ӘОЖ 621.354.7 **DOI 10.52167/1609-1817-2024-133-4-496-503**

К.Ж. Калиева ✉, Л.Ш. Утешкалиева
Energo University, Алматы, Қазақстан
E-mail: k.kaliyeva@aues.kz

ЖЕЛ ЭЛЕКТР СТАНЦИЯСЫНЫҢ ІШКІ ЭЛЕКТР ЖЕЛІСІНІҢ ТІЗБЕГІНІҢ СЕНІМДІЛІГІН ІЕЕЕ ИНДЕКСТЕРІНЕ СӘЙКЕС БАҒАЛАУ

Аңдатпа. Қазіргі уақытта жаңартылатын энергияның негізгі көздерінің бірі жел энергиясы болып табылады, сондықтан жел электр станциясының электр жүйесі тиімді болуы керек. Нәтижесінде жел электр станциясының (ЖЭС) жабдығы үзіліссіз немесе зақымдалмай үздіксіз жұмыс істеуі керек. Осы мақсатқа қол жеткізу үшін жобалау, енгізу және одан әрі пайдалануды қоса алғанда, ЖЭС жүйелерінің сенімділігін олардың «өмірлік циклінің» әрбір кезеңінде үнемі бақылап, бағалау қажет

Мақалада пайдалану процесінде ЖЭС жабдығының сенімділігін Имитациялық бағалау мәселесі қарастырылады. Маңызды когнитивті міндет-жел электр станциясының жабдықтары мен жел турбиналары мен электр ішкі жүйелері сияқты күрделі техникалық элементтердің қалай жұмыс істейтінін түсіну. ЖЭС пайдаланушылары мен иелері үшін бұл мәселе ерекше маңызды.

Мақаланың мақсаты жел энергиясы жаңартылатын энергияның барған сайын маңызды көзіне айналғандықтан, ЖЭС жабдығының үзіліссіз немесе зақымдалмай тиімді жұмыс істеу қажеттілігін талқылау болып табылады. Осы мақсатқа жету үшін жабдықтың жұмысының әртүрлі кезеңдерінде сенімділігін бағалау үшін имитациялық модельдерді қолдану ұсынылады.

Атап айтқанда, әртүрлі техникалық компоненттердің жұмысын түсінудің маңыздылығы, сондай-ақ ЖЭС жабдығының сенімділігін жүйелі бақылау және бағалау қажеттілігі атап өтіледі. Бұл тәсіл жел энергиясын пайдалану тиімділігін арттыруға және істен шығу немесе зақымдану қаупін азайтуға мүмкіндік береді, бұл электрмен жабдықтау жүйесінің тұрақты жұмыс істеуі үшін өте маңызды.

Бұл жұмыста жел турбиналарының төтенше жел жағдайында істен шығуын, істен шығуын зерттеу және талдау нәтижелері бойынша метеорологияның, аэродинамиканың, аэроэластиканың, конструкциялардың, материалдардың, басқарудың және т. б. пәнаралық аспектілерімен байланысты күрделі мәселе болып табылатыны анықталды.

Түйінді сөздер. Жел, турбина, аэродинамика, сенімділік, істен шығу, жұмыс қабілеттілік

Кіріспе.

Қазақстан Республикасының біртұтас экономикалық кеңістігінің шекарасындағы Бірыңғай энергетикалық жүйенің тиімділік көрсеткіштерін талдау бөлшек және көтерме сауда нарықтарында жаңартылатын энергия көздерінің білікті объектілерінде электр энергиясын өндіру көлемінің тұрақты ұлғаюын көрсетеді.

Жел электр станцияларында (ЖЭС) электр энергиясын өндірудің ұлғаюы Қазақстан Республикасының Бірыңғай энергетикалық жүйесінің жұмыс істеуі үшін теңгерімдерге қатысу дәрежесінің артуына әкеледі.

Сонымен қатар, ЖЭС құрамында жұмыс істейтін жел электр станциялары (ЖЭС) бір-бірімен электрлік қосылымдарды өндірілген қуатты энергия жүйесіне жеткізу, сондай-ақ ЖЭС-тер мен электр жүйесіне байланысты объектінің шиналары арасындағы байланыстарды қажет ететін жеке құрылымдар болып табылады. Жел қондырғысының бір

бөлігінің тоқтауымен ішкі желідегі апаттық бұзылулар апаттық теңгерімсіздіктің туындауына әкеледі, бұл энергия жүйелерінің тұрақтылығына қойылатын талаптарды тексеру кезінде ескеріледі. Бұл жағдайлар жел электр станциясының ішкі электр желісінің сенімділігін және оның жұмыс режимдерін бағалаудың өзектілігін көрсетеді.

Материалдар мен тәсілдер.

Жел электр станциясы жел турбинасын, генерациялайтын қуатты көршілес электр желісіне жеткізуге арналған күшейткіш қосалқы станцияны, сондай-ақ жеке жел турбиналарын бір-бірімен байланыстыратын кең кабельдік электр желісін қамтиды. Энергия жел станциясынан қуат жүйесіне екі күшейткіш қуат трансформаторы арқылы «жұлдыз» немесе радиалды конфигурациясы бар желіге беріледі, атап айтқанда [1]:

- радиалды желінің өзі;
- бір жағынан ілмектелген;
- екі жағынан ілмектелген;
- бір ғана сақина жасалған ілмекпен;
- жартылай сақиналы қосылыммен;
- бөлу мүмкіндігі үшін коммутациялық құрылғылармен толықтырылған жартылай сақиналы қосылыммен.

Жел қондырғыларын қосуға арналған электр желісінің әртүрлі технологияларын бағалау кезінде жел электр станциясының ішкі электр желісі жеке жел турбиналарының арасындағы қосылыстарды, жел турбиналары мен жел қондырғылары арасындағы байланыстарды қамтитын жел станциясының электр желісінің учаскесі ретінде түсініледі. [2]

Нәтижелер.

«Ыбырай» жел электр станциясының радиалды электр желісінің сенімділігін арттыру үшін жел қондырғылары бір-бірімен радиалды сұлба арқылы қосылады. Қосылымдардың бірінің желінің аралық бөлігінде ақау орын алса, сәйкес қосылымнан қуат алатын жел қондырғыларының тізбегі жұмыста қалады. Алайда, осы қосылыстардың біреуінің басындағы бір реттік істен шығудың салдарын бағалау кезінде ажыратылған қосылыс жел турбиналарының бүкіл тізбегі жұмыстық режимнен шығады.

Жел электр станциясының ішкі электрлік қосылу тізбегінің топологиясын таңдау кезінде ол келесі критерийлерге негізделеді:

-электр тізбегінің сенімділігі;

- электр энергиясын тасымалдау үшін активті қуаттың технологиялық шығындардың деңгейі.

Электр желісінің сенімділігі қарастырылып отырған желідегі электр жабдықтарының бір реттік істен шығуы кезінде бағаланады. Жалғыз ақаулық электр желісінің бір элементінің ажыратылуын білдіреді. Бір реттік нормативтік бұзылу электр желісіндегі істен шығу (өшіру) ретінде қарастырылады.

Белгіленген апаттан кейінгі режимде кернеудің төмендеуімен қатар жүретін сыртқы электр желісіндегі апаттық жағдайлардың туындауы жел турбинасын технологиялық қорғаныстардың әрекеті арқылы желіден ажыратуға әкелуі мүмкін, бұл жалпы алғанда жел электр станциясының ішкі желісіндегі бір реттік ақауға байланысты жел қондырғысының ажыратылуы. Бұл үзілістер тек ЖЭС орналасқан жердің энергетикалық аймағындағы реактивті қуат тапшылығына байланысты болады

Жел электр станцияларының ішкі электр желілерінің топологияларының сенімділігін бағалау әдістемесі келесі көрсеткіштерді ескереді [3]:

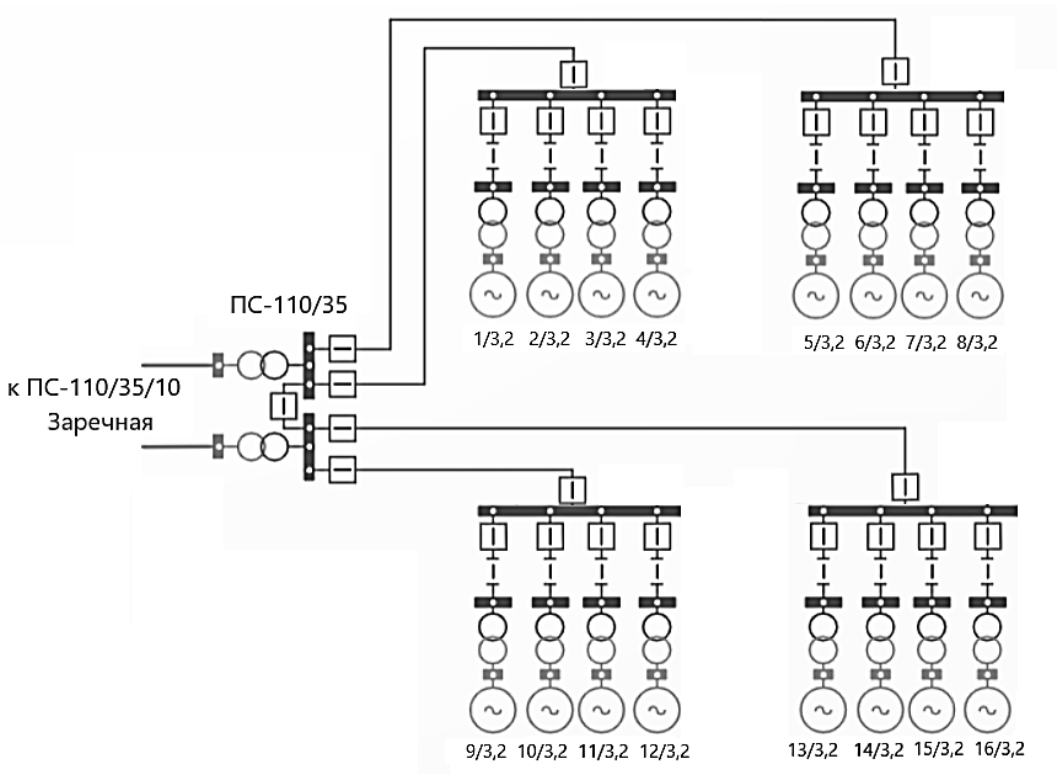
- электр желілік жабдығының және электр беру желілерінің істен шығу коэффициенті (өшіп қалу жиілігі) (ω), ол істен шығу саны/жыл (электр желілері кезінде, ұзындығын, км-ді ескере отырып) көрсетілген.

- жөндеуге (қалпына келтіру уақыты $T_в$) жұмсалған орташа уақыт, ол сағатпен көрсетіледі және статистикалық мәліметтерге сәйкес алынады.

Осы параметрлерді ескере отырып, IEEE сәйкес стандарттарына сүйеніп, тарату желісінің сенімділік көрсеткіштері анықталады;

- ақаулар бірлігіне байланысты қарастырылып отырған кезеңде электр желісі арқылы берілмейтін электр энергиясының күтілетін көлемін сипаттайтын EENS көрсеткіштері есептелінеді.

- жабдықтың жұмыс істеп тұрған уақытын және оның электр желісіне жеткізілуін сипаттайтын ASAI индексі немесе электр желісінің сенімділік индексі анықталынады.



1 сурет - Жел электр станциясының қосылымы бар желі

Жел турбиналарының саны і-ге тең және олар өндіретін жалпы қуат S болғанда орташа істен шығу жылдамдығы [4]:

$$\omega_s = \sum \omega_i.$$

Ақауларға байланысты жөндеуге кеткен орташа уақыт:

$$T_i = \omega_i \cdot T_{Bi}.$$

Энергиямен қамтамасыз етудің орташа уақыты:

$$T_s = \sum T_i.$$

EENS индексі бұл жағдайда бір элемент үшін келесідей анықталады [5]:

$$EENS = P_{акті} T_i,$$

мұндағы $P_{акті}$ – і-ші жел турбинасының белсенді генерациялық қуаты.

Электр энергиясының жалпы жеткіліксіздігін сипаттайтын EENS индикаторы (МВт сағ-пен көрсетіледі) келесі формуламен анықталынады:

$$EENS_s = \sum_{i=1}^{n} EENS_i.$$

ASAIs индексі (%-бен көрсетілген) мынаған тең:

$$ASAI_s = \left(\frac{8760 - T_s}{8760}\right) \cdot 100.$$

Жел электр станцияларының электрлік қосу схемаларының әртүрлі нұсқаларының EENS және ASAI сенімділік көрсеткіштерін есептеу кезінде [5] сәйкес желінің электр жабдықтарының істен шығу жылдамдығы мен қалпына келтіру уақытының келесі мәндері қолданылды (1 кесте).

1 кесте – Желілік электр жабдығының істен шығу жылдамдығы және қалпына келтіру уақыты

Электр жабдықтары	Сәтсіздік коэффициенті ω_i, бір жылдағы сәтсіздіктер	Қалпына келтіру уақыты $T_в$, сағат
ТДТН -25000/110/35 күштік трансформатор	0,02	100
110 кВ айырғышы	0,02	4
35 кВ айырғышы	0,02	4
110 кВ ажыратқышы	0,08	12
35 кВ ажыратқышы	0,1	25
100 км кабельдік электр желісі	3,0	5
35 кВ (бір қосылым үшін) құрама шинасы	0,01	2
110 кВ (бір қосылым үшін) құрама шинасы	0,01	2

Жел электр станцияларының электр желісінің зерттелетін топологиялары үшін электр энергиясын беру үшін активті қуаттың технологиялық шығындарын бағалау тұрақты күйдегі электр режимдерін есептеуге арналған RastrWin бағдарламалық пакетін қолдану арқылы жүзеге асырылды. Электрлік режимдерді есептеу үшін жел электр станциясының элементтері үшін келесі бастапқы деректер қабылданды: жел қондырғыларының, электр желілерінің және күшейткіш қосалқы станциялардың қуаты.

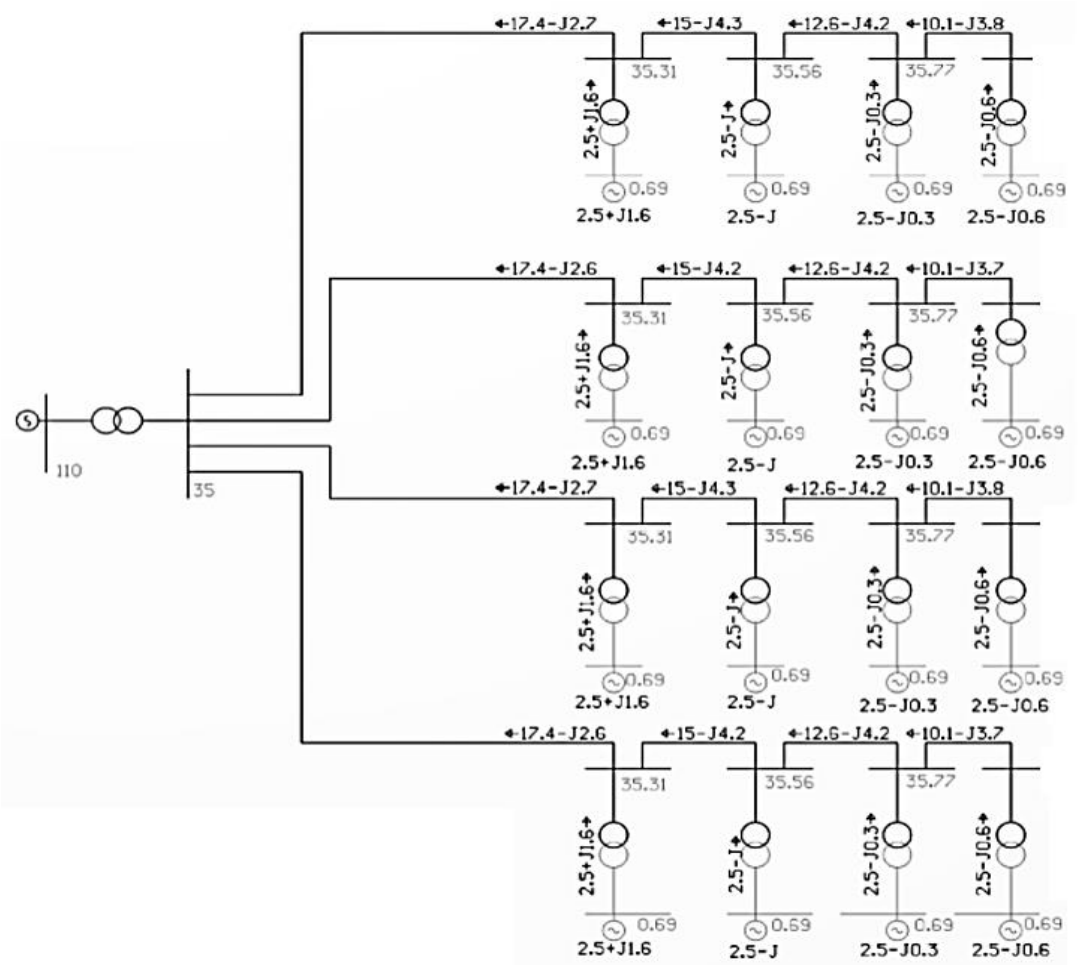
Жел қондырғыларының қондырғысының орнатылған қуаты 3,2 МВт, жел қондырғыларының саны бір тізбекте 4, тізбектерр саны 4 деп қабылданады. Әрбір жел қондырғысының конструкциясы күшейткіш трансформатордың болуын ескереді.

Кабельдік электр желісінің номиналды кернеуінің деңгейі 35 кВ. Жеке жел қондырғылары арасындағы, сондай-ақ жел қондырғылары мен күшейткіш қосалқы станцияның тарату құрылғысының шиналары арасындағы қашықтық 1 км. Жел электр

станциясының ішкі электр желісінің электр режимдерін есептеу кезінде кабельдік электр желісінің кернеуі - 35 кВ көлденең қимасы 95 мм^2 көлденең полиэтиленді оқшаулаумен үш өзекті кабель болып қабылданады.

Үдемелі қосалқы станцияның екі трансформаторлық конструкциясы бар, трансформаторлардың қуаты барлық жел қондырғыларының жалпы орнатылған қуатын жеткізуді қамтамасыз етеді. Номиналды кернеулер жоғары кернеу жағында 110 кВ және төмен кернеу жағында 35 кВ.

Есептеу нәтижелері 4-суретте көрсетілген, электр энергиясын тасымалдау үшін белсенді қуаттың технологиялық ысыраптарының лездік мәндерімен, МВт.



2 сурет - RastrWin жүйесіндегі жел электр станциясының есептеу моделі

2 кесте – Желіде бір рет бұзылған кезде сенімділікті бағалауға арналған есептеулердің нәтижелері

Жел турбинасының электрлік қосылу схемасы	Белсенді қуат жоғалтулары, кВт	нәтижелер
Радиалды электр желісі	1076	Бастапқыда бір реттік қосылым бұзылған жағдайда, зақымдалған контурдың барлық жел турбиналары ажыратылады. EENS = 165704 кВт/сағ; ASAI= 98,2%

Қорытынды.

Ұсынылып отырған әдістеме жел электр станциясының электр жабдығының сенімділігінің бірыңғай көрсеткіштерін көрсетеді және желінің жай-күйін және қалыпты және апаттанн кейінгі режимдерде резервтеу мүмкіндігін, сондай-ақ электр станцияларының қорларын автоматты түрде қосуға жедел дайындық көрсеткіштерін ескереді.

Бұл электр желісінің диаграммасын бір реттік ақаулар кезінде схеманың сенімділігін қамтамасыз ету критерийлері бойынша талдау оның ең сенімді екенін көрсетеді.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Савина, Н.В. Надежность систем электроэнергетики: учебное пособие/Н.В. Савина: [Б.и.] .- 269 с. URL: https://rucont.ru/efd/48828 (дата обращения: 09.03.2024).

[2] Волков Н.Г., Сивков А.А., Сайгаш А.С. Надежность электроснабжения. - Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – 160 с.

[3] Анализ отказов и потерь ветряных турбин. [Электронный ресурс] URL: https://www.envistaforensics.com/services/forensic-engineering/energy-failure-analysis/renewable-wind-turbine-failures/ (Дата обращения: 11.03.2024)

[34 Гук Ю.Б. и др. Расчет надежности схем электроснабжения. Л.: Энергоатомиздат. 2002. 216 с. https://obuchalka.org/20220302141737/raschet-nadejnosti-shem-elektrosnabjeniya-guk-u-b-sinenko-m-m-tremyasov-v-a-1990.html (дата обращения: 19.03.2024).

[5] Манов Н.А., Хохлов М.В., Чукреев Ю.Я. Методы и модели исследования надежности электроэнергетических систем. - Сыктывкар: 2010. - 292 с.

[6] IEEE Gulde for Electric Power Distribution Reliability indices – Redline. http://ieeexplore.ieee.org/document/6329910 (Дата обращения: 08.04.2024)

REFERENCES*

[1] Savina, N.V. Nadezhnost' sistem jelektrojenergetiki: uchebnoe posobie/N.V. Savina: [B.i.] .- 269 s. URL: https://rucont.ru/efd/48828 (data obrashhenija: 09.03.2024).

[2] Volkov N.G., Sivkov A.A., Sajgash A.S. Nadezhnost' jelektrosnabzhenija. - Tomsk: Izd-vo TPU, 2011. – 160 s.

[3] Analiz otkazov i poter' vetrjanyh turbin. [Jelektronnyj resurs] URL: https://www.envistaforensics.com/services/forensic-engineering/energy-failure-analysis/renewable-wind-turbine-failures/ (Data obrashhenija: 11.03.2024)

[34 Guk Ju.B. i dr. Raschet nadezhnosti shem jelektrosnabzhenija. L.: Jenergoatomizdat. 2002. 216 s. https://obuchalka.org/20220302141737/raschet-nadejnosti-shem-elektrosnabjeniya-guk-u-b-sinenko-m-m-tremyasov-v-a-1990.html (data obrashhenija: 19.03.2024).

[5] Manov N.A., Hohlov M.V., Chukreev Ju.Ja. Metody i modeli issledovanija nadezhnosti jelektrojenergeticheskih sistem. - Syktyvkar: 2010. - 292 s.

[6] IEEE Gulde for Electric Power Distribution Reliability indices – Redline. http://ieeexplore.ieee.org/document/6329910 (Data obrashhenija: 08.04.2024)

Kazima Kaliyeva, candidate of technical sciences, docent, Energo University, Almaty, Kazakhstan, k.kaliyeva@aues.kz

Lyazzat Uteshkalieva, candidate of technical sciences, associate professor, Energo University, Almaty, Kazakhstan, l.uteshkalieva@aues.kz

ASSESSMENT OF THE RELIABILITY OF THE INTERNAL POWER GRID CIRCUIT OF A WIND FARM ACCORDING TO IEEE INDICES

Abstract. Currently, one of the main sources of renewable energy is wind energy, so the power supply system of a wind farm must be efficient. As a result, the equipment of a wind farm (WPP) must operate continuously without failures or damage. To achieve this goal, it is necessary to regularly monitor and evaluate the reliability of wind farm systems at every stage of their “life cycle”, including design, implementation and further use

The article deals with the issue of simulation assessment of the reliability of WPP equipment during operation. An important cognitive task is to understand how complex technical elements such as wind farm equipment and wind turbines and electrical subsystems work. This issue is especially important for users and owners of wind farms.

The purpose of the article is to discuss the need for efficient operation of wind farm equipment without failures or damage, as wind energy is becoming an increasingly important source of renewable energy. To achieve this goal, it is proposed to use simulation models to assess the reliability of equipment at various stages of its operation.

In particular, the importance of understanding the operation of various technical components is emphasized, as well as the need for systematic monitoring and evaluation of the reliability of wind farm equipment. This approach makes it possible to increase the efficiency of using wind energy and minimize the risks of failures or damage, which is extremely important for the stable functioning of the power supply system.

In this paper, based on the results of research and analysis of failures, failures of wind turbines in extreme wind conditions, it is established that failure is a complex problem related to interdisciplinary aspects of meteorology, aerodynamics, aero elasticity, structures, materials, control, etc.

Keywords. Wind, turbine, aerodynamics, reliability, failure, operability.

Казима Калиева, к.т.н., доцент, Energo University, Алматы, Қазақстан, k.kaliyeva@aues.kz

Ляззат Утешкалиева, к.т.н., ассоциированный профессор, Energo University, Алматы, Қазақстан, l.uteshkalieva@aues.kz

ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ ВНУТРЕННЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ВЕТРЯНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ В СООТВЕТСТВИИ С ИНДЕКСАМИ IEEE

Аннотация. В настоящее время одним из основных источников возобновляемой энергии является энергия ветра, поэтому система электроснабжения ветроэлектростанции должна быть эффективной. В результате оборудование ветроэлектростанции (ВЭС) должно непрерывно работать без сбоев или повреждений. Для достижения этой цели необходимо регулярно контролировать и оценивать надежность систем ВЭС на каждом этапе их 1жизненного цикла1, включая проектирование, внедрение и дальнейшее использование

В статье рассматривается вопрос имитационной оценки надежности оборудования ВЭС в процессе эксплуатации. Важной когнитивной задачей является понимание того, как работают сложные технические элементы, такие как оборудование ветроэлектростанции и ветряные турбины и электрические подсистемы. Для пользователей и владельцев ВЭС этот вопрос особенно важен.

Целью статьи является обсуждение необходимости эффективной работы оборудования ВЭС без сбоев или повреждений, поскольку ветровая энергия становится все более значимым источником возобновляемой энергии. Для достижения этой цели предлагается использование имитационных моделей для оценки надежности оборудования на различных этапах его эксплуатации.

В частности, подчеркивается важность понимания работы различных технических компонентов, а также необходимость систематического контроля и оценки надежности оборудования ВЭС. Такой подход позволяет повысить эффективность использования ветроэнергии и минимизировать риски сбоев или повреждений, что крайне важно для стабильного функционирования системы электроснабжения.

В данной работе по итогам исследования и анализа сбоев, отказов ветряных турбин в экстремальных ветровых условиях установлены, что отказ является сложной проблемой, связанной с междисциплинарными аспектами метеорологии, аэродинамики, аэроупругости, конструкций, материалов, управления и т.д.

Ключевые слова. Ветер, турбина, аэродинамика, надежность, отказ, работаспособноть.

****

Келіп түсті: 17 наурыз 2024 ж.; қабылданды: 20 мамыр 2024 ж.