

**AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI ELM VƏ TƏHSİL NAZİRLİYİ**  
**AZƏRBAYCAN TEXNİKİ UNİVERSİTETİ YÜKSƏK**

---

TƏHSİL İNSTİTUTU

Məmmədova Qumru, Namazov Vəkil, Əliyev Xəyal,  
Fərzəliyev Şamxal, Şərifov Xəyal

**İRİ HƏCİMLİ BƏRPA OLUNAN ENERJİ MƏNBƏLƏRİNİN ENERJİ**  
**SİSTEMƏ İNTEQRASIYA PROBLEMLƏRİ** mövzusunda

**MAGİSTRİK DİSSERTASIYASI**

0606262 – Şifrəli Elektrik mühəndisliyi

Elmi rəhbər: tex.e., dosent Həsənova Ləman Həsən qızı

**BAKİ – 2024**

## MÜNDƏRİCAT

GİRİŞ.....	3
1. YENİLƏNƏ BİLƏN ENERJİ: DÜNYA INKIŞAF TENDENSIYALARI ...	8
1.1 Yenilənə bilən enerji mənbələrinin icmalı və onların elektrik enerjisi istehsalında rolu.....	8
1.2 Elektrik enerjisi istehsalında bərpa olunan enerji mənbələrinin rolu.....	9
2. BƏRPA OLUNAN ENERJİ MƏNBƏLƏRİNİN ŞƏBƏKƏYƏ İNTEQRASIYA OLUNMUŞ SİSTEMLƏRİN SƏMƏRƏLİLİYİNƏ TƏSİRİ....	18
2.1 Günəş enerjisi .....	20
2.2 Külək enerjisi.....	29
3. BƏRPA OLUNAN ENERJİ MƏNBƏLƏRİNİN ENERJİ SİSTEMİNƏ İNTEQRASIYASINDA MÖVCUD PROBLEMLƏRİN ANALİZİ.....	44
3.1 Elektrik enerjisinin keyfiyyəti.....	46
3.2 Şəbəkəyə bərpa olunan enerji mənbələrinin inteqrasiyası ilə bağlı problemlər .....	52
4. BƏRPA OLUNAN ENERJİ MƏNBƏLƏRİNİN ENERJİ SİSTEMİNİN DAYANIQLIĞINA TƏSİRİNİ AZALTMAĞIN MÜXTƏLİF YOLLARI.....	54
4.1 Enerji anbarları və yığım qurğularının istifadəsi .....	60
5. YENİLƏNƏ BİLƏN ENERJİ MƏNBƏLƏRİNİN ENERJİ SİSTEMİNİN DAYANIQLIĞINA TƏSİRİNİ AZALTMAQ ÜÇÜN ENERJİ YIĞICILARININ TƏTBİQİNİN ANALİTIK HESABLANMASI .....	77
5.1 Enerji sisteminə təsirin azaldılması yollarından biri kimi xüsusi aşağı tezlikli elektrik generatorlarının tədqiqi .....	77
5.2 Bərpa olunan enerji mənbələrinin enerji sisteminin dayanıqlığına təsirinə azaltmaq üçün enerji akkumulyatorlarının tətbiqinin analitik hesablanması..	85
NƏTİCƏ .....	92
ƏDƏBİYYAT.....	94

# GİRİŞ

## **İşin aktuallığı**

İşin aktuallığı. Müasir dünya getdikcə daha çox elektrik enerjisindən asılı olur və əhali artdıqca, iqtisadi inkişaf baş verdikcə enerji istehlakı da daim artır. Eyni zamanda neft, qaz və kömür kimi ənənəvi enerji mənbələrinin ehtiyatları tədricən tükənir və onların çıxarılması getdikcə daha da çətin, bahalı olur. Bu vəziyyətdə günəş panelləri, külək generatorları və su elektrik stansiyaları kimi bərpa olunan enerji mənbələri dayanıqlı inkişafı təmin etmək və insanlığın enerji tələbatını ödəmək üçün getdikcə daha vacib olur.

Bərpa olunan enerji mənbələrinin ənənəvi enerji mənbələrinə nisbətən bir sıra üstünlükləri var: onlar ekoloji cəhətdən təmizdir, tükənməzdir və onların istifadəsi atmosfərə zərərli maddələrin buraxılmasına səbəb olmur. Bununla belə, bərpa olunan enerji mənbələrinin enerji sistemində inteqrasiyası da öz çağırışlarını və problemlərini yaradır. Məsələn, günəş panelləri və külək generatorları kimi bərpa olunan enerji mənbələri hava şəraitindən asılıdır və sabit olmayan məhsuldarlığa malikdir. Bu o deməkdir ki, hava dəyişdikdə enerji istehsalı da dəyişir ki, bu da enerji sistemində qeyri-sabitliyə səbəb ola bilər. Bundan əlavə, enerji sistemində bərpa olunan enerji mənbələrinin payı artdıqca, enerji sisteminin idarə edilməsi və sabitliyinin saxlanması ilə bağlı problemlər yaranır. Bərpa olunan enerji mənbələri dəyişkən məhsuldarlığa malikdir, bu da enerji tələbi və təklifinin proqnozlaşdırılmasını həmçinin idarə edilməsini çətinləşdirir. Enerji sistemində çoxlu miqdarda bərpa olunan enerji olduğu halda enerjinin istehsalının tələbi aşması və ya əksinə enerji tələbinin istehsal imkanlarını aşması kimi hallar yarana bilər ki, bu da enerji sistemində nasazlıqlara, ən ağır hallarda isə onun sıradan çıxmasına səbəb ola bilər. Beləliklə, bərpa olunan enerji mənbələrinin enerji sistemində tətbiqi onların bir çox üstünlüklərinə baxmayaraq çətinliklər və qeyri-sabitlik də yarada bilər. Buna görə də bərpa olunan enerji mənbələrinin enerji sisteminin dayanıqlılığına təsirini azaltma yollarını qiymətləndirmək, sabit və etibarlı enerji

sistemi təmin etmək üçün ənənəvi və bərpa olunan enerji mənbələrinin optimal birləşməsini müəyyənləşdirmək vacibdir. Beləliklə, bu mövzu aktualdır və dünyada dayanıqlı inkişafı, enerji təhlükəsizliyini təmin etmək üçün böyük əhəmiyyətə malikdir.

Bu işdə bərpa olunan enerji mənbələrinin enerji sisteminin dayanıqlılığına təsirini azaltmağın müxtəlif yolları, həmçinin onların üstünlükləri və çatışmazlıqları nəzərdən keçiriləcəkdir.

**Məqsəd və vəzifələr.** Bu dissertasiya işinin məqsədi bərpa olunan enerji mənbələrinin enerji sisteminin dayanıqlılığına təsirini azaltma yollarını qiymətləndirməkdən ibarətdir. Bu məqsədə çatmaq üçün aşağıdakı vəzifələr müəyyən edilmişdir:

Enerji sistemlərinin və bərpa olunan enerji mənbələrinin nəzəri əsaslarını öyrənmək. Bu işdə bərpa olunan enerji mənbələrinin ümumi xüsusiyyətləri, onların növləri, iş prinsipləri və ənənəvi enerji mənbələri ilə müqayisədə üstünlükləri təqdim ediləcək. Həmçinin, enerji sistemlərinin iş prinsipləri, əsas parametrləri və xüsusiyyətləri nəzərdən keçiriləcək.

Bərpa olunan enerji mənbələrinin enerji sisteminin dayanıqlılığına təsirini qiymətləndirmək. Bu bölmədə bərpa olunan enerji mənbələrinin enerji sisteminə tətbiqi ilə bağlı problemlər və onların enerji sisteminin dayanıqlılığına təsiri analiz ediləcək. Bərpa olunan enerji mənbələrinə keçidin enerji sistemində qeyri-sabitliyə və nasazlıqlara səbəb olduğu halların nümunələri nəzərdən keçiriləcək.

Bərpa olunan enerji mənbələrinin enerji sisteminin dayanıqlılığına təsirini azaltmağın müxtəlif yollarını araşdırmaq. Bu bölmədə enerji sisteminin dayanıqlılığına bərpa olunan enerji mənbələrinin təsirini azaltmağa kömək edə biləcək müxtəlif metodlar və texnologiyalar təqdim ediləcək. Enerji sistemi idarəetmə texnologiyaları, enerji anbarlarının istifadəsi, həmçinin bərpa olunan və ənənəvi enerji mənbələrinin birləşdirilməsi nəzərdən keçiriləcək.

Sabit və etibarlı enerji sistemi təmin etmək üçün ənənəvi və bərpa olunan enerji mənbələrinin optimal birləşməsini müəyyən etmək. Bu bölmədə enerji sisteminin inkişafının müxtəlif ssenariləri təhlil ediləcək, həmçinin enerji sisteminin dayanıqlı,

etibarlı işləməsinə təmin etmək üçün ənənəvi və bərpa olunan enerji mənbələrinin optimal birləşməsi müəyyən ediləcək.

Bərpa olunan enerji mənbələrinin enerji sistemində istifadəsinin iqtisadi təhlilini aparmaq. Bu bölmədə bərpa olunan enerji mənbələrinin istifadəsinin iqtisadi üstünlükləri və çatışmazlıqları təhlil ediləcək. Bərpa olunan enerji mənbələrinə investisiya qoyuluşu, onların istismarı və əlaqədar xərclərlə bağlı maliyyə məsələləri nəzərdən keçiriləcək.

Bərpa olunan enerji mənbələrinin enerji sistemində istifadəsinin sosial təsirini müəyyən etmək. Bu bölmədə bərpa olunan enerji mənbələrinə keçidin sosial təsiri təhlil ediləcək. Bərpa olunan enerji mənbələri üçün infrastrukturun inkişafı, əmək məşğulluğunda dəyişikliklər və əhalinin həyat keyfiyyəti ilə bağlı sosial-iqtisadi nəticələr nəzərdən keçiriləcək.

Bərpa olunan enerji mənbələrindən istifadə edərkən enerji sisteminin dayanıqlılığının artırılması üçün tövsiyələr vermək. Bu bölmədə bərpa olunan enerji mənbələrindən istifadə edərkən enerji sisteminin dayanıqlılığını artırmağa yönəlmiş tövsiyələr və həllər təqdim ediləcək. Enerji sisteminin idarə olunması proseslərinin optimallaşdırılması, yeni texnologiyaların tətbiqi və bərpa olunan enerji mənbələri üçün infrastrukturun inkişafı ilə bağlı həllər nəzərdən keçiriləcək.

Beləliklə, bu dissertasiya işi bərpa olunan enerji mənbələrinin və onların enerji sisteminin dayanıqlılığına təsirinin kompleks tədqiqinə həsr olunacaq. İş enerji sektorunun inkişafı üçün mühüm əhəmiyyətə malik olacaq və enerji sisteminin dayanıqlılığı və etibarlılığı təmin edilərək bərpa olunan enerji mənbələrinə keçid üçün optimal həlləri müəyyən etməyə kömək edəcək.

**Mövcud tədqiqatların icmalı.** Öz tədqiqatınıza başlamazdan əvvəl mövcud elmi işləri və bu mövzuya həsr olunmuş nəşrləri öyrənmək vacibdir.

Hazırda bərpa olunan enerji mənbələri və onların enerji sisteminin dayanıqlılığına təsiri ilə bağlı çoxsaylı elmi tədqiqatlar mövcuddur. Tədqiqatların əsas istiqamətlərindən biri həm bərpa olunan, həm də ənənəvi enerji mənbələrini əhatə edən qarışıq enerji sisteminin optimal iş rejimlərinin müəyyənləşdirilməsidir.

Həmçinin, bərpa olunan enerji mənbələrinə keçidin iqtisadi və sosial nəticələri ilə bağlı məsələlər də öyrənilir. Xüsusilə, bərpa olunan enerji mənbələrinə investisiya qoyuluşu xərclərinin təhlili, onların istifadəsinin səmərəliliyinin qiymətləndirilməsi, eləcə də bərpa olunan enerji mənbələrinə keçidin əmək məşğulluğuna və əhalinin həyat keyfiyyətinə təsiri araşdırılır.

Bu mövzuya həsr olunmuş elmi işlər arasında D'yakova A.F., Buşuyeva V.V., Bezrukikh P.P., Varnavskiy B.P., eləcə də xarici müəlliflərdən Ahmad Taher Azar, V. Dornburg, Lin C., Worighi I., Kong L. və bir çox başqa müəlliflərin əsərlərini qeyd etmək olar. Dissertasiyanın nəzəri əsaslarını hazırlayarkən müəlliflər bərpa olunan enerji sahəsində Azərbaycan alimləri Mustafayev R.İ., Yusifbəyli N.A., Rəhmanov N.R., Nəsimov V.X. kimi alimlərin elmi işlərini də nəzərə almışlar.

Bu dissertasiya işinin yerinə yetirilməsi zamanı mövcud tədqiqatların daha ətraflı təhlili aparılacaq və əldə olunan nəticələr bərpa olunan enerji mənbələrinin enerji sisteminin dayanıqlılığına təsirinin qiymətləndirilməsi metodikasının hazırlanmasında istifadə olunacaq.

**Tədqiqat metodologiyası.** Bu işi yerinə yetirmək üçün müəyyən edilmiş məqsədə çatmaq və qarşıya qoyulmuş vəzifələri həll etmək üçün müxtəlif metod və yanaşmalardan istifadə olunmuşdur.

Bu iş çərçivəsində bərpa olunan enerji mənbələrinin enerji sisteminin dayanıqlılığına təsiri ilə bağlı elmi məqalələr, nəşrlər, monoqrafiyalar və digər mənbələrin təhlilini əhatə edən ədəbiyyat icmalını aparılmışdır.

Digər müəlliflərin tədqiqat nəticələrinin təhlili və ümumiləşdirilməsi aparılmış, həmçinin öz işimizi yerinə yetirərkən nəzərə alın biləcək çatışmazlıqlar və problemlər müəyyən edilmişdir.

Bu iş çərçivəsində həmçinin bərpa olunan enerji mənbələrinin inkişafının müxtəlif ssenarilərinin enerji sisteminin dayanıqlılığına təsirini qiymətləndirməyə imkan verən modelləşdirmə metodu istifadə edilmişdir.

Həmçinin işdə bərpa olunan enerji mənbələrinə keçidin iqtisadi və sosial nəticələrini qiymətləndirməyə imkan verən riyazi statistika və iqtisadi təhlil metodlarından istifadə edilmişdir.

Əldə olunan nəticələrin təhlili üçün müxtəlif bərpa olunan enerji mənbələrinin inkişaf ssenarilərini müqayisə etməyə və ən optimal ssenarini müəyyən etməyə imkan verən müqayisəli təhlil metodu istifadə edilmişdir.

## **1. YENİLƏNƏ BİLƏN ENERJİ: DÜNYA İNKİŞAF TENDENSIYALARI**

Son illərdə dünya enerji istehsalı və istehlakı misli görünməmiş dərəcədə sürətlənmişdir. Bugünkü artan elektrik enerjisi tələbatı, ənənəvi enerji mənbələrinin çatışmazlığı səbəbindən yaranan enerji böhranları və onların ətraf mühitə təsiri, bərpa olunan enerji mənbələrinə, məsələn, külək və günəş enerjisinə daha çox diqqət yetirilməsinin səbəblərindən biridir. Bu mənbələr ümumiyyətlə ətraf mühiti çirkləndirməyən, texnoloji cəhətdən səmərəli, ekoloji cəhətdən davamlı və karbon qazı emissiyası yaratmadan sabit elektrik təmin edən alternativ enerji mənbələri təklif edir. Bununla belə, mövcud elektrik şəbəkələrinin əksəriyyəti, yəni ötürmə və paylama şəbəkələri bərpa olunan enerjinin artan miqdarını idarə edə bilmir.

### **1.1 Yenilənə bilən enerji mənbələrinin icmalı və onların elektrik enerjisi istehsalında rolu**

Bərpa olunan enerji iqlim dəyişikliyinə yumşaldılması, fosil yanacaqlardan asılılığın azalması və dayanıqlı inkişafa töhfə vermək potensialına görə bütün dünyada böyük diqqət qazanmışdır. Bu fəsildə biz bərpa olunan enerji mənbələrinin müxtəlif növlərini, onların cari vəziyyətini və qlobal enerji tələbatını ödəməkdə dəyişən rolunu nəzərdən keçirəcəyik.

#### *Yenilənə bilən enerji mənbələrinin icmalı:*

Bərpa olunan enerji mənbələri günəş enerjisi, külək, su, geotermal istilik və biokütlə kimi təbii resurslardan istifadə edən müxtəlif texnologiyaları əhatə edir. Bu mənbələrin üstünlüyü fosil yanacaqlarının məhdud ehtiyatlarından fərqli olaraq onların davamlı və zamanla bərpa olunan olmasıdır. Bərpa olunan enerji texnologiyaları əhəmiyyətli təkmilləşdirmələrdən keçir, bu da onları getdikcə daha rəqabətə davamlı və etibarlı elektrik enerjisi istehsalı üçün variantlar halına gətirir.

#### *Günəş enerjisi:*

Günəş işığından əldə olunan günəş enerjisi bütün dünyada sürətlə inkişaf edir. Günəş panellərindən istifadə edən fotovoltaiq sistemlər (FVS) günəş işığını birbaşa elektrik enerjisinə çevirir. Günəş panellərinin effektivliyi əhəmiyyətli dərəcədə artmışdır ki, bu da günəş enerjisini getdikcə iqtisadi cəhətdən daha səmərəli edir.



Bundan əlavə, binaların damlarında və kommunal sistemlərdə paylanmış günəş FVS-lərinin quraşdırılması fərdlərə və müəssisələrə elektrik enerjisi istehsalında fəal iştirak etməyə imkan verir.

#### *Külək enerjisi:*

Külək enerjisi bərpa olunan enerji sektorunun ən sürətlə böyüyən segmentlərindən biridir. Külək turbinləri küləyin enerjisini elektrik enerjisinə çevirir. Texnoloji təkmilləşdirmələr və turbinlərin ölçülərinin artması sayəsində onların səmərəliliyi və gücü əhəmiyyətli dərəcədə artmışdır. Külək enerjisi həm quruda, həm də dənizdə istehsal edilə bilər ki, bu da dünyanın müxtəlif regionlarında külək fermalarının qurulması üçün geniş imkanlar yaradır.

#### *Hidroenerji:*

Hidroenerji su axınlarını elektrik enerjisi istehsal etmək üçün istifadə edir. Hidroelektrik stansiyalar böyük miqyaslı, məsələn bəndlər və HES-lər və ya kiçik miqyaslı, məsələn mikrohidroelektrik stansiyalar ola bilər. Hidroenergetika, xüsusən su resurslarının bolluğu olan bölgələrdə sabit və etibarlı elektrik enerjisi istehsalı təklif edir.

#### *Geotermal enerji:*

Geotermal enerji, Yer səthinin dərinliklərində toplanan istilikdən istifadə etməyə əsaslanır. Geotermal enerji texnologiyaları elektrik enerjisi istehsalı və istilik təchizatı üçün tətbiq edilə bilər. O, gün boyu mövcud olan davamlı enerji mənbəyidir [1].

### **1.2 Elektrik enerjisi istehsalında bərpa olunan enerji mənbələrinin rolu**

Bərpa olunan enerjinin dünyada sürətlə inkişafı davam edir. Hazırda dünya ictimaiyyəti bərpa olunan enerji mənbələrinin inkişafını qlobal enerji sisteminin daha ucuz və "təmiz" enerji istehsalına keçidinin, həmçinin qlobal iqlim dəyişikliyi ilə mübarizənin əsas istiqamətlərindən biri kimi görür [World Economic, 2019].

Bərpa olunan enerjinin sürətli inkişafı həm sahəyə qoyulan genişmiqyaslı investisiyalarda, həm yeni güclərin rekord həddə artırılmasında, həm də ümumi elektrik enerjisi istehsalında "təmiz" enerjinin payının artmasında öz əksini tapır.

2022-ci ilin sonuna qədər bərpa olunan enerji mənbələrinin qlobal generasiya gücü rekord 295 GW və ya 9,6% artım ilə 3370 GW-a çatmışdır

2022-ci ildə bir çox ölkə bərpa olunan enerji mənbələrinin gücünü artmasına baxmayaraq, bərpa olunan enerji mənbələrinin illik sabit artımı yalnız bir neçə ölkə və regionda, yəni Asiya, ABŞ və Avropada müşahidə olunur. IRENA agentliyinin məlumatlarına görə 2022-ci ildə bütün yeni güclərin təxminən yarısı Asiyada əlavə edilmişdir, burada bərpa olunan enerji mənbələrinin ümumi gücü 2022-ci ildə 1,63 TW-a çatmışdır. Ən böyük töhfəni Çin vermişdir və materikdə 141 GW yeni bərpa olunan enerji gücü əlavə etmişdir.

Avropada və Şimali Amerikada bərpa olunan enerji mənbələrinin gücü müvafiq olaraq 57 GW və 29 GW artmışdır. Afrikada isə əvvəlki illə müqayisədə bir qədər yüksək olan 3 GW sabit artım müşahidə olunur. Okeaniyada iki rəqəmli artım göstəricisi qorunur və burada 5 GW güc əlavə edilmişdir, Cənubi Amerikada 18 GW əlavə edilməsi ilə artım tendensiyası davam edir. Yaxın Şərqdə isə 2022-ci ildə 3 GW yeni güc istismara verilmişdir ki, bu da 13% artıma uyğun gəlir və region üçün ən yüksək göstəricidir.

Dünyada bərpa olunan enerji mənbələri üzrə ümumi generasiya gücündə ən böyük pay hidroenergetikaya (1250 GW) məxsus olmasına baxmayaraq, yeni generasiya gücləri əsasən günəş və külək enerjisi sahəsindədir. 2022-ci ildə bərpa olunan enerji mənbələrindəki bütün yeni güclərin 90%-i bu iki texnologiyanın payına düşüb. Günəş enerjisi gücünün artımı 22% təşkil etmişdir, külək enerjisində isə generasiya gücünün artımı 9% olmuşdur.

Texnologiya növləri üzrə əsas məlumatlar:

*Hidroenergetika:* hidroenergetika sahəsində bərpa olunan enerji mənbələrinin güc artımı 21 GW (+2%) təşkil etmişdir ki, bu da son illərdəki artım tempinə uyğundur.

*Külək enerjisi:* 2022-ci ildə artım 75 GW (+9%) olmuşdur və əvvəlki iki illə müqayisədə artımın azalması davam etmişdir.

*Günəş enerjisi:* 2022-ci ildə günəş enerjisi demək olar ki, yalnız günəş fotovoltaiq güclərinin artımı hesabına böyümüşdür və bu artım 190 GW təşkil etmişdir.

*Bioenergetika:* 2022-ci ildə artım bir qədər zəifləmişdir (+7,4 GW, 2021-ci ildə +8,3 GW ilə müqayisədə).

*Geotermal enerji:* geotermal enerji çox cüzi bir artım göstərmişdir, bu da 181 MW-dır.

*Müstəqil elektrik enerjisi istehsalı:* 2022-ci ildə güc artımı 1240 MW (+11%) təşkil etmişdir, ümumi güc isə 12,5 GW-a çatmışdır.

Alternativ mənbələrin enerji istehlakının strukturuna təsirini təhlil etməyə başlamazdan əvvəl alternativ və ya bərpa olunan enerji mənbələri anlayışını nəzərdən keçirmək vacibdir. Bərpa olunan enerji mənbələri günəş işığı, külək, su, yerin daxili istiliyi, biokütlə və tullantılar kimi geniş spektrli resursları əhatə edir ki, bu resurslar özlərini yeniləyə bilir və elektrik enerjisi istehsalı üçün istifadə edilə bilər. Geoloji zaman miqyasında məhdud olan fosil resurslardan fərqli olaraq bərpa olunan enerji mənbələri belə məhdudiyətlərə malik deyil.

Bərpa olunan enerji mənbələrinin fosil yanacaqlardan əsas fərqlərindən biri, xüsusilə karbon qazı olmaqla istixana qazı emissiyalarının miqdarındadır. Biokütlə kimi bərpa olunan resurslar neytral yanacaq dövrünə malikdir. Digər resurslar isə ya birbaşa istifadə olunur, ya da istehsal və nəqliyyat zamanı yaranan emissiyalar istisna olmaqla, emissiya mənbəyi olmayan sistemlərdən istifadə edilərək çevrilir. Fosil resurslarının tükənməsi ilə yanaşı bərpa olunmayan enerji də bərpa olunan resursların emissiya səviyyəsini 10-20 dəfə üstələyən mənfi ekoloji təsirə malikdir.

Beləliklə, bərpa olunan enerji mənbələri ətraf mühitə minimal təsirlə enerji təchizatı üçün perspektivli bir həll təklif edir. Onların istifadəsi istixana qazı emissiyalarını azaltmağa və fosil resurslarından asılılığı azaltmağa imkan verir.

Alternativ enerji mənbələrinin öz imkanları və məhdudiyətləri var. Bərpa olunan enerji mənbələrinin elektrik enerjisi istehsalında istifadəsini qiymətləndirərkən onların mövcudluğu vacib faktordur. Bununla belə, onlar müəyyən məhdudiyətlərə də məruz qalır. Məsələn günəş enerjisini yalnız gündüz,

buludlu hava dövrləri istisna olmaqla əldə etmək mümkündür. Külək turbinləri isə zədələnməmək üçün 25 m/s sürətdən yüksək olmayan külək sürətində işləməlidir. Həmçinin, effektiv elektrik enerjisi istehsalı üçün küləyin sürəti ən azı 3 m/s olmalıdır.

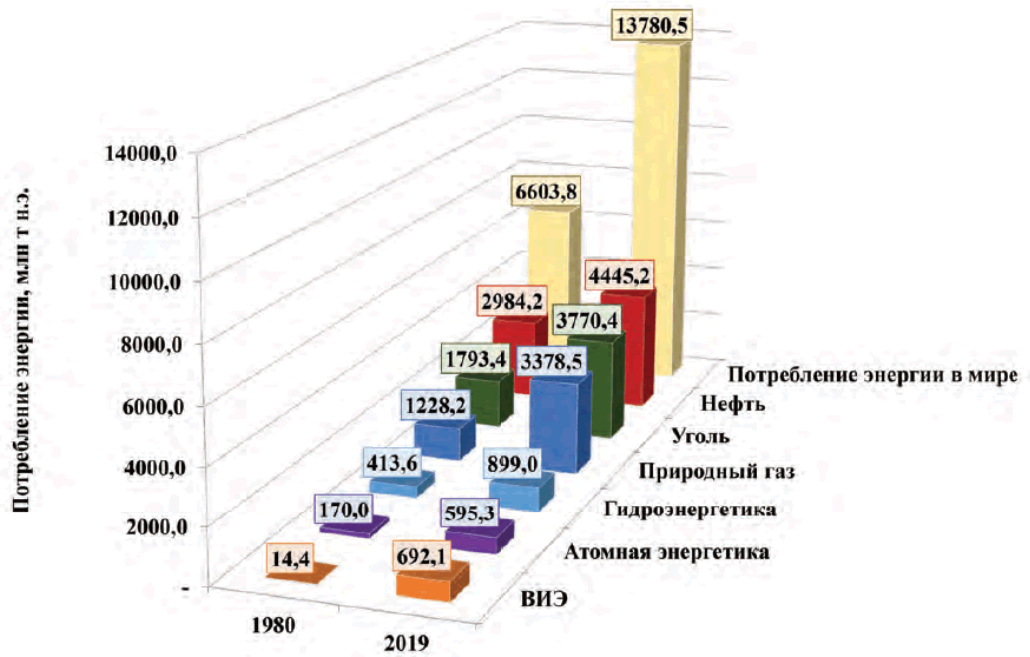
Geotermal enerji 24 saat ərzində fasiləsiz olaraq elektrik enerjisi istehsal edə bilər, lakin coğrafi baxımdan məhduddur. Həmçinin, müxtəlif mənbələrdən elektrik enerjisi istehsalının effektivliyi əhəmiyyətli dərəcədə fərqlənir. Müxtəlif texnologiyaların effektivlik səviyyələrini nümunə kimi göstərmək olar. Fotovoltaik enerji 4 faizdən 20 faizə qədər effektivliyə malikdir, külək enerjisi isə 20 faizdən 50 faizə qədər dəyişir, hidroelektrik enerji isə 90 faizdən çoxdur, geotermal enerji isə 10 faizdən 20 faizə qədər effektivliyə malikdir. Bu bərpa olunan mənbələrlə müqayisədə, kömürün effektivliyi 32 faizdən 45 faizə, təbii qazın isə 45 faizdən 55 faizə qədərdir.

Dünyanın enerji istehlakının strukturu dəyişməyə davam edir. Əlverişli və etibarlı enerji mənbələrinə tələbat artdıqca, aşağı karbon tərkibli enerji sistemlərinə keçid tendensiyası müşahidə olunur. Bununla belə kömür və təbii qaz kimi fosil enerji mənbələri hələ də elektrik enerjisi istehsalında və nəqliyyat sistemlərində üstünlük təşkil edir. Eyni zamanda bərpa olunan enerji mənbələrinin payı xüsusən günəş və külək enerjisinin sürətli artımına baxmayaraq hələ də azdır.

*Yanacaq növlərinin bölgüsü regionlar üzrə fərqlənir.*

Neft Afrika, Avropa və Amerikada əsas yanacaq növü olaraq qalır, təbii qaz isə MDB və Yaxın Şərqdə üstünlük təşkil edir. Kömür Asiya-Sakit Okean regionunda əsas yanacaq növüdür. Şimali Amerika və Avropada kömürün enerji istehlakındakı payı azalıb, lakin əhəmiyyətli olaraq qalır.

Hazırda neft enerji istehlakında ən böyük paya malikdir (35 faiz), kömür isə ikinci yerdədir (30 faiz). Təbii qaz və bərpa olunan enerji mənbələrinin payı rekord səviyyəyə yüksələrək müvafiq olaraq 28 və 5,7 faizə çatmışdır, bu da nüvə enerjisinin payını (4,3 faiz) üstələmişdir. Hidroenergetikanın payı da artaraq 6,9 faiz olmuşdur. Şəkil 1.1.



Şəkil 1.1. 1980-2019-cu illər arasında enerji istehlakının dəyişməsi.

2020-ci ilin sonuna olan vəziyyətə görə, dünya üzrə bərpa olunan enerji mənbələrinin quraşdırılmış gücü 2800 GW təşkil etmişdir; ən böyük pay (1210 GW) hələ də hidroenergetikanın payına düşür baxmayaraq ki, günəş və külək enerjisinin payı sürətlə artır: 2020-ci ildə əsas güc artımı bu iki dəyişkən bərpa olunan enerji mənbələrinə aid idi – 127 GW yeni günəş qurğuları və 111 GW külək enerjisi.

2020-ci ildən etibarən Çin və Amerika Birləşmiş Ştatları ən yüksək artım tempinə malik iki bazar olmuşdur. Artıq dünyanın ən böyük bərpa olunan enerji mənbələri bazarı olan Çin keçən il 136 GW əlavə etmişdir ki, bunun əsas hissəsi 70 GW külək və 50 GW günəş enerjisinin payına düşür. Keçən il ABŞ-da 15 GW günəş və təxminən 14 GW külək enerjisi daxil olmaqla, 30 GW bərpa olunan enerji mənbəyi quraşdırılmışdır ki, bu da 2019-cu illə müqayisədə təxminən 80 faiz çoxdur. Afrikada artım sabit olaraq davam etmiş və göstəricilər 2,6 GW artmışdır ki, bu da 2019-cu ildən bir qədər çoxdur. Okeaniya isə ən sürətlə böyüyən region olaraq qalır (+18,4%), baxmayaraq ki, onun qlobal güclərdəki payı azdır və artımın demək olar ki, hamısı Avstraliyanın payına düşür.

Texnologiya növləri üzrə əsas məlumatlar:

– Hidroenergetika: Hidroenergetikanın artımı 2020-ci ildə bir neçə iri layihənin istismara verilməsi ilə bərpa olundu. Hansı ki, bu layihələr 2019-cu ildə təxirə salınmışdı. Çin 12 GW güc əlavə etdi, ardınca isə Türkiyə 2,5 GW əlavə etdi.

– Külək enerjisi: 2020-ci ildə külək enerjisinin artımı 2019-cu illə müqayisədə demək olar ki, ikiqat artdı (111 GW, keçən ilki 58 GW ilə müqayisədə). Çin 72 GW yeni güc əlavə etdi, ardınca isə ABŞ 14 GW əlavə etdi. Daha on ölkə 2020-ci ildə külək enerjisi gücünü 1 GW-dan çox artırdı. Dəniz külək enerjisi 2020-ci ildə ümumi külək enerjisi gücünün təxminən 5%-nə qədər artdı.

– Günəş enerjisi: Günəş enerjisinin ümumi gücü hazırda külək enerjisi gücü ilə təxminən eyni səviyyəyə çatmışdır, bu, əsasən 2020-ci ildə Asiyada (78 GW) artım sayəsində olmuşdur. Çində (50 GW) və Vyetnamda (11 GW) gücün əhəmiyyətli dərəcədə artımı olmuşdur. Yaponiya da 5 GW-dan çox əlavə etdi, Hindistan və Cənubi Koreya isə hər biri günəş enerjisi gücünü 4 GW-dan çox artırdı. ABŞ isə 15 GW əlavə etdi.

– Bioenergetika: 2020-ci ildə xalis güc artımı iki dəfə azalmışdır (2019-cu ildə 6,4 GW ilə müqayisədə 2,5 GW). Çində bioenergetika gücləri 2 GW-dan çox artmışdır. Avropa, 2019-cu ilə bənzər bir artımla, 2020-ci ildə 1,2 GW bioenergetika gücü əlavə edərək, Çin istisna olmaqla əhəmiyyətli artım göstərən yeganə region olmuşdur.

– Geotermal enerji: 2020-ci ildə çox az miqdarda güc əlavə edilmişdir. Türkiyə gücünü 99 MW artırmış, Yeni Zelandiya, Amerika Birləşmiş Ştatları və İtaliyada da cüzi artım müşahidə olunmuşdur.

– Müstəqil elektrik enerjisi istehsalı: Müstəqil güclər 2020-ci ildə 365 MW (2%) artaraq 10,6 GW-a çatmışdır. Günəş enerjisi 250 MW artaraq 4,3 GW-a çatmış, hidroenergetika isə təxminən 1,8 GW səviyyəsində qalaraq praktiki olaraq dəyişməmişdir.

Bərpa olunan enerji mənbələri elektrik enerjisi istehsalı üçün perspektivli bir həll təklif edir. Günəş enerjisi, külək enerjisi, hidroenerji və geotermal enerji enerji tələbatımızı ödəmək üçün sabit və ekoloji cəhətdən təmiz variantlar təklif edir.

Hazırda və gələcəkdə davamlı enerjiyə keçid əsasdır və bərpa olunan enerji mənbələri bu prosesdə mühüm rol oynayır.

2023-cü ildə dünya bərpa olunan enerji mənbələrinin gücünü əvvəlki illə müqayisədə 50 faiz artırmışdır. Parisdə yerləşən Beynəlxalq Enerji Agentliyinin (BEA) məlumatlarına görə, bu artım son iyirmi ildə ən sürətli artım tempi olmuşdur və bərpa olunan enerji mənbələrinin güc artımı ardıcıl olaraq 22-ci il yeni rekord vurmuşdur. 2025-ci ilə qədər günəş enerjisinin yeni bərpa olunan enerji qurğularının 60 faizini, külək enerjisinin isə 30 faizini təşkil edəcəyi gözlənilir. Həmçinin, 2025-ci ilə qədər külək enerjisi bazarında əhəmiyyətli bir paya sahib olacaq ofşor külək enerjisinin əhəmiyyətli dərəcədə artacağı gözlənilir. Enerji siyasəti ilə bağlı inkişaf etmiş ölkələrə məsləhət verən agentlik keçən il bərpa olunan enerji mənbələrinin gücünün təxminən 510 gigavatta çatdığını və dünya üzrə güc artımının üçdə bir hissəsinin günəş fotovoltaiq sistemlərinin (PV) payına düşdüyünü bildirmişdir. Ötən il Çin, bütün dünyanın 2022-ci ildə quraşdırdığı qədər günəş fotovoltaiq sistemi istismara vermişdir və ölkədə külək enerjisinin həcmi illik müqayisədə 66 faiz artmışdır. Enerji nəzarəti təşkilatı bildirib ki, Avropa, ABŞ və Braziliyadakı artım da rekord səviyyəyə çatmışdır. 2023-cü ildə günəş fotovoltaiq cihazlarının qiymətləri əvvəlki illə müqayisədə 50 faiz ucuzlaşmışdır.

Bu bərpa olunan enerji mənbələrinin sürətli artımı onların elektrik sistemlərinə etibarlı və iqtisadi cəhətdən səmərəli inteqrasiyasını təmin etmək üçün siyasətçilərin diqqətini tələb edir.

2023-cü il üçün dünya enerji statistika icmalısı və OPEC-in 2023-cü il üçün dünya neft hasilatı proqnozu göstərir ki, bərpa olunan enerji mənbələri kömürü ötürəcək və artıq 2025-ci ilə qədər dünyanın elektrik enerjisi istehsalının əsas mənbəyinə çevriləcək. Gözlənilir ki, bu vaxta qədər bərpa olunan enerji mənbələri dünya elektrik enerjisinin üçdə birini təmin edəcək. Hidroenergetika bərpa olunan elektrik enerjisinin istehsalında mühüm mənbə olaraq qalacaq və onun təxminən yarısını təmin edəcək. Külək və günəş fotovoltaiq qurğuları da əhəmiyyətli rol oynayacaq. Bərpa olunan enerji mənbələrinin xərclərinin azalması investorların

strategiyalarını və siyasətin rolunu dəyişdirir. Gözlənilir ki, bərpa olunan enerji mənbələrinin artım payı 5 faizdən 2025-ci ilə qədər 15 faizdən çox artacaq [3].

Azərbaycan bərpa olunan enerji mənbələrinin inkişafı üçün böyük potensiala malikdir. Elektrik enerjisi, bərpa olunan enerji mənbələri və "yaşıl" enerji üzrə ekspertlər Azərbaycan energetika strategiyasında yeni bir dövrün başladığını təsdiqləyirlər. Ölkənin enerji sektorunda bərpa olunan enerji mənbələrinin istifadəsinin inkişafı Prezident İlham Əliyev tərəfindən prioritet vəzifə olaraq elan edilmiş və 2030-cu ilə qədər quraşdırılmış gücdə bərpa olunan enerji mənbələrinin payının 30 faizə çatdırılması hədəflənmişdir.

Azərbaycanın bərpa olunan enerji potensialı quruda 27 GW-dan çox külək və günəş enerjisi, Xəzərin Azərbaycan sektorunda isə 157 GW külək enerjisi təşkil edir.

9 yanvar 2020-ci ildə Azərbaycanın Energetika Nazirliyi bərpa olunan enerji sahəsində pilot layihələrin həyata keçirilməsi üçün ACWA Power (Səudiyyə Ərəbistanı Krallığı) və Masdar (Birləşmiş Ərəb Əmirlikləri) ilə sazişlər imzalamışdır. Sazişlərə əsasən, 240 MVt gücündə külək elektrik stansiyasının tikintisi üzrə pilot layihə ACWA Power ilə və 200 MVt gücündə günəş elektrik stansiyasının tikintisi üzrə pilot layihə Masdar ilə həyata keçiriləcəkdir. Həmin ilin 30 dekabrında Energetika Nazirliyi və "Azərenerji" ASC Səudiyyə Ərəbistanının ACWA Power şirkəti ilə külək parkı layihəsi üçün investisiya sazişi, enerji alqı-satqı müqaviləsi və ötürmə şəbəkəsinə qoşulma müqaviləsi imzalamışdır. Ötən il yanvarın 13-də ACWA Power şirkəti ilə birlikdə Xızı-Abşeron külək elektrik stansiyasının təməl daşı qoyulmuşdur. Bundan əlavə 15 mart 2022-ci ildə Bakıda keçirilmiş 230 MVt gücündə Qaradağ günəş elektrik stansiyasının təməlqoyma mərasimi çərçivəsində Masdar şirkəti ilə dörd qarşılıqlı anlaşma memorandumu imzalanmışdır.

2022-2026-cı illər üçün Azərbaycan Respublikasının sosial-iqtisadi inkişaf strategiyasında elektrik enerjisi istehsalında bərpa olunan enerji mənbələrinin payının 2026-cı ilə qədər 24 faizə və 2030-cu ilə qədər 30 faizə çatdırılması nəzərdə tutulmuşdur.



Neft və qaz ehtiyatlarının zənginliyinə baxmayaraq, Azərbaycan bərpa olunan enerji sektorunun inkişafına xüsusi diqqət yetirir, yaxın gələcəkdə yaşıl enerji və hidrogen ixracatçısına çevriləcək. Xarici investorlar və ekoloji cəhətdən təmiz enerji sahəsində aparıcı dünya şirkətləri ilə imzalanmış sazişlər və qarşılıqlı anlaşma memorandumlarına əsasən, yaxın illərdə Azərbaycanda istehsal olunacaq bərpa olunan enerji gücü 10 GW-a çatacaq. Bu ilin oktyabr ayında Azərbaycanda Masdar şirkəti tərəfindən tikilmiş 230 MVt gücündə Qaradağ günəş elektrik stansiyası açılmışdır. Bu, Xəzər dənizində və Qafqaz regionunda ən böyük günəş elektrik stansiyasıdır.

2021-2023-cü illərdə azad edilmiş Qarabağ və Şərqi Zəngəzurda 170 MVt gücündə hidroelektrik stansiyaları istismara verilmişdir. 2024-cü ilin sonuna qədər bu rəqəm 270 MVt-a çatacaq. Bir neçə il ərzində Ermənistanın işğalından azad edilmiş ərazilərdəki hidroelektrik stansiyalarının ümumi gücü 500 MVt olacaq.

## **2. BƏRPA OLUNAN ENERJİ MƏNBƏLƏRİNİN ŞƏBƏKƏYƏ İNTEQRASIYA OLUNMUŞ SİSTEMLƏRİN SƏMƏRƏLİLİYİNƏ TƏSİRİ**

Global enerji tələbatı hər il artır və aydındır ki, bu planetin əhalisinin artması ilə əlaqədardır. Bu tendensiyanın hələ uzun müddət davam edəcəyi ehtimal olunur [1]. Beynəlxalq Enerji Agentliyinin (IEA) "Dünya Enerji Baxışı"nda [1] həmçinin qeyd edilir ki, bərpa olunan enerji mənbələri sahəsində böyük səylər və resurslar ayrılmasına baxmayaraq, dünya enerji istehsalının təxminən 80%-i hələ də fosil yanacaqlara əsaslanır.

Bununla belə, fosil yanacaq ilə işləyən enerji qurğularının dayanıqsızlığı hər yerdə etiraf edilir və bu, yüksək qiymətləndirilə bilməz. Birincisi bu sistemlərin emissiyaları insanın sağlamlığının və ətraf mühitin sürətlə pisləşməsi səbəbindən gələcək mövcudluğuna ciddi təhdid yaradır və biz artıq bu nəticələrlə yaşayırıq. Bundan əlavə fosil enerji resurslarının nə qədər müddət istifadə edilməsindən asılı olmayaraq, bərpa edilmə imkanı olmadan nə vaxtsa tükənəcəyi gözlənilir. Buna görə də alternativ və təmiz enerji mənbələrinin axtarışı ən mühüm tədqiqat sahəsi olaraq qalmalıdır ki, bu da Birləşmiş Millətlər Təşkilatının 2030-cu il üçün Davamlı İnkişaf Məqsədlərinin (SDG) 7-ci bəndində açıq şəkildə əks olunmuşdur.

Yuxarıda qeyd edildiyi kimi hazırda bərpa olunan enerji sistemlərinin inkişafı və praktiki tətbiqi üçün çox iş görülür, baxmayaraq ki, onların real şəraitdə tətbiqi yerli səviyyədə çoxsaylı çətinliklər səbəbindən məhduddur [2]. Müasir enerji sistemlərində bərpa olunan enerji mənbələrinin geniş tətbiqinə mane olan problemlərin əksəriyyəti adətən bu resursların keçici xarakterindən qaynaqlanır. Buna görə də bərpa olunan enerji sistemləri adətən aşağı dispetçer nəzarəti və ya etibarlılıq, aşağı çevrilmə səmərəliliyi və generasiya səviyyəsində yüksək istismar xərcləri ilə xarakterizə olunur [3]. Eyni şəkildə əksər bərpa olunan resursların keçici xarakteri elektrik şəbəkəsinə inteqrasiya zamanı aşağı enerji keyfiyyətinə, gərginlik və tezlikdə qeyri-sabitliyə, yüksək enerji itkilərinə və bir sıra digər amillərə səbəb olur [3,4]. Əsasən, bərpa olunan enerji mənbələrinin yüksək nüfuzuna təsir edən

bütün müşayiət olunan problemlərin axtarışı və yumşaldılması üçün səyləri artırmaq lazımdır ki, enerji tələbatını davamlı şəkildə ödəmək mümkün olsun.

Bu dissertasiya işinin məqsədi elektrik şəbəkələrinə inteqrasiya olunmuş bərpa olunan enerji mənbələrinin effektivliyini məhdudlaşdıran ümumi problemlərin nəzərdən keçirilməsi, həmçinin tez-tez istifadə olunan müasir həll strategiyalarının araşdırılmasıdır. Bu işdə bərpa olunan resurslar günəş enerjisi, külək enerjisi, biokütlə enerjisi, geotermal enerji, eləcə də bərpa olunan hidrogen/yandırılma elementləridir ki, bunlar təbiətdə müstəqil bərpa olunan resurslar kimi mövcud olmasalar da, enerjidaşıyıcı kimi güclü xüsusiyyətlərə malikdir və beləliklə, gələcək enerji dayanıqlılığı üçün həyati əhəmiyyət kəsb edirlər.

Müxtəlif bərpa olunan enerji mənbələrinin qısa icmalından sonra hər bir resursun enerji sistemində inteqrasiya problemləri və potensial həll strategiyaları əvvəlcə elektrik enerjisi istehsalı mərhələsində sonra isə enerji sistemində inteqrasiya prosesində müzakirə olunur. Bundan sonra icmal araşdırmasından əldə edilən bəzi nəticələri əks etdirən ekspert rəyi təqdim edilir ki, bu da elektrik şəbəkələri ilə öyrənilən bərpa olunan enerji mənbələrinin praktik və sabit inteqrasiyasını asanlaşdırmaq üçün cari tədqiqat fəaliyyətinə diqqət yetirilməli olan məqamları vurğulayır.

Bu iş ümumi biliklərə töhfə olaraq bərpa olunan enerji sahəsində tədqiqatçılara və praktiklərə bərpa olunan enerji mənbələrinin inteqrasiyası zamanı tez-tez rast gəlinən müxtəlif problemlərin yumşaldılması üçün atılan addımlar haqqında aydın məlumat təqdim edir.

Bərpa olunan enerji mənbələri sonsuz istifadə edilə bilən enerji məzmununa malik olan bütün öz-özünə mövcud olan təbii resursları əhatə edir. Ümumiyyətlə bu kateqoriyaya günəş enerjisi, külək enerjisi, biokütlə enerjisi, geotermal enerji və hidroenergetika daxildir. Düzgün istifadə edildikdə bərpa olunan enerji mənbələrinin dünya enerji tələbatını ödəyə biləcəyi və hətta bu tələbatı təxminən 3000 dəfə üstələyəcəyi hesab olunur [6]. Qlobal enerji infrastrukturunda bərpa olunan resursların istifadəsi üçün müraciətlərin sayının artmasına baxmayaraq

dünyanın yalnız bərpa olunan enerji mənbələrindən qidalanması üçün hələ çox iş görülməlidir.

Bu resurslardan bəziləri, məsələn külək, günəş iqlim və hava şəraitindən çox asılı olduğu halda digərləri yer qabığının geoloji quruluşundan və torpağın quruluş səviyyəsindən çox asılıdır. Günəş enerjisi, külək enerjisi və digər hava şəraitindən asılı olan enerji resursları çox nizamsız şəkildə mövcuddur, baxmayaraq ki, onları dünyanın müxtəlif yerlərində müxtəlif intensivliklərlə istifadə etmək mümkündür. Əksinə biokütlə, geotermal və yer səthinin təbiətindən asılı olan digər əksər bərpa olunan resurslar daha səmərəli istifadə üçün sabit ola bilsə də onlar tez-tez hər yerdə mövcud olmur. Bu xüsusiyyətlər tez-tez bərpa olunan enerji mənbələrinin optimal istismarında müxtəlif problemlər yaradır və hər bir resurs növü onun xüsusiyyətləri nəzərə alınmaqla nəzərdən keçirilməlidir. Bu icmalda əsas diqqət günəş enerjisi, külək, biokütlə və geotermal resurslara, eləcə də gələcəkdə enerji davamlılığının təmin edilməsi üçün həyati əhəmiyyət kəsb edən ikincil enerjidaşıyıcı olan bərpa olunan hidrogenə yönəldilmişdir. Bu bərpa olunan resursların elektrik enerjisi istehsalına və paylayıcı, ötürücü elektrik şəbəkələrinə inteqrasiyasına təsirini müzakirə etməyə başlamazdan əvvəl aşağıda göstərildiyi kimi hər birinin qısa icmalı verilmişdir.

## **2.1 Günəş enerjisi**

Günəş enerjisi bu gün bütün dünyanın diqqətini cəlb edən bərpa olunan resurslardan biridir. Bəlkə də buna səbəb onun pulsuz və ümumi şəkildə əlçatan olmasıdır [7]. Hazırda günəş şüalanması fotovoltaiq və ya konsentratlaşdırılmış günəş enerjisi texnologiyalarından istifadə edilərək enerji istehsalı üçün istifadə edilə bilər [8-10]. Konsentratlaşdırılmış günəş enerjisi kollektorlar vasitəsilə günəş enerjisini əvvəlcə istilik enerjisinə sonra isə turbogenerator vasitəsilə elektrik enerjisinə çevirərkən fotoelektrik sistemlər günəş işığını birbaşa elektrik enerjisinə çevirə bilər [11]. Enerji sisteminə inteqrasiya üçün generasiya baxımından konsentratlaşdırılmış günəş enerjisi birbaşa tətbiq oluna bilən dəyişən cərəyan (AC) istehsal edən dolayı texnologiyadır [12], halbuki fotovoltaiq (PV) daha sadə

texnologiyadır və birbaşa cərəyan (DC) istehsal edir ki, bu da AC-ə çevrilməlidir. Bunun üçün invertorlar kimi aralıq cihazlardan istifadə olunur [11,13]. Bu, fotovoltaiq sistemləri kifayət qədər əlçatan edir və günəş texnologiyasının real həyatda tətbiqi üçün yayılmasına imkan yaradır [14].

Fotoelektrik qurğuların gücü bir neçə kilovat [15] olan mikromiqyaslıdan bir neçə meqavat [16] olan meqamiqyaslıya qədər dəyişə bilər, orta istilik çevirmə koeffisienti adətən təxminən 18% təşkil edir [17]. Buna baxmayaraq, konsentratlaşdırılmış günəş enerjisi texnologiyası müxtəlif tətbiqlərdə istifadə üçün istilik enerjisi istehsalı baxımından az əhəmiyyətli sayılmır, bu, müxtəlif enerji dövrlərindən istifadə etməklə elektrik enerjisinə çevrilməni də əhatə edir [18]. Konsentratlaşdırılmış günəş enerjisi sistemləri də kiçik və böyük ölçülərdə olur – yüzlərlə kilovattan bir neçə meqavata qədər, baxmayaraq ki, onlarla kilovat gücündə bir neçə mikroquraşdırma da mövcuddur [12]. Əksər konsentratlaşdırılmış günəş enerjisi qurğularında günəş enerjisinin çevirmə səmərəliliyi adətən təxminən 20% təşkil edir [8].

Beləliklə, həm fotoelektrik, həm də konsentratlaşdırılmış günəş enerjisi qurğuları mükəmməl günəş texnologiyalarıdır. Onlar gələcək enerji balansında bərpa olunan enerji mənbələrinin nüfuzunun artmasında mühüm rol oynayacaqlar və hər ikisi bu icmal tədqiqatında qısaca təqdim edilmişdir.

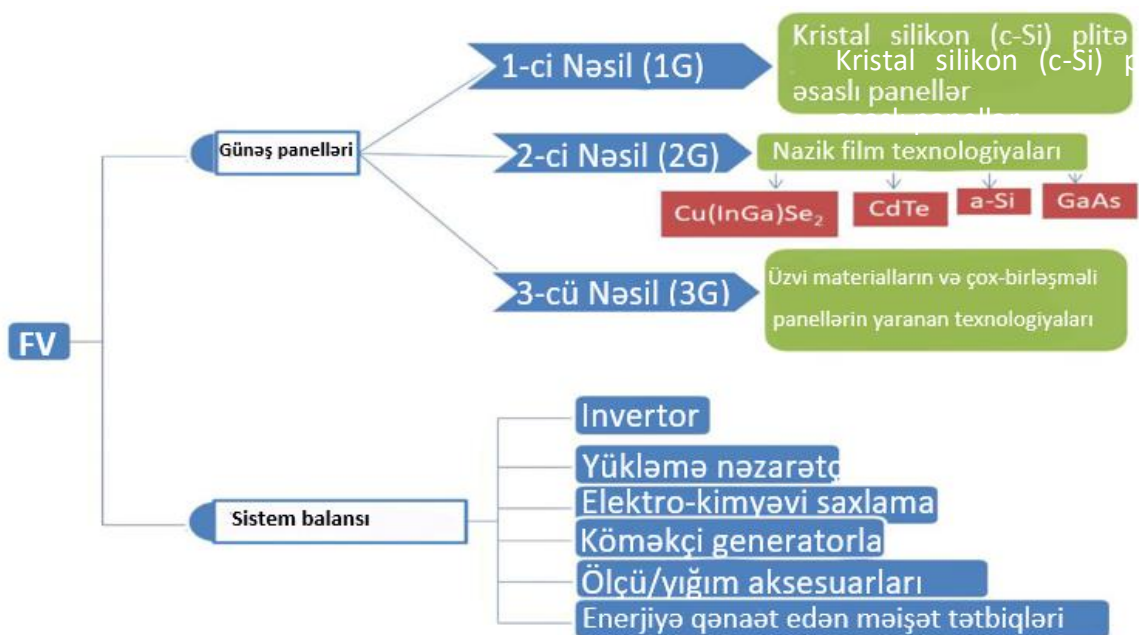
### **2.1.1. Günəş fotovoltaiq sistemləri**

Günəş fotovoltaiq sistemləri günəş radiasiyasının foton effektini elektrik enerjisinə çevirmək üçün texniki olaraq günəş elementləri kimi tanınan yarımkeçiricilər massivlərindən istifadə edir. Lazımi ölçüdə kiçik modullara yığılan günəş elementlərindən başqa, fotovoltaiq sistemlər enerji istehsalı və istifadəsi zəncirinin davamlılığı üçün zəruri olan əlavə funksiyaları yerinə yetirən, tez-tez sistem balansı komponentləri adlanan digər köməkçi cihazlardan da ibarətdir. Fotovoltaiq cihazların sistem balansı komponentlərinin bəzi köməkçi funksiyalarına günəş elementlərinin panellərə mexaniki yığılması və birləşdirilməsi, elementlərin kimyəvi qorunması, köməkçi enerji istehsalı, gücün inversiyası, elektrik enerjisinin

elektro-kimyəvi saxlanması, həmçinin yüklənmənin monitorinqi və idarə edilməsi və s. daxildir [13].

Günəş elementləri elmi multidissiplinar xarakter daşıyır. Hazırda modul günəş elementlərinin və ümumilikdə fotovoltaiq sistemlərin hazırlanmasına yönəlmiş geniş, müxtəlif və irəliyə dönük tədqiqatlar aparılır.

Müxtəlif günəş elementləri formalarına kristal silisium (c-Si); nazik təbəqə silisium elementləri, məsələn, amorf silisium (a-Si), mis-indium-qallium di-selenid  $\text{Cu(InGa)Se}_2$ , kadmium tellurid (CdTe), həmçinin qalium arsenid (GaAs) tək keçidli elementləri; yüksək effektivliyə malik çox keçidli III-V elementləri və boya əsaslı və ya üzvi elementlər daxildir [11]. Shubbak, M.H [13] tədqiqatçıların bu günəş elementlərini inkişaf müddəti və bazara nüfuz dərəcəsinə görə qruplaşdırmaq cəhdlərindən bəhs edir. Ən erkən və şübhəsiz ki, ən geniş yayılmış olanlar c-Si elementləridir və bunlar bazarın 90%-dən çoxuna malikdir, adətən birinci nəsil (1G) günəş elementləri adlanır. Daha müasir nazik təbəqə silisium elementləri ikinci nəsil (2G) günəş elementləri təşkil edir və qalan bazarın böyük hissəsini əhatə edir, ən yeni və ortaya çıxan çox keçidli günəş elementləri və üzvi əsaslı elementlər isə üçüncü nəsil (3G) təşkil edir. Fotovoltaiq sistemlərin icmalının təsviri Şəkil 2.1-də göstərilmişdir.



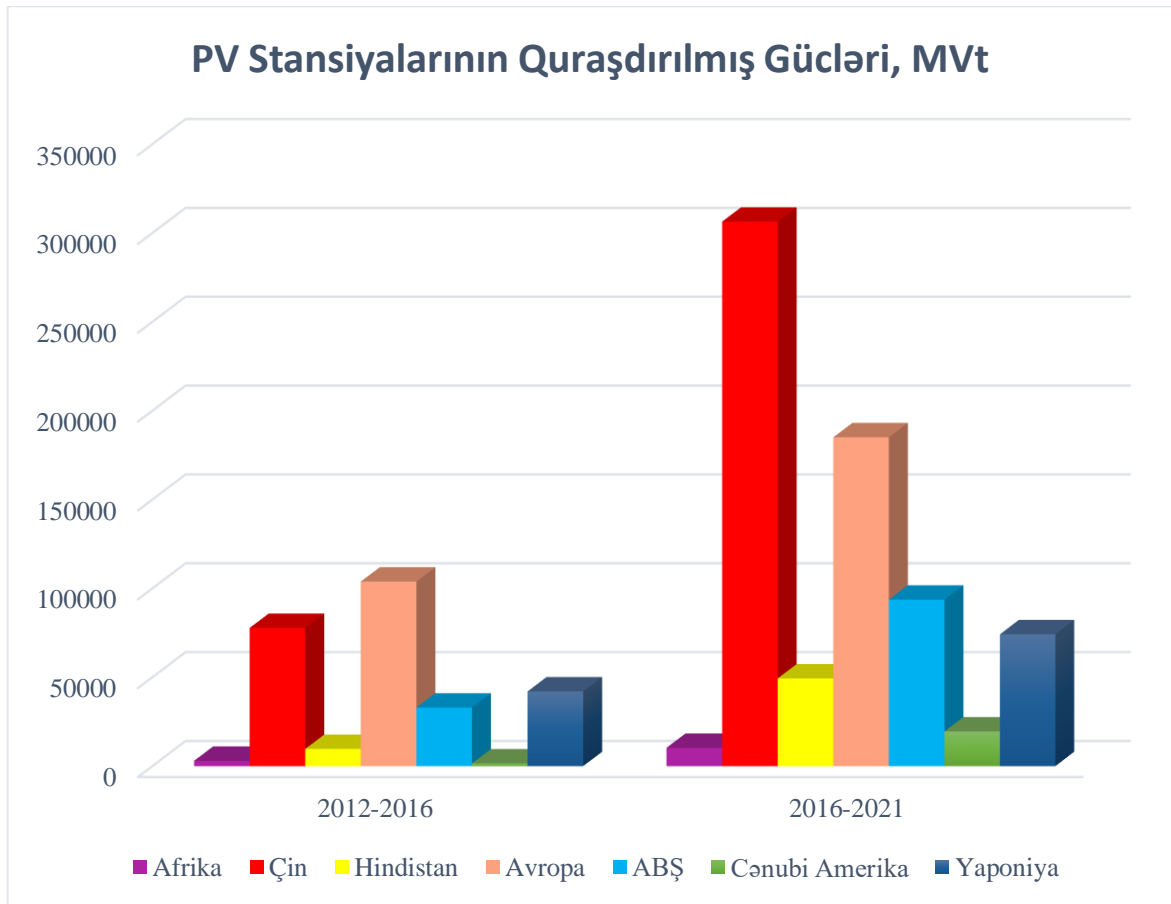
Şəkil 1. Fotovoltaiq (PV) sisteminə ümumi baxış

Ənənəvi fotovoltaik sistemlərin iqtisadi göstəricilərini yaxşılaşdırmaq üçün günəş elementlərinin böyük kəşik sahəsi olan stasionar panellərdə quraşdırıldığı sistemlərdə günəş işığının konsentrasiyası və izlənməsi mexanizmləri təklif edilmişdir. Bu, günəş işığını daha kiçik kəşik sahəsi olan elementlərdə fokuslamaq üçün optik qurğuların (güzgü və linzalar) günəş radiasiyası trayektoriyasına daimi olaraq yerləşdirilməsini nəzərdə tutur ki, bu da konsentratlaşdırılmış fotovoltaik sistemlər kimi tanınır [19]. Konsentratlaşdırılmış fotovoltaik sistemlər qəbul edilmiş izləmə mexanizmi və optika növləri əsasında təsnif edilir, bu, konsentratlaşdırılmış günəş enerjisi sistemlərində istifadə edilənə bənzərdir və növbəti bölmədə daha ətraflı göstərilmişdir. Bundan əlavə, hazırda KPV sistemləri günəş istilik enerjisindən istifadə etmək üçün hibrid istilik sistemləri kimi konsentratlaşdırılmış fotovoltaik sistemlər şəklində modifikasiya olunur [20,21] ki, bu da tullantı istiliyinin bərpası prosesləri hesabına daha da təkmilləşdirilə bilər [22].

Qeyd etmək kifayətdir ki, günəş fotovoltaik texnologiyası bərpa olunan enerji mənbələrindən praktiki istifadə üçün ən böyük liderdir: 2021-ci ildə dünya üzrə təxminən 138 GW güc quraşdırılmışdır ki, bu da yeni bərpa olunan enerji mənbələrinin təxminən 53%-ni təşkil edir [23].

Bunu fotovoltaik element texnologiyalarının və sistem balansının inkişafı ilə izah etmək olar ki, bu da müvafiq olaraq investisiya xərclərini azaldır. Ayrı-ayrı ölkələr və regionlar üzrə fotovoltaik stansiyaların quraşdırılmış gücü Şəkil 2.2-də göstərilmişdir.

Bundan əlavə, iri miqyaslı fotovoltaik layihələr indi xüsusən Çili, Meksika, Peru və BƏƏ-də son illərdə yeni rekordlar qıran aşağı qiymətli günəş enerjisi alqı-satqı müqavilələri ilə iqtisadi cəhətdən səmərəli elektrik enerjisi istehsalında ənənəvi texnologiyalarla layiqli rəqabət aparır [24].



Şəkil 2.2. Seçilmiş ölkələr və regionlar üçün quraşdırılmış PV gücləri

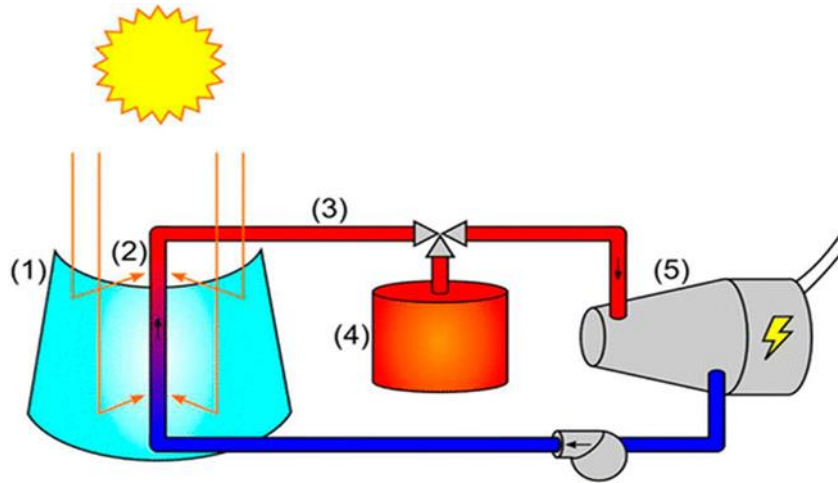
Xüsusilə, IRENA tərəfindən təqdim edilən 2021-ci il üçün fotovoltaiq texnologiyalar üzrə iqtisadi məlumatlar [25] göstərdi ki, bir çox ölkələrdə istehsalın maya dəyəri əhəmiyyətli dərəcədə azalır, ən aşağı normallaşdırılmış elektrik enerjisinin dəyəri Hindistanda təxminən 0,04 USD/kVt-sa, ən yüksək isə Yaponiyada təxminən 0,14 USD/kVt-sa olmuşdur. Bundan əlavə 0,07 USD/kVt-sa-dan aşağı olan normallaşdırılmış elektrik enerjisi dəyərləri Çin, İspaniya və İtaliyada qeydə alınmışdır.

### 2.1.2. Konsentrisiyalı günəş enerjisi sistemi

Konsentratlaşdırılmış günəş enerjisi sistemləri əsasən günəş enerjisinin kollektorlar üzərində fokuslanması yolu ilə istilik enerjisi istehsal edir [27]. Xüsusilə, kollektorlar günəş şüalarının onların xarici səthlərinə birbaşa düşməsi üçün bəzi izləmə mexanizmləri vasitəsilə yerləşdirilir. Daha sonra günəş şüaları günəş enerjisinin faydalı istilik enerjisinə çevrildiyi absorber və alınan istilik enerjisini



istilik daşıyıcısı vasitəsilə daşıyan boru şəbəkəsini əhatə edən qəbul edici cihaz üzərinə yönəldilir [28]. Daha sonra istilik daşıyıcısı ya istifadə olunmuş günəş istiliyindən elektrik enerjisi istehsalı üçün istilik mühərrikindən, ya da istilik enerjisinin sonradan istifadəsi üçün toplandığı istilik enerjisi akkumulyasiya sistemindən keçir [29]. Tipik bir konsentratlaşdırılmış günəş enerjisi sisteminin müxtəlif komponentləri Şəkil 2.3-də göstərilmişdir.



Şəkil 2.3. Ənənəvi konsentrasiya edilmiş günəş enerjisi sisteminin əsas komponentləri: 1 – konsentratör, 2 – qəbuledici, 3 – istilik ötürücü maye, 4 – istilik enerjisi anbarı və 5 – istilik mühərriki [29]

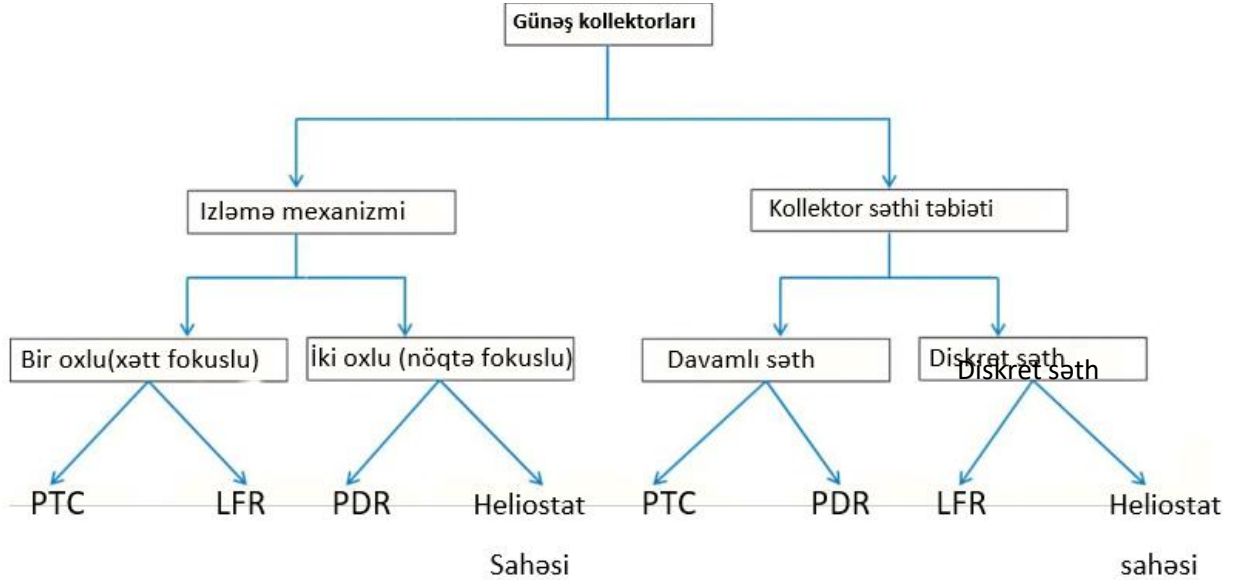
Bəzi hallarda istilik enerjisinin akkumulyasiyası və bəlkə də istilik daşıyıcı vasitəsilə istilik enerjisinin əldə edilməsi istisna olunur, məsələn, istilik enerjisinin dərhal istifadə edilməsi üçün absorberin birbaşa qurğuya inteqrasiya olunduğu konsentratlaşdırılmış günəş enerjisi sistemlərində.

Əslində, konsentratlaşdırılmış günəş enerjisi sisteminin faktiki tərkibi nəzərdə tutulan tətbiqdən asılı olaraq konkret hallardan asılıdır. Konsentratlaşdırılmış günəş texnologiyaları tez-tez izləmə mexanizminin növünə və toplayıcı səthin xarakterinə görə təsnif edilir. İzləmə mexanizmləri ilə bağlı təsnifatdan danışsaq bəzi kollektorlar şərqdən qərbə fırlanaraq günəşin hərəkətini yalnız əsas oxu üzrə izləyəcək şəkildə yerləşdirilir ki, buna adətən biroxlu izləmə deyilir [30]. Digər tərəfdən, bəzi digər günəş kollektorları şərq-qərb və şimal-cənub oxları üzrə günəşin hərəkətini izləyəcək şəkildə yerləşdirilir və buna adətən iki oxlu izləmə deyilir. Biroxlu izləmə mexanizmindən istifadə edən kollektorlar günəş şüalarını bir xətt

üzrə yönəldir və buna görə də xətti-fokuslu kollektorlar kimi tanınır. Fresnel xətti reflektorları və paraboloid kanallı kollektorlar bu kateqoriyaya aid olan əsas günəş kollektoru texnologiyalarıdır [31]. Digər tərəfdən, iki oxlu izləmə mexanizmindən istifadə edən kollektorlar günəş radiyasını bir nöqtəyə yönəldir və buna görə də nöqtə-fokuslu günəş kollektorları adlanır. Bu kateqoriyadakı əsas günəş texnologiyaları qüllə tipli elektrik stansiyaları (tez-tez mərkəzi günəş qəbul edicisi və ya günəş qülləsi ilə əvəz olunur) və paraboloid reflektorlardır. Nöqtə-fokuslu kollektorların üstünlüyü ondan ibarətdir ki, xətti-fokuslu kollektorlarla müqayisədə daha yüksək konsentrasiya əmsallarına nail olmağa imkan verir. Lakin onlar həm də bəzi çatışmazlıqlarla xarakterizə olunur, xüsusən də günəş aktivliyinin iki oxlu izlənməsinə nail olmaq üçün zəruri olan mürəkkəb texniki xüsusiyyətlər bu çatışmazlıqlardandır. Bu da tez-tez xətti-fokuslu kollektorlarla müqayisədə daha yüksək xərclərə səbəb olur [32].

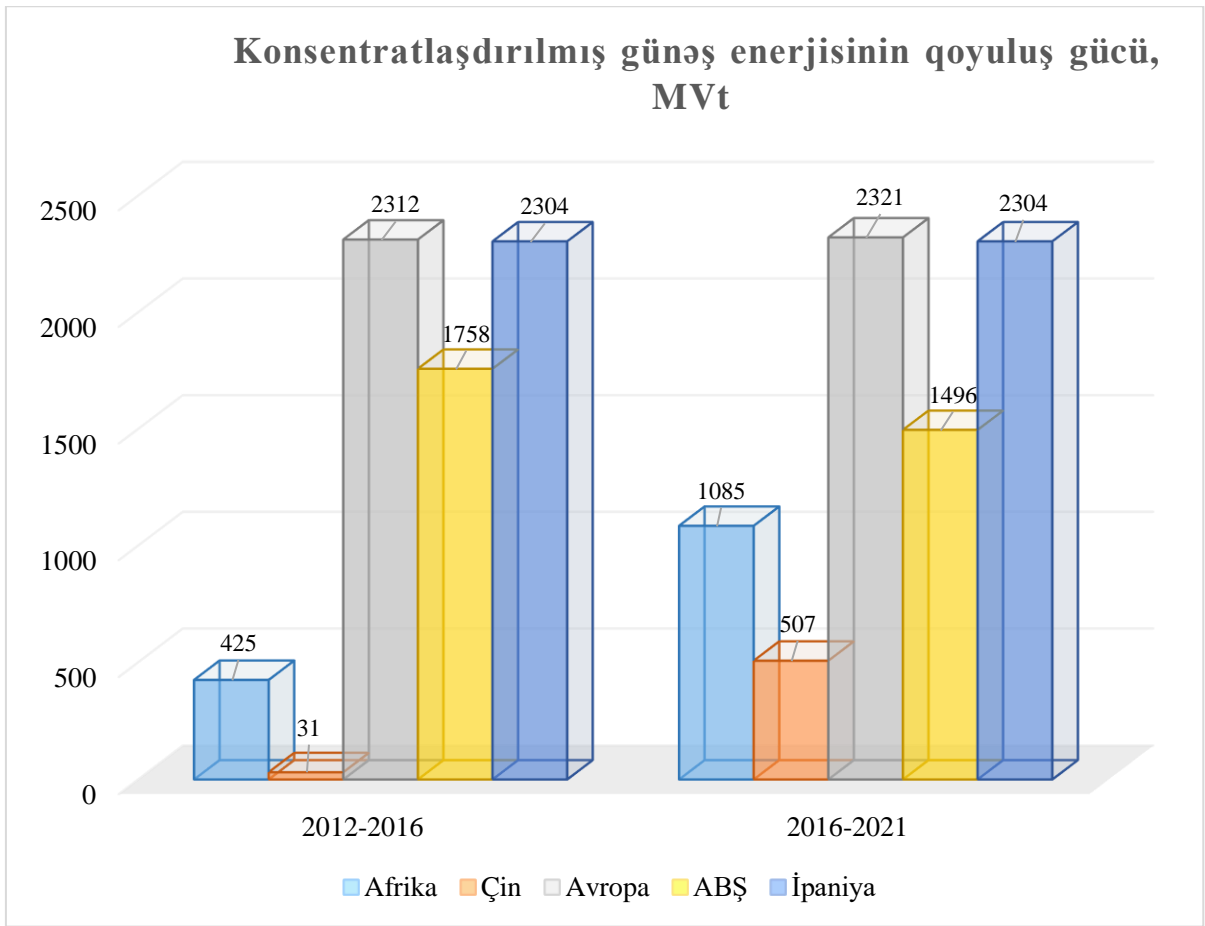
Kollektorların sabitləndiyi və qəbul edici ilə birlikdə hərəkət etdiyi, beləliklə, günəş radiyasını izlədiyi vahid bir blok əmələ gətirdiyi davamlı səthli kollektor sistemləri mövcuddur [33]. Belə quruluş sistemə çox yüksək konsentrasiya əmsalları və nisbətən sadə günəş radiyasını izləmə mexanizmi üstünlükləri verir. Bu kateqoriyaya aid əsas konsentratlaşdırılmış günəş enerjisi texnologiyaları paraboloid kanallı kollektorlar və paraboloid reflektorlardır. Digər tərəfdən, bu baxımdan digər sistemlər ayrıq fəzalı kollektor səthlərinə malikdir – bu halda qəbul edici stasionardır və güzgülərdən nəzərəcarpacaq dərəcədə ayrı yerləşir. Belə quruluşun üstünlüyü ondadır ki, kollektorlar küləyin təsirinə az məruz qalır, buna görə də onları yerə daha yaxın quraşdırmaq və onlara asanlıqla texniki xidmət göstərmək mümkündür. Bununla belə, ayrıq səthlərə əsaslanan günəş kollektorları tez-tez aşağı konsentrasiya əmsalı ilə əlaqələndirilir [34]. Bu kateqoriyaya aid əsas konsentratlaşdırılmış günəş enerjisi texnologiyaları heliostat sahəsi və Fresnel xətti reflektorudur. Yuxarıda deyilənlərdən aydın olur ki, əsas istifadə olunan günəş kollektorları növləri paraboloid kanallı kollektorlar, Fresnel xətti reflektorları, paraboloid reflektorlar və heliostat sahəsidir. Yuxarıda qeyd olunan təsnifat Şəkil 2.4-də təqdim edilmişdir.

Bu günə qədər ən inkişaf etmiş konsentratlaşdırılmış günəş enerjisi texnologiyası paraboloid kanallı kollektor texnologiyasıdır [35]. Buna sübut olaraq, bütün dünyada çox sayda konsentratlaşdırılmış günəş enerjisi layihəsinin digər kollektor növləri ilə müqayisədə paraboloid kanallı kollektorlar istifadə etməsidir.



Şəkil 2.4. Konsentrasiya edilmiş günəş batareyasının texnologiyalarının təsnifatı

2019-cu ilin avqust ayına olan məlumata görə təxminən 100 qlobal konsentratlaşdırılmış günəş enerjisi layihəsi paraboloid kanallı kollektor texnologiyasından istifadə edir; təxminən 37-si qüllə tipli elektrik stansiyaları, 15-i Fresnel xətti reflektorları, və yalnız 2-si paraboloid reflektorlardan istifadə edir []. Hazırda paraboloid kanallı kollektorların istehsalının maya dəyəri ümumilikdə yüksəkdir və 0,15-dən 0,3 USD/kVt-saata qədər dəyişir, lakin mövcud inkişaf söylərinə cavab olaraq xərclərin azalacağı və günəş qülləsinin 2025-ci ilə qədər elektrik enerjisinin maya dəyərini 0,09 USD/kVt-saata qədər azaldacağı düşünülür []. Müxtəlif ölkələr və regionlar üzrə konsentratlaşdırılmış günəş enerjisi qurğularının quraşdırılmış gücü Şəkil 2.5-də göstərilmişdir.



Şəkil 2.5. Seçilmiş ölkələr və regionlar üçün quraşdırılmış konsentratlaşdırılmış günəş enerjisi gücü [26]

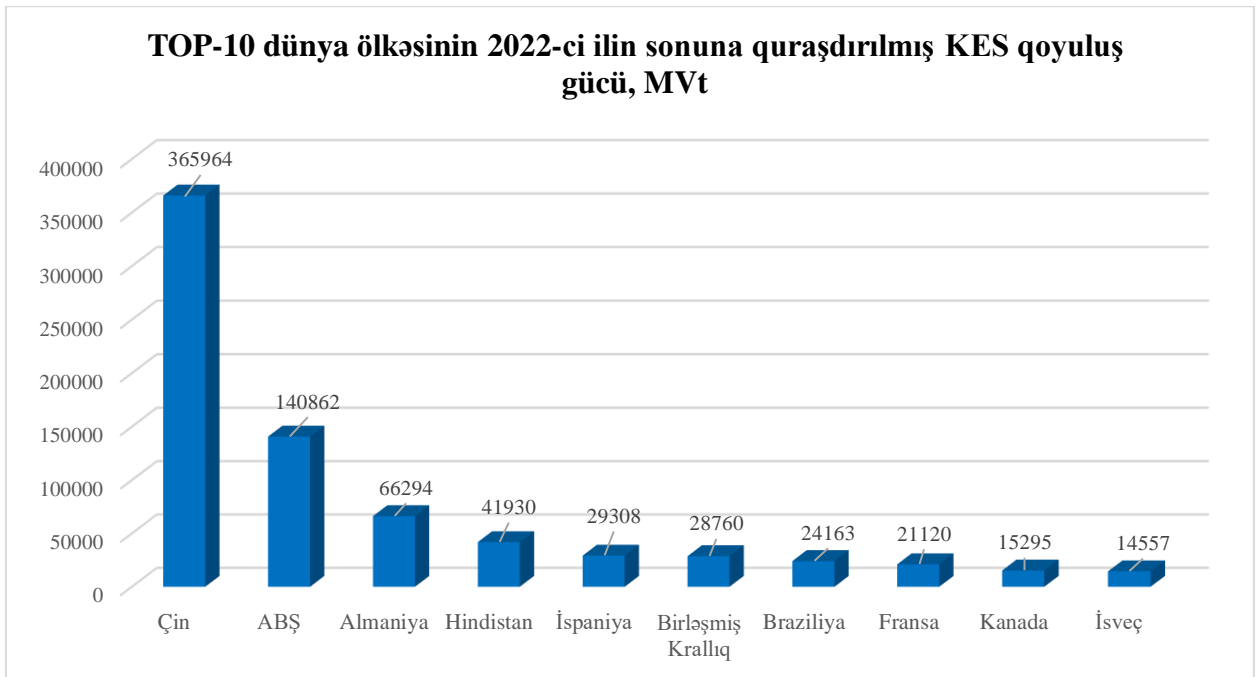
Hazırda tədqiqatçılar günəş enerjisi toplama imkanlarını yaxşılaşdırmaq üçün yeni kollektor konfigurasiyalarını öyrənmək üzərində fəal şəkildə işləyirlər [1]. Bundan əlavə, kollektor səthlərində tez-tez yığılan çirkləri və film qatlarını təmizləmək üçün təsirli üsulların öyrənilməsinə əhəmiyyətli səylər yönəldilmişdir ki, bu da effektivlik itkilərini minimuma endirmək üçün vacibdir [2] və s. Ədəbiyyatda kiçik miqyaslı konsentratlaşdırılmış günəş enerjisi sistemlərinin dəyərini azaltmağa yönəlmiş tədqiqat səylərinin artırılmasının zəruriliyi ilə bağlı ümumi fikir mövcuddur [3]. Bu halda tədqiqatçılar günəş kollektorlarında istilik daşıyıcı kimi suyun istifadəsinin xüsusilə effektiv ola biləcəyini, bunun texniki olaraq birbaşa buxar istehsalı kimi tanındığını qeyd etmişlər [4]. Bundan əlavə, hazırda bahalı istilik yağları əvəzinə istilik daşıyıcı kimi karbon qazının istifadə olunmasına biləcəyi inteqrasiya olunmuş günəş birləşmiş dövrə sistemləri öyrənilir [5].

## 2.2 Külək enerjisi

Külək enerjisinin tarixi çox qədimlərə gedib çıxır. Onun tətbiqi 2500 ildən çox əvvəl külək dəyirmanları ilə başlamışdır. Keçən əsrin 1900-cü illərindən etibarən elektrik enerjisi istehsalı üçün külək turbinləri istifadə olunur. Elektrik enerjisi istehsalının əsas vasitəsi küləyin kinetik enerjisini mexaniki enerjiyə çevirən külək elektrik stansiyaları, yəni "külək dəyirmanlarıdır". Külək turbinləri həm quru və düz səthlərdə, həm də okeanın dibində yerləşdirilə bilər. Dünyada külək enerjisinin dinamik inkişafının təkanverici amilləri kəskinləşən ekoloji problemlər və neftin qiymətinin artması, neft böhranı (1973-1974-cü illər) olmuşdur. Külək, demək olar ki, heç bir çirkləndirici maddə və ya yan təsir yaratmadan, tükənməz təbii təmiz enerji mənbəyi kimi təqdim olunur. Külək enerjisi resursu ilə elektrik enerjisi istehsalı texnologiyası yüksək rentabellidir. Yamaykada elektrik stansiyasının sahibi külək və günəş enerjisi ilə eyni vaxtda işləyən hibrid stansiyaların avadanlıqlarının istehsalçısı hesab edir ki, külək elektrik stansiyasının bahalı avadanlığı dörd il ərzində özünü ödəyir və sonra 25 il ərzində iki milyard dollar qənaət təmin edəcək. Külək enerjisi müasir mərhələdə sürətlə inkişaf edən bir sahədir.

2022-ci ildə quru külək elektrik qurğularının quraşdırılmış gücü 68 816 MVt, dəniz (ofşor) külək qurğularının gücü isə 8771 MVt (ildə quraşdırılan ümumi gücün 11%-i) artmışdır. 2022-ci ildə yeni qurğuların ən böyük bazarları sırasında Çin, ABŞ, Braziliya, Almaniya və İsveç var idi. Bu ölkələrin ötən ilki payı dünya həcmnin 71%-ni təşkil etmişdir (şəkil 2.6).

2022-ci ilin sonuna olan ümumi güc baxımından lider qrup dəyişməz qalmışdır. Çin, ABŞ, Almaniya, Hindistan və İspaniya birlikdə dünyanın ümumi quraşdırılmış külək enerjisi gücünün 72%-ni təşkil edir ki, bu da 906 min MVt-dan çoxdur (dünyada istismar olunan bütün bərpa olunan enerji mənbələrinin təxminən 27%-i).



Şəkil 2.6. Quraşdırılmış külək enerjisi gücü üzrə lider olan 10 ölkə

Külək elektrik enerjisi istehsalının artırılması CO<sub>2</sub> emissiyalarını azaltmaq, atmosferi və ətraf mühiti yaxşılaşdırmaq imkanı yaradır. Külək enerjisi, kainatın iqlim normalaşdırma hədəflərinə çatmaq üçün ən sürətli, ən ucuz və ən təmiz yoldur. Beləliklə, gələcək nəsillər üçün yaşamağa yararlı bir planet təmin etmək mümkündür.

Müasir mərhələdə külək enerjisinin potensial imkanları hələ də tam istifadə olunmur. Qeyd etmək lazımdır ki, iyirmi birinci əsrdə, rəqəmsal texnologiyalar dövründə külək enerjisi əldə etmək prinsipi qədimdir ("külək dəyirmanları"), külək parkları isə ərazi baxımından böyükdür (hündürlüyü 100 metrdən çox, diametri 60 metrdən çox olan külək enerjisi qurğuları və onların onlarla sayı külək parklarında geniş əraziləri əhatə edir), külək qurğuları bir məqsədi yerinə yetirir (elektrik enerjisini sürətli, təmiz bir şəkildə əldə etmək), baxmayaraq ki, külək enerjisinin çoxməqsədli istifadəsi mümkündür və bu, külək enerjisinin tətbiqini ucuzlaşdırma bilər.

Beləliklə, külək enerjisinin inkişafı sahəsində nailiyyətlər, üstünlükləri və çatışmazlıqları nəzərdən keçirilmiş, külək enerjisindən və külək qurğularından istifadənin səmərəliliyi nəzəri olaraq qiymətləndirilmişdir. Külək enerjisinin təkmilləşdirilməsi və inkişaf perspektivləri, eləcə də onun kainatın iqliminə təsirləri

nümayiş etdirilmişdir. Elektrik enerjisi istehsalı üçün ekoloji mənbə olan külək enerjisinin tətbiqinin aktuallığı müəyyən edilmişdir.

Elektrik sistemlərinə daha çox külək enerjisinin inteqrasiyası yeni həllər tələb edir. Külək enerjisi şəbəkəyə əlavə dəyişkənlik və qeyri-müəyyənlik gətirir. Bu, bütün enerji sisteminin səmərəliliyinə və etibarlılığına sonsuz təsir göstərə bilər. Küləyin təsiri həm müsbət, həm də mənfi ola bilər, əgər küləyin enerji sistemində inteqrasiyasının dəyəri qəbul edilə bilən dəyəri aşarsa, müsbət təsir də mənfi nəticələrə səbəb ola bilər.

Enerji sistemində külək enerjisinin mövcudluğu ilə işləmək üçün aşağıdakı xüsusiyyətlər vacibdir: külək enerjisinin dəyişkənliyi haqqında məlumatlar, külək turbinlərinin imkanları haqqında məlumatlar və külək turbinlərinin tikintisi planları haqqında məlumatlar.

Enerji sistemlərini araşdırarkən küləyin dəyişkənliyini nəzərə almaq çox vacibdir. Külək turbinlərinin geniş sahəyə yayılması dəyişkənliyi azaldır. Sistemdə bütün külək enerjisinin gözlənilmədən itirilməsi ehtimalı azdır. Şəbəkədə daha aşağı gərginlik səviyyələrindən qaynaqlanan böyük enerji itkisinin gözlənilməz qarşısını almaq üçün külək turbinlərinin reaktiv gücünün düzgün istifadəsi ilə qarşısını almaq olar.

Ümumilikdə, küləyin dəyişkənliyi ərazidə paylanmış külək turbinlərinin sayının artması ilə azalır. Geniş ərazilər həmçinin sıfır çıxış gücü olan saatların sayını azaldır – bir külək stansiyası ildə 1000 saatdan çox sıfır gücə malik ola bilər, halbuki böyük ərazidə yerləşdirilmiş böyük külək elektrik stansiyasının çıxış gücü daim sıfırdan yuxarı olur. Müşahidə müddətinin qısaltılması ilə qeyri-müəyyənlik daha da azalır – böyük külək elektrik stansiyasının saniyəlik və dəqiqəlik dəyişkənliyi adətən az olur, halbuki saatlıq dövrdə dəyişkənlik hətta geniş ərazidə paylanmış külək generatorları ilə belə yüksəkdir. Bu nəticəyə gəlmək olar ki, böyük külək elektrik stansiyasının külək enerjisinin dəyişkənliyi ərazinin ölçüsündən və külək generatorlarının yerləşməsindən asılıdır. Landşaft da əhəmiyyətli rol oynayır.

Məlumdur ki, külək turbininin çıxış gücü küləyin sürətindən asılıdır, buna görə də külək sürətinin monitorinqi əsas vəzifədir. Külək sürət ilə xarakterizə olunur, bu

isə məkan və zamanda təsadüfi bir kəmiyyət olaraq dəyişir. Nəticə etibarilə müasir tədqiqat səviyyəsində küləyin enerji xüsusiyyətləri külək enerjisi potensialının dəyişməsinin təsadüfi prosesinin ehtimal təqdimatı kimi təqdim olunur. Təsadüfi yanaşma, vaxt prosesinin diskretləşdirilməsinə əsaslanır ki, bu da bütün müəyyən edilən xüsusiyyətləri diskretləşdirmə intervalında müstəqil və sabit olaraq təhlil etməyə imkan verir. Stasionarlıq vaxt intervalları adətən saat, gün, mövsüm və ya il olur.

Küləyin aeroloji və enerji xarakteristikalarının kompleksi regionun külək enerjisi kadastrında cəmlənmişdir. Külək enerjisi çevricisinin əsas məlumatları bunlardır: illik orta külək sürəti, sürətin müntəzəmliyi, orta külək sürətinin şaquli profili, küləyin xüsusi gücü və xüsusi enerjisi, regionun külək enerjisi resursları.

Ərazidə küləyin orta sürətləri haqqında etibarlı məlumat əldə etmək üçün uzun müddət ərzində böyük həcmdə ölçmələr aparmaq lazımdır. Xüsusilə, onillik müşahidə nümunələri daha uyğundur.

### **2.2.1. Külək turbinlərinin təsnifatı**

20-ci əsrin əvvəllərindən etibarən, külək sürətindən asılı olmayaraq rotorun sürətinin davamlı qaldığı, şəbəkənin tezliyi, ötürmə nisbəti və generator sistemi ilə müəyyən edilən sabit sürətli generatorlar tətbiq olunur. Xüsusilə, birbaşa şəbəkəyə qoşulmuş asinxron generator, yumşaq işə salma qurğusu və reaktiv güc istehlakını azaltmaq üçün kondensator batareyası ilə təchiz edilmiş sabit sürətli külək turbinləri geniş yayılmışdır. Bu generatorlar müəyyən edilmiş külək sürətində ən yüksək məhsuldarlığa nail olmaq üçün mövcuddur. Elektrik enerjisi istehsalını artırmaq üçün bəzi sabit sürətli generatorlar iki sarğı dəstinə malikdir: biri aşağı külək sürətləri, digəri isə orta və yüksək külək sürətləri üçün.

Sabit sürətli külək generatorlarının aşağıdakı üstünlükləri vardır: etibarlılıq, sadəlik, funksionallıq və aşağı maliyyə. Bununla belə, onların bəzi çatışmazlıqları da mövcuddur, məsələn, reaktiv gücün nəzarətsiz istifadəsi və aktiv gücün məhdud idarə edilməsi. Külək sürətindəki hər cür dəyişikliklər generatorun rotorunun fırlanma sürətində dəyişikliklər kimi təqdim edilir və nəticədə şəbəkədə enerji dalğalanmalarına səbəb olur. Zəif şəbəkələrdə güc dalğalanmaları gərginlik



dalğalanmalarına gətirib çıxara bilər ki, bu da əslində xətlərdə xeyli itkilərə səbəb ola bilər.

#### *Tənzimlənən sürətli külək turbinləri*

Son vaxtlar tənzimlənən sürətli külək turbinləri quraşdırılmış külək turbinləri arasında üstünlük təşkil edir. Tənzimlənən sürətli külək turbinləri geniş külək sürətləri spektrində aerodinamik məhsuldarlığı maksimum artırmaq üçün icad edilmişdir. Sabit sürətli turbinlərdən fərqli olaraq, tənzimlənən sürət konstruksiyası generatorun torkunu sabit saxlayır və külək sürətinin dəyişməsi generatorun sürətinin dəyişməsi ilə kompensasiya olunur.

Tənzimlənən sürətli külək turbininin elektrik sistemi sabit sürətli külək generatorlarından daha mürəkkəbdir. Adətən, bunlar induksiya və ya sinkron generator ilə təchiz olunur və şəbəkəyə güc çeviricisi vasitəsilə qoşulur. Çevirici generatorun sürətini tənzimləyir ki, küləyin zərbələri generatorun rotor sürətinin və buna görə də külək turbininin sürətinin dəyişməsi ilə udulsun. Əslində, tənzimlənən sürətli külək turbinlərinin üstünlükləri yaxşı enerji tutumu, mükəmməl enerji keyfiyyəti və külək turbininə olan mexaniki təzyiqin azalmasıdır. Digər tərəfdən, bu sistemin çatışmazlıqlarına enerji çeviricisində enerji itkiləri, komponentlərin sayının artması və avadanlıqların bahalaşması daxildir.

Tənzimlənən sürətli külək turbinlərinin tətbiqi istifadə edilə bilən generator növlərinin sayını artırır və həqiqətən də generator növlərinin və enerji çeviricilərinin kombinasiyası üçün potensial təqdim edir.

#### *Güç nəzarət konsepsiyalarının icmalı*

Bütün külək turbinləri güc tənzimləmə cihazları ilə təchiz olunmuşdur. Turbinə təsir edən aerodinamik qüvvələrə nəzarət və külək turbininin zədələnmə riskini aradan qaldırmaq üçün yüksək külək sürətlərində gücün müvafiq məhdudlaşdırılması üçün kifayət qədər idarəetmə üsulları mövcuddur.

Ən sadə, praktik və əlçatan idarəetmə üsulu qanadların dayandırılması ilə idarəetmədir (passiv idarəetmə), burada qanadlar sabit bucaq altında bərkidilir. Rotorun aerodinamik quruluşu, külək sürəti müəyyən edilmiş səviyyədən yüksək olduqda rotoru dayanmağa (gücünü itirməyə) məcbur edir. Buna görə də, qanadların

aerodinamik gücü məhdudlaşdırılır. Aerodinamik gücün bu yavaş tənzimlənməsi gücün sürətli dəyişməsi ilə əlaqədar tənzimləməyə nisbətən daha az güc dalğalanmalarına səbəb olur. Bu metodun çatışmazlıqlarına aşağı külək sürətlərində səmərəliliyin azalması, başlanğıc sisteminin olmaması, hava sıxlığı və şəbəkə tezliyinin dəyişməsi ilə əlaqədar quraşdırılmış gücün əhəmiyyətli dərəcədə dəyişməsi daxildir.

Fərqli bir idarəetmə növü qanadların fırladılması ilə idarəetmədir (aktiv idarəetmə), burada qanadlar küləyə qarşı və ya küləkdən uzağa döndərilə bilər, nəticədə çıxış gücü müvafiq olaraq artır və ya azalır. Ümumilikdə, bu idarəetmə növünün üstünlükləri arasında yüksək keyfiyyətli çıxış gücünün idarə olunması, işə salma və fəvqəladə dayandırma dəstəyi daxildir. Elektrik sistemi baxımından yaxşı güc idarəetməsi o deməkdir ki, yüksək külək sürətlərində orta çıxış gücü generatorun nominal gücünə yaxın olur. Çatışmazlıqlarına mexaniki tənzimləmə mexanizmi səbəbindən yaranan lazımsız mürəkkəblik və yüksək külək sürətlərində böyük güc dalğalanmaları daxildir. Anı güc nominal orta güc dəyərindən kənara çıxma bilər.

Üçüncü mümkün idarəetmə növü isə aktiv dayandırma ilə idarəetmədir. Adından da göründüyü kimi, qanadların dayandırılması qanadların meyl bucağının tənzimlənməsi ilə nəzarət olunur. Aşağı külək sürətlərində qanadlar maksimum səmərəlilik üçün qanad bucağının tənzimlənməsi ilə külək turbinindəki kimi əyilir. Aktiv dayandırma idarəetməsi olan turbinlər, qanad bucağının tənzimlənməsi ilə olan turbinlərdəki kimi əhəmiyyətli dalğalanmalar olmadan daha yumşaq güc məhdudlaşdırmasını təmin edir. Bu idarəetmə növünün üstünlüyü, hava sıxlığının dəyişməsini kompensasiya edə bilməsidir. Qanad bucağı tənzimləmə mexanizmi ilə birləşməsi fəvqəladə dayandırmanı və külək turbininin işə salınmasını sadələşdirir [3].

#### *Külək elektrik qurğularının generatorlarının icmalı*

Son vaxtlar tənzimlənən sürətli külək turbinləri quraşdırılmış külək turbinləri arasında üstünlük təşkil edir. Tənzimlənən sürətli külək turbinləri geniş külək sürətləri spektrində aerodinamik məhsuldarlığı maksimum artırmaq üçün icad edilmişdir. Sabit sürətli turbinlərdən fərqli olaraq, tənzimlənən sürət konstruksiyası

generatorun torkunu sabit saxlayır və külək sürətinin dəyişməsi generatorun sürətinin dəyişməsi ilə kompensasiya olunur.

Tənzimlənən sürətli külək turbininin elektrik sistemi sabit sürətli külək generatorlarından daha mürəkkəbdir. Adətən, bunlar induksiya və ya sinkron generator ilə təchiz olunur və şəbəkəyə güc çeviricisi vasitəsilə qoşulur. Çevirici generatorun sürətini tənzimləyir ki, küləyin zərbələri generatorun rotor sürətinin və buna görə də külək turbininin sürətinin dəyişməsi ilə udulsun. Əslində, tənzimlənən sürətli külək turbinlərinin üstünlükləri yaxşı enerji tutumu, mükəmməl enerji keyfiyyəti və külək turbininə olan mexaniki təzyiqin azalmasıdır. Digər tərəfdən, bu sistemin çatışmazlıqlarına enerji çeviricisində enerji itkiləri, komponentlərin sayının artması və avadanlıqların bahalaşması daxildir.

Tənzimlənən sürətli külək turbinlərinin tətbiqi istifadə edilə bilən generator növlərinin sayını artırır və həqiqətən də generator növlərinin və enerji çeviricilərinin kombinasiyası üçün potensial təqdim edir.

#### *Güc nəzarət konsepsiyalarının icmalı*

Bütün külək turbinləri güc tənzimləmə cihazları ilə təchiz olunmuşdur. Turbinə təsir edən aerodinamik qüvvələrə nəzarət və külək turbininin zədələnmə riskini aradan qaldırmaq üçün yüksək külək sürətlərində gücün müvafiq məhdudlaşdırılması üçün kifayət qədər idarəetmə üsulları mövcuddur.

Ən sadə, praktik və əlçatan idarəetmə üsulu qanadların dayandırılması ilə idarəetmədir (passiv idarəetmə), burada qanadlar sabit bucaq altında bərkidilir. Rotorun aerodinamik quruluşu, külək sürəti müəyyən edilmiş səviyyədən yüksək olduqda rotoru dayanmağa (gücü itirməyə) məcbur edir. Buna görə də, qanadların aerodinamik gücü məhdudlaşdırılır. Aerodinamik gücün bu yavaş tənzimlənməsi gücün sürətli dəyişməsi ilə əlaqədar tənzimləməyə nisbətən daha az güc dalğalanmalarına səbəb olur. Bu metodun çatışmazlıqlarına aşağı külək sürətlərində səmərəliliyin azalması, başlanğıc sisteminin olmaması, hava sıxlığı və şəbəkə tezliyinin dəyişməsi ilə əlaqədar quraşdırılmış gücün əhəmiyyətli dərəcədə dəyişməsi daxildir.

Fərqli bir idarəetmə növü qanadların fırladılması ilə idarəetmədir (aktiv idarəetmə), burada qanadlar küləyə qarşı və ya küləkdən uzağa döndərilə bilər, nəticədə çıxış gücü müvafiq olaraq artır və ya azalır. Ümumilikdə, bu idarəetmə növünün üstünlükləri arasında yüksək keyfiyyətli çıxış gücünün idarə olunması, işə salma və fəvqəladə dayandırma dəstəyi daxildir. Elektrik sistemi baxımından yaxşı güc idarəetməsi o deməkdir ki, yüksək külək sürətlərində orta çıxış gücü generatorun nominal gücünə yaxın olur. Çatışmazlıqlarına mexaniki tənzimləmə mexanizmi səbəbindən yaranan lazımsız mürəkkəblik və yüksək külək sürətlərində böyük güc dalğalanmaları daxildir. Ani güc nominal orta güc dəyərindən kənara çıxma bilər.

Üçüncü mümkün idarəetmə növü isə aktiv dayandırma ilə idarəetmədir. Adından da göründüyü kimi, qanadların dayandırılması qanadların meyl bucağının tənzimlənməsi ilə nəzarət olunur. Aşağı külək sürətlərində qanadlar maksimum səmərəlilik üçün qanad bucağının tənzimlənməsi ilə külək turbinindəki kimi əyilir. Aktiv dayandırma idarəetməsi olan turbinlər, qanad bucağının tənzimlənməsi ilə olan turbinlərdəki kimi əhəmiyyətli dalğalanmalar olmadan daha yumşaq güc məhdudlaşdırmasını təmin edir. Bu idarəetmə növünün üstünlüyü, hava sıxlığının dəyişməsinə kompensasiya edə bilməsidir. Qanad bucağı tənzimləmə mexanizmi ilə birləşməsi fəvqəladə dayandırmanı və külək turbininin işə salınmasını sadələşdirir [3].

#### *Külək elektrik qurğularının generatorlarına ümumi baxış*

Müasir külək elektrik qurğuları külək axınının ilkin enerjisini ikinci dərəcəli elektrik enerjisinə çevirmək üçün mürəkkəb və bahalı elektromexanik sistemlərdir. Hazırda aparıcı külək elektrik qurğuları istehsalçıları bunlardır: Siemens AG (Almaniya), Vestas Wind Systems A/S (Danimarka), General Electric (ABŞ), Fuhrländer AG (Almaniya), Senvion SE (Almaniya), Nordex SE (Almaniya) və Enercon (Almaniya). Müasir külək elektrik qurğularının vahid nominal gücü bir neçə kilovatdan 10 MVt-a qədər dəyişir.

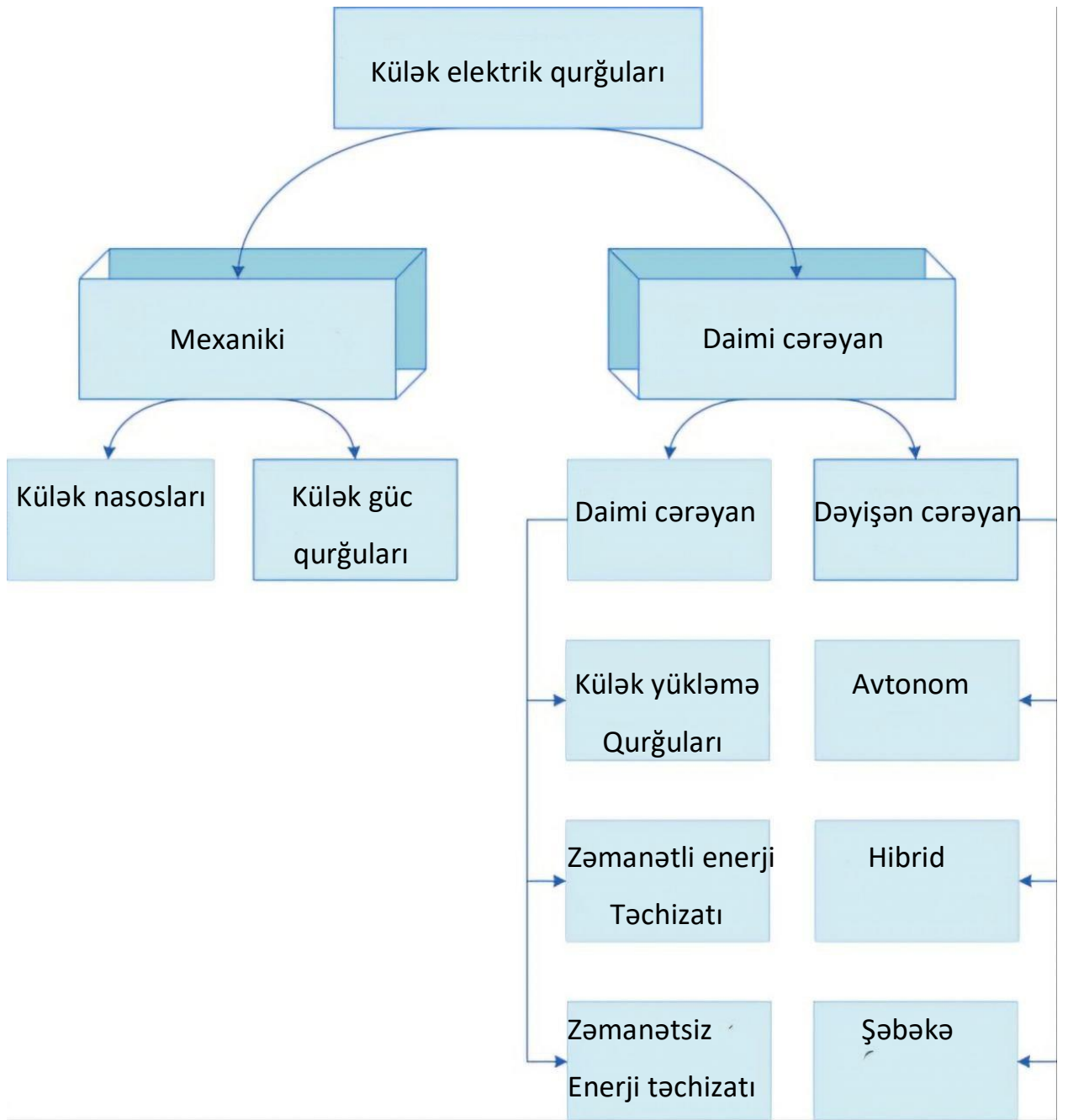
Ümumiyyətlə, əksər külək elektrik qurğuları külək axınının istiqamətinə paralel olan üfüqi fırlanma oxu ilə üç qanadlıdır. Külək elektrik qurğuları gücünə görə dörd qrupa bölünür: birinci qrup (böyük güclü) – 1 MVt-dan yuxarı, ikinci qrup

(orta güclü) – 100 kVt-dan 1 MVt-a qədər, üçüncü qrup (kiçik güclü) – 5-dən 100 kVt-a qədər, dördüncü qrup (çox kiçik güclü) – 5 kVt-dan az [5]. Bərpa olunan enerji mənbələrinin payı kifayət qədər yüksək olan qabaqcıl ölkələrə Çin, ABŞ, Almaniya, İtaliya, Danimarka, İspaniya və digər ölkələr daxildir. Məsələn, 2022-ci ilin sonuna qədər, [6,7]-ə görə, İsveçdə bərpa olunan enerji mənbələrindən enerji istehsalının faizi 50,92% təşkil edirdi.

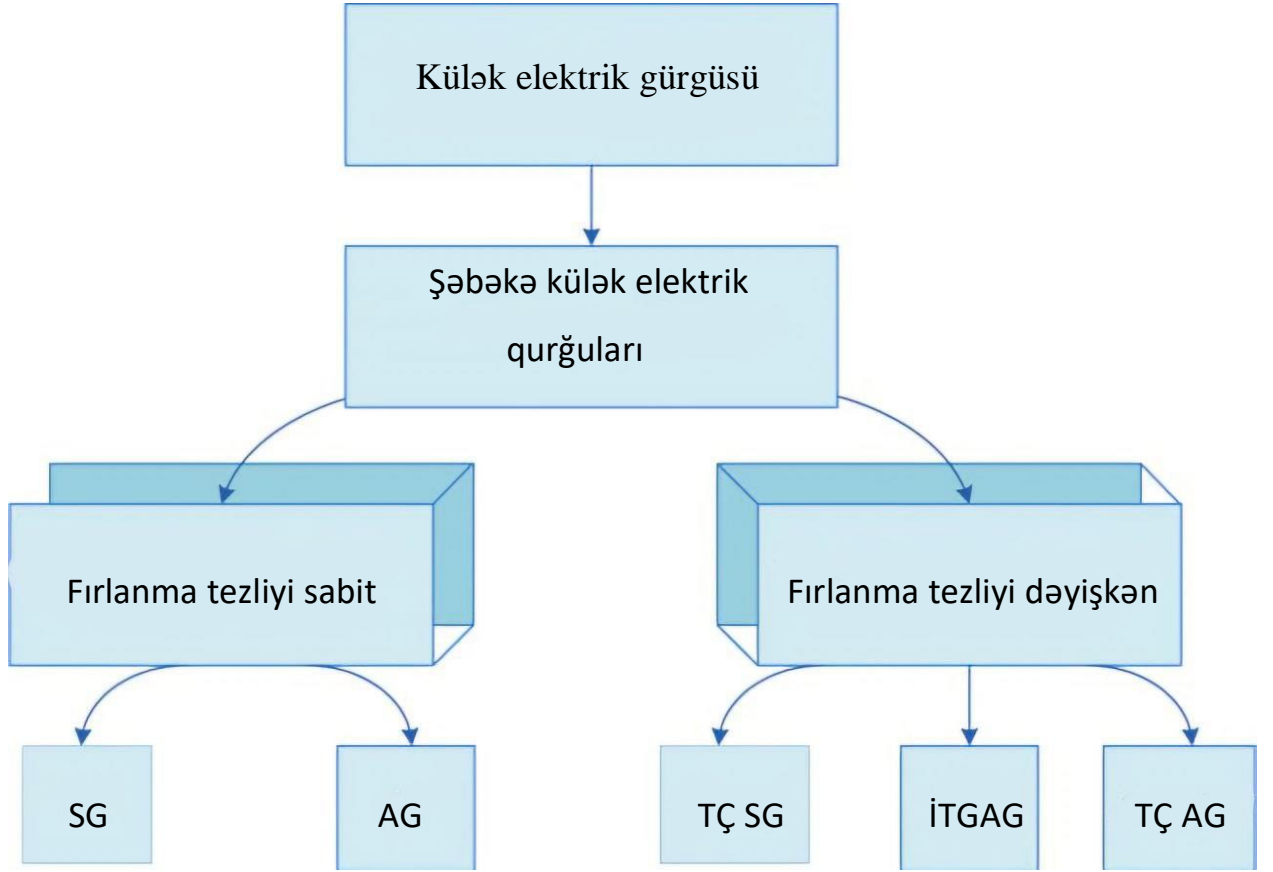
Külək elektrik qurğuları bir çox xüsusiyyətlərə görə təsnif edilir, əsasları bunlardır: istehsal olunan enerji növü, güc, külək çarxının sabit və ya dəyişkən fırlanma tezliyi ilə işləmə əlaməti və s. Külək elektrik qurğuları istehsal olunan enerji növünə görə iki qrupa bölünür: mexaniki və elektrik [1]. Elektrik külək enerjisi qurğuları isə öz növbəsində, sabit cərəyan və dəyişən cərəyan külək elektrik qurğularına bölünür (şəkil 2.7). Bu işdə yalnız şəbəkə alt qrupunun dəyişən cərəyan elektrik qurğularının nəzərdən keçirilməsinə diqqət yetirilir.

Dəyişən cərəyanlı elektrik qurğularında istifadə prinsipləri və idarəetmə üsulları bir-birindən fərqlənir. Belə ki, avtonom külək elektrik qurğuları müəyyən edilmiş konkret istehlakçını enerji ilə təmin etmək üçün öz elektrik şəbəkəsində izolyasiya olunmuş işləmək üçün nəzərdə tutulmuşdur. Hibrid və ya sistem külək elektrik qurğuları oxşar gücə malik digər enerji qurğuları (dizel generatorları, kiçik hidroelektrik stansiyalar (HES) və s.) ilə paralel işləmək üçün nəzərdə tutulmuşdur. Şəbəkə külək elektrik qurğuları isə birbaşa olaraq daha böyük gücə malik elektrik enerji sistemi ilə paralel işləmək üçün nəzərdə tutulmuşdur [1,5].

Məlum olduğu kimi elektrik generatoru ilə təchiz olunmuş şəbəkə külək elektrik qurğusu öz nominal gücü ilə müqayisədə sonsuz və ya daha böyük, lakin oxşar gücə malik olan elektrik enerji sistemi ilə paralel işləmək üçün nəzərdə tutulmuşdur [8]. Mövcud normativ-texniki sənədlərə əsasən, şəbəkə külək elektrik qurğularının iki işləmə əlaməti mövcuddur: sabit fırlanma tezliyi ilə və dəyişkən fırlanma tezliyi ilə, bu, şəkildə 2.8-də təsvir edilmişdir.



Şəkil 2.7. Külək elektrik qurğularının ümumi təsnifatı



Şəkil 2.8. Şəbəkə külək elektrik qurğularının struktur sxemi

Birinci halda idarəetmə üsulu elektrik enerjisi generasiya sistemində sinxron generator və ya asinxron generator istifadə edərək külək çarxının tənzimlənməsidir. İkinci halda isə idarəetmə üsulu külək çarxı və yarımkeçirici tezlik çeviricisinin tənzimlənməsi ilə həyata keçirilir ki, bu da ayrı-ayrılıqda və ya birlikdə edilə bilər. Bu zaman elektrik enerjisi generasiya sistemində tezlik çeviricisi ilə asinxron generator, tezlik çeviricisi ilə sinxron generator və ya ikiqat qidalanan asinxron generator daxil ola bilər.

Post-sovet məkanındakı ölkələrin mövcud normativ-texniki sənədlərini təhlil edərkən qeyd etmək lazımdır ki, bu sənədlərdə külək elektrik qurğularının (KƏQ) bazalanma növü üzrə təsnifatı, yəni dənizdə (offşor) və sahilə (quru) yerləşdirilən qurğular üzrə təsnifatı yoxdur. Həmçinin, külək çarxı və elektrik generatoru arasında reduktorun olub-olmaması əsasında təsnifat mövcud deyil. Bundan əlavə, konkret

qrup külək elektrik qurğuları üçün generasiya sisteminə hansı tip generatorun daxil olmalı olduğu göstərilir.

Müasir külək enerjisinin vəziyyətinə əsaslanaraq, ən çox yayılmış külək elektrik qurğuları növlərini aşağıdakı kimi müəyyən etmək olar:

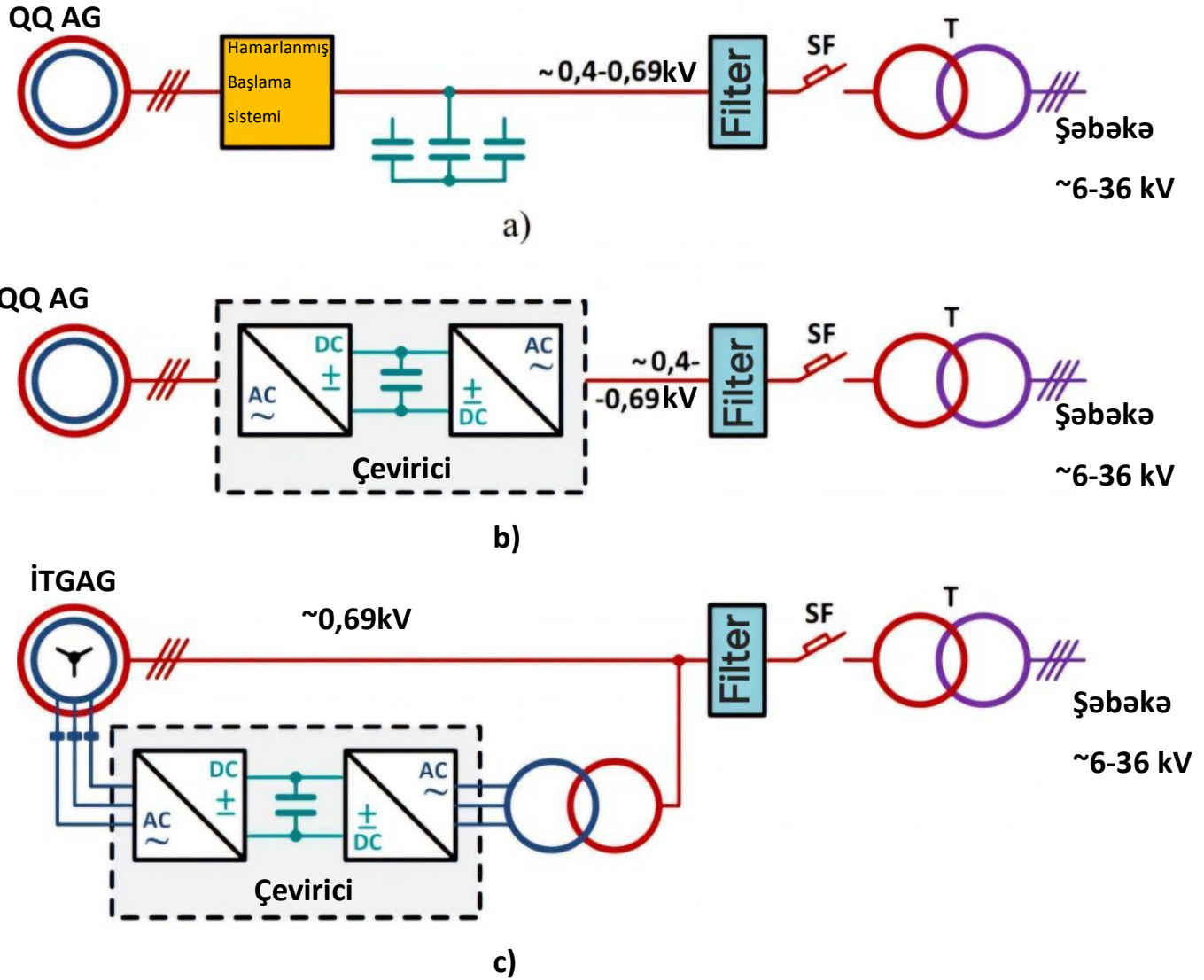
- Qısaqapanmış rotorlu asinxron generatorlar əsasında külək elektrik qurğusu;
- İkiqat qidalanan asinxron generatorlar əsasında külək elektrik qurğusu;
- Daimi cərəyanla klassik oyandırma sarğısı olan sinxron generatorlar əsasında külək elektrik qurğusu;
- Rotorda daimi maqnitlərlə təchiz olunmuş sinxron generatorlar əsasında külək elektrik qurğusu.

Ümumiyyətlə, qısaqapanmış rotorlu asinxron generatorlar 1 MVt-a qədər gücə malik külək elektrik qurğularında quraşdırılır. İkiqat qidalanan asinxron generatorlar 1-dən 5 MVt-a qədər güc aralığında olan külək elektrik qurğularında istifadə olunur. Daimi maqnitli sinkron generatorlar və klassik oyandırma sarğısı olan sinkron generatorlar 3 MVt-dan yüksək gücə malik külək elektrik qurğularında tətbiq olunur.

Asinxron generatorlu külək elektrik qurğularının əsas elektrik əlaqələrinin sadələşdirilmiş sxemləri şəkildə 2.9-da göstərilmişdir.

Birbaşa qoşulmuş qısaqapanmış rotorlu asinxron generator (şəkil 2.9, a) külək sürətindən asılı olmayaraq sabit açısal fırlanma tezliyi ilə elektrik enerji sistemində tətbiq olunur. Bu tip külək elektrik qurğularının əsas xüsusiyyəti reaktiv güc istehlakının kompensasiyası üçün əlavə kondensator batareyalarının olmasıdır. Üstünlükləri sadəlik və etibarlılıq, eləcə də digər külək elektrik qurğularına nisbətən aşağı maliyyətdir. Əsas çatışmazlıqları isə reaktiv gücün nəzarətsiz istehlakı, nominal sürətlərdən fərqli külək sürətləri üçün aşağı səmərəlilik, külək sürətindəki dalğalanmaların elektrik enerjisi sistemində ötürülməsi və yüksək mexaniki gərginlikdir. Qısaqapanmış rotorlu asinxron generatorlu külək elektrik qurğularının idarəetmə sistemi, konkret olaraq çıxış gücü nəzarəti belə aerodinamik prinsiplərdən istifadə edir, məsələn sürət itkisini tənzimləmə (passiv idarəetmə) və tangaj nəzarəti [10,11].





Şəkil 2.9. Asinxron generatorlu külək elektrik qurğularının əsas elektrik əlaqələrinin sadələşdirilmiş sxemləri:

- a – birbaşa qoşulmuş qısaqapanmış rotorlu asinxron generatorlu külək elektrik qurğusu; b – stator dövrəsində tezlik çeviricisi olan qısaqapanmış rotorlu asinxron generatorlu külək elektrik qurğusu; c – ikiqat qidalanan asinxron generatorlu külək elektrik qurğusu.

Qısaqapanmış rotorlu asinxron generatorun enerji sisteminə yarımkeçirici tezlik çeviricisi vasitəsilə qoşulması (şəkil 2.9, b) dəyişkən açısal fırlanma tezliyi ilə tətbiq edilir, bu da sənaye tezliyində gərginlik yaratmağa imkan verir. Bu külək elektrik qurğularında idarəetmə tangaj nəzarəti və generator gərginliyi tərəfində

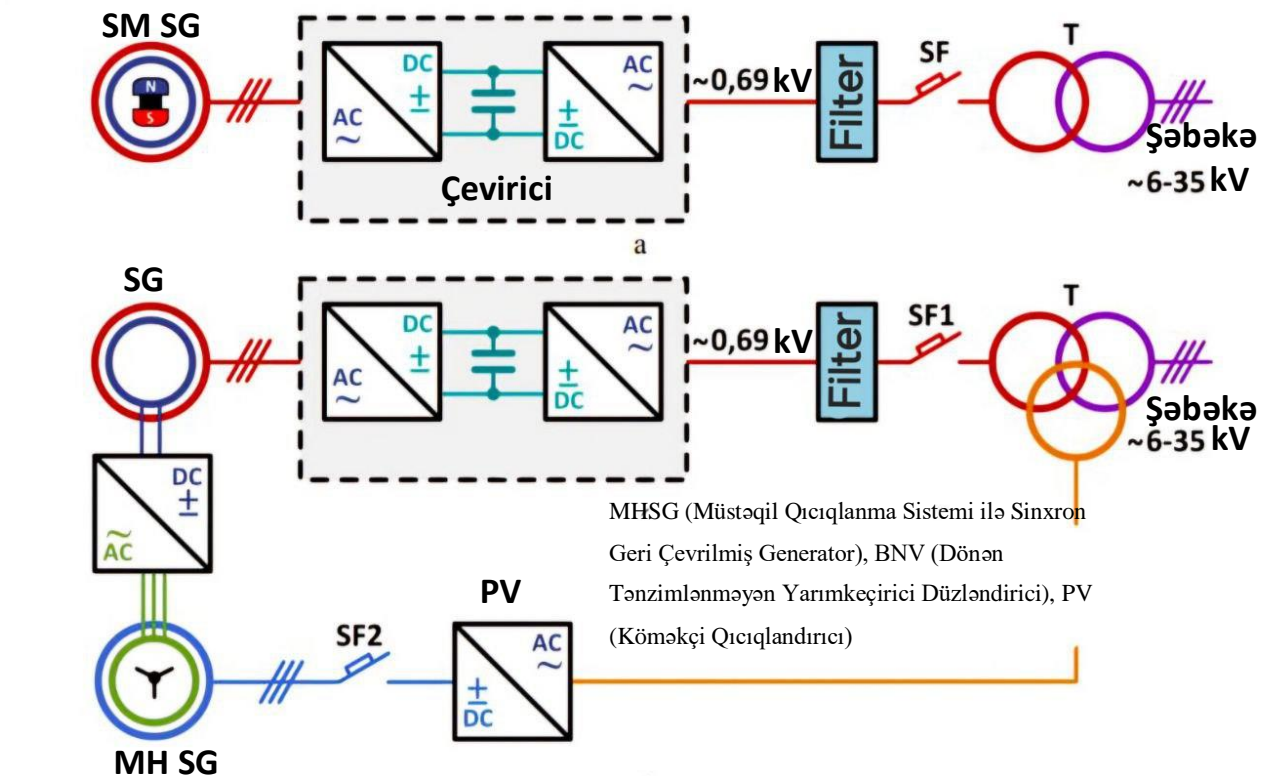
tezlik çeviricisinin nəzarəti ilə həyata keçirilir. Çatışmazlıqlara valın fırlanma tezliyi nominal dəyərdən aşağı olduqda maşının səmərəliliyinin azalması, reaktiv gücün tənzimlənməsi problemləri və tezlik çeviricisinin olması ilə əlaqədar gərginlik keyfiyyəti problemləri daxildir.

Şəkil 2.9 c-də ikiqat qidalanan asinxron generator əsasında külək elektrik qurğusunun sxemi təqdim olunur. İkiqat qidalanan asinxron generator fazalı rotorlu asinxron generatorudur. Generatorun üçfazlı stator sarğısı blok yüksəldici transformator vasitəsilə elektrik enerji sisteminə qoşulur. Rotor sarğısına müəyyən diapazonda açısal fırlanma tezliyini dəyişdirmək üçün lazım olan yarımkeçirici tezlik çeviricisi qoşulur. Bu diapazon həm tezlik çeviricisinin texniki xüsusiyyətləri, həm də külək elektrik qurğusunun mexaniki parametrləri ilə məhdudlaşdırılır. Müsbət xüsusiyyətə asinxron generatorun güc əmsalı və reaktiv gücünün tənzimlənməsi imkanı daxildir. Çatışmazlıqlara isə fazalı rotorlu maşının fırça aparatının olması (bu külək elektrik qurğusunun etibarlılığının azalmasına səbəb olur) və tezlik çeviricisindən istifadə səbəbindən şəbəkədə gərginlik keyfiyyəti problemləri aiddir. İqtisadi baxımdan ikiqat qidalanan asinxron generatorlu külək elektrik qurğuları generator gərginliyi dövrəsində bahalı tezlik çeviricilərindən istifadə edən qurğulardan daha ucuzdur. İkiqat qidalanan asinxron generatorlu külək elektrik qurğusunun idarəetmə sistemi tangaj nəzarəti, maksimum güc məhdudiyyəti ilə nəzarət (MPPT-kontroller) və fazalı rotor dövrəsinin tezlik çeviricisinin nəzarətini əhatə edir [1,9-14].

Şəkil 2.10-da sinxron generatorlu külək elektrik qurğularının əsas elektrik əlaqələrinin sadələşdirilmiş sxemləri göstərilmişdir.

Ümumiyyətlə, bu külək elektrik qurğularında reduktor yoxdur, bu da elektrik generatorunun birbaşa olaraq külək turbininə qoşulmasını nəzərdə tutur. Sinxron generatorun statoru həm daimi maqnitli sinxron generatorun (şəkil 2.10, a), həm də klassik oyandırma sistemi olan sinxron generatorun (şəkil 2.10, b) istifadəsi halında yarımkeçirici tezlik çeviricisi vasitəsilə şəbəkəyə qoşulur, bu da turbinin tənzimlənən açısal fırlanma tezliyi ilə işləməsinə imkan verir. Hal-hazırda ən çox

yayılmış külək elektrik qurğuları firçasız oyandırma sistemi olan sinxron aşkar polyar generatorlarla təchiz olunmuşdur.



Şəkil 2.10. Sinkron generatorlu külək elektrik qurğularının əsas elektrik əlaqələrinin sadələşdirilmiş sxemləri:

a – daimi maqnitli sinkron generatorlu külək elektrik qurğusu; b – müstəqil firçasız oyandırma sistemi olan sinkron generatorlu külək elektrik qurğusu.

Daimi maqnitli sinxron generatorlar rotorlarında daimi maqnitlər, yəni permenant maqnitlər yerləşdirir ki, bu da quruluşu ucuzlaşdırır və sadələşdirir. Lakin, bu maşınların çatışmazlıqlarından biri iş prosesində tələb olunan maqnit xüsusiyyətlərinin itirilməsidir (demaqnitləşmə). Bundan əlavə, sinxron generatorlu sxemlərin çatışmazlıqlarına digər külək elektrik qurğuları ilə müqayisədə yüksək xərc, generasiya prosesində enerji keyfiyyətinin pisləşməsinə təsir və idarəetmədə çətinliklər daxildir. Sinxron generatorlu külək elektrik qurğularının idarəetmə sistemi ikiqat qidalanan asinxron generatorlu külək elektrik qurğularına bənzəyir [1,9].

### **3. BƏRPA OLUNAN ENERJİ MƏNBƏLƏRİNİN ENERJİ SİSTEMİNƏ İNTEQRASIYASINDA MÖVCUD PROBLEMLƏRİN ANALİZİ**

Bərpa olunan enerji mənbələrinin enerji sistemində inteqrasiyası daha dayanıqlı bir gələcək enerji sistemində uğurlu və səmərəli keçid üçün həll edilməli olan bir sıra çətinliklər yaradır. Bu təhlil bərpa olunan mənbələrin inteqrasiyası ilə bağlı mövcud problemlərin müəyyənləşdirilməsi və müzakirəsinə yönəldilmişdir.

Bərpa olunan enerji mənbələrinin enerji sistemində inteqrasiyası zamanı mövcud problemlərin təhlilini daha əlverişli məqamlara bölərək, aşağıdakı aspektləri vurğulamaq olar:

- 1) Bərpa olunan enerji generasiyasının fasiləliliyi:
  - Enerji istehsalının hava şəraitindən asılı olaraq dəyişməsi;
  - Elektrik təchizatı və tələbatın balanslaşdırılmasında çətinliklər;
  - Şəbəkənin sabitliyinə və enerji sisteminin etibarlılığına təsir.
- 2) Bərpa olunan enerji generasiyasının fasiləliliyi:
  - Enerji istehsalının hava şəraitindən asılı olaraq dəyişməsi;
  - Elektrik təchizatı və tələbatın balanslaşdırılmasında çətinliklər;
  - Şəbəkənin sabitliyinə və enerji sisteminin etibarlılığına təsir.
- 3) Şəbəkənin modernləşdirilməsi və infrastrukturun inkişafı:
  - Mövcud infrastrukturun bərpa olunan enerji mənbələrini dəstəkləmək üçün adaptasiyası zərurəti;
  - Elektrik enerjisinin ötürülməsi və paylanması sistemlərinə investisiyalar;
  - Şəbəkə idarəetmə texnologiyaları və enerji saxlama imkanları.
- 4) Siyasi və tənzimləyici aspektlər:
  - Dəstəkləyici siyasət və standartların hazırlanması və tətbiqi;
  - Bərpa olunan generasiyanın dinamikasını nəzərə almaq üçün tənzimləyici çərçivələrin adaptasiyası;
  - Şəbəkə qaydaları, bazar qaydaları və qarşılıqlı əlaqə standartları.
- 5) Maliyyə aspektləri:

- Bərpa olunan enerji layihələrinin hazırlanması və tətbiqi üçün yüksək ilkin investisiyalar;
- Maliyyələşdirmə mexanizmlərinə çıxış və investisiyalar üçün stimullar;
- Özəl kapitalın cəlb edilməsi və bərpa olunan enerji infrastrukturlarının genişləndirilməsinin asanlaşdırılması

Əsas problemlərdən biri bərpa olunan enerji istehsalının fasiləli olmasıdır. Fosil yanacaqları və ya nüvə enerjisi ilə işləyən ənənəvi elektrik stansiyalarından fərqli olaraq, külək və günəş enerjisi kimi bərpa olunan mənbələr hava şəraitindən asılıdır və onların istehsalı buna uyğun olaraq dəyişir. Bu fasiləlilik elektrik təchizatı və tələbat balansının qorunmasında çətinliklər yaradır ki, bu da şəbəkənin qeyri-sabitliyinə və etibarlılıq problemlərinə səbəb ola bilər.

Daha bir əhəmiyyətli problem şəbəkənin modernləşdirilməsi və artan bərpa olunan enerji mənbələrinin payına uyğunlaşmaq üçün infrastrukturun inkişaf etdirilməsi zərurətidir. Mövcud elektrik şəbəkəsi infrastrukturunu əsasən ənənəvi mənbələrdən mərkəzləşdirilmiş elektrik enerjisi istehsalını dəstəkləmək üçün layihələndirilib. Külək fermaları və günəş elektrik stansiyaları kimi genişmiqyaslı bərpa olunan enerji qurğularının inteqrasiyası, fasiləli bərpa olunan enerji mənbələrinin effektiv idarə edilməsi və paylanması üçün ötürücü və paylayıcı sistemlərə, şəbəkə idarəetmə texnologiyalarına və saxlama imkanlarına investisiyalar tələb edir.

Bundan əlavə, bərpa olunan enerji mənbələrinin inteqrasiyası siyasət və tənzimləmə ilə bağlı problemlər yaradır. Enerji tarifləri, bərpa olunan enerji portfeli standartları və şəbəkə balansı kimi dəstəkverici siyasətlərin hazırlanması və tətbiqi, bərpa olunan enerji investisiyalarını stimullaşdırmaq və ədalətli və rəqabətə dayanıqlı bazarın təmin edilməsi baxımından mühüm rol oynayır. Bundan əlavə, şəbəkə qaydaları, bazar qaydaları və qarşılıqlı fəaliyyət standartları daxil olmaqla, bərpa olunan enerji istehsalının dəyişən dinamikasını nəzərə almaq üçün tənzimləyici çərçivələrin uyğunlaşdırılması zəruridir.

Nəhayət, bərpa olunan enerji mənbələrinin inteqrasiyası ilə bağlı maliyyə aspektləri də müəyyən çətinliklər yaradır. Bərpa olunan texnologiyaların qiymətinin

azalmasına baxmayaraq, bərpa olunan enerji layihələrinin hazırlanması və həyata keçirilməsi üçün tələb olunan ilkin investisiyalar hələ də əhəmiyyətli bir maneə olaraq qalır. Maliyyələşdirmə mexanizmlərinə çıxış və investisiyalar üçün stimullar xüsusi kapitalın cəlb edilməsi və bərpa olunan enerji infrastrukturunun genişləndirilməsini asanlaşdırmaq üçün vacibdir.

Elektrik enerjisinin keyfiyyət parametrləri paylayıcı şəbəkələrə təsir edir və həm generator tərəfindən, həm də yük tərəfindən müxtəlif növ maneələrə məruz qalır, bu da elektrik təchizatının xarakteristikalarının dəyişməsinə səbəb olur. Gərginlik, tezlik və səs səviyyəsi kimi əsas enerji parametrləri daim nəzarətdə saxlanılmalıdır, çünki bu parametrlərdəki dəyişikliklər elektrik enerjisinin keyfiyyətini azalda bilər.

Elektrik enerjisinin keyfiyyəti, istehlakçılara çatdırılan elektrik enerjisinin uyğun standartlara nə dərəcədə uyğun olduğunu və son istifadəçi avadanlıqlarının tələblərini ödəməsinə təsvir edən bir termdir. Elektrik enerjisinin keyfiyyətinin azalması, son istifadəçi avadanlıqlarının nasazlığına və ya işində sapmalara səbəb olan gərginlik, cərəyan və ya tezlikdəki hər hansı bir problem kimi müəyyən edilir.

Ənənəvi elektrik şəbəkəsində elektrik enerjisinin keyfiyyətinin aşağı olmasının səbəbləri dəyişkən və ya qeyri-xətti yüklərdir, məsələn, böyük motor yüklərinin işə salınması və dayandırılması, elektrik qövslü sobalar, işıqlandırma, keçid qurğuları, çəkici sürücülər və s. Həmçinin, şəbəkənin qocalması, elektrik ötürmə xətləri ilə bağlı problemlər, izolyatorlar və s. səbəbindən elektrik şəbəkəsində nasazlıqlar baş verir. Paylayıcı şəbəkədə fasiləli və ya qeyri-müəyyən xarakter daşıyan külək və günəş enerjisi kimi bərpa olunan enerjinin yüksək səviyyədə yayılması əlavə faktorlar yaradır ki, bu da elektrik enerjisinin keyfiyyətini azaldır.

### **3.1 Elektrik enerjisinin keyfiyyəti**

Artan elektrik enerjisinə olan tələbatı ödəmək üçün enerji sektoru ənənəvi enerji mənbələri ilə yanaşı, külək enerjisi, fotoelektrik enerjisi, dalğa enerjisi, gelgit enerjisi və s. kimi bir neçə bərpa olunan enerji mənbələrindən istifadə edir. Bərpa olunan enerjinin istehsalı qeyri-müəyyən və fasiləli xarakter daşıyır. Buna görə də,

bərpa olunan enerji mənbələrinin enerji sistemində elektrik enerjisinin keyfiyyətinə zərər vermədən inteqrasiyası mürəkkəb bir vəzifədir.

Paylayıcı şəbəkədə elektrik enerjisinin keyfiyyətinə generator və yük tərəfində müxtəlif növ maneələr təsir edir ki, bu da elektrik təchizatının iş xüsusiyyətlərinin dəyişməsinə səbəb olur. Elektrik enerjisinin əsas parametrləri, məsələn, gərginlik və tezlik, daim nəzarət altında olmalıdır. Gərginlik, tezlik və səs səviyyəsindəki dəyişikliklər elektrik enerjisinin keyfiyyətinin azalmasına səbəb olur. Elektrik enerjisinin keyfiyyətinin bəzi əsas parametrlərini təqdim edək:

1. Gərginlik düşməsi – enerji sistemində qısa müddətli hadisədir, burada gərginlik dəyəri, təchizat tezliyində, nominal gərginlikdən 10-90 faiz azalır və bu vəziyyət 0,5 dövrdən 1 dəqiqəyədək davam edir.

2. Harmonik təhrif\*\* – cərəyan və gərginliyin harmonikləri və subharmonikləri müxtəlif növ qeyri-xətti yüklər, məsələn, qövs sobaları, qaynaq aparatları, düzləndiricilər, impuls güc mənbələri, məlumat emalı avadanlıqları və s. tərəfindən yaranır.

3. Gərginlik sıçrayışları – bir neçə mikrosaniyədən bir neçə millisaniyəyə qədər davam edən gərginliyin çox sürətli artmasıdır. Gərginlik sıçrayışları ildırım, kondensatorların keçid dəyişiklikləri və ağır yüklərin açılması səbəbindən yaranır. Bu, bəzən elektron komponentlərə, izolyasiya materiallarına zərər verə və elektromaqnit maneələr yarada bilər.

4. Gərginlik kəsintiləri – təchizat terminallarında gərginliyin sıfıra yaxın olduğu vəziyyətdir. Tərifə görə, sıfıra yaxın gərginlik, nominal dəyərdən 10 faizdən aşağı olması deməkdir. Gərginlik kəsintiləri qısa müddətli (bir neçə millisaniyədən bir və ya iki saniyəyə qədər) və ya uzun müddətli (bir və ya iki saniyədən çox) ola bilər. Adətən qoruyucu cihazların işə düşməsi və ya nasazlığı səbəbindən baş verir.

5. Üçfazlı sistemdə gərginlik disbalansı üç gərginliyin dəyərlərinin fərqli olduğu və onların arasındakı faz fərqi 120 dərəcə olmadığı vəziyyətdir. Bu, üçfazlı sistemdə qeyri-sabit yükədən qaynaqlanır.

6. Tezlik sapmaları nominal dəyər ətrafında kiçik dəyər dəyişikliyi deməkdir. Təchizat tezliyi enerji sisteminin ən vacib parametrlərindən biridir. Təchizat tezliyinin idarə olunması enerji sisteminin ən mürəkkəb vəzifələrindən biridir.

7. Güc əmsalı: Yüknün güc əmsalı orta gücün tam gücə nisbəti kimi müəyyən edilir. Sinusoidal olmayan təchizat zamanı güc əmsalına cərəyanın harmonikləri təsir göstərir. Güc əmsalının artırılması üçün harmonik filtrlərdə uyğun kondensatorlar istifadə olunur. Əsas texniki problem külək və günəş enerjisinin dəyişkənliyi ilə əlaqədardır ki, bu da yükə, generasiya balansına, reaktiv gücə olan tələbatın dəyişməsinə və gərginlik sabitliyinə təsir göstərir.

Bərpa olunan enerji mənbələri sistemlərinin problemləri – şəbəkəyə inteqrasiya:

#### *Külək enerjisi sistemi*

Külək potensialının bol olması səbəbindən elektricləşmənin inkişafı üçün külək enerjisinin istehsalı artır. Lakin külək enerjisinin şəbəkəyə daxil olmasında bəzi məhdudiyətlər mövcuddur. Külək sürətinin proqnozlaşdırılması yüksək qeyri-müəyyənlik, yüksək dəyişkənlik və aşağı proqnozlaşdırıla bilmə ilə xarakterizə olunur ki, bu da sistemin təhlükəsizliyini azaldır. Əksər külək turbinləri sistemdə reaktiv gücü dəstəkləyə bilmir. Külək enerjisinin yüksək səviyyədə yayılması stabillik problemi yaradır və mümkün elektrik kəsintilərinə səbəb ola bilər. Külək enerjisinin daxil olması ilə sistemin tezlik davranışı da külək generatorlarının daha aşağı inersiyası səbəbindən dəyişir. Külək enerjisinin daxil olması ümumi effektivliyi və elektrik enerjisinin keyfiyyətini azaldır. Üfüqi külək yerdəyişmə səhvlərinin (küləyin istiqaməti üzrə) turbinin gücünə (fırlanma momentinə) təsir etdiyi və qüllənin kölgəsindəki şaquli külək yerdəyişmə effektlərinin gərginlik dalğalanmalarına səbəb olduğu məlumdur. Konstruksiya baxımından bəzi generatorlar xüsusi bir transformator vasitəsilə birbaşa şəbəkəyə qoşulur, digərləri isə idarə olunma və iş diapazonunu yaxşılaşdırmaq üçün güc elektronikasından istifadə edərək qoşulur. Elektrik şəbəkəsinə böyük miqdarda külək enerjisinin inteqrasiyası vəzifələrinə uyğun olaraq qəbul edilmiş yeni şəbəkə kodları üzrə ədəbiyyatın icmalı göstərir ki, yeni külək elektrik stansiyaları sabitliyi və elektrik



sistemlərini qorumaq üçün gərginlik və reaktiv güc idarəetməsi, tezlik idarəetməsi və nasazlıqların aradan qaldırılmasını təmin etməlidir. Bununla əlaqədar olaraq, sabit sürətli induksiya generatorları ilə işləyən külək elektrik stansiyaları istehsaldan çıxarılmalıdır, çünki onlar tələb olunan gərginlik və ya tezlik idarəetməsini təmin edə bilmirlər. Şəbəkəyə qoşulan sistemin çeviricisi üçün hazırlanmış nəzarət qurğularının icmal göstərir ki, hazırda cüt qidalanan asinxron generatorlar reaktiv güc tənzimlənməsi və çıxış gücünün effektivliyini maksimuma çatdırmaq üçün bucaq sürətinin tənzimlənməsi baxımından ən effektiv quruluşa malikdir. Bu generatorlar gərginlik düşmələri zamanı da sistemi dəstəkləyə bilirlər. Lakin çevirici əsaslı sistemlərin çatışmazlıqları harmonik təhriflərdir ki, bu da sistemə daxil olur [3].

### *Günəş enerjisi sistemi*

Yer üzündə əhəmiyyətli miqdarda günəş enerjisi mövcuddur. İstehlakçılar günəş enerjisi ilə maraqlanırlar, çünki bu, ekoloji təmizdir, çevik qurulma imkanına malikdir və günəş batareyası tərəfindən reaktiv enerjinin istehlakı tələb olunmur. Lakin günəş enerjisi istehsalında müəyyən məhdudiyyətlər var: günəş panellərinin quraşdırılması yüksək xərc tələb edir, generasiya gücü aşağıdır, günəş şüalanmasının qeyri-müəyyənliyi və günəş işığının dəyişkən davranışı səbəbindən güc dəyişkənliyi mövcuddur. Günəş enerjisinin şəbəkəyə inteqrasiyası həmçinin sistemin gərginlik profilini və tezlik xüsusiyyətlərini dəyişdirir.

Fotoelektrik sistemin güc əmsalı birə bərabərdir və çıxış gücünün xüsusiyyətləri inverterlə tənzimlənir. Fotoelektrik sistem inersiyaya malik olmadığından sistemin tezliyini dəstəkləmək üçün əlavə cihazlara ehtiyac var. Fotoelektrik sistem aktiv güc təmin edir və reaktiv güc istehlak etmir. Araşdırmalar göstərir ki, buludlu havada fotoelektrik çeviricilər mərkəzləşdirilmiş stansiya kimi yerləşdirildikdə, sistem səviyyəsində maksimal icazə verilən fotoelektrik çevirici nüfuz səviyyəsi təxminən 5% təşkil edir və bu hədd adi generatorların güc artırma qabiliyyəti ilə məhdudlaşdırılmışdır. Gərginlik tənzimlənməsi məsələlərinə baxıldıqda isə buludların yüksək səviyyəli PV nüfuzuna malik ərazilər üzərindən keçməsi zamanı, geniş bir sahədə paylanmış PV-lərin nüfuz səviyyələri 15%

olduqda bulud keçidləri güc dəyişmələri ilə əlaqədar əhəmiyyətli, lakin həll edilə bilən problemlər yaradır. Beləliklə, 15% PV sistemlərinin şəbəkəyə inteqrasiyası üçün maksimal icazə verilən nüfuz səviyyəsi hesab edilə bilər. Bərpa olunan enerji mənbələrinin Azərbaycanın enerji sistemində nüfuz səviyyələrinin müəyyən edilməsi gələcək elmi tədqiqatlar üçün aktual bir vəzifədir.

Bərpa olunan enerji mənbələrinin və paylanmış generatorların sayının artması enerji təchizatının etibarlılığını və keyfiyyətini saxlamaq və ya hətta yaxşılaşdırmaq üçün elektrik şəbəkəsinin istismarı və idarə edilməsi üçün yeni strategiyalar tələb edir. Günəş enerjisi, külək enerjisi və s. kimi bərpa olunan enerji mənbələri daha ekoloji cəhətdən təmiz enerji mənbələrinə keçidi sürətləndirmişdir. Yuxarıda deyilənləri nəzərə alaraq, bərpa olunan enerji mənbələrindən istifadə üçün əsas həllərdən bəziləri bunlardır:

1. Güc balansını bərpa olunan enerji mənbələrindən istifadə etməklə həyata keçirmək, enerjinin saxlanması sisteminin olunan enerji mənbələri ilə inteqrasiyası yolu ilə mümkün olur. Bu sistemin üstünlüyü ondan ibarətdir ki, olunan enerji mənbələrinin həm paylayıcı şəbəkə səviyyəsində, həm də enerji bazarı və güc istifadə edən enerji sistemində inteqrasiyasını təmin edir.

2. Elektrik şəbəkəsinə bərpa olunan enerji mənbələrinin inteqrasiyasında və paylanmış generasiyada mühüm rol oynayan güc elektron texnologiyasının istifadəsi genişlənir. Bu tətbiqlər şəbəkə sistemləri ilə daha çox inteqrasiya olunduqca sürətlə genişlənir. Son illərdə güc elektronikasının sürətli inkişafı iki amilə bağlıdır: sürətli yarımkeçirici açarların inkişafı, onların sürətli keçid qabiliyyəti və gücünün artması və real vaxt rejimində geniş və mürəkkəb idarəetmə alqoritmlərini həyata keçirə bilən kompüter nəzarətçilərinin tətbiqi. Bu amillər iqtisadi və şəbəkəyə uyğun çeviricilərin yaradılmasına səbəb olmuşdur.

3. Bərpa olunan enerji mənbələrindən elektrik enerjisinin istehsalında fasilələrin təsirini azaltmaq üçün enerjinin kiçik güclərlə daha geniş coğrafi ərazilərə yayılması, böyük vahidlərin bir sahədə cəmləşdirilməsinin qarşısını almaq lazımdır.

4. Suvarma yükü gecə vaxtı və ya qeyri-pik dövrlərdə, ənənəvi şəbəkə ilə təmin edilməlidir. Digər tərəfdən, bərpa olunan enerji mənbələri, məsələn, günəş

fotovoltaik stansiyaları, gündüz vaxtı enerji istehsal edir, buna görə də inkişaf etdiricilər bu enerjini daha sonra istifadə etmək üçün saxlamaq əvəzinə, suvarma məqsədləri üçün istifadə edə bilirlər, bu da bütün sistemin dəyərini artırır. Suvarma üçün günəş su nasoslarının istifadəsi yüksək səmərəlilik verir, təxminən 80-90%, və günəş su nasosunun su çıxarma xərci asinxron motorlu nasosla müqayisədə xeyli aşağıdır.

5. Böyük günəş fotovoltaik stansiyalarının tətbiqində, çıxış gücü gün ərzində dalğalanır və bu güc şəbəkəyə ötürülür. Davamlı dalğalanan güc şəbəkənin təhlükəsizliyinin təmin edilməsi (enerji sisteminin dayanıqlılığı baxımından) barədə narahatlıq yaradır. Günəş fotovoltaik qurğusunun sahibi saxlama sistemi quraşdırmalıdır ki, bu da, əlbəttə ki, qurğunun sahibinə əlavə xərclər gətirir. Hətta saxlama sistemi tam dolduqda belə, bu saxlama elementləri sistem sahibinə mənfəət gətirmir. Buna görə belə saxlama sistemi əvəzinə, günəş enerjisi əsasında nasos sisteminin quraşdırılması məqsədəuyğundur. Alternativ yol olaraq, saxlama qurğusunun yaradılmasını paritet əsasında həyata keçirmək, xərcləri günəş stansiyasının sahibi və enerji sistemi arasında, məsələn, bərabər bölmək olar.

6. Bərpa olunan enerji mənbələrindən enerji istehsalının fasiləliliyinin təsirini azaltmaq üçün enerjinin kiçik güclərlə daha geniş coğrafi ərazilərə paylanması, əvəzinə bir sahədə cəmləmiş böyük qurğuların olması yolu ilə azaltmaq olar.

7. Suvarma yüklərinin enerji təchizatı gecə və ya qeyri-pik dövrlərdə, ənənəvi şəbəkə vasitəsilə təmin olunması daha yaxşıdır. Digər tərəfdən, bərpa olunan enerji mənbələri, məsələn, günəş fotoelektrik stansiyaları ilə istehsal edilən enerji gün ərzində istehsal olunur. Buna görə də, inkişaf etdiricilər bu enerjiden enerjinin daha sonra istifadə edilməsi üçün saxlanması əvəzinə suvarma məqsədləri üçün istifadə edə bilirlər ki, bu da bütün sistemin dəyərini artırır. Suvarma üçün günəş su nasoslarından istifadə yüksək məhsuldarlıq verir, təxminən 80-90%, və suyun günəş su nasosu ilə çıxarılmasının dəyəri asinxron mühərrikli nasosdan daha azdır.

8. Böyük günəş fotoelektrik stansiyalarında çıxış gücü gün ərzində dəyişir və bu güc şəbəkəyə verilir. Davamlı olaraq dəyişən güc, şəbəkənin təhlükəsizliyini (enerji sisteminin dayanıqlılığı baxımından) təmin etmək məsələsində narahatlıq yaradır.

Günəş fotoelektrik qurğusunun sahibi saxlama sistemi qurmalıdır ki, bu da əlbəttə ki, qurğunun sahibi üçün əlavə xərclərə səbəb olur. Hətta saxlama sistemi tam dolu olduqda belə, bu saxlama elementləri sistem sahibinə gəlir gətirmir. Buna görə də, belə bir saxlama sistemi əvəzinə günəş enerjisi ilə işləyən nasos sistemi qurmaq daha məqsədəuyğundur. Alternativ yol isə saxlama qurğularını paritet əsasında yaratmaq, yəni günəş stansiyasının sahibi və enerji sistemi arasında xərcləri bərabər şəkildə bölməkdir.

## **3.2 Şəbəkəyə bərpa olunan enerji mənbələrinin inteqrasiyası ilə bağlı problemlər**

### **3.2.1 Külək enerjisi sistemi**

Külək enerjisi sistemləri kənd rayonlarının elektricləşdirilməsini inkişaf etdirməyə çalışır, bu da enerji istehsalı üçün istifadə oluna bilən külək potensialının bolluğu sayəsində mümkündür. Lakin külək enerjisinin şəbəkəyə inteqrasiyasını çətinləşdirən bəzi məhdudiyyətlər mövcuddur. Küləyin sürətinin proqnozlaşdırılması yüksək dərəcədə qeyri-müəyyənlik, dəyişkənlik və aşağı proqnozlaşdırıla bilmə qabiliyyətinə malikdir ki, bu da sistemin etibarlılığını azaldır. Çoxlu sayda külək generatoru reaktiv gücü sistemdə saxlaya bilmir ki, bu da sabitlik problemləri və mümkün elektrik kəsintiləri yaradır. Sistemdə çoxlu külək enerjisi miqdarının daxil edilməsi daha aşağı inersiya səbəbindən sistemin tezlik davranışına təsir edir. Bu, ümumi səmərəliliyi və elektrik enerjisinin keyfiyyətini azalda bilər. Tədqiqatlar göstərir ki, üfüqi və şaquli külək dəyişmələri külək generatorlarının işinə və gərginlik dalğalanmalarına təsir edir. Konstruksiya baxımından bəzi külək generatorları xüsusi transformator vasitəsilə birbaşa şəbəkəyə qoşulur, digərləri isə idarəetməni yaxşılaşdırmaq və iş diapazonunu genişləndirmək üçün güc elektronikasını istifadə edirlər. Elektrik şəbəkəsinə böyük miqdarda külək enerjisinin inteqrasiyası üçün hazırlanmış yeni şəbəkə kodları külək elektrik stansiyalarının elektrik sistemlərinin sabitliyini qorumaq üçün gərginlik və reaktiv güc idarəetməsini, tezlik idarəetməsini və nasazlıqların aradan qaldırılmasını təmin etməyi tələb edir. Buna görə sabit sürətli induksiya generatorlarına malik külək

elektrik stansiyaları istehsaldan çıxarılmalıdır, çünki onlar tələb olunan gərginlik və tezlik idarəetməsini təmin edə bilmirlər. Hazırda reaktiv gücün və bucaqlı sürətin tənzimlənməsi üçün ən səmərəli variantlar kimi cüt qidalanmalı asinxron generatorlar qəbul edilir, çünki onlar çıxış gücünü maksimuma çatdırmaq üçün ən uyğun variantdır. Onlar həmçinin gərginlik düşməsi zamanı sistemi dəstəkləyə bilirlər. Bununla belə, çeviricilər əsasında olan sistemlərin bəzi çatışmazlıqları var, məsələn, şəbəkəyə gətirdikləri harmonik təhriflər [9].

### **3.2.2 Günəş enerjisi sistemi**

Yer üzündə günəş enerjisindən istifadə üçün əhəmiyyətli potensial mövcuddur. Müştərilər günəş enerjisinə ekoloji təbiəti, quraşdırma çevikliyi və günəş panellərinin reaktiv enerji sərf etməməsi səbəbindən maraq göstərirlər.

Bununla belə, günəş enerjisi istehsalının bəzi məhdudiyyətləri mövcuddur, məsələn, günəş panellərinin quraşdırılmasının yüksək dəyəri, aşağı generasiya gücü, günəş şüalanmasının qeyri-müəyyənliyi və işıqlandırmanın dəyişməsi səbəbindən gücün dalğalanması. Günəş enerjisinin sistemə daxil olması da gərginlik profilinə və sistemin tezlik xarakteristikalarına təsir edir. Fotovoltaik sistemin güc əmsalı vahidə bərabərdir və çıxış gücünün xarakteristikaları inverterdən asılıdır. Fotovoltaik sistemdə inersiyanın olmaması səbəbindən sistemdə tezliyin saxlanması üçün əlavə qurğular tələb olunur. Fotovoltaik sistem aktiv güc təmin edir və reaktiv güc sərf etmir. Buludluğun keçid təsirlərinin tədqiqatları göstərdi ki, mərkəzləşdirilmiş stansiya kimi fotovoltaik panellərin yerləşdirilməsi zamanı sistemə fotovoltaik panellərin maksimal qəbul edilə bilən səviyyəsi təxminən 5 faiz təşkil edirdi ki, bu da adi generatorların güc yığıma imkanları ilə əlaqədar idi. Gərginliyin tənzimlənməsi məsələləri nəzərdən keçirilərkən məlum oldu ki, fotovoltaik panellərin yüksək səviyyədə yayılması ilə buludların bu ərazilərdən keçməsi zamanı 15%-lik səviyyədə geniş yayılma enerji sistemində əhəmiyyətli, lakin həll oluna bilən güc dalğalanmaları problemi yaradır.

Beləliklə, 15 faiz paylanmış fotovoltaik sistemlərin enerji sistemində nüfuzunun maksimum səviyyəsi hesab edilə bilər [4].

#### **4. BƏRPA OLUNAN ENERJİ MƏNBƏLƏRİNİN ENERJİ SISTEMİNİN DAYANIQLIĞINA TƏSİRİNİ AZALTMAĞIN MÜXTƏLİF YOLLARI**

Hazırda dünya elektrik enerjisi sektorunda elektrik enerjisi istehsalı üsullarına dair əhəmiyyətli dəyişikliklər baş verir. Böyük elektrik stansiyalarından paylanmış generasiyaya tədricən keçid müşahidə olunur. Gələcəkdə paylanmış generasiyanın payı əhəmiyyətli olduqda və ağıllı şəbəkə (Smart Grid) texnologiyası tətbiq edildikdə, yerli elektrik şəbəkələri (mikroşəbəkələr) müstəqil olaraq və ya ümumi enerji sisteminin bir hissəsi kimi işləyə biləcəklər.

Paylanmış generasiya imkanları mövcud enerji infrastrukturunun problemləri ilə əlaqədardır: elektrik enerjisinə tələbatın artması, şəbəkələrin yüklənməsi və ümumi etibarlılığın azalması. Şəbəkələrin dəyişdirilməsi və ya genişləndirilməsi əlavə xərclər tələb edən mürəkkəb texniki tədbirlərdir. Həmçinin, istixana qazı emissiyalarının azaldılması və zərərsiz enerji mənbələrinə keçid siyasəti nəzərə alınmalıdır ki, bu da eyni zamanda sabitliyi təmin etməlidir. Qlobal enerjetikanın dekarbonizasiyası prosesində bərpa olunan enerji mənbələri keyfiyyət və etibarlılıq tələblərini ödəyən əsas enerji mənbələrinə çevriləcək. Bu, yalnız enerjinin saxlanması sistemlərinin istifadəsini daxil edən effektiv güc balanslaşdırma sistemi ilə mümkündür.

Paylayıcı şəbəkənin çevrilməsi zəruridir ki, bu da yalnız bütün enerji sisteminin balanslaşdırılması ilə deyil, həm də yerli şəbəkələrin işinin təmin edilməsi ilə bağlı əlavə funksiyaların yerinə yetirilməsini nəzərdə tutur. Etibarlı elektrik təchizatını təmin etmək üçün paylayıcı şəbəkənin yerli sahələrində əlavə güc ehtiyatı cəlb etmədən keçinmək mümkün deyil. Sistematik bir obyekt olan yerli elektrik şəbəkəsi mürəkkəb dispetçer və avtomatik idarəetmə obyektidir. Bərpa olunan enerji mənbələri, məsələn, külək və günəş elektrik stansiyaları kimi stansiyaların sistemə daxil edilməsi əlavə rejim parametrləri və idarəetmə təsirlərinin meydana gəlməsinə səbəb olur. Güc balansı (aktiv və reaktiv) sistematik şəbəkə, paylanmış generasiya və ehtiyat güc və enerji saxlama sistemləri kimi kompensasiya qurğuları ilə qarşılıqlı əlaqə yolu ilə dəstəklənə bilər, hansı ki, enerji istehlakı yerlərində birbaşa

quraşdırılmışdır. Şəbəkə parametrləri enerji təchizatının etibarlılığı və enerji itkilərinin azalmasını nəzərə alan texniki-iqtisadi göstəricilərlə müəyyən ediləcək.

Bərpa olunan enerji mənbələrinin təbii amillərdən asılı olduğu üçün onların proqnozlaşdırılmasının qeyri-kamilliyini nəzərə alaraq, cari gücü tənzimləyən vasitələri daxil edən hibrid enerji sistemlərinin yaradılması məqsədəuyğundur. Lakin bərpa olunan enerji mənbələrindən enerji çevrilmə proseslərini nəzərə alaraq, belə bir sistemin optimal strukturunun qurulması məsələsi ortaya çıxır. Mövcud enerji infrastrukturalarının modelləşdirilməsi və optimallaşdırılması yanaşmaları tez-tez külək və günəş elektrik stansiyalarının, ənənəvi enerji sistemlərinin, dizel generatorlarının və enerji akkumulyatorlarının xüsusiyyətlərini vahid kompleks kimi nəzərə almır. Bu komponentlərin iqtisadi və fiziki xarakteristikaları yaxşı öyrənilsə də, inteqrasiya olunmuş sistemlərin bəzi xüsusiyyətləri təsadüfi xarakter daşıyır və əlavə araşdırma tələb edir.

Hibrid sistemlərin tərkibinin və iş rejimlərinin optimallaşdırılması məsələləri, müxtəlif bərpa olunan enerji mənbələrinə əsaslanan texnologiyaları birləşdirən sistemlər, müasir tədqiqatlarda geniş müzakirə olunur. Müəlliflər belə sistemlərin bəzi çatışmazlıqlarını, məsələn, enerji təchizatının etibarlılığı və xərclərlə bağlı problemləri qeyd edirlər. Sistem strukturunun optimal müəyyənləşdirilməsi enerji generasiyası və istehlakı proseslərinin təsadüfiliyi səbəbindən mürəkkəb bir tapşırıqdır. Bu cür tədqiqatlar üçün adətən xüsusi hesablama metodlarından istifadə edilir və modelləşdirmə və nümunələr tez-tez konkret şərtlərlə məhdudlaşdırılır. Bərpa olunan enerji mənbələrinin yüksək səviyyədə nüfuz etdiyi sistemlər enerji idarəetməsi baxımından xüsusilə mürəkkəbdir. Belə enerji sistemlərinə xarici generasiya olmadığı şəraitdə enerji təchizatını təmin etmək üçün enerji saxlama vasitələri daxil edilməlidir. Lakin etibarlılıq tələbləri tez-tez ənənəvi yanacaq mənbələrinə, xüsusən də dizel generatorlarına müraciət etməyə səbəb olur. Tədqiqatda müəyyən bir regionda uzaq qəsəbə üçün külək, günəş və dizel sistemlərinin müxtəlif hibrid konfigurasiyaları təqdim edilir. Aşağıdakı variantlar nəzərdən keçirilir: yalnız dizel yanacağı, külək-dizel generasiyası, günəş enerjisi və dizel yanacağı, eləcə də bütün mənbələrin kombinasiyası. Optimal alternativ

sistemin seçimi enerji xərclərinin minimallaşdırılması və ətraf mühitə minimal təsir əsasında aparılır. Başlanğıc məlumat kimi yerli külək sürəti, günəş radiasiyası və yükün saatlıq göstəricilərindən istifadə edilir. Yerli məlumatlara əsaslanan belə hesablamalar hibrid sistemlərin bəzi ümumi xüsusiyyətlərini əks etdirir, lakin onların tətbiqi məhduddur. Dizel generatoru ilə etibarlılığın təmin edilməsi məsələsinin tədqiq edildiyi oxşar nəticələr təqdim edilmişdir. Müxtəlif bərpa olunan enerji mənbələrindən istifadə edildikdə sistemin səmərəliliyinin artdığı və dizel generatoruna olan yükün əhəmiyyətli dərəcədə azaldığı göstərilmişdir. Enerji mənbələrinin optimal kombinasiya axtarışı sistem tələblərindən və istifadəçinin konkret ehtiyaclarından asılıdır.

Dizel generatorlarından istifadə edən sistemlərin bəzi çatışmazlıqları var, məsələn, yanacaqdan asılılıq, bu da logistika, ekoloji və iqtisadi səmərəlilik problemləri yaradır. Bundan əlavə, bu cür sistemlər fasiləli generasiya ilə xarakterizə olunur ki, bu da enerji təchizatında qeyri-bərabərliyə səbəb olur. Enerji balansının tənzimlənməsi üçün yanacaq mühərriklərindən üstünlükləri olan enerji saxlama sistemləri populyardır. Yerli sistemlərdə güc balanslaşdırılması üçün müxtəlif enerji saxlama metodları arasında elektro-kimyəvi akkumulyatorlar üstünlük təşkil edir, böyük enerji sistemlərində isə hidroakkumulyasiya stansiyalarından istifadə olunur.

Artıq 2030-cu ildə təxminən 100 MVt gücündə olan litium-ion akkumulyatorlarının hidroakkumulyasiya stansiyaları ilə rəqabət apara biləcəyi və gün ərzində və ya hətta həftə ərzində yüksək payı olan bərpa olunan enerji mənbələri ilə enerji sistemlərində operativ güc balanslaşdırmasını təmin edə biləcəyi gözlənilir. Akkumulyator sistemləri yerləşməsindən asılı olmayaraq enerji sisteminin balanslaşdırılması üçün həm normal, həm də fəvqəladə rejimlərdə istifadə edilə bilər. Bundan əlavə, istehlak yerlərində yerləşdirilən akkumulyator sistemləri yerli izolyasiya edilmiş enerji şəbəkələrinin balanslaşdırılmasında iştirak edə bilər. Akkumulyator sistemlərinin xüsusiyyəti, xüsusən də bərpa olunan enerji mənbələrinin yüksək payı ilə geniş diapazonda enerji generasiyası və istehlakında dəyişikliklərdir. Artıq enerjiden istifadə etmək imkanı akkumulyatorun doluluq



səviyyəsi və doldurma sürəti ilə müəyyən edilir, bu isə güc artım tempini üstələyir. Bu elektro-kimyəvi akkumulyatorlara aiddir, lakin doldurma sürəti məhdudluğu müxtəlif enerji saxlama texnologiyaları üçün xarakterikdir.

Akkumulyator sistemləri ilə bağlı tədqiqatlar əsasən bu sistemlərin paylayıcı şəbəkələrdə optimal parametrlərinin və yerləşdirilməsinin seçiminə yönəlib. Bu məsələnin həlli üçün tez-tez qeyri-xətti riyazi proqramlaşdırma metodlarından istifadə olunur. Məqsəd funksiyaları bərpa olunan enerjiden istifadənin maksimallaşdırılması, enerji saxlama sistemlərinin quraşdırılması üçün kapital xərclərinin azaldılması, elektrik təchizatının etibarlılığının artırılması və elektrik enerjisi itkilərinin azaldılmasını əhatə edir.

Bəzi tədqiqatlarda eyni vaxtda iki və ya daha çox məqsəd funksiyasının nəzərdən keçirildiyi çoxkriteriyalı optimallaşdırma məsələsi araşdırılır. Ən əsaslı və praktiki yanaşma faktiki gündəlik yük profillərinin təhlili əsasında enerji saxlama sisteminin gücü və tutumunun seçilməsidir, lakin bu nəticələr konkret şərtlərdən asılıdır. Mikroşəbəkələrdə enerji saxlama sistemləri ilə hibrid sistemlərin istifadəsində əhəmiyyətli problemlərdən biri saxlama qurğularının (tutum və güc) ölçüsünün seçilməsidir.

Batareya ölçüsünün sistemin optimal konfigurasiyasına təsirini qiymətləndirmək üçün ümumi xərcləri minimallaşdırmağa yönəlmiş funksiya istifadə olunur. Təklif olunan strategiya günəş radiasiyası, külək sürəti və yük profilinə dair real məlumatlara əsaslanır. Bərpa olunan enerji mənbələrinin qeyri-bərabərliyi enerji saxlama sisteminin uyğun ölçülərinin seçimini çətinləşdirən mənfi amildir. Bir işdə fotoelektrik və külək stansiyalarından, həmçinin izolyasiya olunmuş ərazilər üçün akkumulyator batareyalarından ibarət sistemin optimal ölçülərini müəyyən etmək üçün ümumiləşdirilmiş riyazi model təklif edilmişdir. Burada yalnız xərclər deyil, həm də enerji təchizatının itirilməsi ehtimalı (LPSP indeksi) nəzərə alınır.

Akkumulyator sistemlərinin hibrid enerji sistemlərində istifadəsi yüksək xərc və uzunmüddətli güc disbalansı zamanı tutumun çatışmazlığı ehtimalı ilə məhdudlaşdırılır. Buna görə də, bu cür sistemlər üçün bir çox həllər eyni vaxtda

ehtiyat generator və enerji saxlama sisteminin tətbiqini nəzərdə tutur ki, bu da etibarlılıq və xərclər baxımından ən yaxşı nəticələri təmin edir. Bu, xüsusilə mərkəzləşdirilməmiş istehlakçılar üçün vacibdir, çünki külək və günəş stansiyaları kimi bərpa olunan enerji mənbələri enerji istehlakçılarına daha yaxın yerləşdirilə bilər. Lakin mərkəzləşdirilmiş elektrik şəbəkəsindən istifadə artıq enerjiden istifadə imkanlarına görə etibarlılığı və iqtisadi səmərəliliyi artırır. Bu halda, yerli iqlim şəraitinin və enerji istehlak xüsusiyyətlərinin əvvəlcədən araşdırılması vacibdir.

Bəzi tədqiqatlarda külək turbinləri, fotoelektrik panellər, akkumulyator batareyaları və dizel generatorları daxil olmaqla ümumiləşdirilmiş hibrid sistemlər nəzərdən keçirilmişdir. Belə sistemlərin optimallaşdırılması bərpa olunan enerji mənbələrindən istifadə, istilik və elektrik istehlakı, dizel yanacağına qiyməti kimi müxtəlif amillərə aiddir. Tədqiqatlar enerji saxlama ilə inteqrasiya olunmuş sistemlərin üstünlüklərini göstərmişdir. Rəqəmsal nəticələr konkret yerlərə və istehlakçılara aiddir. Yerli enerji sisteminin tərkibinin optimallaşdırılması üçün HOMER proqram paketi istifadə edilmişdir ki, bu da enerji tələblərinin tam ödənilməsinə tələb edir. Fotoelektrik modulları, külək turbinləri, akkumulyator batareyaları və dizel generatorlarını daxil edən hibrid enerji sisteminin optimal ölçüsünün müəyyən edilməsi üçün oxşar məsələ genetik alqoritm istifadə edilərək həll olunur. Bu halda, müəyyən avadanlıq növləri üçün texniki parametrlər (konstruksiya ölçüləri, meyl bucağı və s.) və enerji qurğularının sayı karbon dioksid ekvivalenti (COE) üzrə minimal enerji dəyərinə nail olmaq üçün seçilir. Məsələ sistemin mümkün strukturlarının çoxluğu və külək və günəş enerjisinin dəyişkən xarakteri səbəbindən mürəkkəb hesab olunur, buna görə də klassik metodlarla həll edilə bilməz.

Ədəbiyyatda yerli enerji sisteminin planlaşdırılması zamanı nəzərə alınmalı olan ümumi aspektlər müzakirə olunur. Bunlara bərpa olunan enerji mənbələrinin seçimi, güc balansını tənzimləmə mexanizmləri, iqlim şəraitinin nəzərə alınması, proqnozlaşdırma metodları, sistemin işinin modelləşdirilməsi və nəticələrin qiymətləndirilməsi daxildir.

Sitat gətirilən tədqiqatlar konkret enerji sistemləri və avadanlıq növlərinə diqqət yetirir. Bununla belə, parametrləri formalaşdırılmış sistemi təmsil edən və geniş imkanlar spektrindən optimal variantları seçməyə imkan verən riyazi modelin hazırlanması tələb olunur. Əvvəl qeyd olunan işlər əsasən iqtisadi və bəzən ekoloji aspektlərlə bağlıdır, bu da kompleks qiymətləndirmələr tələb edir. Bununla belə, istehlakçıların etibarlı təminatının qiymətləndirilməsi üçün generasiya və istehlak proseslərinin təsadüfi xarakteri və bir neçə dəqiqə ərzində sürətli güc dəyişiklikləri nəzərə alınmalıdır. Seçilmiş enerji təchizatı sisteminin səmərəliliyini adekvat qiymətləndirmək üçün proseslərin stoxastik təbiətini nəzərə alan müvafiq riyazi model tələb olunur. Həm yerli iqlim şəraitini, həm də enerji istehlak xüsusiyyətlərini nəzərə almaq vacibdir. Külək və günəşin zaman davranışını nəzərə almaq lazımı dəqiqliklə ehtimal qiymətləndirmələrini əldə etməyə imkan verir. Bu tədqiqatda xüsusilə külək və günəş elektrik stansiyalarının gücündə sürətli dəyişikliklərin, ehtiyat generatorun qoşulma şərtlərinin, balanslaşdırılmamış enerjinin yığılması proseslərinin və akkumulyatorların real doldurma vəziyyətinin nəzərə alınmasına xüsusi diqqət yetirilir.

Bu tədqiqatın məqsədi ənənəvi enerji mənbələri (elektrik şəbəkəsi), bərpa olunan enerji mənbələri (külək və günəş elektrik stansiyaları), ehtiyat idarə olunan generator və enerji akkumulyatoru daxil olan elektrik enerjisi sisteminin işində enerji balansı xüsusiyyətlərini öyrənməkdir. Bizim maraqlandığımız parametrlərin qiymətləndirilməsi üçün təklif olunan riyazi modellər, bu kombinə edilmiş sistemin cari vəziyyətindəki sürətli təsadüfi dəyişiklikləri nəzərə alır. Bu modelin vəzifəsi sistemin müxtəlif vəziyyətlərinin ehtimalını qiymətləndirmək və bununla da enerji təchizatının etibarlılığını müəyyənləşdirmək, həmçinin tələb olunan güc balansını təmin etmək üçün optimal generasiya sistemi tərkibini və ehtiyat generatorun iş alqoritmini seçməkdir. [4].

#### 4.1 Enerji anbarları və yığım qurğularının istifadəsi

Enerji anbarları və yığım qurğularının (akkumulyatorların) istifadəsi müasir energetikada getdikcə daha da vacib olur. Onlar enerjinin səmərəli idarə edilməsi və bərpa olunan enerji mənbələrinin elektrik enerjisi sistemlərinə inteqrasiyası üçün əsas komponentlər rolunu oynayır. Energetikada enerji anbarları və yığım qurğularının istifadəsinin bir neçə əsas aspekti bunlardır:

*Yük və pik tələbatın idarə edilməsi:* Enerji anbarları enerjini aşağı tələbat və bərpa olunan enerji mənbələrinin yüksək məhsuldarlıq dövrlərində yığmağa və sonra onu pik tələbat zamanı və ya bərpa olunan enerji mənbələrindən enerji istehsalının azaldığı zaman istifadə etməyə imkan verir. Bu, elektrik şəbəkəsinə düşən yükü azaltmağa və onun etibarlılığını artırmağa kömək edir.

*Bərpa olunan enerji mənbələrinin inteqrasiyası:* Günəş və külək enerjisi kimi bərpa olunan enerji mənbələri sabit deyil və hava şəraitindən asılıdır. Enerji anbarları bərpa olunan enerji mənbələri tərəfindən aşağı tələbat dövrlərində istehsal edilən artıq enerjini saxlamağa və bərpa olunan enerji mənbələrindən istehsal olmadıqda istifadə etməyə imkan verir. Bu, bərpa olunan enerji mənbələrindən daha səmərəli istifadəni təmin edir və ənənəvi enerji mənbələrindən asılılığı azaldır.

*Tezliyin tənzimlənməsi və elektrik şəbəkəsinin sabitliyi:* Enerji anbarları elektrik şəbəkəsində tezlik tənzimləyiciləri və sabitləşdiricilər rolunu oynaya bilər. Onlar enerji tələbatı və istehsalındakı müvəqqəti dalğalanmaları kompensasiya etmək üçün enerjini tez bir zamanda daxil edə və ya çıxara bilərlər. Bu, elektrik şəbəkəsinin sabitliyini və etibarlılığını təmin etməyə kömək edir.

*Enerji müstəqilliyi və ehtiyat enerji təchizatı:* Yığım qurğuları fəvqəladə hallar və ya əsas elektrik təchizatının kəsilməsi zamanı ehtiyat enerji mənbəyi kimi xidmət edə bilər. Onlar xəstəxanalar, telekommunikasiya avadanlığı və ya kritik infrastruktur kimi vacib sistemlərin şəbəkədə müvəqqəti nasazlıqlar zamanı da işləməsini təmin etməyə imkan verir.

Enerji anbarlarının və yığım qurğularının energetikada istifadəsi enerji səmərəliliyinin artırılması, bərpa olunan enerji mənbələrinin inteqrasiyası və elektrik enerjisi sistemlərinin dayanıqlığının yaxşılaşdırılması potensialına malikdir.

Bununla belə, bu texnologiyaların tətbiqi onların effektiv istifadəsini və mövcud enerji sistemlərinə inteqrasiyasını təmin etmək üçün iqtisadi, texniki və hüquqi aspektlərin nəzərə alınmasını, eləcə də standartların və tənzimləmələrin təkmilləşdirilməsini tələb edir. [4].

#### **4.1.1. Elektrik enerjisi yığım qurğularına baxış**

Müxtəlif növ enerji yığım qurğularının öz xüsusiyyətləri, iş rejimləri və konstruktiv xüsusiyyətləri var ki, bu da onların tətbiq sahəsini müəyyən edir.

Elektrik enerjisi yığım qurğuları iki növə bölünə bilər: statik aktiv zonalı yığım qurğuları, məsələn, elektro-kimyəvi, induktiv və tutumlu, və dinamik aktiv zonalı yığım qurğuları, məsələn, elektro-mexaniki. Birincilər elektrik enerjisinin yığılması və saxlanması üçün nəzərdə tutulub, ikincilər isə mexaniki enerjinin yığılması və saxlanması və sonradan onun elektrik enerjisinə çevrilməsi üçün nəzərdə tutulub.

Elektrik enerjisinin çevrilməsi və saxlanmasında enerji yığım qurğularının tətbiq oluna biləcəyini qiymətləndirmək üçün aşağıdakı göstəricilər istifadə olunur:

Enerji yığım qurğusunun xüsusi enerji tutumu, bu göstərici yığılan enerjinin yığım qurğusunun kütləsinə nisbətini müəyyən edir.

Enerji yığma sisteminin ümumi enerji tutumu, bu sistemin enerji saxlama qabiliyyətini müəyyən edir və yığım qurğusunun ümumi kütləsinə, o cümlədən xarici qurğulara (məsələn, doldurucu qurğu, güc çeviricisi) və sistemin bir iş dövrünü yerinə yetirmək üçün lazım olan komponentlərin (məsələn, maye, qaz, soyuducu, elektrolit) kütləsinə nisbətə hesablanır.

Həcm üzrə xüsusi enerji tutumu – bu, akkumulyatorun enerji tutumunun onun həcminə olan nisbətidir.

Yığım qurğusunun faydalı iş əmsalı (f.i.ə.) – bu, verilmiş texniki həll çərçivəsində istifadə oluna bilən enerjinin (boşalma enerjisi) yığım sisteminin əvvəlki enerji ehtiyatının bərpası üçün tələb olunan enerjiyə (doldurma üçün sərf olunan enerji) nisbətidir.

Xüsusi güc həm yığım qurğusunun daxili xüsusiyyətləri, həm də onun işləməsi ilə əlaqəli xarici qurğularla müəyyən edilir.

Elektrik enerjisi yığım qurğularının dəqiq müqayisəsi və səmərəliliyinin qiymətləndirilməsi üçün yığım sisteminin ömrü boyu təmin etməli olduğu tam doldurma-boşalma dövrləri üzrə xüsusi enerji anlayışını daxil etmək vacibdir.

Konstruksiya hazırlanarkən nəzərə alınmalı olan digər mühüm aspekt bir kilovat-saat enerji üçün nisbi dəyər və akkumulyatoru onun faydalı istifadəsi olmadan sabit enerji səviyyəsində saxlamaq üçün tələb olunan gücdür.

Daimi aktiv zonalı yığım qurğularının geniş spektri mövcuddur və gəlin onlardan bəzilərini nəzərdən keçirək:

1) Superkeçirici induktiv yığım qurğuları yüksək kütlə-həcm səmərəliliyinə malikdir, bu da aktiv zonada cərəyan sıxlığının həddinə çatmağa imkan verir. Onlar həm avtonom, həm də böyük enerji sistemlərində tətbiq oluna bilər, çünki enerjini uzun müddət saxlamaq və yük dəyişikliklərinə tez reaksiya vermək qabiliyyətinə malikdirlər, həmçinin yüksək xüsusi gücə malikdirlər. Lakin cərəyan sıxlığının artması ilə bağlı soyutma sisteminin və konstruktiv elementlərin kütləsinin artması ilə induktiv yığım qurğularının kütlə üstünlüyü azalır. Bundan əlavə, onların enerji tutumu azdır (təxminən 1 MVT•saat) və daha da artırmaq böyük və bahalı ekranlama sistemləri tələb edən həcmli maqnit sahələri səbəbindən yerləşdirmə problemləri ilə qarşılaşır.

2) Superkondensatorlar, həmçinin ionistorlar kimi tanınır, impuls enerjisi saxlama üçün elektro-kimyəvi cihazdır. Müxtəlif növ akkumulyatorlardan fərqli olaraq, onlar əhəmiyyətli dərəcədə daha aşağı xüsusi enerji tutumuna ( $4 \text{ Vt} \cdot \text{saat/kq}$  qədər) və yüksək xüsusi gücə ( $10 \text{ kVt/kq}$  qədər) malikdirlər. Müəyyən doldurma gərginliklərinə riayət edildikdə, iş prosesi zamanı maddələrin kimyəvi çevrilmələri baş vermir, bu da sistemin uzunmüddətli ömrünü təmin edir və 1 milyon dövrə qədər doldurma-boşalma təmin edir. Superkondensatorlar həmçinin yüksək səmərəliliyə (95 faizə qədər), qeyri-kutubiliyə, sadə doldurma qurğusuna və yüksək doldurma və boşalma sürətlərinə malikdirlər. Bununla belə, onların çatışmazlıqları arasında əhəmiyyətli səviyyədə öz-özünə boşalma (ayda 300 faiz) və gərginliyin doldurulma səviyyəsindən asılılığı var.

3) Qurğuşun-turşu akkumulyatorlar yaxşı mənimsənilmiş istehsal texnologiyası və geniş istifadə təcrübəsi sayəsində geniş tətbiq olunur. Onlar starter, çəkici və ehtiyat qurğuşun-turşu akkumulyatorlarına bölünə bilər. Starter akkumulyatorlar avtomobil mühərriklərinin işə salınması üçün istifadə olunur və yüksək cərəyanlarla boşalmaya hesablanıb. Onların stasionar akkumulyatorlarla müqayisədə daha yüksək xüsusi enerji tutumu var. Stasionar akkumulyatorlar aşağı cərəyanlarla uzunmüddətli boşalma üçün nəzərdə tutulub, boşalma dərinliyinin müəyyən qədər artırılması ilə, lakin daha pis kütlə-həcm göstəricilərinə malikdirlər. Çəkici akkumulyatorlar aralıq vəziyyət tutur və elektrik nəqliyyat vasitələrində istifadə olunur.

Texnologiya nisbətən ucuzdur və yükün bərabərləşdirilməsi və şəbəkənin sabitləşdirilməsi üçün onlarla megavatt-saat tutumlu enerji yığıcılarının asanlıqla yaradılmasına imkan verir. Bu tip akkumulyatorlar yüksək etibarlılığa və uzun ömür müddətinə malikdir, tez doldurulma və boşalma üçün yaxşı uyğun gəlir, aşağı öz-özünə boşalma (ildə 40 faiz) xüsusiyyətinə malikdir və 80% boşalma səviyyəsində 200-dən 1000-ə qədər dövrə keçə bilər. Çatışmazlıqlar arasında aşağı xüsusi enerji tutumu (30-40 Vt-saat/kq), nisbətən aşağı səmərəlilik (75 faiz), əhəmiyyətli istismar xərcləri və utilizasiya zamanı ekoloji təhlükəsizlik tələbləri daxildir.

4) Kükürd-natrium (Na-S) akkumulyatorları qurğuşun-turşu akkumulyatorlarından dörd dəfədən çox yüksək enerji sıxlığına, yüksək doldurma-boşalma dövrlərinin sayına (90% boşalma səviyyəsində 5000 dövrə qədər) və tam doldurma və boşaltma üçün millisaniyələrlə ölçülən sürətli reaksiya vaxtına malikdir. Onlar mərkəzləşdirilmiş enerji sistemlərində gərginlik və tezliyin tənzimlənməsi üçün istifadə potensialına malikdirlər ki, bu da, məsələn, hidroakkumulyasiya stansiyaları ilə birləşərək elektrik enerjisinin keyfiyyətini artırmağa və bərpa olunan enerji mənbələrindən istifadə edən sistemlərin işini sabitləşdirməyə imkan verir. Texnologiya yüksək səmərəlidir (f.i.ə. – 92 faiz), öz-özünə boşalmaya məruz qalmır, minimal baxım tələb edir və uzun ömür müddətinə malikdir – 15 ilə qədər. Kükürd-natrium akkumulyatorları geniş yayılmış və ucuz materiallardan hazırlanır ki, bu da kütləvi istehsala və enerji yığıcısının gücünü və

enerji tutumunu artırmaq üçün modul yığılmasına imkan verir, həmçinin quraşdırma müddətini azaldır. Digər elektro-kimyəvi akkumulyatorlar kimi, onlar da elektrolitlə ayrılmış iki elektroddan ibarətdir. Anod kimi ərimiş natrium, katod kimi isə kükürd və qrafit qarışığı, elektrolit kimi isə natrium alüminat (bərk elektrolit) istifadə olunur. Elektrodların ərimiş halda saxlanması üçün optimal iş temperaturu 250-300 dərəcə Selsidir. Bununla belə, bu temperaturun saxlanması üçün yığılan enerjinin bir hissəsi sərf olunur ki, bu da hüceyrənin sıfır öz-özünə boşalmaya malik olmasına baxmayaraq, sürətli öz-özünə boşalmaya səbəb olur. Yüksək iş temperaturu həmçinin modulların konstruksiyasına təsir göstərir və yerləşdirmə imkanlarını məhdudlaşdırır.

Kükürd-natrium akkumulyatorlarının inkişafı ZEBRA (Zeolite Battery Research Africa Project) tipli akkumulyatorlardır. Kükürd-natrium akkumulyatorlarından fərqli olaraq, ZEBRA akkumulyatorlarında katod ərimiş natrium xloralüminatla hopdurulmuş məsaməli nikel xlorid strukturundan hazırlanmışdır. Bundan əlavə, konstruksiya dəyişdirilmiş və katod anodun içinə yerləşdirilmişdir ki, bu da korroziya problemlərini azaltmağa imkan vermişdir. Bu texnologiya xüsusi tətbiqlər üçün, məsələn, elektrik nəqliyyat vasitələri və dəniz nəqliyyatı üçün akkumulyatorların yaradılmasına yönəlmişdir.

5) Nikel-kadmium (Ni-Cd) akkumulyatorlarının uzun tarixi var. Onların iş prinsipi anodda kadmium hidrokسيد və katodda nikel hidrokسيدinin əmələ gəlməsinə əsaslanır. Onlar qurğuşun-turşu akkumulyatorlarından təxminən iki dəfə yüksək xüsusi enerji tutumuna malikdirlər və aşağı temperaturlarda işləyə bilirlər, daha yüksək doldurma və boşalma cərəyanlarını qəbul edirlər. Bu üstünlüklərə görə nikel-kadmium akkumulyatorları nəqliyyat, aviasiya və stasionar sistemlərdə geniş istifadə olunur. Bununla belə, onların bəzi çatışmazlıqları da var, məsələn, yaddaş effekti – natamam doldurma və ya boşalma zamanı enerji tutumunun azalması, bu isə onun bərpası üçün xüsusi alqoritmlər tələb edir. Bundan əlavə, nikel-kadmium akkumulyatorları dəqiq istismar qaydalarına riayət edilməsini tələb edir. Bu çatışmazlıqlara baxmayaraq, onlar elektrik nəqliyyatı sahəsində qurğuşun-turşu akkumulyatorlarına alternativ olaraq nəzərdən keçirilmişdi, daha mükəmməl və



istismarda az tələbkar sistemlər yaranana qədər. Lakin, daha yüksək qiymətə görə onlar qurğuşun-turşu akkumulyatorlarını tamamilə əvəz edə bilmədilər.

6) Nikel-metal-hidrid (Ni-MH) akkumulyatorları nikel-kadmium akkumulyatorlarının bir variasiyasıdır, burada anod olaraq hidrogen metal-hidrid elektrodu, elektrolit kimi kalium hidroksid və katod olaraq nikel oksidi istifadə olunur. Bu akkumulyatorlar nikel-kadmium akkumulyatorlarının bir çox üstünlüklərinə, o cümlədən dərin boşalma qabiliyyətinə malikdirlər. Onlar həmçinin daha yüksək enerji sıxlığına malikdirlər (təxminən 30 faiz daha çox), lakin bir qədər yüksək daxili müqavimət və yüksək səviyyədə öz-özünə boşalma (1,5-2 dəfə daha çox) xüsusiyyətlərinə malikdirlər. Nikel-metal-hidrid akkumulyatorları praktiki olaraq "yaddaş effektinə" məruz qalmır. Onlar geniş şəkildə məişət elektronikasısı məhsullarında istifadə olunur və kilovat diapazonunda gücə malik hibrid elektrik nəqliyyat vasitələrində də tətbiq tapmışdır.

7) Litium-ion (Li-Ion) akkumulyatorları onları istifadə üçün cəlbedici edən bir sıra xüsusiyyətlərə malikdir. Onlar yüksək xüsusi enerji tutumuna (90–180 Vt·saat/kq), dərin doldurma və boşalma dövrləri qabiliyyətinə (70–80 faiz) və çoxsaylı dövrlərə (1000–7000) malikdirlər. Onlar "yaddaş effektinə" məruz qalmır və aşağı səviyyədə öz-özünə boşalmaya malikdirlər (ayda 3–5 faiz). Litium-ion akkumulyatorları yüksək qısa müddətli yük cərəyanlarını təmin edə bilər (davamlı rejimdə akkumulyator tutumunun 65%-ə qədər və impuls rejimində 500%-ə qədər) və praktiki olaraq baxım tələb etmir. Aşağı öz-özünə boşalma və çoxsaylı doldurma-boşalma dövrləri səbəbindən litium-ion akkumulyatorları alternativ enerji üçün üstün seçimdir.

Hazırda kütləvi istehsalda olan litium-ion akkumulyatorlarında müxtəlif kateqoriyalı katod materialları, məsələn, litium kobalt oksidləri və litium nikellat, litium-manqan spineli və litium-ferrofosfat istifadə olunur. Litium-ion akkumulyatorlarının müxtəlif elektro-kimyəvi sxemləri litium-kobalt və litium dəmir-fosfat daxildir. Litium-ferro-fosfat akkumulyatorların yaradılması üçün uğurlu materialdır, çünki o, demək olar ki, yığılmış enerjinin hamısını verə bilər və sabit qalır. Nano-strukturlaşdırılmış ferro-fosfat litium katodlu batareyalar, nano

hissəciklərdən ibarət karbonun artan aktiv səthi və yaxşılaşdırılmış keçiriciliyi sayəsində yüksək boşalma cərəyanlarına malikdir. Litium dəmir fosfat ( $\text{LiFePO}_4$ ) akkumulyatorları katod materialının məhdud keçiriciliyi səbəbindən daxili qısaqapanma zamanı partlamır. Onlar həmçinin daha qənaətcil və daha uzun saxlama müddətinə malikdir (15 ilə qədər), lakin daha aşağı enerji sıxlığına malikdirlər (90–130 Vt·saat/kq). Yeni tip litium-ion akkumulyatorları – nanotel akkumulyatorları sınaqdan keçirilir, burada ənənəvi qrafit anod paslanmayan poladdan hazırlanmış və silisium nanotel ilə örtülmüş anod ilə əvəz edilmişdir. Silisium qrafitdən on dəfə çox litium saxlaya bildiyi üçün bu, daha yüksək enerji sıxlığı və daha az kütləyə malik akkumulyatorlar yaratmağa imkan verir. Gələcəkdə anodun səthinin sahəsinin artırılması doldurma və boşalma prosesini sürətləndirməyə imkan verəcək. Litium-ion akkumulyatorları yüksək gərginlikli batareyalar əldə etmək üçün ardıcıl zəncir şəklində və ya daha yüksək güc təmin etmək üçün ardıcıl və paralel birləşmələrin kombinasiyası şəklində yığıla bilər. Bu cür batareyaların təhlükəsiz istismarı gərginliyi nəzarətdə saxlayan və həddindən artıq doldurma və boşalmadan qoruyan xarici elektron mühafizə ilə təmin edilir. Elektron mühafizə adətən akkumulyatorun üzərinə yerləşdirilir və soyutma və ya qızdırma sistemi də daxil ola bilər. Metal-hava akkumulyatorları yüksək xüsusi enerji tutumuna malik akkumulyator növüdür və litium-ion akkumulyatorlarını üstələyir. Bununla belə, onların bəzi məhdudiyyətləri var, məsələn, elektrolitin quruması səbəbindən qısa ömür müddəti və doldurmanın çətinliyi. Çoxu metal-hava akkumulyatorları elektrikle doldurulma əvəzinə aktiv materialların dəyişdirilməsini tələb edir.

8) 2009-cu ildə "Fluidic Energy" şirkəti ABŞ Energetika Nazirliyindən çox yüksək xüsusi enerji tutumuna malik uzunömürlü metal-hava akkumulyatorlarının prototiplərini inkişaf etdirmək üçün qrant aldı. Araşdırmaların ilk nəticələri göstərdi ki, 900-dən 1600 Vt·saat/kq-a qədər xüsusi enerji tutumuna malik akkumulyatorlar yaratmaq mümkündür və onların istehsal dəyəri qurğuşun-turşu akkumulyatorlarının dəyərini çox aşmır. Bu akkumulyatorlarda anod kimi yüksək məsələli elektrod istifadə olunur ki, bu da sinki yaxşı saxlamağa və qısaqapanmaya

səbəb ola biləcək dendritlərin əmələ gəlməsinin qarşısını almağa imkan verir. Adi sulu elektrolit məhlulu əvəzinə metal-hava akkumulyatorları elektrolit kimi ionlu mayelərdən istifadə edir.

9) Axın akkumulyatorları ənənəvi elektro-kimyəvi akkumulyatorlardan fərqlənir, çünki onlarda daim dəyişdirilən maye elektrolit istifadə olunur. Bu akkumulyatorlarda elektrolit ayrıca saxlanılır və iş prosesi zamanı akkumulyatorun içindən keçərək dövr edir.

Oksidləşmə-reduksiya reaksiyalarına (redoks) əsaslanan axın akkumulyatorlarında, məsələn, vanadium əsaslı akkumulyatorlar və polisulfid bromid əsaslı akkumulyatorlar, elektro-kimyəvi enerji çevrilməsində iştirak edən bütün kimyəvi komponentlər elektrolitdə həll olunur. Digər akkumulyatorlardan fərqli olaraq, burada kimyəvi komponentlər doldurma və boşalma zamanı yığılmır, axın akkumulyatorlarının enerji tutumu yalnız elektrolit tanklarının həcmi ilə müəyyən edilir. Xüsusi güc akkumulyatorun ölçülərindən və nasos qurğusunun imkanlarından asılıdır. Xüsusi güc və xüsusi enerji arasında bu ayrılma oksidləşmə-reduksiya reaksiyalarına əsaslanan axın akkumulyatorlarının əsas üstünlüklərindən biridir. Onlardan fərqli olaraq, sink bromid əsaslı akkumulyatorlar kimyəvi materialları doldurma-boşalma prosesi zamanı akkumulyatorun daxilində toplayır və buna görə də oksidləşmə-reduksiya reaksiyalarına əsaslanan akkumulyatorlara xas olan yuxarıda qeyd olunan üstünlüyə malik deyillər.

Axın akkumulyatorlarının uzun ömür müddəti, yüksək iş sürəti, simmetrik doldurma və boşalma imkanı, çoxlu sayda dövrlər (10.000-ə qədər) və elektrolit ehtiyatının çox olması səbəbindən yüksək xüsusi enerji tutumu kimi bir sıra üstünlükləri var. Bununla belə, onların bəzi çatışmazlıqları da mövcuddur, məsələn, aşağı enerji sıxlığı (adətən 10–20 Vt·saat/kq, baxmayaraq ki, sink bromid əsaslı akkumulyatorlar üçün 145 Vt·saat/kq-a çata bilər) və nisbətən aşağı enerji səmərəliliyi (f.i.ə. təxminən 70–80 faiz təşkil edir) [4].

#### **4.1.2. Ağıllı şəbəkələrin tətbiqi**

Ağıllı elektrik təchizatı şəbəkəsi, həmçinin "Smart Grid" kimi tanınır, məlumatların toplanması, saxlanması və emalı üçün rabitə və informasiya

şəbəkələrindən istifadə edən müasir elektrik təchizatı sistemidir. Bu məlumatlar sistemin işini optimallaşdırmaq üçün avtomatik olaraq istifadə olunur və elektrik təchizatının etibarlılığını, iqtisadi səmərəliliyini və effektivliyini təmin edir.

İstehlakçılarda yeni ölçü cihazlarının quraşdırılması və onların ağıllı şəbəkəyə qoşulması elektrik enerjisi istehlakını, gərginliyi izləməyə və hər bir istehlakçı üçün real vaxt rejimində yük qrafiklərini yaratmağa imkan verir. Əldə edilən məlumatlar məlumat mərkəzində işlənir, bu da enerji avadanlıqlarının təmiri və texniki xidməti üçün optimal vaxtı müəyyən etməyə, yüksək keyfiyyətli elektrik enerjisini təmin etməyə və elektrik təchizatının etibarlılığına xələl gətirmədən maksimum iqtisadi səmərəliliyi təmin etməyə imkan verir.

Ağıllı şəbəkənin tətbiqi, həmçinin elektrik qəbul edən cihazların iş rejimini elektrik enerjisi sisteminin rejimindən asılı olaraq tənzimləməyi də əhatə edir. Məsələn, ağıllı şəbəkəyə qoşulmuş kontrollerdən istifadə etməklə soyuducu qurğuların iş rejimini idarə etmək olar ki, onların işə salınması pik yük dövrlərinə düşməsin, əksinə yükün azaldığı anlarda həyata keçirilsin.

Yüklərin ağıllı idarə edilməsi enerji tutumlu cihazların gecə saatlarında minimum yük dövründə istifadəsinə imkan verir, zonal tariflərin tətbiqi ilə birlikdə bu, enerji sistemindəki yükün azalmasına və maliyyə vəsaitlərinə qənaət edilməsinə kömək edir.

Ağıllı şəbəkədə uzaqdan idarə olunan günəş və külək elektrik stansiyaları kimi generasiya qurğularından da istifadə etmək mümkündür. Bu alternativ enerji mənbələri qeyri-sabit gücə malik olsalar da, ağıllı şəbəkədə onlar uzaq istehlakçıları enerji ilə təmin etmək üçün istifadə oluna bilər və çatışmayan güc əsas şəbəkədən əldə edilə bilər. Bu, böyük yerli elektrik stansiyalarından asılılığın qarşısını almağa və alternativ enerji mənbələrinin inkişafına kömək edir. Ağıllı elektrik təchizatı şəbəkəsi həmçinin alternativ mənbələrdən əldə edilən elektrik enerjisinin saxlanması üçün batareyalar kimi enerji anbarlarının tətbiqinə imkan verir. Bu, elektrik enerjisi istehsalındakı dalğalanmaları azaltmağa və gün ərzində bərpa olunan mənbələrdən səmərəli istifadə etməyə imkan verir.

Bundan əlavə, ağıllı şəbəkə elektrik təchizatı sistemində nasazlıqları tez bir zamanda aşkar etmək və təcrid etmək imkanına malikdir. Monitoring və diaqnostika sistemləri sayəsində aşırı yüklənmə və ya qısaqapanma kimi problemlər aşkar edilə və təcrid edilə bilər, bu da dayanma vaxtını minimuma endirir və istehlakçılar üçün elektrik enerjisinin təchizatındakı problemləri azaldır.

Ağıllı şəbəkənin əsas üstünlüklərindən biri istehlakçıların enerji sisteminin idarə edilməsində aktiv iştirak imkanına malik olmasıdır. İstifadəçilər elektrik enerjisi istehlakları və elektrik enerjisinin dəyəri haqqında real vaxt rejimində məlumat ala bilərlər ki, bu da onlara istehlakları barədə daha şüurlu qərarlar qəbul etməyə imkan verir. Bundan əlavə, istehlakçılar öz elektrik cihazlarını idarə edə və hətta artıq elektrik enerjisini şəbəkəyə geri sata bilərlər.

Ümumiyyətlə, ağıllı elektrik təchizatı şəbəkəsi bir sıra üstünlüklərə malikdir, o cümlədən elektrik təchizatı sisteminin səmərəliliyinin və etibarlılığının artırılması, bərpa olunan enerji mənbələrinin inteqrasiyası, yüklərin idarə edilməsi və istehlakçıların aktiv iştirakı. O, müasir dayanıqlı enerji sistemlərinin əsas komponenti olub, daha təmiz və dayanıqlı enerji gələcəyinə keçidə kömək edir [5].

#### **4.1.3. Enerji sisteminin idarə edilməsi texnologiyalarının istifadəsi**

Enerji sistemi idarəetmə texnologiyalarının, həmçinin enerji şəbəkələrinin idarəetmə sistemləri (EMS) kimi tanınan texnologiyaların istifadəsi, enerji sisteminin səmərəli idarə olunması, monitoringi və optimallaşdırılması üçün kompüter və informasiya texnologiyalarının tətbiqidir.

Enerji sistemi idarəetmə texnologiyalarının məqsədi enerji şəbəkəsinin səmərəliliyini və etibarlılığını artırmaq, elektrik enerjisinin paylanmasını optimallaşdırmaq, yüklərin effektiv idarə olunmasını və bərpa olunan enerji mənbələrinin inteqrasiyasını təmin etməkdir. Bu texnologiyalar enerji sistemi operatorlarına şəbəkənin cari vəziyyəti haqqında dəyərli məlumatlar təqdim edir və onlara elektrik enerjisinin ötürülməsi və paylanması proseslərini nəzarət etmək və tənzimləmək imkanı verir.

Enerji sistemi idarəetmə texnologiyaları bir neçə vacib funksiyaya malikdir. Onlar şəbəkənin vəziyyəti, elektrik enerjisinin istehsalı və istehlakı haqqında

məlumatların müşahidəsi və toplanmasını həyata keçirirlər. Bu, operatorlara şəbəkənin işi haqqında dəqiq məlumat əldə etməyə və mümkün problemləri və ya riskləri müəyyən etməyə imkan verir.

Enerji sistemi idarəetmə texnologiyalarının əsas vəzifələrindən biri yüklərin effektiv idarə olunmasıdır. Onlar operatorlara şəbəkədəki yükləri nəzarətdə saxlamağa və tənzimləməyə, enerji istehlakını balanslaşdırmağa və aşırı yüklənmələrin qarşısını almağa imkan verir. Bu, mövcud resurslardan istifadənin optimallaşdırılması üçün elektrik cihazlarının müvəqqəti olaraq söndürülməsini və ya gücünün azaldılmasını əhatə edə bilər.

Proqnozlaşdırma və planlaşdırma da enerji sistemi idarəetmə texnologiyalarının vacib funksiyalarıdır. Onlar gələcək tələbatı proqnozlaşdırmaq və şəbəkənin işini planlaşdırmaq üçün elektrik enerjisinin istehlakı və istehsalı haqqında məlumatlardan istifadə edirlər. Bu, operatorlara resursları effektiv şəkildə paylamağa və yüklə və enerji istehsalında dəyişiklikləri idarə etmək üçün qabaqcıl tədbirlər görməyə imkan verir.

Bundan əlavə, enerji sistemi idarəetmə texnologiyaları sistemin ümumi işinin optimallaşdırılmasına kömək edir. Onlar elektrik enerjisinin ən yaxşı şəkildə paylanmasını müəyyən etmək, enerji itkilərini minimuma endirmək və generatorların və elektrik enerjisinin ötürülməsinin işini optimallaşdırmaq üçün alqoritmlər və modellərdən istifadə edirlər.

Nəhayət, enerji sistemi idarəetmə texnologiyaları günəş və külək enerjisi kimi bərpa olunan enerji mənbələrinin inteqrasiyası və idarə edilməsində mühüm rol oynayır. Onlar müxtəlif enerji mənbələrinin işini nəzarətdə saxlamağa və əlaqələndirməyə imkan verir ki, bərpa olunan resurslardan maksimum istifadə edilsin və sabit elektrik enerjisi təchizatı təmin edilsin.

Enerji sistemi idarəetmə texnologiyalarının bütün bu aspektləri enerji şəbəkələrinin daha səmərəli, etibarlı və dayanıqlı fəaliyyətinə kömək edir. Onlar enerji istehlakını azaltmağa, təchizatın etibarlılığını yaxşılaşdırmağa, pik saatlarda şəbəkədəki yükü azaltmağa və daha dayanıqlı və ekoloji cəhətdən təmiz enerji mənbələrinə keçidi təşviq etməyə kömək edir.

Müasir cəmiyyət rəqəmsal texnologiyaların inkişafı və onların insan fəaliyyətinin bütün sahələrinə nüfuz etməsi nəticəsində sürətlə inkişaf edir. Enerji sektoru da kənarında qalmayıb və artıq bu gün idarəetmə məlumatlarının toplanması, saxlanması, emalı və təhlili üçün təşkilati, texniki, proqram təminatı və informasiya resurslarını birləşdirən intellektual idarəetmə sistemləri geniş şəkildə tətbiq olunur.

Belə sistemlərə misal olaraq müxtəlif funksional imkanlara malik ADMS (İrəliləmiş Paylayıcı İdarəetmə Sistemləri) daxildir: SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) – real vaxtda məlumatların toplanması, işlənməsi, göstərilməsi və arxivləşdirilməsi üçün monitoring və idarəetmə obyektləri haqqında, DMS (Distribution Management Systems) – elektron və/və ya kağız sənədlərinin idarə edilməsi üçün, EMS (Energy Management Systems) – şəbəkənin ayrı-ayrı elementlərinin idarə edilməsi və nəzarəti üçün, GIS (Geographical Information Systems) – məkan məlumatlarının və obyektlər haqqında məlumatların toplanması, saxlanması, təhlili və qrafik vizuallaşdırılması üçün.

Energetika sahəsində digər perspektiv texnologiya açıq IEC 61850 standartlarına əsaslanan və avtomatlaşdırma və idarəetmə sistemlərini geniş tətbiq edən rəqəmsal yarımstansiyalardır. Bununla belə, bir çox üstünlüklərə baxmayaraq, bu texnologiyanın tətbiqində kifayət qədər təcrübənin olmaması səbəbindən bu ideyanın tərəfdarları və tənqidçiləri arasında mübahisələr yaranmışdır.

Beləliklə, biz keçən əsrin ikinci yarısında başlamış rəqəmsal transformasiya ilə əlaqəli üçüncü sənaye inqilabı dövründə yaşayırıq. Bu, tədricən fiziki, rəqəmsal və bioloji sistemlər arasındakı sərhədlərin silindiği dördüncü sənaye inqilabına keçir. İnnovasiya 4.0 və bununla bağlı məsələlər Davosdakı Beynəlxalq İqtisadi Forumda qaldırılmışdır. Bulud texnologiyaları, fəaliyyətin ontoloji modelləri, rəqəmsal əkizlər, sənaye əşyaların interneti, böyük verilənlərin toplanması və analizi, əlavə texnologiyalar, kvant hesablamaları və biotexnologiyalar İnnovasiya 4.0-a keçidin vacib amilləri hesab olunur. Bu texnologiyaların bir çoxu enerji sahəsi üçün perspektivli və "Rəqəmsal Transformasiya 2030" konsepsiyasının bir hissəsi kimi nəzərdən keçirilir. [6].

#### **4.1.4. Hibrid enerji istehsal sistemlərinin tətbiqi**

Təbiət hadisələrinin proqnozlaşdırıla bilməməsi və bunun bərpa olunan enerji istehsalına təsiri ilə əlaqədar olaraq, cari gücün tənzimlənməsini daxil edən hibrid enerji sistemlərinin istifadəsi tövsiyə olunur. Belə bir sistemin optimal strukturu qurularkən müxtəlif texnologiyaların inteqrasiyası və bərpa olunan enerji mənbələrinin, ənənəvi enerji sistemlərinin, dizel generatorlarının və enerji akkumulyatorlarının xüsusiyyətlərinin nəzərə alınması məsələsi ortaya çıxır. Bu sistemlərin bəzilərində enerji təchizatının etibarlılığı və enerji dəyəri ilə bağlı problemlər var. Belə bir sistemin optimal konfigurasiyasının müəyyən edilməsi çətin bir tapşırıqdır, çünki enerji istehsalı və istehlakı prosesləri təsadüfidir. Bərpa olunan enerji mənbələrindən yüksək səviyyədə istifadə edən sistemlər enerji idarəçiliyində xüsusi çətinlik yaradır. Onlar xarici generasiya olmadığı anlarda istehlakı təmin etmək üçün enerji saxlama qurğularının mövcudluğunu tələb edir. Külək, günəş və dizel sistemlərini birləşdirən müxtəlif hibrid konfigurasiyalar Səudiyyə Ərəbistanının uzaq yaşayış məntəqələri üçün enerji və ətraf mühitə mənfi təsirin minimum xərcləri ilə optimal variantın seçilməsi məqsədilə tədqiq edilmişdir. Belə tədqiqatların nəticələri yerli hava və yük məlumatlarına əsaslanarsa da, məhdud tətbiq sahəsinə malikdir və optimal enerji təchizatı sisteminin seçimi konkret istehlakçının tələblərini nəzərə almalıdır.

Dizel generatorlarına əsaslanan sistemlərin bəzi çatışmazlıqları var, məsələn, yanacaqdan istifadə zərurəti, bu da logistika, ekoloji təmizlik və iqtisadi səmərəlilik problemləri yaradır. Bundan əlavə, bu cür sistemlər fasiləli generasiya ilə xarakterizə olunur ki, bu da enerji təchizatında qeyri-bərabərliyə səbəb olur. Enerji balansını tənzimləmək üçün tez-tez yanacaq mühərriklərindən üstünlükləri olan enerji saxlama sistemlərindən istifadə olunur. Yerli sistemlərdə güc balansının tənzimlənməsi üçün müxtəlif enerji saxlama metodları arasında ən populyar olanlar elektro-kimyəvi akkumulyatorlardır, halbuki hidroakkumulyasiya stansiyaları böyük enerji sistemlərində istifadə olunur.

Proqnozlara görə, artıq 2030-cu ilə qədər təxminən 100 MVt gücündə litium-ion akkumulyator batareyaları hidroakkumulyasiya stansiyaları ilə rəqabət apara



biləcək və yüksək paylı bərpa olunan enerji mənbələri ilə enerji sistemlərində gün ərzində, bəlkə də həftə ərzində operativ güc balanslaşdırmasını təmin edə biləcək. Bərpa olunan enerji ilə işləyən akkumulyator sistemləri, yerləşməsindən asılı olmayaraq, həm normal, həm də fəvqəladə rejimlərdə enerji sisteminin balanslaşdırılmasında iştirak edə bilər. Bundan əlavə, istehlak nöqtələrində quraşdırılmış bərpa olunan enerji ilə işləyən akkumulyator sistemləri izolyasiya olunmuş rejimdə işləyən yerli şəbəkənin balanslaşdırılmasında iştirak edə bilər. Bərpa olunan enerji ilə işləyən akkumulyator sistemlərinin, xüsusən də yüksək paylı bərpa olunan enerji mənbələri ilə işləyən sistemlərin xüsusiyyətlərindən biri generasiya olunan və istehlak edilən gücün geniş diapazonudur. Artıq enerjiden istifadə imkanı həm akkumulyatorun doluluq səviyyəsindən, həm də güc artım sürətini üstələyə bilən doldurma sürətindən asılıdır. Bu, elektro-kimyəvi akkumulyatorlara aiddir, lakin doldurma sürəti məhdudiyəti müxtəlif enerji saxlama texnologiyaları üçün xarakterikdir.

Akkumulyator sistemləri ilə bağlı tədqiqatlar əsasən paylayıcı şəbəkələrdə bərpa olunan enerji sistemlərinin optimal parametrlərinin və yerləşdirmə yerlərinin seçiminə yönəlib. Bu məsələnin həlli üçün tez-tez qeyri-xətti riyazi proqramlaşdırma metodlarından istifadə olunur. Məqsəd bərpa olunan enerji mənbələrindən istifadənin maksimallaşdırılması, bərpa olunan enerji sistemlərinin quraşdırılması xərclərinin azaldılması, elektrik təchizatının etibarlılığının təmin edilməsi və enerji itkilərinin azaldılmasıdır.

Bəzi tədqiqatlar həmçinin iki və ya daha çox məqsəd funksiyasını eyni anda nəzərə alaraq çoxkriteriyalı optimallaşdırmanı araşdırır. Optimal güc və bərpa olunan enerji sisteminin tutumu adətən real gündəlik yük profilləri əsasında seçilir, lakin bu nəticələr konkret şərtlərdən asılıdır. Enerji yığıcıları olan hibrid sistemlərdən mikroşəbəkələrdə istifadə edərkən ən vacib problemlərdən biri akkumulyator batareyalarının ölçülərinin seçilməsidir.

Təklif olunan strategiya günəş radiasiyası, külək sürəti və yük profili haqqında real məlumatlara əsaslanır. Bərpa olunan enerji mənbələrinin qeyri-bərabərliyi uyğun ölçülü bərpa olunan enerji sistemlərinin seçilməsini çətinləşdirən mürəkkəb

amildir. Bəzi işlərdə [12] izolyasiya olunmuş ərazilər üçün fotoelektrik və külək stansiyaları, həmçinin akkumulyator batareyaları ilə sistemin optimal ölçülərini müəyyən etmək üçün ümumiləşdirilmiş riyazi model təklif edilmişdir. Burada yalnız xərclər deyil, həm də elektrik təchizatının itirilməsi ehtimalı (LPSP indeksi) nəzərə alınır.

Akkumulyator sistemlərinin istifadəsinin öz məhdudiyyətləri var, məsələn, yüksək xərc və güc balansının uzunmüddətli qeyri-sabitliyi zamanı tutumun çatışmazlığı ehtimalı. Buna görə də, bir çox hibrid sistemlər etibarlılıq və dəyər baxımından ən yaxşı nəticələrə nail olmaq üçün ehtiyat generator və enerji yığım sistemlərinin eyni vaxtda istifadəsini nəzərdən keçirir. Bu, xüsusilə mərkəzləşdirilməmiş istehlakçılar üçün vacibdir, çünki külək və günəş elektrik stansiyaları kimi bərpa olunan enerji stansiyaları enerji istehlakçılarına birbaşa yaxın yerləşdirilə bilər. Bununla belə, mərkəzləşdirilmiş elektrik şəbəkəsindən istifadə imkanı artıq enerjiden istifadə imkanları sayəsində etibarlılığı və iqtisadi səmərəliliyi əhəmiyyətli dərəcədə artırır. İqlim şəraitinin və enerji istehlakının xüsusiyyətlərinin əvvəlcədən tədqiq edilməsi vacibdir.

Əvvəllər aparılmış tədqiqatlarda külək turbinləri, fotoelektrik panellər daxil olan ümumiləşdirilmiş hibrid sistemlər nəzərdən keçirilmişdir [7].

#### **4.1.5. Digər yanaşmalar və metodlar**

*Enerji səmərəliliyi:* Enerji istehlakında səmərəliliyin artırılması yenilənə bilən enerji mənbələrindən asılılığın azaldılması və enerji sisteminin dayanıqlılığının təmin edilməsi üçün əsas metodlardan biridir. Bu, enerji istehlakının azaldılması, enerji auditləri, enerjiyə qənaət texnologiyalarının tətbiqi və enerjiden səmərəli istifadənin təşviqi kimi tədbirləri əhatə edə bilər.

*Coğrafi müxtəliflik:* Günəş, külək, hidroenerji və geotermal enerji kimi müxtəlif yenilənə bilən enerji mənbələrinin müxtəlif coğrafi regionlarda istifadəsi enerji istehsalındakı dalğalanmaları yumuşalda bilər. Yenilənə bilən enerji mənbələrinin istehsalını geniş bir əraziyə yaymaqla, müxtəlif mənbələrdən eyni vaxtda enerji istehsalının azalması ehtimalını azaltmaq mümkündür.

*Enerji saxlama texnologiyalarının inkişafı:* Enerjinin saxlanması üçün yeni texnologiyaların araşdırılması və inkişafı yenilənə bilən enerji mənbələrindən istifadə zamanı güc dalğalanmaları və çatışmazlığı problemini əhəmiyyətli dərəcədə azalda bilər. Belə texnologiyalara misal olaraq, istilik saxlanması, kimyəvi batareyalar, superkondensatorlar və mexaniki enerji yığıma sistemləri daxildir.

*Şəbəkələrin inteqrasiyası:* Müxtəlif enerji sistemləri və enerji şəbəkələrinin əlaqələrinin gücləndirilməsi və inteqrasiyası enerji idarəçiliyini daha çevik və dayanıqlı edə bilər. Məsələn, şəhər enerji sistemlərinin kənd rayonları ilə birləşdirilməsi və ya regional enerji şəbəkələrinin yaradılması müxtəlif mənbələrdən enerji istehsalı və istehlakını balanslaşdırmağa imkan verir.

*Tədqiqat və innovasiyalar:* Enerji sahəsində davamlı tədqiqatlar və innovasiyalar enerji sisteminin dayanıqlığına yenilənə bilən enerji mənbələrinin təsirini azaltmağa qadir yeni metodlar və texnologiyaların inkişafı üçün vacibdir. Bu, yeni materialların inkişafını, daha effektiv istehsal texnologiyalarını, eləcə də enerji sisteminin daha dəqiq proqnozlaşdırılması və idarə edilməsi üçün süni intellekt və məlumat analitikasının tətbiqini əhatə edir [8].

#### **4.2 Yenilənə bilən enerji mənbələrinin enerji sisteminin dayanıqlığına təsirini azaltmaq üçün seçilmiş üsulun səmərəliliyinin və üstünlüklərinin qiymətləndirilməsi**

Enerji yığıcılarının tətbiqi bu metodun lehinə bir neçə əsas arqumentə malikdir:

*Enerji istehsalındakı qeyri-bərabərliyin aradan qaldırılması:* Günəş və külək kimi yenilənə bilən enerji mənbələri hava şəraiti və sutkanın vaxtından asılı olaraq dəyişkən enerji istehsalına malikdir. Akkumulyasiya sistemlərinin istifadəsi, yenilənə bilən enerji mənbələrinin yüksək məhsuldarlıq dövrlərində istehsal olunan artıq enerjini saxlamağa və onu məhsuldarlığın aşağı olduğu və ya pik tələbat dövrlərində istifadə etməyə imkan verir. Beləliklə, enerji yığıcılar enerji istehsalı və istehlakındakı qeyri-bərabərliyi aradan qaldırmağa kömək edir ki, bu da enerji sisteminin dayanıqlığını artırır.

*Enerji təchizatının etibarlılığının yaxşılaşdırılması:* Akkumulyasiya stansiyaları ehtiyat enerji mənbələri kimi istifadə edilə bilər, əsas şəbəkədə

nasazlıqlar olduqda fasiləsiz elektrik təchizatını təmin edir. Əsas enerji sistemində problemlər və ya kəsintilər yarandıqda, enerji yığıcılar avtomatik olaraq işə düşərək elektrik enerjisini təmin edir, bu da işin kəsilmə ehtimalını və istehlakçılar üçün mənfi nəticələri azaldır.

**Yükün tənzimlənməsi və pik yükün azaldılması:** Akkumulyasiya sistemləri pik tələbatı aradan qaldıraraq enerji sistemində yükü tənzimləmək üçün istifadə oluna bilər. Enerji istehlakının az olduğu dövrlərdə akkumulyatorlar artıq enerjini yığa bilər və sonra onu yüksək yük dövrlərində istifadə edə bilər. Bu, mövcud resurslardan daha səmərəli istifadə etməyə imkan verir və pik yükü qarşılamaq üçün əlavə infrastruktur ehtiyacını azaldır.

**Yenilənə bilən enerji mənbələri ilə inteqrasiya:** Enerji yığıcılar yenilənə bilən enerji mənbələrindən daha səmərəli istifadə etməyə imkan verir, çünki onlar yüksək məhsuldarlıq dövrlərində istehsal olunan artıq enerjini saxlaya bilirlər. Bu, enerji sistemində yenilənə bilən enerjinin payının artmasına və fosil yanacaqlara əsaslanan enerji mənbələrindən asılılığın azalmasına kömək edir.

**İqtisadi səmərəlilik:** Akkumulyator batareyalarının istifadəsi, xüsusən enerji qiymətlərinin artması və enerji saxlama texnologiyalarının yaxşılaşması fonunda iqtisadi cəhətdən sərfəli ola bilər. Ənənəvi enerji mənbələrindən asılılığın azalması və yenilənə bilən resurslardan optimal istifadə enerji təchizatı xərclərini azaltmağa və sistemin enerji səmərəliliyini artırmağa imkan verir.

Bu əsas arqumentlər enerji yığıcılarının tətbiqinin enerji sisteminin dayanıqlığını yaxşılaşdırmaq, enerji təchizatının etibarlılığını artırmaq, enerji istehsalındakı qeyri-bərabərliyi aradan qaldırmaq və ənənəvi enerji mənbələrindən asılılığı azaltmaq üçün effektiv bir metod olduğunu təsdiqləyir.

## **5. YENİLƏNƏ BİLƏN ENERJİ MƏNBƏLƏRİNİN ENERJİ SISTEMİNİN DAYANIQLIĞINA TƏSİRİNİ AZALTMAQ ÜÇÜN ENERJİ YIĞICILARININ TƏTBIQININ ANALITİK HESABLANMASI**

Hazırda bərpa olunan enerji mənbələri arasında ən dinamik inkişaf edən sahə külək enerjisi sektorudur [1]. Mövcud olan bütün külək enerjisi qurğularının ümumi quraşdırılmış gücü 823 GVt-dan çoxdur və ildə orta hesabla 10% artmaqda davam edir [2]. Bununla belə, bu gün külək enerjisinin geniş istifadəsinə mane olan obyektiv səbəblər mövcuddur:

- Turbin qanadlarına daxil olan külək axınının qeyri-sabitliyi nəticəsində külək elektrik qurğularının çıxış gücünün parametrlərinin qeyri-sabitliyi;
- Külək axınının sürətinə nisbətə istehsal olunan gücün enerji xarakteristikasının qeyri-xəttiliyi;
- Aşağı külək sürətlərində (5 m/s-dən az) aşağı effektivlik.

### **5.1 Enerji sisteminə təsirin azaldılması yollarından biri kimi xüsusi aşağı tezlikli elektrik generatorlarının tədqiqi**

Külək elektrik qurğularına əsaslanan generasiya sistemində mövcud məhdudiyyətlərin həll yollarından biri xüsusi aşağı tezlikli elektrik generatorunun hazırlanmasıdır. Bu, ilk növbədə, külək elektrik qurğularının aşağı külək aktivliyi rejimlərində işləmə xüsusiyyətləri ilə bağlıdır. Bu rejimlərdə turbinin fırlanma momentinin dəyəri yük momenti və elektrik maşınının rotorunun inersiya momentinin dəyəri ilə müqayisə edilə bilər, nəticədə elektrik enerjisinin istehsalı demək olar ki, mümkün olmur. Bundan əlavə, turbin qanadlarına təsir edən güclü küləklərin nəticəsində yaradılan fırlanma momenti nominal dəyərdən geniş hədlərdə sapma göstərə bilər ki, bu da sonda külək elektrik qurğularının generatorunun statik dayanıqlığını və şəbəkə ilə sinxronizasiyasını poza bilər. Nəticə etibarilə, istifadə olunan elektrik maşınının növünü seçərkən asinxron generator və ya asinxronlaşdırılmış generatorun tətbiqi, sinxron generator və ya daimi cərəyan maşını ilə müqayisədə üstünlük təşkil edir.

Bu səbəbdən, külək elektrik qurğularının enerji effektivliyini artırmaq və istehsal olunan elektrik enerjisinin maya dəyərini azaltmaq üçün perspektivli istiqamət, asinxron elektrik maşını əsasında hazırlanmış aşağı inersiyalı generatorun tətbiqidir [3-4].

Aşağı inersiyalı generatorun quruluşunun əsas üstünlüklərini və çatışmazlıqlarını qeyd etmək lazımdır.

Üstünlüklər bunlardır: küləyin aşağı sürətində (2 m/s-dən) generator rejiminə keçid; aşağı işə düşmə momenti və boş rotorun istifadəsi sayəsində əlavə soyutma; keçid proseslərində qısa qapanmış rotorun damperi sayəsində dayanıqlılıq; daimi maqnitlərin və fırça kontaktlarının olmaması baxım xərclərini və son qiyməti azaldır.

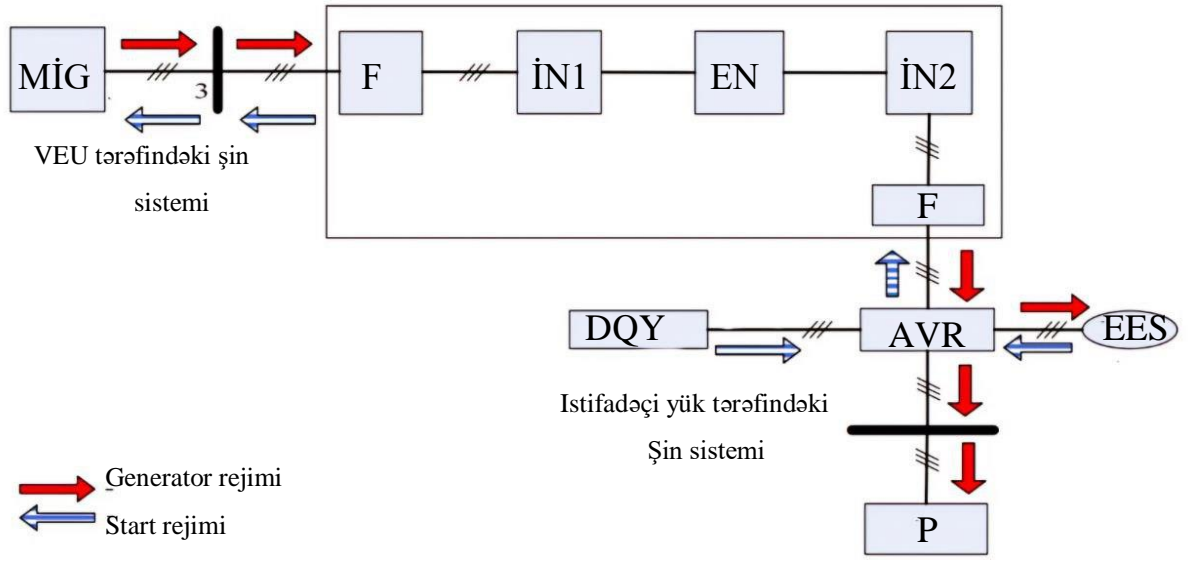
Dezavantajlarına aşağıdakılar daxildir: həyəcanlandırma və generasiya üçün reaktiv güc mənbəyinə ehtiyac var; stator və rotor arasındakı hava boşluğunun azalması müvafiq hissələrin istehsal dəqiqliyi tələblərini artırır; standart olmayan hissələr generatorun yığılmasını çətinləşdirir.

Eyni zamanda, aşağı inersiyalı generatora əsaslanan generasiya qurğularının tətbiqi və onları 0,4 kV gərginlik sinfinə aid paylanmış elektrik şəbəkəsinə birləşdirmək və daha sonra elektroenergetika sistemində inteqrasiya etmək üçün aşağıdakı tələblərə cavab verən çevirici cihazın və müvafiq idarəetmə sisteminin hazırlanması zəruridir:

- paylanmış şəbəkədə müxtəlif enerji mənbələrindən güc axınlarının ötürülməsi;
- elektrik ötürmə xəttinin ayrıca kanalında aktiv və reaktiv gücün, həmçinin təhrif gücünün tənzimlənməsi;
- elektrik parametrlərinin stabilizasiyası və istehlakçı yük zəncirində fasiləsiz enerji təchizatı.

Yuxarıda göstərilən tələblərə və aparılmış sxemotexniki həllərin təhlilini nəzərə alaraq, külək enerjisi qurğuları üçün ən perspektivli çevirici cihaz topologiyası iki gərginlik invertoru əsasında həyata keçirilmiş və birgə daimi cərəyan yığıma sxemini təşkil edən sxemotexnikadır. Üç enerji təchizatı xətti və istehlakçı yükü arasında daimi cərəyan yığımasının qoşulma struktur sxemi Şəkil 5.1-

də təqdim edilmişdir. Əlaqə xətlərindəki oxlar ayrı-ayrı struktur elementləri və enerji mənbələri arasında elektrik enerjisi güc axınlarının istiqamətlərini göstərir.



Şəkil 5.1. Daimi cərəyan yığmasının qoşulma struktur sxemi

Daimi cərəyan yığmasının paylanmış enerji sistemində daxil edilməsi üçün külək elektrik qurğusu tərəfində və istehlakçı yükü tərəfində (şəkil 5.1) şin sistemi istifadə olunur. İstehlakçı yükünün (P) fasiləsiz enerji təchizatı aşağıdakıların qoşulması ilə təmin edilir: ilkin enerji mənbəyi – elektroenergetika sistemi, ehtiyat mənbə – dizel-generator qurğusu (DGQ), bərpa olunan mənbə – aşağı inersiyalı generator (AİG). İstehlakçıya qoşulacaq enerji mənbələrinin birləşdirilməsi ehtiyatın avtomatik qoşulma cihazı (EAC) vasitəsilə həyata keçirilir. Gərginlik inverterinin dəyişən cərəyan zəncirinə quraşdırılmış passiv filtrlər (F) isə daimi cərəyan yığmasının impuls rejimində işləməsi ilə bağlı gərginlik pulsasiyalarının hamarlaşdırılması üçün istifadə olunur.

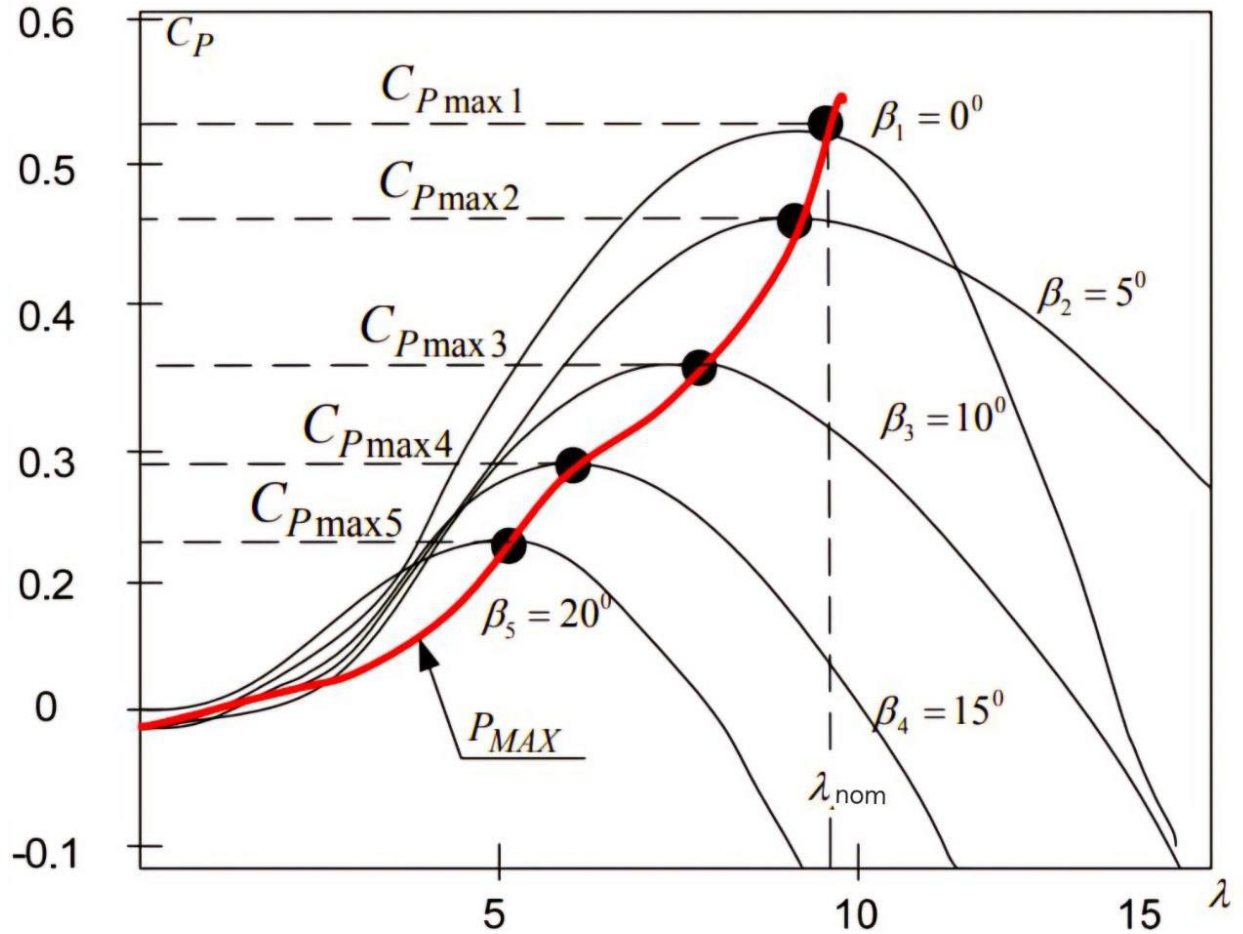
Aşağı inersiyalı generatorun idarəetmə sisteminin hazırlanmasında külək elektrik qurğusunun turbininin generasiya xüsusiyyətlərini nəzərə almaq lazımdır. Bu xüsusiyyətlər generasiya olunan gücün tənzimləmə xarakteristikasının qeyri-xətti olmasından ibarətdir ki, bu da istehlakçıya çatdırılan elektrik enerjisinin keyfiyyətinin pisləşməsinə və sabitliyinin pozulmasına səbəb olur.

Ümumi şəkildə, turbin qanadları tərəfindən külək axımından çıxarılan mexaniki güc aşağıdakı şəkildə müəyyən edilə bilər [8]:

$$P_M = \frac{1}{2} \rho S V^3 C_p(\lambda, \beta)$$

burada  $\rho$  – külək axınının sıxlığı,  $S$  – turbin və külək axını arasındakı təmas sahəsi,  $V$  – külək axınının sürəti,  $C_P(\lambda, \beta)$  – güc əmsalı, sürət nisbəti əmsalından –  $\lambda$  və qanadların hücum bucağından –  $\beta$  asılı olan funksional asılılıqdır.

Öz növbəsində,  $C_P(\lambda, \beta)$  xarakteristikası qeyri-xətti funksiyadır və ümumi şəkildə polinomial asılılıq təşkil edir. Polinomun əmsalları külək elektrik qurğusunun turbininin geometriyasından asılı olaraq müəyyən edilir. Üfüqi oxlu külək çarxı yerləşdirilməsi və turbin modelinə görə [9], külək elektrik qurğusunun güc əmsalı  $C_P(\lambda, \beta)$  tənzimləmə xarakteristikaları qrupu Şəkil 5.2-də təqdim edilmişdir.



Şəkil 5.2. Müxtəlif qanad hücum bucaqlarında sürət nisbətində görə külək elektrik qurğusunun güc əmsalının tənzimləmə xarakteristikaları qrupu



Şəkil 5.2-dəki tənzimləmə xarakteristikalarına əsasən görünür ki, külək elektrik qurğusunun turbininin maksimal çıxış gücü,  $\beta = 0^\circ$  halı üçün, nominal sürət nisbəti əmsalında ( $\lambda_{nom}$ ) ekstremum nöqtəsi  $CP_{max1}$ -ə uyğun gəlir.

$$P_{Mmax} = \frac{1}{2} \rho R^3 S \frac{C_{Pmax1}}{\lambda_{nom}^3} \omega_{nom}^3$$

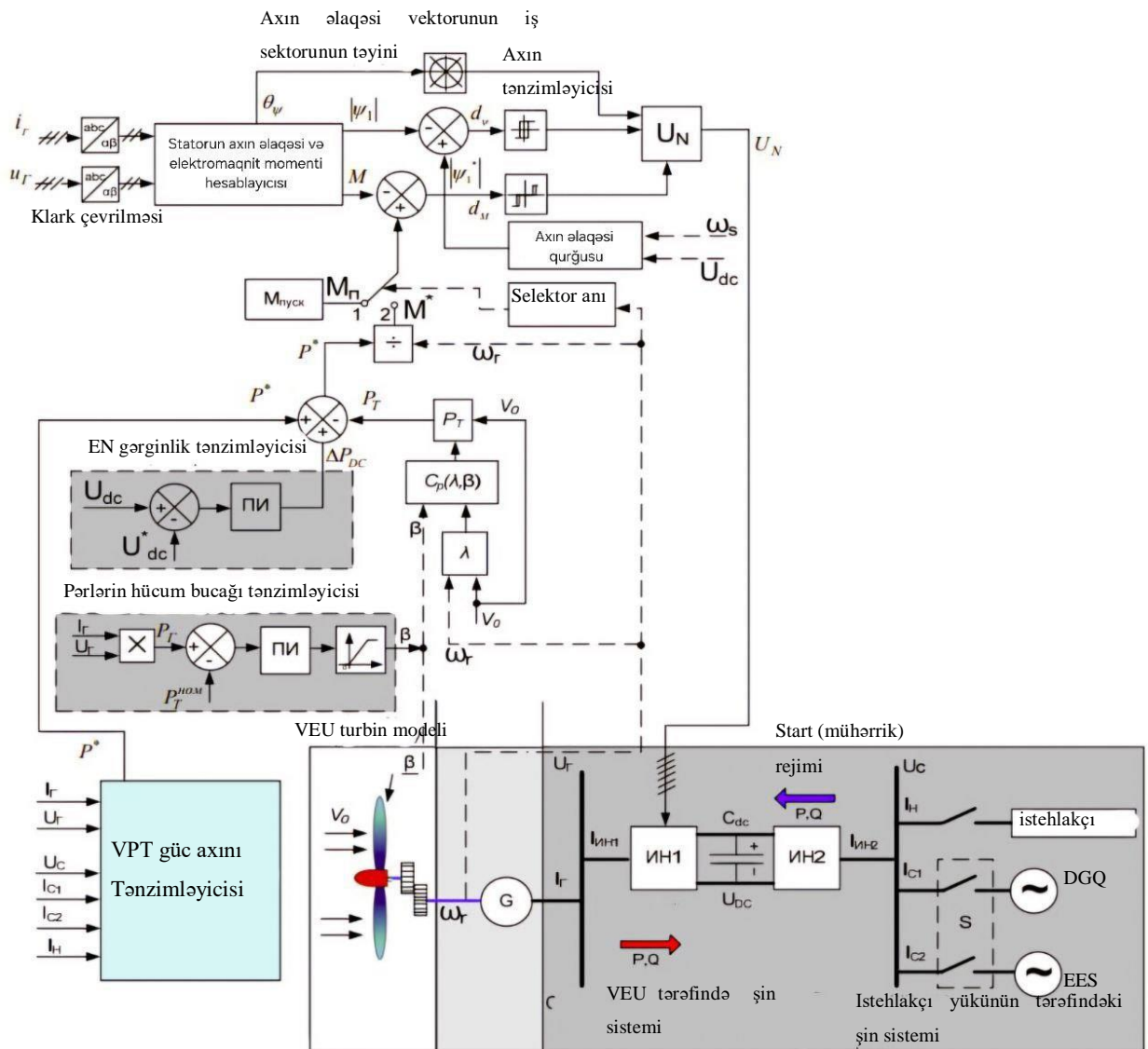
Külək axınının sürəti dəyişdikdə, sürət nisbəti əmsalı nominal dəyərdən ( $\lambda_{nom}$ ) kənara çıxır, bu da öz növbəsində, güc əmsalının ( $CP_{max1}$ ) mümkün olan maksimum dəyərindən kənara çıxması səbəbindən külək elektrik qurğusunun turbininin generasiya etdiyi gücün azalmasına gətirib çıxarır. Buna görə də, aşağı inersiyalı generatorun idarəetmə sistemində rotorun bucaqlı sürətini ( $\omega_G$ ) külək axınının sürətinin dəyişməsindən asılı olaraq tənzimləmək lazımdır. Aşağı inersiyalı generatorun generasiya etdiyi aktiv güc bucaqlı sürətin elektromaqnit momentinə (MG) hasilinə bərabər olduğundan, külək axınının fluktuasiyası və istehlakçı yükünün dəyişməsindən asılı olaraq momentin tənzimlənməsi külək elektrik qurğusunun çıxış gücünün stabilləşdirilməsi məsələsinin əsasını təşkil edəcək.

Nəticədə, aşağı inersiyalı generatorun avtomatik idarəetmə sisteminin formalaşdırılmasında, sistemin tapşırıq momentinin dəyişməsinə maksimal sürətlə reaksiya verməsini təmin etmək, elektromaqnit momentinin dalğalanma amplitudasını azaltmaq və tənzimlənən dəyişənləri: qanadların hücum bucağını, generator rotorunun dönmə sürətini və elektromaqnit momentini icazə verilən səviyyələrdə saxlamaq lazımdır. Buna görə də, bu halda ən perspektivli həll aşağı inersiyalı generatorun avtomatik idarəetmə sistemini birbaşa moment idarəetmə metodu əsasında qurmaqdır [10-12].

Yuxarıda təsvir edilən külək elektrik qurğusunun idarəetmə prinsiplərini həyata keçirmək üçün daimi cərəyan yığmasının idarəetmə sistemi təklif olunur. Bu sistemin struktur sxemi Şəkil 5.3-də təqdim edilmişdir.

Daimi cərəyan yığmasının idarə edilməsində külək elektrik qurğusunun iki iş rejimi həyata keçirilir. İşəsalma rejimi, birinci gərginlik inverterindən daimi cərəyan zəncirinin tutumlu akkumulyatorundan aşağı inersiyalı generatorun stator sarğısına güc axınının ötürülməsini təmin edir. Bu rejim külək elektrik qurğusunun işə

salınması və aşağı inersiyalı generatorun mühərrik rejimindən generasiya rejiminə keçidi üçün tətbiq olunur.



Şəkil 5.3. Külək elektrik qurğusu tərəfində daimi cərəyan yığmasının idarəetmə sisteminin struktur sxemi

Əgər kondensator batareyasında külək elektrik qurğusunu işə salmaq üçün kifayət qədər enerji yoxdursa və ya enerji ehtiyatı çatışmırsa, enerji sistemi və ya dizel-generator qurğusundan güc axınının ötürülməsini təmin edən ikinci gərginlik invertəri qoşulur. Külək elektrik qurğusunun generator rejimində, daimi cərəyan yığmasında güc axınlarının tərs çevrilməsi həyata keçirilir, bu da aşağı inersiyalı generator tərəfindən istehsal olunan elektrik enerjisinin istehlakçı yükünə

ötürülməsini təmin edir. Külək elektrik qurğusu tərəfindən istehsal olunan elektrik enerjisi kifayət etmədikdə, dizel-generator qurğusunun yükə paralel qoşulması mümkündür. İşəsalma və generator rejimləri arasında keçidi, aşağı inersiyalı generatorun rotorunun dönmə sürətinə ( $\omega G$ ) dair əks əlaqə siqnalının ölçüsünə əsasən elektromaqnit momenti təyin siqnalları arasında keçid edən moment seçici bloku (Şəkil 5.3) həyata keçirir.

Külək elektrik qurğusunun çıxış gücünün stabilləşdirilməsi məsələsini həll etmək üçün iki tənzimləmə konturu tətbiq olunur: elektrik sistemi tərəfində – aşağı inersiyalı generatorun elektromaqnit momentinin tənzimlənməsi ( $M^*$ ), mexaniki sistem tərəfində - turbin qanadlarının hücum bucağının tənzimlənməsi ( $\beta$ ).

Qanadların hücum bucağının tənzimləmə konturu, sürət nisbəti əmsalı  $\lambda > \lambda_{nom}$  (şəkil 5.2) olduqda külək elektrik qurğusunun çıxış gücünü məhdudlaşdırmaq və stabilləşdirmək üçün istifadə olunur. Bu enerji xarakteristikası sahəsində qanadların hücum bucağının tənzimlənməsi ilə turbinin çıxış gücünün məhdudlaşdırılması və stabilləşdirilməsi həyata keçirilir ki, bu da aşağı inersiyalı generatorun elektrik və mexaniki dayanıqlıq sərhədlərini aşmasının qarşısını almaq məqsədini daşıyır. Buna müvafiq olaraq, qanadların hücum bucağının tənzimləmə konturunda turbinin nominal çıxış gücü  $P_G^{nom}$  ilə aşağı inersiyalı generatorun ölçülən çıxış gücü  $P_G$  arasındakı fərq hesablanır. Alınan güc uyğunsuzluğu siqnalı gücləndirilir və qanadların hücum bucağının məhdudlaşdırma blokuna (şəkil 5.3) göndərilir. Əgər aşağı inersiyalı generatorun çıxış gücü  $P_G$  turbinin nominal gücündən  $P_T^{nom}$  azdırsa, uyğunsuzluq siqnalı mənfi olacaq və qanadların hücum bucağının çıxış dəyəri sıfıra bərabər olacaq. Bu halda külək elektrik qurğusu sürətlənmə zonasında və enerji xarakteristikasının optimal çıxış gücü dəyərinə doğru gedir. Əgər  $P_G$  referans dəyəri  $P_T^{nom}$ -dan artıq olarsa, qanadların hücum bucağının hesablanmış dəyəri müsbət olacaq və külək elektrik qurğusunun generasiya etdiyi güc məhdudlaşdırılacaq.

Aşağı inersiyalı generatorun elektromaqnit momentinin tənzimləmə konturu ( $M^*$ ) birbaşa moment idarəetmə metodu əsasında hazırlanmışdır. Tənzimləmə prosesinin əvvəlində, aşağı inersiyalı generatorun stator sarğısında ölçülən gərginlik

(UG) və cərəyan (IG) dəyərləri Klark çevirmə bloku tərəfindən  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  baza vektor koordinat sisteminə çevrilir. Daha sonra statorun axın birləşmə vektorunun ( $\psi_1$ ) modulu və onun faza bucağı, eləcə də uyğun tənliklərdən elektromaqnit momenti (M) hesablanır.

$$\psi_1^{\alpha\beta} = \int (u_1^{\alpha\beta} - r_1 i_1^{\alpha\beta}) dt$$

$$M = \frac{3}{2} z_p (\psi_{1\alpha} i_{1\beta} - \psi_{1\beta} i_{1\alpha})$$

Alınan elektromaqnit momentinin cari dəyərləri və statorun axın birləşməsi vektorunun modulu siqnallarından təyin olunan siqnallar  $M^*$  və  $|\psi_1|^*$  çıxılır (şəkil 5.3). Alınan uyğunsuzluq siqnalları  $dM$  və  $d\psi$ , müvafiq siqnalların təyinedici siqnallara nisbətən sapma istiqamətini müəyyən edən histerezis xarakteristikalı rölə tənzimləyicilərinin girişinə (axın tənzimləyicisi və moment tənzimləyicisi, şəkil 5.3-də göstərilmişdir) [10] daxil olur. Axın birləşmə vektorunun baza vektorları müstəvisindəki yerini və uyğunsuzluq siqnallarının  $dM$ ,  $d\psi$  sapma istiqamətini hesablamaqla, gərginlik inverteri 1-in açarlarının vəziyyətlərinin kombinasiyasını formalaşdırmaq mümkündür ki, bu da təyin olunmuş dəyərlərdən sapmanı minimallaşdıran baza gərginlik vektorunu yaradır.

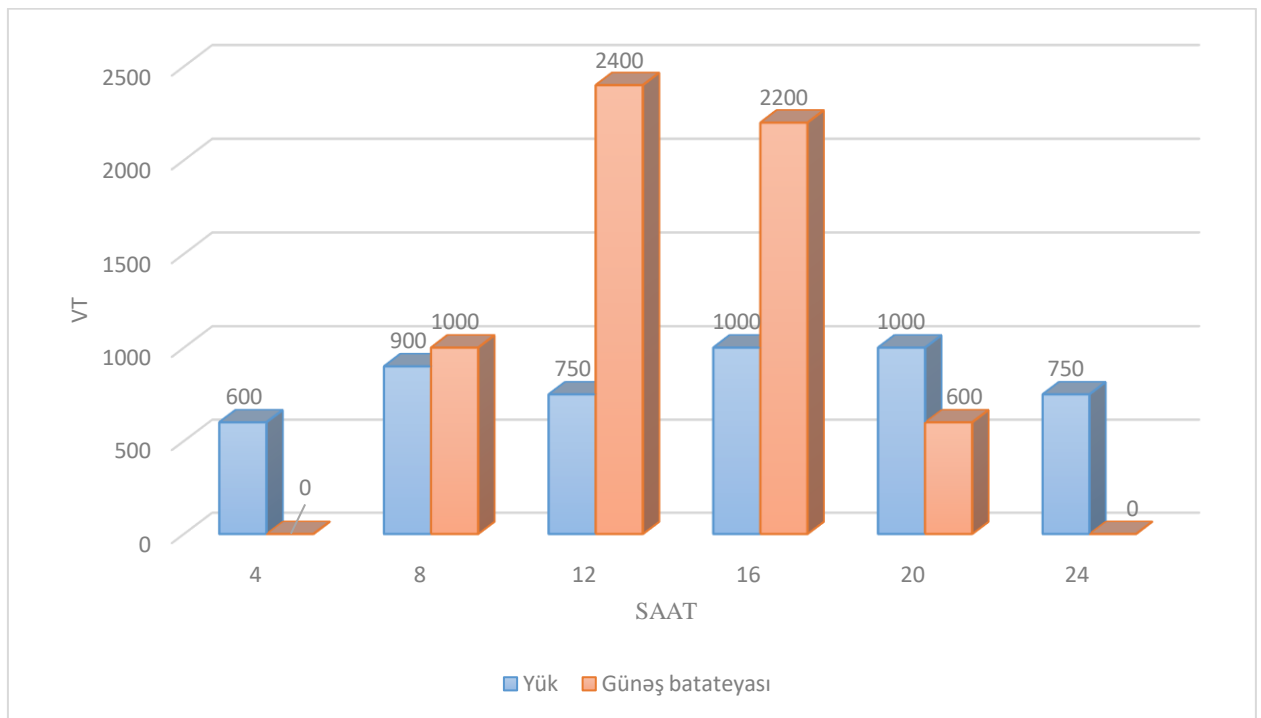
Beləliklə, aşağı inersiyalı generatorun birbaşa moment idarəetmə metodu əsasında avtomatik tənzimləmə sistemi istifadə edildikdə, statorun axın birləşməsi modulu və elektromaqnit momenti müvafiq tənzimləyicinin histerezis dəyəri ilə müəyyən edilən təyin olunmuş dəyərdən icazə verilən sapma zonasına daxil olacaq.

Bütün külək elektrik qurğusunda güc axınının ölçüsü və istiqamətinin əsas təyin edici elementi daimi cərəyan yığmasının güc axını tənzimləyici blokudur (şəkil 5.3). Bu blok, külək elektrik qurğusunun tərəfindəki şin sistemində və yük zəncirində ölçülən gərginlik və cərəyan dəyərlərinə uyğun olaraq generasiya edilən və istehlak edilən güclərin hesablanması həyata keçirir. Alınan dəyərlər əsasında istehlakçı tələbatını ödəmək üçün külək elektrik qurğusunun generasiya etməli olduğu güc təyin edilir ( $P^*KEQ$ ).

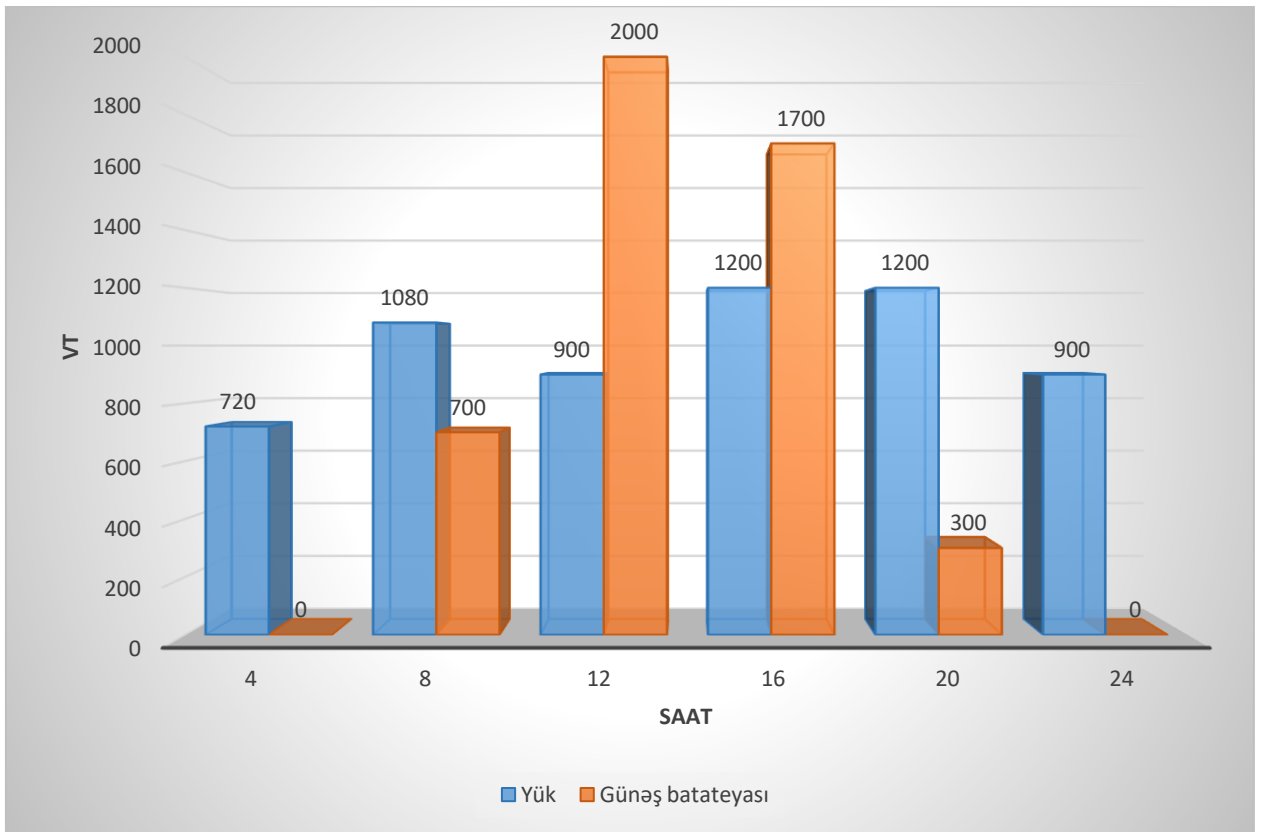
## 5.2 Bərpa olunan enerji mənbələrinin enerji sisteminin dayanıqlığına təsirini azaltmaq üçün enerji akkumulyatorlarının tətbiqinin analitik hesablanması

Bərpa olunan enerjinin generasiya xüsusiyyətlərinin qiymətləndirilməsi, günəş radiasiyası kimi real uzunmüddətli hava şəraiti məlumatlarına əsaslanır. Bu halda, bərpa olunan enerji mənbələrinin inkişafının xüsusi perspektivə malik olduğu Azərbaycanın iqlim xarakteristikaları nəzərdən keçirilir. Günəş panellərindən 5 kVt·gün enerji istehlak edən və gündəlik 5 kVt enerji sərfiyyatı olan bir ev üçün akkumulyator batareyalarının hesablanması və seçimi aparılır: Günəş paneli – hər biri 250 Vt olan 4 ədəd.

Yay və qış mövsümlərində enerji istehlakının və elektrik enerjisi istehsalının gündəlik qrafikləri götürülmüşdür.



Şəkil 5.4. Yay mövsümündə günəş panelindən elektrik enerjisi istehsalı və yükün gündəlik qrafiki



Şəkil 2.5. Qış mövsümündə günəş panelindən elektrik enerjisi istehsalı və yükün gündəlik qrafiki

Qrafiklərə əsasən, müəyyən vaxt anında güc fərqi hesablamak və inverterin itkilərini, yəni 15 faiz (inverterin əmsalı 0,85 olaraq qəbul edilir) çıxmaqla, akkumulyator batareyasının iş rejimi qrafikini qurmaq və onun tutumunu seçmək mümkündür [12;14].

$$P_{AB} = (P_{GP} - P_{yük}) * k_{inv}$$

burada,  $P_{GP}$  – günəş panelinin gücü,  $Vt$ ;  $P_{yük}$  – yük,  $Vt$ ;  $k_{inv}$  – inverter itkisi əmsalı.

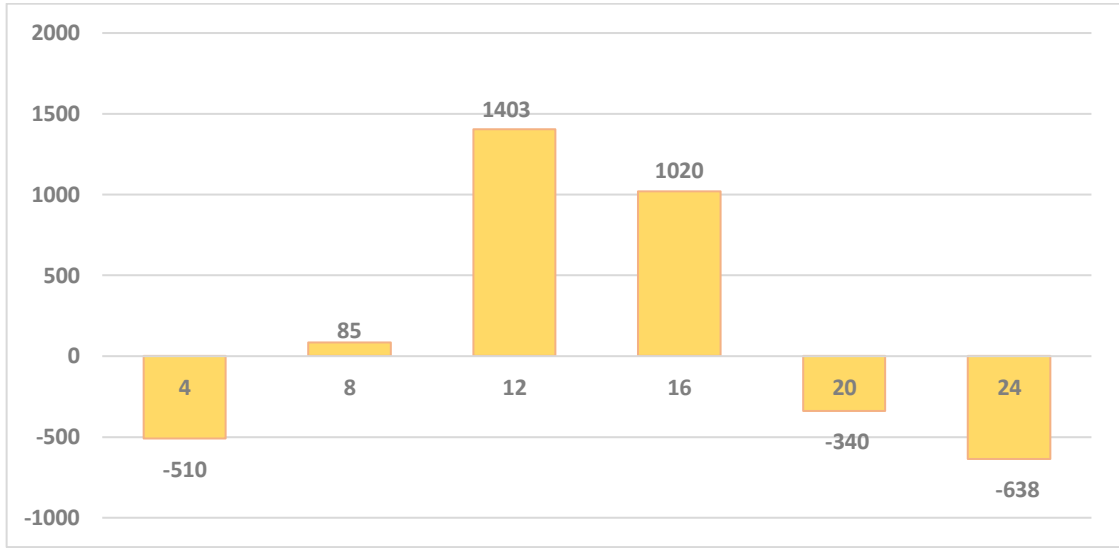
Nümunə olaraq ilk üç göstərici üzrə hesablama aparaq.

$$P_{AB} = (0 - 600) * 0,85 = (-510) V_T$$

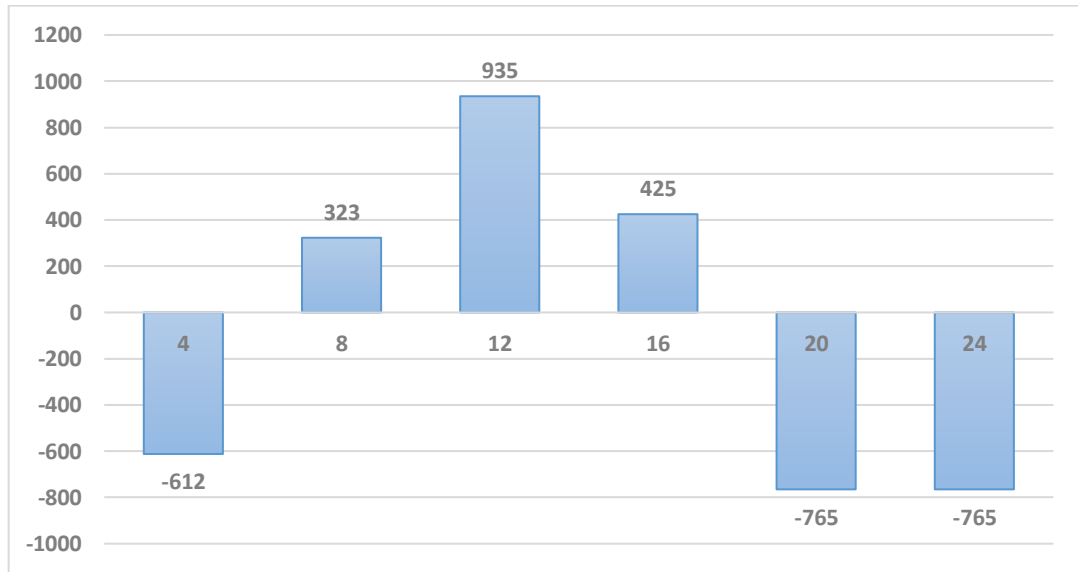
$$P_{AB} = (1000 - 900) * 0,85 = 85 V_T$$

$$P_{AB} = (2400 - 750) * 0,85 = 1403 V_T$$

Daha sonra oxşar hesablamalar aparılır və qrafiklər qurulur. Mənfi dəyərlər akkumulyatorun boşaldığını, müsbət dəyərlər isə akkumulyatorun dolduğunu göstərir.



Şəkil 2.6. Yay mövsümündə akkumulyator batareyasının iş rejimi və dövrü



Şəkil 2.7. Qış mövsümündə akkumulyator batareyasının iş rejimi və dövrü

Bu qrafiklərə əsasən akkumulyator batareyasının tipi və tutumu seçilir. Məsələn, ən çox yayılmış iki növ, yəni qurğuşun-turşu və litium-ion akkumulyatorları nəzərdən keçirilir [10;11;12]. Qurğuşun-turşu akkumulyatorlar 80-dən 100 faizədək şarj diapazonunda işləyir, belə ki, onların iş tutumu nominal tutumun yalnız 20 faizinə bərabərdir. Litium-ion akkumulyatorların iş diapazonu daha genişdir və onlar 0-dan 100 faizədək işləyə bilirlər, lakin batareyaların daha uzun ömürlü olması üçün

onları 20-dən 80 faizə qədər istifadə etmək tövsiyə olunur, bu halda onların iş tutumu nominal tutumun 60 faizinə bərabərdir.

Tutumun hesablanması üçün qrafikin şarj dövrünü əks etdirən müsbət hissəsi toplanır və gərginliyə (12 V olaraq qəbul edilir) və akkumulyatorun iş əmsalına bölünür, hansı ki, onun tipindən asılıdır (qurğuşun-turşu üçün 0,2, litium-ion üçün isə 0,6 qəbul edilir) [10;11;13].

$$W_{AB} = \frac{\sum P_{AB}^+}{k_{AB} \cdot U}$$

burada  $\sum P_{AB}^+$  – batareyanın şarj gücü, Vt;

$k_{AB}$  – akkumulyatorun istifadə əmsalı;

$U$  – gərginlik, V.

Qurğuşun-turşu akkumulyatorunun hesablanması:

$$W_{AB} = (85 + 1403 + 1020)/0,2 \cdot 12 = 1045 \text{ A}\cdot\text{saat}$$

Litium-ion akkumulyatorunun hesablanması:

$$W_{AB} = (85 + 1403 + 1020)/0,6 \cdot 12 = 348 \text{ A}\cdot\text{saat}$$

Alınan rəqəmlərə əsaslanaraq, bazarda mövcud olan batareyalar seçilir. Qurğuşun-turşu və litium-ion batareyaları seçilmişdir. Onların yekun tutumu aşağıdakılara uyğundur 1000 A·saat və 320 A·saat.

Akkumulyatorların təsviri: birinci akkumulyator batareyası hermetik konstruksiyalı və qazların rekombinasiya sistemi ilə təchiz olunmuş qurğuşun-turşu akkumulyatordur. O, elektrolitin şüşə lifli separatora sorulduğu absorpsiya edən şüşə mat sistemi ilə təchiz olunmuşdur.

Bu akkumulyatorun əsas xüsusiyyətlərinə təhlükəsiz istismar rejimi, baxım tələb etməməsi (su əlavə etməyə və ya elektrolitin sıxlığını yoxlamağa ehtiyac yoxdur), aşağı öz-özünə boşalma səviyyəsi və təkmilləşdirilmiş boşalma xüsusiyyətləri daxildir. Dövrü rejimdə akkumulyator 100 faiz boşalmada 300 dövrə qədər tab gətirə bilər. Bu akkumulyatorun ömrü 3 ildir. Boşalma 20 faizə qədər olduqda ömrü 400 dövrəyə qədər uzatmaq mümkündür.



Bundan əlavə, qurğuşun-turşu akkumulyator hermetik standartlara uyğun olaraq müxtəlif sahələrdə, telekommunikasiya, elektroenergetika sənayesi, günəş enerjisi və generator işə salma sistemlərində istifadə üçün nəzərdə tutulmuşdur.

Akkumulyator batareyası akrilonitril-butadiyen-stiroldan hazırlanmış hermetik konteynerə və qapağa malikdir və dərin boşalmadan sonra bərpa olunma qabiliyyəti yüksəkdir. O, həmçinin yüksək bərpa qabiliyyətinə malikdir və bütün zəruri keyfiyyət sertifikatlarına malikdir [12].

İkinci akkumulyator 160 A·saat tutumuna və 12V gərginliyə malik litium-dəmir-fosfat akkumulyatorudur. Bu akkumulyator yüksək performans, etibarlılığı və uzun ömrü ilə seçilir və qabaqcıl litium akkumulyator texnologiyası sayəsində təhlükəsiz və sabit işləməyi təmin edir. O, yüksək doldurma və boşalma səmərəliliyi əmsalına malikdir ki, bu da günəş panellərindən enerjinin maksimum səmərəliliklə istifadə edilməsinə imkan verir. Bu akkumulyatorun əsas üstünlüklərindən biri onun yüksək enerji sıxlığıdır. Bu, nisbətən kiçik ölçü və çəkiyə malik olmasına baxmayaraq, böyük enerji ehtiyatına malik olduğunu göstərir. Həmçinin, bu akkumulyatorun aşağı öz-özünə boşalma səviyyəsi var ki, bu da enerjini əhəmiyyətli itkilər olmadan uzun müddət saxlamasına imkan verir.

Qeyd etmək lazımdır ki, bu akkumulyatorun ömrü uzun olub, 4000-dən çox doldurma-boşalma dövrü təşkil edir. Bu, akkumulyatorun illərlə əvəz edilmədən istifadə oluna biləcəyini göstərir. Bundan əlavə, o, geniş iş temperaturu diapazonuna malikdir ki, bu da onu müxtəlif iqlim şəraitində istifadə üçün uyğun edir.

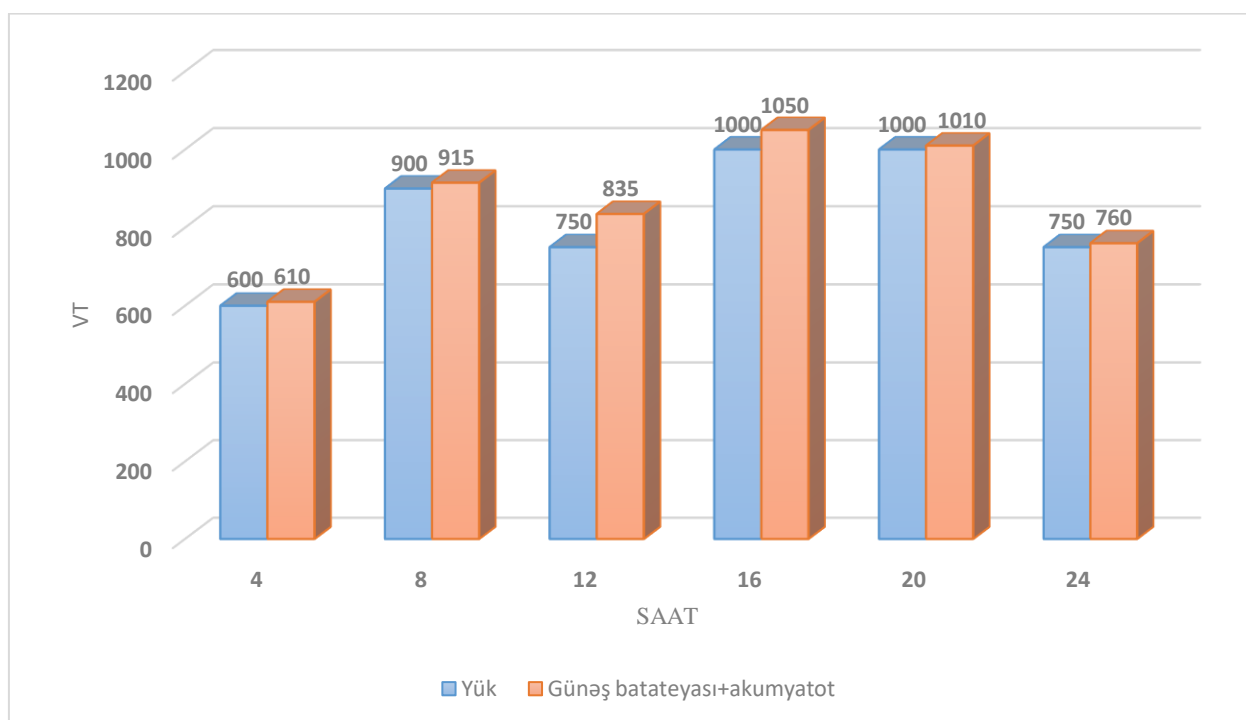
İkinci akkumulyator da yüksək təhlükəsizlik səviyyəsi ilə fərqlənir. O, qaz buraxmır və xüsusi baxım tələb etmir, bu da onu istifadədə təhlükəsiz və rahat edir. Bundan əlavə, litium-ion akkumulyator ekoloji cəhətdən təmizdir və ətraf mühit üçün təhlükəsizdir, çünki qurğuşun və ya kadmium kimi zərərli maddələr ehtiva etmir.

Qeyd etmək lazımdır ki, bu akkumulyator günəş elektrik stansiyaları ilə inteqrasiya üçün etibarlı və effektiv seçimdir. Yüksək enerji sıxlığına, uzun ömürə, yüksək səmərəliliyə və təhlükəsizliyə malikdir ki, bu da onu fərdi evlər və digər günəş enerji sistemlərində istifadə üçün ideal həll edir [12].

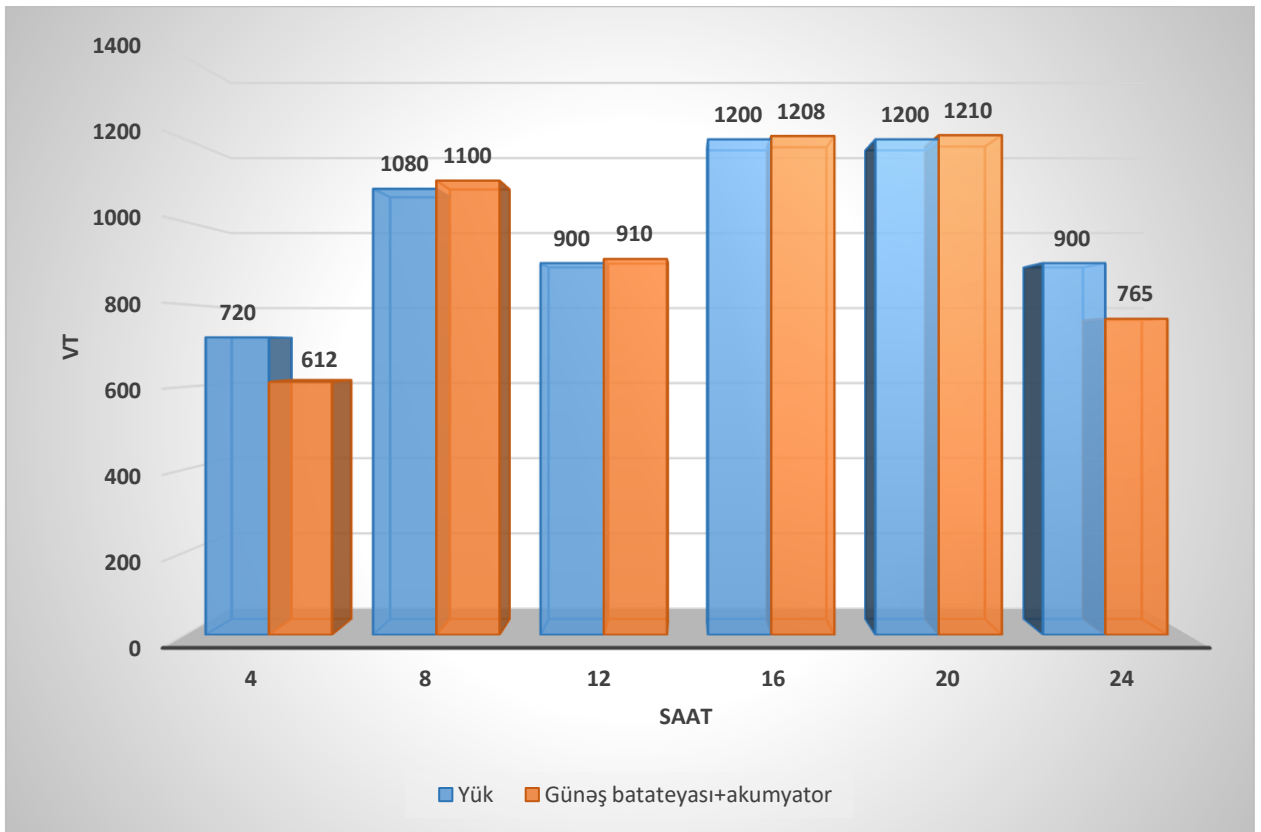
Cədvəl 5.1. Akkumulyator batareyalarının müqayisəsi

Akkumulyator növü	200 A·saat tutumuna malik qurğuşun-turşu akkumulyator	160 A·saat tutumuna malik litium-dəmir-fosfat akkumulyator
Nominal tutum (A·saat)	200/1000	160/320
Gərginlik, V	12	12
İş tutumu (A·saat)	20% nom.tutum=40/200	60% nom.tutum=96/192
Dövr sayı	~400	4000–8000
Ömür (il)	1,5	11–22
Qiymət (manat)	850–4500	4500–850

Akkumulyator batareyalarının invertor və kontrollerdən istifadə edərək enerji təchizatı sisteminə inteqrasiyası nəticəsində yay və qış mövsümləri üçün yük qrafiki əldə edildi.



Şəkil 2.8. Yayda günəş panelləri ilə istehsal olunan enerjinin və akkumulyator batareyaları ilə tarazlaşdırılan yük qrafiki.



Şəkil 2.9. Qışda günəş panelləri ilə istehsal olunan enerjinin və akkumulyator batareyaları ilə tarazlaşdırılan yük qrafiki.

Qrafiklərə baxaraq, şəbəkənin yüklənməsinin balansda olduğunu müşahidə etmək olar ki, bu da onu daha sabit edir və elektrik şəbəkəsinin daha yüksək keyfiyyətini təmin edir. Yay dövründə artıq generasiya olunan elektrik enerjisinin itkilərini minimuma endirmək məqsədilə elektrik şəbəkəsinə satılması tövsiyə olunur. Qış və buludlu mövsümlərdə, günəş enerjisi mənbələrinin elektrik enerjisi istehsalı məhdud olduqda, elektrik enerjisinin həmin şəbəkədən alınması məqsədəuyğundur. Bu halda, yerli elektrik şəbəkəsi itkisiz və məhdudiyyətsiz xidmət ömrü olan "akkumulyator" kimi qəbul edilə bilər. Bununla belə, bu strategiya yalnız şəhər elektrik şəbəkəsinə çıxış olduqda həyata keçirilə bilər. Belə şəraitdə, akkumulyator əldə etməkdən imtina edib, bunun əvəzinə, lazım olan enerjini şəbəkədən satmaq və ya almaq ən yaxşı variant ola bilər. Şəhər elektrik şəbəkəsinə çıxış olmadıqda, akkumulyator istifadəsi imkanını nəzərdən keçirmək lazımdır.

## NƏTİCƏ

Aparılmış təhlilin nəticəsi olaraq, bərpa olunan enerji mənbələrinin enerji sisteminə təsiri ilə bağlı aşağıdakı nəticələr çıxarılmışdır:

1. İstifadəçinin son cihazları elektrik enerjisinin keyfiyyətinə getdikcə daha həssas olur.

2. Elektrik enerjisi istehsalı və paylanması sistemində son tendensiyalar göstərir ki, yaxın gələcəkdə şəbəkədə paylanmış generasiya səviyyəsi əhəmiyyətli dərəcədə artacaq, bu da elektrik enerjisinin keyfiyyətinin dəyişməsinə səbəb olacaq.

3. Bu dissertasiyada bərpa olunan enerji mənbələri (külək enerjisi, günəş enerjisi) əsasında enerji paylanması sistemi ilə bağlı elektrik enerjisinin keyfiyyəti problemlərinin səbəblərinin icmalı təqdim olunur. Külək və günəş enerjisinin təsirinin təbiətə fərqli olduğu göstərilmişdir: külək enerjisinin nüfuz etməsi ilə gərginlik səviyyəsi azalır, günəş enerjisinin nüfuz etməsi ilə isə artır.

4. Bu nəticəyə gəlmək olar ki, sistemlərin dinamik dayanıqlılığı enerji sisteminin konfigurasiyasından, ilkin vəziyyətdən, pozulma dərəcəsindən və sistemdəki külək enerjisinin miqdarından asılıdır.

5. Daimi cərəyan yığmasının külək elektrik qurğusu tərəfində aerodinamik və elektromexanik tənzimləməni birləşdirən iki konturlu idarəetmə sisteminin tətbiqi aşağıdakı nəticələrə nail olmağa imkan verir:

– Sabit cərəyan yığmasının çıxış gücünün stabilləşdirilməsinin keyfiyyətini artırmaq, generasiya olunan (külək axınının sürəti) və istehlak edilən güclərdə (istehlakçı yükünün müqaviməti) baş verən dəyişikliklərə sistemin reaksiya vaxtını azaltmaq hesabına;

– Aşağı inersiyalı generatorun elektromaqnit momentinin tənzimlənməsi zamanı turbinin güc əmsalının mümkün olan maksimum dəyərini dəqiq saxlamaqla, külək elektrik qurğusunun generasiya olunan gücünün istehsalını artırmaq;

– Külək elektrik qurğusunun generasiya olunan gücünün artıqlarını daimi cərəyan yığmasının tutumlu akkumulyatorunda elektrik enerjisi kimi və turbinin

dönmə sürətini tənzimləməklə kinetik enerji kimi yığmaq hesabına istehlakçı yükünün əlavə fasiləsiz enerji təchizatını təmin etmək.

## ƏDƏBİYYAT

1. Global Trends in Renewable Energy Investment 2018. FS-UNEP. Frankfurt am Main, 2018.
2. Renewable Energy Statistics. IRENA. Abu Dhabi, 2019.
3. Renewable Power Generation Cost. IRENA, 2020.
4. National Conference on Sustainable Power Through Renewable Energy Sources, 2013.
5. 2011-2022 IRENA – International Renewable Energy Agency. All Rights Reserved.
6. Grid Modernization and Smart Grid, US Department of Energy, 2020.
7. Global offshore wind report 2018, Global Wind Energy Council, Brussels.
8. Gross Robert, Leach Matthew, Bauen Ausilio. Progress in renewable energy.
9. Environment International 2003.
10. World Energy Outlook 2012 (WEO-2012), International Energy Agency, Vienna, 2012.
11. Deng Yvonne Y., Blok Komelis, van der Leun Kees. Transition to a fully sustainable global energy system. Energy Strategy Reviews 2012.
12. Wind Europe (2020), “Wind energy and economic recovery in Europe”, October, <https://windeurope.org/intelligenceplatform/product/wind-energy-andeconomic-recovery-in-europe/>
13. World-Energy (2020), “China’s offshore wind energy industry post-2021”, 23 October.
14. “Investing in a clean energy future: Solar energy research, deployment, and workforce priorities”, Issue brief, US DOE, Washington, DC, August.
15. US DOE (US Department of Energy) (2021a), United States Energy & Employment Report 2021, Washington, DC, [www.energy.gov/sites/default/files/202107/USEER%202021%20Main%20Body.pdf](http://www.energy.gov/sites/default/files/202107/USEER%202021%20Main%20Body.pdf).

16. Wind Europe (2020), “Wind energy and economic recovery in Europe”, October.
17. IRENA, IEA and REN21, Renewable Energy.
18. Policies in a Time of Transition (Abu Dhabi and Paris: 2018), p.23
19. Grid Modernization and Smart Grid, US Department of Energy, 2020.
20. EPU-NTUA and Masdar Institute on November 24-27, 2013 in Abu Dhabi, UAE.
21. Jan, A.; Sebastian, R.; Clemens, S. The economics of renewable energy support. J. Public Econ. 2019.
22. Gulaliyev, M.G.; Mustafayev, E.R.; Mehdiyeva, G.Y. Assessment of Solar Energy Potential and Its Ecological-Economic Efficiency: Azerbaijan Case. Sustainability 2020.
23. Power Generation Technologies (Third Edition) 2019.
24. Metropolitan Sustainability Understanding and Improving the Urban Environment Woodhead Publishing Series in Energy 2012.
25. SOCAR. 2014. SOCAR President Gives Interview to Greek Newspaper.
26. <http://www.socar.az/socar/az/news-and-media/news-archives/newsarchives/id/7879> (accessed 7 July 2019).
27. Energy Insecurity and Renewable Energy Sources:prospects and challenges for Azerbaijan, Ulviyye Aydin No. 992, August 2019.
28. Межправительственная группа экспертов по изменению климата, 2011 г
29. Integrating low-temperature renewables in district energy systems, 2021.
30. Расширение трансграничного энергетического сотрудничества посредством внедрения солнечной и ветровой энергии в энерго системы стран СНГ для поддержки достижения ЦУР7- проект Отдела устойчивой энергетики ЕЭК ООН. 2020.
31. Расширение трансграничного энергетического сотрудничества посредством внедрения солнечной и ветровой энергии в энерго системы стран СНГ для поддержки достижения ЦУР7- проект Отдела устойчивой энергетики ЕЭК ООН. 2020.

32. Международно-правовое регулирование формирования общего электроэнергетического рынка Евразийского экономического союза 2021.
33. “Renewable Energy Independent Power Producer Programme (REIPPP).” Международное энергетическое агентство. 9 ноября 2017 г.
34. Большие надежды Сделки M&A в возобновляемой энергетике, 2018.
35. Создание устойчивых энергетических систем: Действия по достижению высокой энергетической безопасности, доступности и нулевого уровня выбросов в регионе ЕЭК ООН United Nations 2022.
36. American Wind Energy Association, [www.awea.org](http://www.awea.org)
37. European Wind Energy Association, [www.ewea.org](http://www.ewea.org)
38. T. Burton, D. Sharpe, N. Jenkins, E. Bossanyi, "Wind Energy Handbook", John Wiley & Sons, Inc., 2001.
39. EPU-NTUA and Masdar Institute on November 24-27, 2013 in Abu Dhabi, UAE.
40. Prof. Dr. Faruk Soydogan, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Esen Yelden Yenilenebilir Temiz Enerjiye: Rüzgâr Enerjisi 2021.
41. Lange, M. ve Heinemann D., 2002. Regional Wind Power Prediction with Risk Control, Oldenburg University, Germany.
42. ЭНЕРГЕТИКА И АЛЬТЕРНАТИВНАЯ ЭНЕРГЕТИКА, УДК 621.317, Бабаев Ф.Б., 2023.
43. Воронин С.М. Автономная система электроснабжения на основе солнечной электростанции. Б.Журнал 2007.
44. Marco Casini. Harvesting energy from in-pipe hydro systems at urban and building scale. Article in International Journal of Smart Grid and Clean Energy. October 2015.
45. Hydropower: The Largest Source of Renewable Energy, Mark Rossow
46. QUARTERLY REVIEW No.36 /July 2010, Hydropower as a Renewable Energy Source in a New Era.