NAMANGAN DAVLAT UNIVERSITETI
ILMIY AXBOROTNOMASI, [2026-8]
ISSN:2181-1458
ISSN:2181-0427

01.00.00-FIZIKA-MATEMATIKA
journal.namdu.uz
PHYSICS AND MATHEMATICS

UO‘ K 621.548:620.92

GORIZONTAL O‘ QLI SHAMOL ENERGETIK QURILMASINING SAMARADORLIK KOEFFITSIYENTINI ANIQLASH.

Komilov Murodjon Muhtarjon o‘ g‘ li
Andijon davlat universiteti
ORCID: 0009 0006 2080 3371
Boltaboyev Isroiljon Maxammadismoilovich
ORCID: 0009-0003-2364-5784
Andijon davlat texnika instituti
Izzatillayev Xurmatillo Xikmatilla o‘ g‘ li
Andijon davlat pedagogika institute
ORCID: 0009-0000-4388-7762
E-mail:izzatillayevxurmatillo956@gmail.com

Annotatsiya. *Ushbu tadqiqot ishida gorizontal o‘ qli shamol energetik qurilmasining harakatlanishiga qarshilik qiladigan kuch, ya’ni tormozlanish koeffitsiyentini, va uning eng katta samaradorlik koeffitsiyentini aniqlash borasidagi ma’lumotlar keltirib o‘ tilgan. Shamol energetik qurilmalari asosan shamolning kinetik energiyasidan foydalangan holda ishlaydi, shuning uchun ularni gorizontal va vertikal o‘ qli shamol energetik qurilmalarga ajratish mumkin. Jumladan, gorizontal o‘ qli shamol energetik qurilmasini tormozlanish koeffitsiyentiga bog‘ lab eng katta qiymatini aniqlangan.*

Kalit so‘ zlar: *Gorizontal o‘ qli shamol energetik qurilmasi, parraklar*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ЭФФЕКТИВНОСТИ ГОРИЗОНТАЛЬНО-ОСЕВОЙ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ

Аннотация. *В данной исследовательской работе представлены результаты исследования силового сопротивления движению горизонтально-осевой ветроэнергетической установки, то есть коэффициента торможения, а также определения её максимального коэффициента полезного действия. Ветроэнергетические установки функционируют преимущественно за счёт использования кинетической энергии ветра, в связи с чем их принято подразделять на горизонтально-осевые и вертикально-осевые ветроэнергетические установки. В частности, в работе исследована зависимость эффективности горизонтально-осевой ветроэнергетической установки от коэффициента торможения и определено его оптимальное значение, соответствующее максимальной эффективности установки.*

Ключевые слова: *горизонтально-осевая ветроэнергетическая установка, лопасти, ветроэнергетика, коэффициент эффективности,* коэффициент торможения.

DETERMINATION OF THE EFFICIENCY COEFFICIENT OF A HORIZONTAL-AXIS WIND ENERGY SYSTEM

Abstract. *This research paper presents the results of a study on the force resisting the motion of a horizontal-axis wind energy system, namely the braking coefficient, as well as the determination of its maximum efficiency coefficient. Wind energy systems operate primarily by utilizing the kinetic energy of wind; therefore, they can generally be classified into horizontal-axis and vertical-axis wind energy systems. In particular, the study investigates the dependence of the efficiency of a horizontal-axis wind energy system on the braking coefficient and determines its optimal value corresponding to the maximum efficiency of the system.*

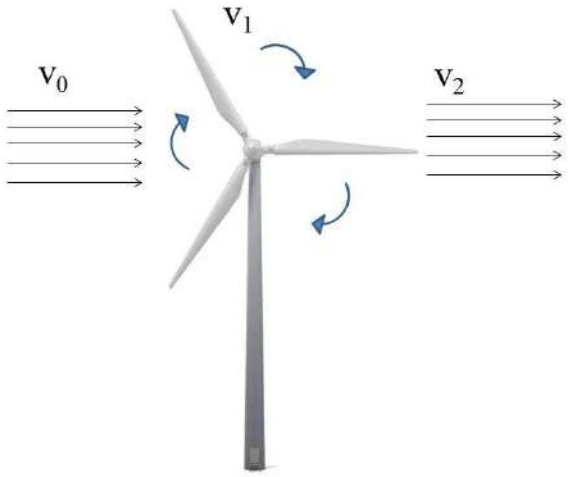
Keywords: *horizontal-axis wind energy system, blades, wind energy, efficiency coefficient, braking coefficient.*

Kirish

Dunyodagi barcha tabiy jarayonlar ma’lum bir fizik qonuniyat asosida yuzga keladi. Hususan tabiatda shamol hosil bo‘ lishi, yomg‘ ir yog‘ ishi, yerning silkinishi shular jumlasidandir, suvning to‘ lqinlanishi shular jumlasidandir. Hozirgi rivojlanib kelayotgan zamonda bunday hodisalardan unumli foydalangan holda energiya yig‘ ish yo‘ lga qo‘ yilmoqda yani elektr energiyasini olish. Dunyo davlatlarining geografik joylashuviga qarab ulardagi muhiti hisobga olgan holda

tabbiy ravishda qayta tiklanadigan energiya manabalaridan foydalanishga o‘ tishmoqda. O‘ zbekiston Respublikasi ham bugungi kunda bu sohada oldinlab harakatlanib kelmoqda. O‘ zbekiston hududidagi iqlimi geografik joylashuvidan foydalanib quyoshdan, shamoldan va suvdan unumli ravishda energiya olishni imkoni mavjud. Hududlarning kengligi tog‘ va tepaliklar ko‘ pligi bois ushbu hududlarda shamoldan energiya olishni amalga oshirilmoqda. Tabitada shamol havo oqimlarining turli balandliklarda turlicha bosim hosil bo‘ lishi va ular bir biri bilan almashinishi bilan yuzaga keladi. Shamol issiq va sovuq havolarni almashinishi natijasida turli balandliklarda turlicha bo‘ ladi, balandlik organ sari shamolning tezligi ortaveradi. Hozirgi kungacha olimlar ko‘ plab tadqiqotlar natijasida shamoldan qanday qilib energiya olishni o‘ rganib chiqishdi. Shamol energetik qurilmalari asosan shamolning kinetik energiyasiga hisobiga ishlaydi va bu energiyani shamol parragi boshqa turdagi energiyaga aylantirib beradi. Bunday jarayon gorizontal va vertikal o‘ qli shamol energetik qurilmasi uchun juda mos keladi va bundan hozirgi kunda keng foydalanib kelinmoqda. Hozirda gorizontal o‘ qli shamol energetik qurilmasi keng ommalashib bormoqda sababi u o‘ zgaruvchan havo oqim tezligiga juda yaxshi moslasha oladi. Gorizontal o‘ qli shamol energetik qurilmasi uchun parraklar soni juda ahamiyatlidir. Bizning maqolamizda ularning soni 3 ta dir bunday bo‘ lishiga asosiy sabab shamol parraklari o‘ z inersiyasi tufayli aylanishni yaxshi taminlab beradi. Shamoldan olingan elektr energiyani o‘ zgaruvchan qilib tarmoqga uzatishda ham 3 parrakli va ayon qutbli rotordan keng foydalaniladi. Uch parrakli qilib yasashni yana bir foydali tomoni olingan energiyani o‘ zgaruvchan tokga moslash osonroq kechadi. Har bir shamol energetik qurilmasi uchun malum bir tezlikga yetganda aylanadi va malum tezlikda ishlashdan to‘ xtaydi deb olishimiz mumkin. Kuchli bo‘ ronda ular ishlamaydi yani tormozanish rejimiga o‘ tadi. Bizning olgan natijamizga ko‘ ra shamol energetik qurilmasi shamol tezligini qandaydir qiymatida tormozlanishini ko‘ rishimiz mumkin.

Hozirda gorizontal o‘ qli shamol energetik qurilmalaridan SHES ni qurish har bir davlatda qo‘ llab kelinmoqda. Gorizontal o‘ qli shamol energetik qurilmasi ko‘ plab afzalliklarga ega. Uning parraklarining yuzasini silliqligiga va kesimi o‘ zgaruvchanligiga qarab minorani turi balandlikga moslab o‘ rnatishimiz mumkin. Balandlik ortgan sari shamol tezligi ortadi shuning uchun uni parraklarini uzunroq qilib minorasi balandligiga nisbatan 30m yoki 40m farq qiladigan holatda joylashtiriladi. Har qanday o‘ zgaruvchan kesimli parraklar albatta qandaydir tezlikga borganda to‘ xtaydi. Shu sababdan biz parraklarni tormozlanish tizimini matematik ifodalarini aniqlab chiqdik. Bunda tormozlanish koeffitsiyentini maksimal qancha qiymatga ega ekanligini aniqladik. Aniqlangan qiymatlarni yuzaga keltirish uchun shamolni parrakga urilmasdan oldingi tezligi, urilgandan kelingi tezligini va parrakni aylanish tezligini bilishimiz kerak. Gorizontal o‘ qli shamol energetik qurilmasi parraklari havo oqimini turbulentligidan foydalanib aylanadi [1]. Havoning yo‘ nalishi o‘ zgaruvchan bo‘ lib parraklarga turli burchak ostida uriladi va barcha uriluvchi kuchlarning natijaviysi parrakni aylanma harakat qilishga undaydi.



1-Rasm. Gorizontal o‘ qli shamol energetik qurilmasi

1-Rasmda shamol parraklariga tasir qiluvchi kuch quyidagicha aniqlanadi.

$$F=ma \quad (1) \qquad a=\frac{v_0-v_2}{\Delta t} \quad (2)$$

bu yerda, **m-** parrakga uriluvchi havo massasi, **a-** parrakning tezlanishi v_o- shamolning parrakga urilishidan oldingi tezligi, v_2 – shamolning parrakga urilgandan keyingi tezligi **Δt-** tezlik o‘ zgarishi uchun sarflangan vaqt

1-formuladagi **a** ning o‘ rniga 2-formulani qo‘ ysak quyidagi ifodaga kelamiz.

$$F=m\cdot\frac{v_0-v_2}{\Delta t} \quad (3)$$

Shamol parraklari oladigan quvvatini aniqlaymiz.

$$N=Fv_1 \quad (4)$$

bu yerdan F ning o‘ rniga 3- formuladagi ifodani tenglaymiz.

$$N= mv_1 \cdot \frac{v_0-v_2}{\Delta t} \quad (5)$$

Ikkinchi tomondan energiyaning saqlanish qonuniga ko‘ ra .

$$E_{parrak}=E_0-E_2 \quad (6)$$

Energiyani saqlanish qonunini parrak va havo bilan energiya almashadi deb olamiz va kinetik energiyani yoyib chiqamiz.

$$E_{parrak} = \frac{mv_0^2}{2} - \frac{mv_2^2}{2} = \frac{m}{2}(v_0^2 - v_2^2) \quad (7)$$

Parrak quvvatini energiyaga bog‘ liqlik formulasi quyidagicha.

$$N=\frac{E_{parrak}}{\Delta t} \quad (8)$$

Bu ifodadagi $\mathbf{E_{parrak}}$ ni o‘ rniga 8-formuladagi ifodani tenglaydigan bo‘ lsak quyidagi ko‘ rinishga keladi.

$$N=\frac{m(v_0^2-v_2^2)}{2\Delta t} \quad (9)$$

Ushbu ifodalardan shamolning parraklarga bergan quvvati shamolning kinetik energiyasi o‘ zgarishi hisobiga amalga oshadi deb olamiz. Ideal holda energiya almashinuvi faqat shamol va shamol parraklari orasida amalga oshadi. Shamol parragining quvvati va shamolning energiya o‘ zgarishi tufayli oladigan quvvatlarini tenglaydigan bo‘ lsak quyidagi ifoda hosil bo‘ ladi[2].

$$N= N; \qquad \frac{m\,v_1\,(v_0-v_2)}{\Delta t}=\frac{m\,(v_0^2-v_2^2)}{2\Delta t} \quad (10)$$

Ifodani soddalashtiradigan bo‘ lsak $\frac{m}{\Delta t}$ lar qisqarib ketadi va quyidagi ifoda hosil bo‘ ladi.

$$2(v_0-v_2)\cdot v_1= (v_0^2- v_2^2) \quad (11)$$

bu formuladan $\mathbf{v_1}$ ni ifodalaymiz. $\mathbf{v_1}$ parrakni aylantiruvchi tezlik hisoblanadi.

$$v_1=\frac{v_0-v_2}{2} \quad (12)$$

Shamol parraklari ma’lum bir qonuniyatga asoslangan holda yuzani o‘ zgaruvchan qilib tayyorlanadi. Shamol parraklari yuzasi boshidan boshlab ohirigacha o‘ zgaruvchan yuza qilib havo oqimini o‘ ziga qabul qiladigan qilib tayyorlanadi. Shundan kelib chiqgan holda shamol parraklarining o‘ lchamlari kata va kichik qilib tayyorlanadi. Ularning o‘ lchamiga qarab shamolning aniq bir tezlikda parraklarning aylanishini va ma’lum bir tezlikda shamol parraklarining to‘ rmozlanishi kerak bo‘ ladi. Shamol trubinasi katta tezlik va kichik tezliklarda ish rejimlari o‘ zgaradi yani tormozlaydi. Shu sababli tormozlanish koeffitsiyent kiritib olamiz va bu koeffitsiyent $\boldsymbol{\alpha}$ hisoblanadi.

$\boldsymbol{\alpha}$**-**tormozlanish koeffitsiyenti va birliksiz kattalik hisoblanadi.

$$\alpha=\frac{v_0-v_2}{v_0} \quad (13)$$

Agar parrakning tezligi shamolning dastlabki tezligiga teng bo‘ lsa ya’ni $\mathbf{v_1=v_0}$ (13-formula) bu ifoda nolga teng bo‘ ladi.

$$\alpha=\frac{v_0-v_0}{v_0}; \qquad \alpha = 0 \quad (14)$$

α=0 degani bu parrak hech qachon to‘ xtamasligini anglatadi. Bunday holat esa bo‘ lmasligini hisobga olgan holda $\alpha\neq0$ shart kiritiladi. So‘ ngra u qanday qiymatlar qabul qilishini ko‘ rib chiqamiz. 13 – ifodadagi v_1 ni o‘ rniga (12)-ifodadagi tenglikni qo‘ yamiz va quyidagi ifoda hosil bo‘ ladi.

$$\alpha=\frac{v_0-v_2}{v_0} = \frac{v_0-\frac{v_0+v_2}{2}}{v_0}; \qquad \alpha=\frac{v_0-v_2}{2v_0} \quad (16)$$

16 - ifodadan $\mathbf{v_2}$ topamiz va $\boldsymbol{\alpha}$ orqali ifodalaymiz.

$$v_2= v_0(1-2\alpha) \quad (17)$$

$\mathbf{v_2}$ ni $\boldsymbol{\alpha}$ orqali ifodalaganimizdan so‘ ng esa (12)-ifodadagi $\mathbf{v_2}$ ni o‘ rniga qo‘ yamiz.

$$\mathbf{v_1}=\frac{v_0+v_0(1-2\alpha)}{2} \quad (18)$$

Bu ifodani soddalashtirib chiqamiz.

$$v_1= v_0(1-\alpha) \quad (19)$$

Shamolning parraklarga urilishdan oldingi quvvatini hisoblaymiz.

$$N=\frac{E_0}{\Delta t}; \quad E_0=\frac{mv_0^2}{2}; \quad N=\frac{mv_0^2}{2\Delta t}; \quad N=\frac{\rho v v_0^2}{2\Delta t}; \quad N=\frac{v_0^2\,\rho\,S\,v_1}{2} \quad (20)$$

(20) - ifodadagi $\mathbf{v_1}$ ni o‘ rniga (19)-tenglamani qo‘ yamiz va ifodani soddalashtiramiz.

$$N=\frac{\rho\,S\,(1-\alpha)\,v_0^3}{2} \quad (21)$$

Shundan so‘ ng esa parraklarning quvvatnini hisoblaymiz.

$$N=Fv_1;\ F=mv_1\cdot\frac{v_0-v_2}{\Delta t};\ N=\frac{m\,v_1\,(v_0-v_2)}{\Delta t} \quad N=\frac{\rho S\Delta t(v_0-v_2)v_1^2}{\Delta t};$$

$$N=\rho S(v_0-v_2)\,v_1^2 \quad (22)$$

22- ifodadagi $\mathbf{v_1}$ ni o‘ rniga (19)-ifodani $\mathbf{v_2}$ ni o‘ rniga esa (17)- formulani joylashtiramiz va ifodani soddalashtirib chiqamiz.

$$N=\rho S(1-1+2\alpha)\,v_0^2\,(1-\alpha)^2;\ N=\rho S v_0^3(2\alpha)\,(1-\alpha)^2 \quad (23)$$

(23)- ifodani ikkiga ko‘ paytirib ikkiga bo‘ lib yuboramiz va quyidagi holatga o‘ tib olamiz.

$$N=\frac{1}{2}\varrho Sv_0^3(4\alpha)\,(1-\alpha)^2 \qquad (24)$$

Shamol kinetik energiyasini qanchadir qismini shamol parraklariga beradi. Shamol energiyasini samaradorlik koeffitsiyentini (C_p) ni kiritib olamiz. Chunki parraklarga kelayotgan shamol tezligining hammasi shamol parraklarining aylantirishga sarf bo‘ lmaydi, va uni quyidagicha formula orqali ifodalaymiz.

$$N_{tur}= C_pN_{shamol} \qquad (25)$$

(25)- ifodani chap va o‘ ng tomonlariga kerakli tengliklarni qo‘ yamiz va quyidagi ifodaga kelamiz.

$$\frac{1}{2}\varrho Sv_0^3(4\alpha)\,(1-\alpha)^2=C_p\frac{1}{2}\varrho Sv_0^3 \qquad (26)\quad C_p= 4\alpha(1-\alpha)^2;\ C_p=4\alpha(1-2\alpha+\alpha^2)$$

$$C_p=4\alpha-8\alpha^2+4\alpha^3 \qquad (27)$$

(27)- ifodadan $\boldsymbol{\alpha}$ orqali bir marta hosila olamiz va nolga tenglaymiz. Samaradorlik koeffitsiyenti tozmozlanish koeffitsiyenti bo‘ yicha o‘ zgaradi. Bu yerda C_p=const yani o‘ zgarmas son hisoblanadi. O‘ zgarmas sondan olingan birinchi tartibli hosila nolga teng.

$$C_p=(4\alpha-8\alpha^2+4\alpha^3)\cdot\quad C_p=(4-16\alpha+12\alpha^2) \qquad (28)$$

Olingan natijani esa nolga tenglab kvatdrat tenglamani ildizlarini topamiz.

$$4-16\alpha+12\alpha^2=0 \qquad (29)$$

Tenglikni ikkala tomonini 4 bo‘ lib yuboramiz. Natijada tenglamamiz sodda ko‘ rinishga keladi.

$$3\alpha^2-4\alpha+1=0 \qquad (30)$$

Viet teoremasidan ushbu ildizlar chiqadi $\alpha_1=\frac{1}{3}$, $\alpha_2=1$. Bu ifodalargan quyidagilar ma’lum bo‘ ldi: dastlabki malumotlarga asosan tormozlanish koeffitsiyentini chegaraviy qiymati 0 bo‘ lgan edi. 30- tenglamadan malumki bu koefitsiyentning eng katta qiymati aniqlandi yani $\alpha_1=\frac{1}{3}$. Yuqoridagi ifodadagi $\alpha_2=1$ qiymat shuni bildiradiki parrak butunlay tormozlash tizimiga o‘ tadi. Albatta har qanday kattalik malum miqdorda o‘ zgarmas qiymatga ega bo‘ ladi. Aniqlab olgan qiymatimizni endi samaradorlik koeffitsiyenti formulasiga olib borib qo‘ yamiz(27-ifodaga). Ushbu ifodadan quyidagicha natijalarni hisoblab chiqaramiz [3].

$$C_p=4\alpha-8\alpha^2+4\alpha^3 \qquad (31)$$

$$C_p=4*\frac{1}{3}.-8*\frac{1}{9}+4*\frac{1}{27}=\frac{36-24+4}{27}=\frac{16}{27}=0.592$$

Qiymatni hosil qilamiz ushbu ifodadan malum bo‘ ldiki tormozlanish koefitsiyentining $\frac{1}{3}$. qiymatida shamol energetik qurilmamiz eng katta samaradorlikni olib kelar ekan. Gorizontal o‘ qli shamol eneregtik qurilmasi uchun eng katta energiya berish effektivligi 0.592 ni tashkil qilar ekan [4]. Bundan ortiq qiymatda yutuq olaolmaymiz bu qutimadan.

Xulosa

Shamol energetik qurilmasining parraklari yuzasi qanchalik o‘ zgaruvchan bo‘ lmasin shamol energiyasining qanchadir qismidan foydalana oladi. Ushbu holatdan aniqlangan tormozlanish koeffitsiyenti shamolning berishi mumkin bo‘ lgan eng katta ideal energiya qiymatlaridan foydalanilgan. Shamol parraklari shamolning ma’lum tezligida xarakatga keladi va ma’lum tezligida tormozlanadi. Shamol parraklari massiv bo‘ lganligi sababli kichik miqdordagi shamol aylantira olmaydi katta miqdordagi shamol parraklarga bosim berib uni harakatdan to‘ xtatadi. Gorizontal o‘ qli shamol parraklari shamol tezligiga qarab o‘ zgaradi va harakatdan to‘ xtaydi. To‘ xtash jarayoni tormozlanish koefitsiyenti orqali ifodalandi.Bu koeffitsiyent esa (0; 1) qiymatlarni orasini qabul qila olishi aniqlandi. Ushbu oraliqda uning qiymati $\frac{1}{3}$ bo‘ lganda shamoldan olinayotgan energiya eng katta qiymatda bo‘ ladi. Shu qiymatga asoslangan holda qurilma eng katta samarali quvvati 59% ni tashkil etilishi aniqlandi. Bu qiymat har qanday gorizontal o‘ qli shamol energetik qurilmasi uchun eng katta qiymatligicha qoladi.

Foydalanilgan adabiyotlar:

1. Boeing Engineering and Construction: MOD-2 Wind Turbine System Concept and Preliminary Design Report, Vol. II, Detailed Report, DOE/NASA 0002-80/2, NASA CR-159609, July 1979.

2. AWEA (2002) The most frequently asked questions about wind energy. American Wind Energy Association, Washington D.C.

3. Grover, R. D. and E. G. Kadlec: *Economic Analysis of Darrieus Vertical Axis Wind Turbine Systems for the Generation of Utility Grid Electrical Power. Vol. III: Point Designs*, Sandia Laboratories Report SAND78-0962, August 1979.

4. Lee L G (2004) Wind energy developments: Incentives in selected countries. EIA