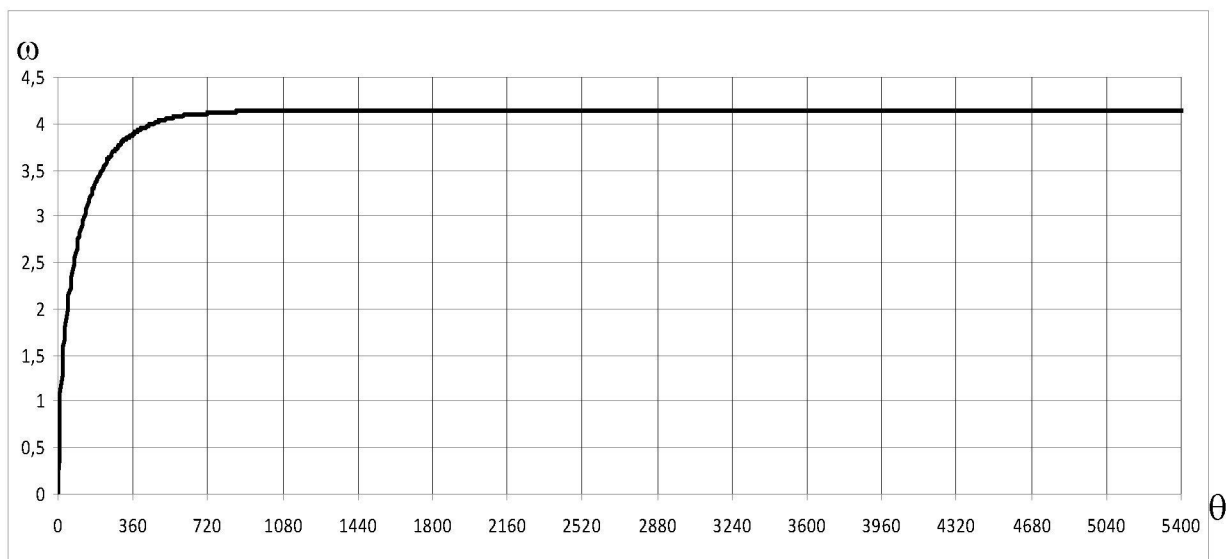
$$I\omega \frac{\omega^{n+1} - \omega^n}{\theta^{n+1} - \theta^n} = M_{\text{турб}} + \sum M_i, \quad (16)$$

мұндағы $M_{\text{турб}} = (R_L \sin \alpha - R_D \cos \alpha)r_o$

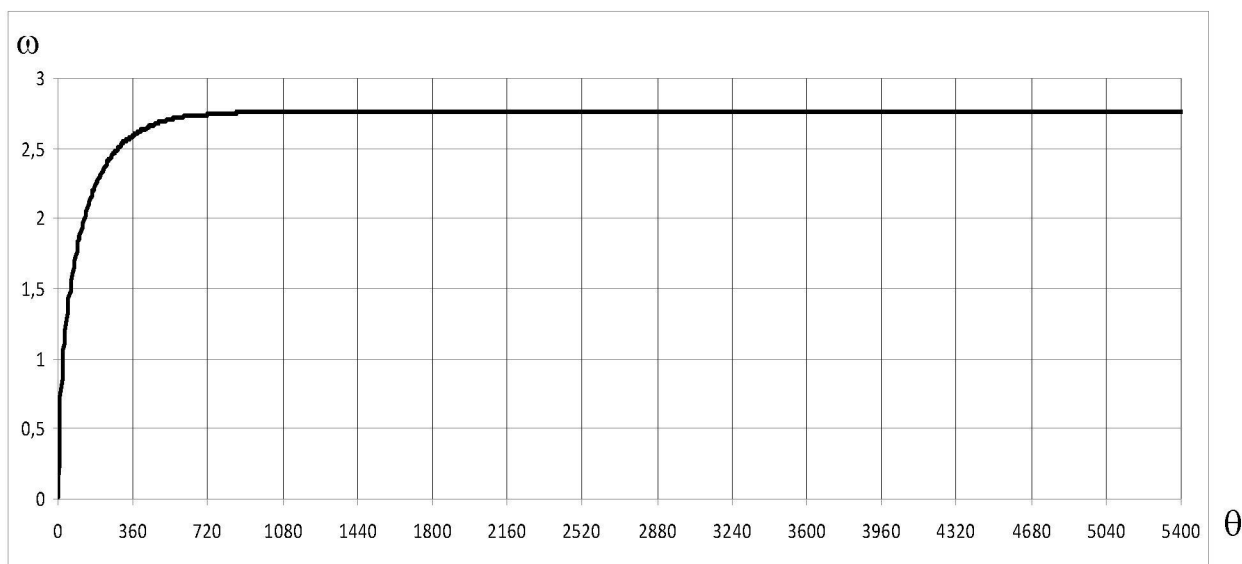
$$\omega^{n+1} = \omega^n + \frac{(R_L \sin \alpha - R_D \cos \alpha)r_o + \sum M_i (\theta^{n+1} - \theta^n)}{I\omega^n}, \quad (17)$$

мұндағы ω_{n+1} және ω_n – сәйкесінше турбинаның t_{n+1} және t_n уақыттарындағы бұрыштық жылдамдықтары; осылай, бұрыштық жылдамдық ω жалғыз шешімге жуықталғанша анықтала береді.

(1)-(4), (6) және (17) формулалардан құрылған алгоритм бойынша сандық есептеулер жүргізіп, нәтижесінде қалақшалардың айналу бұрыштық жылдамдығының ω графиктері тұрғызылды, 4 және 5 суреттерде көрсетілген.



4 – сурет. Бұрыштық жылдамдықтың қозғалыстағы жұмыс қалағының қалпынан тәуелділік графигі, $I=0,5$, турбинаға келтірілетін кедергі 5%.



5 – сурет. Бұрыштық жылдамдықтың қозғалыстағы жұмыс қалағының қалпынан тәуелділік графигі, $I=0,5$, турбинаға келтірілетін кедергі 10%

Қорытынды

Желдің беретін энергиясы орасан көп. Ол орта есеппен алғанда секундына үш, үш жарым метр жылдамдықпен соғады. Жел энергиясын толығымен пайдаланып, оны электр күшіне айналдырса, жел қатты соғатын өңірлердің әрбір шаршы километрі сайын жылына алпыс мыңнан бір миллионға киловатт-сағатқа дейін электр энергиясын алуға болады.

Бұл жұмыста Дарье жел турбинасы аэродинамикалық параметрлерінің θ бұршынан тәуелділіктерін анықтау үшін түтік теориясының көп түтіктік пішінін қолданып, есептеулер жүргізілген. C++ бағдарламалау тілінде коды құрылып, нәтижелерге қол жеткізілді.

Әдебиеттер

1. Бекметьев Р.М., Заглиев И.Г. Ветроэнергетические ресурсы различных районов Казахстана //Сборник научных трудов Гидропроекта: Ветроэнергетические станции – М., 1988. – вып. 129. – С. 63-70.
2. Д.де Рензо «Ветроэнергетика» – Москва, Энергоатомиздат, 1982.
3. Харитонов В.П. Автономные ветроэлектрические установки. – М.: ГНУ ВИЭСХ, 2006.
4. Шефтер Я.И. Использование энергии ветра. – Л: Энергия, 1975. – 220 с.
5. Денисенко С.Г., Козловский Г.А., Федоренко Т.П., Осадчий А.И. Преобразование и использование ветровой энергии. – Киев: Техника, 1992. – 176с.
6. Харитонов В.П. Состояние и развитие ветроэнергетики //Механизация и электрофикация сел. хоз-ва. – 1991. – №4.– С. 26-29.
7. Харитонов В.П. Ветроэнергетические ресурсы, состояние и перспективы использования энергии ветра //Энергетическое строительство. – 1991. – №3. – С. 20-24.
8. Лятхер В.М. Что может дать энергия ветра //Наука в СССР. -1991. -№1. - С. 58-65.

Әбілдаева С.А., Абдильдин Н.К., Ундирбаев М.С., Альчимбаева А.,
Жумартов М.А., Манатбаев Р.К., Тулепбергенов А.К.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ НЕУСТОЙЧИВОЙ РАБОТЫ ПРОПЕЛЛЕРНОЙ ВЕТРОВОЙ ТУРБИНЫ

Аннотация

В статье приводятся результаты исследований методов работы двух или трехлопастной ветровой турбины с горизонтальной осью вращения. Теоретическое исследование аэродинамики ветровых турбин и взаимоотношение токопроводов с ветровым колесом рассматривается как активный проводной диск.

Ключевые слова: Ветровые турбины, лопасть, ротор, атмосферный воздух, скорость, пропеллер.

Abildaeva S.A., Abdildin N.K., Underbaev M.S., Alshimbaeva A.,
Zhumartov M.A., Manatbaev R.K., Tulepbergenov A.K.

A MATHEMATICAL MODEL OF THE UNSTABLE PROPELLER WIND TURBINE

Annotation

The article gives the research results of the working methods of two or three-bladed wind turbine with a horizontal axis of rotation. A theoretical study of the aerodynamics of wind turbines and vzaimootnoshenia cables of the wind wheel is considered as the active wire drive.

Keywords: Wind turbine, blade, rotor, air, speed, propeller.