

UOT 621.086.9

DOI 10.54758/16801245\_2021\_21\_4\_91

## ASİNXRON GENERATORLU KÜLƏK ELEKTRİK QURĞUSUNUN RİYAZİ MODELİ

<sup>1</sup>HƏŞİMOVA AŞURA RZA qızı

<sup>2</sup>HACIBALAYEV NADİR MİRZƏBALA oğlu

Sumqayıt Dövlət Universiteti, 1,2 – dosent

[n.hacibalayev@mail.ru](mailto:n.hacibalayev@mail.ru)

*Açar sözlər:* külək seli, külək çarxı, generasiya sistemləri, külək mühərriki, pərlərin dönmə bucağı, gərginlik tənzimləyicisi, kondensator batareyaları, riyazi model.

Qazıntı halında olan təbii yanacaqların gələcəkdə tükənmə təhlükəsi və istilik elektrik stansiyalarından, atom elektrik stansiyalarından külli miqdarda istiliyin ətraf mühitə atılması ekoloji təhlükə yaratdığına görə, qazıntı halında olan yanacaqlardan asılı olmayan, onlara alternativ olan enerji mənbələrindən istifadə etmə texnologiyasını inkişaf etdirməklə enerji istehsalını artırmağı gündəmə gətirir. Bərpa olunan enerji mənbələrindən enerjinin alınması kifayət qədər baha başa gəlir, lakin bu texnikanın inkişaf etdirilməsi yeni texnologiyanın tətbiqi ilə yeni iş yerlərinin açılmasına imkan verir, inkişaf etmiş ölkələri – Avropa ölkələrini, Yaponiyanı, ABŞ-ı və son onilliklərdə Çini cəlb edir.

Bərpa olunan enerji mənbələrindən istifadə edilməklə elektrik enerjisinin istehsalında çox böyük pay hidroenergetikanın payına düşür, lakin böyük güclü su elektrik stansiyalarının tikilmə potensialı tükənməkdədir və hal-hazırda və gələcəkdə kiçik güclü su elektrik stansiyalarının tikilməsi və istismarı ilə elektrik enerjisinin alınmasına daha çox diqqət yetirilir. Eyni zamanda bərpa olunan enerji resursları içərisində külək energetikasını inkişaf etdirməklə enerji balansında onun payının artırılması nəzərdə tutulur, çünki külək energetikası bütün dünyada bərpa olunan təmiz enerji mənbəyi kimi qəbul edilməklə, ondan elektrik enerjisi alınması texnologiyası kimi ona olan tələbat artır.

Məlumdur ki, külək elektrik qurğularında elektrik enerjisi hasil etmək üçün və onları elektrik şəbəkəsinə paralel qoşulmasını təmin etmək üçün müasir külək elektrik qurğularının müxtəlif generasiya sistemləri mövcuddur. Belə generasiya sistemlərindən biri külək mühərrikinin pərlərinin dönmə bucağını dəyişməklə (küləyin sürətindən asılı olaraq tənzimləməklə) istifadə edilən sistemdir ki, belə sistemdə külək elektrik qurğusunun fırlanma tezliyi və gücü külək sürətinin nominal qiymətindən yuxarı hədlərdə pərlərin dönmə bucağının dəyişdirilməsi ilə nominal qiyməti əşa bilmir.

Külək elektrik qurğusu külək selinin kinetik enerjisini qəbul edərək onu elektrik enerjisinə çevirir. Külək mühərrikinin fırlanan valının mexaniki enerjisini elektrik enerjisinə çevirmək üçün generatordan istifadə edilir. Külək elektrik qurğularının generatorlarına onların xüsusiyyətlərini nəzərə almaqla xüsusi tələblər qoyulur. Bu tələblərdən ən əhəmiyyətli ondan ibarətdir ki, bildiyimiz kimi generator külək çarxının fırlanması ilə hərəkətə gətirilir. Belə fırlanma zamanı yaranan rejim küləyin sürətindən asılıdır və küləyin sürəti isə sabit deyildir [1].

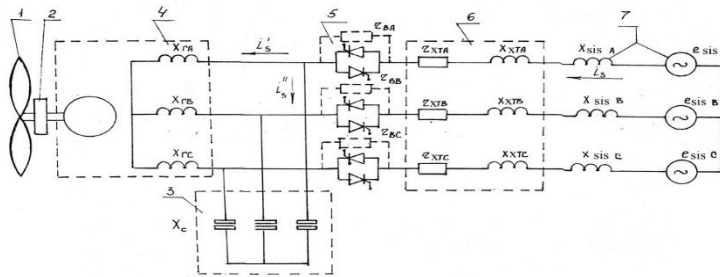
Külək sürətinin dəyişmə şəraitində və bu dəyişmə ilə əlaqədar generatorun fırlanma sürətinin geniş diapazonda dəyişməsi zamanı onun tələb olunan xarakteristikalarını təmin etmək lazımdır. Bundan başqa onun tələb olunan xarakteristikalarının təmin olunması üçün, yəni qararlaşmış iş rejimində işləməsinə ondan qidalanan tələbatçıların yükü də təsir göstərir [2]. Deməli, rotorun fırlanma sürətinin və yükün dəyişməsi şəraitində generatorun çıxışında gərginliyin

stabil qiymətini təmin etməyə lazımdır. Bunun üçün gərginliyi tənzimləyən qurğudan istifadə etmək mütləq vacibdir. Belə tənzimləmə üçün adətən ya gərginlik tənzimləyiciləri, sinxron generatorlu külək elektrik qurğularında isə təsirlənmə dolağında cərəyanı tənzimləyən gərginlik tənzimləyicilərindən istifadə olunur. Bu isə generatorun təsirlənmə dolağında əlavə enerji itkilərinə gətirib çıxarır.

Külək elektrik qurğularında tətbiq etmək üçün yararlı hesab edilən elektrik maşınlarının analizindən məlumdur ki, həm tiplərinə, həm də konstruksiyalarına görə müxtəlifdir. Hal-hazırda külək elektrik qurğularında üç tip generator-sabit cərəyan, sinxron və asinxron generatorları tətbiq olunur. Bu generatorların üstün və çatışmayan cəhətlərinin müqayisəsindən aydın olur ki, müxtəlif ölkələrin müxtəlif firmaları tərəfindən hazırlanan külək mühərriklərində əsasən iki tip generator-fan-sinxron və asinxron generatordan istifadə edilir [4].

Asinxron generatorları daha sadə konstruksiyaya malik olmasına baxmayaraq, əvvəllər kiçik həndəsi ölçülü kondensator batareyalarının olmaması səbəbindən az istifadə olunurdu. Bu kondensator batareyaları generatorun təsirlənməsinə reaktiv gücünün kompensasiyasını təmin edir. Hal-hazırda yığcam həcmli kondensatorların və gərginliyin yeni stabilləşdirmə sistemlərinin yaradılması ilə bu problem həll edilmişdir [2]. Böyük güclü elektrik şəbəkəsinə işləyən külək elektrik qurğusunun və stansiyanın işə buraxma, tormozlanma reimlərini, eləcə də çıxış gücünün rəqsini (döyümlərini, dəyişməsinə) zəiflətmək məqsədi ilə idarə olunmanı tədqiq etmək üçün modelləşdirmə məsələlərinə baxılmalıdır. Asinxron maşını bazası əsasında riyazi model, belə külək elektrik qurğularının elektrik şəbəkəsi ilə birgə işləməsinin qiymətləndirilməsinə imkan verir. Külək elektrik qurğusunun və stansiyanın elektrik şəbəkəsi ilə birgə işə qoşulması zamanı onun statiki və dinamik rejimlərinin qiymətləndirilməsi layihələndirmə zamanı nəzərə alınmalıdır.

Hal-hazırda külək elektrik qurğusunun və stansiyanın şəbəkə ilə birgə işləməsi zamanı onun statiki rejimlərinin qiymətləndirilməsi üçün standart metodlar işlənmişdir. Lakin elə rejimlər vardır ki, məsələn kommutasiya rejimləri, onların qiymətləndirilməsini standart metodlarla aparmaq mümkün deyil, ona görə də şəbəkə tərkibində olan külək elektrik qurğusunun uyğun dinamik modellərindən istifadəsinə tələb edir. Belə model aydındır ki, elektrik şəbəkəsinin, transformatorun, xəttin və asinxron maşını bazasında qurulmuş külək elektrik qurğusunu özündə birləşdirir (şək.1).



Şəkil.

Külək elektrik qurğusu özlüyündə kompleks qarşılıqlı təsir sistemi təsəvvürünü yaradır və onun tənlikləri fəzada tərpənməz  $\alpha, \beta, 0$  oxları üzrə tənliklər sistemi kimi yazılır [3]. Elektrik şəbəkəsinə işləyən asinxron generatorlu külək elektrik qurğusunun dinamik proseslərini ifadə edən tənliklər sistemi aşağıdakı kimidir:

Dinamik proseslərini ifadə edən tənliklər sistemi aşağıdakı kimidir:

$$\begin{aligned}
 p\Psi_{s\alpha} &= U_{s\alpha} - r_s i'_{s\alpha} ; & i'_{s\alpha} &= k'_{s\alpha} \cdot \Psi_{s\alpha} + k'_{asr} \cdot \Psi_{r\alpha} ; \\
 p\Psi_{s\beta} &= U_{s\beta} - r_s i'_{s\beta} ; & i'_{s\beta} &= k_{as} \cdot \Psi_{s\beta} + k'_{asr} \cdot \Psi_{r\beta} ; \\
 p\Psi_{r\alpha} &= -\Psi_{r\beta} \cdot \omega_r - r_r i_{r\alpha} ; & i_{r\alpha} &= k'_{ar} \cdot \Psi_{r\alpha} + k'_{asr} \cdot \Psi_{s\alpha} ; \\
 p\Psi_{r\beta} &= \Psi_{r\alpha} \cdot \omega_r - r_r i_{r\beta} ; & i_{r\beta} &= k'_{ar} \cdot \Psi_{r\beta} + k'_{asr} \cdot \Psi_{s\beta} ; \\
 T_j p\omega_r &= M_{km} - M_{em} ; & M_{km} &= \Psi_{r\alpha} \cdot i_{r\beta} - \Psi_{r\beta} \cdot i_{r\alpha} ;
 \end{aligned} \tag{1}$$

burada:  $U_{s\alpha}, U_{s\beta}, i'_{s\alpha}, i'_{s\beta}, i_{r\alpha}, i_{r\beta}, \Psi_{s\alpha}, \Psi_{s\beta}, \Psi_{r\alpha}, \Psi_{r\beta}$  – uyğun olaraq  $\alpha, \beta$  oxları üzrə stator və rotorun gərgunliyi, cərəyanları və maqnit seli ilişmələridir.  $r_s, r_r$  – statorun və rotorun aktiv müqavimətləri;  $M_{km}$  – külək mühərrikinin hərəkətdirici momenti;  $M_{EM}$  – asinxron maşının elektromaqnit momenti;  $T_j$  – sürüşmənin  $S=1$ -dən  $S=0$ -ra qədər dəyişməsində sürətlənmə müddətidir.

Transformatorun və elektrik verilişi xəttinin, statiki kondensator batareyalarının tənlikləri  $\alpha$  və  $\beta$  koordinat sistemində aşağıdakı kimi yazılır:

Transformator və xətt üçün

$$\begin{aligned} e_{s\alpha} - U_{s\alpha} &= (R_{Ak} + r_{XT}) \cdot i'_{s\alpha} + (x_{XT} + x_{sis}) \cdot p i'_{s\alpha} \\ e_{s\beta} - U_{s\beta} &= (R_{Ak} + r_{XT}) \cdot i'_{s\beta} + (x_{XT} + x_{sis}) \cdot p i'_{s\beta} \end{aligned} \quad (2)$$

Statiki kondensator batareyaları üçün

$$\begin{aligned} pU_{s\alpha} &= x_c \cdot i''_{s\alpha} \\ pU_{s\beta} &= x_c \cdot i''_{s\beta} \end{aligned} \quad (3)$$

burada:  $k'_{s\alpha} = \frac{x_{XT}}{\Delta_4}$ ;  $k'_{ar} = \frac{x_r}{\Delta_4}$ ;  $k'_{sr} = \frac{x_{XT}}{\Delta_4}$ ;  $\Delta_4 = x_s \cdot x_r - x_m^2$  kimi təyin olunur.  $i'_{s\alpha}, i'_{s\beta}$  - asinxron generatorun stator dolağından axan cərəyanın toplananları;  $i''_{s\alpha}, i''_{s\beta}$  - statik kondensator batareyalarına axan cərəyanın vektorunun proyeksiyalarıdır;  $x_s, x_r, x_m$  - statorun, rotorun və stator və rotor konturları arasındakı qarşılıqlı induktiv müqavimətləridir;  $R_{Ak}, r_{XT}, x_{XT}$  - asinxron maşının, xəttin və sistemin aktiv və induktiv müqavimətləri;  $e_{sis}, x_{sis}$  - sistemin e.h.q-si və induktiv müqavimətidir.

Bu halda cərəyanlar  $i_{s\alpha} = i'_{s\alpha} + i''_{s\alpha}$ ,  $i_{s\beta} = i'_{s\beta} + i''_{s\beta}$  kimi təyin olunur.

Verilmiş tənliklər sisteminin həlli əhəmiyyətli dərəcədə çətinlik yaradır, onlar va elektron hesablama maşınında, ya da “MATLAB”-da həll edilməlidir. “MATLAB”-da tədqiqat aparmaq üçün sxemin ayrı-ayrı elementlərinin blokları istifadə edilməklə - yəni külək elektrik qurğusunun işə buraxma blolu və külək elektrik qurğusunun rotorunun verilmiş fırlanma sürəti anında şəbəkəyə qoşmaq üçün idarə blokunun sxemi tərtib olunmalıdır. Yaradılmış modelin doğruluğunun qiymətləndirilməsi, külək elektrik qurğusunun iş rejimlərinin təcrübi yolla tədqiqi zamanı özünü göstərir.

## ƏDƏBİYYAT

1. Безруких П.П. Ветроэнергетика. М.: Интехэнерго издат, Теплоэнергетик, 2014, 304с.
2. Выбор оптимального генератора для ветроустановки [Электронный ресурс] // интернет-сайт URL.  
<http://research-journal.org/teknikal/vybor-optimalnogo-generatora-dlya-vetroustanovki/>
3. Həşimova A.R. Asinxron generatorlu KEQ-in iş rejimlərinin tədqiqi / Həşimova A.R., Ələkbərova T.S. // Elmi xəbərlər. Təbiət və texniki elmlər bölməsi. –2003, –Vol. 3. –No.3, – S.89.
4. Никишин А.Ю., Казаков В.П. Современное ВЭУ на базе асинхронных машин / А.Ю.Никишин, В.П. Казаков // Современные проблемы науки и образования. – 2012. –№6.
5. Mustafayev R.İ. Şəbəkə gərginliyini tənzimləməklə işə buraxmada və tənzimləmədə asinxron generatorlu külək elektrik qurğusunun dinamik xarakteristikaları / R.İ.Mustafayev, A.R. Həşimova // Energetikanın problemləri. – 2001. –No.3. –S.27.
6. Həşimova, A. R. Q. Külək elektrik qurğusunun statiki iş rejimlərinin tədqiqi / A. R. Q. Həşimova, N. M. O. Hacıbalayev // Elmi xəbərlər. Təbiət və texniki elmlər bölməsi. – 2020. – Vol. 20. – No 4. – P. 91-94. <https://elibrary.ru/item.asp?id=44600588>

**РЕЗЮМЕ**

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВЕТРОВОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ (ВЭУ)  
С АСИНХРОННЫМ ГЕНЕРАТОРОМ**

*Гашимова А. Р., Гаджибалаев Н.М.*

**Ключевые слова:** *поток ветра, ветроколесо, системы генерирования, ветродвигатель, угол наклона лопастей, регулятор напряжения, конденсаторные батареи, математическая модель.*

В статье рассмотрены вопросы для получения электрической энергии от ветровой энергии с использованием ВЭУ с асинхронным генератором. Произведен сравнительный анализ и выбрана ВЭУ с конденсаторными батареями на базе асинхронного генератора. Затем составлена математическая модель ВЭУ, для исследования пуска, торможения, а также для уменьшения колебаний выходной мощности при управлении.

**SUMMARY**

**MATHEMATICAL MODEL OF A WIND POWER PLANT (WPP) WITH AN ASYNCHRONOUS  
GENERATOR**

*Hashimova A. R., Hajibalayev N.M.*

**Key words:** *wind flow, wind wheel, generation systems, wind engine, blade rotation angle, voltage regulator, capacitor banks, mathematical model.*

The article discusses the issues of obtaining electrical energy from wind energy using a wind turbine with an asynchronous generator. A comparative analysis was carried out and a wind turbine with capacitor banks based on an asynchronous generator was selected. Then a mathematical model of the wind turbine was compiled to study starting, braking, and also to reduce fluctuations in output power during control.

Daxilolma tarixi:	İlkin variant	23.04.2021
	Son variant	04.06.2021