

UOT 629.12.066

**ALTERNATİV ENERJİ MƏNBƏLƏRİNDƏN İSTİFADƏ ETMƏKLƏ GƏMİ
ELEKTRİK STANSİYASININ ENERJİ BALANSININ TƏNZİMLƏNMƏSİ ÜSULLARI**

Əlicanov R.R.

*“Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası” PHŞ
Az1000, Bakı şəh., Z.Əliyeva küç., 18
E-mail: ralicanov@mail.ru*

Xülasə. *Məqalədə, müasir gəmiçiliyin üzlaşdığı ciddi ekoloji tələblər və artan nəqliyyat xərcləri fonunda gəmi elektrik stansiyalarının enerji balansının optimallaşdırılması məsələsi, həmçinin ənənəvi dizel-generator aqreqatlarının iş rejimləri və yüksək yanacaq sərfiyyatı kimi məhdudiyyətlər analiz edilir. Məqalədə həmçinin ağıllı güc idarəetmə sistemi (Smart Power Management System) vasitəsilə enerji balansını dinamik şəkildə tənzimləyən müasir üsullar, yəni artıq yüklənmənin azaldılması və generatorların optimal idarə edilməsi məsələlərindən də bəhs olunur.*

Abstract. *The article analyzes the issue of optimizing the energy balance of ship power plants against the backdrop of serious environmental requirements and increasing transportation costs faced by modern shipping, as well as the limitations of traditional diesel-generator units, such as inefficient operation and high fuel consumption. The article also discusses modern methods for dynamically regulating the energy balance through Smart Power Management Systems, i.e., reducing overload and optimal control of generators.*

Аннотация. *В статье анализируется проблема оптимизации энергетического баланса судовых энергетических установок на фоне высоких экологических требований и растущих транспортных расходов, характерных для современного судоходства, а также*

ограничений традиционных дизель-генераторных установок, таких как неэффективность и высокий расход топлива. Также рассматриваются современные методы динамического регулирования энергетического баланса с помощью интеллектуальных систем управления электропитанием (Smart Power Management Systems), направленные на снижение перегрузок и оптимальное управление генераторами.

Açar sözlər: *gəmi elektrik stansiyası, enerji balansı, hibrid sistemlər, enerji saxlama sistemi, ağıllı güc idarəetmə sistemi, artıq yüklənmə, yanacaq səmərəliliyi*

Key words: *ship power plant, energy balance, hybrid systems, energy storage system, intelligent power management system, overload, fuel efficiency*

Ключевые слова: *судовая энергетическая установка, энергетический баланс, гибридные системы, система накопления энергии, интеллектуальная система управления электропитанием (PMS), перегрузка, топливная эффективность*

Giriş. Tərkibində müxtəlif növ elektrik avadanlığı olan gəmi elektroenergetika sistemlərinin (GEES) vəzifəsi elektrik enerjisini hasil edib paylamaqdan ibarətdir. Bura, həmçinin, elektrik enerjisi çeviriciləri, o cümlədən transformatorlar da daxildir. Gəmi qurğularının əksəriyyətinin işləməsi üçün elektrik enerjisindən istifadə olunur. Buna əsas səbəb elektrik enerjisinin məsafəyə ötürülməsinin asan başa gəlməsi, elektrotexniki qurğuların yüksək iqtisadi göstəriciləri və elektricləşmiş mexanizmlərin idarəsində böyük imkanların yaranmasıdır [1].

Gəmi elektroenergetika sistemi (GEES) gəminin energetik qurğusunun tərkibinə daxildir və üzmə sistemi, ümumi gəmi sistemi, idarə, nəzarət və mühafizə sistemləri ilə funksional əlaqədədir. Gəminin iş qabiliyyəti, təhlükəsizliyi və iqtisadi göstəriciləri GEES-in etibarlılığından asılıdır.

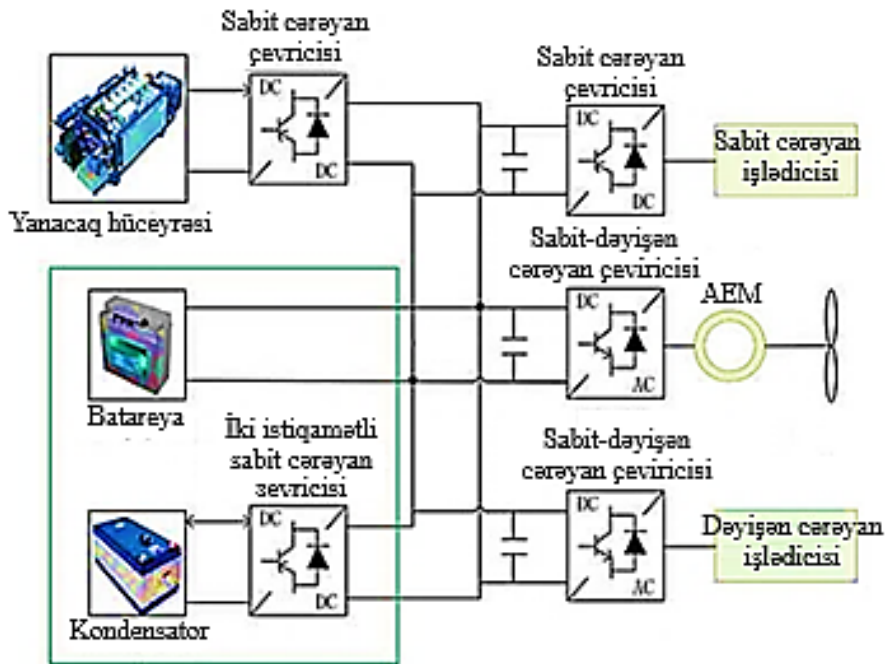
Müasir gəmilərdə elektroenergetika sisteminin əhəmiyyəti baş energetik qurğunun əhəmiyyəti səviyyəsinə qalxmışdır və bəzi hallarda onu keçmişdir. Məsələn, böyük su tutumuna malik olan refrerjator gəmilərində GEES gəminin təhlükəsiz üzməsi, energetik qurğuların işi, gəminin yüklənməsi, yükün boşaldılması, onun körpüyə yanalmasını təmin etməklə yanaşı, onun yükünün korlanmamasını da təmin edir. Qeyd etmək lazımdır ki, GEES-in gücü və mürəkkəblilik dərəcəsinin yüksəlməsi ilə yanaşı, onun avtomatlaşma dərəcəsi də artmışdır.

Gəmi elektrik stansiyalarının avtomatlaşdırma dərəcələrinin artması ilə yanaşı onların mənfə cəhətləri də meydana gəlmişdir. Belə ki, qlobal ticarətin onurğa sütununu təşkil edən dəniz nəqliyyatı, eyni zamanda atmosferə atılan zərərli tullantıların əhəmiyyətli bir mənbəyidir. Beynəlxalq Dəniz Təşkilatı (BDT) kimi qurumların gəmilərin enerji səmərəliliyi (EEXI) və karbon intensivliyi (CII) ilə bağlı tələbləri getdikcə sərtləşdirməsi, gəmiçilik sənayesini innovativ həllər axtarmağa məcbur edir. Yanacaq qiymətlərinin qeyri-sabitliyi və artımı isə əməliyyat xərclərinin azaldılmasını zəruri edir.

Ənənəvi gəmi elektrik stansiyaları adətən bir neçə dizel-generatordan ibarət olur. Gəminin enerji tələbatı isə onun əməliyyat rejimindən (limanda dayanma, manevr, açıq dənizdə hərəkət) asılı olaraq geniş diapazonda dəyişir. Yükün dəyişməsi səbəbindən generatorlar tez-tez aşağı və qeyri-optimal yüklənmə rejimində işləyir ki, bu da yanacaq səmərəliliyini kəskin şəkildə azaldır və avadanlıqların köhnəlməsini sürətləndirir. Bundan əlavə, sistemin etibarlılığını təmin etmək üçün adətən bir generator yüksüz işləyir ki, bu da əlavə yanacaq sərfinə və emissiyalara səbəb olur.

Məqalədə məqsəd alternativ enerji mənbələrini və müasir enerji saxlama sistemlərini gəminin ümumi elektrik şəbəkəsinə inteqrasiya edərək enerji balansını ağıllı alqoritmlər vasitəsilə tənzimləyən müasir üsulları sistemli şəkildə analiz etmək və onların texniki-iqtisadi üstünlüklərini göstərməkdir [1,2].

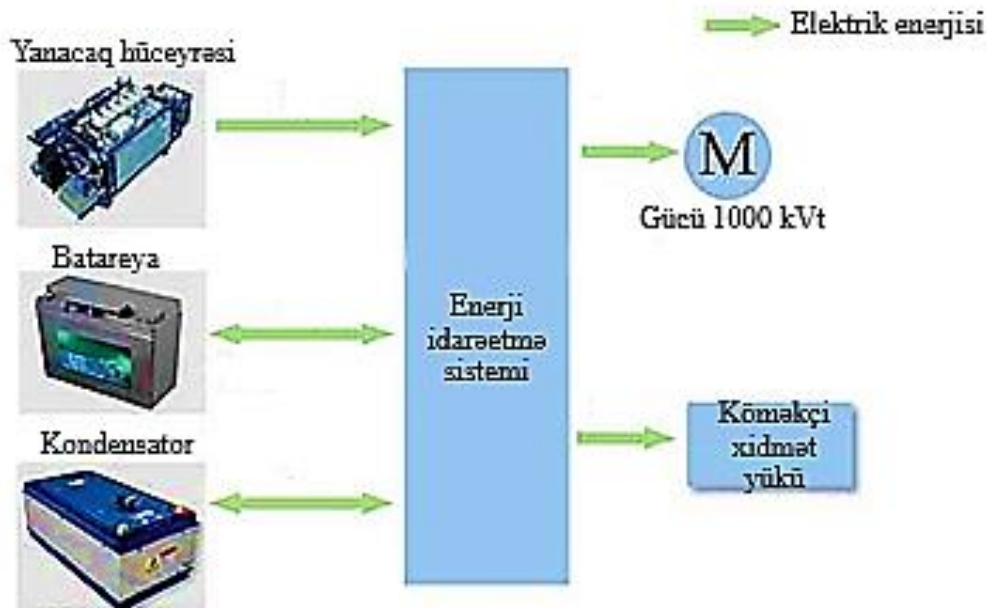
Əsas hissə. Hibrid gəmi elektrik stansiyası, bir neçə fərqli enerji mənbəyini və sistemini vahid bir şəbəkədə birləşdirir.



Şəkil 1. Hibrid enerji saxlama sisteminin funksional sxemi

Günəş enerjisi. Gəmilərin geniş göyərtə sahələri günəş panellərinin quraşdırılması üçün əlverişli şərait yaradır. Günəş enerjisi, əsasən, gəminin köməkçi sistemlərinin (ışıqlandırma, ventilyasiya, naviqasiya cihazları, məişət avadanlıqları) enerji tələbatını ödəmək üçün istifadə olunur. Bu, əsas generatorların yükünü qismən azaldaraq yanacağa qənaət etməyə imkan verir.

Lakin bu mənbənin əsas çatışmazlığı, enerji istehsalının hava şəraitindən və günün vaxtından asılı olaraq fasiləli olmasıdır.

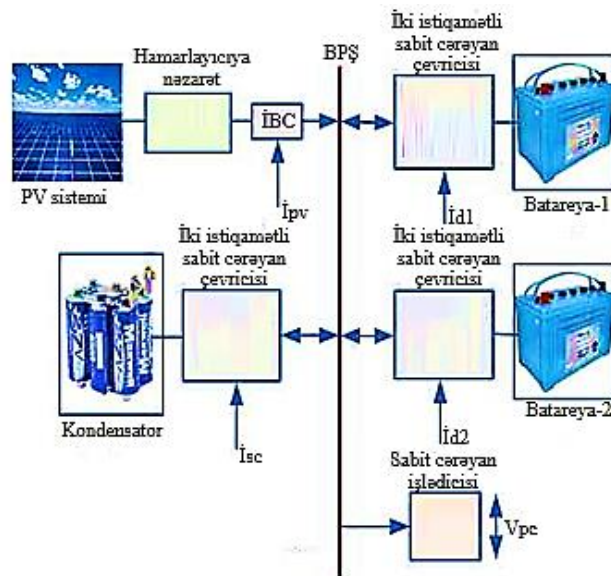


Şəkil 2. Təkmilləşdirilmiş hibrid sisteminin elektrik enerjisi balansının struktur sxemi

Külək enerjisi. Tarixən yelkənlərlə hərəkət edən gəmilər ideyası müasir texnologiyalarla yenidən canlanır. Flettner rotorları (dönən silindrik yelkənlər) və ya sərt qanadlı yelkənlər kimi sistemlər külək enerjisindən istifadə edərək gəmiyə əlavə hərəkət gücü verir. Bu birbaşa olaraq, əsas mühərrikin yükünü, dolayısı ilə ümumi yanacaq sərfiyyatını və generatorların istehsal etməli olduğu enerjini azaldır. Bu sistemlərin səmərəliliyi də küləyin sürətindən və istiqamətindən birbaşa asılıdır.

Enerji saxlama sistemləri. Enerji saxlama sistemləri (EES), xüsusilə də litium-ion batareya blokları, hibrid sistemlərdə enerji balansının tənzimlənməsi üçün ən kritik və çevik hissədir. Onların rolu sadəcə enerji saxlamaqla məhdudlaşmır:

- **Artıq enerjinin depolanması:** Generatorlar optimal rejimdə işləyərkən və ya günəş/küləkdən əldə edilən istifadə olunmayan artıq enerjini saxlayır.
- **Artıq yüklənmənin qarşısının alınması:** Köməkçi sükan qurğuları (thruster), kranlar və ya digər güclü avadanlıqlar qısa müddətə işə düşdükdə yaranan kəskin enerji tələbatını batareyalar ödəyir. Bu, əlavə generatorun işə salınmasının qarşısını alır.
- **"Fırlanan Ehtiyat"ın əvəzlənməsi:** Batareyalar ani olaraq yüksək güc təmin edə bildiyi üçün, ehtiyat generatoru işlək vəziyyətdə saxlamaq ehtiyacını aradan qaldırır.
- **Sıfır emissiyalı əməliyyat:** Limanlarda və ya ekoloji cəhətdən həssas zonalarda gəminin mühərrikləri söndürülərək tamamilə səssiz və təmiz enerji ilə hərəkət etməsini təmin edir.



Şəkil 3. Enerji saxlama sisteminin idarəetmə sxemi

Alternativ mənbələrin və ESS-in səmərəli işləməsi üçün onların fəaliyyətini sinxronlaşdırmaq və idarə edən mərkəzi bir "beyin"—**ağıllı güc idarəetmə sistemi** tələb olunur. Güc idarəetmə sistemi real vaxt rejimində şəbəkədəki yükü, generatorların vəziyyətini, batareyanın doluluq səviyyəsini və alternativ mənbələrdən daxil olan enerjini analiz edərək aşağıdakı tənzimləmə üsullarını tətbiq edir [3,4]:

1. **Artıq yüklənmənin azaldılması) algoritmi.** Gücləndirmə sistemi, gəmi şəbəkəsindəki güc tələbatını davamlı olaraq izləyir. Yükdə qısa müddətli və kəskin bir artım aşkar etdikdə, sistem yeni bir generatoru işə salmaq əvəzinə, tələb olunan əlavə gücü dərhal batareya sistemindən (ESS) şəbəkəyə ötürür. Yük normalaşdıqdan sonra batareya yenidən generatorlardan və ya alternativ mənbələrdən qidalanaraq doldurulur. Bu alqoritm generatorların sabit və optimal yük rejimində (adətən 75-85% gücdə) işləməsinə imkan yaradır.

2. **Yükün hamarlaşdırılması.** Günəş və külək enerjisi kimi fasiləli mənbələrdən gələn enerji axını qeyri-sabitdir. Gücləndirmə sistemi, bu dəyişkənliyi kompensasiya etmək üçün batareyalardan bufer kimi istifadə edir. Məsələn, günəş panellərinin üzərindən bulud keçdikdə yaranan enerji azalmasını batareya dərhal kompensasiya edir. Əksinə, günəşli havada tələbatdan artıq enerji istehsal olunduqda, bu enerji batareyalarda saxlanılır. Bu proses şəbəkədəki gərginlik və tezliyin stabilliyini təmin edir.
3. **Optimal generator idarəetməsi.** Gücləndirmə sistemi, gəminin ümumi enerji tələbatını, batareyanın doluluq səviyyəsini və alternativ mənbələrdən gələn gücü nəzərə alaraq, hər an üçün ən optimal sayda və formada generatorun işləməsi barədə qərar verir. Məqsəd, minimum sayda generatoru ən yüksək səmərəlilik nöqtəsində işlətməkdir. Tələbat azaldıqda, gücləndirmə sistemi artıq generatorları avtomatik olaraq söndürür və bununla da yanacağa əhəmiyyətli dərəcədə qənaət edir.
4. **Blackout-un qarşısının alınması və təhlükəsizliyin artırılması.** Ənənəvi sistemlərdə işləyən generatorlardan birində nasazlıq yaranarsa, bu, bütün gəmi şəbəkəsinin çökməsinə (blackout) səbəb ola bilər. Hibrid sistemlərdə isə batareya bloku fasiləsiz güc mənbəyi (UPS) funksiyasını yerinə yetirir. Generator sıradan çıxdığı anda, ESS şəbəkəni dərhal öz üzərinə götürərək naviqasiya, idarəetmə və təhlükəsizlik kimi kritik sistemlərin fasiləsiz işini təmin edir. Bu, heyətə problemi aradan qaldırmaq və ya ehtiyat generatoru işə salmaq üçün həyati əhəmiyyətli vaxt qazandırır [4,5,6].

Nəticə. Aparılmış araşdırmalardan məlum olmuşdur ki, gəmi elektrik stansiyasına alternativ enerji mənbələrinin və xüsusilə enerji saxlama sistemlərinin inteqrasiyası, enerji balansının tənzimlənməsi üçün sadəcə bir alternativ deyil, müasir gəmiçiliyin gələcəyi üçün zəruri bir addımdır. Həmçinin araşdırmalar göstərir ki, ağıllı güc idarəetmə sistemləri vasitəsilə tətbiq olunan dinamik tənzimləmə üsulları iqtisadi səmərə, ekoloji fayda, texniki etibarlılıq və əməliyyat təhlükəsizliyi kimi fundamental üstünlüklər yaradır. Nəticə olaraq məqalədə günəş, külək kimi alternativ enerji mənbələrinin və xüsusilə enerji saxlama sistemlərinin (ESS) gəmi elektrik şəbəkəsinə inteqrasiyası təklif olunur.

Ədəbiyyat

1. International Maritime Organization (IMO). "Amendments to the MARPOL Convention: EEXI and CII regulations." 2021-88 səh
2. Hansen, J. F., & Wendt, F. "Hybrid Power and Propulsion Systems for Ships." DNV GL Technical Report. 2015-24 səh
3. Sultanov E.F., Cəlilov T.A. Müasir gəmi elektrik stansiyaları və şəbəkələri, dərslik, ADDA, Bakı, 2018-330 səh.
4. Sultanov E.F., Məmmədov E.M., Əlicanov R.R. Hibrid texnologiyalardan istifadə etməklə gəmilərdə enerji səmərəliliyinin artırılması. "Elm və təhsilin əsasları" XIII Beynəlxalq elmi konfrans. Bakı 2025, səh. 236-240
5. Sultanov E.F., İsmayılov S.S. "Gəmilərdə alternativ enerji mənbələrindən istifadə imkanlarının araşdırılması"/ ADDA Elmi əsərlər №2, Bak; 2021, səh. 151-157
6. Sultanov E.F., İsmayılov S.S., R.R. Əlicanov. Günəş panelləri və onların gəmilərdə tətbiqinin araşdırılması. ADDA Elmi əsərlər №2, Bak; 2023, səh. 130-138.

Məqalə qəbul olunub: 30.10.25
Təvsiyə edib: prof. Lazımov T.M.