

UOT 629.12.066

GƏMİ ASINXRON MÜHƏRRİKLƏRİNİN TEXNİKİ İSTİSMAR PROSESİNDƏ DİAQNOSTİKASI

Sultanov E.F., İsmayılov S.S., Bayramova İ.P.

Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası

AZ1000, Bakı şəh., Z.Əliyeva küç., 18

E-mail: elshen_sultanov@mail.ru, sahib-ismayil@bk.ru, genclik76@mail.ru

Xülasə. *Məqalədə gəmi elektrik avadanlığında tətbiq edilən asinxron mühərriklərin texniki istismar zamanı saz vəziyyətdə saxlanılmasından bəhs edilir. Həmçinin, asinxron mühərriki şəbəkədən açmadan onun texniki saz olmasının diaqnostikasına imkan verən yeni qurğu təklif olunur.*

Abstract. *It is said about the preservation in normal condition of asynchronous motors of ship electrical equipment during technical operation in the article. The new device was also proposed, which allows to diagnose the technical condition of an asynchronous motor without disconnecting it from the network.*

Аннотация. *В статье говорится о сохранении в нормальном состоянии асинхронных двигателей судового электрооборудования при технической эксплуатации. Также предложено новое устройство, которое позволяет диагностировать техническое состояние асинхронного двигателя, не отключая его от сети.*

Açar sözlər: *gəmi, texniki istismar, asinxron mühərrik, təmir, diaqnostika*

Key words: *ship, maintenance, asynchronous motor, repair, diagnostics*

Ключевые слова: *судно, техническая эксплуатация, асинхронный двигатель, ремонт, диагностика*

Giriş. Son zamanlar asinxron maşınlar dünyada geniş miqyasda tətbiq edilməkdədir. Onlar əsas etibarilə, elektrik mühərrikləri kimi xalq təsərrüfatının bütün sahələrində həmçinin gəmilərdə geniş miqyasda istifadə edilir və elektrik enerjisini mexaniki enerjiyə çevirən ən əsas çeviricilərdir. Hazırda asinxron mühərriklər dünyada istehsal olunan elektrik enerjisinin yarından çoxunu sərf edir və əksər mexanizmlərin elektrik intiqalında geniş tətbiq edilir. Buna səbəb asinxron mühərriklərin quruluşunun sadəliyi, başqa mühərriklərə nisbətən iqtisadi cəhətdən əlverişli olması, işləmə etibarlılığının və f.i.ə.-nin yüksək olmasıdır [1, 2].

Elektrik maşınları cərəyanın növündən asılı olaraq, sabit və dəyişən cərəyan maşınlarına ayrılır. Dəyişən cərəyan maşınları isə elektromaqnit sisteminin xüsusiyyətlərindən asılı olaraq asinxron, sinxron və kollektorlu maşınlarla ayrılır. Təcrübələr göstərir ki, asinxron maşınının generator rejimində istifadəsi nadir hallarda baş verir. Bundan başqa, asinxron maşın gərginlik və faza tənzimləyicisi, tezlik və faza çeviricisi və s. bu kimi müxtəlif rejimlərdə də işlədilir.

Son vaxtlar, əsas etibarilə ilə məişət elektrik avadanlıqları üçün birfazlı asinxron mühərriklərin tətbiqi geniş yayılmışdır. Hazırda texnikanın bir çox sahələrində külli miqdarda müxtəlif quruluşlu asinxron maşınlar, o cümlədən, icra mühərrikləri, taxogeneratorlar, selsinlər, dönən (fırlanan) transformatorlar və s. geniş miqyasda tətbiq edirlər [1, 2].

Əsas hissə. Gəmi elektrik maşınlarının istismar zamanı texniki vəziyyətlərinin qiymətləndirilməsi, onların aşağıda verilən kəmiyyətləri əsasında qismən və ya tam sökülmədən texniki baxışı zamanı müəyyən etmək olar:

1. Dolaqlararası izolyasiya müqavimətlərinin normadan aşağı olması;
2. Dolaqların nəmliyi;
3. Qızma temperaturu;
4. İşləmə zamanı kənar səsin və əsmənin (titrəmənin) yaranması;

5. Statorla rotor arasında hava məsafəsinin dəyişməsi;

6. Hava (ventilyasiya) pərlərinin vəziyyəti və s.

Bundan başqa, texniki vəziyyətin qiymətləndirilməsində elektrik maşınının dolaqlarının izolyasiyasının pozulması da müəyyənləşdirilir [2, 3].

Dəniz registrinin tələblərinə əsasən (Hissə XI/2.3.2.1) gərginlik altında olan elektrik avadanlığı hissələrinin izolyasiya materialları asbest tərkibli olmamalıdırlar və dielektrik möhkəmliyə malik olmalıdırlar, həmçinin səthi ilə sızma cərəyanlarına qarşı davamlı, nəmlikdən və yağdan qorunmuş, eyni zamanda xüsusi möhkəmliyə malik olmalıdırlar. Yeyilmənin izləri, toxunmalar, qabıqlaşma və s. yoxlanılır. Gəmi elektrik maşınlarının və onların hissələrinin yuyulması üçün xüsusi vasitələrdən istifadə olunur (Benzin B-70, spirt, TS1 yanacağı, 113 frionun 1/3 həcmnin nisbətində qarışığı ilə və.s.).

Bu halda, maşınların istismar xüsusiyyətlərini, elektrik izolyasiyasının vəziyyətini, gəmiçiliyin göstərişlərini, böyük güclü xüsusi elektrik mühərriklərinin yuyulmasında gəmi şəraitində elektrik maşınının təmizlənməsi şərtlərini nəzərə almaq lazımdır.

Uyğun vasitənin istifadə olunması şərtlərinə, dəniz donanması gəmilərində texniki təhlükəsizlik qanunlarına, həmçinin dəniz donanması müəssisələrində təmizləmə, rəngləmə, izolyasiya etmə işlərində texniki təhlükəsizlik və istehsalat sanitariya qaydalarına və yanğın orqanları ilə razılaşdırılmış tələblərə riayət olunmalıdır.

Həmçinin, texniki istismar prosesində asinxron mühərrikin ayrıca götürülmüş bu və ya digər elementi, yaxud bir neçə elementi eyni zamanda öz funksiyalarını yerinə yetirmək qabiliyyətini bu və ya digər dərəcədə itirə bilər. Yastıqların yeyilməsi nəticəsində statorla rotor arasında hava məsafəsinin dəyişməsi, stator dolaqlarında sarğılar arasında qısa qapanma yaranması, qısa qapanmış rotorlu mühərriklərdə rotor çubuqlarının sınması və s. bu kimi hallarda mühərrik öz etibarlılığını itirmiş hesab edilir [2, 3, 4].

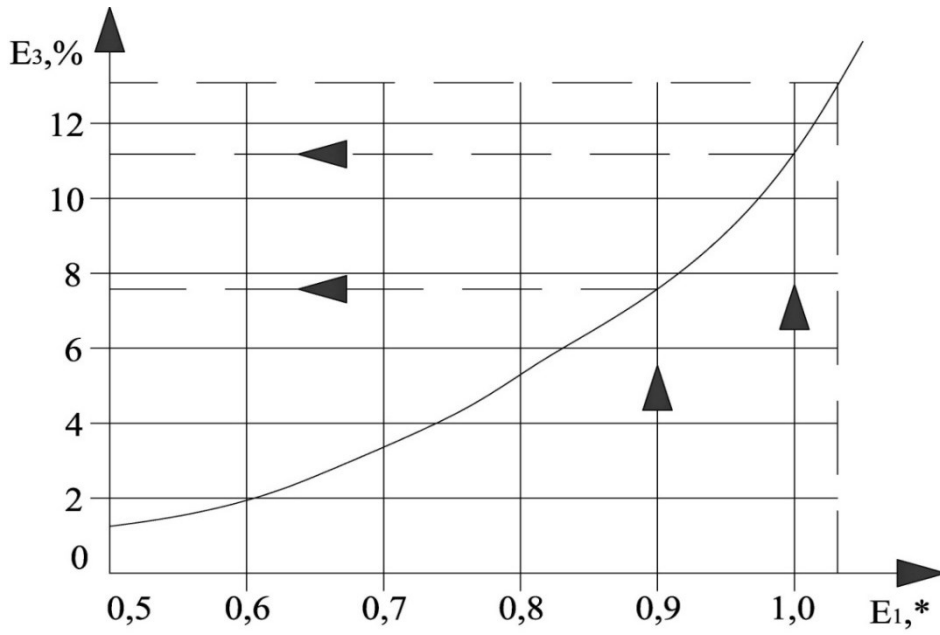
Belə hallarda mühərrikin parametrləri dəyişmiş olur. Bu vəziyyətdə mühərrikin istismar olunmasının davam etdirilməsi onun tamamilə sıradan çıxmasına səbəb ola bilər. Göstərilən mənfi halların qarşısını almaq üçün asinxron mühərrikin texniki cəhətdən saz vəziyyətdə olmasına vaxtaşırı nəzarət etmək lazımdır. Bu məqsədlə, işlənmiş mövcud üsullardan bir qismi mühərrikin laboratoriya şəraitində tədqiq olunmasını tələb edir, digər qisminin isə dəqiqliyi aşağıdır. Tərəfimizdən asinxron mühərrikin texniki saz olmasına istismar prosesində nəzarət etməkdən ötrü yüksək dəqiqlikli qurğu yaradılmışdır. Qurğunun iş prinsipi asinxron mühərrikdə yaranan bütün nasazlıqların onun stator EHQ-nə təsir göstərməsinə əsaslanır. Saz asinxron mühərrikdə statorun faza dolaqları bir-birinə nəzərən fəzada 120° sürüşmüş olur. Stator çevrəsi boyunca stator ilə rotor arasındakı hava məsafəsi və həmçinin stator və rotor dolaqlarının fazalarının parametrləri də eyni olur [3, 4, 5].

Elektrik mühərrikində hər hansı nasazlığın yaranması zamanı statorun faza dolaqlarının EHQ-ləri saz vəziyyətdəkinə nisbətən öz qiymətlərini müxtəlif dərəcədə dəyişirlər. Deməli, asinxron mühərrikin nasaz olmasını müəyyən etməkdən ötrü mühərrikin statorunda faza dolaqlarının EHQ-lərinə ayrı-ayrılıqda nəzarət etmək lazımdır.

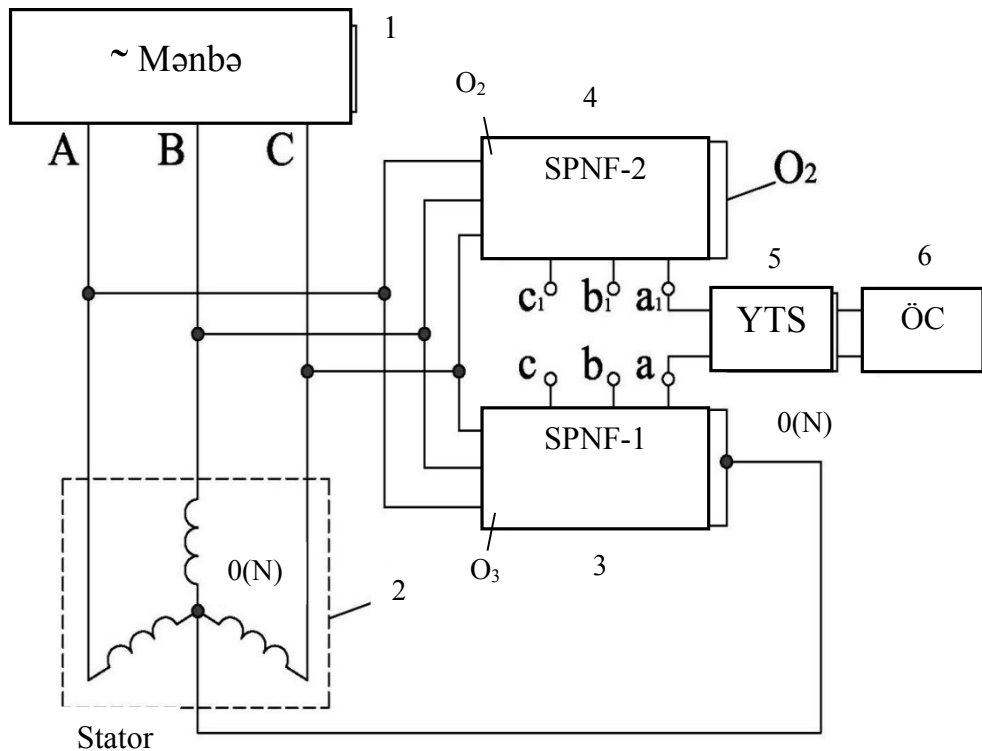
Baxılan qurğuda dəqiqliyi artırmaq məqsədilə, faza dolaqları EHQ-lərinə deyil, onların 3-cü harmonikalarına nəzarət olunur. EHQ-nin 1-ci harmonikası E_1 ilə 3-cü harmonikası E_3 arasında funksional asılılıq vardır. $E_3=f(E_1)$ asılılığı mühərrikin ideal yüksüz işləməsi təcrübəsindən alınır. Gücü 3 kVt olan mühərrik üçün təcrübədən alınmış belə asılılıq şəkil 1-də göstərilmişdir.

Göründüyü kimi, EHQ-nin 1-ci harmonikasının 10% dəyişməsi onun üçüncü harmonikasının təxminən 30% dəyişməsinə səbəb olur.

Qurğuya üçfazlı cərəyan mənbəyi 1, mühərrikin stator dolağı 2, sıfır potensiallı nöqtələr formalaşdırıcıları 3 və 4, yüksək tezliklər süzgəci 5 və ölçü cihazı 6 daxildir. Birinci formalaşdırıcı üç ədəd eyni aktiv müqavimətdən təşkil olunur, müqavimətlərin başlanğıcları mühərrikin sıxaclarına bağlanır, sonları isə O_3 nöqtəsində bir-birinə bağlanırlar. Şəkil 2-də asinxron mühərrikin texniki saz olmasının diaqnostikası qurğusunun funksional sxemi göstərilmişdir.



Şəkil 1. Asinxron mühərrikin stator EHQ-nin 3-cü və 1-ci harmonikalarının təsiredici qiymətləri arasındakı asılılıq



Şəkil 2. Asinxron mühərrikin texniki saz olmasının diaqnostikası qurğusunun funksional sxemi
 1 – dəyişən mənbə, 2 – stator, 3 və 4 – sıfır potensiallı nöqtələr formalaşdırıcıları,
 5 – yüksək tezliklər süzgəci, 6 – ölçü cihazı.

Bu formalaşdırıcının müqavimətlərinin orta nöqtələrindən a, b, c ucları çıxarılır. İkinci formalaşdırıcı 4 də üç ədəd eyni tipli aktiv müqavimətdən təşkil olunmuşdur. Bu müqavimətlərin də başlanğıcları mühərrikin stator sıxaclarına bağlanır, sonları isə O_2 nöqtəsində bir-birinə birləşdirilir, ikinci formalaşdırıcının müqavimətlərinin orta nöqtələrindən a_1 , b_1 , c_1 ucları çıxarılır. Süzgəc 5 gərginliyin 1-ci harmonikası ölçü cihazına buraxmır [4, 5].

Mühərrikin neytralı ilə 1-ci formalaşdırıcının neytralı birləşdirilməmiş olduqda, a və a_1 , b və b_1 , c və c_1 , nöqtələrinin potensialları eyni olur və həmin nöqtələrin potensialları fərqi sıfır olur. Mühərrikin neytralı ilə 1-ci formalaşdırıcının neytral nöqtəsi birləşdirilmiş olduqda, stator dolağı EHQ-lərinin 3-cü harmonikalrı 1-ci formalaşdırıcının müqavimətlərinə tətbiq olunur. Bu zaman a və a_1 nöqtələrinin potensialları fərqi mühərrikin stator dolağının A fazasının, b və b_1 nöqtələrinin potensialları fərqi B fazasının, c və c_1 nöqtələrinin potensialları fərqi C fazasının EHQ-nin 3-cü harmonikasına mütənəşib olur. Mühərrikdə nasazlıq olmadıqda a və a_1 , b və b_1 , c və c_1 , nöqtələrinin potensialları fərqi eyni qiymətdə olur. Bu onu göstərir ki, stator dolaqlarının EHQ-ləri eynidir. a və a_1 , b və b_1 , c və c_1 , uclarını növbə ilə süzgəcin girişinə bağlamaqla, uyğun olaraq mühərrikin stator dolağının A, B, C fazalarının EHQ -lərinin 3 -cü harmonikalrı ölçülür. Əgər ölçmələrin nəticələri eyni olarsa, deməli mühərrik texniki saz vəziyyətdədir. Əgər ölçmələrin nəticələri müxtəlif olarsa, deməli, mühərrik nasazdır [4, 5].

Nəticə. Məqalədə gəmi asinxron mühərriklərinin texniki istismar prosesində saz vəziyyətdə olmasına nəzarət etmək üçün qurğu təklif olunur. Həmin qurğu gəmi təmirə dayandığı zaman mühərrikin sökülərək təmirə göndərilməsinə ehtiyac olub olmadığını müəyyən etməyə, təmirdən yeni çıxmış mühərriklərin təmir olunma keyfiyyətini qiymətləndirməyə imkan verməklə yanaşı asinxron mühərrikin şəbəkədən açılmadan, texniki saz vəziyyətdə olmasının məsafədən diaqnostikası üçün də tətbiq oluna bilər.

Ədəbiyyat

1. Osmanov, S. “Elektrik maşınları”, II- hissə / S.Osmanov. – Bakı: - 2013. - 256 s.
2. Копылов, И. “Электрические машины”./ И. Копылов.- Москва: Логос, - 2000.-607 с.
3. Российский морской регистр судоходства. Правила классификации и постройки морских судов, [Часть XV]. -Санкт-Петербург./Автоматизация, НД № 2-020101-114, 2019. - 65 с.
4. Sultanov, E.F. “Gəmi elektrik maşınlarında stator sarğılarının izolyasiyasının korlanması səbəblərinin araşdırılması”/E.F. Sultanov, S.S. İsmayılov, E.M. Məmmədov // Energetikanın problemləri, - Bakı: -2020. №4, - səh. 69-73.
5. Sultanov, E.F. “Gəmi elektrik avadanlığının texniki istismarı”, dərslik/ E.F. Sultanov, E.M. Məmmədov - Bakı: ADDA, -2018. - 284 s.

Məqalə qəbul olunub: 07.04.2021

Təvsiyə ediblər: t.e.d., prof. A.M.Qafarov

УДК 621.3

МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МОЩНОСТИ СУДОВЫХ ВАЛОГЕНЕРАТОРОВ

Рак А.Н.

*Донецкий национальный технический университет
Украина, г. Донецк, ул. Артема, 58
E-mail: AlexanderRakDonNTU@gmail.com*

Аннотация. В настоящее время в судовой отрасли всего мира очень большое внимание уделяется сокращению выбросов в окружающую среду парниковых газов. Для этого на судах применяются валогенераторы, приводимые в действие от главных двигателей, которые позволяют вырабатывать электрическую энергию, но вопросы их технической эксплуатации практически не рассматриваются. Целью данной статьи является разработка упрощенной методики расчета, позволяющей оценить эксплуатационные характеристики таких систем не только в номинальном режиме, а и в режимах отличных от него. Данная статья будет полезна не только электромеханикам морских судов, а другим специалистам, занимающимся технической эксплуатацией флота.

Xülasə. Hazırda dünya gəmiçiliyində ətraf mühitə istixana qazı tullantılarının azaldılmasına böyük diqqət yetirir. Bunun üçün gəmilərdə elektrik enerjisi istehsal etməyə imkan verən əsas mühərriklər tərəfindən idarə olunan val-generatorlarından istifadə edirlər, lakin texniki istismar məsələləri praktik olaraq nəzərə alınmur. Bu məqalənin məqsədi bu cür sistemlərin istismar xüsusiyyətlərini yalnız nominal rejimdə deyil, həm də ondan başqa rejimlərdə qiymətləndirməyə imkan verən sadələşdirilmiş hesablama metodologiyası hazırlamaqdır. Bu məqalə yalnız dəniz gəmilərinin elektrیکləri üçün deyil, donanmanın texniki istismarı ilə məşğul olan digər mütəxəssislər üçün də faydalı olacaqdır.

Abstract. Currently, the shipping industry around the world pays great attention to reducing greenhouse gas emissions into the environment. For this purpose, the ships use shaft generators driven by the main engines, which make it possible to generate electrical energy, but the issues of their technical operation are practically not considered. The purpose of this article is to develop a simplified calculation methodology that makes it possible to assess the operational characteristics of such systems not only in the nominal mode, but also in modes other than it. This article will be useful not only to electricians of sea vessels, but to other specialists involved in the technical operation of the fleet.

Ключевые слова: методика, определение, генерация, система, валогенератор, главный двигатель, морское судно

Açar sözlər: metodika, tərif, nəsil, sistem, val-generatoru, baş mühərrik, dəniz gəmisi

Key words: technique, definition, generation, system, shaft generator, main engine, motor vessel ship

Введение. В настоящее время для производства всех видов энергии на морских судах механической, тепловой и электрической применяется углеводородное топливо. При его сжигании в атмосферу выбрасываются окислы серы (SO_x), окислы азота (NO_x) и твердые частицы (ТЧ). Контроль за выбросами осуществляется в соответствии с требованиями Приложения VI к конвенции MARPOL 1973/78, направленными на снижение эмиссии парниковых газов (ПГ) [1].

Так, в соответствии с [1] выбросы ПГ рекомендуется учитывать с помощью индекса энергоэффективности (Energy Efficiency Design Index – EEDI), который характеризует энергетические возможности технического средства при наименьших затратах ресурсов для выработки энергии.

В ряде случаев, оценка EEDI производится с учетом установленного на судне оборудования, пренебрегая возможностями применения *инновационных технологий* в энергетике, интегрированным подходом к определению тех возможностей повышения EEDI, которые не очевидны, но присутствуют при проектировании судна. В простейшем случае оценка EEDI производится по комплексному показателю качества судовой энергетической установки (СЭУ), исходя из ее расходных и ресурсных показателей.

В то же время, в современном двигателестроении и судостроении не только декларируется, но и происходит переход от частных случаев повышения КПД агрегата к комплексной интегральной оценке всех аспектов влияния на энергетические показатели самого судна.

Повышение эффективности и экологической безопасности проектов были изучены на фоне необходимости удовлетворения требований ИМО, вступивших в силу в 2013г. Исследования показали, что потенциал для экономии энергии велик, в некоторых случаях он достигает 50%.

В связи с возникшей потребностью введения показателя, свидетельствующего об эффективности судна в отношении топливной экономичности и выбросов ПГ, предлагалось ввести конструктивный индекс CO_2 , а также индикатор эксплуатационной эффективности, который определяет эффективность судна по количеству CO_2 в тоннах, выброшенного отдельной установкой за период рейса судна на тонну перевезенного груза на расстояние в 1 милю.

Снижение эмиссии ПГ определяется в соответствии с Поправкой к Приложению VI к МАРПОЛ по техническим мерам сокращения выбросов ПГ с судов в соответствии с Резолюцией ИМО МЕРС.203(62) вступившей в силу 1 января 2013 года.

Таким образом, данные вопросы являются очень актуальными в настоящее время.

Постановка задачи. В настоящее время вопросами производства всех видов энергии на судах: механической, электрической и тепловой занимаются механики, а вопросами распределения электрической энергии, контролем ее потребления и качеством отвечают электромеханики. Поэтому электромеханику очень важно владеть информацией о генерирующих возможностях на судах. Кроме того в разных источниках приводится противоречивая информация о мощности валогенераторов (ВГ), например $P_{ВГ}=(0,05-0,06) \cdot N_{ГД}$ [2] или $P_{ВГ}=0,07 \cdot N_{ГД}$ [3]. Какое же значение следует принимать? На этот вопрос мы и должны ответить в данной работе.

Цель работы – разработка методики, позволяющей определить возможности получения электроэнергии с помощью валогенераторов.

Анализ полученных результатов. Прежде чем перейти к рассмотрению данного вопроса остановимся на следующем. *Достигнутый* индекс EEDI должен определяться в соответствии с пересмотренным «Руководством ИМО по методу расчета Конструктивного EEDI для новых судов, 2012», приведённом в Резолюции МЕРС.212(63) [4]:

$$EEDI = \frac{\left(\prod_{j=1}^M f_j \right) \cdot \left(\sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)} \right) + (P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE}) +}{f_i \cdot f_c \cdot Capacity \cdot v_c \cdot f_w} + \frac{\left(\left(\prod_{j=1}^M f_j \cdot \sum_{i=1}^{nPTI} P_{PTI(i)} - \sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} \cdot P_{AEff(i)} \right) \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE} \right) - \left(\sum_{i=1}^{neff} f_{eff(i)} \cdot P_{eff(i)} \cdot C_{FME} \cdot SFC_{ME} \right)}{f_i \cdot f_c \cdot Capacity \cdot v_c \cdot f_w} \quad (1)$$

где SFC – удельный расход топлива двигателя [$г/кВт \cdot час$]; C_F – безразмерный переводной коэффициент между расходом топлива в двигателе ($г$) и выбросами CO_2 ($г$), определёнными по содержанию углерода в конкретном топливе [$г CO_2 / г топлива$]; P_{MEi} , – показатель мощности каждого ГД, равный 75% от его номинальной мощности за вычетом мощности, потребляемой ВГ (в случае его наличия); P_{AE} – показатель требуемой мощности вспомогательных двигателей (ДГ) для обеспечения электроэнергией при максимальной загрузке судна; P_{PTI} – показатель, равный 75% номинальной мощности, потребляемой каждым гребным электродвигателем с учётом механических потерь в нем и без учёта потерь в генераторе; P_{AEff} – показатель сокращения электрической энергии за счёт использованию энергоэффективных технологий (использование отходящего тепла ГД). P_{eff} – показатель сокращения мощности ГД за счёт применения эффективных инновационных технологий в пропульсивной установке (ПУ) при 75% мощности ГД; f_i – фактор вместимости судна, учитывающий необходимость выполнения требований по ограничению вместимости судна, например требований которые применяются к судам ледового класса; f_j – корректирующий фактор, учитывающий специфическую конструкцию элементов судов, например, судов ледового класса; f_w – безразмерный коэффициент, учитывающий снижение скорости при определённом неблагоприятном состоянии моря в зависимости от высоты и частоты волны, а также от скорости ветра; f_{eff} – коэффициент доступности каждой инновационной технологии; V_c – скорость судна, измеренная на глубокой воде с учётом соответствующей вместимости (дедвейт DWT/валовая вместимость GT в зависимости от типа судна) в соответствии с вышеуказанным Руководством [узлы]. Более детально с расчетом коэффициентов f_i, f_j, f_w и f_{eff} можно ознакомиться в [4].

Для того, чтобы понять почему именно 75% от мощности ГД, необходимо обратиться к рис.1.

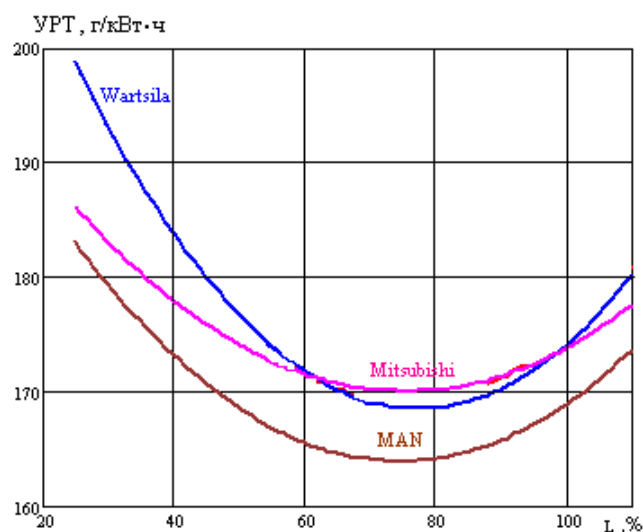


Рис. 1. Удельный расход топлива для малооборотных двигателей в зависимости от нагрузки

Как следует из рис.1 минимальный удельный расход топлива ГД независимо от его производителя приходится именно на нагрузку 75% [5], что естественно сказывается на снижении выбросов ПГ в атмосферу.

При этом в соответствии с рис. 2 при данной нагрузке все виды электрических генераторов имеют максимальный КПД [6].

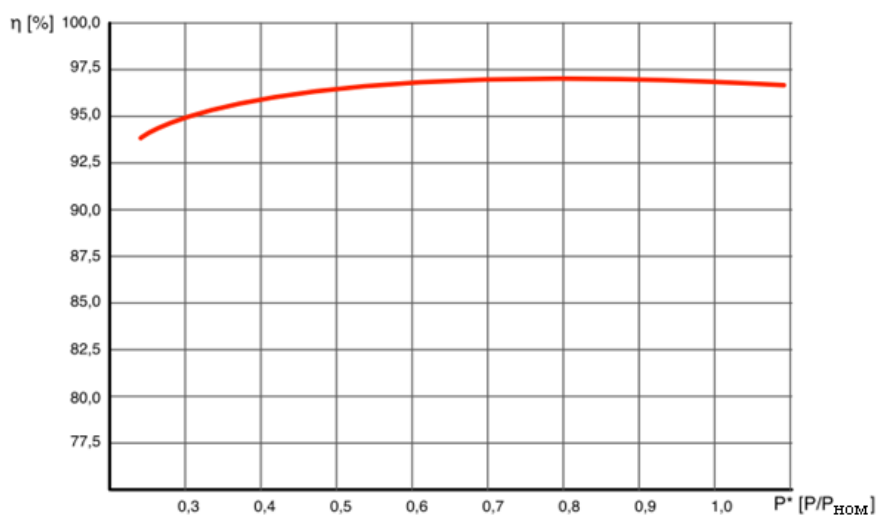


Рис.2. Зависимость КПД генераторов от нагрузки

Зависимость мощности, получаемой от валогенератора в зависимости от частоты вращения представлена в [7] и на рис. 3. Частота вращения $0,5 \cdot n_{\text{ном}}$ считается «условно» устойчивой [8].

Руководящие документы ИМО не дают четких рекомендаций по выбору ВГ. Например, в [4] указывается, что мощность ВГ устанавливается на основании ходовых испытаний и приводится схема (рис.4).

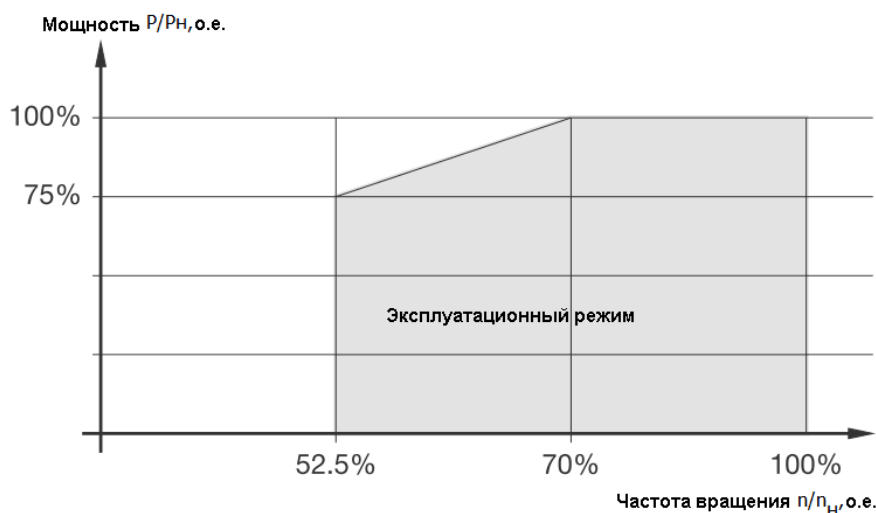


Рис 3. Зависимость мощности, генерируемой валогенератором от частоты вращения

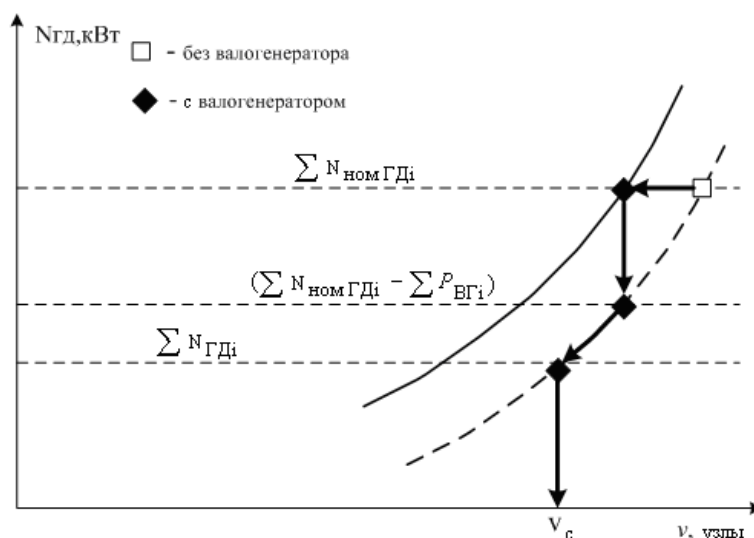


Рис. 4. Схема для определения мощности валогенератора на основании ходовых испытаний (v_c – скорость судна)

В [9] представлены исследования, что для ГД с мощностью 2...25 МВт мощность ВГ можно определить, пользуясь соотношением:

$$P_{\text{ВГ}} = -0,0029 \cdot N_{\text{ГД}}^2 + 0,1131 \cdot N_{\text{ГД}} + 0,169, \quad (1)$$

где $N_{\text{ГД}}$ – мощность ГД, кВт. Вид зависимости $P_{\text{ВГ}} = f(N_{\text{ГД}})$, полученной в соответствии с (1), представлен на рис. 5.

Для более мощных ГД методики иные, а кроме того существуют разные схемы установки ВГ, которые представлены на рис. 6.

Для примера рассмотрим порядок определения мощности судового ВГ при його работе от ГД WÄRTSILÄ – SULZER RTflex-96С, имеющего номинальную мощность 61774 кВт и частоту вращения 98,5 об/мин. при непосредственном его включении в линию гребного вала (рис.5,а). Как правило, это многополюсные малооборотные генераторы.

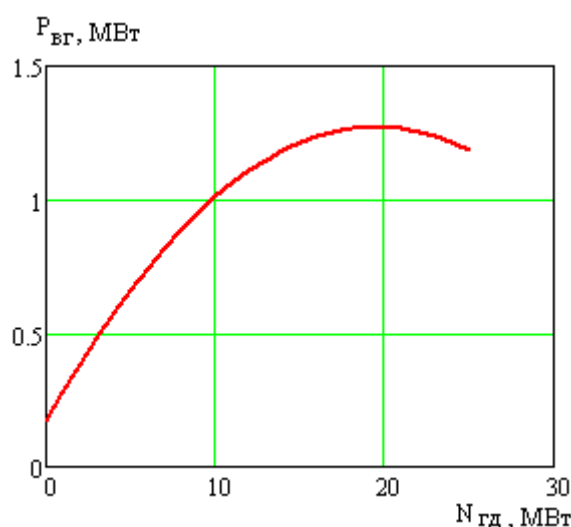


Рис. 5. Мощность валогенераторов для судов с ГД 2-25МВт

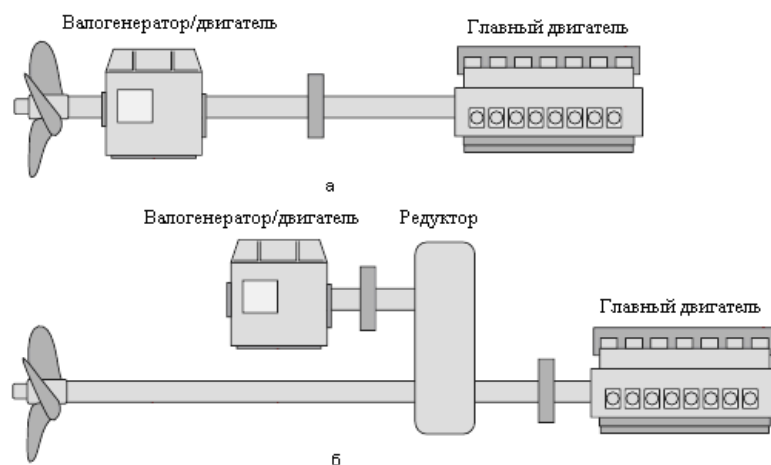


Рис.6. Наиболее распространенные схемы установки валогенераторов: непосредственная установка валогенератора в линию гребного вала (а); привод валогенератора от вала отбора мощности (б)

В соответствии с рекомендациями, приведенными в [7], подведенная к ВГ от ГД мощность определяется следующим образом:

$$P_{BG.MEX} \leq N_H \cdot \left[\left(\frac{n}{n_H} \right)^{2,4} - \left(\frac{n}{1,05 \cdot n_H} \right)^3 \right], \quad (2)$$

где N_H – номинальная мощность ГД, кВт; n_H – номинальная частота вращения, об/мин.; n –

текущая частота вращения, об/мин. Первая составляющая уравнения (2) $N_H \cdot \left(\frac{n}{n_H} \right)^{2,4}$ – винто-

вая характеристика ГД з ВГ. Вторая составляющая $N_H \cdot \left(\frac{n}{1,05 \cdot n_H} \right)^3$ – винтовая характеристика

при работе ГД с «запасом мощности»; 1,05 – коэффициент, учитывающий запас мощности при работе ГД. Обычно он должен составлять 4-7%. Графическая зависимость, полученная с помощью (2) представлена на рис.7.

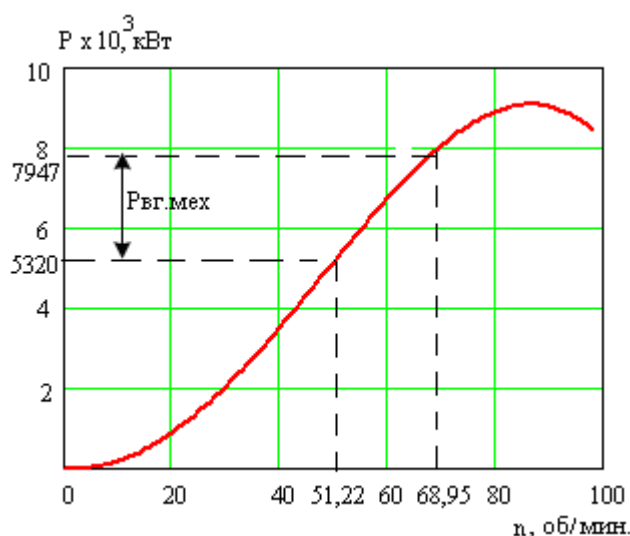


Рис. 7. Зависимость подведенной к валогенератору мощности от частоты вращения главного двигателя

В [10] первая составляющая выражения (2) аппроксимируется полиномиальной зависимостью:

$$P_{ВГ} = P_H \cdot \left[C_2 \cdot \left(\frac{n}{n_H} \right)^2 + C_1 \cdot \left(\frac{n}{n_H} \right) + C_0 \right], \quad (3)$$

Значения коэффициентов полинома, представленного в (3) приведены в табл.

Сравнение результатов расчета винтовых характеристик ГД с ВГ, полученных в соответствии с выражениями (2) и (3) приведено на рис.8.

Таблица

Значение коэффициентов полиномиальной зависимости (3)

Диапазон частот вращения $\left(\frac{n}{n_H} \right)$	C_2	C_1	C_0
0,6-0,96	1,336	-0,321	0
0,96-1	0	1,941	-0,941

В соответствии с рис. 6 для указанного на рис.3 диапазона частот вращения определяем соответствующие им значения мощностей. Определяем разность между ними, которая в данном случае является механической мощностью, подведенной к генератору:

$$\Delta P = P_{ВГ.МEX} = P_{70\%} - P_{52,5\%}, \text{ кВт} \quad (4)$$

Электрическая мощность, генерируемая ВГ, в этом случае составит:

$$P_{ВГ.Э} = P_{ВГ.МEX} \cdot \eta_{МEX}, \quad (5)$$

где $\eta_{МEX}$ - механический КПД системы. В расчетах можно принять $\eta_{МEX} = 0,98...0,99$.

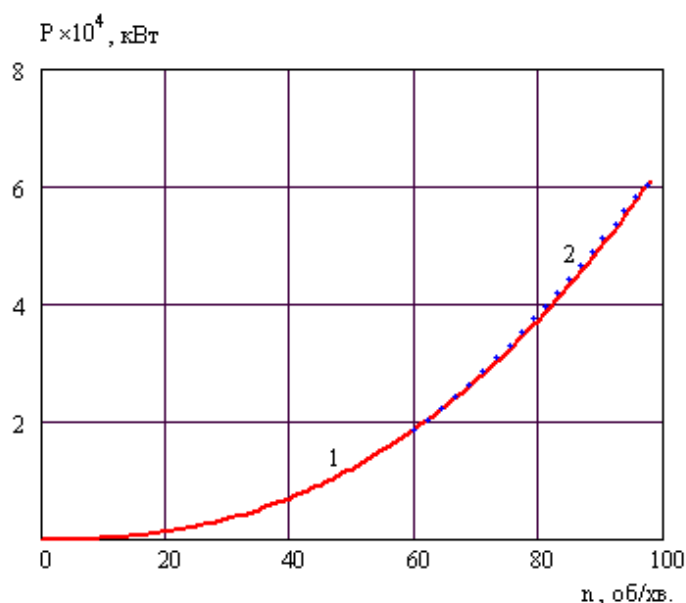


Рис. 8. Сравнение результатов расчета винтовых характеристик главного двигателя с валогенератором: 1 – по первой составляющей (2); 2 – в соответствии с (3)

Также существуют еще один способ определения мощности, генерируемой ВГ, который представлен в [11]. Он связан с построением винтовых характеристик ГД. В выражении (2) «скромно» умалчивается о номинальной винтовой характеристике, описываемой выражением

$$N_H \cdot \left(\frac{n}{n_H} \right)^3.$$

В данном случае она является вспомогательной, в отличие от упомянутых выше

в (2) характеристик, но при этом с ее помощью можно непосредственно определить мощность, генерируемую ВГ. Общий порядок определения мощности, генерируемой ВГ представлен на рис. 9.



Рис. 9. Порядок определения мощности валогенератора

Если в состав ПУ входят электродвигатели, которые обеспечивают вспомогательно-аварийное электродвижение, с определением параметров которого можно ознакомиться в [8], то с помощью указанного выше метода можно достаточно просто определить и мощность приводного электродвигателя (ПД). Порядок ее определения представлен на рис.10.

Результаты определения мощности ВГ или ПД для конкретного рассматриваемого выше типа ГД представлены на рис.10.

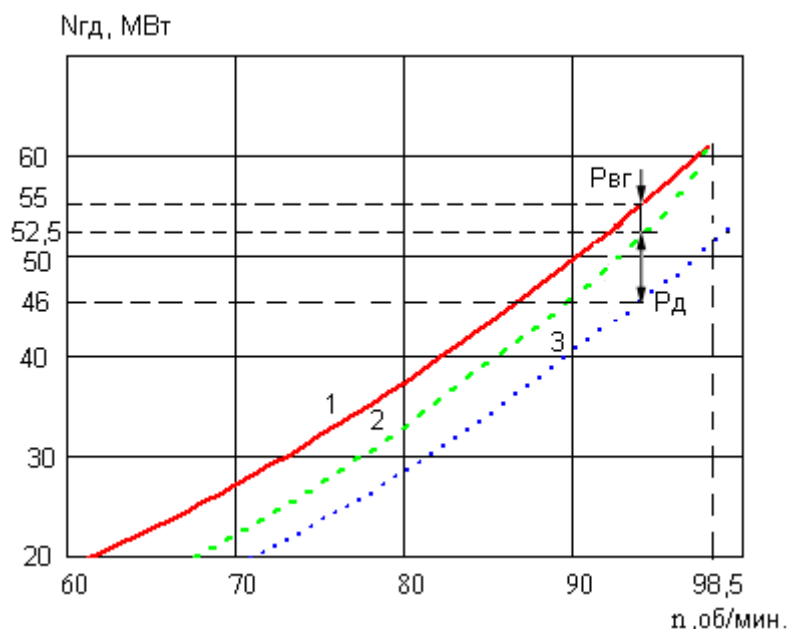


Рис. 10. Порядок определения мощности валогенератора и приводного электродвигателя при его работе с главным двигателем WÄRTSILÄ – SULZER RTflex-96С номинальной мощностью 61774кВт и частотой вращения 98,5об/мин.

Для определения генерируемой мощности в схеме (рис.5,б), как правило, это высокооборотные генераторы, следует пользоваться соотношением (5):

$$N_{ВГ} = N_{ГД} \cdot (1 - \eta_p \cdot \eta_M \cdot \eta_{Г}) \quad (5)$$

где η_p – КПД редуктора. η_M – КПД разъединительной муфты; $\eta_{Г}$ – КПД ВГ. В расчетах следует применять значения $\eta_p=0,967$; $\eta_M=0,99$ и $\eta_{Г}=0,97$, соответственно.

Выводы.

1. Производство электроэнергии с помощью ВГ полностью соответствует требованиям конвенции MARPOL 1973/78, направленным на снижение эмиссии ПГ.
2. Значение нижней границы частоты вращения $0,5n_{ном}$ соответствует «условно» устойчивой работе ГД. При мощности $(0,75-0,8)N_{ГД}$ достигается максимальный КПД ВГ и минимальный расход топлива ГД, а также минимальные выбросы ПГ.
3. Подходы к расчету мощности ВГ зависят от мощности ГД.
4. Для определения мощности ВГ, установленного непосредственно в линию гребного вала наиболее простым и наглядным является метод винтовых характеристик. Применение данного метода не требует большого объема дополнительной информации, кроме паспортных данных ГД. Погрешность расчета при этом не превышает $\pm 5\%$.
5. Метод винтовых характеристик также позволяет определять мощность электрических приводных двигателей, входящих в состав ПУ, обеспечивающих вспомогательно-аварийное электродвижение.
6. При определении мощности ВГ, приводимых в действие через вал отбора мощности, следует пользоваться методом, учитывающим потери в элементах ПУ.

Литература

1. МАРПОЛ. Книга III, пересмотренное Приложение VI к МАРПОЛ «Правила предотвращения загрязнения воздушной среды с судов», Издание ЗАО «ЦНИИМФ», 2012. 50с.
2. MAN Energy Solutions. 11,000 teu container vessel. Future in the making. MAN Energy Solutions. 2450 Copenhagen SV, Denmark P16. [Электронный ресурс] - URL: www.man-es.com. (дата обращения: 28.04.2021).
3. Bas Kwasielczyk. Hybrid propulsion systems. Efficiency analysis and design methodology of hybrid propulsion systems. Master thesis. For the degree of Master of Science for Marine Engineering Marine Technology at Delft University of Technology. Conducted at MAN Diesel & Turbo SE, Augsburg. 170 P. [Электронный ресурс] - URL: <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid:5baa1059-6a25-4bfc-8328-ae6fda18c598?collection=education> (дата обращения: 07.05.2021).
4. 2014 Guidelines on the method of calculation of the attained energy efficiency design index (EEDI) for new ships, as amended (resolution мepc.245(66), as amended by resolutions MEPC.263(68) and MEPC.281(70)) /MEPC.1/Circ.866 30 January 2017. [Электронный ресурс] - URL: <http://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention/AirPollution/Documents/MEPC%201-CIRC%20866%20%28E%29.pdf>. (дата обращения: 29.01.21).
5. Рак, А.Н., Корощенко, А.В., Капанадзе, Г.А. К вопросу настройки и эксплуатации дизелей с электронным управлением // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития: материалы международной научно-технической конференции (17-19 октября 2018 г.): в 2ч./ отв. За вып. О.А. Белов. –Ч.1. –Петропавловск-Качатский: Камчат ГТУ: -2019. – с.97-102.
6. Костенко, М.П. Электрические машины. В 2-х ч. Ч.2. – Машины переменного тока. Учебник для студентов высш. техн. учеб. заведений./ М.П. Костенко, Л.М. Пиотровский -Изд. 3-е, перераб. Л., «Энергия», -1973. -648с.
7. MAN B&W G45ME-C9. Project Guide. [Электронный ресурс] - URL: https://marine.man-es.com/applications/projectguides/2stroke/content/epub/G45ME-C9_5.pdf. (дата обращения 08.05.2021).
8. Рак О. М. Особливості визначення потужності допоміжно-аварійного електроприводу руху судна з комбінованою дизель-електричною силовою установкою / О. М. Рак, В. В. Бушер, О. В. Глазева // Електромеханічні і енергозберігаючі системи, р-ISSN 2072-2052, е-ISSN 2074-9937. – Кременчук: КрНУ, – 2020. – Вип. 4/2020 (52). – с. 8–16. Access mode: <https://doi.org/10.30929/2072-2052.2020.4.52.8-16> http://ees.kdu.edu.ua/wp-content/uploads/2021/03/01_8-16_Рак_Бушер_Глазева.pdf. (дата обращения: 08.05.2021).
9. Cezary Behrendt. Characteristic parameters for propulsion systems cooperating with shaft generator on feeder container ships / 58th ICMD 2017 6 - 8 September 2017, Prague, Czech Republic P.26-31.
10. Marine Installation Manual X92DF. Issue 2020-08. [Электронный ресурс] - URL: [https://www.wingd.com/en/documents/x92df/engine-installation/mim/marine-installation-manual-\(mim\)/](https://www.wingd.com/en/documents/x92df/engine-installation/mim/marine-installation-manual-(mim)/) (дата обращения: 07.05.2021).
11. Marine installation manual. Issue May 2004. [Электронный ресурс] - URL: <http://www.wartsila.com>. (дата обращения: 28.04.2021).

Мәqалә qəbul olunub: 05.04.2021
Tövsiyə ediblər: t.e.d., prof. A.M.Qafarov