“AZƏRBAYCAN XƏZƏR DƏNİZ GƏMİÇİLİYİ” QSC
AZƏRBAYCAN DÖVLƏT DƏNİZ AKADEMİYASI

ISSN 2220-1025

AZƏRBAYCAN DÖVLƏT DƏNİZ AKADEMİYASININ

ELMİ ƏSƏRLƏRİ

PROCEEDINGS OF

AZERBAIJAN STATE MARINE ACADEMY

№2

BAKI-2018

Baş redaktor
t.ü.f.d., dos. ***Ç.M.Əliyev***

Baş redaktorun müavini:
t.e.d., prof. ***Z.Z.Şərifov***

Redaksiya heyəti

t.ü.f.d., dos. V.B.Sadıqov
Elmi işlər və beynəlxalq əlaqələr üzrə prorektor
(elmi redaktor)

t.e.d., prof. V.V. Panin
Dövlət İnfrastruktura və texnologiya
Universitetinin (Ukrayna) rektoru

t.e.d., prof. S.Q. Çulkin
adm. Makarov adına Dövlət Dəniz və Çay
Donanması Universitetinin (Rusiya)
innovativ fəaliyyət üzrə prorektoru

t.e.d., prof. O.A. Farxi
Varna Texniki Universitetinin
(Bolqarıstan) rektoru

t.e.n., dos. S.A. Oqay
adm. Nevelski adına Dövlət Dəniz
Universitetinin (Rusiya) rektoru

t.e.d., prof. Q.V. Yeqorov
Odessa Dəniz Mühəndisliyi Bürosunun
(Ukrayna) baş direktoru

t.e.d., prof. A.S. Vaskov
Uşakov adına Dövlət Dəniz Universitetinin
(Rusiya) "Dəniz nəqliyyatının istismarı və
gəmi sürücülüyü" kafedrasının müdiri

t.ü.f.d., dos. E.D.Məmmədov (məsul katib)

Bölmələr üzrə redaktorlar:

1. Gəmiqayırma və gəmi təmiri texnologiyası: *t.e.d., prof. A.T.Məmmədov;*
t.e.d., prof. N.Ş.İsmayılov.

2. Gəmiçilik və su nəqliyyatının istismarı: *t.e.d., prof. Z.Ə.Rüstəmov;*
t.ü.f.d., dos. E.O.Abbasov;
t.ü.f.d dos. F.M.Kəlbiyev.

3. Gəmiçilik texnikası: *t.e.d., prof. A.M.Qafarov; t.ü.f.d., dos. E.F.Sultanov*
t.ü.f.d., dos. A.Ş.İsmayılov; t.e.d., prof. F.A.Vaskeviç (Rusiya);
t.e.d., prof. A.Y.Samoylenko (Rusiya)

4. Gəmiçilikdə təbiət elmləri problemləri: *t.e.d., prof. V.P. Buşlanov (Rusiya);*
f-r.e.n., dos. S.A.Əliyev, r.ü.f.d., dos. B.K. Ağarzayev

****

Redaksiya:
E-mail: sciencejournal@acsc.az
http://adda.edu.az

"ADDA-nın Elmi Əsərləri" jurnalı AAK-ın nüfuzlu elmi nəşrləri siyahısına daxildir və elmi dərəcə iddiaçılarının orijinal tədqiqatlarının nəticələrini dərc edir.

ISSN 2220-1025
Qeydiyyat nömrəsi - 311, ildə iki nömrə nəşr edilir.

©Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası, 2018

MÜNDƏRİCAT

GƏMİQAYIRMA VƏ GƏMİ TƏMİRİ TEXNOLOGİYASI…… 7

Əliyev Ç.M. Gəmi maşın və avadanlıqlarının etibarlılığının qiymətləndirilməsində riyazi statistika metodlarının tətbiqinin bəzi aspektləri..... 7
Cabbarov T.Q., Quluzadə F.F. Fasiləsiz tökmə ilə alınmış tikinti armaturunun korroziyaya davamlılığının yaxşılaşdırılması..... 10
Фарионова Т.А., Казимиренко Ю.А., Казимиренко С.А. Разработка электронного каталога композиционных материалов для судостроения и судоремонта..... 13
Казимиренко Ю.А. Разработка научных основ проектирования и защиты элементов судов и плавучих сооружений для радиоактивных грузов..... 19
Гафаров А.М., Шарифов З.З., Садыгов В.Б. Анализ основных видов разрушения ответственных высокоточных деталей судовых машин и механизмов…… 25
Qurbanov F.N. Polad 35-in heterofaz materiallarla elektroqiğilcim (EQL) legirlənməsi…… 28
Şərifov Z.Z., Şirinov T.İ., Fərhadov M.A. Titan - nitrid örtüyünə malik azlegirli karbonlu poladların sulfat məhlullarında korroziyaya davamlılığının tədqiqi..... 34
Гафаров А.М., Калбиев Ф.М., Мамедов Э.Д. Исследование влияния различных факторов на надежность судовых машин и механизмов..... 37
Михеев А.И., Серова Т.А. Морская коррозия и способы ее устранения..... 40

GƏMİÇİLİK VƏ SU NƏQLİYYATININ İSTİSMARI……. 49

*Мустафаев В.О.*Методы и технологические операции подводно-технических работ 49
Миронов А.В., Найденов Е.В., Субанов Э.Э. Пространственно-временная область процесса маневрирования при расхождении судов в море…… 53
Маранов А.В., Коршунов М., Кондратюк Э., Ганношина И.Н. Перспектива развития 3D технологий в судоходстве. Голографические проекции……. 58
Студеникин Д.Е., Сенченко В.Г., Кондратьев А.И., Попов А.Н. Быстрый алгоритм определения параметров воздействия окружающей среды на крупнотоннажное судно в стесненной обстановке…… 63
Субанов Э.Э., Кондратьев А.И., Попов А.Н. Алгоритм прогнозирования для предупреждения столкновений судов в рабочей зоне E-navigation ……. 67
Шматок Ю.В. Уровни экологического управления в деятельности морского порта… 74
Терентьева Л.В. Оценка распределения длительности обработки судов у грузового терминала морского порта……. 80
Ганиев А.Я. Расчет траектории поворота судна при действии ветра и течения..... 83

GƏMİÇİLİK TEXNİKASI…… 91

Абдулрахманов К.А., Мамедов Э.М. Характеристики асинхронного электропривода при неизменности магнитного потока..... 91
Федоровский К.Ю., Федоровская Н.К. Устройство теплоотвода экологически безопасной замкнутой системы охлаждения..... 94
Həmidov M.H., Məmmədova F.V., Qracova Ş.H. Müasir gəmilərdə elektroenergetik komplekslərin araşdırılması..... 99
Həsənov E.A. Gəmi lövbər qurğusunun elektrik mühərrikinin yaratdığı firlandırıcı momentinin artırılması..... 103
İsmayılov A.Ş., Axundov İ.S. 6L20 markalı baş gəmi dizeli müxtəlif növ maye yanacaqlarla işlədikdə başlanğıc püskürmə təzyiqinin və yanacaq verilməsinin qabaqlama bucağının

onun göstəricilərinə təsirinin nəzəri tədqiqi..... 110
Kərimov Z.X., Cəfərli M.K. Elektron idarəetməli yeni konstruksiyalı forsunkası olan bilavasitə silindrə benzin püskürmə sistemindəki hidrodinamik proseslərin riyazi modeli və onun tətbiqinin bəzi nəticələri..... 117
Talıbov N.Ş., Rəhmanov M.X. 6Ч12/14 markalı köməkçi gəmi mühərrikinin sınaq qurğusu və sınağın nəticələrinin hesablanması metodikası..... 123

GƏMİÇİLİKDƏ TƏBİƏT ELMLƏRİ PROBLEMLƏRİ..... 128

Алиева И.К. Образование и рассасывание зарядов в кинетике электрического разрушения полимерных композиций..... 128
Дадашзаде М.А., Бабаев Г.М. Определение коэффициента гидравлического сопротивления при турбулентном течении жидкости 134
İslamov İ.C. Ifrat yüksək tezlik diapazonlu dairəvi dalğaötürən telekommunikasiya qurğusunun modelləşdirilməsi..... 137
Mayboroda O.M. Mathematical modeling of highspeed ship's hydrodynamics..... 147
Mustafayev Ə.Q., Kərimova İ.M., Bayramova F.İ. Frezer tipli baltanın toxunan səthlərində temperatur gərginliklərinin tənzimlənməsi üsulları..... 151
Əsgərov R.X., Əliyeva K.A. Çoxlüləli üfüqi quyulara maye axını məsələsi..... 156

CONTENT

SHIPBUILDING AND SHIP REPAIR TECHNOLOGY…….. 7

Alıyev Ch.M. Some aspects of applying math statistics methods in evaluating the reliability of ship machinery and equipment…….. 7
Jabbarov T.G., Guluzadeh F.F. Improvement of corrosion resistance of construction armature obtained by continuous casting…….. 10
Farionova T.A., Kazymirenko Y.A., Kazymirenko S.A. Preparation of an electronic catalog of composite materials for shipbuilding and ship repair……. 13
Kazymyrenko Y.A. Development of scientific bases for designing and protection of elements of vessels and floating facilities for radioactive cargoes……... 19
Gafarov A.M. Sharifov Z.Z., Sadigov V.B. Analysis of main types of destruction of high-precision parts of ship machine and mechanisms ……. 25
Gurbanov F.N. Electric spark method of steel 35 with heterophase materials …… 28
Sharifov Z.Z. Shirinov T.I., Farhadov M.A. Study of corrosion resistance of low carbonated steel with titanitium-nitrate shell in the sulfate mixture…… 34
Gafarov A.M., Kalbiev F.M., Mammadov E.D. Research of impact of different factors on reliability of vessel machines and mechanisms……. 37
Mikheyev A.I., Serova T.A. Sea corrosion and its elimination ways…… 40

SHIPPING AND EXPLOITATION OF WATER TRANSPORT……..…… 49

Mustafayev V.O. Methods and technological operations of submarine engineering workings.. 49
Mironov A.V., Naydenov E.V, Subanov E.E. Space-time domain of the maneuvering process in ships collision avoidance actions at sea……. 53
Maranov A., Korshunov M., Kondratyuk E., Gannoshina I. Perspective of development of 3D technologies in navigation. Holographic projections…..... 58
Studenikin D.E., Senchenko V.G., Kondratyev A.I., Popov A.N. Rapid algorithm for defining the parametris of environmental impact on a large tonnage vessel in a cramped atmosphere … 63
Subanov E.E., Kondratiev A.I., Popov A.N. Algorithm of forecasting for preventing collisions in the E-navigation's trial area…….... 67
Shmatok Y.V. Levels of environmental management in the sea port activity…… 74
Terenteva L.V., Evaluation of the distribution of the processing time of vessels at the cargo terminal of the seaport……. 80
Ganiyev A.Y. Calculation of turning trajectory of vessel under the influence of wind and currents…… 83

SHIPPING TECHNOLOGY…….…… 91

Abdulrahmanov K.A., Mammadov E.M. Characteristics of an asynchronous electro drive in case of unchangeable magnetic flux…… 91
Fedarovskiy K.Y., Fedorobskaya N.K. Heat dissipating device of the environmentally safely closed cooling system…… 94
Hamidov M.H., Mammadova F.V., Grajova Sh.H. Investigation of electro energetic complexes in modern vessels ……. 99
Hasanov E.A. Increasing of torque generated by electric motor of the ship anchor device……. 103
Ismayilov A.Sh., Akhundov I.S.. Theoretical investigation of influences of variation of the initial pressure of fuel injection and the advanced angle of fuel injection on the indicatory

parameters of the main ship engine type of 6L20 consuming different types of liquid fuel..... 110
Kerimov Z.X., Jafarli M.K. The mathematical model of the hydrodynamic processes in the direct petrol injection system with news designed electronically controlled injector and some results of its application..... 117
Talibov N.Sh., Rahmanov M.Kh. The calculating method of experimental results and testdevice of auxiliary ship engine model 6412/14..... 123

NATURAL SCIENCE PROBLEMS IN NAVIGATION……...…. 128

Aliyeva I.K. Formulation and absorption of charges in the kinetics of electrical destruction of polymer compositions…… 128
Dadashzadeh M.A., Babayev G.M. Determining of coefficient of hydraulic resistance in turbulant liquid flow ……. 134
Islamov I.J. Modeling of circular waveguide telecommunication device with high frequency… 137
Mayboroda O.M. Mathematical modeling of highspeed ship's hydrodynamics……..… 147
Mustafayev A.G., Karimova I.M., Bayramova F.I. The method of adjustment for temperature tensions on the touching surface of Frezer ax..... 151
Askerov R. Kh., Aliyeva K.A. The problem of liquid flow into multilayered horizontal wells…… 156

GƏMİQAYIRMA VƏ GƏMİ TƏMİRİ TEXNOLOGİYASI

UOT 630.36

GƏMİ MAŞIN VƏ AVADANLIQLARININ ETİBARLILIĞININ QİYMƏTLƏNDİRİLMƏSİNDƏ RİYAZİ STATİSTİKA METODLARININ TƏTBİQİNİN BƏZİ ASPEKTLƏRİ

Əliyev Ç.M.

Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası
Az1000, Bakı şəh., Z. Əliyeva küç., 18
E-mail: chingiz.aliyev@acsc.az

Xülasə. *Məqalədə gəmi maşın və avadanlıqlarının etibarlılığının qiymətləndirilməsi zamanı yaranan bir sıra məhdudiyyətlər araşdırılır. Etibarlılığın qiymətləndirilməsi üçün riyazi statistika metodlarından istifadə edilməsi metodikası analiz edilir.*

Аннотация. *В статье рассматриваются некоторые ограничения при оценивании надежности судовых машин и оборудования. При оценке надежности применена методика математической статистики.*

Abstract. *A number of the constraints arising in the appraising process of shipwreck machines and equipment`s availability are analyzed in the given article. In order to assess the reliability of the mathematical statistics and methods is analyzed.*

Açar sözlər: *gəmi, maşın, avadanlıq, etibarlılıq, imtina, təsir, zədələnmə, metodika, riyazi statistika.*

Ключевые слова: *судно, машина, оборудование, надежность, отказ, действие, повреждение, методика, математическая статистика*

Key words: *ship, machine, equipment, reliability, rejection, impact, damage, methods, mathematical statistics*

Giriş. Gəmi maşın və avadanlıqlarının etibarlılığını qiymətləndirmək ücün bir qayda olaraq ehtimal nəzəriyyəsinin və riyazi statistikanın metodlarından istifadə edilir. Bu halda detalların, maşın və avadanlıqların mümkün vəziyyətləri iki göstərici ilə, işləyən və işləməyən halla qiymətləndiririlir. Etibarlılıq göstəriciləri təsadüfi kəmiyyətin funksiyası, etibarlılıq modelləri isə, onların paylanması adlandırılır. Ehtimal nəzəriyyəsi metodlarından gəmi maşın və avadanlıqlarının etibarlılıq göstəricilərinin qiymətləndirilməsində, layihə variantlarının analizində, istismarın optimal şəraitinin təyin edilməsində, sınaqların proqramlarının işlənməsində və məhsulun keyfiyyətinə nəzarət edilməsində geniş istifadə etmək mümkündür.

Əsas hissə. Gəmi maşın və avadanlıqlarının etibarlılığının qiymətləndirilməsində ehtimallı yanaşma, detalların və onların birləşmələrinin mürəkkəb strukturunu nəzərə alsa da, detalların materiallarının fiziki-kimyəvi xassələrinə toxunmur, onların qarşılıqlı əlaqəsini və proseslərin fiziki mahiyyətini nəzərə almır, imtinalarına səbəb olan daxili və xarici faktorların təsirini öyrənmir.

Bu baxımdan ehtimallı yanaşma və etibarlılığın statistik nəzəriyyəsinin tətbiqi bir sıra prinsipial məhdudiyyətlərə malikdir [1], [2]:

- etibarlılığı qiymətləndirmək üçün vahid obyektlərdən istifadə etmənin qeyri- mümkünlüyü;
- imtinanın növünün yalnız formal-riyazi hipotezlərdən istifadə etməklə təyin edilməsinin qeyri-mümkünlüyü;
- xarici təsirlərin (mexaniki, kimyəvi, elektrik, istilik) nəzərə alınmasının qeyri-mümkünlüyü;
- obyektə təsir edən gərginliklərin dəyişməsi nəticəsində yaranan imtinaların dəyişməz təbiəti haqqında hipotezlərin yerinə yetirilməsinin qeyri-mümkünlüyü;

- müxtəlif sürətlə və eyni zamanda baş verən bir neçə dağılma prosesinin nəzərə alınmasının mürəkkəbliyi,

Göstərilənlər, etibarlılığın fiziki nəzəriyyəsinin inkişafını şərtləndirən əsas amil olmaqla yanaşı. gəmi maşın və avadanlıqlarının etibarlılığına təsir edən fiziki proseslərin determinəedilmiş, yaxud funksional qanunauyğunluqlarının müddəalarını da nəzərdə tuta bilər.

- Etibarlılığın xassələrini təyin edən gəmi maşın və avadanlıqlarının vəziyyətləri və onların parametləri x_i (məsələn, mexaniki, elektrik, istilik möhkəmliliyi) giriş parametlərinin z_i və zamanın *t* funksiyaları kimi götürülə bilər

$$x_i = f(z_1, z_2, z_3, \dots, z_R, t). \quad (1)$$

z sırasında, istismar şəraitini xarakterizə edən parametrlər (məsələn, gərginlik, temperatur, mühitin xarakteristikası) və materialın vəziyyətini (mexaniki, elektrik, maqnit) göstərən faktorlar da nəzərdə tutulur. Lakin maşın və avadanlıqların vəziyyətini və işləməsini kifayət qədər düzgün izah edən (1) funksional asılılığının olması belə, onun imtina zamanı özünü necə aparacağını göstərə bilməz. Belə ki, $z_1, z_2, z_3, \dots, z_R$ arqumentləri və təyinedici x_i parametrləri bir qayda olaraq təsadüfi, yaxud yarımtəsadüfi kəmiyyətlərdir.

Buna görə etibarlılığın fiziki nəzəriyyəsi istismar zamanı gəmi maşın və avadanlıqlarının materiallarının və detallarının dəyişməsi qanunauyğunluqlarını öyrənmək üçün baza rolunu oynayır, imtinaların riyazı modelini qurmaq və etibarlılığın xarakteristikasını qiymətləndirmək üçün əsas kimi götürülür.

Gəmi maşın və avadanlıqlıarının öz resurslarını işlətməsi, imtinaların baş verməsi, bərpaolunmaz zədələrin yığılması, detalların və birləşmələrin köhnəlməsi ilə bağlıdır.

Zədələnmələr mexaniki (yorulma, çatvermə, yeyilmə, plastiki deformasiyaların yığılması və s.) və fiziki-kimyəvi (korroziya, kavitasiya, absorbsiya və s.) mənşəli ola bilərlər. Bir çox zədələnmələr qarışıq xarakterli də ola bilərlər. Məsələn, yeyilmə prosesləri mexaniki, fiziki, kimyəvi və elektrik mənşəli olurlar.

Gəmi maşın və avadanlıqlarının işləmə qabiliyyətlərinin itirilməsinə səbəb olan proseslərin fiziki mahiyyəti submikroskopik, mikroskopik və makroskopik səviyyələrdə öyrənilməlidir.

Zədələnmələrin və bütövlükdə imtinaların qiymətləndirilməsi üçün əsas mənbə eksperimental tədqiqatlar, sınaqlar və istismar məlumatlarıdır.

Bu məlumatlar bir qayda olaraq təsadüfi kəmiyyətlər olurlar.

Təsadüfi kəmiyyətlər o kəmiyyətlərə deyilir ki, onların qiyməti təcrübədən-təcrübəyə təsadüfi olaraq dəyişir. Əgər təsadüfi kəmiyyət yalnız son, yaxud hesablanmış qiymətlər çoxluğunu qəbul edirsə diskret, qapalı, açıq və sonsuz intervalda istənilən qiyməti alırsa fasiləsiz adlanır.

Paylanmanın inteqral funksiyası, elə ehtimala deyilir ki, təsadüfi kəmiyyət qeyd edilmiş x qiymətindən az qiymətə malik x_i qiymətini qəbul edir.

$$F(x) = p(x_i < x). \quad (2)$$

Paylanmanın əsas xassələri aşağıdakılardır:

$$F(-\infty) = 0;\ \ F(+\infty) = 1;\ \ 0 \le F(x) \le 1;\ \ p(a < x_i < b) = F(b) - F(a). \quad (3)$$

Təsadüfi kəmiyyətin paylanması sıxlığı aşağıdakı kimi yazılır:

$$f(x) = \lim_{\Delta \to 0} \frac{F(x + \Delta x)}{\Delta x} = \frac{dF(\mathrm{x})}{dx} = F(\mathrm{x})$$

Paylanma sıxlığının xassələri aşağıdakılardır:

$$f(-\infty < x < +\infty) \ge 0 \quad \int_{-\infty}^{+\infty} + f(\mathrm{x})\,\mathrm{dx} = 1, \qquad \mathrm{F(x)} = \int_{-\infty}^{x} dF(\mathrm{x}) = \int_{-\infty}^{x} f(\mathrm{x})\,\mathrm{dx} \quad (4)$$

$$p(a < x < b) = F(b) - F(a) = \int_{a}^{b} f(\mathrm{x})\,\mathrm{dx} \quad (5)$$

Paylanmanın şərti sıxlığı, paylanmanın sıxlığının, təsadüfi kəmiyyətin qiymətinin qeyd edilmiş qiymətdən artıq olacağı ehtimalına nisbətən təyin edilir:

$$\lambda(x) = \frac{f(x)}{p\{x_i x^2\}} = \frac{f(x)}{1-F(x)}. \quad (6)$$

Əgər obyektin imtinaya qədər işləmə vəziyyətinə təsadüfi kəmiyyət kimi baxsaq, onda paylanmanın inteqral funksiyası - imtina ehtimalına, paylanmanın sıxlığı - işləmənin paylanma sıxlığına, paylanmanın şərti sıxlığı - imtinalatrın intensivliyinə uyğun olacaqdır.

Təsadüfi kəmiyyətin xarakteristikaları üçün paylanma funksiyalarından deyil, onlar haqqında daha çox məlumat verən və münasib olan ədədi göstəricilərdən istifadə etmək daha məqsədə uyğundur. Təsadüfi kəmiyyətlərin əsas xarakteristikaları riyazi gözləmə, dispersiya, momentlər, moda, median və variasiya əmsalıdır.

Riyazi gözləmə, təsadüfi kəmiyyətin orta qiymətidir.

Diskret təsadüfi kəmiyyələr üçün riyazi gözləmə

$$M(x) = x_{or} = \sum_i x_i \rho(x_i) \quad (7)$$

fasiləsiz təsadüfi kəmiyyətlər üçün riyazi gözləmə

$$M(\mathrm{x}) = \int_{-\infty}^{+\infty} xf(\mathrm{x})\,\mathrm{dx} = \int_{-\infty}^{+\infty} xdF(\mathrm{x}) \quad (8)$$

qeyri- mənfi təsadüfi kəmiyyətlər üçün riyazi gözləmə

$$M(\mathrm{x}) = \int_0^{+\infty} \left[1-F(\mathrm{x})\right]\mathrm{dx} = \int_0^{+\infty} \rho(\mathrm{x})d\,\mathrm{x} \quad \text{kimi ifadə edilir} \quad (9)$$

Riyazi gözləmənin əsas xüsusiyyətləri:

$$M(c+x) = c + M(x), \quad M(cx) = cM(x), \quad M(x+y) = M(x) + M(y),$$
$$M(x \cdot y) = M(x) \cdot M(y). \quad (10)$$

Burada *c*- konstant, *x* və *y* asılı olmayan təsadüfi kəmiyyətlərdir.

Riyazi gözləmə eyni zamanda $F(x)$ paylanmasının birinci tərtib başlanğıc momentidir. n-tərtibli başlanğıc momenti aşağıdakı kimi yazılır:

$$M_n(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} x^n\,\mathrm{dF(x)} \quad (11)$$

Təsadüfi kəmiyyətlərin dispersiyası, onun riyazi gözləmədən sapmasının kvadratının riyazi gözlənməsidir:

$$D(x) = M[x - M(x)]^2 = M(x^2) - M^2(x). \quad (12)$$

Fasiləsiz təsadüfi kəmiyyət üçün dispersiya

$$D(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} [x - M(x)]^2 dF(x) \quad \text{kimi ifadə edilir} \quad (13)$$

Dispersiyasiyanın əsas xassələri aşağıdakılardır:

$$D(c+x) = D(x), D(cx) = c^2 D(x), D(x+y) = D(x) + D(y), D(x \cdot y) =$$
$$= M(x) \cdot M(y) + M^2(x) \cdot D(y) + M^2(y) \cdot D(x). \quad (14)$$

Dispersiya təsadüfi kəmiyyətin səpələnməsini xarakterizə edir və $F(x)$ paylanmasının ikinci tərtib mərkəzi momentidir. n - tərtibli mərkəzi moment aşağıdakı kimi yazılır:

$$D_n(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} \left[x - M\left(x\right)\right]^n dF\left(x\right) \quad (15)$$

Səpələnmə daha çox orta kvadratik sapma ilə xarakterizə olunur və onun vəzni təsadüfi kəmiyyətin vəzni ilə eyni olur

$$\sigma = \left|\sqrt{D(x)}\right| \quad (16)$$

Təsadüfi kəmiyyəsin variasiya əmsalı - orta kvadratik sampanın riyazı gözləməyə nisbətindən təyin olunur:

$$\gamma_{x=\frac{\sigma_x}{M(x)}} \quad (17)$$

Median (orta qiymət), paylanmanın inteqral funksiyası 0,5-ə bərabər olduqda , fasiləsiz təsadüfi kəmiyyətin qiymətinə deyilir. Median - kvantilin xüsusi halıdır. ρ səviyyəsinin kvantili, ($\rho(x \le u_p) = F(u_p) = F(u_p)p$ olduqda) u_p qiymətidir. Kvantil – $F(u_p) = p$ tənliyin köküdür. Median $-p = 0{,}5$ səviyyəsinin kvantilidir. Moda - paylanma sıxlığı maksimum qiymət aldıqda təsadüfü kəmiyyətin qiymətinə deyilir.

Mərkəzləşdirilmiş təsadüfi kəmiyyət $x`$ təsadüfi kəmiyyətin ilkin qiymətindən riyazi gözləməni çıxmaqla alınır:

$$x` = x - M(x) \quad (18)$$

Normalaşdırılmış təsadüfi kəmiyyət $\bar{x}$, təsadüfi kəmiyyətin ilkin qiymətini, orta kvadratik sapmaya bölməklə alınır

$$\bar{x} = \frac{x}{\sigma_x} \quad (19)$$

Nəticə.Təsadüfi kəmiyyətlərin əsas parametrlərinin xarakteristikalarının analizi göstərir ki, təsadüfi kəmiyyətlərin paylanma qanunlarından istifadə etməklə gəmi maşın və avadanlıqlarının etibarlılığı və uzunömürlülüyü ilə bağlı məsələləri həll etmək olar.

Ədəbiyyat

1. Невзоров В.Н., Сучак Е.В. Надежность машин и оборудования. Красноярск: СГТУ, 1998, 240 с.
2. Гафаров А.М. Прогрессивные методы механической обработки: в 2-х т. Т.1, Баку: Наука, 2001, 286 с.

Tövsiyə edib: t.e.d., prof. ***A.T.Məmmədov***

UOT 536.42.669.14

FASİLƏSİZ TÖKMƏ İLƏ ALINMIŞ TİKİNTİ ARMATURUNUN KORROZİYAYA DAVAMLILIĞININ YAXŞILAŞDIRILMASI

Cabbarov T.Q., Quluzadə F.F.

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti
AZ1010, Bakı, Azadlıq pr., 20
E-mail: tahir-cabbarov@mail.ru q.feride3@mail.ru

Xülasə. *Fasiləsiz tökülmüş slittinq pəstahlarından alınmiş A500C sinifli tikinti armaturlarının səthi qüsurlarına və korroziyaya davamlılığına yayma texnologiyasının təsiri öyrənilmişdir.*

Abstract. *It was found the influence of rolling technology of the continuous cast steel billet by slitting on surface defects and corrosion resistance of a building bars grade A500S.*

Аннотация. *Изучено влияние технологии прокатки непрерывно литой заготовки слиттингом на поверхностные дефекты и коррозионную стойкость строительной арматуры класса А500С.*

Açar sözlər: *slittinq ,fasiləsiz tökmə, pəstah, armatur, korroziyaya davamlılıq*

Key words: *continuous cast steel billet , slitting, construction armature, corrosion resistance*

Ключевые слова: *непрерывно литая заготовка, слиттинг, строительная арматура, коррозионная* стойкость

Giriş. Müasir metallurji mini zavodlar bütöv metallurji əməliyyatları özündə cəmləşdirə bilən iri metallurji kombinatlar qarşısında əhəmiyyətli dərəcədə iqtisadi üstünlüyə malik olurlar[1-2]. Ancaq bütün bu üstünlüklərlə yanaşı bəzi xüsusiyyətlər mövcuddur ki, onlar tikinti armaturlarının keyfiyyət göstəricilərini aşağı salırlar.

Bütün mini zavodlar əsasən fasiləsiz tökmə pəstahlarından istifadə edirlər, hansı ki, əvvəlcədən korputdan yayma üsulu ilə alınmış pəstahın makrostrukturundan aşağı keyfiyyətli alınırlar.Yayma zamanı korputun uc hissəsi –harada ki, əsasən metallurji qüsurlar yığılır, kəsilib atılır. Ondan başqa korputun qızdırılması ilə yaranan böyük miqdarda istilik təsiri qızmar təzyiqlə emala məruz edilməsilə dendritmikroqeyribircinsliliyi aradan qaldırır və yayığın bütün en kəsiyində homogenləşməni təmin edir. Pəstahları fasiləsiz tökmə maşınında adi azkarbonlu poladları tökdükdə metalın təkrar oksidləşməsindən və kristallaşdırıcı maye poladın maqnitli qarışdırılmaması səbəbindən pəstahların səthində qüsurlar alınır.

Məsələnin qoyuluşu. Slittinqdən istifadə etməklə və eyni zamanda 2-4 mm çubuq armaturun alınması ilə pəstahların yayılması demək olar ki, bütün zavodlarda həyata keçirilir. Təyin edilib ki, çəki əmsalı 125x125 mm en kəsikli pəstahdan 2 çubuq armaturun slittinqə yayılmasında metalın daxili strukturunun vəziyyətinin keyfiyyəti səkkiz tonluq külçədən bir çubuğa yayılmış armaturla müqayisədə orta hesabla 50 dəfə az olur [3]. Aparılmış tədqiqatlar göstərib ki, yayma ilə bir çubuğa alınmış armatur, slittinqdə iki çubuğa ayrılmaqla alınmış armaturdan daha yüksək korroziyaya davamlı olur.

Alınmış nəticələrin analizi. Pəstahların və deformasiya edilən məmulatların en kəsiyində likvasiya və çatlar şəklindəki qüsurların analizində struktur – matrisa yanaşmasından istifadə edərək [3] uzununa yaymada formadəyişmə prosesindən asılı olaraq, hazır armaturun səthində çat şəklində yaranmış qüsurun ehtimal olunmasını miqdarca qiymətləndirməyə və analız etməyə imkan yaradan riyazi model alınmışdır.

Modeldə hesabatı aparmaq üçün baza verilənləri kimi ilkin pəstahdakı likvasiya qüsurlarının tutduğu sahənin cəmi götürülmüşdür.

$$S_{lik} = \sum_{i=2}^{n} \left(\frac{b_{i-1}+b_i}{2} \cdot l_i \right) \quad , \tag{1}$$

Burada n- likvasiya düyünlərinin sayı; S_i –likvasiya elementinin sahəsi, b_{i-1}–i-1 düyünündəki likvasiyanın eni, b_i- i-m düyünündəki likvasiyanın eni, l_i – i – vektorunun uzunluğu.

Likvasiya qüsurlarının ümumi sahəsi qüsurların şəkillərinin skan edilməsi nəticəsində alınmışdır.

Likvasiyanın əmsalı hesablanır :

$$K_{lik} = \frac{S_{lik}}{S_P} , \tag{2}$$

Burada S_{lik}- likvasiyanın en kəsik sahəsi ;

S_P – hamarlanmış yayığın en kəsiyi ;

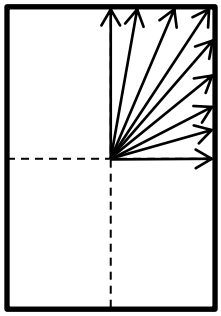
Aydındır ki, K_{lik}–nə qədər az olarsa, likvasiya bir o qədər az olar və onun hamarlanmış yayığın texnoloji xassələrə təsiri də o qədər az olar. Matrisa modelində bu göstəricilərdən istifadə etmək üçün verilmiş düsturu hamarlanmış yayığın matrisasının komponentləri kimi yazaq. Hamarlanmış yayığın matrisasının özü bir neçə matrisadan ibarət olur. [F] , [h] , …. [pi] , hansılar ki, öz növbəsində aşağı hədli matrisalardan təşkil oluna bilirlər ($a_1, a_2 \ldots\ldots, a_n$).

Məsələn,

$$[A]=\begin{bmatrix} [F] \\ [h] \\ [CP] \\ [PO] \\ [P\dot{I}] \end{bmatrix} , \tag{3}$$

Burada [F] – en kəsik formasının matrisası; [h]- likvasiyanın matrisası; [CP]- hamarlanmış yayığın xassələrinin matrisası (temperatura, plastiklik xassəsi); [PO]- avadanlıq parametrlərinin matrisası ; [Pi]- kalibrlərin yeyilmə matrisasıdır.

Nümunə kimi pəstahın [F] en kəsiyinin formasının dəyişmə matrisi göstərilib, hansı ki, matrisanın komponentlərindən hər biri vektor formasında verilir, hamarlanmış yayığın en kəsiyi, iki qonşu vektorların yaratdığı üçbucaqların sahəsi kimi tapılır:



$$[F] = \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \end{bmatrix}, \tag{4}$$

$$S_i = \frac{1}{2} a_i \, a_{i+1} \sin\alpha, \tag{5}$$

Burada a_i , a_{i+1}- forma matrisinin elementləridir; α – bütün en kəsik üçün matrisa yanaşmasında constant bucağıdır. Bütün üçbucaqların sahəsini toplayıb en kəsiyinin sahəsini alırıq:

$$S_p = \frac{360}{n} \cdot \frac{1}{2} \sin\alpha \sum_{i=1}^{n-1} (a_i a_{i+1}) \, , \tag{6}$$

Burada n- forma matrisindəki vektorların sayıdır. Analoji olaraq, likvasiya formasının matrisası [h] və keçidlər üzrə deformasiya prosesində onun dəyişməsi formalaşır .

Likvasiya formasını təyin etmək üçün likvasiya formasının əmsalı təklif olunur :

$$k_{fl} = \frac{\sum_{i=2}^{n} h_i}{max_{i=1}^{n} b_i} \quad , \tag{7}$$

Burada h_i – likvasiya elementlərinin uzunluğu ; b_i- düyündəki likvasiyanın enidir.

Aparılmış tədqiqatlar və ədəbiyyat icmalı verilənlərinə əsasən aparılmış likvasiya analizindən k_{fl} 0.9-dan 10-a qədər olan qiymətləri ala bilər.

Nəticə. Termiki möhkəmlənmiş armaturların alınma texnologiyasının təkmilləşdirilməsində aşağıdakı şərtlərə əməl edilməsi məqsədəuyğundur:

1. Fasiləsiz tökülən pəstahın en kəsiyinin artırılması, tökmə zamanı metalın oksidləşmədən qorunması, tökmədə pəstahın soyudulması üçün sürətli soyutma rejiminin təkmilləşməsi armaturun keyfiyyətinə müsbət təsir göstərir.
2. Yayma istehsalında imkan daxilində ikili bölməni üçlüyə dəyişmək lazımdır.
3. İkili slittinqdə yayma və kalibrləmə sxemi maksimum keçid sayına (ən azı dörd) malik olmalıdır.

Ədəbiyyat

1. Смирнов А.Н.,Сафронов В.М., Чупрун А.Ю. Металлургические мини-заводы. Донецк.: 2005, 469 с.
2. Стеблев А.Б., Матейко А.В. Эффективности и риски мини-заводов // Электрометаллургия, 2008, №7, с. 2-8
3. Тулинов О.Н. Структурно – матричные модели для повышения эффективности процессов сортовой прокатки. Магнитогорск.: МГТУ, 2002. 224 с.

Təvsiyə edib: t.e.d., prof. ***A.T.Məmmədov***

УДК 519.816:620.168

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОННОГО КАТАЛОГА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СУДОСТРОЕНИЯ И СУДОРЕМОНТА

Фарионова Т.А., Казимиренко Ю.А., Казимиренко С.А.

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова
пр. Героев Сталинграда, 9, Николаев, Украина, 54000
E-mail: u.a.kazimirenko@gmail.com; tetyana.farionova@nuos.edu.ua;
soniakazimirenko@gmail.com

Аннотация. *Разработано программное обеспечение для работы со справочно-информационной базой данных современных композиционных и порошковых материалов, что позволяет эффективно решать исследовательские и проектировочные задачи в области судостроения и судоремонта, улучшить качество работы и сократить время на получение конечного результата.*

Abstract. *The software for working with reference and information modern composite and powder materials database has been developed, which allows solving effectively research and design tasks in the field of shipbuilding and ship repair, improve the quality of work and reduce the final result obtaining time.*

Ключевые слова: *информационно-поисковая система, база данных, композиционные материалы, электронный каталог, судостроение, судоремонт*

Key words: information retrieval system, database, composite materials, electronic catalog, shipbuilding, ship repair

Постановка проблемы. Необходимым этапом при выполнении исследовательских и проектных задач в области судостроения и судоремонта является сбор, анализ и классификация данных о применяемых материалах. Сводная информация традиционно публикуется в справочниках, что приводит к затратам трети рабочего времени на поиск нужных сведений. Современное развитие компьютерных технологий, расширение номенклатуры применяемых в судостроении материалов и покрытий создают предпосылки для усовершенствования методов работы специалистов в области подбора материалов, сокращение времени на обработку информации, разработку моделей поведения применяемых материалов в условиях эксплуатации. В связи с этим важным аспектом является интеграция информационных технологий в современное материаловедение, что позволит в сотни и тысячи раз сократить время на обработку информации, получить более достоверные результаты, разработать модели поведения материалов в тех или иных условиях.

Перспективным инструментарием, используемым при решении материаловедческих задач, является создание информационной базы данных (БД). На данный момент времени информационные ресурсы в области материаловедения, включая неметаллические и композиционные материалы, представлены в виде комплексных БД, таких как «Science-direct» (http://www.sciencedirect.com/), «Whiley» (http://eu.wiley.com), «Springer» (www.springer.com), “American Chemical Society” (www.acs.org) и другие [1–3]. Как правило, указанные БД содержат электронные копии статей, книг, патентов, локализованы в специальных узкопрофильных лабораториях и научных центрах или доступны только за высокую плату. Информация, поступающая от разработчиков новых материалов, представляется в виде экспериментальных работ с выполненными микроструктурными исследованиями, слабо структурирована и не собрана в единый информационный массив, содержащий сравнительные сведения о структуре, свойствах и характере повреждаемости уже существующих материалов и

покрытий, применяемых в судостроительных технологиях. Повысить эффективность сбора и обработки информации, установить обратную связь в решении задач проектирования и технического наблюдения за эксплуатацией конструкций судов возможно в результате применения специализированных информационных поисковых систем (ИПС).

Целью работы является разработка электронного каталога современных композиционных материалов для использования в проектных задачах судостроения, судоремонта и оценки технического состояния.

Изложение основного материала. Опыт обработки теоретических и экспериментальных данных о повреждаемости композиционных материалов и покрытий в условиях воздействия ионизирующих излучений, термических нагрузок, химически активных сред систематизирован авторами работы в виде ИПС «*PROTECTIVE COATINGS DATA*» [4–6], основным элементом которой является информационно-поисковый массив документально-фактографического типа, база данных имеет удаленный доступ и является двухуровневой. В рамках дальнейшего совместного сотрудничества кафедр программного обеспечения автоматизированных систем и кафедры материаловедения и технологии металлов Национального университета кораблестроения имени адмирала Макарова разработан проект электронного каталога композиционных и неметаллических материалов, применяемых в технологиях судостроения и судоремонта, представленного в виде следующих информацинно-поисковых систем:

- «*Component Data*» − содержит справочную и экспериментально полученную информацию об исходных компонентах (порошках, волокнах, наполнителях и проч.), которые используются в технологиях формирования композиционных материалов и покрытий;
- «*Non-metal Data*» − содержит информацию о применяемых в судостроении неметаллических метариалах;
- «*Composite Data*» − содержит информацию о структуре и свойствах применяемых композиционных материалов;
- «*Protective Coatings Data*» − предназначена для обработки, хранения, сортировки данных о свойствах, структурных характеристиках, появлении и развитии дефектов в материалах и покрытиях в условиях облучения, термоциклического нагружения, коррозионного воздействия химически активных сред.

Представленные программные продукты разработаны на языке Java с использованием СУБД SQLite [7, 8] и могут работать под управлением операционных систем Windows i Unix. Разработанные ИПС позволяют обрабатывать информацию в виде справочных и экспериментальных данных, текстовых документов (статей, патентов, протоколов испытаний), графических объектов (микроструктур, фрагментов рентгенограмм); в базы данных могут также заноситься:

- справочные и экспериментальные данные о характеристиках современных порошковых и композиционных материалов;
- цифровые микрофотографии композитов и порошков, полученные с помощью электронного и металлографического микроскопов;
- цифровые микрофотографии электронной микроскопии, представленные в научных изданиях с открытым доступом;
- область применения материалов в технике и ссылки на литературные (присоединенный файл статьи в формате PDF) или Internet источники.

Интерфейс пользователя представлен на рис. 1.

Работа с базами данных возможна в двух режимах: администратора и пользователя. Ввод и редактирование информации осуществляется администратором; пользователю предоставляются следующие возможности:

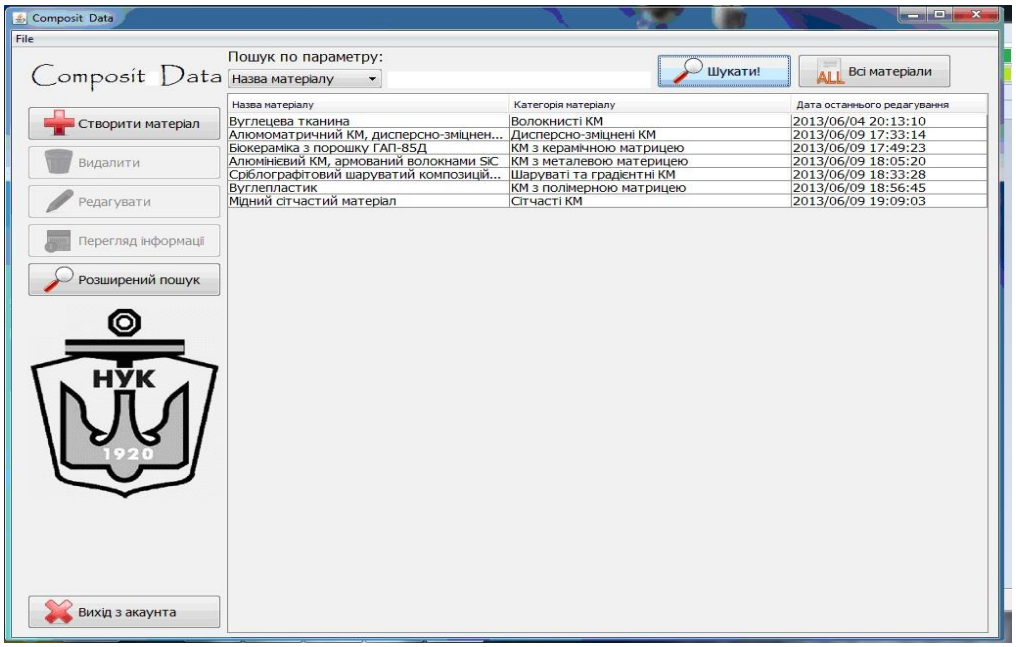


Рис. 1. *Интерфейс пользователя БД «Composite Data» (скриншот на украинском языке).*

- функция быстрого поиска и сравнения по критериям: название материала, категория материала;
- функция быстрого поиска по свойствам материалов;
- функция сортировки материалов по названию, категории, датой последнего редактирования;
- функция просмотра полной информации о материале;
- вывод на печать информации о материале.

Применение базы данных позволит:

- выполнять с помощью методов компьютерной металлографии микроскопический анализ неметаллических, композиционных, порошковых материалов, газотермических покрытий;
- создавать архив оцифрованных изображений (цифровых фотографий) микро- и макроструктуры;
- отбора коллекций микроструктур порошковых и композиционных, неметаллических материалов, газотермических покрытий по типу, типичным структурным составляющим, материалу матрицы, методу получения, области применения;
- переводить ранее полученные обычные фотографические изображения в цифровой вид и заносить их в базу данных;
- дополнять базы данных новыми микроструктурами;
- дополнять базы данных существующих микроструктур новыми данными о них.

Пример заполнения информации о композиционном материале в базе данных *«Composite Data»* показан на рис. 2.

Примерами типичных задач, выполняемых с помощью электронного каталога, являются:

- ведение атласа микроструктур;
- поиск и вывод на экран (или принтер) изображения микроструктуры материала по его виду (типу структуры), типичным структурным составляющим, методу получения, материалу матрицы, области применения;

- перевод имеющейся коллекции микрофотографий (позитивов или негативов) в цифровую форму и их размещение в базе данных вместе с имеющейся информацией;
- проведение произвольной выборки из базы данных – подбор коллекции материалов, объединенных по признакам (типу структуры, материалу матрицы, методу получения, области применения и проч.);
- создание и поддержание в актуальном состоянии информации о микроструктурах;
- обучение студентов, молодых специалистов в области материаловедения, композиционных материалов, газотремических покрытий.

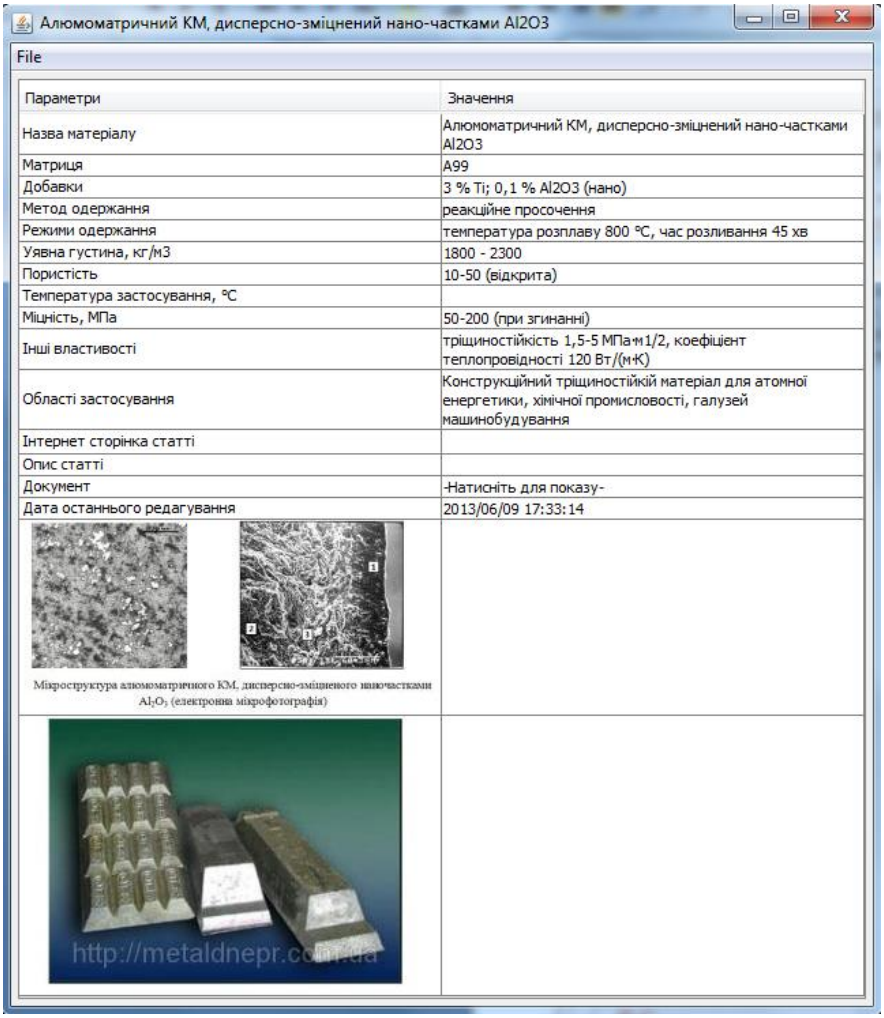
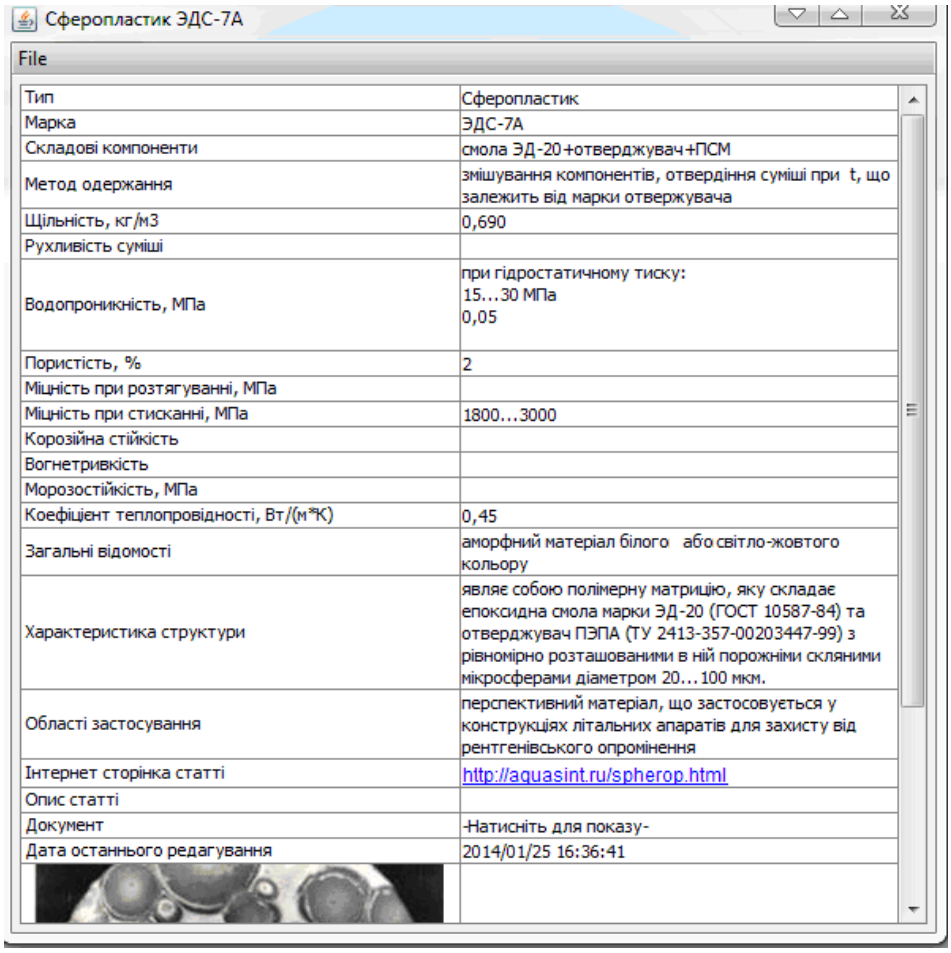


Рис. 2. *Интерфейс заполнения информации о композиционном материале в базе данных «Composite Data» (скриншот на украинском языке)*

Информационно-справочная база данных современных неметаллических и порошковых материалов «*Composit Data*» прошла апробацию и внедрена в учебный процесс кафедры материаловедения и технологии металлов. Тестирование разработанного программного продукта показало, что ИПС обеспечение успешно справляется с поставленными задачами.

Разработанное информационное обеспечение позволяет систематизировать и обрабатывать полученную информацию, а также упростить процедуру замены и внедрения новых материалов. Дальнейшие работы связаны с пополнением базы данных новыми сведениями.

Модель реализации информационной поддержки в технологии изготовления конструкций судов для опасных грузов (ОГ) показана на рис. 3.



Тип	Сферопластик
Марка	ЭДС-7А
Складові компоненти	смола ЭД-20+отверджувач+ПСМ
Метод одержання	змішування компонентів, отвердіння суміші при t, що залежить від марки отвержувача
Щільність, кг/м3	0,690
Рухливість суміші	
Водопроникність, МПа	при гідростатичному тиску: 15…30 МПа 0,05
Пористість, %	2
Міцність при розтягуванні, МПа	
Міцність при стисканні, МПа	1800…3000
Корозійна стійкість	
Вогнетривкість	
Морозостійкість, МПа	
Коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м*К)	0,45
Загальні відомості	аморфний матеріал білого або світло-жовтого кольору
Характеристика структури	являє собою полімерну матрицю, яку складає епоксидна смола марки ЭД-20 (ГОСТ 10587-84) та отверджувач ПЭПА (ТУ 2413-357-00203447-99) з рівномірно розташованими в ній порожніми скляними мікросферами діаметром 20…100 мкм.
Області застосування	перспективний матеріал, що застосовується у конструкціях літальних апаратів для захисту від рентгенівського опромінення
Інтернет сторінка статті	http://aquasint.ru/spherop.html
Опис статті	
Документ	-Натисніть для показу-
Дата останнього редагування	2014/01/25 16:36:41

Рис. 3. *Интерфейс просмотра информации в базе данных «Non-metal Data» (скриншот на украинском языке)*



Рис. 4. *Модель реализации информационной поддержки*

Тестирование разработанного программного продукта показало, что программное обеспечение успешно справляется с поставленными задачами. Информационно-справочная база данных современных неметаллических и порошковых материалов «*Composit Data*» прошла апробацию и внедрена в учебный процесс кафедры материаловедения и технологии металлов.

Разработанное информационное обеспечение позволяет систематизировать и обрабатывать полученную информацию, а также упростить процедуру замены и внедрения новых материалов. Дальнейшие работы связаны с пополнением базы данных новыми сведениями.

Выводы. 1. Разработан проект электронного каталога композиционных и неметаллических материалов, применяемых в технологиях судостроения и судоремонта. 2. Разработанное программное обеспечение позволяет эффективно решать исследовательские и эксплуатационные задачи, облегчить внедрение новых материалов и покрытий в судостроительные технологии, повысить качество работы и сократить время на получение конечного результата. 3. Направление дальнейших исследований связано с разработкой информационно-аналитической системы, объединяющей базы данных и программы анализа данных, что позволит выявлять закономерности, присущие предметной области информационной системы.

Литература

1. Киселева Н. Н. Компьютерные информационные ресурсы неорганической химии и материаловедения [Текст] / Н.Н. Киселева, В.А. Дударев, В.С. Земсков // Успехи химии — 2010. № 79 (2). с. 162 – 188.
2. Проблемно-ориентированная фактографическая база данных по нанокомпозитам [Электронный ресурс] / Е.А. Василенко, Т.В. Мещерякова, Ф.В. Бацылев, Е.А. Порысева / Информационные ресурсы России. 2009. № 4. Режим доступа: http://www. aselibrary.ru/ datadocs/doc_958ni.pdf 14.08.2014 г. Загл. с экрана
3. Лилеев А.С. База данных микроструктур металлов: классификация микроструктур и аппаратно-программное обеспечение [Текст] / А.С. Лилеев, Е.С. Милютина, В.Л. Столяров // Черные металлы. 2007. № 2. с. 6 – 10.
4. Казимиренко Ю.А. Информационная поддержка оценки технического состояния конструкций судов и плавучих сооружений **[Текст]** / Ю.А. Казимиренко, Т.А. Фарионова // Управління розвитком складних систем : зб. наук. пр. К. : КНУБА, 2015. № 12. с. 111–117.
5. Казимиренко Ю.А. Оценка технического состояния композитных конструкций судов с использованием информационной обработки данных **[Текст]** / Ю.А. Казимиренко // ScienceRise : науч. журн. Х. : Технологический центр, 2015. № 8 (18). с. 31–37.
6. Проектная оценка технического состояния судовых конструкций с использованием информационно-поисковых систем **[Текст]** / Ю.А. Казимиренко, Т.А. Фарионова, С.А. Казимиренко и др. // Вісн. НТУ «ХПІ». Сер. Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами. Х.: НТУ «ХПІ», 2014. № 3 (1046). с. 60–64.
7. Матвеев П. В. Исследование архитектур информационно-поисковых систем [Текст] / П. В. Матвеев // Мир современной науки. 2014. №6 (28). с.13 – 17.
8. Шилдт Г. Искусство программирования на Java [Текст] / Шилдт, Герберт; Холмс, Джеймс; пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2005, 336 с.

Tövsiyə edib: t.e.d., prof. ***A.T.Məmmədov***

УДК 629.56: 539.388

РАЗРАБОТКА НАУЧНЫХ ОСНОВ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ЗАЩИТЫ ЭЛЕМЕНТОВ СУДОВ И ПЛАВУЧИХ СООРУЖЕНИЙ ДЛЯ РАДИОАКТИВНЫХ ГРУЗОВ

Казимиренко Ю.А.

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова,
пр. Героев Сталинграда 9, Николаев, Украина, 54000
E-mail: u.a.kazimirenko@gmail.com

Аннотация. *Разработаны научные основы проектирования, изготовления и оценки технического состояния элементов, выполняющих функцию биологической защиты на судах и плавучих сооружениях, предназначенных для транспортировки и хранения радиоактивных грузов. Решение проблемы защиты элементов от воздействия ионизирующих излучений химически активных сред, термоциклических нагрузок реализовано путем создания новых металл-стеклянных материалов и покрытий.*

Abstract. *The scientific basis of designing, manufacturing and technical state assessing of elements, which perform biological protection functions on vessels and floating facilities, which are intended for radioactive cargoes transportation and storage has been developed. The solution of the problem of elements protection from the effects of ionizing radiation of chemically active environment and thermocyclic loads has been implemented by creation of new metal-glass materials and coatings.*

Ключевые слова: *суда, плавучие сооружения, радиоактивные грузы, элементы судов, биологическая защита, металл-стеклянные материалы, покрытия*

Key words: *vessels, floating facilities, radioactive cargo, vessel elements, biological protection, metal-glass materials and coatings*

Введение. ***Современное состояние проектирования и постройки судов для радиоактивных грузов.*** Постройка и модернизация судов, предназначенных для транспортировки или временного хранения радиоактивных веществ (РАВ) является важной проблемой в развитии технического флота и связана с европейскими программами обращения с радиоактивными отходами. Усовершенствование научных подходов к решению проектных и технологических задач, направленных на повышение технико-экономических показателей эксплуатации судов предусматривает разработку новой теоретической и технологической базы для проектирования, изготовления и оценки технического состояния элементов биологической защиты, которые изолируют упакованные и неупакованные грузы от оборудования и персонала. Применяемые принципы проектирования [1] позволяют определять оптимальные размеры по прочностным и стоимостным показателям, однако не учитывают энергетические характеристики радиоактивных грузов, процессы теплообмена в грузовой зоне и механизмы взаимодействия излучений с материалами конструкций. Решение задач снижения массы элементов судов и одновременного повышения уровня их защиты от ионизирующих излучений (ИИ) возможно путем разработки и внедрения новых материалов и покрытий с комплексно-защитными свойствами, состав и структура которых обеспечивают определенные механизмы ослабления излучений, коррозионную и термическую стойкость, для чего целесообразно соединить в одной композиции компоненты с разной поглощательной и отражательной способностью, в частности, металл со стеклом.

Цель статьи – создание научных основ проектирования, изготовления и оценки технического состояния модулей и блоков биологической защиты, учитывающих энергетические характеристики радиоактивных грузов и включающих в себя разработку комплексно-

защитных материалов и покрытий, что, в свою очередь, направлено на повышение технико-эксплуатационных показателей элементов судов и плавучих сооружений.

В работе рассмотрено два направления: хранение радиоактивных отходов на плавучих базах (несамоходных однопалубных судах) и транспортировка твердых радиоактивных грузов низкой и средней активности без остаточного тепловыделения на сухогрузных судах вместе с другими опасными грузами.

Методология исследований и гипотезы научных положений.

В основу исследования положена обобщенная ***научная гипотеза*** о повышении эффективности биологической защиты на судах и плавучих сооружениях за счет проектирования многослойных элементов, где максимальная энергия ионизирующих и тепловых излучений радиоактивных грузов поглощается метал-стеклянным защитным слоем.

Методология постановки научных исследований представлена на рис. 1.

В табл. 1 представлены гипотезы, положенные в основу исследований и методы их реализации.



Рис. 1. *Методология постановки научных исследований*

Проблема создания новых материалов и покрытий решена с помощью технологий горячего прессования смеси порошка или пудры алюминия с полыми стеклянными микросферами натрийборсиликатного состава и электродугового напыления цельнотянутых проволок марок Св-АМг5 и Св-08Г2С с введением полых стеклянных микросфер и порошков, полученных сухим измельчением стекол натрий-кальций-силикатной и плюмбум-силикатной систем [9]. Выбор составов новых композиций основан на принципе создания эффекта многократного внутреннего отражения потока излучений в среду поглощения, обусловлен современным опытом применения стекол в технологиях изолирования радиоактивных отходов и создания радиационно стойких материалов. Установлены механизмы ослабления γ- и рентгеновских излучений структурными элементами: полыми стеклянными микросферами, сплошными стеклянными частицами, ультра- и микропорами, субструктурными

элементами материалов и покрытий, которые в отличие от существующих аналогов характеризуются структурной стабильностью и повышенными на 30…40 % рентгенозащитными свойствами [10]. Таким образом, обеспечть защиту, эквивалентную облицовке свинцом толщиной 1 мм можно путем нанесения электродуговых покрытий толщиной 1,5…2 мм или формированием на поверхности Ст3 стеклоалюминиевых плиток, толщина которых с учетом технологических особенностей изготовления должна быть более 10 мм. Экспериментально установлено, что при эксплуатации в условиях γ-излучений Co^{60} с суммарной активностью источников 37127 Ки металл-стеклянные покрытия толщиной 2 мм на 28…56 % экранируют пластинку Ст 3, препятствуя ее радиационному упрочнению [11] и предотвращая коррозионное разрушение в 20 % растворах серной, соляной и азотной кислот [12], которые входят в состав большинства дезактивационных растворов. Теоретически обоснована и экспериментально подтверждена гипотеза о тепловой природе радиационных дефектов в структурно-неоднородных композициях, что объясняет поверхностное упрочнение электродуговых покрытий и влияние дисперсных стеклянных включений на процесс развития поверхностной пористости [11]. Полученные результаты расширяют физико-химические представления о формировании структуры и ее влияния на механизмы ослабления жестких излучений, они положены в основу усовершенствования теории проектирования, объясняя целесообразность замены материалов и толщин слоев [13].

Таблица 1

Гипотезы и методы научных исследований

Объект исследований	**Гипотезы научных исследований**	**Методы исследований**
Повышение защиты элементов судов	В основу повышения защиты элементов судов положен механизм многократного поглощения диффузного потока ИИ, что возможно путем формирования слоистых конструкций	Физико-химические основы нанесения газотермических покрытий и горячего прессования порошковых материалов [2, 3]
	Комплексно-защитные свойства материалов являются структурно-чувствительными характеристиками	Теоретические основы радиационного материаловедения и радиационной химии [4, 5]
Проектирование модуля биологической защиты	Максимальное ослабление излучений от РАВ обеспечивается металл-стеклянных защитным слоем	Методики исследования рентгенозащитных свойств, радиационной и коррозионной стойкости [6, 7]
Процессы влияния ИИ на структуру и свойства металл-стеклянных композиций	Гипотеза о поверхностном упрочнении металлов под действием высоких температур и ионизирующих излучений	Аналитические представления о температурных напряжениях в структуре металл-стеклянных материалов и покрытий [8]

В основу ***проектного исследования*** плавучего сооружения, предназначенного для хранения РАВ с остаточным тепловыделением положено решение задачи о тепловом состоянии грузовой зоны, ограниченной блоком биологической защиты с корпусом из плакированной стали, внутри которого размещены два цилиндрических бака с радиоактивными веществами [14]. В основу математического описания процессов теплообмена между радиоактивными грузами, изнутри равномерно прогревающими стенки баков, и циркулирующем в пространстве двойного борта или дна воздухом, положены критериальные уравнения и уравнение теплового баланса, устанавливающие взаимосвязь между мощностью тепловыделения в диапазоне 2…20 кВт, объемом баков, толщинами слоев и коэффициентами теплопроводности применяемых материалов. В проектном плане задача рассмотрена на примере одиночного бака с многослойной теплопроводной стенкой и сформулирована для плавучего сооружения впервые. Объектом для расчетного анализа выбрана плавбаза с известными размерениями, применяемая в зарубежной практике для длительного хранения высокоактивных отходов.

Результаты представлены в виде распределения полей температур и потоков циркулирующего воздуха, что показало неравномерность распределения температур по объему грузовой зоны. Наиболее разогретой является верхняя часть модели, приближенная к крышке, однако интенсивное движение воздуха препятствует созданию пожароопасных ситуаций.

Установлено что применение стеклоалюминиевых композиций на 60…80 градусов снижает температуру максимально разогретых поверхностей. Результаты числового моделирования подтверждены решением задач в плоской постановке, в результате показана целесообразность снижения толщины бетонного слоя с 800 м до 200 мм, что способствует снижению массы блока, более чем в два раза. Моделирование проектной ситуации позволило установить ограничение по мощности остаточного тепловыделения на уровне 230 Вт/м^3 без оборудования плавучего сооружения средствами принудительного охлаждения.

Полученные значения температур далее используются для прогнозирования прочности и разрушения конструкций с металл-стеклянным защитным слоем в условиях тепловых эффектов. Теория разрушения представлена в виде:

- термомеханической модели [15], описывающей температурные деформации микрообъемов, учитывающей в отличие от существующих аналогов влияние пористости, диаметра и объемного содержания стеклянных включений;
- модели поверхностного упрочнения [15], учитывающей структурные особенности облученных зон и подтверждающей гипотезу формированиях в местах наибольших напряжений субструктурных элементов, что дает новые научные представления о механизмах поглощения энергии микрослоями структурно неоднородных композиций.

Задача снижения массы модульных конструкций биологической защиты решена путем замены двухсторонней облицовки бетонных панелей из нержавеющей стали на одностороннюю облицовку сталью Ст3 с защитным слоем в виде электродугового покрытия или стеклоалюминиевых плиток [13], которые крепятся к стальной поверхности с помощью клеевой композиции на основе эпоксидно-диановой смолы ЭД-20. Расчеты геометрических размеров модуля [16] выполнены на примере размещения в нем двух 20-ти футовых ИСО-контейнеров, где в середине каждого из них в два ряда расположены 54 бочки с урановым рудным концентратом. Масса предлагаемого модуля на 10 % ниже массы аналога, это дает возможность повысить загрузку судна и расширить ассортимент перевозимых грузов. Предложена модель функционирования сухогрузного судна, включающая разработку новой информационной системы и решение оптимизационной задачи об эффективном размещении модуля биологической защиты с критерием минимизации стояночного времени линейного рейса. Эффективность применения модулей подтверждена моделированием процесса разрушения в экстремальных условиях кратковременного температурного нагружения.

Информация о появлении и развитии дефектов в материалах и покрытиях в условиях облучения, термоциклических нагрузок, химически активных сред, систематизирована с помощью новой информационно-поисковой системы [17], что вместе с причинно-следственными диаграммами и когнитивными моделями составляют научно-методические основы оценки технического состояния.

Обобщенные результаты исследований представлены на рис. 2.

Технико-экономическое обоснование предложенных разработок выполнено на основе критериев технологичности и экономической эффективности. Оптимальное решение найдено из определения комплексного коэффициента технологичности, учитывающего минимизацию массы, материальных затрат, рациональное использование материалов, трудоемкость работ и сложность конструкций, чему в наибольшей степени соответствует панельная конструкция модуля, состоящая из бетонной плиты толщиной 200 мм, облицованной с одной стороны листом углеродистой стали со стеклоалюминиевыми плитками толщиной 10 мм; среди металл-стеклянным покрытий предпочтение отдается композиции на основе Св-08Г2С, наполненной полыми стеклянными микросферами.

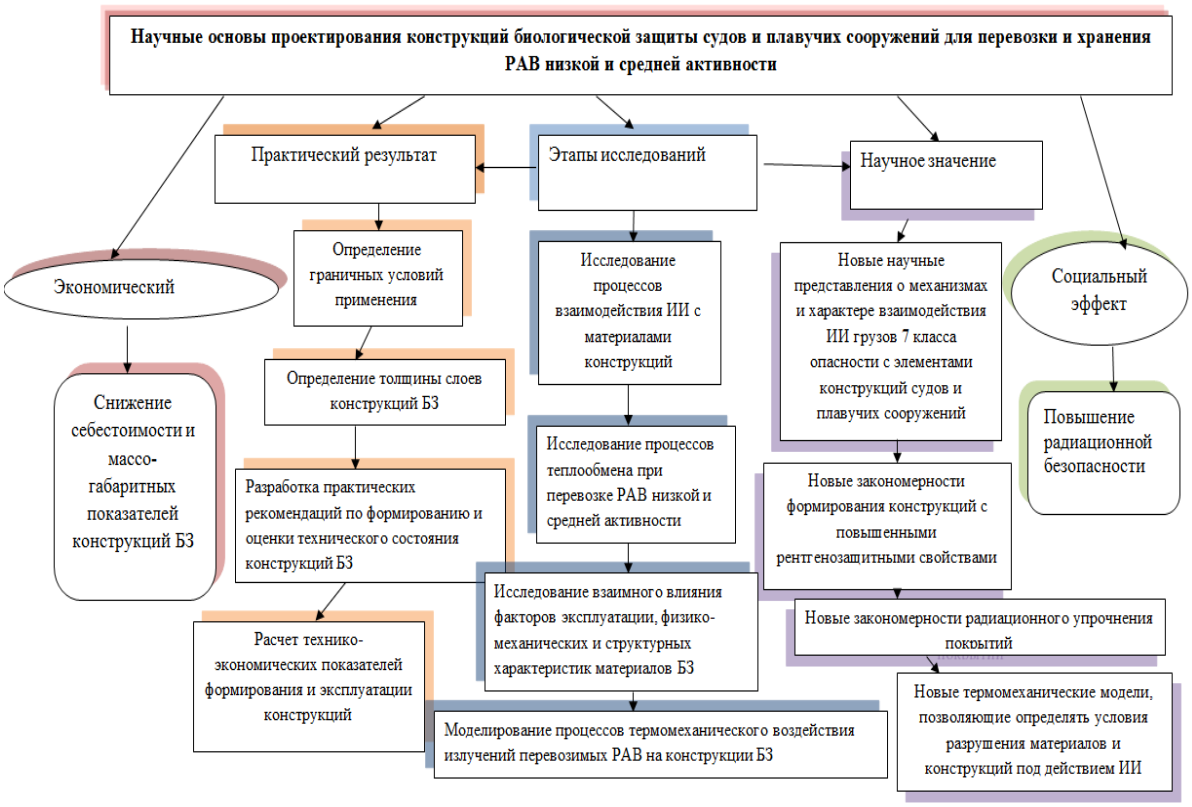


Рис. 2. *Научные основы проектирования элементов биологической защиты судов и плавучих сооружений для перевозки и хранения радиоактивных веществ: научное значение и практические результаты*

Инновационная привлекательность новых технических решений в проектировании и изготовлении с использованием метал-стеклянных материалов и покрытий элементов судов представлена в виде модели, учитывающей рентабельность полученных результатов и социальный эффект [18].

Выводы. В результате проведения теоретических и экспериментальных исследований разработаны общие теоретические и технологические основы, включающие новые закономерности и знания о процессах и механизмах, характеризующие влияние энергетических параметров и других свойств радиоактивных грузов на проектные критерии, технологию изготовления и монтаж защитных элементов и позволяющие на микро- и наноуровне прогнозировать энергетическую природу их повреждаемости и разрушения, что объединяет проектные и технологические направления судостроения с физико-химическими процессами создания новых металл-стеклянных материалов и покрытий. Полученные результаты в комплексе обеспечивают защиту элементов судов и надежное изолирование радиоактивных грузов.

Литература

1. Егоров, Г. В. Проектирование судов ограниченных районов плавания на основании теории риска [Текст] / Г. В. Егоров. СПб.: Судостроение, 2007. 384 с.
2. Дубовий, О. М. Технологія напилених покриттів [Текст] : навч. посібник для вузів / О. М. Дубовий, А. М. Степанчук. Миколаїв: НУК, 2007. 236 с.
3. Жорник, В. А. Моделирование процессов спекания порошковых покрытий при тепловом и механическом воздействиях [Текст] / В.А. Жорник, Ю.А. Прокопенко // Вест. ТГТУ. Тамбов, 2010. Т. 16, № 1. с. 59–66.
4. Арбузов, В. И. Основы радиационного оптического материаловедения [Текст] : учеб. пособие для вузов / В. И. Арбузов. СПб.: СПбГУИТМО, 2008. 284 с.

5. Пикаев, А. К. Современная радиационная химия. Основные положения. Экспериментальная техника и методы [Текст] / А. К. Пикаев. М.: Наука, 1985. 375 с.
6. Исследование ослабления ионизирующего излучения композиционными материалами [Текст] / Ю. А. Казимиренко, А. А. Карпеченко, С. И. Шкурат и др. // Зб. наук. пр. НУК. Миколаїв: НУК, 2009. № 2 (425). с. 105–109.
7. Воеводин В. Н. Эволюция структурно-фазового состояния и радиационная стойкость конструкционных материалов [Текст]/В.Н. Воеводин, И.М. Неклюдов. К.: Наук. думка, 2006. 378 с.
8. Кржечковский П. Г. Температурные усадочные напряжения и деформации в композитах, наполненных стеклянными микросферами [Текст] / П. Г. Кржечковский, В. А. Науменко, В. И. Павлищев // Технология судостроения и сварочного производства в судостроении: сб. науч. тр. Николаев, 1976. с. 70–77.
9. Фарионова Т.А. Выбор состава композиционных материалов и покрытий технических средств для перевозки опасных грузов на основе экспертных оценок [Текст] / Т. А. Фарионова, Ю.А. Казимиренко/ Вісн. НУК (електрон. вид.). Миколаїв: НУК, 2011. С. 155–164.
10. Kazymyrenko Y. Patterns and mechanisms of interaction of radioactive cargo radiation wite metal-glass layer of watercrats structure [Text] / Y. Kazymyrenko // The advanced science journal. 2014. Iss. 12. P. 45–48.
11. Kazimirenko Y. A. Radiation resistange of metal-glass coatings for floating composite structures [Text]/ Y.A. Kazimirenko, V.V. Schlapatskaya // Shipbulding & marine infrastructure. – 2015. № 1 (3). P. 111–121.
12. Казимиренко Ю. О. Корозійний захист сталевих цистерн для зберігання рідких радіоактивних речовин на плавучих спорудах [Текст] / Ю. О. Казимиренко // East European Scientific Journal Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe. 2016. № 7 (11), vol. 2. P. 16–21.
13. Казимиренко Ю. А. Перспективные материалы, способы и технологические направления формирования конструкций биологической защиты судов и плавучих сооружений для радиоактивных грузов [Текст] / Ю. А. Казимиренко // Proceedings of Azerbaijan State Marine Academy. Baki : Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası, 2017. № 2. с. 39–44.
14. Казимиренко Ю. А. Влияние энергетических параметров радиоактивных грузов на процессы теплопереноса и прочность композитных конструкций плавучих сооружений [Текст] / Ю.А. Казимиренко // East European Scientific Journal Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe. 2016. № 4 (8), vol. 7. P. 58–63.
15. Kazymyrenko Y. The Thermomechanical Processes in metal-glass Coating of Vessel Constructions and Floating Facilities for radioactive Cargo [Text] / Y. Kazymyrenko // The advanced science. 2016. ISS. 2. P. 38–44.
16. Казимиренко, Ю. О. Аналітична модель функціонування судна на основі побудови інформаційної системи завантаженості [Текст] / Ю. А. Казимиренко // ScienceRise : науч. журн. Х. : Технологический центр, 2018. № 1 (42). с. 43–49.
17. Казимиренко, Ю. А. Информационная поддержка оценки технического состояния конструкций судов и плавучих сооружений [Текст] / Ю. А. Казимиренко, Т. А. Фарионова // Управління розвитком складних систем : зб. наук. пр. К. : КНУБА, 2015. № 12. С. 111–117.
18. Дрозд О. В. Вплив управління загальноосвітнім процесом на критерії інноваційної привабливості суден для радіоактивних вантажів [Текст]/О.В. Дрозд, О.С. Рижков, Ю. О. Казимиренко // East European Scientific Journal Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe. 2018. № 1 (29), vol. 1. P. 59–65.

Tövsiyə edib: t.e.d., prof. ***A.T.Məmmədov***

УДК 630.36

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ ВИДОВ РАЗРУШЕНИЯ ОТВЕТСТВЕННЫХ ВЫСОКОТОЧНЫХ ДЕТАЛЕЙ СУДОВЫХ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

Гафаров А.М., Шарифов З.З., Садыгов В.Б.

Азербайджанская Государственная Морская Академия
Аз1000, г. Баку, ул. З. Алиевой, 18
E-mail: scherifov.z@gmail.com , vuqar.mirsadiq@acsc.az

Аннотация. *В статье рассматриваются основные виды разрушения ответственных деталей судовых машин и механизмов, виды дефектов их кристаллической структуры. Анализируется механизм поверхностной диффузии, усталостного разрушения, также разрушение поверхностей деталей вследствие коррозии, влияния агрессивных сред на свойства материалов.*

Abstract. *The article deals with the main types of destruction the critical parts of ship machinery and mechanisms, the types of defects in their crystal structure. The mechanism of surface diffusion, fatigue failure, also the destruction of parts surfaces due to corrosion, and the influence of corrosive media on the properties of materials are analyzed.*

Ключевые слова: *дефекты, ваканции, диффузия, усталостное разрушение, адсорбция, коррозия*

Key words: *defects, vacancies, diffusion, fatigue, failure, absorption, corrosion*

Введение. При оценке надежности судовых машин и механизмов, наряду с конструктивными и функциональными характеристиками необходимо учитывать влияние механических воздействий, температуры, давления, влажности, холода, света, радиации и пр., которые вызывают изменения как физико-механических характеристик отдельных деталей, так и эксплуатационных показателей судовых машин и механизмов в целом. В связи с этим необходимо рассмотреть физическую сущность процессов и явлений, оказывающих существенное влияние на их надежность и долговечность, с учетом условий их эксплуатации.

Скорость изменения параметров судовых машин и механизмов непосредственно связана с процессами изменения свойств материалов и старением их деталей. Идентичными зависимостями можно описать процессы, связанные с текучестью, ползучестью, усталостью, пластическим течением и разрушением материалов, трением, износом поверхностей деталей и др.

Основная часть. Образование активных частиц кроме нагрева материала может происходить за счет ионизации, диссоциации, образования радикалов, под действием электромагнитного поля, электрического заряда, ультразвукового излучения и других факторов [1]. Кроме того изменения деталей судовых машин и механизмов происходит под воздействием химических процессов. Под воздействием химических процессов можно понимать переход атомов, молекул, ионов, дислокаций дисперсных частиц и других из одного состояния в другое. Указанные изменения состояния материалов приводят к различным видам дефектов и диффузионным процессам на поверхностях деталей машин и механизмов.

Как известно, дефекты кристаллической структуры деталей машин также оказывают определяющие влияние на их свойства и состояние. С течением времени эти характеристики определяют надежность и долговечность, как отдельных деталей, так и эксплуатационные показатели машин и механизмов в целом. Согласно [2] дефекты кристаллической структуры разделяются на несколько видов: точечные (*ваканции*, *межузельные* атомы и др.), одномерные или линейные (дислокации), двумерные или поверхностные (границы зерен, дефекты

упаковки и др.), трехмерные или обычные (пустоты, включения и др.). При возникновении отказов наибольшее значение имеют механизмы и кинетика образования, развития, перемещения и скопления элементарных структурных дефектов - точечных дефектов и дислокаций, их влияние на макроскопические свойства материалов.

При пластической деформации, облучении или закалке в материале деталей происходит большое число неравновесных процессов, приводящих к возникновению или исчезновению точечных дефектов, нарушению равновесной концентрации. При невысокой температуре концентрация может превышать равновесную на несколько порядков. Например, при нагреве концентрация *ваканций* стремится к равновесной.

Как известно, прочность и износостойкость деталей машин характеризуются одномерными дефектами кристаллической структуры, т.е. дислокациями.

Дислокацию в кристалле образуют изолированные замкнутые петли, скопления вокруг частиц включений и выделений, двумерные и трехмерные сетки, различают два предельных вида дислокаций: краевые и винтовые. В общем случае дислокации представляют сочетание этих форм. Упрочнение металлов в процессе пластической деформации связано с возникновением препятствий движению дислокаций [2].

Многие структурные изменения в материалах деталей машин, ухудшающих их износостойкость, могут происходить и в результате диффузий. Для деталей машин и механизмов кроме объемной диффузии существенное значение имеет поверхностная диффузия, которая приводит к изменению их формы, наращиванию, сглаживанию неровностей, возникновению выступов и впадин на их рабочих поверхностях и др. Как известно, многократные приложения нагрузок вызывают разрушение деталей машин и механизмов при напряжениях значительно меньших, чем в случае однократного нагружения. При большом числе циклов напряжения, при которых происходит разрушение материалов, могут быть ниже не только пределов прочности или текучести, но и упругости. Это явление называется усталостным разрушением.

Механизм малоцикловой усталости в основном определяется повторными пластическими деформациями, многоцикловым накоплением рассеянных повреждений в наиболее слабых или наиболее напряженных структурах материала и развитием трещин [3]. Результаты проведенных исследований показывают, что усталостное разрушение деталей в основном является результатом пластической деформации их материалов. Внешним проявлением усталости материалов является возникновение и постепенное распространение трещин на поверхностях деталей в местах концентраторов напряжений. В зависимости от структурного состояния материала и условий циклического нагружения наблюдаются различные механизмы зарождения и развития трещин.

Согласно [4] процесс усталостного разрушения можно разделить на несколько периодов. В первом (инкубационном) происходит накопление пластической деформации и упрочнение материала в результате скопления дислокаций перед препятствием (в основном в приповерхностных слоях). Релаксация локальных напряжений в приповерхностных слоях материала приводит к образованию большого числа *ваканций*. Второй период характеризуется образованием микротрещин, третий – их развитием до критических размеров, четвертый начинается с момента достижения трещиной критических размеров и заканчивается хрупким разрушением материала.

Известно, что усталостное разрушение начинается с поверхности деталей. В связи с этим методы и способы обработки, которые формируют качество поверхностного слоя деталей, такие как шероховатость поверхности, остаточные напряжения, микротвердость поверхностного слоя оказывают существенное влияние на усталостное разрушение материала поверхности деталей машин. Следует отметить, что на износостойкости деталей машин положительное влияние оказывают оптимальные величины шероховатости поверхности, сжи-

мающие остаточные напряжения, величина и глубина распространения микротвердости поверхностного слоя.

Результаты многочисленных наблюдений показывают, что одной из основных причин разрушения деталей машин является их взаимодействие с окружающей средой. Это явление особенно явно показывает себя при эксплуатации судовых машин и механизмов. Воздействие среды на детали и узлы машин и механизмов обычно начинается с адсорбции молекул или ионов на поверхности деталей.

Согласно [5] влияние адсорбционных процессов обусловлено главным образом, двумя факторами: изменением состояния поверхности твердого тела и действием поверхностно-активных веществ, снижающих поверхностную энергию твердого тела. Имеется два основных вида адсорбции: внешняя и внутренняя. Внешний вид адсорбции влияет на наружную поверхность деталей и вызывает снижение предела текучести и коэффициента упрочнения. Внутренняя адсорбция возникает на поверхности деталей, приводит к появлению дефектов внутри материала деталей, в результате чего снижается прочность и увеличивается хрупкость материала.

Одним из факторов снижающим надежность и долговечность судовых машин и механизмов является коррозионное разрушение поверхностей их деталей. До 30% изделий, изготовленных из черных и цветных металлов, выбывает из технического использования вследствие коррозионного разрушения. Коррозионные процессы приводят к существенному снижению надежности технических систем, увеличению затрат на ремонт, восстановление и защитные мероприятия [5].

Разрушение поверхностей деталей вследствие коррозии, происходит в результате влияния на них жидкой или газообразной среды, что приводит к термодинамической неустойчивости их материала.

Суть коррозии деталей судовых машин и механизмов основывается на взаимодействии материалов с агрессивными средами различного типа. Коррозия непосредственно связана с коррозионной средой. Существенными элементами коррозионной среды могут быть вода, различные виды растворов солей, кислот и оснований, расплавы солей, другие химические и нехимические соединения.

Материалы деталей судовых машин и механизмов обычно представляют собой твердые тела, такие как металлы, сплавы, кристаллы, полимеры и т.д. Эксплуатационные воздействия, влияющие на процессы разрушения отдельных деталей и на возникновение отказов судовых машин и механизмов можно классифицировать по следующим признакам: по условиям возникновения воздействующих факторов (температура, давление, влажность, химический состав, электромагнитные излучения и т.д.); по воздействиям, возникающим только при работе элементов (трение, электрический ток, нагрев при работе и т.д.); по влияниям параметров, зависящих только от режимов эксплуатации (интенсивность, цикличность, стабильность и т.д.).

По характеру влияния на материалы окружающей или рабочих сред различаются адсорбционные, диффузионные, химические, коррозионные, радиационные, кавитационные, эрозионные процессы. По характеру изменения во времени эксплуатационные воздействия можно разделить на возмущения, которые после их возникновения остаются постоянными или закономерно изменяются, и случайные воздействия (стационарные, квазистационарные или нестационарные).

По виду изменений, происходящих в материале, различаются обратимые (например, физическая адсорбция газов) и необратимые (коррозия, растворение и т.д.) процессы.

Заключение. Таким образом, закономерности изменения свойств и состояния материалов деталей судовых машин и механизмов следует перегруппировать в зависимости от применяемых методов теории надежности и математической статистики.

Функциональные зависимости, описывающие статистические законы состояния, не включают фактор времени в явном виде. Они могут быть использованы для прогнозирования надежности в тех случаях, когда известны закономерности изменения параметров и характеристик судовых машин и механизмов во времени в процессе эксплуатации.

Литература

1. Труханов В.М. Методы обеспечения надежности изделий машиностроения. М: Машиностроение, 1995, 304 с.
2. Ван Бюрен. Дефекты в кристаллах. М: Иностранная литература, 1962, 610 с.
3. Москвитин В.В. Циклические нагружения элементов конструкций. М: Наука,1981, 344 с.
4. Иванова В.С. Усталостное разрушение металлов. М: Металлургиздат, 1963, 398 с.
5. Крамер И., Демер Л. Влияние среды на механические свойства металлов. М.: Металлургия, 1964, 311с.
6. Томашов Н.Д. Теория коррозии и защита металлов. М.: Изд-во АН СССР, 1969, 591с.
7. Гафаров А.М., Сулейманов П.Г., Гафаров В.А. Прогнозирование и статическая оценка надежности машин и оборудования, эксплуатируемых в экстремальных условиях.// М.: «Химическое и нефтегазовое машиностроение», 2014, №11, с. 15-17.

Tövsiyə edib: t.e.d., prof. ***A.T.Məmmədov***

UOT 621.9.048.7

POLAD 35-in HETEROFAZ MATERİALLARLA ELEKTROQIĞILCIM (EQL) LEGİRLƏNMƏSİ

Qurbanov F.N.

Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası
Az1000, Bakı ş., Z.Əliyeva küç., 18
E-mail: seaman_f_@mail.ru

Xülasə. *Məqalədə gəmi maşın və mexanizmlərinin polad detallarının işçi səthlərinə yeyilməyə dözümlü örtüklərin çəkilməsi üçün elektroqığılcım üsulunun istifadəsi şərh olunur. Bu məqsədlə anod materialı kimi heterofaz birləşmələrdən istifadə olunur. Müxtəlif mühafizəedici mühitlərdə katod və anodun kütlə dəyişməsinin emal vaxtından asılılığı tədqiq edilmişdir. Örtük çəkildikdən sonra səth qatında bərkliyin dəyişməsi müəyyən edilmişdir.*

Аннотация. *В статье освещается использование электроискрового способа для нанесения износостойких покрытий на рабочую часть стальных деталей судовых машин и механизмов. С этой целью в качестве анодного материала используются гетерофазные соединения. Исследована продолжительность изменения массы анода и катода при различных защитных средах в зависимости от времени обработки. Определено изменение твердости на рабочей поверхности после нанесения покрытия.*

Abstract. *The article covers the use of the electric spark method for applying wear-resistant coatings to the working part of steel parts of ship machinery and mechanisms. For this purpose, heterophase compounds are used as the anode material. The duration of the change in the mass of the anode and cathode under different protective media, depending on the treatment time, was studied. The change in hardness on the working surface after coating is determined.*

Key words: *heterophase material, hardness, electrospark alloying, mass transfer, cathode, anode*

Ключевые слова: *гетерофазный материал, твердость, электроискровое легирование, массоперенос, катод, анод*

Açar sözlər: *heterofaz material, bərklik, elektroqığılcım legirləmə, kütlə köçürmə, katod, anod*

Giriş. Gəmi maşın və mexanizmlərində çətinəriyən birləşmələr abraziv sürtünmə, yüksək temperaturlar və mexaniki yüklər şəraitlərində işləyən tezyeyilən polad səthlərində mühafizə ortüyü əhəmiyyətli dərəcədə maraq doğurur.

Belə örtüklərin yaradılmasının effektli üsullarından biri istənilən cərəyankeçirən materialların emal olunan səthinə örtük çəkməyə imkan verən EQL ola bilər. Əksər hallarda legirləyici elektrodlar kimi W və T karbidləri əsasında bərk xəlitələr tətbiq olunur [1]. Lakin volfram xammalının defisitliyi və titan karbidinin yüksək kövrəkliyi, habelə bərk xəlitələrin yüksək eroziyayadavamlılığı bu materiallarla legirləmə metodunun bütün üstünlüklərini istifadə etməyə imkan vermir.

Çətinəriyən birləşmələrin perspektiv sinfi IV qrup keçid metallarının nitridləri və çətinəriyən oksidlərdir (xüsusən Al_2O_3). Bunlar fiziki-kimyəvi və mexaniki xassələrinə görə karbidlərə uduzmurlar. Karbidlərlə müqayisədə daha aşağı bərkliyinə baxmayaraq, aşağı kövrəklikdə nitridlər bir qədər plastikdir, yüksək temperaturlarda oksidləşməyə daha böyük müqavimət göstərirlər [2, 3]. Fe qrupu metal və ərintilərə aşağı sürtünmə əmsalına, habelə sürtünməyə yüksək davamlığa malikdir. Alüminium oksidinin üstünlüklərinə artırılmış temperaturlar və aşağı adfeziya qabiliyyəti şəraitlərində nisbətən yüksək istilikkeçirmədə [4] və böyük olmayan sürtünmədə əhəmiyyətli bərklik və möhkəmlik aid edilir. Lakin alüminium oksidinin və nitridlərin yüksək kövrəkliyi və aşağı termiki dözümlüyü, sonuncuların pis presləmə və bişirmə qabiliyyəti göstərilən birləşmələrin metal və ərintilərlə istifadə zəruriyyətini şərtləndirir. Sementləyici əlaqələndiricilərdən ən effektlisi plastikliyə, yüksək termiki dözümlüyə və möhkəmliyə malik və ona termiki genişlənmə əmsalına görə yaxın olan möhkəmləndirici faza ilə zəif qarşılıqlı təsir göstərən çətinəriyən metallardır [5].

Əsas hissə. Məqalə poladların EQL-də legirləyici elektrod materialı kimi Ni və V əlavələkləri ilə NbN-A_2O_3 kompozisiyalarının istifadə imkanlarına həsr olunur.

Tərkiblər aşağıdakı kimidir (həcm %-lə): $15Al_2O_3$+45NbN+40Ni, $15Al_2O_3$+65NbN+20Ni; $15Al_2O_3$+55NbN+30V; $15Al_2O_3$+45NbN+40V; təmiz NbN, habelə 45NbN +$55Al_2O_3$; 85NbN+$15Al_2O_3$, 55NbN+$45Al_2O_3$.

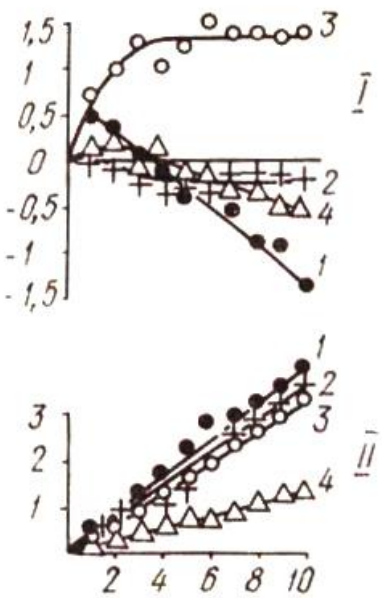
Nümunələri xüsusi sobalarda A markalı arqon mühitində və xüsusi təmiz azotda 1850-2150^0C-də bişirilir. Katodun materialı polad 35-dir.

Elketroqığılcım emalı ЭФИ-46 A qurğusunda aşağıdakı rejimdə aparılır:

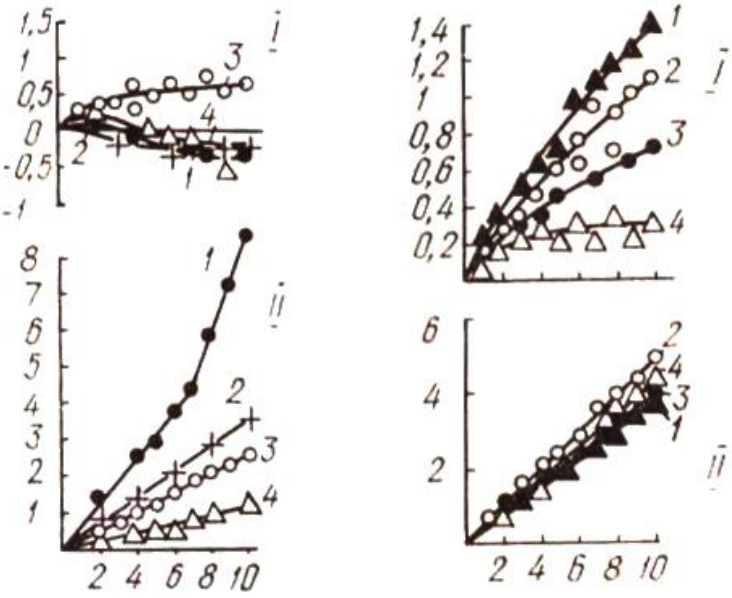
J=0,45A; E=0,30C. EQL prosesində anodun eroziyası və katodun materialının artımı ölçülür. Möhkəmləndirilmiş qatın struktur və faza analizini metalloqrafik və mikrodyurometrik metodları ilə yerinə yetirilir. Bu halda hidrogen oksidinin qaynayan sulu məhlulunda və HNO_3–ün 4%-li soyuq spirt məhlulunda nümunələrin ardıcıl aşılanma metodu tətbiq olunmuşdur.

NbN - Al_2O_3 kompozisiyaları əsasında elektrodlarla legirləmədə katodun eroziyasının və kütləsinin EQL-də legirləmə vaxtından asılı olaraq dəyişməsi tədqiq olunmuşdur (şəkil 1). Göstərilən materiallarla legirləmə üçün 8-55 həcm% konsentrasiyalar intervalında Al_2O_3-ün miqdarını 15-55 həcm% intervalında artırdıqda, möhkəmləndirilmiş qatın göstərilən materiallarla legirləməsi üçün formalaşma şəraitlərinin hiss olunacaq pisləşməsi səciyyəvidir. Buna xüsusi legirləmə vaxtını 2,1-3,1 dəq/sm^2 artırdıqda, materialın kütlə köçürməsinin K kəmiyyəti və əmsalının kəskin dəyişməsi dəlalət edir (τ=1,1dəq/sm^2-da k=9,0%, τ=6,1dəq/sm^2-da k=2,1%). Bu, 55%Al_2O_3-45%NbN ərintisi üçündür. Emalın xüsusi vaxtını 4,1 dəq/sm^2-dan çox artırdıqda, möhkəmləndirilmiş qatın formalaşma xarakterinin dəyişməsi müşahidə olunur (şəkil 1 a,b). Bu halda katodun kütləsi ilkin haldakından az olur. Bu emal vaxtını artırdıqda katodun səthinin kövrək dağılması ilə əlaqədardır. Eyni zamanda $15Al_2O_3$ - 85NbN materialı ilə EQL-də katodun kütləsi fasiləsiz artır. 5,1-6,1 dəq/sm^2 xüsusi legirləmə vaxtında katodun kütləsi sabitləşir, verilən şəraitlər

üçün olan bir qədər daimi qiymətə yaxınlaşır (arqonda bişirmədə $\Delta K=1,5\cdot10^{-4}sm^3$ və azotda bişirmədə $\Delta K=0,8\cdot10^{-4}sm^3$). Bütün emal vaxtı intervalında köçürmə əmsalının işarəsi müsbət qalır.



Şəkil 1. *Arqonda (a) və azotda (b) bişirilmiş kompozisiyalarla poladın EQL-də katodun (1) və anodun (11) kütləsinin dəyişməsinin emal vaxtından asılılığı: 1-55 Al_2O_3 -45NbN; 2- NbN; 3- 8 Al_2O_3 - 92ZnN; 4-45 Al_2O_3-55ZnN*



Şəkil 2. *NbN- Al_2O_3-Ni (V) kompozisiyaları ilə poladın EQL-də katodun (1) və anodun (11) kütləsinin emal vaxtından asılılığı: 1-15 Al_2O_3-15NbN-70V; 2-15 Al_2O_3 – 45NbN 40V; 3-15 Al_2O_3-45NbN- 40Ni ; 4-15 Al_2O_3-65NbN -20N*

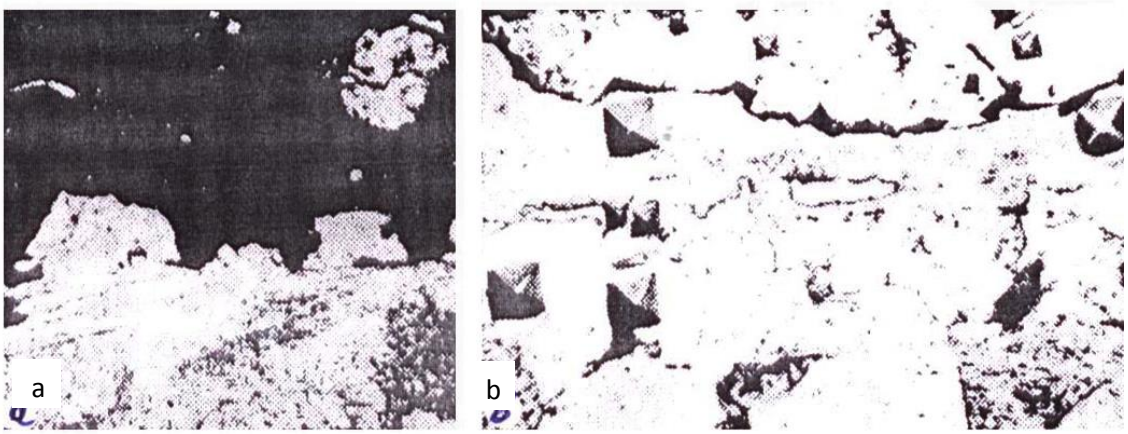
Möhkəmləndirilmiş qatın elektrodun tərkibində keçirməyən fazanın miqdarından asılılığı eksperimental olaraq tədqiq olunan ərintilərin tərkibindən asılı olaraq onların fiziki xassələrinin dəyişməsilə təsdiqlənir. Müəyyən olunmuşdur ki, konsentrasion intervalda Al_2O_3–ün miqdarını 0-55 həcm- %-dək artırdıqca, elektrik müqaviməti kəskin dəyişir (artır), lakin onların istilik ötürməsi aşağı düşür. Bu, yüksək temperaturlarda elektrodların işçi səthlərinin materialının istilik dözümünün azalmasını və onların kövrəkliyinin artmasını şərtləndirir.

Eroziya məhsullarının təhlili göstərir ki, keçirməyən fazanın miqdarını artırdıqda, eroziya məhsullarının miqdarı kövrək dağılma hesabına artır. Verilən kompozisiyaların bişirilməsində mühafizəedici mühitin tərkibindən asılı olaraq möhkəmləndirilmiş qatın formalaşmasında əhəmiyyətli dəyişikliklər müşahidə edilir. Arqonda bişirilmiş kompozisiyalarla EQL-də k-τ və Δk-τ kinetik asılılıqlarının eyni xarakterinə baxmayaraq (şəkil 1,a,b), azotda bişirilmiş kompozisiyalarla emalla müqayisədə, köçürmə əmsalı 1,6-2,1 dəfə yuxarıdır, onun stabillik sahəsində cəm artımı üç dəfə böyükdür. Bu, kompozisiyaların azotda bişirilməsində NbN dənələrinin böyük oksidləşməsilə və yeni fazanın yaranması ilə əlaqədardır. Nitrid dənələrinin əhəmiyyətli oksidləşməsi və yeni fazanın yaranması xüsusi elektrik müqavimətinin artmasına (arqonda bişirilmiş anoloji kompozisiyalara nisbətən on dəfə yuxarıdır), termiki genişlənmə əmsalına və habelə eroziya prosesində kövrək dağılma payına və anodun materialının köçürmə şəraitlərinin pisləşməsinə əhəmiyyətli təsir göstərir.

Ni və V-un əlavəsilə NbN- Al_2O_3 kompozisiyaları ilə poladların EQL-də möhkəmləndirilmiş qatın formalaşma şəraiti yaxşılaşır (şəkil 2). Legirləmə vaxtını artırmaqla katodun kütləsi, xüsusən tərkibində böyük miqdarda Ni və V olan ərintilərlə EQL-də fasiləsiz olaraq yüksəlir. Bu, legirləyici elektrodun plastikliyinin artması və həmin elektrodun səth qatlarında kövrək dağılmanın payının azalması ilə əlaqədardır. Qeyd etmək lazımdır ki, katodun kütləsində Ni və V-un miqdarı artdıqca

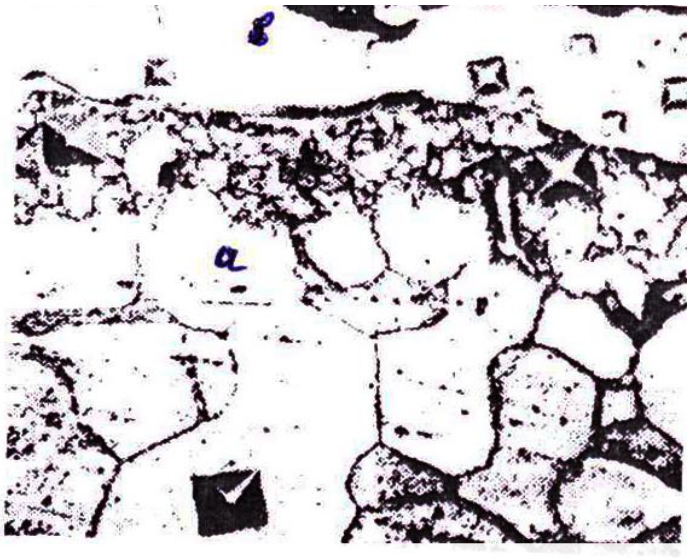
kövrək dağılma yüksəlir. Vanadiumun əlavəsilə kompozisiyalardan anodun materialının eroziyası, eyni miqdarda Ni olan kompozisiyalardan hazırlanan anodun materialına nisbətən yuxarıdır. Lakin nikel təşkiledici kompozisiyalarla EQL-də emal olunan səthin təmizliyi ∇5, vanadium təşkiledicilərinki isə ∇4 təşkil etmişdir. Aydındır ki. göstərilən kompozisiyalardan hansınınsa üstünlük təşkil edən seçimi yalnız keyfiyyət xarakteristikalarının (bərkliyin, bütövlüyün, altlıqla ilişmənin möhkəmliyinin) təhlili əsasında həll oluna bilər.

Polad 35-in NbN-Al_2O_3-V və NbN-Al_2O_3-Ni ərintilərilə EQL-də möhkəmləndirilmiş qatının mikrostrukturu çəkilir (şəkil 3 və 4) və nümunələrin kəsiyi üzrə mikrobərkliyin paylanma əyriləri qurulur (şəkil 3.5). Metalloqrafik analizin məlumatlarına görə, hər iki halda möhkəmləndirilmiş qatın strukturu aşılanmayan fazadan – ağ qatdan, müxtəlif disperslikli işıqlı qlobulyar ünsürlərli boz fazanın sahələrindən və termiki təsir zonasından ibarətdir. NbN- Al_2O_3-V kompozisiyalarından olan elektrodlarla EQL-də poladın səthində boz fazanın və ağ qatın bütövlüyü 15-35%-dən çox olmadan təşkil edir, lakin NbN- Al_2O_3-Ni kompozisiyasından olan elektrodlarla EQL-də ağ qatın bütövlüyü 95-100%-dir. Möhkəmləndirilmiş qatın və anod materialının eroziya məhsullarının metalloqrafik mikrodyurometrik analizlərinin məlumatlarına əsasən fərz etmək olar ki, boz faza özündə əsasən legirləyici elektrodun materialının kövrək dağılma məhsullarını əks etdirir, özü də bunlar katoda köçürüldükdə müxtəlif dərəcədə qızırlar və oksidləşirlər.

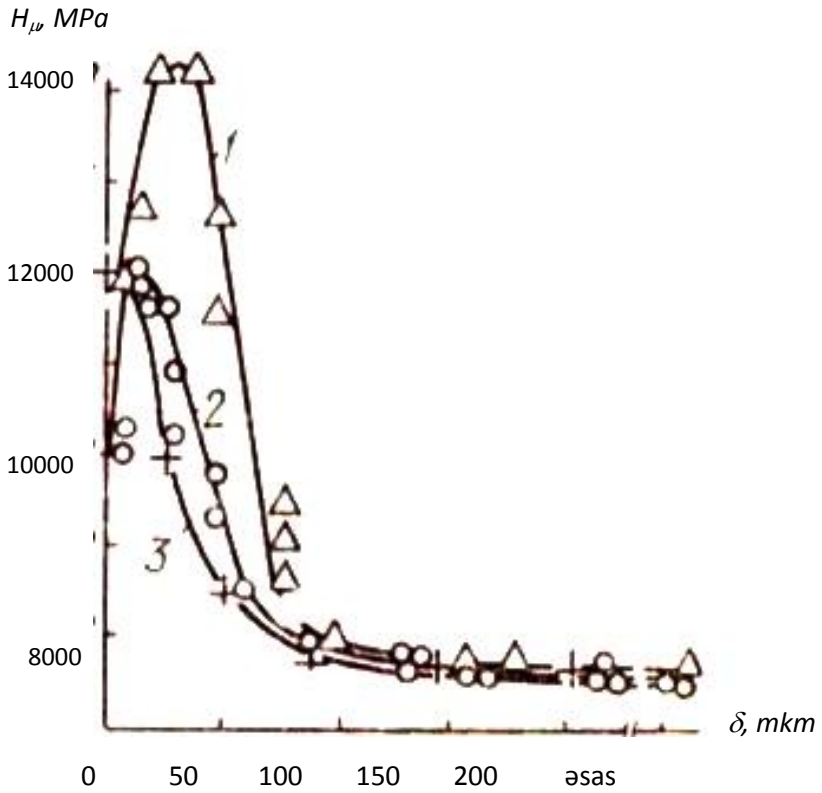


Şəkil 3. *15Al_2O_3-45 NbN-40V tərkibli elektrodlarla EQL-dən sonra şlifin müxtəlif sahələrdə 35markalı poladın mikrostrukturu (x400):a-möhkəmləndirilmiş qatın strukturunda qlobulyar ünsürlər (boz), b-dənələrin sərhədi boyunca bərk ünsürlər*

55-60 mkm qalınlıqlı boz faza NBN –Al_2O_3-V-la EQL–də möhkəmləndirilmiş qatın strukturunda üstünlük təşkil edir və tərkibin qeyribirinciliyi, böyük miqdarda çatlarla, qopmalarla, koğuşlarla və əsasın aşağıdakı qatları ilə rabitənin kifayət etməyən möhkəmliyilə səciyyələnir (şəkil 3, a,b). O, uyğun olaraq mikrobərkliyi 3000±200, 12500±1500 və 6100±300 MPa mikrobərkliyə malik olan kövrək işıqlı-boz sahələrdən, tünd-boz təçkiledicidən və işıqlı-sarı qlobulyar ünsürlərdən ibarətdir. Qığılcımın termiki təsir zonalı boz qatın sərhəddində əhəmiyyətli miqdarda nöqtəvi – dispers və tünd - boz dairəvi ünsürlər müşahidə olunmuşdur. Onların miqdarından və dispersliyindən asılı olaraq boz qatın sərhədinin və termik təsir zonasının mikrobərkliyi sabit qalmır, 1900-4200MPa intervalında dəyişir. Qığılcımın termiki təsir zonasında 50-80mkm dərinlikdə nümunənin bütün eni üzrə əsasən ferrit dənələrinin sərhədi boyunca işıqlı ayrılmalar seçilir (şəkil 3,b). Onların mikrobərkliyi 5000± 100 MPa təşkil edir. Onların forması, yüksək bərkliyi və polad 35-in möhkəmləndirilmiş qatının mərkəzində yerləşməsi, maye və qazəmələgətirici eroziya olunmuş fazaların parçalanma və oksidləşmə fazaları ilə həmin ünsürlərin legirlənməsi nəticəsində keçmiş perlit sahələri əsasında onların yaranma imkanlarına dəlalət edir.



Şəkil 4. *$15Al_2O_3$- 45 NBN - 40Nc tərkibli elektrodla EQL-dən sonra 35 markalı poladın mikrostrukturu (300): a-əsas,b-möhkəmləndirilmiş qat*



Şəkil 5. *Al_2O_3-45 NBN –V (1), Al_2O_3-45 NBN-Ni(2), NBN(3) kompozisiyalarla EQL-dən sonra səth qatının bərkliyinin dəyişməsi*

NbN-Al_2O_3-Ni tərkibli elektrodlarla polad 35-in emalı halında möhkəmləndirilmiş qatın struktur təşkiledicisi əksər hallarda zərif aşılanan faza-qalınlığı 40-50 mkm, mikrobərkliyi 6200±500 MPa olan ağ qatdır (şəkil 5). Mikrobərkliyin dəyişmələrinə baxmayaraq 5000-9250 MPa intervalında ağ qat yüksək bütövlük, əsasa kip toxunma və onunla kifayət qədər ilişmə ilə səciyyələnir. Ağ qatın xarici tərəfindən boz qat müəyyən olunur, o şlifi hazırladıqda əhəmiyyətli

ovxalanır (şəkil 5) və 10700±300 MPa mikrobərklikli tünd-boz və işıqlı-sarı sahələrlə təqdim olunur. Ağ qatın və qığılcımın termiki təsir zonasının sərhəddində səthin mikrobərkliyi 1700±100MPa –ı ötmür, lakin əsasın mikrobərkliyini (1200±100MPa) üstələyir. Səciyyəvi haldır ki, qığılcımın termiki təsir zonasında perlit koloniyaları müşahidə olunmur. Sonuncu yalnız 50-80 mkm dərinlikdə aşkarlanır (legirləyici elektrodun tərkibindən asılı olaraq) və boz və ağ qatların boyunca zəncirvari yerləşir. Güman ki, bu effekt katodun səth qatlarında karbonun yenidən paylanması ilə əlaqədardır, ağ qatda və xırda dispers ayırmalar sahəsində onun maksimal konsentrasiyası ilə müşayiət olunur.

Karbonun yenidən paylanma effekti, mümkündür, termik gərginliklərin təsiri və əsasın materialı ilə maye və qaz əmələgətirici fazaların qarşılıqlı təsirinin nəticəsidir. Digər tərəfdən, maye və qaz əmələgətirici fazaların yaranma prosesində legirləyici materialın komponentlərinin parçalanması və yaranan fazaların dəmirlə qarşılıqlı təsiri baş verir. Burada dəmir Nb, V kimi karbid əmələgətirici elementlərlə zənginləşir. NbN- Al_2O_3- Ni (V) kompozisiyalarının komponentlərinin qarşılıqlı təsirinin maye fazalı və qaz əmələgətirici məhsullarının tərkibində onların iştirakı mass - spektrometrik, mikrorentgenspektral və rentgenfaz analizlə müəyyən edilmişdir.

Qığılcımın termiki təsir zonasının xüsusiyyəti həm də ferrit dənəsinin xırdalanması və onun formasının dəyişməsidir. Termiki təsir zonasının belə quruluşu qısamüddətli qızma və sonrakı kəskin soyuma proseslərinin fasiləsiz növbələşmələrinin təsiri altında və habelə qızdırmada faza çevrilmələrin prosesində dənənin böyüməsinin qarşısını alan artıq bərk fazaların poladın səth qatında yaranması nəticəsində formalaşa bilər.

Nəticələr: 1. Poladların EQL-ində legirləyici elektrodun materialı kimi Ni və ya V əlavəsilə NbN-Al_2O_3 kompozisiyası tədqiq olunmuşdur. Al_2O_3 miqdarının 15 həcm%-dən yuxarı olması möhkəmlənmiş qatın formalşma şəraitini pisləşdirir. Bu, elektrodun materialının termiki davamlılığının azalması ilə şərtlənir. Arqonda bişirlmiş kompozisiyalarla EQL-də köçürmə əmsalı azotla bişirilmiş kompozisiyalarla emaldakına nisbətən yuxarıdır, onun stabilliyi sahəsində isə cəmi artım üç dəfə çoxdur.

2. Ni-in əlavəsilə NbN - Al_2O_3 kompozisiyaları ilə EQL-də alınmış möhkəmləndirilmiş qat həmin miqdarda V - un əlavəsilə olan kompozisiyalarla EQL-də alınmış möhkəmləndirilmiş qata nisbətən daha yüksək bütövlüyə, əsasa kip sıxılmaya və onunla möhkəm ilişməyə malikdir. EQL prosesində katodun səth qatlarında karbonun yenidən paylanması baş verir. Bu halda onun maksimal konsentrasiyası ağ qatda olur və nəticədə ferrit dənəsinin xırdalanması və onun formasının dəyişməsi müşahidə olunur.

Ədəbiyyat

1. Самсонов Г.В., Винницкий И.М. Тугоплавкие соединения. М.: Справочник, Металлургия, 1996, 556 с.
2. Самсонов Г.В., Верхотуров А.Д., Бовкун Г.А., Сычев В.С. Электроискровое легирование металлических поверхностей. Киев: Наук. думка, 1986, 220 с.
3. Огнеупоры для космоса. Справочник. М.:Металлургия, 1997, 264 с.
4. Черепанов А.М., Тресвятский С.Г. Высокоогнеупорные материалы и изделия из окислов. М.:Металлургия, 1984, 246 с.
5. Техника высоких температур./Под ред.И.Э.Кемпбелла. М.:Изд.-во иностр. лит. 1999, 593с.

Tövsiyə edib: t.e.d., prof. ***A.T.Məmmədov***

UOT. 656.6:620.193;656.6:620.197

TİTAN - NİTRİD ÖRTÜYÜNƏ MALİK AZLEGİRLİ KARBONLU POLADLARIN SULFAT MƏHLULLARINDA KORROZİYAYA DAVAMLILIĞININ TƏDQİQİ

Şərifov Z.Z., Şirinov T.İ., Fərhadov M.A.

Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası
Az1000 Bakı ş., Z.Əliyeva küç., 18
E-mail:scherifov.z@gmail.com

Xülasə. *Məqalədə titan-nitrid örtüyünə malik azlegirlənmiş karbonlu poladın sulfat məhlullarında korroziyadan mühafizəsinin tədqiqi araşdırılmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, 09Г2С poladının səthinə çəkilən titan-nitrid örtüyü poladın korroziyaya davamlılığını və mexaniki xassələrinə müsbət təsir göstərir.*

Abstract. *Corrosion protection of law carbonated steel with titanium-nitrate shell in the sulfate mixture has been researched. At was made out that titanium nitrate shell on the steel 09Г22С impacts positively the mechanical features and corrosion worthiness of steel.*

Аннотация. *В статье рассмотрена защита коррозии в среде сульфатного раствора малолегированной углеродной стали, покрытой TiN. Определено, что данное TiN покрытие, нанесенное на сталь улучшает коррозионную стойкость.*

Açar sözlər: *titan, nitrid, polad, mikrobərklik, korroziya, mühit.*

Key words: *titanium, nitrate, steel, micro hardness, environment, corrosion.*

Ключевые слова*: титан, нитрид, сталь, микротвердость, коррозия, среда.*

Giriş. Məlumdur ki, dəmir və azlegirlənmiş poladların neytral, qələvi və turş mühitlərdə həllolması OH^- ionlarının iştirakı ilə gedir [1]. Belə qəbul edilir ki, əvvəlcə OH^- ionları metal səthinə adsorbsiya olunur və metaldan elektron ayrılır. Sonraki mərhələdə OH^- ionlarının yenidən metal səthinə adsorbsiyası nəticəsində su və elektronun metaldan ayrılması adsorbsiya şəkilində dəmir iki oksidin yaranmasına səbəb olur.

Bu qanunauyğunluqlar turş sulfat mühitlərində də müşahidə olunur. Digər tərəfdən titan nitrid örtüyünün neytral mühit olan dəniz suyu mühitində mühafizəedici qabiliyyətinin müşahidə olunması onun turş mühitlərdə də mühafizə qabiliyyətinin öyrənilməsini həm nəzəri, həm də praktiki cəhətdən maraq doğurmasını zəruri edir. Bunu onunla da əsaslandırmaq olar ki, titan və onun ərintiləri dəmirə nisbətən mənfi potensiala malik olsalar da, turş mühitlərdə asan passivləşirlər. Bu effektin titan nitrid örtüyü üçün də xarakterik olmasını bilmək böyük praktiki əhəmiyyət kəsb edir.

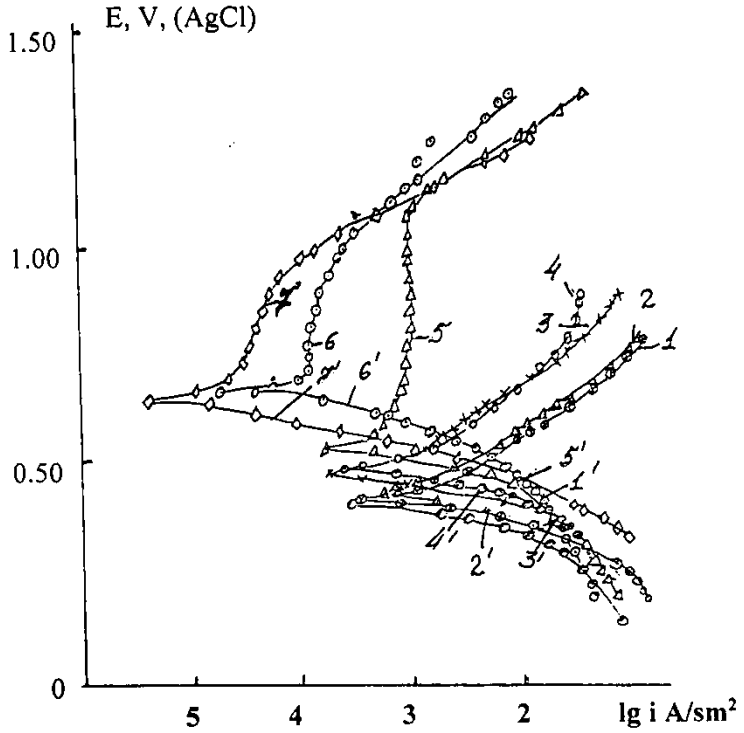
Ona görə də kompakt 09Г2С poladının örtüksüz və titan nitrid örtüyü ilə sulfat məhlullarının müxtəlif pH-da korroziya və elektrokimyəvi xassələri tədqiq edilmişdir.

Əsas hissə. Kompakt 09Г2С poladının sulfat məhlullarının müxtəlif pH-da çəkilmiş katod və anod polyarlaşma əyriləri şəkil 1-də verilmişdir.

Şəkildən göründüyü kimi, turşunun yuxarı konsentrasiyalarında hidrogenin depolyarlaşması ilə gedən katod prosesi daha intensiv sürətdə baş verir.Məhlulun pH-nın artması katod prosesini sürətləndirir. Bu fakt turş mühitlərdə də aktiv həllolma prosesində OH^- ionlarının iştirakını sübut edir. Sulfat ionlarının prosesə təsirini sabit saxlamaq üçün turşunun konsentrasiyası azaldıqca, məhlula ekvivalent miqdarda Na_2SO_4 duzu əlavə edilmişdir. Bütün təcrübələr müddətində SO^{2-}_4 ionlarının konsentrasiyası 0,5 M, yəni 1 m həddində saxlanılmışdır. Turşunun lap aşağı konsentrasiyalarında katod prosesi həm hidrogen, həm də oksigen depolyarlaşması ilə baş verir.

Poladın göstərilən məhlullarda həllolması zamanı OH^- ionları ilə yanaşı SO_4^{2-} ionları da iştirak edir. Ona görə də poladın həllolması prosesində mühitin anion tərkibini nəzərə almaq

lazımdır. Poladların həllolmasının elementar mərhələsində sulfat ionlarının da iştiraki bir çox tədqiqatçılar tərəfinfən sübut edilmişdir [2,3,4].



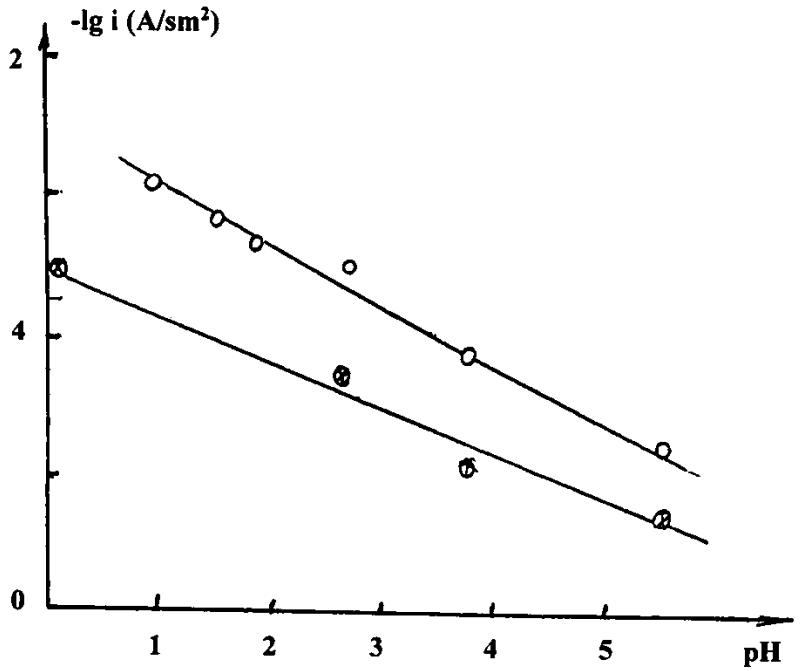
Şəkil 1. *09Г2С kompakt poladının sulfat məhlullarının müxtəlif konsentrasiyalarında və pH-da katod və anod polyarizasiya əyriləri*
1-1-0.03;2-2-0.8; 3-3-1.4; 5-5-2.6;6-6-3.7; 7-7-6.0

Sulfat ionlarının konsentrasiyasının artması poladın həllolma sürətini artırır. Məhluldakı OH^-, SO_4^{2-} və HSO_4^- ionlarının həllolma prosesindəki iştirakını aşağıdaki kimi təsəvvür etmək olar. Həllolma prosesinin ilk mərhələsində $(FeOH^-)_{ads}$ birləşməsi əmələ gəlir. Sonra bu birləşmə SO_4^{2-} və HSO_4^- ionları ilə reaksiyaya girir.

Tədqiq etdiyimiz 09Г2С kompakt poladının həllolma sürətinin sulfat məhlullarının pH-nın artması ilə sürətlənməsi onunla izah oluna bilər ki, məhlulda OH^- ionlarının çoxalması poladın stasionar potensialının mənfi istiqamətə doğru yerdəyişməsinə səbəb olur.

09Г2С poladını sulfat məhlullarında korroziyadan mühafizə etməsi məqsədi ilə onun səthinə vakuum-kondensasiya üsulu ilə titan-mitrid örtüyü çəkilmişdir. Aparılan tədqiqatlar nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, səthinə örtük çəkilmiş poladın səthində sulfat məhlullarında baş verən katod prosesinə pH-ın təsiri, örtüksüz polad üçün alınan nəticələrin xarakterinə uyğundur. Lakin anod prosesinə gəldikdə, aktiv həllolma zamanı pH-ın prosesə təsirində anomallıq müşahidə olunur. Belə ki, pH-ın artması əvvəlcə poladın aktiv həllolmasını zəiflədir, pH-ın sonrakı artımı anod həllolma prosesini gücləndirir, pH-ın maksimum qiymətində isə aktiv anod həllolması minimum qiymət alır. Hələlik bu anomaliyaya birmənalı fikir söyləmək mümkün deyildir. Lakin belə bir fərziyyə irəli sürmək olar ki, pH-ın orta qiymətlərində məhlulda hidroksil və sulfat ionlarının konsentrasiyası kifayət qədər olduğundan həllolma eyni zamanda paralel olaraq hər iki anionun iştiraki ilə gedir. Ona görə də həllolma prosesi kifayət qədər sürətli olur. Məhlulun pH-nın yüksək qiymətlərində isə sulfat ionlarına nisbətən hidroksil ionlarının məhlulda konsenrasiyası daha yüksək, titan nitridin OH^- ionlarına görə aktivliyi çox aşağı olduğundan, anod həllolma prosesinin sürəti çox aşağı olur.

Örtük çəkilib-çəkilməməsindən asılı olmayaraq poladın korroziya-elektrokimyəvi xassələrinə mühitin pH-nın təsirinin xarakteri dəyişmir. Lakin örtüyün polad səthinə çəkilməsi onun korroziya sürətini xeyli zəiflədir. Bunu əyani olaraq şəkil 2-də görmək olar.



Şəkil 2. *Örtüksüz və səthinə titan-nitrid örtüyü çəkilmiş kompakt 09Г2С poladının korroziya sürətinin sulfat məhlulunun pH-dan asılılığı*
o- *örtüksüz komrakt polad; x - səthinə örtük çəkilmiş kompakt polad*

Şəkildən göründüyü kimi, məhlulun pH-ın artması poladın örtüksüz və örtük çəkilmiş halda korroziya sürətinin azalmasına səbəb olur. $L_g\, i_{kor}$ –pH asılılığı hər iki halda xətti xarakterə malikdir.

Metal səthinə aqressiv anionların absorbsiyasının qarşısının alınma üsullarından biri də səthə örtük çəkilməsidir. 09Г2С poladının səthinə titan-nitrid örtüyünün çəkilməsi yuxarıda qeyd olunan məqsədi güdür. Titan-nitrid örtüyü birləşmə olduğundan sərbəst enerjisi çox kiçikdir, yəni aqressiv mühitə qarşı inertdir. Belə örtüklər poladın korroziyasının qarşısını tamamilə almalıdır. Lakin tədqiq edilən polad səthinə tozlandırılmış titan-nitrid örtüyü sulfat ionları saxlayan aqressiv mühitlərdə korroziya sürətini on dəfələrlə azaltsa da korroziya prosesinin qarşısını tamamilə ala bilmir. Bunu onunla izah etmək olar ki, alınan örtük müəyyən qüsurlara , yəni məsaməliliyə malik olduğundan, poladı aqressiv mühitdən tam təcrid edə bilmir.

Titan-nitrid örtüyünün 09Г2С poladının səthinə çəkilməsi yalnız onun korroziyaya davamlılığını deyil, eyni zamanda mikrobərkliyini də artırır. Örtük çəkilmiş poladın mikrobərkliyi tətbiq olunan yükün aşağı qiymətlərində demək olar ki, örtüksüz poladın mikrobərkliliyindən 2,5 dəfə çox olur.

Nəticə. Alınmış nəticələrə əsasən belə bir qərara gəlmək olar ki, 09Г2С poladının səthinə çəkilən titan-nitrid örtüyü poladın korroziyaya davamlılığı ilə yanaşı, onun mexaniki xassəsinə də müsbət təsir göstərir.

Ədəbiyyat

1. Флорианович Г.М., Соколова Л.А., Колотыркин Я.М. Электрохимия 1967, т.3, № 11, 1359-1363
2. Колотыркин Я.М. Влияние ионов на кинетику растверения металлов. Успехи химии, 1962, т.31, № 3, с. 322-335
3. Лосев В.В. Итоги науки и техники. Серия элэктрохимия. М.: ВИНИТИ Т.6. 1971, с. 65.
4. Гончаренко А.С. Процессы в водных растворах. Тем. Сбор. Науч. Тр. Проф-преп. Состава ВУЗ-ов М-во прос. Казах. ССР, Алма-Ата, 1985, с. 38-41.

Tövsiyə edib: t.e.d., prof. ***A.T.Məmmədov***

УДК 630.36

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА НАДЕЖНОСТЬ СУДОВЫХ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

Гафаров А.М., Калбиев Ф.М., Мамедов Э.Д.

Азербайджанская Государственная Морская Академия
Аз 1000, г. Баку, ул. З. Алиевой, 18.
E-mail: Aydin.Qafarov@hotmail.com, elxantec@mail.ru, farqan.kalbiyev@acsc.az

Xülasə. *Məqalədə gəmi maşın və mexanizmlərinin etibarlılığına və uzunömürlülüyünə müxtəlif amillərin təsiri araşdırılır, alınan qanunauyğunluqlar təhlil edilir.*

Аннотация. *В статье рассматриваются вопросы влияния различных факторов на надежность и долговечность судовых машин и механизмов, анализируются полученные закономерности.*

Abstract. *The impact of various factors to long life and reliability of vessel machines and mechanisms are dealt with and the obtained regularities have been analysed in the article.*

Açar sözlər: *gəmi, maşın, detal, şərt, etibarlılıq, imtina, defekt, təsir, proses*

Ключевые слова: *суда, машины, детали, условия, надежность, отказы, дефекты, воздействие, процессы*

Key words: *vessel, machine, part, condition, reliability, rejection, defect, impact, process*

Введение. Для оценки надежности машин и оборудований, работающих в экстремальных условиях, следует использовать показатели, определяющие их долговечность, безотказность, ремонтопригодность и сохраняемость, которые выбираются с учетом характеристик исследуемого объекта, режимов и условий их эксплуатации.

Основная часть. Основной и наиболее универсальной характеристикой является вероятность безотказной работы объекта, под которой понимается вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ объекта не возникает [1]. Кроме того при определении параметров надежности следует так же учитывать требования и рекомендации, указанные в стандартах, нормативных документах и технических условиях эксплуатации машин и механизмов.

Суда различных назначений оснащаются многочисленными машинами, оборудованиями, механизмами, приспособлениями, инструментами, надежность которых является определяющим фактором как при обеспечении безопасности людей и их имущества, так как и имеет большое экономическое и социальное значение.

Машины и оборудования, эксплуатируемые в экстремальных условиях существенно различаются по назначению. Они выполняют многочисленные технологические функции, работают под воздействием различных природных явлений, в кислотной и абразивной среде и т.д.

Технологии, применяемые при экстремальных условиях не имеют аналогов среди других отраслей промышленности. В состав оборудования, эксплуатируемых в экстремальных условиях входят все известные виды механических соединений, электро: гидро- и пневмосистемы, трансмиссии, двигатели внутреннего сгорания, электродвигатели, узлы и механизмы общего назначения, различные электрооборудования и т.д.

К оборудованиям предназначенных для эксплуатации в экстремальных условиях относятся подъёмно-транспортные машины, краны различных типов, насосы, компрессоры, режущие и деформирующие устройства, телескопические соединения и многие другие механизмы и устройства.

К оборудованиям работающих в экстремальных условиях также относятся суда различных назначений, их машины и механизмы.

Анализ условий эксплуатации многочисленных машины и оборудований показывает, что их надежность и долговечность во многом связаны со сложностью и взаимодействием отдельных их узлов и соединений с окружающей средой, в которой они работают, несовершенством их конструкцией, нестабильностью свойств материалов их деталей и др.

Как видно из изложенного надежность и долговечность машин и оборудований, работающих в экстремальных условиях зависит от многочисленных между собой связанных и несвязанных факторов, которые определяют их безотказность в условиях эксплуатации.

В настоящее время теория надежности имеет два основные направления: вероятно статистическое и детерминированное.

В рамках первого направления разработаны математические методы оценки надежности, статистическая обработка результатов испытаний и эксплуатации, разработка высоконадежных структур технических систем, планирование испытаний, контроль и прогнозирование надежности, совершенствование системы эксплуатации и т.д. [2].

В рамках второго направления изучены механизмы процессов, оказывающих основное влияние на надежность, разработаны методы расчета на прочность и износ, разрабатываются новые технологические методы повышения надежности материалов, элементов и объектов. В настоящее время делаются попытки слияния этих двух направлений, при этом методы и результаты из одной области используются в другой и на этой основе возникает единая общая наука о надежности технических объектов [2].

Анализ результатов многочисленных исследований показывает, что современная теория надежности основывается на фундаментальные законы математики и физики. Практически, применяя различные методы математики можно решать любые задачи, связанные с надежностью машин и оборудования. Учитывая и принимая во внимание физические основы разрушения материалов можно прогнозировать изменение характеристик и основных свойств элементов машин и оборудований за определенный времени эксплуатации. Кроме того при помощи математических методов статистики можно определить оптимальные условия эксплуатации машин и оборудований, выполняющих различные технологические процессы.

Анализ причин возникновения отказов судовых машин и механизмов показывает, что их возникновение непосредственно связано с различными причинами. Можно их условно разделить на механические, электрические, акустические, гидравлические, пневматические, кинематические, электромагнитные, химические и др. Каждый класс машин и оборудований имеет свой специфический вид причины отказов. Указанные причины можно отнести так же и к отдельным узлам и соединениям судовых машин и механизмов. Например, для судовых машин и механизмов характерно отказы двигателей, связанные с механическими, гидравлическими, тепловыми и электрическими воздействиям; для коробки передач и ходовой части – механическими, кинематическими и химическими; для тормозных систем–механическими, гидравлическими и пневматическими; для электрооборудования – электрическими, электромагнитными; для насосного отсека – механическими (наличие трещин и деформаций, следы коррозии и др.); для вакуумного вооружения–механическими и пневматическими (вмятины, потертости, внутренние отслоения, повреждений, деформации и смятие деталей), гидравлическими - (не обеспечение герметичности, не смыкание соединительных головок напорных штуцеров с высасывающими и напорно-высасывающими деталями, не обеспечение герметичности клапанов и уплотнителей) и т.д.

Анализ причин и видов отказов обычно проводится с целью их предупреждения. Для устранения последствий отказов проводятся многочисленные мероприятия и решаются различные технические и технологические задачи. Частые отказы машин и оборудований явля-

ются результатом многочисленных между собой связанных и не связанных случайных факторов.

Согласно [3], в период эксплуатации любой объект должен соответствовать установленным требованиям по надежности, совокупности количественных и качественных требований к безотказности, долговечности, ремонтопригодности и сохроняемости, выполнение которых обеспечивает эксплуатацию объекта с заданными показателями эффективности, безопасности, экологической живучести и других составляющих качеств, зависящи от надежности или возможность применения данного изделия в качестве составной части другого изделия с заданным уровнем надежности.

Безусловно, суда различных назначений первым долгом относятся к объектам, функционирование которых связаны с обеспечением безопасности.

Для объектов, восстанавливаемых в процесс эксплуатации, у которых допустимы перерывы в работе, в качестве основных показателей надежности часто используется средняя наработка на отказ, среднее время восстановления или их сочетания (например, коэффициент готовности).

Следует отметить, что количество показателей надежности для многих видов машин и оборудований приведены в государственных и отраслевых стандартах, технических условиях и других нормативно-технических документах.

Математический аппарат теории надежности базируется на основных положениях теории вероятностей, теории случайных функций и процессов, математической статистики, математической логики, комбинаторики и теории графов.

При анализе надежности машин и механизмов иногда возникают ситуации, при которых случайная величина является сочетанием двух или более случайных величин с различными распределениями.

Количество характеристик надежности судовых машин и механизмов необходимо оценивать по результатам испытаний, с применением методов математической статистики.

Судовые машины и механизмы работают в различных атмосферных и климатических условиях и в процессе работы иногда происходят непредвиденные случайные процессы из-за изменения нагрузок и условий эксплуатации. Детали и узлы машин и механизмов могут быть изготовлены с различными допусками, отклонениями основных параметров, качествами поверхностей, структурами и свойствами.

Большинство физических процессов и явлений, происходящие в материалах, имеют физико-статистическую природу. Следовательно, подход к анализу состояния технических объектов должен быть, как правило, структурно-вероятностным, т.е. должен учитывать как физическую структуру объектов и материалов, так и статистические, кинематические закономерности процессов [4].

Как известно, проявления отказов машин и механизмов главным образом связаны с влиянием различных физико-химических процессов.

Повреждения могут быть как механического, так и физико-химического характера. Например, в виде износа, пластической деформации, трещинообразования, усталости, коррозии, кавитации, эрозии адсорбции и т.д. Иногда повреждения носят смешанный характер. Например, в процесс износа могут входить явления механического, физического, химического и др. происхождения.

Характер процессов вызывающие отказы машин и оборудования можно изучать на субмикроскопическом, микроскопическом и макроскопическом уровнях.

Выводы. Классификация возникновения отказов может быть проведена по типу материала элемента, по месту протекания процессов, влияющих на работоспособность объекта, по виду энергии, определяющий характер процесса, по типу эксплуатационного воздействия и по характеру процесса.

Литература

1. Труханов В.М. Методы обеспечения надежности изделий машиностроения. М.: Машиностроение, 1995, 304 с.
2. Невзеров В.Н., Сучак Е.В. Надежность машин и оборудования.. Красноярск: СГТУ, 1998, 240 с.
3. Бабаев С.Г., Габибов Н.А., Меликов Р.Х. Основы теории надежности нефтепромыслового оборудования, Баку, АГНА, 2015, 400 с.
4. Гафаров А.М., Сулейманов П.Г., Гафаров В.А. Прогнозирование и статическая оценка надежности машин и оборудования, эксплуатируемых в экстремальных условиях//Химическое и нефтегазовое машиностроение, 2014, №11, с 15-17.

Tövsiyə edib: t.e.d., prof. ***A.T.Məmmədov***

УДК 621.791

МОРСКАЯ КОРРОЗИЯ И СПОСОБЫ ЕЕ УСТРАНЕНИЯ

Михеев А.И., Серова Т.А.

Государственный Университет инфраструктуры и технологий
Киевский институт водного транспорта
г. Киев, ул. Кирилловская, 9
E-mail: gatsenko.larisa @gmail.am

Аннотация*. В статье рассмотрены основные факторы, влияющие на возникновение и активизацию морской коррозии в условиях эксплуатации судов. В результате проведенного анализа полученных данных предложены рекомендации по применению профилактических мер с целью существенного снижения корпусной коррозии судов.*

Abstract. *In article the basic factors that influence the emergence and intensification of marine corrosion in conditions of operation of vessels. Based on the analysis of the results obtained, recommendations on the application of preventive measures with the aim of substantially reducing primarily Cabinet corrosion of ships.*

Ключевые слова: *морская коррозия, факторы, соленость, кислородная растворимость, электропроводимость, структурная неоднородность стали*

Key words: *marine corrosion, oxygen, salinity, conductivity, solubility, structural heterogeneity of steel*

Введение. Прежде чем писать о морской коррозии стоит вспомнить о механизме возникновения электрического тока в гальванических элементах, величина которого обусловлена разностью нормальных потенциалов двух разноименных металлов, взятых из известного ряда напряжений. Эта разность потенциалов и определяет величину электродвижущей силы в данной гальванической паре.

В случае же морской коррозии в электролите (морской воде) вроде бы находится один металл корпуса судна, однако разрушение его посредством коррозии происходит и даже достаточно активно. Действительно, абсолютно чистые металлы и чистое железо, в том числе, практически коррозии не подвергаются. Но корпуса судов строят из сплавов, как правило, из углеродистых и легированных сталей, в состав которых входят легирующие элементы и различные примеси. Именно по причине разнородности и многофазности сталей в морском электролите самопроизвольно образуется огромное количество микрогальванических пар, предопределяющих неизбежную коррозионную участь корпуса судна, если экипаж не занимается соответствующими профилактическими работами (рис. 1).



Рис. 1. *Морская коррозия в действии. Общий вид судна.*

Морская коррозия представляет собой электрохимический процесс взаимодействия обшивки корпуса с морской водой (сильным электролитом), который сопровождается разрушением металла. При этом сам процесс коррозии состоит из двух сопряженных между собой химических реакций, происходящих на различных участках металлической поверхности и протекающих при возникновении электрического тока [1]:

1. Переход металла в электролит в виде гидратированных ионов:

$$Me + nH_2O \rightarrow Me^{2+} \cdot nH_2O + ne^- \text{ (анодный процесс);}$$

2. Восстановление окислительного компонента коррозионной среды:

$$ne^- + D \rightarrow \left| D\ ne^- \right|,$$

где D – элемент, способный восстанавливаться на катоде (катодный процесс), и в реальном виде происходит кислородная деполяризация:

$$O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4OH^- .$$

С учетом совокупных условий эксплуатации судов протекающие на них коррозионные явления преимущественно проходят с кислородной деполяризацией в связи с насыщенностью кислородом верхнего слоя морской воды. То есть происходит торможение поляризационных процессов. В противном случае коррозия протекала бы в сотни раз быстрее, чем в реальных условиях.

Постановка задачи. Исходя из вышеизложенного главными целями настоящей статьи являются:

- проведение анализа влияния из всего существующего многообразия параметров основных из них на активность морской коррозии;
- оценка приоритетности этих влияний на скорость коррозии, а также определение воздействия самой коррозии на целевую функцию судна – надежность и живучесть его корпуса, т.е. на его безопасную эксплуатацию.
- формулирование предложений по минимизации коррозионных явлений в реальных условиях эксплуатации судов.

Основная часть. Итак, морская коррозия, в первую очередь, обшивки корпуса судна представляет собой интегрирующее действие двух факторов – *внутреннего и внешнего*.

Внутренний фактор коррозии характеризуется особенностями конструкции самого судна и складывается из следующих основных параметров: химического состава и структуры стального материала корпуса, состояния его поверхности, присутствия сварных швов и клепанных соединений, различных дефектов, механически напряженных зон металла и наличия на поверхности корпуса «блуждающих» токов.

Внешний же фактор коррозии полностью зависит и определяется состоянием электролита (самого моря или океана) и окружающей воздушной атмосферы. В содержание внешнего фактора входят такие основные параметры: химический состав воды, прежде всего, его соленость, температура воды и воздуха, скорость контакта электролита с корпусом судна и биокоррозия.

Рассмотрим действие перечисленных параметров этих двух факторов на морскую коррозию по порядку их упоминания.

1. Параметры внутреннего фактора коррозии:

а). Химический состав и структура судостроительной стали. Углеродистые и низколегированные стали используют в качестве массового конструкционного материала для постройки корпусов судов, например: стали марок Ст.3, 09Г2С, 10ХСНД и пр. После окончательной термической обработки структура таких сталей представляет собой ферритно-перлитные механические смеси, где главными компонентами этих смесей являются феррит (Fe_α) и цементит (Fe_3C). Такой двухфазный состав сталей и их мелкая зернистость самопроизвольно создает множество естественных гальванических пар. При этом роль положительных электродов играют химические соединения - цементит, а ферритные зерна выступает в роли отрицательных электродов [2]:

$$Fe - 2e^- \rightarrow Fe^{2+}, \quad O_2 + 4e^- + 2H_2O \rightarrow 4OH^-, \quad Fe^{2+} + 2OH^- \rightarrow Fe(OH)_2,$$

а далее $4Fe(OH)_2 + 2H_2O + O_2 \rightarrow 4Fe(OH)_3$, образуя в итоге, так называемую, ржавчину.

Зависимость интенсивности морской коррозии от микроструктуры стали и ее химического состава взаимосвязаны между собой. С повышением содержания углерода сопротивляемость стали коррозии понижается в связи с возрастанием площади перлитной составляющей (механическая смесь феррита и цементита), что, в свою очередь, связано с увеличением количества микрогальванических пар (Fe_α-Fe_3C).

В противовес углероду рост в составе сталей количества легирующих элементов, главным образом хрома, никеля, меди (Cr, Ni, Cu), оказывает на коррозионную стойкость положительное влияние. При этом существенно снижается скорость коррозии стали за счет образования плотных окисных пленок, а также по причине изменения кристаллической решетки Fe_α на Fe_γ. При этом, хотя размер зерен мало влияет на скорость коррозии, однако все же измельчение зерна имеет определенную тенденцию в сторону уменьшения скорости коррозии по структурному ряду: перлит → сорбит → троостит.

б). Состояние поверхности обшивки и наличие на ней дефектных мест (зоны ликвации, макро- и микропоры, зоны рыхлости, раковины и т.д.). Как правило, перечисленные дефекты имеют более положительный потенциал по отношению к основному металлу, способствуя электрохимической коррозии. То есть, чем меньше шероховатость поверхности обшивки, чем менее металл поражен дефектами, тем выше его сопротивляемость коррозии.

Улучшение состояния поверхности корпуса особенно в начальный период замедляет развитие коррозионных процессов. Во-первых, на более гладких поверхностях (например, шлифованных) легче образуются пассивные защитные пленки, а, во-вторых, на таких поверхностях меньше различных наружных дефектов, что сводит к минимуму возникновение гальванических пар неструктурного характера.

в). Производство корпусов судов не обходится без сварных швов, а иногда и без клепаных соединений. Эти места являются зонами повышенной коррозионной опасности и поэтому всегда требуют особого внимания по обеспечению их антикоррозионной защиты. Причинами активизации коррозии в местах неразъемных соединений стальных элементов могут быть несколько. Различие химического и структурного фазового состава металла сварного шва и основного металла; рост напряженного состояния в связи с неравномерностью кристаллизации наплавленного металла, а также в результате термического влияния на зоны основного металла, прилегающего к сварному шву.

Итак, сварные швы по указанным выше причинам и заклепочные головки вследствие их наклепа по отношению к основному металлу корпуса в подавляющих случаях выступают в роли анодов, что приводит их к коррозионному разрушению.

г). Различные напряженные состояния металла в узлах и конструктивных элементах корпуса, вызванные явлением механического наклепа, деформациями в естественных температурных условиях (например, гибка листов в холодном состоянии), значительно повышают

скорость коррозии. Напряженные, деформированные участки металла становятся анодами, а остальной недеформированный металл – катодом, тем самым способствуя появлению дополнительных гальванических пар.

д). И, наконец, надо иметь в виду специфическую коррозию корпуса в результате электрической коррозии, возникающей при появлении блуждающих токов. Как правило, блуждающие токи проявляют себя при судовых ремонтах в доках, когда используют внешние источники, прежде всего, постоянного тока, или при проведении электросварочных работ непосредственно на плаву (у причалов, в портах) с применением береговых источников электропитания. Электрокоррозия возникает при неправильной эксплуатации электросетей на берегу и на судне. Например, если вместо двухпроводной системы питания энергопотребителей на судне применяется однопроводная система: так, при выполнении сварочных работ, когда потребляемый на судне ток поступает от генератора на берегу и возвращается к его заземленному полюсу через корпус судна – воду – берег. Скорость электрокоррозии превышает скорость всех других видов местной коррозии в 20 – 25 раз и может достигать 4…5 мм/год.

Для защиты от возникновения блуждающих токов сварочный генератор следует устанавливать на палубе судна, где выполняется сварка. Если же генератор находится на берегу, то питание током рабочего места сварки необходимо осуществлять по двухпроводной системе без нарушения правил заземления полюса генератора.

Таким образом, по результатам анализа влияния основных параметров внутреннего фактора на морскую коррозию можно сформулировать первый предварительный вывод о многостороннем, сложном взаимодействии всех параметров между собой с формированием некой единой интегральной причины, определяющей свою, конкретную для данных условий скорость коррозии. Именно поэтому расставить приоритеты влияния этих параметров на активизацию коррозии не представляется возможным, а их просто нужно научиться нейтрализовывать. В целях нивелирования этой интегральной скорости коррозии необходимо на порядок повысить как технологию подготовки производства, так и технологию самого корпусного производства морских судов. И то, и другое должно осуществляться с учетом технологической реализации способов нейтрализации коррозионно опасных параметров.

2. Параметры внешнего фактора коррозии:

а). Химический состав самой морской воды (ее соленость), кислородная растворимость. Общая соленость и ее состав в водах Мирового океана практически постоянен, а во внутренних морях соленость существенно различается (табл. 1) [3].

Понимая, что общая соленость морей и океанов определяется наличием хорошо растворимых в воде таких солей, в первую очередь, как: NaCl, KCl, $CaCl_2$ и др., а также растворимых в воде соединений йода, брома, и, учитывая нейтральный характер морской воды (pH = 7,2…8,6), можно заключить о высокой ее электропроводности и коррозионной активности. Изменение электропроводимости морской воды в зависимости от концентрации растворимых в ней солей представлено на рис. 2.

Таблица 1

Соленость мировых водных акваторий

Водные акватории	**Соленость, ‰**
1. Мертвое море	270,0…310,0
2. Атлантический океан	34,0…35,5
3. Тихий океан	34,0…35,5
4. Средиземное море	37.0…39,0
5. Остальные моря	10,0…25,0
6. Речная вода	0,1…0,3

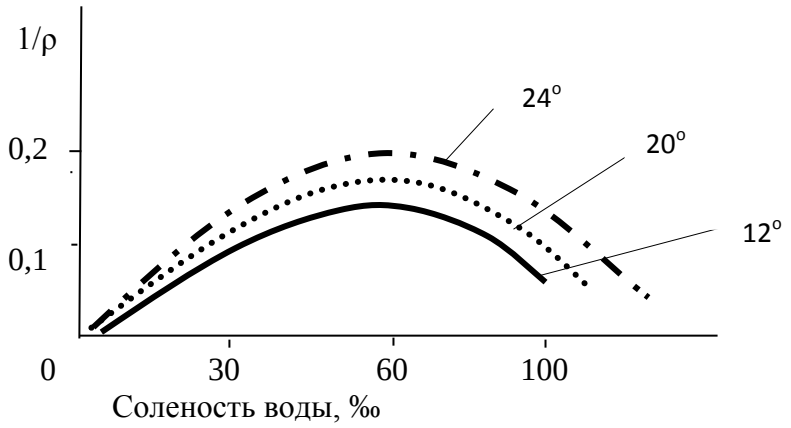


Рис. 2. *Изменение удельной электропроводимости воды (1/ρ) в зависимости от концентрации NaCl [4]*

Эти кривые достигают экстремумов при концентрации соли в интервале 50…60‰ (0,16; 0,18 и 0,20 $Ом^{-1}см^{-1}$ соответственно при температурах 12^0C; 20^0C и 24^0C). При дальнейшем увеличении солености удельная электропроводимость воды падает, обращаясь практически в ноль при насыщенности воды солью в пределах 140…150‰.

Иными словами, воды Мертвого моря полностью лишены ионной проводимости как механизма передачи электричества и с точки зрения электропроводимости совершенно «импотентны». В принципе один этот факт уже серьезно повышает вероятность предположения о невозможности электрохимической коррозии в таких «мертвых» водах. Однако все же уточнить для себя как ведет в этой воде основной природный окислитель – кислород – это ответить окончательно на вопрос «Возможны ли вообще какие-либо окислительные реакции с металлами, погруженные в глубины Мертвого моря?».

На рис. 3 показана зависимость скорости коррозии стали марки Ст.3 в относительных единицах k от массовой концентрации NaCl при температуре 20^0 [5].

Скорость коррозии достигает своего максимума в диапазоне концентраций 30…40‰. Из рис. 2 следует, что при такой концентрации соли электропроводимость воды находится еще на подъеме, выходя на экстремум при солевой концентрации 55…65‰. Если коррозионную активность электролита принять за целевую функцию, то на ее итоговый результат будут влиять, главным образом, два аргумента**:** содержание окислителя и концентрация соли. Предварительно можно предположить, что с увеличением солености более 40‰ количество растворяемого в такой воде кислорода заметно снижается, а в итоге существенно падает общая скорость коррозии. Для подтверждения нашего предположения сошлемся на работу [6], в которой приводятся результаты исследования растворимости кислорода в зависимости от солевой концентрации в водном растворе.

В таблице 2 приведены данные растворимости атмосферного кислорода в зависимости от солености воды по источнику [6].

Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что с возрастанием концентрации соли в водном растворе растворимость атмосферного кислорода в нем достаточно резко падает и при содержании соли 150…160‰ растворимость кислорода практически равна нулю. На это указывает экстраполяция табличных данных. Вот поэтому такой характер кривой с максимумом скорости коррозии при 30…40‰ содержания соли в воде мы и наблюдаем. В этом случае при вполне хорошей ионной проводимости и соответствующей растворимости кислорода достижима именно такая интегральная максимальная скорость коррозии (см. рис. 3).

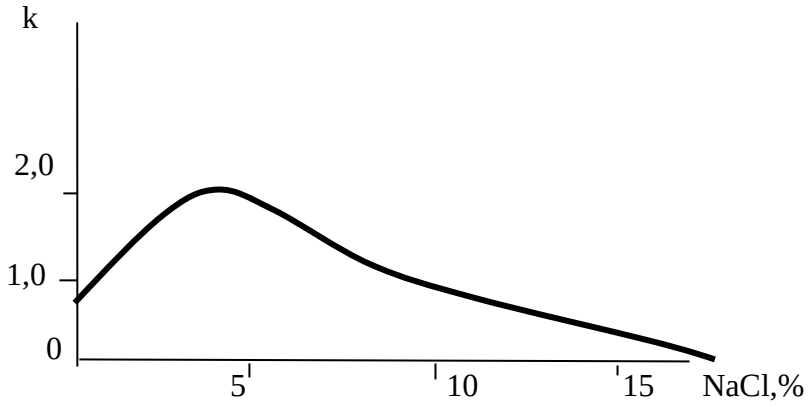


Рис. 3. *Зависимость скорости коррозии стали марки Ст.3 « k » от массовой концентрации NaCl при 20^0C*

Таблица 2

Растворимость атмосферного кислорода (млO_2·$л^{-1}$) при давлении 1 атм в зависимости от солености воды

Температура, ^oC	Соленость воды, ‰				
	0	10	20	30	40
0	10,29	9,65	9,01	8,36	7,71
10	8,02	7,56	7,10	6,63	6,17
20	6,57	6,22	5,88	5,53	5,18
30	5,57	5,27	4,96	4,65	4,35

Исходя из изложенного можно с высокой степенью достоверности утверждать, что в водах Мертвого моря обычная углеродистая сталь будет находиться неограниченно долго без видимых изменений, как в своеобразной антикоррозионной защитной среде (окислителя нет, электропроводимость отсутствует).

б). Температурный параметр для реальных условий эксплуатации судов мало влияет на скорость коррозии. Небольшой максимум интенсивности коррозии соответствует температурному интервалу 35…40^0C и с дальнейшим увеличением температуры скорость коррозии постоянно замедляется. С теоретической точки зрения характер такой зависимости объясняется двумя моментами: с одной стороны, повышение температуры ускоряет процесс диффузии кислорода, но с другой – аналогичное повышение снижает растворимость кислорода в воде, препятствуя протеканию коррозии. Видимо, при температурах более 40^0C активность второго момента преобладает над первым, что и приводит к такой сложной зависимости.

в). Следующий параметр, влияющий на коррозию – скорость взаимодействия воды с корпусом судна. Этот параметр по отношению к коррозии достаточно весом по причине усиления диффузионного подвода кислорода как деполяризатора катодной реакции (рис. 4).

При дальнейшем повышении скорости соударения воды с корпусом наряду с электрохимической коррозией возникает коррозионная эрозия, усиливающая разрушение защитных пленок ударами струй воды и облегчающая доступ кислорода к катодам. Наиболее интенсивно она проявляется в кормовой части наружной обшивки корпуса судна, на гребных винтах, в судовых трубопроводах и иных конструкциях, работающих в условиях высоких скоростей движения коррозионной среды.

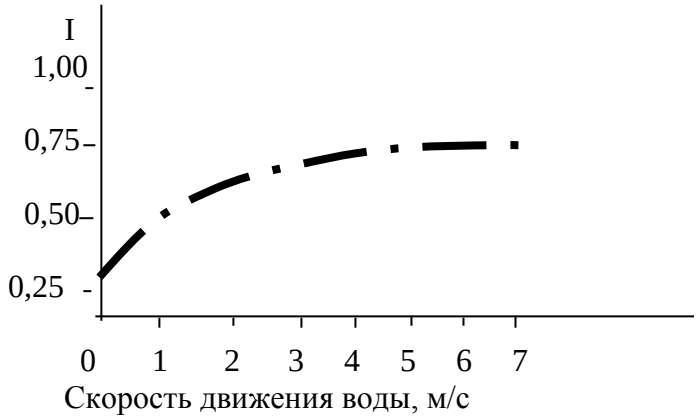


Рис. 4. *Влияние скорости движения морской воды V на интенсивность коррозии I низкоуглеродистой стали марки Ст.3 [3]*

При превышении критических скоростей (особенно для гребных винтов), соответствующих каждому материалу (чугун, углеродистая или легированная сталь, латуни), коррозионная эрозия может переходить в кавитацию – явление активного механического разрушения материала изделия, связанного с образованием на металлической поверхности внутренних полостей (каверн). Механизм кавитации подробно рассмотрен в работе [7].

г). Биокоррозия как еще один параметр относится к внешнему фактору достаточно косвенно, но все же фактически является порождением самого моря. Во время морского плавания подводная часть судна подвергается интенсивному обрастанию различными животными и растительными организмами. Практически все эти морские организмы способствуют повышению скорости коррозии, так как в процессе своей жизнедеятельности они выделяют вредные химические соединения: сернистый водород, углекислый газ, некоторые органические и неорганические кислоты, а также кислород (водоросли). Кроме того, размножаясь и разрастаясь, эти биоорганизмы повреждают слои антикоррозионных покрытий (грунты, краски), создавая новые гальванические микропары, усиливая коррозию и превращая подводную часть корпуса в шероховатую поверхность, что приводит к существенной потере скорости движения судна и повышенному расходу топлива. Поэтому обрастание вызывает дополнительные непроизводственные (финансовые) затраты на внеочередное докование. Известны случаи, когда во время докования крупнотоннажного судна с его корпуса снималось до 200 т продуктов обрастания.

Однако, проводя анализ влияния внешнего и внутреннего факторов на интенсивность морской коррозии, возникает такой естественный вопрос: «А как морская коррозия связана с безопасностью эксплуатации судов?»

Оказывается, что надежность эксплуатации судна, т.е. его безопасность напрямую зависит от предела выносливости (σ_{-1}) материала корпуса, который иногда называют пределом усталости. В свою очередь под усталостью металла понимается его разрушение под действием многочисленной знакопеременной нагрузки, величина которой нормируется значением упругой области кривой растяжения стандартного образца для конкретной марки. Количество циклов нагружения также стандартизировано. Так, например, для стали при заданной нагрузке число нагружений должно быть не менее 10^7 циклов, а для сплавов из цветных металлов – не менее 10^8 циклов. На рис. 5 приведены зависимости влияния различных коррозионных сред на предел усталости (σ_{-1}) стали марки Ст.3 и нержавеющей стали марки 12Х13.

Анализ графических зависимостей (рис.5) свидетельствует о существенном снижении усталостной прочности стали марки Ст.3 особенно в морской воде по отношению к аналогичному показателю на воздухе в 3,65 раза. Для нержавеющей стали марки 12Х13 подобное снижение оценивается в 1,8 раза.

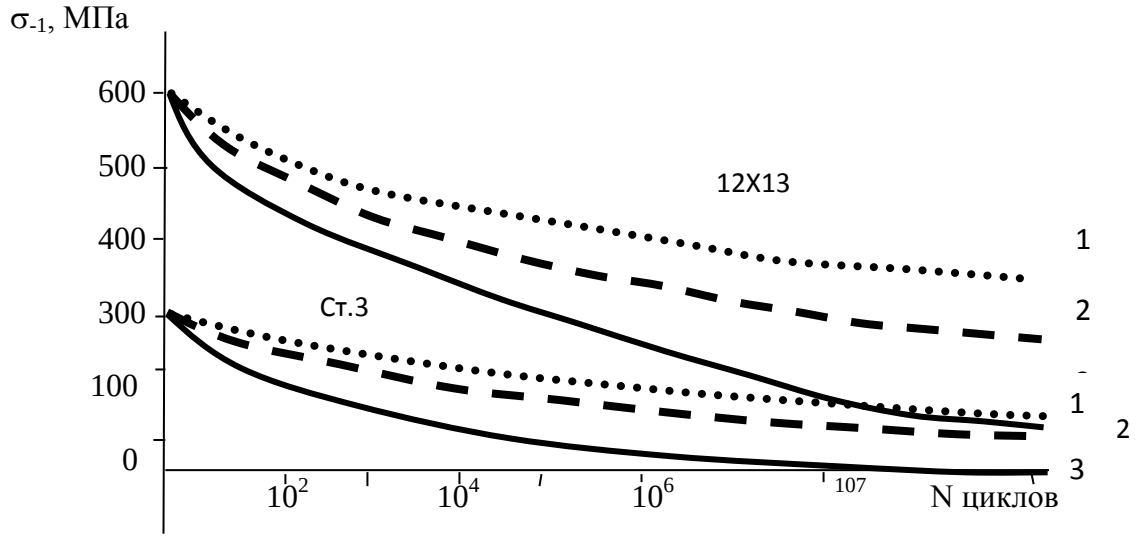


Рис. 5. *Влияние коррозионной среды на предел выносливости (σ_{-1}) сталей марок Ст.3 12Х13 (1 – испытание на воздухе, 2 – в речной воде, 3 – в морской воде)*

Снижение усталости (предела выносливости) сталей в морской воде под действием повторяющихся нагрузок различной интенсивности (морская волна) объясняется возникновением в единичных наиболее ослабленных микрообъемах металла закритических напряженных состояний. В таких дефектных микро зонах, как правило, на границах зерен структурной неоднородности, образуются первые начальные усталостные субмикротрещины. Развитию этих дефектных образований способствует заполнение их морской водой (электролитом), тем самым создаются новые дополнительные гальванические пары и за счет дифференциальной аэрации. Анодом такой пары является донная «вершина» микротрещины, а катодом – боковые стенки трещины и свободная поверхность металла.

Постепенное разрушение дна трещины делает ее острее, превращая в надрез, повышающий концентрацию напряжений. Дальнейшее развитие микротрещины, ее превращение сначала в трещину, а затем в макротрещину, а также увеличение количества трещин может вызвать общее ослабление несущей способности корпуса. В сложных погодных условиях, даже при небольшой силе шторма, рост ослабленных мест способствует переходу критического состояния в закритическое, что с большой вероятностью может привести судно к трагическим последствиям (разлом корпуса).

Таким образом, можно констатировать о необходимости всего экипажа серьезнейшим образом относиться к профилактическим мероприятиям по предотвращению любых коррозионных проявлений на своем судне. Морская коррозия и сопутствующие ей процессы в разы укорачивают срок безопасной эксплуатации судна, особенно если ему уже более 20 лет.

Выводы. Итак, рассмотрев влияние всех основных параметров внутреннего и внешнего факторов на интенсивность морской коррозии судна, представляется целесообразным выделить из них наиболее весомые, стараясь именно против них найти самые эффективные методы борьбы. Оценка приоритетного ряда этих параметров позволяет значительно его уменьшить путем деления параметров на управляемые и неуправляемые.

К неуправляемым отнесем те, на которые человек воздействовать не имеет возможности, - это параметры внешнего фактора, характеризующие состояние моря, состояние самой коррозионной среды.

Параметры внутреннего фактора подлежат человеческому управлению, правда, в определенных ограниченных пределах. Сформулируем главные направления, раскрывающие суть управления этими параметрами:

1. Проектировщики судов совместно с технологами разрабатывают современные перспективные технологии, обеспечивающие производство корпусов судов из однофазных марок сталей с гранецентрированной кристаллической решеткой (Fe_γ). В первую очередь, это листы из нержавеющих сталей аустенитного класса, если не монолитного исполнения, то, по крайней мере, комбинированного – плакированного типа.

2. Те же проектировщики (конструктора) при строительстве судна полностью исключают прямые и косвенные контакты разноименных пар металлов. Например, сталь – цветные сплавы, сталь литая – сталь катаная и другие. Так, в настоящее время активаторами коррозионных процессов являются оконечности корпуса судна, особенно кормовая часть, где сочетаются стальной прокат (листы наружной обшивки) и литые сварные швы, стальные отливки и поковки (штевни, мортиры, кронштейны и т.п.) и изделия из цветных медных сплавов (дейдвудные втулки, винты и др.).

3. Технологам следует подобрать материал используемых электродов для сварочных работ таким образом, чтобы сварной шов имел более электроположительный потенциал по сравнению с наружной обшивкой, т.е. всегда выступал в роли катода.

4. И, конечно же, известная достаточно эффективная протекторная защита. Однако, все же более перспективная, практически полностью снимающая проблему морской коррозии - это активная электрохимическая (катодная) защита с поляризацией корпуса судна за счет наложения постоянного тока низкой плотности от внешнего для корпуса, но своего (палубного) источника питания. Рационально продуманная схема размещения защитных анодов по корпусу судна, специально разработанная система автоматического регулирования с учетом обратных связей, нейтрализующая возникающие коррозионные токи на всех участках корпуса (i – ый участок корпуса – защищающий его анод). Все это позволит значительно снизить или даже устранить процессы коррозии корпуса и существенно продлить активный, безопасный срок эксплуатации судна.

5. Все же предложенные пути решения проблемы морской коррозии на судах никоим образом не снимают с повестки дня экипажей и существующие традиционные меры борьбы. К ним, в первую очередь, следует отнести: качественный подбор судовых грунтов, красок и рациональную технологию их применения.

Литература

1. Рачев Х., Стефанова С. Справочник по коррозии. М.: изд. «Мир», 1982. 516 с.
2. Малахов А.И., Тютина К.М. Коррозия и основы гальваностегии. М.: изд. «Химия», 1987. 216 с.
3. Васильев В.И., Рощин М.Б., Товстых Е.В. Судостроительные материалы. Л.: Судостроение, 1972. 384 с.
4. Интернет ресурс: all – about – water. ru/electroconductivity.php
5. Интернет ресурс: *http://books.google.com.ua/books?isbn=5458311213*
6. Интернет ресурс: tehtab.ru/Guide/GuideMedias/OxigenO2/OxygenSolubility/
7. Михеев А.И., Федотов В.Г. К вопросу о противокавитационной стойкости металлических сплавов гребных винтов. Киев: Сб. науч. трудов КГАВТ, вып.12, 2011, с.164

Tövsiyə edib: t.e.d., prof. ***A.T.Məmmədov***

GƏMİÇİLİK VƏ SU NƏQLİYYATININ İSTİSMARI

УДК 626.02: 622.242.4

МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОПЕРАЦИИ ПОДВОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ РАБОТ

Мустафаев В.О.

Азербайджанская Государственная Морская Академия
Az1000, Bakı şəh. Z.Əliyeva küç., 18
E-mail: v_mustafayev@ardda.gov.az

Аннотация. *В статье представлены особенности выполнения технологических операций при подводно-технических работах на Каспийском море. Установлено, что в зависимости от выполнения производственных задач все подводно-технические работы можно разделить на три вида. При проектировании и испытании технических средств необходимо учитывать плотность воды используемого морского бассейна в зависимости от температуры. Проведены основные типы водолазных комплексов и особенности подводно - технических работ.*

Abstract: *The features of methods and performance of the technological operations with underwater technical work on the Caspian Sea are presented in the given article. It is established that depending on the performance of production tasks, all submarine technical work can be divided into three types. While the projecting and implementing of the technical equipment designing and testing technical equipment to teach flowing the water used by sea pool temperature. The main types of water complexes and the peculiarities of the underwater-technical work are realized.*

Ключевые слова: *подводно – технические работы, водолазные комплексы, плотность воды, методы, технологические операции.*

Key words: *underwater-technical works, driving complexes, density of water, methods, technological operations.*

Введение. Подводно – техническими работами называют разнообразные виды строительно-монтажных и ремонтных производственных операций, выполняемых в водной среде водолазом вручную или с использованием средств механизации, а также машинами, управляемыми с берега или с плавучих технических средств [1-5].

В настоящее время на Каспийском море выполняются большие объемы разнообразных работ, к которым относятся обследование дна и сооружений, дноуглубление, устройство подводных оснований и фундаментов, прокладка подводных трубопроводов[6] и кабелей, различные монтажные работы, подъем затонувших судов и другого оборудования, снятие судов с мели [7] и т.д.

К подводно-техническим работам также принято относить производственные процессы, которые непосредственно связаны со строительством подводных элементов сооружений, их ремонтом или наблюдением за их состоянием при эксплуатации. В зависимости от решаемых производственных задач подводно-технические работы можно подразделить на три вида:

- работы, выполняемые с целью получения информации об условиях предстоящих строительно-монтажных и ремонтных работ. Сюда относятся обследование дна акватории, изучение состояния конструктивных элементов, производство различного вида подводных и инженерных изысканий;

- строительно-монтажные работы, связанные со строительством подводных сооружений; к этой группе относятся земляные работы, создание оснований под сооружения, установка подводных элементов сооружений, прокладка трубопроводов и кабелей, погружение свай, оболочек, отпускных колодцев, бетонирование, сварка и резка металлоконструкций под водой и т.д.;

- ремонтные работы под водой; к ним относятся засыпка размытых участков вблизи сооружений, бетонированием их, очистка конструкций от обрастаний и ржавчины с последующей окраской или гидроизоляцией, периодическое удаление с элементов сооружений наносного грунта, мешающего их нормальной эксплуатации, восстановление проектного профиля откосов и т.д..

При проектировании и выполнении производственных операций, когда конструкционные материалы, оборудование, инструмент полностью или частично находится ниже уровня воды, необходимо учитывать плотность воды, глубину, давление, температуру, скорость течения, волнение, тепло-, электро- и звукопроводность, коррозионную активность, обитаемость и т.д..

Существенное влияние водная среда оказывает на организм работающего под водой человека с биологической и психологической точек зрения; это влияет на выполнение производственных процессов и ухудшает качество выполняемых работ.

Ниже рассмотрим основные свойства водной среды, оказывающие наиболее существенное влияние на выполнение подводно-технических работ.

Основная часть. *ПЛОТНОСТЬ.* Установлено, что плотность воды является одной из основных характеристик, которую необходимо учитывать при проектировании и использовании технических средств, основанных на принципах использования подъемной силы. К числу таких средств относятся разгружающие понтоны и пневматические грунтососы (эрлифты) [6,8]. Плотность воды увеличивается с возрастанием глубины из-за повышения гидростатического давления при повышении солености. К аномалиям воды относятся необычное по сравнению с другими жидкостями изменение ее плотности в зависимости от температуры (рисунок).

Как видно, с увеличением температуры плотность воды уменьшается, а единицу достигает примерно в интервале 4-10°С.

Теперь представим типы водолазных комплексов и особенности подводно-технических работ.

Как известно, при нормальном давлении в нашем организме постоянно находится около литра растворенного азота [9]. При подводном погружении это количество возрастает по мере увеличения глубины и времени пребывания под водой. Во время подъема процесс протекает в обратном порядке: растворенный в тканях газ стремиться выйти.

Если разница в давлении значительна, как это бывает при быстром всплытии, перенасыщенность организма азотом становится чрезмерной, и азот в виде микроскопических пузырьков начинает интенсивно переходить из тканей в кровь. Это явление можно сравнить с процессом, обычно возникающим при открывании бутылки с минеральной водой.

Следовательно, чтобы избежать декомпрессионной болезни, время подъема водолаза на поверхность должно соответствовать установленным нормам [10]. Для работ на больших глубинах применяют водолазные комплексы.

Таким образом, водолазный комплекс - совокупность водолазной техники, конструктивно объединенной для обеспечения водолазных работ на заданной глубине [1,3,4].

Водолазный комплекс имеет все необходимые устройства, обеспечивающие сжатым воздухом, средства связи, медицинское и прочее оборудование для обеспечения проведения подводных спусков.

В зависимости от назначения водолазные комплексы классифицируются следующим образом [11]:

- по глубинам использования – на водолазные комплексы для глубин до 60 м и на глубоководные водолазные комплексы;

- по методам проведения водолазных спусков - на водолазные комплексы для кратковременных погружений водолазов и водолазные комплексы для длительного пребывания;

- по месту размещения – судовые, передвижные и береговые;

- по особенности проекта – типовые, модульные и специальные.

Водолазные комплексы бывают следующих типов:

- глубоководный водолазный комплекс: водолазный комплекс, обеспечивающий проведение водолазных спусков и водолазных работ на глубинах более 60 м;

-водолазный комплекс длительного пребывания: водолазный комплекс, обеспечивающий проведение водолазных спусков и водолазных работ методом насыщенных погружений, имеющих несколько водолазных барокамер длительного пребывания;

-стационарный водолазный комплекс: водолазный комплекс, установленный на носителе или объекте для постоянной эксплуатации, демонтаж которого требует нарушения его конструктивной целостности;

-модульный водолазный комплекс: водолазный комплекс, элементы которого изготовлены в виде набора отдельных функциональных транспортабельных модулей;

-мобильный водолазный комплекс: водолазный модульный комплекс, конструктивные элементы которого могут быть транспортированы к месту проведения водолазных спусков и смонтированы в единую конструкцию на временном носителе или объекте.

-передвижной водолазный комплекс: водолазный комплекс, элементы которого стационарно установлены на автомобильном шасси, предназначенный для обеспечения водолазных спусков и выполнения водолазных работ с берега, на внутренних водоемах или на удаленном морском побережье;

-водолазный барокомплекс: несколько конструктивно и функционально объединённых водолазных барокамер с отсеками различного назначения, имеющих совмещенную систему жизнеобеспечения.

Рассмотрим особенности судовых, водолазных комплексов широко применяемых на практике. Судовые водолазные комплексы размещаются на судах, катерах, плавбазах и других плавучих средствах.

Основные оборудования судового комплекса являются следующие:

- барокамера;

- система воздухоснабжения (компрессоры, баллоны-воздухо-хранители, трубопроводы высокого и среднего давления, воздухораспределительные щиты, запорная и регулировочная арматура и т.п.);

- система обеспечения связи (водолазная двухпостовая и барокамерная телефонные станции);

- пульт подачи воздуха на двух водолазов с пневмоглубиномерами;

- зарядная панель для зарядки баллонов дыхательных аппаратов.

В качестве источника сжатого воздуха на водолазном комплексе используются компрессоры воздуха высокого давления Poseidon или Bauer в морском исполнении. Кроме этого, воздушная система комплекса может подсоединяться к штатным судовым воздушным магистралям высокого или среднего давления, при этом для очистки воздуха для дыхания водолазов применяется специальная фильтрующая система.

Запасы воздуха судовых комплексов обеспечивают проведение водолазных работ на глубинах до 60 м в вентилируемом снаряжении, проведение декомпрессии в воде или в барокамере, проведение лечебной рекомпрессии по всем воздушным режимам.

В состав судового комплекса входят различные типы водолазного снаряжения. Как правило, это два комплекта вентилируемого водолазного снаряжения и два комплекта легководолазного снаряжения в шланговом или автономном вариантах.

Для обеспечения водолазных спусков и работ в холодной воде в состав судовых комплексов может входить водообогреваемое водолазное снаряжение в комплекте с установкой водообогрева. Нагрев воды осуществляется горелкой, работающей на дизельном топливе или электрическими нагревателями [24].

Вывод. Таким образом, проанализированы основные особенности водолазных комплексов, обслуживающих морские нефтепромыслы, методы и технологические операции подводно-технических работ. Рассмотрены основные типы водолазных комплексов, приведены их классификация, состав оборудования и структура выполняемых функций.

Подчеркнута важность оптимизации проектирования и постройки водолазных как одного из эффективных средств выполнения водолазно-технических работ на морских промыслах.

Литература

1. Зинковский Н.Б. Подводные работы на нефтепромыслах. Ленинград: Судостроение, 1984, 258 с.
2. Гайкович Б.А. Разработка методики проектного оптимизационного обоснования глубоководных работ: Автореф.дис. кан. тех. Санкт-Петербург: 2005, 20 с.
3. Меренов И.В. Водолазные работы. М.: Транспорт. 1971, 350 с.
4. Правила классификации и постройки обитаемых подводных аппаратов, судовых водолазных комплексов и пассажирских подводных аппаратов. Российский Морской Регистр Судоходства. 2003 г.
5. Бугаренко Б.А. Специальные судовые устройства. Ленинград: Судостроение, 1983, 325 с.
6. Дмитриев А.Н. Проектирование подводных аппаратов. Ленинград: Судостроение, 1978, 158 с.
7. Хаукс Г. Подводная техника. Ленинград: Судостроение, 1979, 233 с.
8. Меренов И.В. Справочник водолаза. Ленинград: Судостроение, 1990,450 с.
9. Пашин В.М. Оптимизация судов. Ленинград: Судостроение, 1983, 156 с.
10. Пашин В.М. Критерии для согласованной оптимизации подсистем судна. Ленинград: Судостроение, 1976 , 96 с.
11. Гурович А.Н. Проектирование спасательных и пожарных судов. Ленинград: Судостроение, 1971, 226 с.

Tövsiyə edib: t.e.d, prof. ***Z.Ə.Rüstəmov***

УДК 656.61

ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННАЯ ОБЛАСТЬ ПРОЦЕССА МАНЕВРИРОВАНИЯ ПРИ РАСХОЖДЕНИИ СУДОВ В МОРЕ

Миронов А.В., Найденов Е.В., Субанов Э.Э.

Государственный Морской Университет им. адм. Ф.Ф.Ушакова
пр. Ленина, 93, Новороссийск, Россия, 353918
E-mail: mironov_nsma@mail.ru., seamen1940@gmail.com., er.subanov@rambler.ru.

Аннотация. В процессе сближения судов вследствие разнообразия условий опасных встреч судов в море нельзя указать значения дистанции и времени начала маневра расхождения. *При современном отсутствии функциональных зависимостей между этими параметрами процесса маневрирования* задача может быть решена в вероятностном аспекте, после обработки достаточного количества однородных успешных расхождений *полученных по результатам статистической обработки фактических значений параметров, зафиксированных при реальных наблюдениях расхождений судов в море. О*пределение количественных характеристик и законов распределения параметров, описывающих событие «ситуация маневрирования", производилось по рекомендованной методике выявления вероятностных законов распределения параметров расхождения судов, когда происходило событие «опасная встреча» и производился маневр. Предлагается, при автоматизации процесса расхождения судов в море в качестве оценок параметров выбора значений начала маневра применить предлагаемую практическую пространственно-временную область процесса маневрирования.

Abstract. Nowadays it is impossible to forecast the distance and time of the maneuver commencement in ships collision avoidance actions. With the modern absence of functional dependences between the parameters of the maneuvering process this task can be solved in the probabilistic aspect, after the analysis of the sufficient quantity of homogeneous successful ships collision avoidance actions.

It is proposed to use practical space-time domain of the maneuvering process with the automation of ships collision avoidance actions at sea as parameters estimation of the maneuver choice commencement.

Ключевые слова: *безопасность мореплавания, столкновение судов, вероятностные характеристики, фактические параметры сближения, маневрирование,* вид маневра, *МППСС,* хорошая морская практика

Key words: *safety of navigation, ships' collision, probabilistic characteristics, actual parameters of approach,* maneuvering, maneuver type, *COLREG, good seamanship, moment of the last* maneuver

Введение. В практических условиях судоводители предпринимают маневр расхождения при попадании сближающихся судов в некоторую область значений ряда параметров, по которым оценивается время наступления события – «ситуация маневрирования» (один из главных этапов процесса маневрирования), при условии, что произошло событие «опасная встреча». Вследствие разнообразия условий опасных встреч судов в море нельзя указать точно дистанцию и время начала маневра. Обзор работ и публикаций [1] по проблеме безопасного расхождения судов показал, что для оценки событие «опасная встреча» набор параметров весьма многообразен, а объем работ говорит о том, что к настоящему времени предприняты значительные усилия для решения этой задачи. Однако статистика аварийности мирового транспортного флота не отражает заметного снижения количества столкновений

судов за три последних десятилетия. Из анализа литературы следует, что ряд вопросов, входящих в проблему безопасного расхождения судов, разработаны недостаточно глубоко. Из-за отсутствия в настоящее время жестких функциональных связей между указанными параметрами эта задача может быть решена в вероятностном аспекте, после обработки репрезентативного количества более или менее однородных успешных расхождений.

Методы и Материалы. В первом приближении для решения указанной задачи автоматизации *процесса маневрирования* можно использовать вероятностные зависимости. Для наглядности рассуждений можно воспользоваться результатами исследований наблюдений собранными в 2012-2017гг. и специалистами ГМУ им. Ф.Ф.Ушакова. Для этого судоводители на маневренных планшетах М-48 записывали фактические значения параметров сближения. При этом фиксировались условия, когда наблюдалось малое значение дистанции кратчайшего сближения и производился маневр расхождения. Записывались параметры: дистанция кратчайшего сближения, время начала маневра $T_м$, дистанция между судами $D_м$ на момент начала маневра. Кроме этих параметров, производилась запись других параметров другими наблюдателями. Обработано всего 1660 встреч судов, из них 183 встречи с маневрированием с целью предупреждения столкновений. Определение количественных характеристик и законов распределения параметров, описывающих событие ситуация маневрирования, производилось по методике [2], выявления статистических законов для ожидаемой дистанции кратчайшего сближения, т.е. когда происходило событие «опасная встреча». На рисунке (рис.1) показана гистограммы распределения частностей ожидаемого времени сближения $D_м$ и $T_м$.

Наиболее близким теоретическим распределением, исходя из внешнего вида статистического распределения, для обоих параметров является кривая Релея (рис.1), имеющая для плотности f распределения и вероятности P аналитические выражения [3, 4]:

$$f_{T_м} = \frac{T_M}{\sigma_л^2} \cdot e^{-\frac{T_M^2}{2\sigma_к^2}}, \tag{1}$$

$$P_{(T'_M < T_M)} = e^{-\frac{T_M^2}{2\sigma_к^2}}. \tag{2}$$

Значение σ_k, входящее в формулы (1) и (2), определяется [4] из выражения:

$$\sigma_k = \frac{\overline{M}_e}{1{,}117}, \tag{3}$$

где $\overline{M}_e$ – оценка медианы.

Определим её из предположения, что плотность на медианном интервале является постоянной величиной:

$$\overline{M}_e = n_H + \frac{h(\frac{n}{2} - S_H)}{\omega M_e}, \tag{4}$$

где $n_н$ - начало медианного интервала;

h - ширина интервала;

S_H - последний член кумулятивного ряда, меньший или равный - $\frac{n}{2}$;

ωM_e - частота медианного интервала.

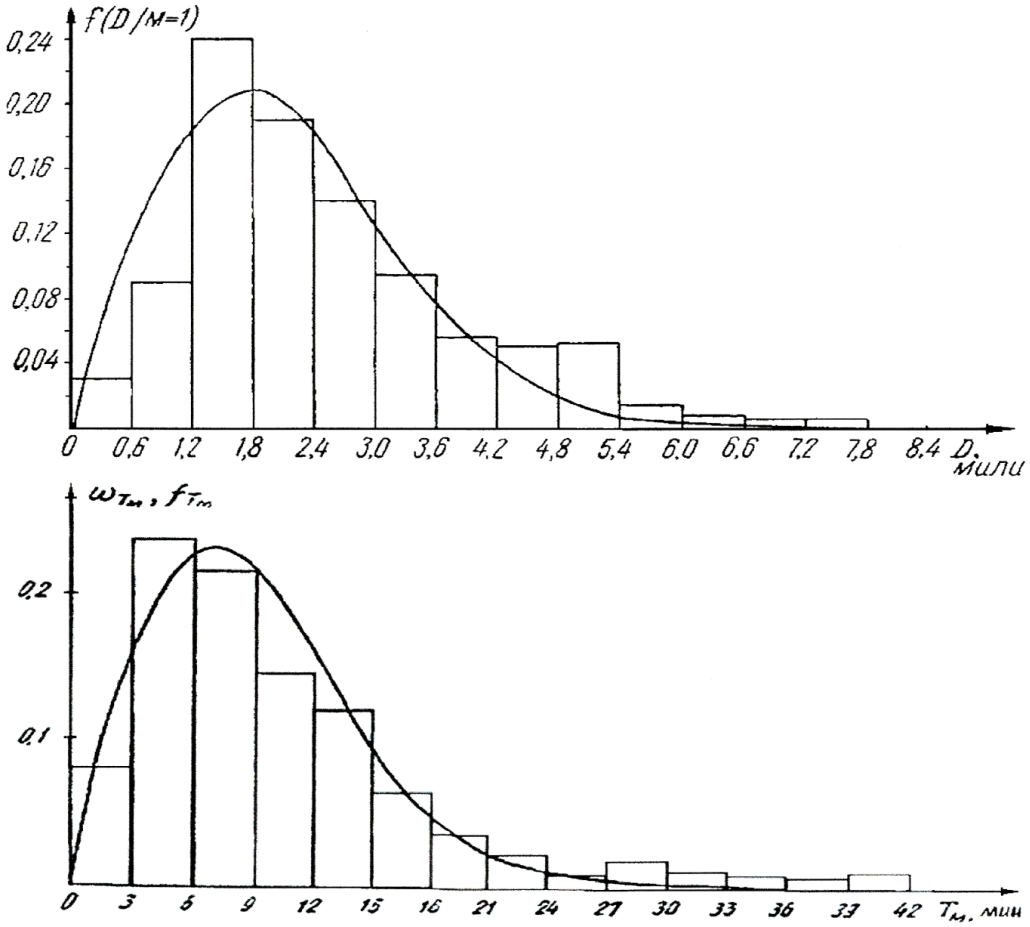


Рис. 1. *Распределение значений дистанции $D_м$ между судами и времени $T_м$ до сближения на ожидаемую дистанцию кратчайшего сближения, при которых судоводители начинают маневр расхождения*

При сглаживании статистического распределения с помощью кривой Релея использовался метод моментов. За теоретическую медиану принята медиана статистического распределения, равная сумма частостей 0,5, так как при этом условии получалась наиболее высокая вероятность P_{x^2}.

Результаты. Дистанция начала маневра $D_м$, т.е. то расстояние между судами, при котором судоводители начинают маневр расхождения получена также в виде кривой Релея, построение которой велось по указанной методике. Для установления количественных границ использовался принцип построения, исходящий из свойств теоретического распределения. Согласно (2) вероятность появления значений ожидаемого времени сближения на $D_м$ и дистанции маневра $3\sigma_к < D_м < \infty$, $3\sigma_к < T_м < \infty$ невелика и равна 0,011, что практически можно считать равным 0. Таким образом, за внешнюю границу события ситуация маневрирования при попадании в которую появляется отличная от нуля вероятность маневра, принимаем значение параметра сближения, равное трем теоретическим значениям среднего квадратического отклонения этого параметра от своего значения. За внутреннюю границу события ситуация маневрирования теоретически, видимо, нужно принять ту дистанцию и время, при котором наступает по правилам МППСС момент последнего маневра. Время момента последнего маневра – трудное для применения на практике понятие. Эта качественная характеристика МППСС требует в настоящее время количественного уточнения для согласования начала маневра расхождения, так как упущение времени маневра последнего момента, т.е.

буквального [6] выполнения Правила 17 является одной из причин столкновений судов. Для каждого конкретного судна значения параметров сближения, при которых наступает время момент последнего маневра, будут разными и зависят в основном от динамики судна и конкретной ситуации. Целесообразно за внутреннюю границу события процесс маневрирования принять значение элемента сближения, за пределами которого вероятность маневра согласно свойствам распределения Релея $P_{(o<D_M<\sigma_к\ ,o<T_M<\sigma_к)}$= 0,6, т.е. за пределами этого участка большая половина судоводителей уже производят маневр, что практически можно принять 1, т.е. считать, что событие «ситуация маневрирования» перешло в событие «непосредственная опасность». Тогда при наступлении события «непосредственная опасность» судоводителю, сохраняющему по Правилам МППСС свои элементы сближения, предоставляется возможность производить маневр расхождения, который будет являться маневром для предупреждения столкновения, соответствующим правилу 17 (b) МППСС-72. Многомерный корреляционный анализ факторов [7], учитываемых судоводителем при расхождении, показывает, что указанные параметры ($T_м$, $D_м$) являются основными при выборе момента начала процесса маневрирования. Другими важными элементами сближения, отражающими условия, при которых производится выбор того или иного значения основных элементов, являются курсовой угол на встречное судно, ракурс, размеры судов, относительная скорость сближения и т.д.

Существующая морская литература [8, 9] рассматривает лишь один параметр сближения $D_м$, который определяет начало маневра, т.е. область процесса маневрирования, которая соответствует хорошей морской практике. Не учет такого важного параметра как $T_м$, фактически, относительной скорости сближения V_o, понижает качество оценки процесса маневрирования. Например, при малом значении относительной скорости суда начинают маневр расхождения при значениях расстояний между судами значительно меньших, чем указаны в рекомендациях. При V_o больших значения $D_м$ также выходят за рекомендованные границы, соответствующие понятию «хорошая морская практика», указанных в литературе. Для повышения качества оценки можно применить практическую пространственно-временную область (рис.2) процесса маневрирования, которая учитывает два параметра – $D_м$ и V_o ($T_м$).

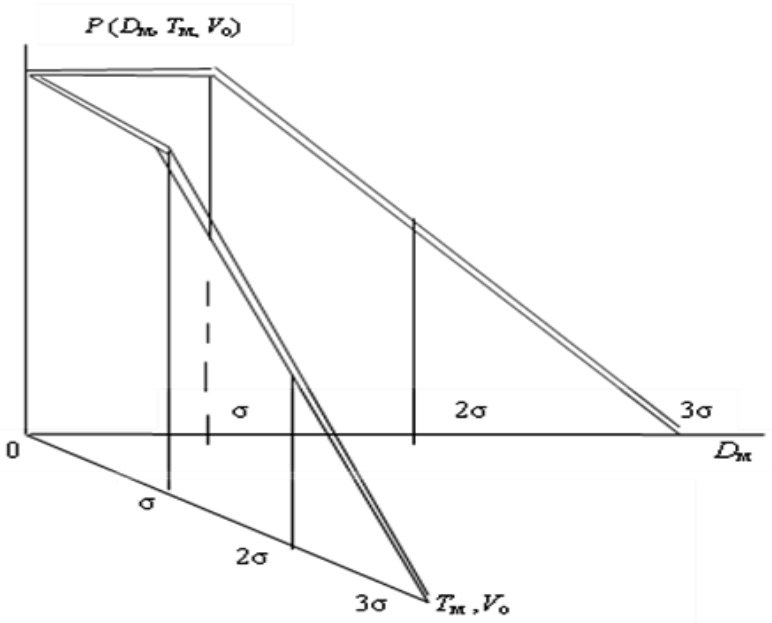


Рис. 2. *Практическая пространственно-временная область процесса маневрирования*

В этом случае понятие хорошая морская практика, рекомендующая вести оценку начала маневра только по одной дистанции между судами уточнится вторым параметром - величиной относительной скорости сближения или временем сближения судов на $D_{кр}$. Такая

оценка может быть более приемлема в автоматизированных средствах, реализующих процесс маневрирования без участия человека. С теоретической точки зрения те элементы, которые мы принимаем за основные, могут не отличаться от других, принятых за второстепенные. Можно неограниченно повышать точность решения проблемы безопасного маневрирования, учитывая все новые и новые элементы, вплоть до учета влияния психологических факторов, от которых может зависеть момент начала маневра в первую очередь. Однако попытка проанализировать вероятностными методами влияние решительно всех элементов, от которых зависит успех расхождения, привела бы к тому, что в силу непомерной громоздкости и сложности статистические результаты, описывающие процесс маневрирования были бы мало применимы на практике.

Определение вероятностных $P_{\text{м}}$ значений дистанции и времени начала маневра рассчитывается, как сумма их плотностей распределения:

$$P_M = f_{D_M} + f_{T_M}. \tag{5}$$

Практическая вероятность $P_{\text{пр}}$ начала маневра определится из выражения:

$$P_{ПР} = \frac{3\sigma_{D_M} - D_M}{4D_M} + \frac{3\sigma_{T_M} - T_M}{4T_M}. \tag{6}$$

Согласно формуле (6) наибольшая вероятность начала маневра равная 1 наступает когда $D_м$ и $T_м$ одновременно равны $\sigma_{Dм}$ и $\sigma_{Tм}$ соответственно. При значениях этих параметров 3σ вероятность маневра равна 0. При значениях больших 3σ вероятность начала манера отрицательна. При промежуточных значениях $D_м$ и $T_м$ Вероятность начала маневра определяется по параметру с наибольшим значением его среднеквадратического отклонения.

Заключение: На базе реальных расхождений судов в море получены вероятностные количественные оценки [10, 11] процесса маневрирования. Рассмотрены законы распределения дистанции начала маневра и времени (момента) начала маневра при опасном сближении судов в море. На основе статистических данных получены аппроксимированные (упрощенные) зависимости указанных параметров. Результаты будут полезны в практическом запоминании и применимы в качестве рекомендаций судоводителям для реальной практики расхождения судов в море. Однако основное их назначение - использование в проектируемых средствах автоматизации *процесса маневрирования.*

Благодарности. Выражаем благодарность профессорско-преподавательскому составу ГМУ им. Ф.Ф.Ушакова в сборе статистических данных в 2012-2017гг. фактических значений параметров, реальных наблюдениях расхождений судов в море собранными во время работы на судах и оказания помощи в выполнении исследования.

Литература

1. Субанов Э.Э. Разработка моделей эффективной оценки опасности столкновения судов при принятии решения методом анализа иерархий. /Субанов Э.Э. Автореф. дис. канд. техн. наук. / - Новороссийск. РИО ГМУ им. Адмирала Ф.Ф. Ушакова, 2012. с. 24
2.Найденов Е.В. Оценки безопасного расхождения судов./ Е.В. Найденов, Э.Э. Субанов. М.: Морской флот, № 5-6, 2010, стр.23-27
3. Буре В.М. Теория вероятностей и математическая статистика./ В.М. Буре, Е.М. Парилина - СПб.: Изд. «Лань». 2013. 416 с.
4. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников / А.И. Кобзарь. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. 816 с.

5. Вентцель Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. 2-е изд., / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров М.: «Высшая школа», 2000.- ISBN 5-06-003830-0. 480 с.
6. Международные Правила предупреждения столкновений судов в море 1972 года, МППСС-72, М., Моркнига, 2011. 112 с.
7. Петров В.А. Оценка времени упреждения начала маневра для расхождения при опасном сближении судов / В. Петров. Владивосток: Вестник ФГОУ ВПО МГУ им. адм. Г.И. Невельского, 2009. с. 183-192.
8. Найденов Е.В. Новые МППСС. Правила расхождения судов в море. ПРСМ / Е. В. Найденов. СПб.: Реноме, 2014. 63 с.
9. Астреин, В.В. Системы предупреждения столкновения судов, тен- денции развития (к 40-летию МППСС-72) [Текст] / В.В. Астреин // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия Морская техника и технология. № 1 (апрель), Астрахань, Издательство ФГОУ ВПО "Астраханский государственный технический университет", 2012. с. 7-17.
10. Седов Н.А. Нейро-нечеткая система расхождения морских судов в зоне чрезмерного сближения [Электронный ресурс]: программный продукт / Н.А. Седова, В.А. Седов. Владивосток, 2014. 1 эл. опт. диск (CD-ROM).
11. Кондратьев С.И. Предотвращение столкновений судов. Учебник, / С.И. Кондратьев, А.В. Миронов, Е.В. Найденов. Дюссельдорф.: Lambert Academic Publishing, 2017, 532 с.

Təvsiyə edib: t.e.d, prof. ***Z.Ə.Rüstəmov***

УДК 629.123

ПЕРСПЕКТИВА РАЗВИТИЯ 3D ТЕХНОЛОГИЙ В СУДОХОДСТВЕ. ГОЛОГРАФИЧЕСКИЕ ПРОЕКЦИИ.

Маранов А.В., Коршунов М., Кондратюк Э., Ганношина И.Н.

Государственный университет инфраструктуры и технологий
Ул. Кирилевская, 9, г. Киев, Украина, 02000
E-mail: iramsu@meta.ua

Аннотация. *Статья посвящена исследованию технологий трехмерного моделирования, создания голографических проекций и методов их применения в судоходстве.*

Abstract. *The article studies 3D modelling technologies, holographic projection creation and methods of their application in navigation.*

Ключевые слова: *голограмма, воксель, фемтосекундный лазер, моделирование*

Key words: *hologram, voxel, femtosecond laser, modelling*

Постановка научной проблемы, ее актуальность. В процессе развития судоходства с момента построения первых плавательных средств до современных судов создавались и усовершенствовались средства навигации и методы навигационных счислений для улучшения определения места судна и повышения безопасности судоходства. Именно благодаря улучшению навигационного оборудования существенно увеличивалось качество и достоверность информации, необходимой для безопасного судовождения.

Цель статьи состоит в исследовании принципа работы голографического проектора, работающего на основе фемтосекундной лазерной установки, метода отображения трехмерной информации в воздухе и перспективы ее использования в судовождении.

Актуальность исследования. На современном этапе развития судоходства объём навигационной информации достаточно велик и посредством этих наработок увеличилась безопасность судовождения. Но все системы не совершенны и требуют усовершенствований для получения боле полной, простой в понимании информации.

Практическая ценность исследования состоит в том, что его результаты можно использовать при совершенствовании навигационного оборудования для достижения большей точности позиционирования и упрощения определения навигационной обстановки.

Анализ исследований и публикации. Изучением технологии голографического проецирования занимаются многие ученые и компании, среди них - японская фирма Aerial Burton, ученые Корейского института науки и технологий (Йонг Кейн Парк, профессор отделения физики) KAIST, (Сергей Крук, соруководитель исследования) Австралийского национального университета, (старший научный сотрудник Йоши Очаи) исследователи японской компании Digital Nature Group.

Изложение основного материала. *Голограммы*. Этот термин все чаще встречается не только в произведениях фантастов, но и в научных исследованиях и разработках.

Голографические технологии сейчас как никогда близки к своему новому этапу существования, а именно к созданию рабочих образцов голографических проекторов. И это неудивительно, поскольку ученые уже много лет работают над усовершенствованием старых технологий изображения и находят новые способы создавать их без привычных мониторов. Мечта создать настоящую голограмму уже давно не дает покоя многим изобретателям и подталкивает к поискам путей воплощения ее в жизнь. За последние 10 лет исследований в данной области были сделаны огромные шаги и созданы первые образцы голографических проекторов. В основном, они базируются на использовании лазерных установок с необходимыми компонентами, такими как линзы, специальные зеркала и фильтры (рис. 1).

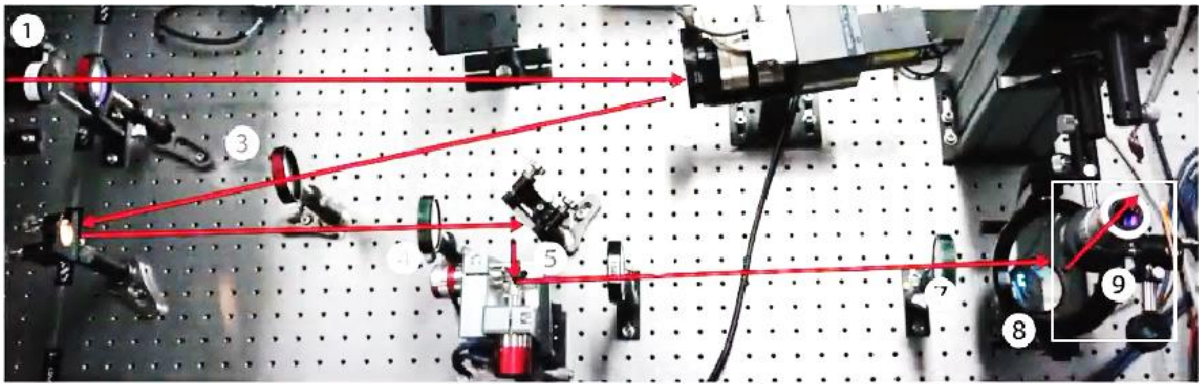


Рис. *1. Лазерная установка для создания голографической проекции (1.Femtosecond laser system; 2.SML; 3.lens; 4.lens; 5.Galva scanner; 6,lens; 7.lens; 8. Mirror; 9.varifocal lens;)*

Все это требуется для того, чтобы достичь высокой частоты вспышек лазерного луча и отображения определённой длины волны света. Данные исследования нашли немало вариантов развития. На сегодняшний день используются способы создания изображения как с помощью пропуска света через диффузоры, так и с использованием кварцевых столбцов в качестве линз [5], и с каждым днем они продвигаются все дальше, открываются новые способы и методы, а мечта создать настоящую голограмму в воздухе без мониторов становится все реальней.

В чем же основные преимущества голографической технологии для морской отрасли? Примером может послужить несение вахты на рулевом мостике.

Во время прохождения участков с большим скоплением судов и наличием навигационных опасностей, например, подводных препятствий, внимание всего персонала на рулевом мостике должно быть повышено, а вся информация должна быть как можно более объемной для избегания любых непредвиденных ситуаций (рис. 2).



***Рис. 2**. Навигационная информация*

При воспроизведении навигационной информации на мониторах, изображение представлено в двухмерной проекции, что не позволяет в полной мере рассмотреть всю обстановку и всегда требует дополнительных манипуляций для получения более развернутой информации (как минимум, переключение между электронными картами или поворот камеры для просмотра обстановки под другим углом). К тому же, каждый экран ограничен не только количеством информации, которую он может уместить, но и углом обзора. Тут четко наблюдаются первые и основные преимущества, а именно отсутствие монитора, который ограничивает угол обзора и позволяет разместить куда больше информации, которая одновременно рассматривается под разными углами (рис. 3).



***Рис. 3.** Отображение голограммы*

Это дает возможность наблюдать ее несколько слоев (наблюдать судно, водное пространство вокруг и морское дно единовременно с нескольких сторон).

Чтобы лучше понять, как это выглядит, необходимо представить стоящий в воздухе стакан с водой, на поверхности которого есть кораблик, но самого стакана нет. Такой способ

отображения информации дает большее количество данных, необходимых для принятия тех или иных решений, сокращает время ее обработки и предоставляет возможность ее оценки одновременно с разных углов обзора. В сочетании с необходимым программным обеспечением можно получить инструмент, который будет еще более точно обрабатывать всю получаемую навигационную информацию, ее корректировка стане проще и визуально понятнее даже для неопытных судоводителей. Также не исключен вариант использования этой технологии для отображения информации больших размеров и на большом расстоянии. Снабдив такой технологией спасательные буи, можно воспроизводить изображение в воздухе или даже на облаках. Данный способ применения технологии позволит ускорить нахождение потерпевших при кораблекрушении и с большей точностью определить их местоположение на большом расстоянии от места бедствия. Варианты применения технологии голографической проекции трехмерной информации весьма обширные и лишь ждут своего воплощения в жизнь. Рассмотрев перспективы данной технологии нельзя не упомянуть о самом принципе ее работы.

Создание компьютерных голограмм. Для достижения наиболее реалистичного эффекта, трехмерную модель объекта необходимо текстурировать (придать визуальные свойства материала), задать освещение, анимировать. Создание трехмерных изображений в настоящий момент – это огромная индустрия. 3D технологии уже сейчас широко применяются во многих областях, и список постоянно расширяется: машиностроение, образование, управление воздушным движением, компьютерные игры и симуляторы, научные исследования [1] (Рис. 4).



Рис. 4. *3D модель*

Принцип работы построен на отображении компьютерной 3D модели в пространстве с помощью лазеров. Лазер выпускает пучок света определенной мощности и с определенной частотой, проходит через линзы и специальный пространственный световой модулятор, зеркало и сканер Гальвано, который устанавливает позицию зеркала для направления луча. Одним из способов создания картинки является использование инфракрасного лазера, который работает на частоте 1 кГц, ионизирует молекулы воздуха, таким образом создавая точку света в воздухе без каких либо поверхностей для отображения [3] (Рис. 5).

Лазер ионизирует определенные точки в воздухе, которые начинают излучать фотоны. При фокусировании лазера происходит ионизация воздуха, появляются воксели – светоизлучающая плазма. Нагрев воздуха лазером вызывает его расширение, поэтому процесс сопро-

вождается характерным «потрескиванием». Разрешение трёхмерных изображений может достигать отметки в 200 000 точек в секунду.

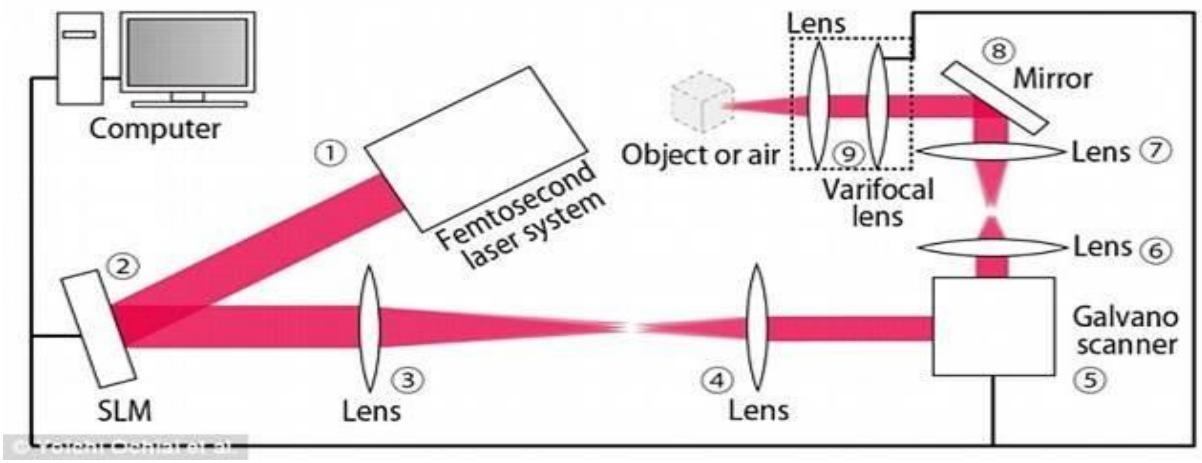


Рис. 5. *Принцип работы голографического проектора*

К сожалению, свечение молекул длится недолго, поэтому постоянно необходимо проводить их повторное ионизирование. Для создания безопасных для прикосновения голограмм, разработчики использовали фемтосекундные лазеры. Исследователи японской компании Digital Nature Group применили фемтосекундные лазеры для создания голограмм, безопасных на ощупь [2]. Ключевой тут стала возможность отправки коротких лазерных вспышек. Также старший научный сотрудник Йоши Очаи отметил, что на ощупь голограмма похожа на наждачную бумагу или статическое электрическое поле [4] (рис. 6).

Ученые Digital Nature Group установили, что лазерные вспышки длинной более двух секунд будут обжигать кожу. Для взаимодействия с голографическим объектом под голограммой устанавливается камера, которая отслеживает это взаимодействие, позволяя точкам реагировать на прикосновение.

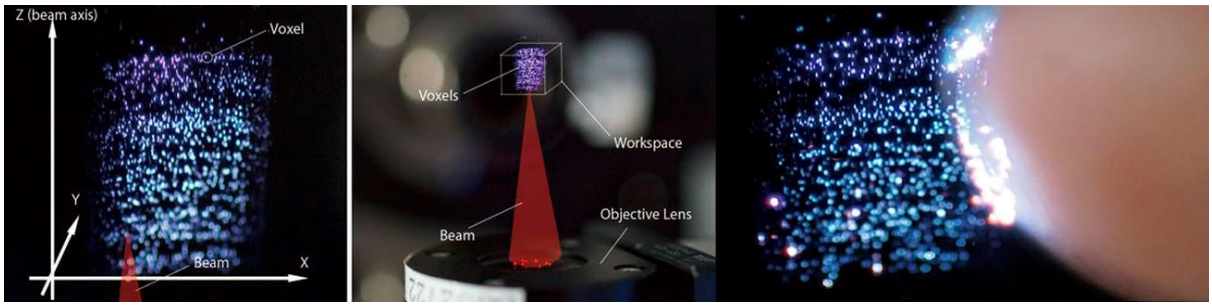


Рис. 6. *Голографическая проекция «воксель»*

Результаты. На данный момент развитие 3D технологий, в частности, голографических проекций является наиболее перспективной сферой в разработке навигационного оборудования. 3D технологии предоставляют большой спектр возможностей в развитии современных систем навигации и позиционирования, что существенно облегчит работу судоводителей и повысит безопасность навигации. Развитие 3D технологий и их применение становится все более реалистичным и актуальным. Перспектива использования 3D технологий в совместимости с голографической технологией является не просто идеей. Это предоставляет возможность поднять навигационные системы и безопасность самой навигации на новый уровень. Благодаря использованию голографических технологий увеличится не только ско-

рость выполнения навигационных задач, но и их качество, а также возникнут новые возможности. Работа в экстренных ситуациях будет облегчена и будет предоставлено большее количество информации для анализа и обработки.

Литература

1. http://www.kp.ru/guide/3d-tekhnologii.html
2.http://hi-news.ru/technology/yaponcy-pokazali-bezopasnuyu-osyazaemuyu-gologrammu.html
3.http://hi-news.ru/technology/video-lazer-formiruet-3d-izobrazhenie-pryamo-v-vozduxe.html
4. http://mediasat.info/2015/07/02/3d-holograms/
5.https://hi-news.ru/research-development/gologrammy-perestali-byt-tolko-nauchnoj-fantastikoj.html
6.https://mashable.com/2015/07/02/holograms-you-can-touch/#PTzVbJMqNiqV
7. Lei Wang, Sergey Kruk, Hanzhi Tang, Tao Li, Ivan Kravchenko, Dragomir N. Neshev, Yuri S. Kivshar. Grayscale transparent metasurface holograms**.** ***Optica,*** 2016; 3 (12): 1504 DOI: 10.1364/OPTICA.3.001504
8. Zengji Yue, Gaolei Xue, Juan Liu, Yongtian Wang, Min Gu. Nanometric holograms based on a topological insulator material**.** ***Nature Communications,*** 2017; 8: 15354 DOI: 10.1038/NCOMMS15354

Tövsiyə edib: t.e.d, prof. ***Z.Ə.Rüstəmov***

УДК 629.5.051

БЫСТРЫЙ АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДЕЙСТВИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА КРУПНОТОННАЖНОЕ СУДНО В СТЕСНЕННОЙ ОБСТАНОВКЕ

Студеникин Д.Е., Сенченко В.Г., Кондратьев А.И., Попов А.Н.

Государственный Морской Университет им. адм. Ф.Ф.Ушакова
пр. Ленина, 93, Новороссийск, Россия 353918
E-mail: dm.studenikin@mail.ru

Аннотация. *В настоящей статье поднимается вопрос прогнозирования влияния окружающей среды на движение судна, а также быстрое определение параметров данного процесса. Показана принципиальная схема получившейся системы.*

Abstract. *Rapid estimation of environmental impact on the vessel's movement is discussed in the article. Resulting schematic is given.*

Ключевые слова: *влияние окружающей среды на судно, самообучающиеся системы*
Key words: *the impact of the environment on the ship, self-learning systems*

Введение. В настоящее время как никогда остро стоит задача контроля за вектором состояния судна, в том числе, с использованием внешних источников. Однако, для осуществления этой цели, даже при условном наличии незашумленных измерений окружающей среды необходимо иметь данные о корпусе судна, его эксплуатационном состоянии и пр. Наличие такой базы данных осуществимо для одного судна, однако очевидна сложность выполнения условий для какого-то контрольного пункта. Вернее, вопрос не стоит для определения с невысокой точностью, однако, этот момент может стать критически важным в создании высококачественных систем поддержки принятия решений. Из вышесказанного понятна необхо-

димость создания алгоритма, имеющего возможность быстро определять/уточнять параметры влияния окружающей среды на судно.

Постановка задачи. Общее уравнение движения судна, на которое мы будем опираться при решении задачи, возьмём для начала в самом классическом виде:

$$X(t_1) = X(t_0) + U(t_0) + W(t_0) \quad (1)$$

где $X(t_i)$ – вектор состояния судна (в моменты времени 0 и 1), *$U(t_0)$* – вектор управляющего воздействия, *$W(t_0)$* – вектор воздействия окружающей среды на судно

В условиях минимизации времени на определение параметров *$W(t_0)$* будем полагать, что изменения внешних воздействий минимальны. В самом деле, если имелось ненулевое волновое воздействие, то вряд ли оно исчезло или значительно изменило свой характер к концу идентификации. Также, авторам кажется целесообразным разделить влияние внешних факторов по источнику. Таким образом, выделяется 3 части:

- Ветровое влияние.
- Влияние волн.
- Влияние течения.

Однако, не будем упускать из вида и классификацию по эффекту, оказываемому на судно:

- Влияние на скорость.
- Влияние на курс.
- Влияние на управляемость курса.

Небольшим итогом раздела можно считать вывод о том, что целью данной работы становится определение влияния окружающей среды за время, меньшее чем

- время, которое проходит между существенным изменением окружающей среды;
- время, в течение которого безопасно осуществлять определение параметров движения судна и оно не уйдёт в район с другими параметрами внешней среды.

Течение. Влияние течения на судно оценивается в настоящее время в достаточной степени просто – к вектору движения судна относительно воды добавляется вектор течения. В данном разделе достаточно отметить, что при оценке других параметров течение необходимо учитывать при наличии «кажущегося» вектора воздействий.

Ветер. Влиянию ветра посвящен целый ряд работ [1-3], однако в них мало внимания уделено скорости определения влияния. Для вычисления влияния возьмём классический подход: влияние ветра на курс будет пропорционально его «кажущимся» параметрам – величине и курсовому углу, а также площади поверхности и её ориентации [1-5]; для привязки к реалиям добавим пока эмпирические коэффициенты. Получаем:

$$\alpha = (\alpha_0(s_0)\sin(\text{КУ}_\text{к}) + \alpha_1(s_1)\cos(\text{КУ}_\text{к}))v_\text{к}^2, \quad (2)$$

где α – ветровой снос, α_i – эмпирический коэффициент, напрямую зависящий от площади поверхности, s_0 – площадь фронтальных поверхностей, s_1 – площадь боковых поверхностей, $КУ_к$ – кажущийся курсовой угол, $v_к$ – кажущаяся скорость.

По поводу кажущейся скорости ветра можно сказать, что в силу большой массы объекта воздействия целесообразно перейти к её среднему значению. Также, в условиях малого времени не предполагается, что площади воздействия, обводы, а соответственно и эмпирические коэффициенты меняются, отсюда, задача идентификации параметров воздействия сводится к идентификации этих коэффициентов.

Влияние ветра на скорость полагается авторами медленным во времени, и таким образом, определяемым навигационными средствами как изменение скорости управляемого объекта.

Волны. Из-за своей природы волны, как правило, оказывают знакопеременное воздействие на курс судна. Однако, их взаимодействие не одинаково с разных бортов судна. По аналогии с ветровым воздействием, запишем формулу:

$$\gamma = \frac{K}{T}\int_0^T ((\gamma_0(s_{01})\sin(\text{КУ}_\text{к}) + \gamma_1(s_{11})\cos(\text{КУ}_\text{к}))h_\text{в}^2)d\gamma \qquad ,(3)$$

где γ – волновой снос, γ_i – эмпирический коэффициент, напрямую зависящий от площади поверхности, s_{01} – площадь фронтальных поверхностей, s_{11} – площадь боковых поверхностей, $КУ_к$ – кажущийся курсовой угол, $h_в$ – высота волны, T – период волны, K – коэффициент, привязывающий объём волны к воздействию на судно.

Исходя как из условий определения, так и самой формулы, нет нужды считать изменяющейся высоту волны $h_в$, равно как и площади, по аналогии с ветровой нагрузкой. Следовательно, определение влияния волн на курс сводится к определению трёх пока эмпирических коэффициентов: K, γ_1, γ_2.

Однако, морские волны выделяются экспертами [5,6] в качестве основного фактора, влияющего на управляемость судна. Внятного математического соотношения авторам найти не удалось, поэтому было решено применить математический аппарат нечеткой логики с возможностью самообучения. Под управляемостью была положена система нечеткой логики, похожая на упомянутая в работе [7]. Вместе с тем, что задача определения элементов управляемости немного отличается от задачи определения коэффициентов, будем полагать, что необходимо идентифицировать параметры функции принадлежности, описывающей систему. Однако, в рамках этой работы мы не будем описывать систему, подстраивающую коэффициенты системы нечеткой логики.

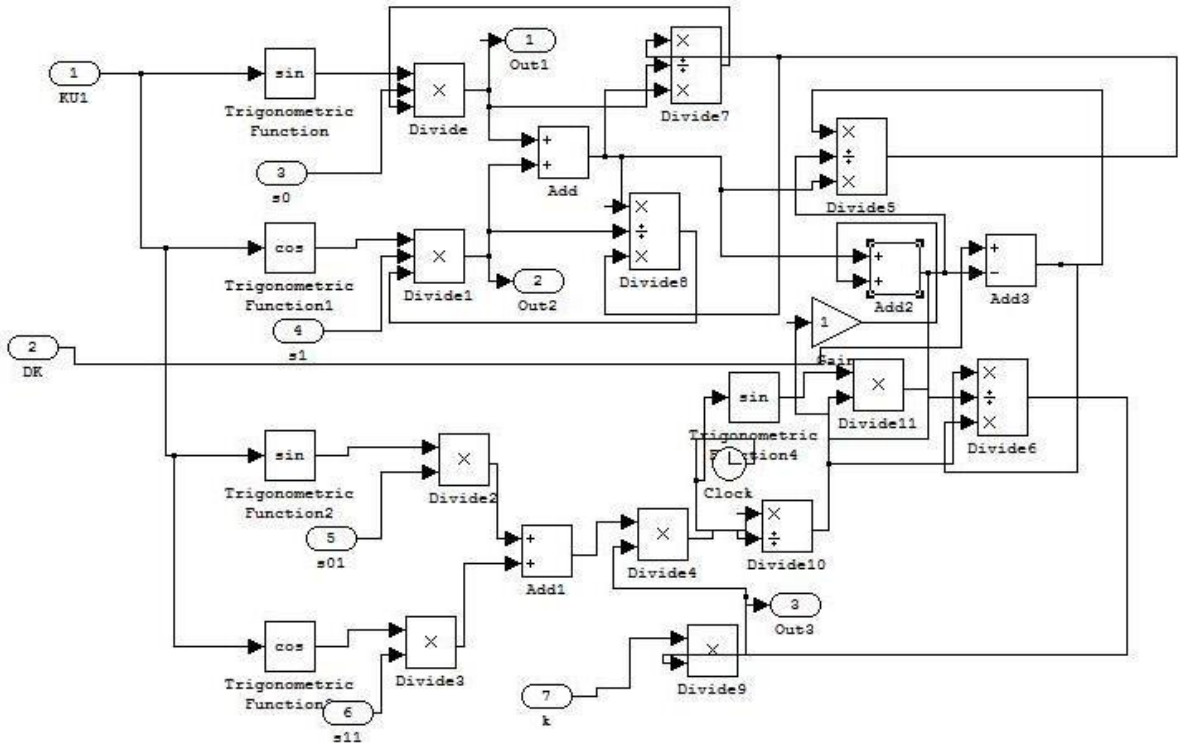


Рис. *Система детектирования*

Временные лимиты. Будем полагать время максимума периода волны в 30 секунд, что изначально чрезмерно. Таким образом, время идентификации в 5 минут должно вместить 9 максимальных длин волн. Авторы убеждены, что это и будет достаточной временной границей метода.

Постановка идентификационной задачи. Задача идентификации параметров (кроме системы нечеткой логики), исходя из предыдущих выкладок, сводится к следующему:

$$\Delta K = U(t) + (\alpha_0(s_0)\sin(\text{КУ}_\text{к}) + \alpha_1(s_1)\cos(\text{КУ}_\text{к}))v_\text{к}^2 + \left[\frac{K}{T}\int_0^T((\gamma_0(s_{01})\sin(\text{КУ}_\text{к}) + \right.$$
$$\left. + \gamma_1(s_{11})\cos(\text{КУ}_\text{к}))h_\text{в}^2)d\gamma\right]\sin(\omega t + \varphi), \quad (4)$$

где ω – частота волны, φ – её фаза, ΔK – изменение курса.

Примем обозначения:

$$\begin{gathered}\alpha_0(s_0)v_\text{к}^2 = X_1 \\ \alpha_1(s_1)v_\text{к}^2 = X_2 \\ \gamma_0(s_{01}){h_\text{в}}^2 = Y_1 \\ \gamma_1(s_{11}){h_\text{в}}^2 = Y_2\end{gathered} \quad (5)$$

Тогда, при использования принципа обратного распространения ошибки [8], мы можем записать:

$$\Delta K = U(t) + X_1\sin(\text{КУ}_\text{к}) + X_2\cos(\text{КУ}_\text{к})) + \left[\frac{K}{T}\int_0^T Y_1\sin(\text{КУ}_\text{к}) + Y_2\cos(\text{КУ}_\text{к})))d\gamma\right]\sin(\omega t + \varphi)$$

$$\Delta E = \Delta K_\text{и} - \Delta K - U(t),$$

Тогда

$$\Delta X = \frac{\Delta E(X_1\sin(\text{КУ}_\text{к}) + X_2\cos(\text{КУ}_\text{к}))}{X_1\sin(\text{КУ}_\text{к}) + X_2\cos(\text{КУ}_\text{к})) + \left[\frac{K}{T}\int_0^T Y_1\sin(\text{КУ}_\text{к}) + Y_2\cos(\text{КУ}_\text{к})))d\gamma\right]\sin(\omega t + \varphi)} \quad (6)$$

Аналогичным образом предполагается делать уточнение для каждого коэффициента.

Выводы. Система, которая получится в результате, имеет похожий вид, за исключением нижней части, она будет использовать данные этой системы, а уточняться по схеме, аналогичной верхней части:

Таким образом, используя принцип обратного распространения ошибки, наша система решает задачу по самоадаптации системы, показывающей влияние окружающей среды на текущую обстановку. Также, имеется возможность использовать данную систему в слоях электронной карты, и отображать навигационную информацию в виде «тотемов».

Это поможет в принятии решений судоводителем, а также существенно упростит процедуру контроля маневрирования.

Литература

1. Студеникин Д.Е. Составление нечеткого контроллера оценивающего влияние ветра на угол дрейфа судна. Материалы Региональной Научно-практической конференции «Проблемы эксплуатации водного транспорта и подготовки кадров на юге России», Новороссийск, РИО МГА им адм Ф.Ф. Ушакова, 2009

2. Гусев А.М. Влияние ветра на путь и управляемость судна. М.: Морской транспорт, 1954. 235 с.
3. Справочник по теории корабля. Т. 1. Гидромеханика. Сопротивление движению судов. Судовые движители// под ред. Я. И. Войткунского. Л.: Судостроение 1985. 768 с.
4. Основы аэродинамики и летно-технические характеристики воздушных судов, часть 1:Учебное пособие. М.: МГТУГА, 2009. 64 с.
5. Снопков В.И. Управление судном: Учебник. СПб: изд. АНО НПО «Профессионал», 2004, 536 с.
6. Управление судном и его техническая эксплуатация/ Под ред. А.И. Щетининой. 3-е изд. перераб. и дополненное. М.: Транспорт, 1983. 656 с.
7. Студеникин Д.Е., Пискун А.В. Некоторые вопросы создания систем для оценки маневренных возможностей судна на основе нечеткой логики. Бюллетень транспортной информации. №12 (222), М.: Национальная ассоциация транспортников, 2013
8. Л. Рутковский. Методы и технологии искусственного интеллекта/пер. с польск. И.Д. Рудинского. М.: Горячая линия. Телеком, 2010. 520 с.

Tövsiyə edib: t.e.d, prof. ***Z.Ə.Rüstəmov***

УДК 629. 783. 527

АЛГОРИТМ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ СТОЛКНОВЕНИЙ СУДОВ В РАБОЧЕЙ ЗОНЕ E-NAVIGATION

Субанов Э.Э., Кондратьев А.И., Попов А.Н.

Государственный Морской Университет им. адм. Ф.Ф.Ушакова
пр. Ленина, 93, Новороссийск, Россия, 353918
E-mail: er.subanov@rambler.ru.

Аннотация. *В работе рассмотрен вопрос повышения эффективности оценки опасности столкновения судов за счет использования алгоритма прогнозирования в едином информационном пространстве e-navigation.*

Abstract. *The paper considers the issue of increasing the assessment effectiveness of collision risk due to the issue of the forecasting algorithm in a single e-navigation information space.*

Ключевые слова: *алгоритм прогнозирования, e-navigation, предупреждение столкновений, эффективность*

Key words: *algorithm of forecasting, e-navigation, prevention of ship's collision, efficiency*

Введение. Одним из важных направлений в области обеспечения безопасности мореплавания, с учетом стремительного внедрения информационных технологий на транспорте, является содействие созданию *единого информационного пространства (ЕИП)* в котором получат возможность взаимодействовать, как сами участники транспортного процесса, так и эксперты в режиме реального времени. Текущие методы предупреждения столкновений (ПС) судов не в полной мере соответствуют меняющимся требованиям обеспечения безопасности при маневрировании. В связи с тенденцией «обезлюдивания» на водном транспорте, известной, как *People Less Navigation (PLN),* возрастает роль человеческого фактора в процессе принятия решений.

Основная часть. Для комплексного решения текущих задач по совершенствованию процесса принятия решений в задаче безопасного расхождения судов и ПС предлагается сформировать «интеллектуальную акваторию» на платформе внедряемой в практику судоходства ключевой инициативы Международной Морской Организации (ММО/IMO) — концепции e-navigation [10].

В связи с ростом количества судов и скорости каждого участника транспортного процесса особенно актуальной становится возможность прогнозирования процесса расхождения судов с формированием принципиально нового интерфейса пользователя. Функциональные особенности сигнализации о наличии опасности столкновения по-прежнему базируются на обычных алгоритмах. Они являются надежными, но зачастую не эффективны из-за того, что иногда количество активной сигнализации на мостике превышает возможности судоводителя по восприятию и эффективной обработке данной информации при выборе оптимального маневра [3].

Следовательно, разработка новых, более надежных и эффективных подходов для решения этой проблемы является весьма актуальной задачей. Однако, несмотря на то, что МППСС-72 содержат Правило 7 «Опасность столкновения», они указывают только на базовые принципы, касающиеся опасности столкновения [1].

В РФ в 2016 г. начато формирование рабочей (пилотной) зоны e-navigation в северо-западном регионе (Группа «Кронштадт») (рис.1) [5].

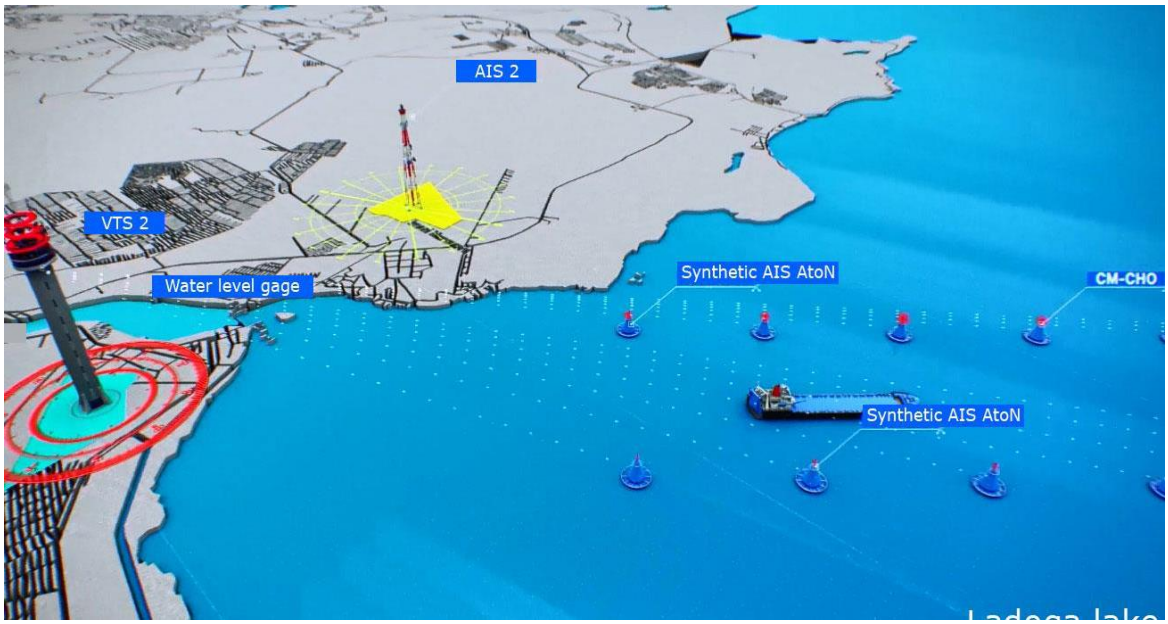


Рис. 1. *Рабочая зона e-navigation*

Формирование рабочей зоны предусматривает всестороннюю проверку и отработку разрабатываемых навигационных, связных, информационных систем и комплексов судовой и береговой иерархической инфраструктуры в рамках концепции e-navigation [6]. Суданосители системы должны быть укомплектованы опытными образцами ЭКНИС, адаптированными для задач e-navigation. Развитие концепции e-navigation позволит конкретизировать требования МППСС-72 и обеспечить судоводителя своевременным предупреждением о возможности столкновения.

Технические системы поддержки принятия решения (СППР) САРП, АИС предоставляют возможность выбора установки сигнализации для опасной ситуации, но решение принимает судоводитель, и данную ситуацию можно характеризовать, как не имеющую четкого определения. В МППСС-72 Правило 8 «Действия для предупреждения столкновения» сказано, что действие, предпринимаемое для предупреждения столкновения с другим судном, должно быть таким, чтобы привести к расхождению на безопасном расстоянии [4]. Для своевременной оценки величины расхождения судов и принятия решения о ее опасности или безопасности ниже предлагается решение задачи прогнозирования столкновения двух судов в рабочей зоне e-navigation.

Исходные данные. Средства спутниковой навигации позволяют ежесекундно получать текущую информацию о движении судна, а концепция ЕИП, будучи реализованной, позволит доставить информацию о движении всех судов в рабочей зоне e-navigation на судно-носитель системы. Протокол NMEA [7] обмена информацией с GPS/ГЛОНАСС приемником определяет формат сообщения, содержащий, в частности,

- текущие координаты приемника (φ, λ) - широту и долготу. Будем считать их выраженными в радианах, причем южная широта и западная долгота имеют отрицательные значения;
- величину скорости v и угол курса θ движущегося приемника;
- момент времени *t*, к которому относятся указанные выше величины.

Эти величины, относящиеся к судну-носителю системы, будем помечать нулевым индексом: (φ_0, λ_0), v_0, θ_0, t_0. Непомеченные индексом обозначения будут относиться к судну-цели, возможность столкновения с которым подлежит исследованию.

Задача: в предположении равномерного прямолинейного движения обоих судов определить расстояние до цели и ее положение в момент, когда расстояние будет иметь минимальное значение.

Системы координат. Базовой точкой судна назовем проекцию на поверхность воды места расположения приемника, установленного на судне. В расчете будут использованы 3 системы координат.

1) (φ, λ) - географические координаты точки. Это криволинейная система координат.

2) $Ox'y'$ - декартова система координат с началом в базовой точке судна-носителя, ось Ox' направлена на восток, ось Oy' - на север. Эта система координат в плоскости, касающейся к поверхности воды в базовой точке. Переход от координат (φ, λ) к $Ox'y'$ осуществляется картографической проекцией. Мы используем равновеликую азимутальную проекцию Ламберта [8]. Если поместить центр проекции в базовой точке судна, то именно эта проекция дает без искажений пеленг цели и расстояние до нее. Так как мы используем эту проекцию не в картографических целях, а для расчета на достаточно быстродействующей вычислительной технике, то мы можем центр "карты" всегда иметь в базовой точке судна-носителя.

3) Oxy - декартова система координат с началом в базовой точке судна-носителя, ось Oy по курсу судна, ось Ox - перпендикулярно курсу к правому борту. Эта система координат действует в этой же плоскости. Переход от координат $Ox'y'$ к координатам Oxy осуществляется матрицей поворота

$$\mathbf{T} = \begin{pmatrix} \cos\theta_0 & -\sin\theta_0 \\ \sin\theta_0 & \cos\theta_0 \end{pmatrix}. \qquad (1)$$

Иллюстрации. «Идеальное столкновение» судов заключается в совмещении их базовых точек в какой-то момент времени. В координатах $Ox'y'$ это выглядит так

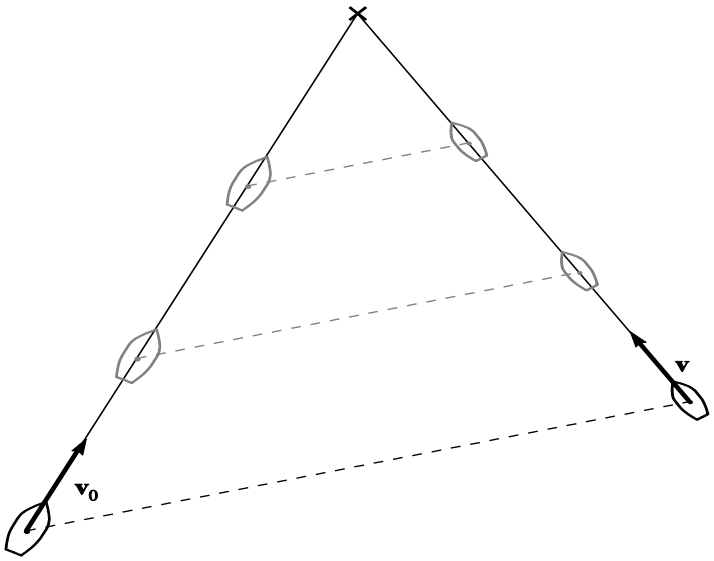


Рис. 2. *Столкновение судов при постоянном пеленге цели в системе координат* $Ox'y'$

Отсюда получается требование Международных правил предупреждения столкновений судов в море (МППСС-72, Правило 7): опасность столкновения должна считаться существующей, если пеленг приближающегося судна заметно не изменяется, опасность столкновения может иногда существовать даже при заметном изменении пеленга, в частности при сближением с очень большим судном или буксиром или при сближении судов на малое расстояние. При постоянном пеленге получается «идеальное столкновение», при малом отклонении пеленга от постоянного величина $d_{\min}$ расхождения судов будет недопустимо мала [2]. Величина расхождения судов лучше всего видна в системе координат Oxy, движущейся вместе с судном-носителем (рис. 3).

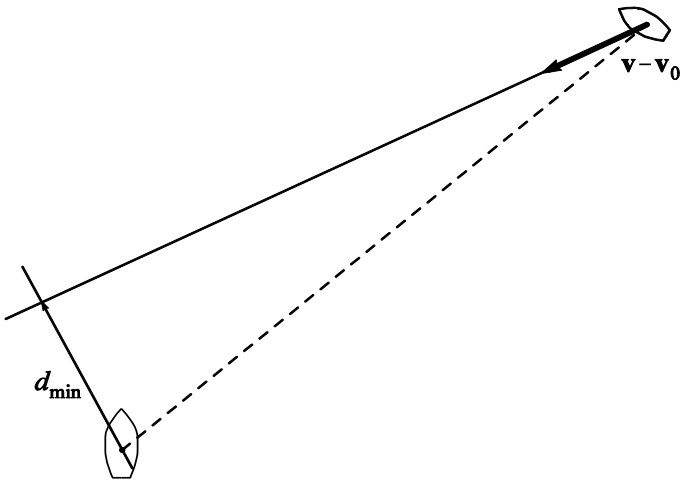


Рис. 3. *Расхождение судов при мало изменяющемся пеленге цели в системе координат, привязанной к судну-носителю*

Здесь вектор скорости цели относительно носителя не направлен прямо по пеленгу, поэтому линия курса цели не попадает точно в базовую точку судна-носителя, и образуется ненулевое расхождение $d_{\min}$ судов.

Если величина $d_{\min}$ слишком мала, прогноз указывает на опасность столкновения. Примечательно, что прогноз можно получить на основе одномоментных измерений, без затрат времени на наблюдение за изменением пеленга судна-цели.

Решение задачи. Пусть $Ox'y'$ - декартова система координат с началом в базовой точке судна-цели, ось Ox' направлена на восток, ось Oy' - на север. Для сферической модели земной поверхности расчетные формулы равновеликой азимутальной проекции Ламберта имеют вид:

$$k' = \sqrt{\frac{2}{1+\sin\varphi_0 \sin\varphi + \cos\varphi_0 \cos\varphi \cos(\lambda - \lambda_0)}};$$

$$x' = R_3\, k' \cos\varphi \sin(\lambda - \lambda_0); \qquad (2)$$

$$y' = R_3\, k' [\cos\varphi_0 \sin\varphi + \sin\varphi_0 \cos\varphi \cos(\lambda - \lambda_0)]$$

где R_3 - радиус Земли.

Вектор скорости судна-цели $(v\sin\theta, v\cos\theta)^{\mathsf{T}}$ имеет в координатах (φ, λ) вид $\frac{v}{R_3}(\frac{\sin\theta}{\cos\varphi}, \cos\theta)^{\mathsf{T}}$. В координатах $Ox'y'$ этот же вектор имеет вид:

$$\begin{pmatrix} v_{x'} \\ v_{y'} \end{pmatrix} = \frac{v}{R_3} \cdot \mathbf{D} \cdot \begin{pmatrix} \frac{\sin\theta}{\cos\varphi} \\ \cos\theta \end{pmatrix},$$

где **D** — матрица частных производных:

$$\mathbf{D} = \begin{pmatrix} \frac{\partial x'}{\partial \varphi} & \frac{\partial x'}{\partial \lambda} \\ \frac{\partial y'}{\partial \varphi} & \frac{\partial y'}{\partial \lambda} \end{pmatrix},$$

вычисленных в точке (φ, λ) в соответствии с формулами (2).

Заметим, что здесь величина R_3 радиуса Земли в ходе вычислений сокращается, поэтому при вычислении скорости может быть проигнорирована (принята за 1).

Теперь произведем поворот осей координат, чтобы получить систему координат Oxy:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} = \mathbf{T} \begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix}, \qquad (3)$$

где **T** — матрица поворота на угол θ_0, см. (1).

Наконец, вектор скорости судна-цели относительно движущейся вместе с судном-носителем системы координат получается вычитанием векторов скорости судна-цели и судна-носителя:

$$\begin{pmatrix} v_x \\ v_y \end{pmatrix} = \mathbf{T}\begin{pmatrix} v_{x'} \\ v_{y'} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} 0 \\ v_0 \end{pmatrix}, \tag{4}$$

Так как моменты замера параметров движения двух судов могут различаться, то начальные данные для расчета необходимо привести к одному моменту времени t_0. В предположении равномерного поступательного движения судна начальное положение цели вычисляется следующим образом:

$$x^* = x - (t - t_0)v_x, \;\; y^* = y - (t - t_0)v_y,$$

где x, y, v_x и v_y вычислены по формулам (3)–(4).

Тогда движение судна в системе координат Oxy описывается параметрическими уравнениями:

$$\begin{cases} x(t) = x^* + v_x t, \\ y(t) = y^* + v_y t, \end{cases}$$

где t - время, прошедшее с момента наблюдения t_0. Траектория движения задается общим уравнением прямой

$$Ax + By + C = 0,$$

где $$A = v_y, \; B = -v_x, C = v_x y^* - v_y x^*.$$

Выводы.

1. Судно-цель пересечет прямую курса судна-носителя в точке $(0, \frac{C}{v_x})$. Если $\frac{C}{v_x} > 0$ (C и v_x одного знака), то пересечение будет впереди по курсу, если $\frac{C}{v_x} < 0$, то пересечение сзади по курсу. Это произойдет в момент времени $t = -\frac{x^*}{v_x}$. Если $t > 0$, то пересечение в будущем относительно времени наблюдения, если $t < 0$, то пересечение в прошлом.

2. Судно-цель пересечет траверз судна-носителя в точке $(-\frac{C}{v_y}, 0)$. Если $-\frac{C}{v_y} > 0$ (C и v_y разных знаков), то судно на траверзе по правому борту, если $-\frac{C}{v_y} < 0$, то по левому борту. Это произойдет в момент времени $t = -\frac{y^*}{v_y}$. Если $t > 0$, то пересечение в будущем относительно времени наблюдения, если $t < 0$, то пересечение в прошлом.

3. Если $v_x x^* + v_y y^* \geq 0$, то цель удаляется и не представляет опасности. Иначе наименьшее расстояние до судна-цели будет равно

$$d_{\min} = \frac{|C|}{\sqrt{A^2 + B^2}} = \frac{|v_y x^* - v_x y^*|}{\sqrt{v_x^2 + v_y^2}}.$$

Это произойдет в момент времени

$$t_{\min} = -\frac{v_x x^* + v_y y^*}{v_x^2 + v_y^2}.$$

Если $d_{\min}$ меньше установленного критического значения (которое еще надо установить), то принимается решение о прогнозируемом опасном сближении судов.

Выводы. Дальнейшие исследования предполагают разработку нового интерфейса пользователя (судоводитель, лоцман, оператор СУДС и другие) для визуализации предлагаемых решений в рабочей зоне судов-носителей системы, не отвлекаясь от контроля реальной навигационной обстановки [9]. Он, в частности, позволит помечать потенциально опасные цели специальными маркерами определенного цвета (красный-опасно, желтый-внимание, зеленый-безопасно), привлекающими внимание судоводителя для принятия им решений.

Литература

1. Международные правила предупреждения столкновений судов в море 1972 (МППСС-72) М.: Моркнига, 2007 г. 79 с.
2. Субанов Э.Э. Идентификация ключевых индикаторов, присущих процессу расхождения судов, с использованием метода экспертных оценок. /Субанов Э.Э. Миронов А.В. Материалы VII-ой международной научно-практической конференции «Наука в современном мире» / Таганрог: Изд. СибТУ, 2011 г. с.76-82.
3. Ричард А. Кейхилл. Столкновения судов и их причины. М.: Транспорт, 1987 г. 239с.
4. Коккрофт А.Н., Ламейер Дж.Н.Ф. Толкование МППСС-72. М.: Транспорт. 1981 г. 214 с.
5. Пинский А.С. Е-Навигация и безэкипажное судовождение. М.: Транспорт Российской Федерации, №4 (65), 2016 г.
6. Безбородов Г.И., Исмагилов М.И. От стратегии е-навигации к концепции и-акватории. – М.: Морской вестник, № 1(61), 2017 г.
7. URL:https://www.nmea.org/.
8. Семенов И.А., Морская картография. Л.:Моркнига. 1972 г. 390 с.
9. URL:https://www.dnvgl.com/.
10. URL:http://www.iala-aism.org/products/e-navigation/.

Tövsiyə edib: t.e.d, prof. ***Z.Ə.Rüstəmov***

УДК 656.071.4:591.5

УРОВНИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ В ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МОРСКОГО ПОРТА

Шматок Ю.В.

Государственный университет инфраструктуры и технологий
ул. Кирилловская, 9, Киев, 04071, Украина
E- mail: lmu.yvs@gmail.com

Аннотация. *В статье обоснована необходимость усиления развития экологического управления в деятельности морских портов, охарактеризованы уровни внедрения экологического управления в деятельность морского порта и их индикаторы оценки.*

Abstract. *The article substantiates the need to strengthen the development of environmental management in the activities of seaports, characterized the level of implementation of environmental management in the activities of the seaport and their indicators of evaluation.*

Ключевые слова: *морской порт, морская окружающая среда, экологическое управление, охрана окружающей среды, индикаторы оценки, уровни экологического управления*

Key words: *seaport, marine environment, environmental management, environmental protection, assessment indicators, environmental management grade*

Введение. Развитие портовой отрасли как высокотехнологичного, эффективно работающего, коммерческого сектора государства, максимально адаптированного к работе в условиях жесткой конкуренции на мировом рынке портовых услуг, ориентированного на потребности экономики страны, основой работы которого должны быть европейские правила и принципы ведения бизнеса, невозможно без экологической ответственности, осуществления мероприятий по охране окружающей морской среды, восстановления морской среды и отслеживания динамики эффективности экологического управления в портах.

Постановка задачи. Результаты обобщенных исследований по экологической ответственности предприятий водного транспорта свидетельствуют, что украинские морские порты продолжают рассматривать экологическую составляющую в значительном отрыве от экономических и экологических показателей своего функционирования в отличие от западных компаний, которые быстрыми темпами переходят от осуществления природоохранных мероприятий под прямым давлением государства к стратегическому восприятию экологически обоснованной деятельности.

Анализ полученных результатов. В нынешних условиях обострения и углубления экологических проблем, деградации потенциала окружающей среды и природных ресурсов возрастает ответственность общества в целом, каждого субъекта предпринимательской деятельности, каждого человека за способы и методы своего взаимодействия с окружающей средой [1, с. 254].

Организационно-экономический механизм экологического управления реализуется через совокупность регуляторов процесса экологизации. Синергический эффект влияния регуляторов на побудительные мотивы деятельности субъектов хозяйствования в направлении эколого-сбалансированного развития проявится только в случае их эффективного сочетания, что и определяет главную цель формирования концепции эколого-экономического механизма [2, с. 184].

Экономический механизм - это совокупность методов и средств воздействия на экономические процессы, их регулирование. Содержание и специфика эколого-экономического механизма управления рациональным природопользованием должны учитывать сущность и особенности процесса экологического управления, и определять выбор из множества вари-

антов приемлемой совокупности методов или приемов действий. Традиционно методы управления условно делятся на экономические, организационно-распорядительные (административные) и социально-психологические. Административные методы составляют систему прямого административного (директивного) воздействия. Стимулы их выполнения основываются на дисциплинарной ответственности. К рычагам косвенного воздействия относятся экономические методы, которые оказывают стимулирующее воздействие на управляемую систему, и социально-психологические (мотивирующее воздействие) методы управления. Экономические методы основываются на материальной заинтересованности, социально-психологические - моральной ответственности [2, с. 179].

Экологическое управление предусматривает использование таких экономических инструментов, как: налоги; субсидии; кредитование; платежи за загрязнение; ценовые инструменты; продажа прав на выбросы; продажа экологических квот и разрешений на определенную деятельность; экологическое страхование и т.д. Экологическое регулирование включает в себя: установление экономических ограничений на хозяйственную деятельность; создание систем экологической сертификации; лицензирование хозяйственной и иной деятельности с точки зрения ее воздействия на окружающую среду; комплексная эколого-экономическая экспертиза деятельности, продуктов и услуг [3].

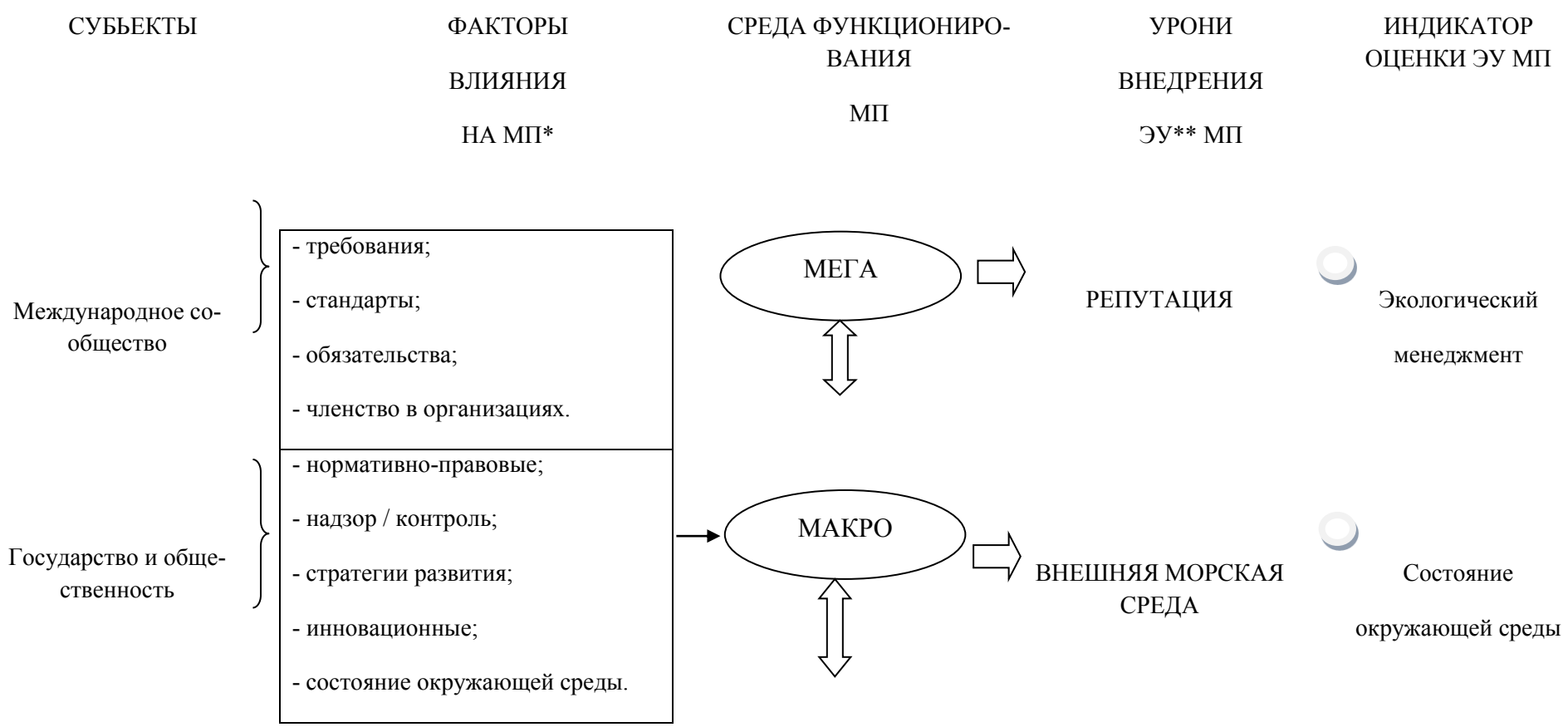
Многообразие форм эколого-экономических инструментов создает богатый спектр возможностей целенаправленного экологически ориентированного влияния на экономические интересы субъектов хозяйствования. Умелое использование этих возможностей в сочетании с другими методами позволяет эффективно решать сложные эколого-экономические проблемы в рамках механизмов саморегулирования рыночной экономической системы [4].

На морские порты (МП), их хозяйственную деятельность, постоянно воздействуют внешние и внутренние факторы. Среда деятельности морского порта имеет следующие уровни: внутренняя среда – это внутренние факторы порта и движущие силы; микросреда - среда непосредственного окружения морского порта прямого воздействия; мезосреда - среда окружения морского порта не прямого воздействия; макросреда - внешняя среда косвенного воздействия; мегасреда - международный масштаб среды

На каждом уровне влияют определенные субъекты, а именно: МП; пользователи и партнеры МП; транспортно-логистическая цепь; государство и общественность; международное сообщество. Факторы влияния на МП и уровни управлением охраной окружающей среды порта приведены на рис. 1. Рассмотрим каждый уровень, представленный на рисунке, более подробно.

Территориальное планирование и управление инфраструктурой порта - это управление инфраструктурой с учетом требований окружающей среды, включая подходной канал, акватории, гидротехнические сооружения, пути наземного сообщения, средства навигационного обеспечения судоходства, доки, причалы, береговую линию, системы электроэнергии, системы бункеровки, интеллектуальные сети, сети очистки сточных вод, комплекс дноуглубительных работ, а также модернизацию, реконструкцию и закупку необходимых плавсредств.

Портовые платежи и сборы - это осуществление дифференцированного подхода к портовым сборам с целью вознаграждения экологических судов, заходящих в порт; совершенствование системы методик начисления ставок портовых сборов и платежей с учетом экологической составляющей; обеспечение целевого использования санитарного сбора; осуществление природоохранной деятельности в МП за счет уплаченного экологического налога МП в государственный бюджет: данные средства могут обеспечивать финансирование субъекта, реализующего экологический проект, будь то морской порт, партнер, концессионер, аутсорсинговая компания. Также на данном уровне морской порт должен осуществлять экологический сервис для судоходства, а именно осуществлять обслуживание судов относительно их соответсвия требованиям охраны окружвющей среды и экологическим показателям.


СУБЬЕКТЫ
ФАКТОРЫ ВЛИЯНИЯ НА МП*
СРЕДА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МП
УРОНИ ВНЕДРЕНИЯ ЭУ** МП
ИНДИКАТОР ОЦЕНКИ ЭУ МП
Международное сообщество
- требования;
- стандарты;
- обязательства;
- членство в организациях.
МЕГА
РЕПУТАЦИЯ
Экологический менеджмент
Государство и общественность
- нормативно-правовые;
- надзор / контроль;
- стратегии развития;
- инновационные;
- состояние окружающей среды.
МАКРО
ВНЕШНЯЯ МОРСКАЯ СРЕДА
Состояние окружающей среды

Транспортно-логистическая цепь - это активизация внедрения экологических проектов в транспортно-логистическую цепь, включающую транспорт, водный путь, дороги, сочетание работы порта с другими транспортными отраслями (железнодорожной, автомобильной, речной), интеллектуальные системы управления движением, трафик и связанные с ними инструменты, погрузочно-разгрузочные услуги, применение механизмов государственно-частного партнерства, стивидорную деятельность, технологическое развитие портовой отрасли, создание равных и безопасных условий для пользователей транспортной инфраструктуры, оптимизацию контролирующих процедур, создание электронной системы мониторинга экологического управления в портах, создание сайта экологического управления в морских портах, улучшение документооборота и информационной базы, переход к национальному «единому окну» и согласованное распределение рисков.

Окружающая морская среда - это существование всех живых и не живых объектов, то есть это атмосфера, гидросфера, почва, фауна, флора, ихтиофауна. На данном уровне действия морских портов должны быть направлены на обеспечение самоподдержания и саморегуляции природного баланса и безопасного функционирования морской среды. Это способность понять характеристики окружающей среды с помощью соответствующих протоколов мониторинга, оценки эффективности управления охраной окружающей среды, соблюдения отдельных регуляторных стандартов, исследование тенденций загрязнения, осуществление исследовательских данных, раннее предупреждение критических изменений климата и в окружающей среде, направления очистки загрязнения, пути осуществления предупреждения загрязнения.

Система управления охраной окружающей среды должна быть гибкой и адаптированной к конкретным приоритетам портового и морского транспорта, должна концентрироваться на таких вопросах, как качество воды, качество воздуха, обращения с отходами, сохранения среды, шум, пыль, дноуглубление, загрязненные почвы, изменение климата, потребление энергии и другое. Ключевой особенностью экологического управления в деятельности морских портов является сохранение баланса между экологическими, законодательными и коммерческими (экономическими) измерениями.

Репутация - это результаты и действия морских портов в сфере экологии по формированию доверия к ним на национальном и международном уровне путем внедрения эффективной современной системы экологического управления обеспечения охраны окружающей среды морским портом, вступления в международные морские организации, внедрение международных стандартов, конвенций, требований международных обязательств. Репутация влияет на повышение конкурентоспособности МП на международном рынке, интеграцию в международное сообщество и получения новых контрактов.

Высокая репутация обеспечит морским портам статус катализатора развития отраслей народного хозяйства, эффективного международного сотрудничества, внешней торговли Украины и ее утверждения как транзитного государства.

Оценка экологической результативности способствует принятию обоснованных эколого-экономических управленческих решений путем выбора показателей, сбора и анализа данных, оценки информации по установленным критериям. Формирование системы показателей оценки экологической результативности целесообразно начинать вместе с определением экологических целей и задач предприятия. Методические рекомендации по разработке, внедрению и использованию показателей экологичности предложено в международном экологическом стандарте ISO 14031 [5, с. 311].

Регулирования последствий загрязнения окружающей природной среды находится в сфере управления экологическими аспектами деятельности предприятия.

Эффективность процесса управления экологическими аспектами должна оцениваться по показателям экологической результативности, значение которых влияет на экономические показатели эффективности деятельности хозяйствующего субъекта [5, с. 311].

По мнению автора, каждому уровню функционирования морского порта соответствует определенная группа индикаторов оценки экологического управления, что указано на рисунке 1.

Порядок осуществления оценки индикаторов экологического управления (экологической полезности) в морских портах представим на рисунке 2.

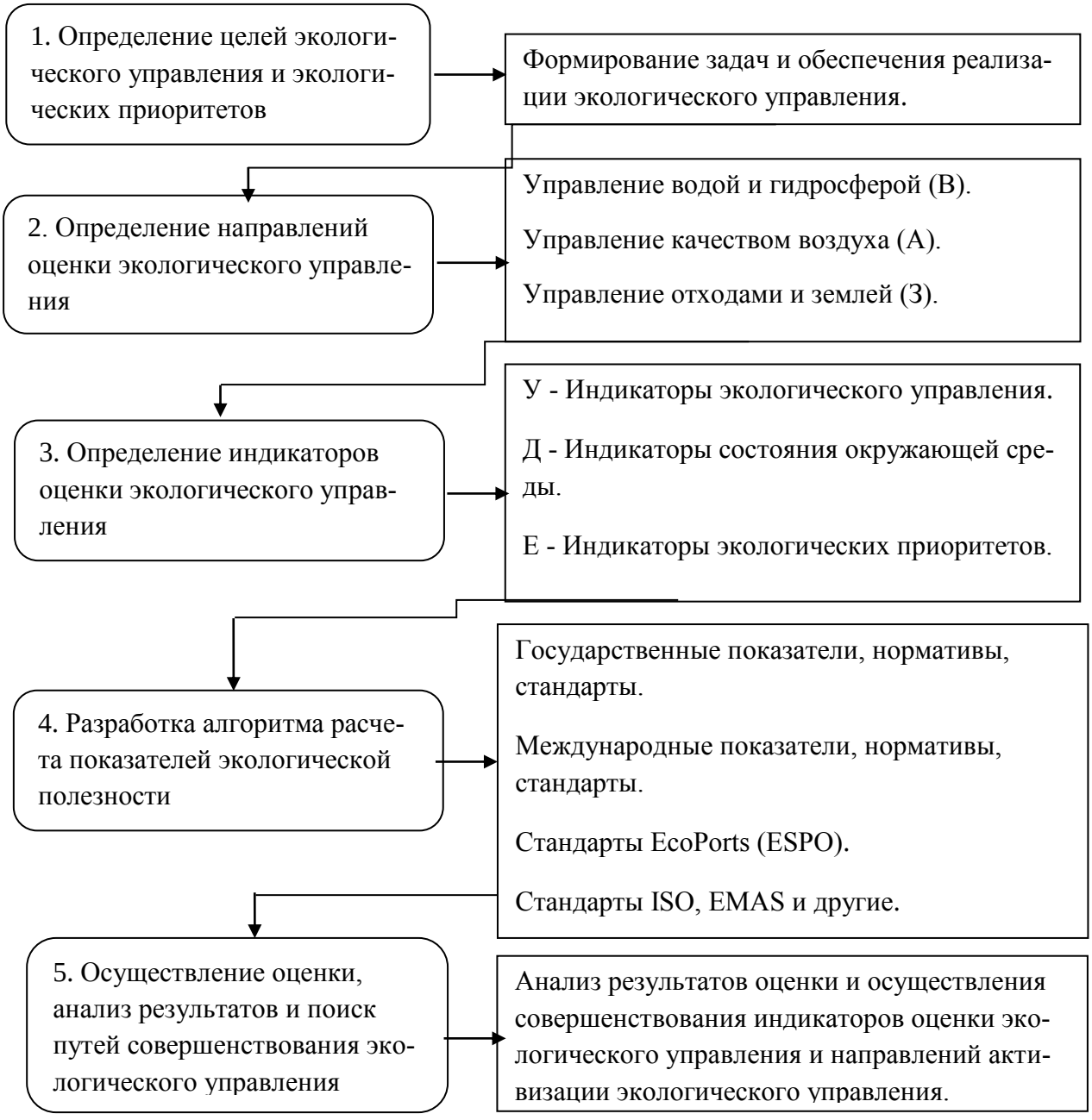


Рис. 2. *Порядок осуществления оценки экологического управления*
Источник: разработано автором

В общем эффективность природоохранной деятельности предприятий в условиях недостаточности развития экономической политики в стране, заинтересованности предприятий,

корпораций сферой окружающей среды и рациональным природопользованием остается крайне низкой. Деятельность по охране природы способствует долгосрочному процветанию бизнеса и даст положительный результат для экономики в целом. Предприятия, выполняющие эколого-экономический анализ и учитывая природоохранные расходы, теоретически имеют ряд существенных преимуществ. Во-первых, это снижение затрат благодаря: ресурсо- и энергосбережению; утилизация, продажа побочных продуктов и отходов производства; минимизации платы за ресурсы и загрязнение окружающей среды. Во-вторых, рост доходов за счет высоких цен на экологически чистую продукцию; повышение конкурентоспособности; создание новых видов продукции. В-третьих, благоприятный имидж, способность к постоянному обновлению ассортимента продукции, лучшие возможности для экспорта продукции [6, с. 52].

Выводы. Установлено, что активизация развития экологического управления и повышения экологической ответственности в функционировании морских портов крайне необходима в современных условиях ухудшения экологии и здоровья населения, а также усиления международных требований по охране окружающей среды.

Возрождение национального торгового мореплавания как перспективной отрасли экономики, быстро развиваться и обеспечивать весомый вклад в формирование ВВП страны и положительного сальдо торгового баланса, достойно представлять Украину на международном рынке транспортных услуг, станет мощным катализатором активности других отраслей экономики, а также действенным средством реализации усилий государства, направленных на расширение представительства Украины на мировых товарных рынках должна осуществляться в том числе путем экологизации их деятельности.

Внедрение природоохранных мероприятий в деятельность морских портов приведет как к улучшению качества окружающей среды, так и к повышению конкурентоспособности морского порта на мировом рынке.

Литература

1. Бабина О.Е. Методолого-практические основы формирования и реализации потенциала транспортных предприятий: дис. докт. эк. наук: 08.00.04 / Бабина О.Е. Киев, 2017. 493 с.
2. Руднева А.Ю. Направления формирования эффективного организационно-экономического механизма экологического управления / В.Н. Хобта, О.Ю. Руднева // Научные труды Донецкого национального технического университета. Серия: экономическая. Выпуск 37-3. - Донецк, ДонНТУ, 2009. 222 с. с. 178-185. Режим доступа: http://ea.dgtu.donetsk.ua:-8080/jspui/bitstream/123456789/10443/1/178.pdf
3. Салатюк Н.М. Экологическое управление как составная системного подхода к управлению предприятием [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/-bitstream/123456789/5331/1/9.pdf
4. Мельник Л.Г. Экологическая экономика. Сумы: ИТД "Университетская книга", 2006. 367 с.
5. Руднева А.Ю. Концептуальные положения регулирования экологических последствий деятельности предприятия / В.Н. Хобта, О.Ю. Руднева // Вестник Хмельницкого национального университета. 2009. №6. Т.3.320 с. С. 308-311. Режим доступа: http://ea.-donntu.org/handle/123456789/10445
6. Баран Н.Н., Васкович И.М., Экономическая оценка природоохранных затрат на производственном предприятии. // сборник научно-технических работ. Экология окружающей среды. Львов: Национальный лесотехнический университет Украины. С.48-53. [Электронный ресурс]. Режим доступа: http://nltu.edu.ua/nv/Archive/2010/20_15/48_Bar.pdf

Tövsiyə edib: t.e.d, prof. ***Z.Ə.Rüstəmov***

ДК 656.615

ОЦЕНКА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ОБРАБОТКИ СУДОВ У ГРУЗОВОГО ТЕРМИНАЛА МОРСКОГО ПОРТА

Терентьева Л.В.

Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского
Ул. Верхнепортовая, 50А, Владивосток, Россия, 690003
E-mail: Terenteva@msun.ru

Аннотация. *Дана оценка распределения длительности обработки судов у грузового терминала морского порта как системы массового обслуживания. Показано, что статистические значения продолжительности обработки судов у терминала можно описать с помощью обобщающего закона Эрланга.*

Abstract. *The estimation of the distribution of the processing time of vessels at the cargo terminal of the seaport as a queuing system is given, it is shown that the statistical values of the duration of ship handling at the terminal can be described using the generalizing Erlang law.*

Ключевые слова: *морской порт, грузовой терминал, обработка судна, система массового обслуживания, имитационная модель*

Key words: *seaport, cargo terminal, ship handling, queuing system, simulation*

Введение. Одним из наиболее распространенных способов изучения различных процессов в разнообразных сферах деятельности считается моделирование. В мировой практике моделирование является основным научно обоснованным методом исследований характеристик сложных систем, получаемых в результате реализации модели, которые можно использовать для принятия обоснованных решений. С помощью моделей можно прогнозировать результаты работы сложных систем, на которые оказывают влияние множество различных факторов, в том числе случайных. Для изучения и прогнозирования результатов работы сложных систем, деятельность которых связана с высоким уровнем неопределённости, с чрезмерно большим числом переменных, с трудностями математического описания зависимости между переменными величинами, используется имитационное моделирование [1].

Основная часть. К числу таких сложных систем относится и морской порт, а также основные подразделения морского порта – производственные перегрузочные комплексы или грузовые терминалы. Моделирование позволяет имитировать процессы выполнения грузовых операций у грузовых терминалов морских портов и обслуживания морских транспортных судов. В имитационной модели функционирования грузового терминала морского порта с помощью случайных чисел моделируются случайные процессы поступления в морской порт транспортных средств (судов, вагонов), моментов начала и окончания их обработки, а также продолжительности их обработки – пребывания в морском порту как в системе массового обслуживания.

Исследование сложных систем при помощи моделирования случайных реализаций и имитации случайных процессов, происходящих в сложных системах, с последующей статистической обработкой и оценкой их вероятностных характеристик после многократного воспроизведения процесса выполняется с помощью методов статистических испытаний.

Для реализации метода статистических испытаний при построении модели функционирования грузового терминала морского порта и исследовании результатов его работы необходимо знать закон распределения продолжительности обработки судов у причалов морского порта. В общем случае значения длительности обработки судов различаются между собой

вследствие различия судов по грузоподъемности, интенсивности погрузочно-разгрузочных работ для разных грузов, различного числа технологических линий на обработке судов и влияния других факторов и особенностей работы терминалов.

Для оценки распределения длительности обслуживания заявки в системе массового обслуживания может быть применен обобщающий закон Эрланга [2]. Согласно закону Эрланга вероятность обслуживания требований $P(t_i, v,r)$ с продолжительностью t_i выражается формулой

$$P(t_i, v, r) = (v \times r)/(r\text{-}1) \times t_i^{r-1} \times e^{-rvt_i}, \quad (1)$$

где v – величина обратная математическому ожиданию продолжительности обслуживания (обратная средней продолжительности обработки судна t_{cp}): $v=1/t_{cp}$;

r – показатель распределения Эрланга.

Показатель распределения Эрланга определяется по формуле

$$r = 1/(D \times v^2) = t^2_{cp}/D, \quad (2)$$

где D – дисперсия распределения.

Для доказательства того, что статистические значения продолжительности обработки судов у технологического перевалочного комплекса (ТПК) можно описать с помощью обобщающего закона Эрланга были проанализированы результаты обработки судов у ТПК для скоропортящихся грузов за год. Следует отметить, что при обслуживании судов в порту могут возникать непроизводительные простои судов по каким-либо причинам (из-за отсутствия вагонов, складской площади и пр.), а также из-за неблагоприятных метеорологических условий. Все эти причины, несомненно, увеличивают продолжительность обработки флота, но при имитации процесса функционирования грузового терминала учитываться не должны в силу следующих соображений. В связи с тем, что модели придается обобщенный характер и она может быть использована для оптимизации параметров основных элементов перегрузочного комплекса, неверно было бы применять при моделировании исходные данные, учитывающие непроизводительные простои по каким бы то ни было причинам, кроме метеорологических, поскольку нельзя утверждать, что полученные по этим исходным данным результаты расчетов будут оптимальными. Кроме того, при обосновании потребности в причалах в практике проектирования не предусмотрен учет непроизводительных простоев судов, кроме простоев по метеорологическим причинам. В соответствии с данным замечанием из общего времени обработки судов у ТПК непроизводительные простои были исключены. Таким образом, статистические значения продолжительности обработки судов у ТПК включали в себя время выполнения грузовых работ и не совместимые с грузовыми работами вспомогательные операции.

Для проверки соответствия распределения фактических значений продолжительности обработки судов у ТПК теоретическому распределению Эрланга был использован критерий Пирсона. Результаты расчетов представлены в таблице.

На основании представленных в таблице величин N (число интервалов), Ni и N_{cp} дисперсия распределения D рассчитана по формуле

$$D = (\Sigma(Ni - N_{cp})^2)/N, \quad (3)$$

Критерий Пирсона X^2, используемый для оценки меры расхождения между эмпирическими m_i и теоретическими частотами $n \times p_i$ продолжительности обработки судов у ТПК, рассчитан по формуле

$$X^2 = \sum_{i=1}^{l} \frac{(m_i \cdot - \cdot np_i)2}{np_i}, \qquad (4)$$

где l – число разрядов группировки с учетом объединения малых значений наблюдения.

Таблица

Расчет критерия Пирсона X^2 для продолжительности обработки судов

Интервал, часы	№ интервала Ni	m_i	$m_i\,Ni$	P_i	$n\,P_i$	m_i-nP_i	$(m_i$-$nP_i)^2$	$(m_i$-$P_i)^2/nP_i$	Примечания
0-5	1	11	11	0,0593	11,979	-0,979	0,958	0,080	$N_{cp}=\Sigma m_iN_i/\Sigma m_i=5;$ $D=8,5;$ $v=1/N_{cp}=0,2;$ $r=3,0;$ $X^2_{0.05}=12,59$
5-10	2	26	52	0,1301	26,280	-0,280	0,078	0,003	
10-15	3	32	96	0,1607	32,461	-0,461	0,213	0,007	
15-20	4	30	120	0,1568	31,674	-1,674	2,802	0,088	
20-40	5	23	115	0,1344	27,149	-4,149	17,214	0,634	
40-60	6	22	132	0,1062	21,452	0,548	0,300	0,014	
60-85	7	22	154	0,0794	16,039	5,961	35,534	2,215	
85-110	8	15	120	0,0569	11,494	3,506	12,292	1,069	
110-135	9	10	90	0,0395	7,979	7,607	57,866	4,320	
135-285	10	11	110	0,0268	5,414				
		$\Sigma m_i=n=$ 202	$\Sigma m_iN_i=$ 1000	$X^2=8,43;$ $X^2<X^2_{0.05}$ $\mu=l\text{-}s\text{-}1=$ 9-2-1 =6 – число степеней свободы; s – число параметров, определяемых по выборке $s=2$ (N_{cp} и D).					

Рассчитав критерий Пирсона X^2 и, выбрав уровень значимости критерия q, по таблице X^2-распределения необходимо определить значение критерия Пирсона X^2_q с $\mu = l\text{-}s\text{-}1$ степенями свободы (s – число параметров, определяемых по выборке; l – число разрядов группировки с учетом объединения малых значений наблюдения). Уровни значимости (величина q), отвечающие событиям, которые в обстановке исследования считаются с некоторой долей риска практически невозможными, в практических приложениях часто равны 5 %, 1 % и 0,1 % (q = 5%; q = 1%; q = 0,1%;). Если рассчитанное значение критерия попадает в область допустимых отклонений (вероятность попадания в которую при справедливости данной гипотезы равна p = 1- $q/100$), то есть $X^2 < X^2_q$, значит расхождение несущественно, а поэтому гипотеза принимается. Из таблицы видно, что рассчитанное значение критерия Пирсона равно $X^2 = 8,43$, что меньше значения, определенного по таблице X^2-распределения ($X^2_{0.05}=12,59$), следовательно, расхождения несущественны [3].

Результаты расчетов позволяют сделать вывод о том, что расхождение выборочных данных с теоретическими частотами не существенно и, следовательно, можно утверждать, что распределение эмпирических значений продолжительности обработки судов у ТПК с достаточной степенью достоверности согласуется с теоретическим распределением Эрланга.

На основании результатов выше изложенного исследования можно принять, что распределение продолжительности обработки судов у ТПК при имитационном моделировании можно с достаточной степенью достоверности аппроксимировать теоретическим распределением Эрланга с показателем r.

Тогда значения продолжительности обработки очередного j-го судна T_{cj}, поступающего под обработку к грузовому терминалу, при имитационном моделировании можно формировать с помощью случайных чисел ξ_i и рассчитывать по формуле

$$T_{cj} = - (T_c/r) \sum_{i=1}^{r} ln\, \xi_i, \quad (5)$$

где T_c – средняя продолжительность обработки судна, зависящая от числа технологических линий и от средневзвешенной производительности одной технологической линии, сутки.

Выводы. Таким образом, результаты данного исследования доказывают возможность формирования продолжительности обработки судов в соответствии с заданным законом распределения. Эти доказательства можно использовать при построении и реализации имитационной модели функционирования грузового терминала морского порта. Следует отметить, что при построении и реализации имитационной модели действующих грузовых терминалов необходимо исследование характеристик потоков транспортных средств для конкретного грузового терминала.

Результаты имитационного моделирования работы грузового терминала морского порта могут быть использованы при принятии практических решений для обоснования потребности стивидорной компании в технических и трудовых ресурсах, для анализа степени использования существующих производственных мощностей, а также для принятия стратегических решений о перспективах развития морского порта.

Литература

1. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. М.: Наука, 1968, 356 с.
2. Горбатый М.М. Теория и практика оптимизации производственных мощностей морских портов. М.: Транспорт, 1981, 168 с.
3. Румшинский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. М.: Наука, 1971, 192 с.

Tövsiyə edib: t.e.d, prof. ***Z.Ə.Rüstəmov***

УДК. 656.6.052

РАСЧЕТ ТРАЕКТОРИИ ПОВОРОТА СУДНА ПРИ ДЕЙСТВИИ ВЕТРА И ТЕЧЕНИЯ

Ганиев А.Я.

Азербайджанская Государственная Морская Академия
АЗ 1000, г. Баку, ул. З. Алиевой, 18
E-mail: ganiyev14@mail.ru

Аннотация. *В сатье рассматривается расчет траектории поворота судна при действии ветра и течения. Предложен ускоренный способ определения места судна в любой точке траектории циркуляции при учете ветра и течения. Составлена программа для расчета координат промежуточных точек траектории.*

Xülasə. *Məqalədə külək və axının təsiri ilə gəminin dönmə trayektoriyasının hesablanmasına baxılmışdır. Külək və axının təsiri ilə gəminin dönmə trayektoriyasının istənilən nöqtəsində qısa müddət ərzində gəminin mövqeyinin təyin üsulu təklif edilmişdir. Trayektoriyanın aralıq nöqtələrində gəminin mövqeyini təyin proqramı tərtib edilmişdir.*

Abstract: *Calculation of turning of ship in current and wind is considered. The quick method for determining of position of vessel in current and wind is suggested. Worked out the program for determining position of ship in interim points of turning.*

***Ключевые слова**: ИМО, циркуляция, балласт, координаты, дрейф, течение, диаметральная плоскость, инерционные характеристики, траектория, руль*

***Açar sözlər:** BDT, sirkulyasiya, ballast, mövqe, dreyf, axını, diametral müstəvi, manevr xarakteristikaları, trayektoriya, sükan*

***Key words:** İMO, turning, ballast, position, drift, current, centreline, manoeuvring characteristics, trajectory, rudder*

Введение. Известно, что при разработке формуляров маневренных характеристик судна, результаты испытаний должны соответствовать рекомендациям ИМО А.601(15) и MSK.137(36) [1]. Испытания проводятся в определенных условиях. Например, для танкера «Президент Гейдар Алиев» условия проведения испытаний следующие [2]:

- ветер – юго-западный силой 1 балл;
- волнение около 1 балла;
- видимость-1500 м;
- температура воздуха - $+24^0$ С
- температура забортной воды - $+ 18^0$ С
- глубина судового хода 20-25 м;
- случай нагрузки судна – в балласте;
- плотность забортной воды – 1,000 т/м^3.

Однако при следовании судна в различных условиях плавания, значения маневренных характеристик будут иметь различные значения. Например, на мелководье и на глубокой воде, на ограниченных акваториях или в канале и в открытом море, в грузу и в балласте, при наличии ветра или течения и при их отсутствии или при совместном влиянии [3]. В этом разделе мы рассмотрим влияние ветра и течения, точнее их учет при циркуляции судна. Рассчитаем координаты точек при повороте судна.

Постановка задачи. Для учета инерционных характеристик судна на ограниченных акваториях судоводитель должен контролировать процесс поворота [4]. Для этого необходимо определение места судна в моменты его начала и окончания. Однако определение места занимает некоторое время и информация запаздывает. Для решения этой проблемы приходится применять ускоренные способы определения места судна. Даже и в этом случае не всегда удается получить информацию о местоположении во время поворота.

Задача выполнения поворота значительно усложняется при наличии ветра и течения. При решении таких задач судоводители обычно определяют только точку начала поворота. В этом случае безопасность плавания будет определяться тем, насколько точно мы рассчитали угол дрейфа и угол сноса.

Решение задачи. Расчет угла дрейфа производится по формуле Демина [5,6]:

$$\alpha_i = \arcsin(-0{,}11 + \sqrt{0{,}0121 + 0{,}69 * \sin q * \frac{S_н}{S_п}[\left(0{,}16\delta_{оп} - 0{,}5 * \frac{T_{ср}}{L}\right) * \frac{W}{V}]^2} \qquad (1)$$

где $S_н$ – площадь проекции надводной части корпуса на диаметральную плоскость;

$S_н$ – площадь проекции подводной части корпуса на диаметральную плоскость;

$\delta_{оп}$ - коэффициент общей полноты;

$T_{ср}$ – средняя осадка судна;

L – длина между перпендикулярами;

После расчета угла дрейфа можно построить траекторию поворота судна при циркуляции. Для получения точек траектории с учетом влияния ветра, после расчета угла дрейфа α, рассчитываем координаты (X_1 , Y_1) (рис. 1).

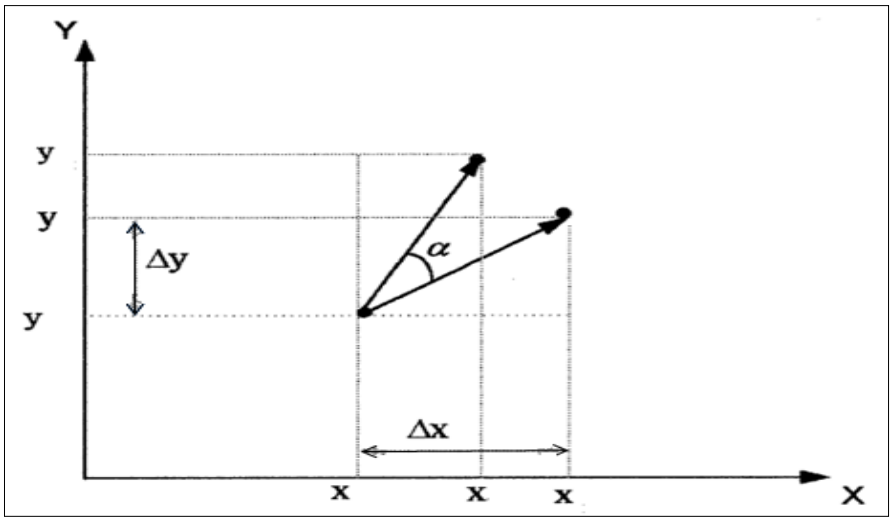


Рис. 1. *Расчет координат точек при повороте при наличии ветра*

$$X_2 = \Delta X + X_1 \tag{2}$$

$$Y_2 = \Delta Y + Y_1 \tag{3}$$

где ΔX и ΔY – приращение координат за счет поворота на угол дрейфа.
ΔX и ΔY рассчитываются по следующим формулам:

$$\Delta X_n = (X_{nПр} - X_{n-1}) * \cos\alpha_1 + (Y_{nПр} - Y_{n-1}) * \sin\alpha_1 \tag{4}$$
$$\Delta Y_n = (Y_{nПр} - Y_{n-1}) * \cos\alpha_1 - (X_{nПр} - X_{n-1}) * \sin\alpha_1 \tag{5}$$

Значения промежуточных координат можно рассчитать по следующим формулам:

$$X_{nПр} = X_n + \sum_{k=1}^{n-1}(X_k - X_{kпр}) \tag{6}$$

$$Y_{nПр} = Y_n + \sum_{k=1}^{n-1}(Y_k - Y_{kпр}) \tag{7}$$

Угол дрейфа также можно определить по графику [7] (рис. 2).

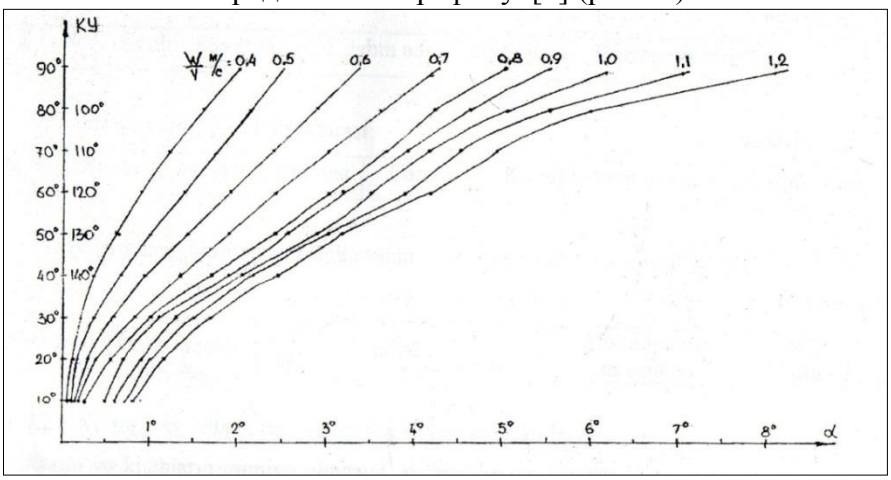


Рис. 2. *График определения угла дрейфа*

Для получения точек траектории с учетом течения из промежуточной точки ($X_{П}$, $Y_{П}$) проведем вектор по направлению течения (рис. 3) на расстояние $V_T \bullet \Delta t$ и получим координаты промежуточных точек по следующим формулам:

$$X_n = X_{n\text{пр}} + (V_T * \Delta t_n) * sinK_T \qquad (8)$$

$$Y_n = Y_{n\text{пр}} + (V_T * \Delta t_n) * cosK_T \qquad (9)$$

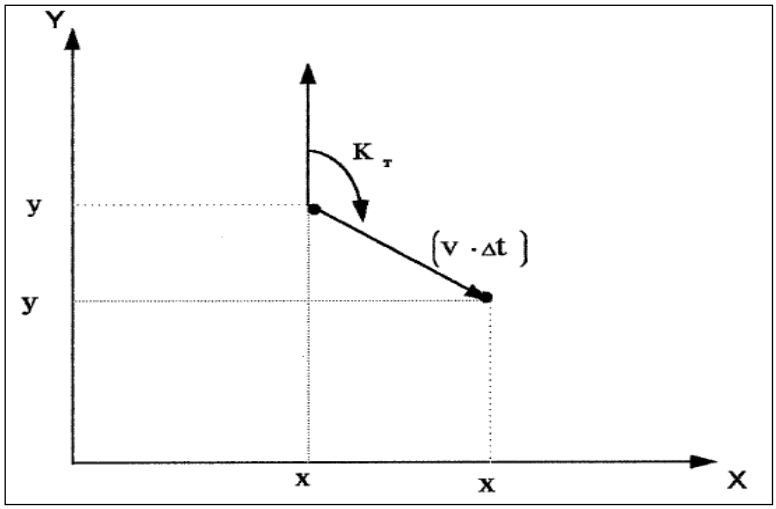


***Рис. 3**. Расчет координат точек при повороте при наличии течения*

Значения координат промежуточных точек при наличии течения ($X_{\text{ппр}}$, $Y_{\text{ппр}}$) можно рассчитать по формулам:

$$X_{n\text{п}} = X_n + \sum_{k=1}^{n-1} V_T * \Delta t_k * sinK_T \qquad (10)$$

$$Y_{n\text{п}} = Y + \sum_{k=1}^{n-1} V_T * \Delta t_k * cosK_T \qquad (11)$$

Угол сноса также можно определить по графику [8] (рис. 4).

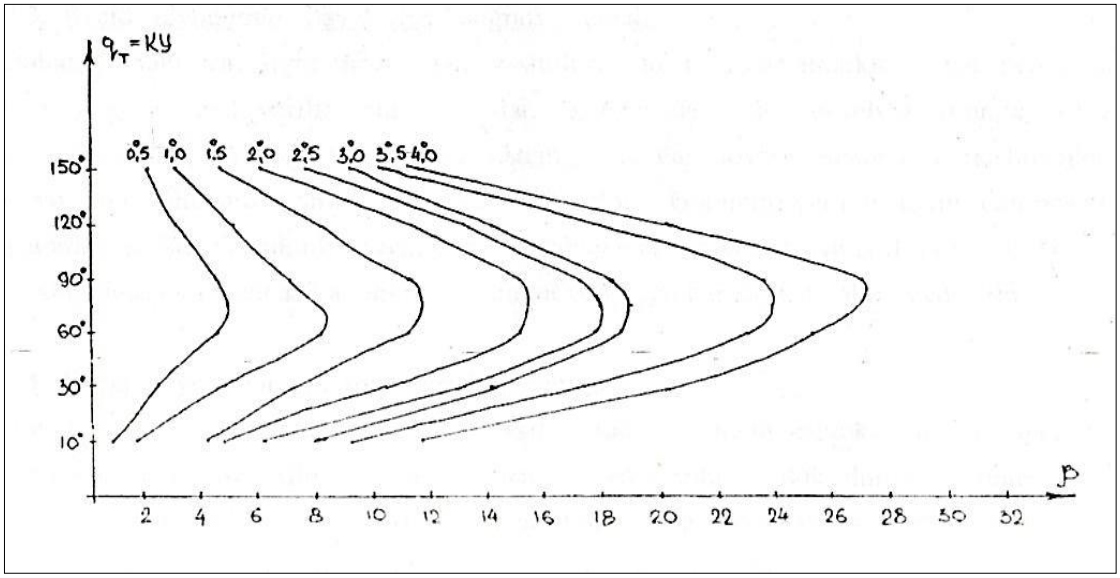


***Рис. 4.** График определения угла сноса*

Для совместного учета ветра и течения определим новые координаты с учетом ветра:

$$X_{n.\text{вет.}} = (\text{X}_{n\text{п}} - \text{X}_{n-1})cos\alpha_n + (Y_{n\text{п}} - Y_{n-1.\text{вет.}}) * sin\alpha_n + X_{n-1.\text{вет.}} \qquad (12)$$

$$Y_{n.\text{вет.}} = (Y_{n\text{п}} - Y_{n-1})cos\alpha_n - (\text{X}_{n\text{п}} - \text{X}_{n-1.\text{вет.}}) * sin\alpha_n + Y_{n-1.\text{вет.}} \qquad (13)$$

Координаты промежуточных точек с учетом ветра определяем по формулам:

$$\text{X}_{n\text{п}} = \text{X}_n + \sum_{k=1}^{n-1}(X_{k.\text{вет}} - X_{k\text{п}}) \qquad (14)$$

$$Y_{n\text{п}} = (Y_n + \sum_{k=1}^{n-1}(Y_{k.\text{вет}} - Y_{k\text{п}}) \qquad (15)$$

Из полученных точек $X_{n.\text{вет.}}$ и $Y_{n.\text{вет.}}$ переходим к новым точкам с учетом ветра и течения по следующим формулам:

$$X_{nT} = X_{n.\text{вет.}} + (V_T * \Delta t_n) * sinK_T \qquad (16)$$

$$Y_{nT} = Y_{n.\text{вет.}} + (V_T * \Delta t_n) * cosK_T \qquad (17)$$

Ниже рассмотрим примеры, показывающие важность определения влияния ветра и течения при циркуляции судна. Данный вопрос становится весьма актуальным, если речь идет об ограниченных акваториях.

Известно, что инерционные характеристики судна определяются в определенных условиях ветра, течения, волнения и на основе этих результатов составляется таблица маневренных характеристик судна (рис. 5).

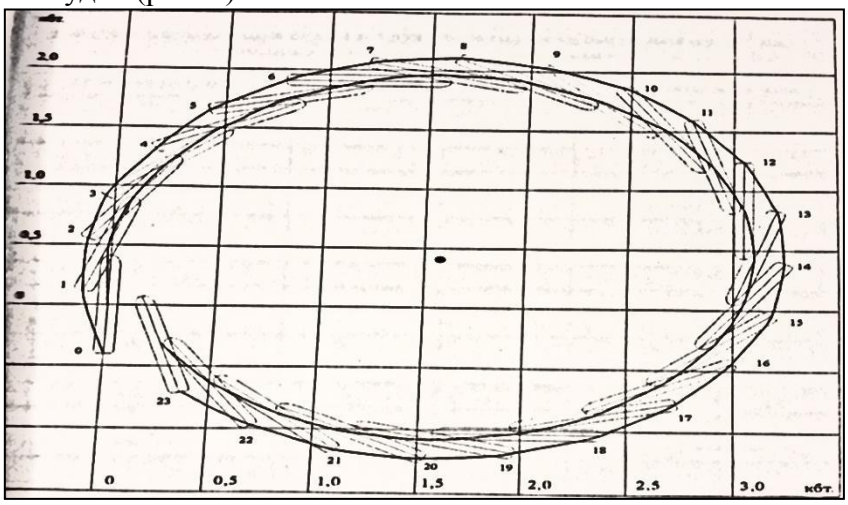


Рис. 5. *Инерционные характеристики танкера «Президент Гейдар Алиев» без учета ветра и течения при перекладке рулей на 10^0 на ППХ в балласте*

Как видно из рис. 6 $Д_Т$ = 3 кб, L_1= 1,9 кб. Эти значения соответствуют тем условиям, при которых проводились испытания для разработки формуляра маневренных характеристик. Именно этим руководством пользуются судоводители для решения задач расхождения в узкостях.

Судоводителя в основном интересует два элемента циркуляции. Это, сколько судно пройдет вперед до отклонения на 90^0 и на какое расстояние отклонится по борту, при

Программа расчета траектории циркуляции при учете ветра

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	N	O	P	Q	R	S	T	U
1	Xn	Yn	ΔXn	ΔYn	XB	YB	θ	qn	Vт	Kт	Δt	Sн	Sп	Tср	L	w	V	δ	αn
2	0	2	-0,01	-2	-0,78805	0,16177	0	15	1	50	6	503,6	1070,2	7,14	149,9	5	6,53	0,9	0,4
3	-0,01	0	0,11	0,5	0,1	0,5	15	0	1	50	6	503,6	1070,2	7,14	149,9	5	6,53	0,9	0
4	0,1	0,5	0,2	-0,1	0,16761	0,28686	30	15	1	50	6	503,6	1070,2	7,14	149,9	5	6,53	0,9	0,8
5	0,3	0,4	0,1	0,8	1,08045	0,19776	45	30	1	50	6	503,6	1070,2	7,14	149,9	5	6,53	0,9	1,7
6	0,4	1,2	0,3	0,2	0,27935	0,86023	60	45	1	50	6	503,6	1070,2	7,14	149,9	5	6,53	0,9	2,5
7	0,7	1,4	0,1	0,15	0,56499	1,28053	75	60	1	50	6	503,6	1070,2	7,14	149,9	5	6,53	0,9	3,4
8	0,8	1,55	0,35	0,15	0,49767	1,78151	90	75	1	50	6	503,6	1070,2	7,14	149,9	5	6,53	0,9	4,2
9	1,15	1,7	0,25	0,05	0,89552	1,71555	105	90	1	50	6	503,6	1070,2	7,14	149,9	5	6,53	0,9	3,4
10	1,4	1,75	0,2	-0,2	1,12008	1,79053	120	105	1	50	6	503,6	1070,2	7,14	149,9	5	6,53	0,9	2,5
11	1,6	1,55	0,1	0,05	1,6367	1,44439	135	120	1	50	6	503,6	1070,2	7,14	149,9	5	6,53	0,9	1,7
12	1,7	1,6	0,15	-0,2	1,47115	1,49936	150	135	1	50	6	503,6	1070,2	7,14	149,9	5	6,53	0,9	1,8
13	1,85	1,4	0,29	-0,2	1,90857	1,05263	165	150	1	50	6	503,6	1070,2	7,14	149,9	5	6,53	0,9	0,8
14	2,14	1,2	0,01	-0,2	2,09045	1,00598	180	165	1	50	6	503,6	1070,2	7,14	149,9	5	6,53	0,9	0,3
15	2,15	1	-0,05	-0,3	2,1	0,7	195	180	1	50	6	503,6	1070,2	7,14	149,9	5	6,53	0,9	0
16	2,1	0,7	-0,1	-0,2	1,94536	0,53848	210	165	1	50	6	503,6	1070,2	7,14	149,9	5	6,53	0,9	0,3
17	2	0,5	-0,2	-0,3	1,64545	0,43446	225	150	1	50	6	503,6	1070,2	7,14	149,9	5	6,53	0,9	0,8
18	1,8	0,2	-0,2	-0,2	1,62744	0,4241	240	135	1	50	6	503,6	1070,2	7,14	149,9	5	6,53	0,9	1,7
19	1,6	0	0	-0,3	1,42046	0,24034	255	120	1	50	6	503,6	1070,2	7,14	149,9	5	6,53	0,9	2,5
20	1,6	-0,3	-0,4	-0,1	2,01227	-0,30554	270	105	1	50	6	503,6	1070,2	7,14	149,9	5	6,53	0,9	3,4
21	1,2	-0,4	-0,5	-0,02	1,46256	-0,82598	285	90	1	50	6	503,6	1070,2	7,14	149,9	5	6,53	0,9	4,2
22	0,7	-0,42	-0,2	-0,03	0,90103	-0,4421	300	75	1	50	6	503,6	1070,2	7,14	149,9	5	6,53	0,9	3,4
23	0,5	-0,45	-0,2	-0,02	0,64826	-0,31428	315	60	1	50	6	503,6	1070,2	7,14	149,9	5	6,53	0,9	2,5
24	0,3	-0,47	-0,2	0,27	0,59352	-0,30646	330	45	1	50	6	503,6	1070,2	7,14	149,9	5	6,53	0,9	1,7
25	0,1	-0,2	-0,1	0,3	0,24554	0,08075	345	30	1	50	6	503,6	1070,2	7,14	149,9	5	6,53	0,9	0,8
26	0	0,1	0	-0,1	-0,02955	0,00447	360	15	1	50	6	503,6	1070,2	7,14	149,9	5	6,53	0,9	0,3

изменении на 180^0 от первоначального курса. Иными словами значение выдвига и тактического диаметра. Если эти показатели будут позволять безопасное расхождение судов, то он будет считать ситуацию безопасной. Однако в зависимости от влияющих факторов данные значения будут меняться. Этими факторами являются влияние мелководья, канального эффекта, ветра и течения и т.д.

Для учета влияния ветра и течения служат формулы (2.61-2.77). Для ускорения процесса нами составлена программа расчета траектории циркуляции при учете ветра табл.1.

На основании данной таблицы на рис. 6 показана траектория циркуляции судна без учета и с учетом ветра.

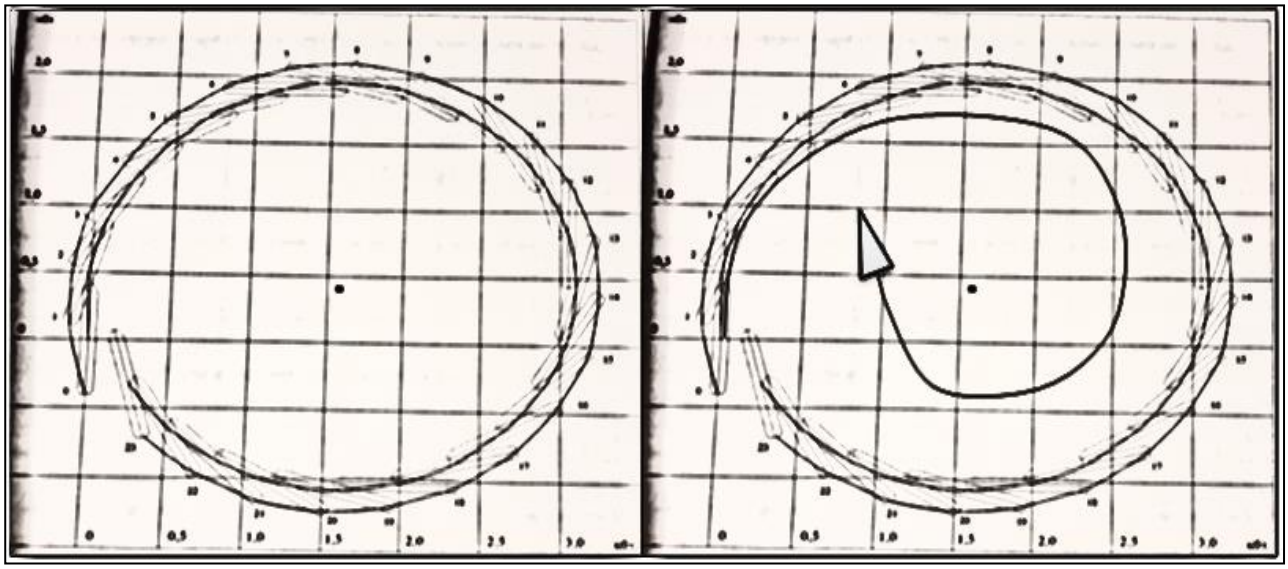


Рис. 6. *Траектория циркуляции танкера «Зенгезур» в грузу при перекладке рулей на 10^0 на полном переднем ходу (ППХ) при ветре NE w=5 м/с*

Использую данную программу, покажем траекторию циркуляции судна при учете течения, а также при совместном учете ветра и течения (рис. 7, 8).

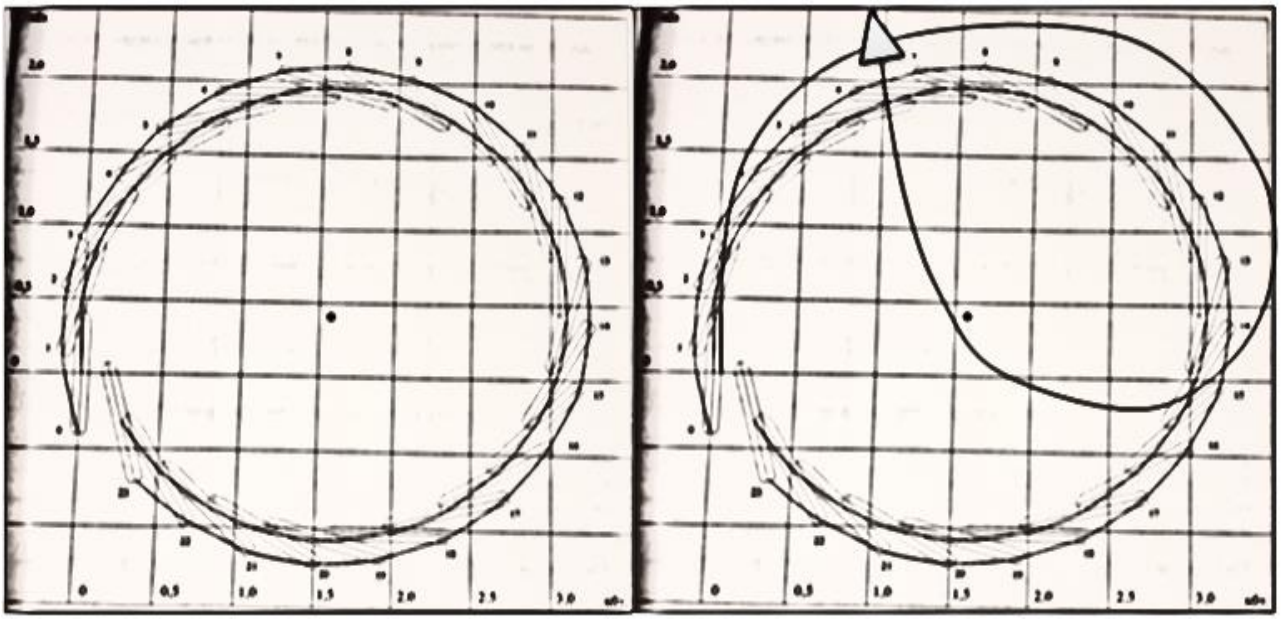


Рис. 7. *Траектория циркуляции танкера «Зенгезур» в грузу при перекладке рулей на 10^0 на полном переднем ходу (ППХ) при течении V_T = 1 узел*

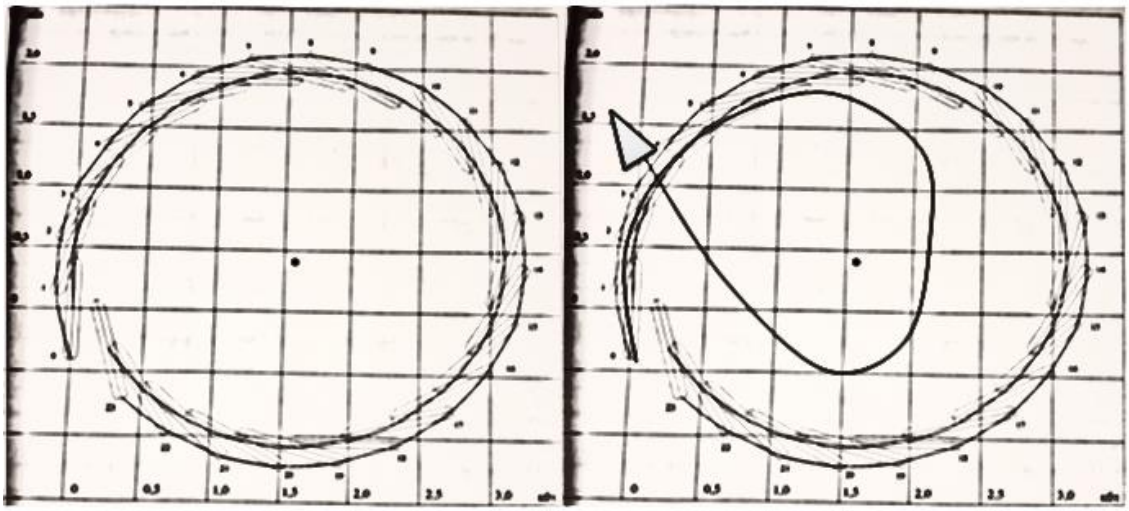


Рис. 8. *Траектория циркуляции танкера «Зенгезур» в грузу при перекладке рулей на 10^0 на полном переднем ходу (ППХ) при встречном ветре 7 м/с и течении V_T = 1 узел*

Выводы. Результаты проведенных исследований позволяют нам сделать следующие выводы.

- Влияние ветра на поворот, в начальный период при различных курсовых углах для состояния в грузу незначительно. При повороте до 90^0 влияние ветра почти не сказывается, а при повороте на 360^0 достигает 1кб. Для состояния в балласте влияние ветра проявляется только при углах поворота 90^0 и более.
- Влияние течения на поворот в отличие от ветра проявляется уже при начале поворота.
- Совместное влияние ветра и течения характеризуется преимущественным влиянием течения.
- Для уменьшения влияния ветра на поворот судна необходимо назначать большие перекладки руля. Это особенно необходимо на ограниченных акваториях.
- Для обеспечения безопасного маневрирования при повороте в стесненных условиях при ветре и течении необходимо рассчитать координаты траектории точек без учета ветра и течения, а затем положение точек с учетом ветра и течения.

Литература

1. Мальцев А.М., Касимов Т.М. Расхождение судов. Одесса: 2005, 154 с.
2. Яскевич А.П., Зурабов Ю.Г. Комментарии к МППСС – 72. Справочник. М:, Транспорт, 1990, 479 с.
3. .Снопков В.И., Конопелько, В.Б., Васильева Г.И. Безопасность мореплавания. М:, Транспорт, 1994, 247 с.
4. Джунусова Д.Н. Международное морское право. М:, Транспорт, 2012, 486 с.
5. The International Maritime Human Element Bulleten // Lloyds Issue 15. UK, 2007, p. 69.
6. ISO 17894. Ships and maritime technology. Computer application. ISO, 2005.
7. Messer A.G., Twomeyb J. Software based systems in the maritime environment // Lloyds Register Technical Association. Paper 5, 1997, p. 78
8. Савченко В.Г. Обеспечение надежности судовых систем навигации и управления в современных условиях // Журнал науч. публ. асп. и докт., 2012, № 1, с. 11-15.
9. Вильский Г.В и др. Навигационная безопасность при лоцманской проводке судов. Одесса, Феникс, 2007, 456 с.

Tövsiyə edib: t.e.d, prof. ***Z.Ə.Rüstəmov***

GƏMİÇİLİK TEXNİKASI

УДК 621.313.33

ХАРАКТЕРИСТИКИ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРИ НЕИЗМЕННОСТИ МАГНИТНОГО ПОТОКА

Абдулрахманов К.А., Мамедов Э.М.

Азербайджанская Государственная Морская Академия
Аз 1000, г. Баку, ул. З.Алиевой, 18
E-mail: emil.mammadov@acsc.az

Аннотация. *В статье проведен сравнительный анализ основных показателей механической и электромеханической характеристик асинхронного электропривода для случаев неизменности напряжения на зажимах обмотки статора и неизменности магнитного потока.*

Xülasə. *Məqalədə stator dolağının sıxaclarında gərginliyin dəyişməz qaldığı və maqnit selinin dəyişməz qaldığı hallar üçün asinxron elektrik intiqalının mexaniki və elektromexaniki xarakteristikalarının əsas göstəricilərinin müqayisəsi aparılmışdır.*

Abstract. *In this article it deals with comparative analysis of major characteristic asynchronous electro drive reading as a point of mechanics and electro mechanics for accident position of voltage on electro drive stators and unknown magnetic flow as well.*

Key words: *electro drive, mechanical characteristic, electro- mechanical characteristic, critic moment, critical slip*

Ключевые слова: *электропривод, механическая характеристика, электромеханическая характеристика, критический момент, критическое скольжение*

Açar sözlər: *elektrik intiqalı, mexaniki xarakteristika, elektromexaniki xarakteristika, kritik moment, kritik sürüşmə*

Введение. В настоящее время широкое применение находят два вида регулируемого асинхронного электропривода: система «тиристорный преобразователь (регулятор) напряжения-двигатель» (ТПН–АД) и система «преобразователь частоты–двигатель» (ПЧ–АД). Система ПЧ-АД обладает лучшими регулировочными возможностями и экономична, система ТПН–АД более проста и имеет лучшие массогабаритные и стоимостные характеристики.

Система ТПН-АД имеет малый диапазон регулирования скорости и находит большее применение для механизмов с « вентиляторным » характером нагрузки.

Для расширения диапазона регулирования в системе ТПН – АД был предложен способ, где тиристорный преобразователь на статоре используется не для регулирования напряжения на зажимах двигателя, а для регулирования ЭДС обмотки статора [1].

Постановка задачи. Вращающий момент асинхронного электродвигателя зависит от активной составляющей тока ротора и магнитного потока. Активная составляющая тока ротора определяется параметрами цели ротора, а магнитный поток связан с ЭДС на зажимах намагничивающего контура.

Неизменность величины напряжения на зажимах электродвигателя, при его работе под нагрузкой, не обеспечивает неизменность величины магнитного потока; он изменяется по мере изменения нагрузки на валу, ввиду падения напряжения на сопротивлениях обмотки статора и соответствующего изменения ЭДС на зажимах намагничивающего контура.

Неизменность магнитного потока может быть достигнута посредством регулирования ЭДС обмотки статора.

Выражение для критического скольжения и критического момента двигателя при регулировании ЭДС статора (неизменности магнитного потока) имеют следующий вид [2]:

$$S_{кр.E}=\frac{r_2^1}{x_2^1} \qquad (1)$$

$$M_{кр.E}=\frac{1}{2}\frac{m1E2}{\omega_1}\frac{1}{x_2^1}$$

Из (1) следует, что критическое скольжение двигателя $S_{крE}$, при регулировании ЭДС, прямо пропорционально активному сопротивлению и обратно пропорционально индуктивному сопротивлению цепи ротора.

Представляет теоретический и практический интерес общий сравнительный анализ характеристик и показателей двигателя для случаев неизменности напряжения на зажимах статора и неизменности магнитного потока.

Используя выражения для критического скольжения и момента, полученные при неизменной ЭДС, и выражения для критического скольжения и момента, при неизменном напряжении [3], можно получить следующие выражения для отношений скольжений и критических моментов, через параметры схемы замещения электродвигателя:

$$\frac{S_{kp.E}}{S_{kp.U}}=\sqrt{(\frac{r_1}{c_1x_2^1})^2+(1+\frac{x_1}{c_1x_2^1})^2}$$

$$\frac{M_{kp.E}}{M_{kp.U}}=\frac{c_1\cdot[\,r_1+\sqrt{r_1^2+(x_1+c_1x_2^1)^2}\,]}{x_2^1}\cdot(\frac{E}{U})^2 \qquad (2)$$

Здесь $S_{kp.E}$ и $S_{kp.U}$ - критические скольжения, соответственно, при неизменности ЭДС и напряжения

$M_{kp.E}$ и $M_{kp.U}$ - критические моменты, соответственно, при неизменности ЭДС и напряжения

E и U - ЭДС на зажимах намагничивающего контура и напряжение на обмотке статора двигателя.

Относительные значения критических скольжений и критических моментов, рассчитанные по (2) для параметров двигателей серии 4А мощностью 15,30,45 кВт, приводятся в таблице 1.

Таблица 1

Результаты расчетов критических скольжений и критических моментов двигателя.

$P_н$, кВт	r_m,Ом	x_m,Ом	r_1, Ом	x_1, Ом	r_2',Ом	x_2',Ом	$S_{кр.E}/S_{крU}$	$\frac{M_{кр.E}}{M_{кр.U}}$	$\frac{E}{U}$ при $\frac{МкрE}{МкрU}=1$
15	2,9	24,3	0,40	0,73	0,21	1,11	1,67	2,17	0,68
30	1,47	9,7	0,15	0,29	0,08	0,52	1,56	2,18	0,67
45	0,99	8	0,10	0,24	0,05	0,41	1,58	2,37	0,65

Критические скольжения $S_{кр.E}$ и $S_{кр.U}$ определяются только параметрами двигателя и не зависят от величины E и U. Критические же моменты $M_{кр.E}$ и $M_{кр.U}$, кроме параметров двигателя, зависят от значений E и U.

По данным таблицы 1, критическое скольжение при регулировании ЭДС в 1,6-1,7 раза больше, чем при регулировании напряжения; при одинаковых значениях E и U; критический момент при регулировании ЭДС в 2,2 – 2,4 раза больше, чем при регулировании напряжения.

По (2) можно определить отношение значений ЭДС и напряжения, при котором критические моменты $M_{кр.E}$ и $M_{кр.U}$, будут одинаковы по величине:

$$\frac{E}{U} = \sqrt{\frac{x_2^1}{c_1 \cdot [r_{1+}\sqrt{r_1^2+(x_1+c_1 x_2^1)^2}]}} \quad , \tag{3}$$

здесь $c_1 = 1+ \frac{x_1}{x_m}$

Результаты расчетов по (3) сведены в таблицу 1, откуда следует, что при E = 0,7U критические моменты равны друг – другу в рассматриваемых случаях.

Определим электромеханические характеристики двигателя в случаях регулирования напряжения и потока.

По схеме замещения двигателя, ток статора при регулировании напряжения [3]:

$$\underline{I}_{1u}=\frac{\underline{U}_1}{\underline{Z}_1+\frac{1}{\frac{1}{\underline{Zm}}+\frac{1}{\underline{Z}_2'}}} \tag{4}$$

И при регулировании ЭДС

$$\underline{I}_{1E}=\frac{E}{\frac{1}{\frac{1}{\underline{Zm}}+\frac{1}{\underline{Z}_2^1}}} \tag{5}$$

$\underline{Z}_m, \underline{Z}_1, z_2'$ - комплексные сопротивления, соответственно, намагничивающего контура, обмотки статора и обмотки ротора.

Подставляя в (4) и (5) выражения комплексных сопротивлений, получаем:

$$\underline{I}_{1u} = \underline{U}_1 \cdot \frac{a_1 + jb_1}{a_2 + jb_2}; \tag{6}$$
$$\underline{I}_{1E} = \underline{E} \cdot \frac{a_1 + jb_1}{c_1 + jd_1};$$

здесь

$a_1 = r_m + \frac{r_2^1}{s}$;

$b_1 = x_m + x_2^1$;

$a_2 = r_1 (r_m + \frac{r_2^1}{s}) - x_1 (x_m + x_2^1) + (r_m \cdot \frac{r_2^1}{s} - x_m x_2^1)$;

$b_2 = r_1 (x_m + x_2^1) + x_1 (r_m + \frac{r_2^1}{s}) + (r_m x_2^1 + x_m \cdot \frac{r_2^1}{s})$;

$c_1 = r_m \cdot \frac{r_2^1}{s} - x_m \cdot x_2'$;

$d_1 = r_m x_2^1 + x_m \cdot \frac{r_2^1}{s}$;

Результаты расчетов по (6) электромеханических характеристик двигателя мощностью 30 кВт для случаев U=const и E= const приводятся в таблице 2.

Таблица 2.

Результаты расчетов электромеханических характеристик двигателя.

	$\mathbf{I_{1u}}$				$\mathbf{I_{1E}}$			
S	1	0,8	0,4	0,2	1	0,8	0,4	0,2
$\mathbf{a_1}$	1,55	1,57	1,67	1,87	1,55	1,57	1,67	1,87
$\mathbf{b_1}$	10,22	10,22	10,22	10,22	10,22	10,22	10,22	10,22
$\mathbf{c_1}$ $\mathbf{a_2}$	-7,61	-7,61	-7,46	-7,13	-4,88	-4,89	-4,75	-4,45
$\mathbf{d_1}$ $\mathbf{b_2}$	3,52	3,71	4,71	6,71	1,54	1,73	2,7	4,64
$\mathbf{\dot{I}_{1E}}$ $\boldsymbol{I_{1U}}$	270,6	268,4	257,4	233,2	444,4	440	418	356,4
$\mathbf{I_1 /}$ $\mathbf{I_н}$	5,30	5,26	5,04	4,57	8,71	8,63	8,19	6,99

По данным таблицы 2 следует, что при одинаковых величинах неизменного напряжения и неизменного потока ток статора при Ф=const примерно в 1,5 раза больше, чем при U= const однако, при этих условиях, пусковой и критический моменты двигателя также имеют значительно большие значения при Ф=const.

Анализ полученных результатов. В случаях поддержания неизменности номинальных значений напряжения на зажимах двигателя и его магнитного потока, имеет место значительное увеличение критического скольжения и критического момента двигателя в случае, когда $ф = ф_н$= const.

Выводы. Проведен сравнительный анализ показателей механических и электромеханических характеристик асинхронного электропривода для случаев неизменности напряжения на зажимах обмотки статора и неизменности магнитного потока, в результате которого получены математические модели для отношений критических скольжений, критических моментов и электромеханических характеристик и установлено :

1. Критическое скольжение при неизменности магнитного потока в 1,6 – 1,7 раза больше, чем при неизменности напряжения на зажимах обмотки статора, что может быть использовано для расширения диапазона регулирования скорости;
2. Критический момент, при неизменности магнитного потока, в 2,2 – 2,4 раза больше, чем при неизменности напряжения на обмотке статора, что может быть использовано для повышения надежности работы в электроприводах с резкопеременной нагрузкой;
3. По электромеханическим характеристикам ток обмотки статора при $ф = ф_н$= const в 1,5 раза больше тока при $U = U_н$= const.

Литература

1. Абдулрахманов К.А. Асинхронные электроприводы с регулируемой ЭДС статора. М.: Электротехника, 2001, №4, с. 30-35.
2. Абдулрахманов К.А. Разработка основ теории и систем управления автоматизированного асинхронного электропривода дистанционного управления, работающего в анормальных режимах. Баку.: «ЭЛМ», 2002.177 стр.
3. Петров Г.Н. Электрические машины. Часть вторая. М Л.: Госэнергоиздат, 1963. 415 с.

Tövsiyə edib: t.ü.f.d., dos. ***A.Ş.İsmayılov***

УДК 628.11

УСТРОЙСТВО ТЕПЛООТВОДА ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНОЙ ЗАМКНУТОЙ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ

Федоровский К.Ю., Федоровская Н.К.

ФГАОУ ВО «Севастопольский Государственный Университет»
Ул. Университетская, 33, г. Севастополь 99026
E-mail: fedkonst@rambler.ru, n.fedorovskaya14@mail.ru

Аннотация. *Освоение морских ресурсов является важной задачей. Для этого требуются разнообразные морские технические средства, среди которых важная роль принадлежит морским платформам. Обязательным элементом таких объектов является энергоустановка, включающая в себя систему охлаждения. Надежная работа последней обеспечивает бесперебойное снабжение энергией.*

Abstract. *The development of marine resources is an important task. This requires a variety of marine technical means, among which an important role belongs to marine platforms. An obliga-*

tory element of such objects is the power installation, which includes the cooling system. Reliable work of the latter provides uninterrupted energy supply.

Ключевые слова: *экология, замкнутая система охлаждения, энергоустановка, устройство теплоотвода, коэффициент теплопередачи*

Key words: *ecology, closed cooling system, power plant, heat dissipating device, heat transfer coefficient*

Введение. В настоящее время довольно широко используются разомкнутые двухконтурные системы охлаждения, которые предусматривают потребление воды из окружающей акватории. К сожалению, данные системы не всегда обеспечивают требуемую надежность эксплуатации [1]. Помимо этого, оказывается существенное отрицательное антропогенное воздействие на биологические ресурсы морей и океанов [2]. Потребляемая морская вода содержит планктон и рыбную молодь, которые, пройдя через насосы, фильтры, арматуру и теплообменники, практически полностью погибают под воздействием теплового и механического факторов.

Решение может быть найдено в широком внедрении замкнутых систем охлаждения, исключающих прием забортной охлаждающей воды. Важнейшим элементом таких систем является конечное устройство теплоотвода (КУТ) в воду. Оно должно быть достаточно простым конструктивно, надежно в эксплуатации и иметь минимальные массогабаритные показатели. Для внедрения замкнутых систем охлаждения необходимо достоверные методики их теплотехнического расчета, учитывающие специфику конструкции и особенностей происходящих процессов.

Основная часть. Различные типы морских платформ предусматривают те или иные возможности относительно возможной конструкции КУТ. Для малоподвижных и стационарных объектов (стационарные платформы, самоподъемные платформы и т.д.) могут быть применены такие устройства, выполненные в виде одиночной пластины или их набора (рис. 1).

Пластины выполнены полыми. Внутри пространства сформирован лабиринтный канал, по которому движется охлаждаемая пресная вода (рис. 2).

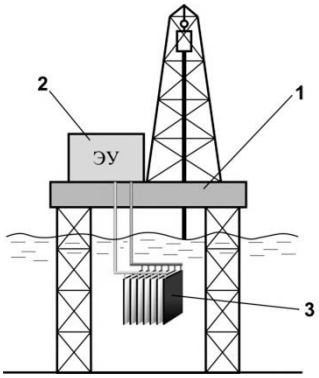


Рис.1. *Схема размещения КУТ на морской платформе: 1 - морская платформа; 2 - энергетическая установка; 3 - КУТ*

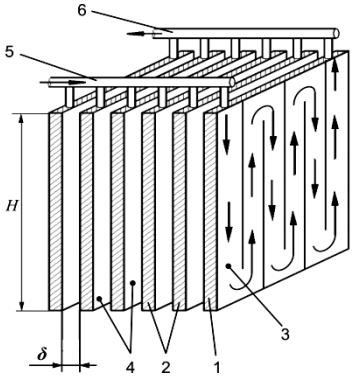


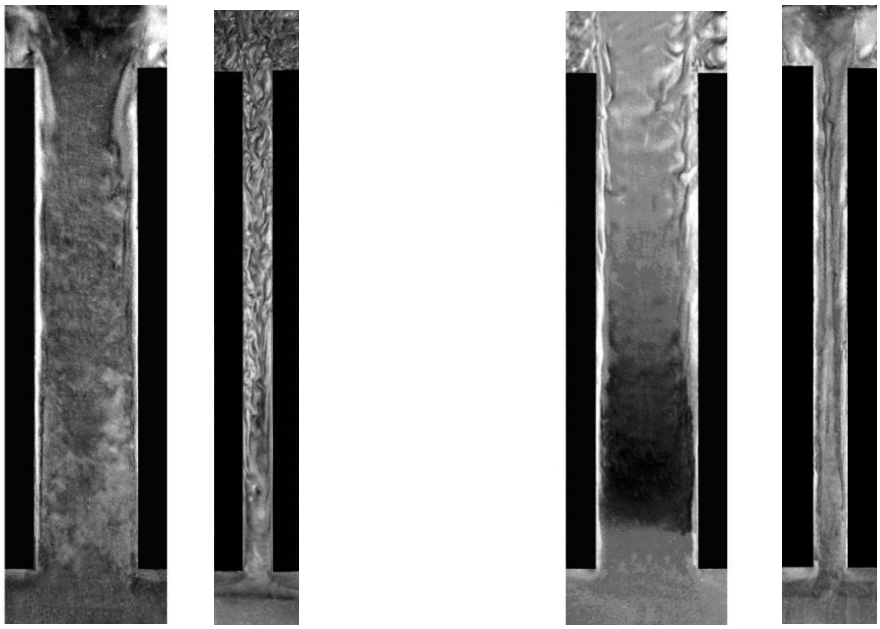
Рис. 2. *Схема пластинчатого КУТ: 1 - КУТ с одиночной пластиной; 2 - КУТ с несколькими пластинами; 3 - лабиринтный канал внутри пластины; 4 - зазор между пластинами; 5 - трубопроводы подвода и отвода охлаждаемого теплоносителя*

Наиболее простой конструкцией является КУТ с одиночной пластиной. С обеих сторон обеспечиваются наилучшие условия теплоотдачи в забортную воду. Устройство при необходимости сравнительно легко очищается от обрастателей (мидии, болянус и др.).

Хорошо известно, что на глубинах 30...50 м независимо от сезона температура морской воды равна 8...10°С [1]. При размещении КУТ на таких глубинах достигается более высокий температурный напор в устройстве, что неизбежно снижает его габариты.

Поскольку лабиринтный характер течения пресной воды внутри такого устройства создает на внутренней и наружной поверхностях теплопередающих стенок специфические граничные условия, то требуется проведение специальных исследований.

Первоначально были выполнены визуальные исследования течения жидкости в зазоре между пластинами. Экспериментальная модель состояла из двух пластин с лабиринтным каналом внутри, по которому двигалась горячая вода. Соответствующие результаты представлены на рисунке 3. Наглядно видно, что изменение температурного напора между поверхностью пластины и водой в $\Delta t = t_{ж} - t_{з}$, а так же величины зазора существенно влияет на характер течения, что соответствующим образом сказывается на эффективности теплоотвода.



а *б*

Рис. 3. *Визуализация течения жидкостей в зазоре (120мм и 40мм) между пластинами КУТ в условиях свободной конвекции:*
а) – Δt = 5° С*; б)* – 15° С*;*

Для определения тепловой эффективности таких устройств была создана экспериментальная модель, состоящая из пластин высотой 0,9м шириной 0,5м. Исследования проводились как на одиночной пластине, так и на двух пластинах, расположенных с некоторым зазором (рис.4).

В результате проведенных экспериментов определена эффективность процессов теплоотдачи как на внутренней, так и на наружной поверхностях теплопередающей стенки устройства. Коэффициент теплоотдачи на внутренней поверхности (в лабиринтном канале) $\overline{\alpha}_1$ зависит от скорости *v* движения в канале. Так, увеличение *v* с 0,5 м/с до 1,5 м/с позволяет повысить $\overline{\alpha}_1$ с 2800 Вт/(м^{2}К) до 3800 Вт/(м^{2}К).

Обобщающая обработка экспериментальных данных с использованием зависимости числа Нуссельта $\overline{Nu}_1$ от чисел

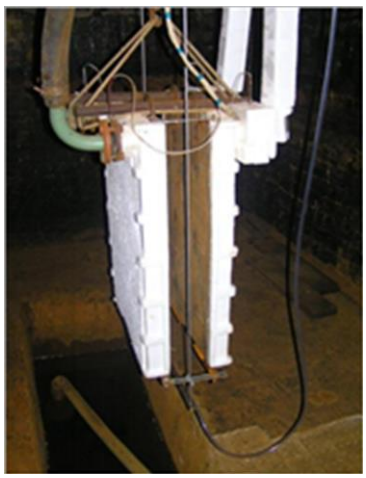


Рис. 4. *Экспериментальная модель пластинчатого КУТ (две пластины).*

Рейнольдса *Re* и Прандтля Pr позволила определить аппроксимирующую зависимость:

$$\overline{Nu}_1 = 31 Re^{0,4} Pr^{0,4} \left(\frac{Pr}{Pr_{c1}} \right)^{0,25} \left(\frac{d_{ýê}}{l_ï} \right)^{0,9},$$

при $Re = (1,2...3,2)\cdot 10^4$; $Pr = 1,9...4,9$; $Pr/Pr_c = 0,95...0,99$.

В таких КУТ теплоотдача от наружной поверхности теплопередающей стенки к забортной воде осуществляется при свободной конвекции. В ходе экспериментов не обнаружено влияние скорости движения в лабиринтном канале *v* на значение коэффициента теплоотдачи $\bar{\alpha}_2$.

Обобщающая обработка экспериментальных данных позволила получить уравнение подобия для числа Нуссельта

$$\overline{Nu}_2 = 0,1 Ra^{0,33} \left(\frac{Pr_3}{Pr_{c2}} \right)^{-0,09},$$

где Число Релея $Ra = 2,1\cdot 10^{11} ... 2,6\cdot 10^{13}$, а значение $Pr_3/Pr_{c2} = 1,3...9,5$.

Поскольку $\bar{\alpha}_2 < \bar{\alpha}_1$, то теплоотдача забортной воде при свободной конвекции в значительной степени определяет значение коэффициента теплопередачи *K*. Данная величина существенно зависит от температурного напора между горячей пресной и забортной водой $\Delta t = t_{æ} - t_3$ (рис. 5).

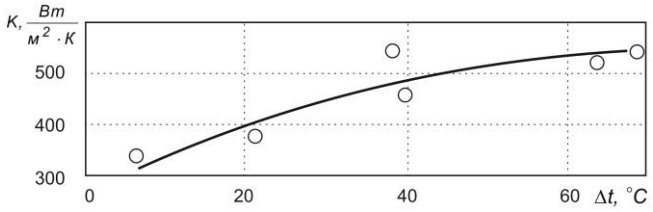


Рис. 5. *Зависимость коэффициента теплопередачи K теплообменника от температурного напора Δt (v ≈0,9...1,0 м/с)*

Повышение скорости *v* движения воды также способствует увеличению *K* (рис. 6). Однако эффект от этого оказывается ниже, чем в случае изменения Δ*t*. Повышение *v* с 0,5 м/с до 2 м/с приводит к увеличению *K* с 470 Вт/(м^{2}К) до 530 Вт/(м^{2}К). При этом существенно (пропорционально v^2) возрастает гидравлическое сопротивление. Поэтому в канале не следует создавать скорости воды более 0,8...1,0 м/с.

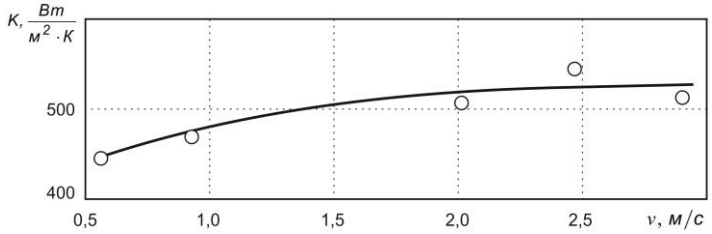


Рис.6. *Зависимость коэффициента теплопередачи K от скорости v воды в лабиринтном канале (Δt ≈ 40 °C)*

С использованием полученных данных была разработана методика теплотехнического расчета КУТ на базе одиночной пластины. На этой основе подготовлена необходимая документация для морской стационарной эксплуатационной платформы № 2 (газовое месторож-

дение «Голицыно»), с целью её перевода на замкнутую систему охлаждения энергоустановки. Схема системы показана на рисунке 7. Энергоустановка укомплектована двигателями В2-450 (330 кВт), 1Д-6 (130 кВт) и Д60Р (45 кВт).

Пресная вода прокачивается насосами 1 через маслоохладитель 2 и зарубашечное пространство двигателей. После этого вода подается в КУТ 3. Для обеспечения требуемого температурного режима в схеме предусмотрено терморегулирование 4.

Заключение. Для обеспечения работы данной энергоустановки, требуемые размеры КУД составили 3,0×2,65×0,06 м. Само устройство было выполнено из стали 09Г2 толщиной 10 мм.

Таким образом, данная система позволяет достичь высокой надежности энергетического обеспечения морской платформы и сохранить рыбные ресурсы моря.

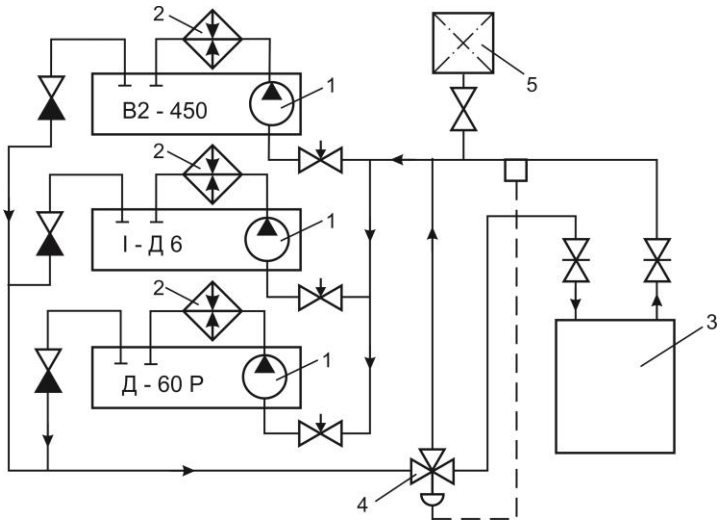


Рис. 7. *Схема замкнутой системы охлаждения энергоустановки стационарной морской эксплуатационной платформы № 2 месторождения «Голицино»: 1 - насос пресной воды; 2 - маслоохладитель; 3 - КУТ пластинчатого типа; 4 - терморегулятор; 5 - расширительный бачок*

Литература

1. *Замкнутые системы охлаждения судовых энергетических установок / к.ю федоровский., н.к. федоровская. Москва.: Вузовский учебник: Инфра М, 2017. 160 с.*
2. *Природоохранная технология обеспечения охлаждения судовой энергетической установки федоровский к.ю., федоровская н.к. в сборнике: сборник научных трудов профессорско-преподавательского состава государственного университета морского и речного флота имени адмирала с.о. макарова, сборник научных статей, 2016. с. 356-362.*

Tövsiyə edib: t.ü.f.d., dos. ***A.Ş.İsmayılov***

UOT 621.311.

MÜASİR GƏMİLƏRDƏ ELEKTROENERGETİK KOMPLEKSLƏRİN ARAŞDIRILMASI

Həmidov M.H., Məmmədova F.V., Qraçova Ş.H.

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti
Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası
Az. Bakı ş. Azadlıq pr. 16/21,
Az1000 Bakı ş. Z.Əliyeva küç.18
E-mail: hemidov1946@mail.ru, faxranda.mammadova@ mail.ru, adnsu_e_51@mail.ru

Xülasə. *Su nəqliyyatında gəmilər üçün elektrotexniki kompleks avtonom olmaqla, vacib element sayılır. Gəmi elektrik avadanlıqlarının təhlükəsiz və səmərəli elektrik enerjisilə təmin olunması üçün, onlar keyfiyyətli və fasiləsiz elektrik enerjisi ilə təchiz edilməlidir. Bu məqsədlə onların qidalandırılması gəmi elektroenergetik sistemlərinə daxil olan generatorların paralel işləmələri ilə təmin olunur. İşlənmiş model əsasında aparılmış tədqiqatın nəticəsi olaraq, dizel-generator aqreqatlarının tezlik tənzimləyicilərinin ötürmə əmsalının kiçildilməsi ilə gəmi elektroenergetik kompleksinin dizel-generatorlarının paralel işi zamanı güc rəqslərinin dəyişməsini azaltmaq mümkün olmuşdur.*

Abstract. *The electro technical complex is considered as an important element of autonomy in water transport for ships. In order to secure safe and efficient electricity supply of the ship's electrical equipment, it must be ensured that they are supplied with quality and uninterrupted power. For this purpose, support is ensured by parallel processing of generators included in the ship's electro-power systems. As a result of the investigation based on provided model, it was possible by reducing of fluctuations of the power during the parallel operation of the diesel-generator of the ship's electro-energy complex, which was achieved by reducing the transmission coefficient of the rotary speed regulators of diesel-generator aggregates.*

Аннотация. *Электротехнический комплекс, являясь автономным, считается важным элементом для судов водного транспорта. Для обеспечения безопасного и эффективного электроснабжения судового электрооборудования необходимо обеспечить их качественную и бесперебойную работу. С этой целью их питание обеспечивается параллельной работой генераторов, входящих в электроэнергетическую систему. Выводом, сделанным на основе отработанной модели является то, что путём понижения коэффициента передачи регуляторов частоты вращения дизель-генераторных агрегатов было достигнуто уменьшение изменений силовых колебаний во время параллельной работы дизель-генераторов судового электроэнергетического комплекса.*

Açar sözlər: *generator, tezlik, rəqslərin amplitudası, firlanma tezliyi, kompleks*
Key words: *generator, frequency, amplitude of swing, frequency of rotation, complex*
Ключевые слова: *генератор, частот, амплитуды колебаний, частота вращение, комплекс*

Giriş. Hər hansı elektroenergetik komplekslər üçün və xüsusilə də gəmi təsərrüfatı üçün enerji mənbələri olan generatorların paralel işinin təmin olunması aktual məsələlərdəndir. Belə ki, istehsal olunan enerji, avadanlıqların enerji tələbatını tam şəkildə ödəməlidir.

Mənbə-generatorların paralel işinin pozulması gəmilərin idarə olunmasının çətinləşməsinə və nəticədə qəzaların baş verməsinə səbəb ola bilər. Bundan əlavə, istehsal edilən enerjinin keyfiyyətinin pis olması yanacaq sərfinin artması ilə nəticələnir. Nəzərə alsaq ki, gəmi elektrik avadanlıqlarının qidalandırılması dizel-generatorlar vasitəsilə həyata keçirilir, bu halda gəmi

elektroenergetik sistemlərinin əsasını təşkil edən dizel-generatorların paralel işinin təmin olunması çox vacibdir.

Müasir gəmi elektroenergetik sistemlərinə daxil olan dizel-generator aqreqatlarının paralel işinin təmin olunması, böyük sayda avtomatika sistemlərinin yaradılmasını tələb edir. Lakin bəzi hallarda gəmi elektroenergetik sistemlərində (GEES) tələb olunan şərtlərin pozulması halları baş verir ki, bu da qəza ilə nəticələnir. Belə hadisələrin baş verməsinə səbəb isə, işçi heyətin qeyri-peşəkarlığı və avtomatika sisteminin düzgün işləməməsidir.

Əsas hissə. Məqalədə sinxron generatorun hasil etdiyi gücün rəqs etməsi məsələsinə baxılmışdır. Gücün rəqsi birbaşa gəmi elektrik stansiyasının işinin dayanıqlığı ilə əlaqədardır. Bu sahədə xeyli sayda elmi-tədqiqat işləri aparılmasına baxmayaraq göstərilən problemin həlli yenə də aktual olaraq qalır. Odur ki, gəmi elektroenergetik sistemə daxil olan sinxron generatorların paralel işləməsi zamanı gücün rəqsinin yaranması səbəblərinin araşdırılması vacib məsələlərdəndir [1, 2].

Gəmi elektroenergetik sisteminə daxil olan sinxron generatorlarda gücün rəqsi dəyişmələrinin yaranma səbəbləri araşdırılır və bu səbəbləri aradan qaldırmaq üçün yeni bir avtomatik idarə sisteminin yaradılması ilə istehsal olunan enerjinin keyfiyyətinin yüksəldilməsi və təhlükəsizliyin təmin olunması həyata keçirilir. İşlənilmiş avtomatik sistemin istismarda olan və eləcə də layihə olunan gəmilərdə tətbiqi məqsədə uyğundur. Bu sistem hər hansı avtonom elektroenergetik komplekslərdə də tətbiq oluna bilər.

Tədqiqat obyekti kimi avtonom gəmi elektroenergetik sistemlərinə daxil olan çoxgeneratorlu kompleksə baxılmışdır. Gəmi elektroenergetik sisteminin sinxron generatorlarının paralel işləməsi zamanı elektrik gücünün rəqslərinin dəyişməsi tədqiqatın əsasını təşkil edir.

Məqalədə əsas məqsəd – güc rəqslərinin dəyişməsinin amplitudasının azaldılması ilə gəmi sinxron generatorlarının idarə sisteminin təkmilləşdirilməsi və generatorların paralel işinin effektivliyinin yüksəldilməsi metodikasının işlənməsidir.

Beynəlxalq dəniz təşkilatının tələblərinə görə dəyişən cərəyan dizel-generator aqreqatlarının paralel işləməsinin göstəricilərinin təmin olunması üçün konkret tələblər yoxdur. Hansı ki, yuxarıda göstərdiyimiz kimi, gücün rəqslərinin dəyişməsi sinxronlaşmanın pozulmasına gətirib çıxara bilir. Bütün bu göstərilənlər gücün rəqsi, yəni güc axını ilə əlaqədar dəyişən cərəyan dizel-generatorlarının paralel işləmə sərfinin pozulmasına səbəb olur.

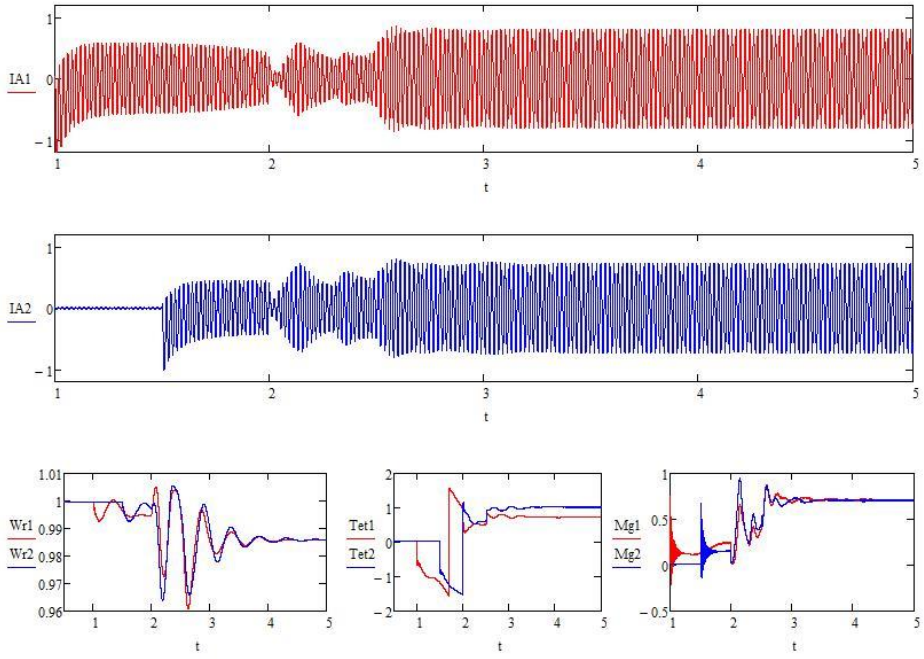
Gücün rəqsinin - güc axınının dəyişməsi, gücün bir dizel-generatordan digərinə keçməsilə əlaqədar baş verir ki, bu da tezliklər fərqinə gətirib çıxarır. Çıxarılmış ossiloqrammalara görə, paralel işləyən hər bir dizel-generatorda (DG), təxminən sinusoidal formada olmaqla verilmiş zaman anında, bir DG-nun maksimum gücü, digər DG-nun minimum gücünə uyğun olur və əksinə. Bu rəqslər generatorun cərəyanlarının və gərginliklərinin rəqsləri ilə əhatə olunur. Bu dəyişiklikləri cihazlar vasitəsilə müşahidə etmək mümkündür. Belə dəyişmələr DG işinə mənfi təsir göstərərək onların iş qabiliyyətlərini və etibarlığını zəiflədir.

Sinxron generatorlar arasında gücün rəqslərinin dəyişməsi problemi hər zaman aktual olmasına baxmayaraq, hələ də öz həllini tapa bilməmişdir [3].

Çoxlu sayda aparılmış elmi-tədqiqat işləri və eləcə də gəmi elektroenergetik sistemlərinin riyazi modelləşdirilməsi nəticəsində qərara gəlmək olar ki, DG aqreqatlarının paralel işləməsində gücün rəqsinə əsas səbəb tənzimləmə sistem elementlərində yaranan "sürüşmə"lərdir. Elektron tezlik tənzimləyicisinin riyazi ifadəsinə görə deyə bilərik ki, fırlanma tezlik konturunda yalnız iki tənzimlənən parametr mövcuddur ki, bunlardan biri tənzimləyicinin güclənmə əmsalı G_ω, ikincisi isə verilmiş fırlanma tezliyindəki siqnaldır.

Gücün dəyişmə rəqslərinin səviyyəsini azaltmaq üçün, dizelin fırlanma tezlik tənzimləyicisinin güc əmsalının azaldılması, yəni onun mexaniki xarakteristikasının sərtliyinin azaldılması effektli variantlardan biri sayıla bilər.

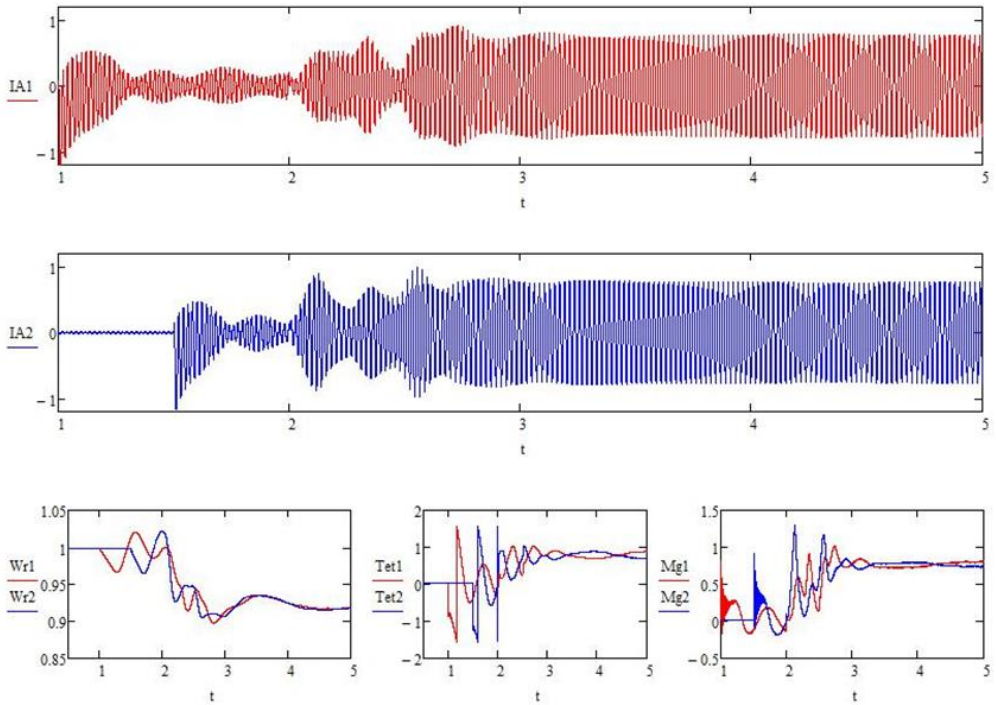
Qeyd etdiyimiz üsulla ideal halda modelləşmənin nəticəsini şəkil 1-də əyani şəkildə görə bilərik.



Şəkil 1. *İdeal rejimdə (generatorların fırlanma tezliklərinin tənzimləyiciləri arasında sürüşmə olmadığı hal) modelləşdirmənin nəticəsi*

Məlum olduğu kimi, fırlanma sürətinin nominal qiymətdə saxlanılması çox vacibdir. Belə ki, onun azalması istehsal olunan elektrik enerjisinin tezliyinin azalmasına və nəticədə gəmi elektrik avadanlıqlarının işinin pozulmasına gətirib çıxarır.

Fırlanma tezliyinin azalmasının qarşısını almaq üçün hər iki generatorda tezlik tənzimləyicisinin güclənmə əmsalı G_ω, 20-yə qədər azaldılmışdır. Bu halda, qərarlaşmış rejimdə rotorun fırlanma tezliyi $\omega_{r_1}, \omega_{r_2}$, 0,92-yə qədər azalmış olur ki, bu da onun çatışmayan cəhətidir. Bu məqsədlə işlənmiş modelin nəticəsi şəkil 2-də göstərilmişdir.



Şəkil 2. *Güclənmə əmsalının azaldılması halında modelləşmənin nəticəsi*

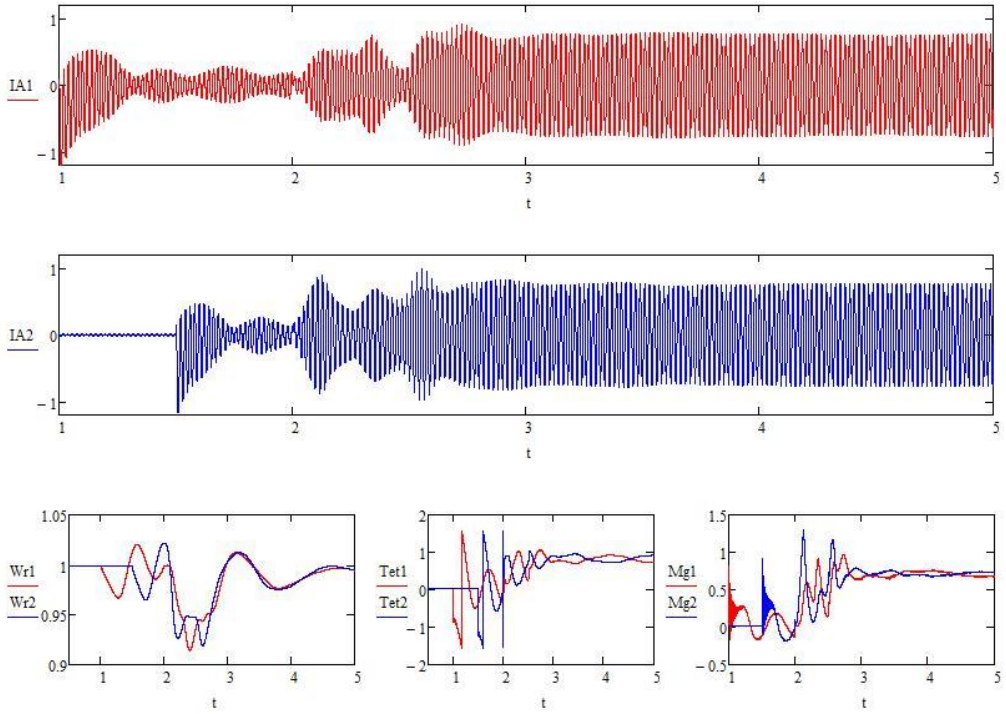
Burada $G_{\omega 1} = G_{\omega 2} = 20; \quad \omega_{r01} = \omega_{r02} = 1{,}0$

$D_{n1} = 0{,}002\ ; \quad D_{n2} = 0{,}01$

Növbəti addım olaraq, tapşırıq siqnalının fırlanma tezliyinin qiyməti 1,0-dan 1,05-ə qədər artırılmışdır. Bu halda, güclənmə əmsalının və siqnalın aşağıda göstərilən qiymətləri üçün modelləşmənin nəticələri şəkil 3-də göstərilmişdir.

$G_{\omega 1} = G_{\omega 2} = 20\ ;\ \omega_{r01} = \omega_{r02} = 1{,}05$

$D_{n1} = 0{,}002$ və $D_{n2} = 0{,}01$



***Şəkil 3**. Tapşırıq siqnalının fırlanma tezliyinin artırılması halında modelləşmənin nəticəsi*

Osilloqraflardan (şəkil 3) göründüyü kimi, hər iki generator üçün G_{ω} 20, ω_{r0} 1,05 qədər artmışdır, bu zaman generatorun rotorunun fırlanma sürəti $\omega_{r_1}, \omega_{r_2}$ nominal qiymətə yaxın olur və rəqsləri dəyişmə amplitudası artmamışdır.

Nəticə. Gəmi elektroenergetik sisteminə daxil olan sinxron generatorlarda gücün rəqsi dəyişmələrinin yaranma səbəbləri araşdırılır və bu səbəbləri aradan qaldırmaq üçün yeni bir avtomatik idarə sisteminin yaradılması ilə istehsal edilən enerjinin keyfiyyətinin yüksəldilməsi və təhlükəsizliyin təmin olunması həyata keçirilir. İşlənilmiş avtomatik sistemin istismarda olan və eləcə də layihələndirilən gəmilərdə tətbiqi məqsədəuyğundur. Bu sistem hər hansı avtonom elektroenergetik komplekslərdə də tətbiq edilə bilər.

Ədəbiyyat

1. Həmidov M.H. Dəniz-neft mədən elektrik avadanlıqları və elektrik təchizatı Bakı.:2012, Nəşriyyat "Tİ- MEDİA", 302 səh.
2. Boldea I. The Electric Generators Handbook. Synchronous generators / I. Boldea. Taylor & Francis Group, LLC, 2006. 425 p. ISBN 0-8493-5725-X (alk. paper).
3. Савенко А. Е. Визначення амплитуди коливань потужности в судновий електроенергетичний системи // Контроль и управление в сложных системах: тезисы докладов XII Международной научно-технической конференции. Винница: ВНТУ, 2014. с. 133.

Tövsiyə edib: t.ü.f.d., dos. ***A.Ş.İsmayılov***

UOT 62.83

GƏMİ LÖVBƏR QURĞUSUNUN ELEKTRİK MÜHƏRRİKİNİN YARATDIĞI FIRLANMA MOMENTİNİN ARTIRILMASI

Həsənov E.A.

Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası
Az1000 Bakı ş. Z. Əliyeva küç., 18
E-mail: hasanov.079@mail.ru

Xülasə. *Məqalədə tezlik çeviricisi ilə idarə olunan gəmi lövbər qurğusunun elektrik mühərrikinin yaratdığı fırlanma momenti artırılmış və lövbərin dənizin dibindən qoparılması zamanı elektrik mühərrikinin qısaqapanma rejiminin aradan qaldırılmasının mümkünlüyü aşkar edilmişdir.*

Abstract. *In this article, It deals with the settle of necessity during short circuit rejime of electrical engine from the depth of the sea by means of anchor and as a result, It is analysed the increasing rolling moment of electrical engine according to the process of present by frequency tension.*

Аннотация. *В статье рассмотрено увеличение вращающего момента электродвигателя судового якорного устройства с частотно-преобразовательным управлением и устранение режима короткого замыкания двигателя во время травления якоря с морского дна.*

Açar sözlər: *gəmi, lövbər qurğusu, asinxron mühərrik, fırlanma sürəti, tənzim, tezlik çeviricisi*

Key words: *ship, anchor divice, asinchronoys motor, rotation speed, regulator, frequency converter*

Ключевые слова: *судно, якорное устройство, асинхронный двигатель, частота вращения, регулировка, преобразаватель частоты*

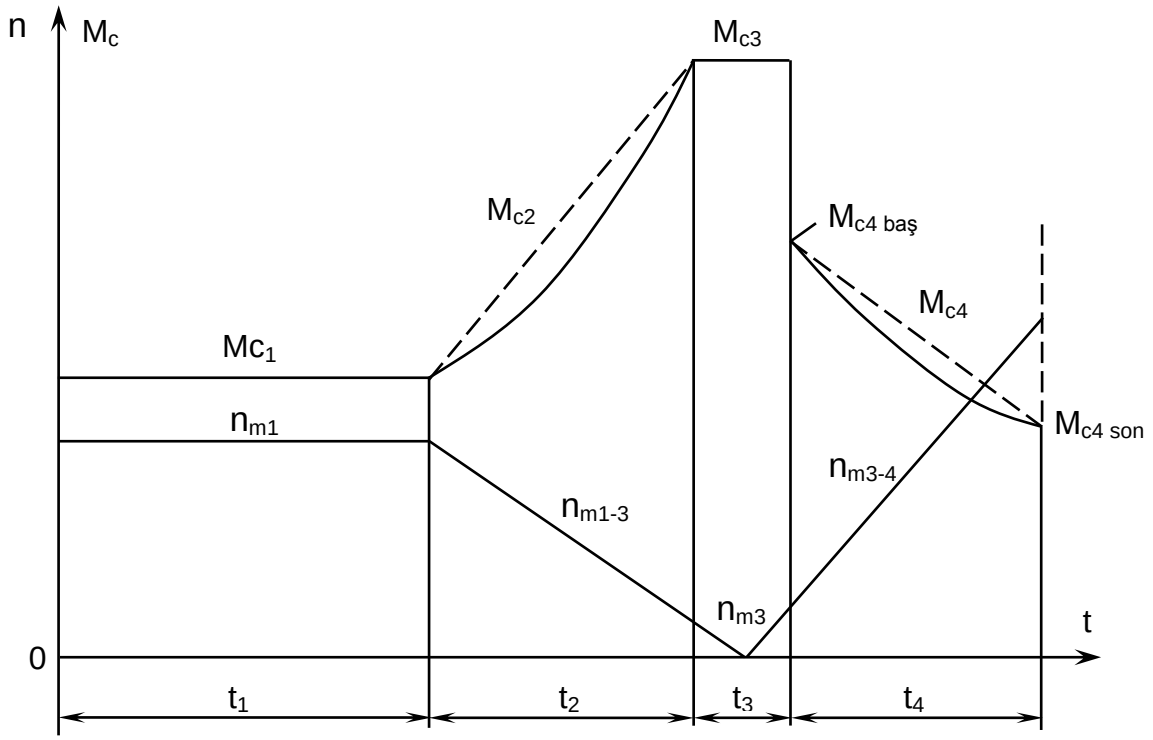
Giriş: Bildiyimiz kimi, lövbər qurğuları gəminin körpüyə yan almasını və onun lövbər salıb dayanmasını təmin edirlər [1, 2, 3].

Hal-hazırda lövbər-yanalma mexanizmlərinin çoxsürətli asinxron mühərrikləri müasir tələblərə cavab vermir. Aparılmış tədqiqatların nəticəsi göstərir ki, lövbər qurğularının elektrik mühərriklərinin tezlik çeviriciləri vasitəsilə idarə olunması bu qurğulara həm texniki, həm də iqtisadi üstünlüklər verə bilər [4].

Əsas hissə: Məqalədə tezlik çeviricisi ilə idarə olunan lövbər qurğusunun elektrik mühərrikinin gərgin iş rejiminin yaxşılaşdırılması üçün mühərrikin yaratdığı fırlandırıcı momentin artırılmasına baxılmış və lövbərin dənizin dibindən qoparılması zamanı elektrik mühərrikinin qısaqapanma rejiminin aradan qaldırılmasının mümkünlüyü aşkar edilmişdir.

Şəkil 1-də lövbər zənciri yığıldığı zaman elektrik mühərrikinin yük diaqramı göstərilmişdir. I mərhələdə zəncirin dənizin dibinə çökmüş hissəsi yığılır. t_1 zamanı ərzində zəncirin sallanan hissəsi sabit qaldığı üçün elektrik mühərrikinin valındakı Mc_1 momenti və onun fırlanma sürəti n_{m1} sabit qalır. II mərhələdə t_2 zamanı ərzində gəmi lövbərə doğru hərəkət edir və mühərrikin valında yaranan müqavimət momenti getdikcə artır (Mc_2). Bu isə mühərrikin yükünün artmasına, sürətinin isə azalmasına səbəb olur. II mərhələnin sonunda gəminin qabaq hissəsi demək olar ki, lövbərin üstündə olur. III mərhələdə elektrik intiqalının təsirindən və gəminin aldığı ətalətdən t_3 zamanı ərzində lövbər dənizin dibindən qoparılır. Bu zaman mühərrikin valında yaranan müqavimət momenti (Mc_3) lövbərin qıynaqlarının dənizin dibinə ilişməsinin hesabına çox böyük qiymətə malik olur və mühərrik az müddətdə qısaqapanma rejimində ($n_{m1}=0$) olur. Bu mərhələyə sərf olunan vaxt az olduğu üçün və elektrik mühərriki xüsusi quruluşda hazırlandığı üçün qısaqapanma rejiminə

davam gətirir. IV mərhələdə t_4 zamanı ərzində zəncirin suya sallanan hissəsi yıgılır. Bu mərhələdə mühərrikin valında yaranan moment (Mc_4) getdikcə azalır, mühərrikin fırlanma sürəti isə artır. Bununla da gəminin lövbərdən azad olunması prosesi başa çatır.



Şəkil 1. *Lövbər zənciri yığılan zaman elektrik mühərrikinin yük diaqramı*

Şəkil 1-dən aydın görünür ki, lövbər elektrik mühərrikinin iş rejimi geniş miqyasda dəyişir, hətta az müddətdə yük diaqramının t_3 hissəsində yük altında dayanır. Mühərrikin yük altında dayanması zamanı (qısaqapanma rejimində olduğundan) onun şəbəkədən aldığı cərəyan nominal qiymətə nisbətən 4-6 dəfə artır və bu rejim mühərrik üçün çox ağır rejim sayılır. Qısaqapanma rejiminin mühərrikə təsirini azaltmaq üçün lövbər qurğularının elektrik mühərrikləri 30 saniyə qısaqapanma rejiminə davam gətirən xüsusi quruluşa malik olur. Lövbər qurğusunun elektrik mühərrikində qısaqapanma rejiminin yaranmasının əsas səbəbi lövbəri dənizin dibindən qopardıqda onun qıynaqlarının dənizin dibinə ilişməsindən mühərrikin valında yaranan müqavimət momentinin bir neçə dəfə artmasıdır. Bu vaxt mühərrikin valında yaranan müqavimət momentinin qiyməti mühərrikin yaratdığı maksimal (kritik) momentdən çox olur və mühərrik yük altında dayanır.

Əgər lövbər elektrik intiqallarını idarə etmək üçün tətbiq edilməsi təklif olunan müasir tezlik çeviricilərindən istifadə edilərsə mühərrikin qısaqapanma rejiminə keçməsinin (yük altında dayanmasının) qarşısını almaq olar [4].

Aydındır ki, lövbərin pəncələrinin dənizin dibinə ilişməsindən yaranan müqavimət momentini azaltmaq olmaz, ancaq bu vaxt tezlik çeviricisinin idarə qanununu dəyişməklə mühərrikin yaratdığı maksimal momenti artırmaq olar.

Qeyd olunanların mümkünlüyünü nəzərə alaraq hal-hazırda gəmilərdə geniş tətbiq edilən 3 sürətli lövbər mühərrikinin işçi sarğısının (2-ci sarğı) parametrlərindən istifadə edilmişdir.

Mühərrikin tipi: MAP 622-4/8/16. Burada 4, 8, 16 – müvafiq olaraq mühərrikin statorunda yerləşən yüksək (4), orta (8) və alçaq (16) sürət dolaqlarının qütblər sayıdır. Müvafiq olaraq həmin dolaqların gücü: P_n=28/36/10 kVt-dır. Nominal fırlanma sürətləri: n_n=1445/670/315 d/dəq.-dir. Orta sürət dolağının (2P=8) parametrlərini təyin edək:

Dolağın artıq yüklənmə qabiliyyəti:

$$\lambda_2 = \frac{M_{\max 2}}{M_{n2}} = 2{,}4; \tag{1}$$

Dolağın nominal momenti:

$$M_{2n} = 9{,}81\frac{975 \cdot P_{2n}}{n_{2n}} = 9{,}81\frac{975 \cdot 36}{670} = 514 \quad \text{Nm} \tag{2}$$

Stator dolağının iş rejimində yaranan nominal sürüşmə aşağıdakı kimi olacaqdır:

$$S_{2n} = \frac{n_{02} - n_{n2}}{n_{02}} = \frac{750 - 675}{750} = 0{,}106 \tag{3}$$

Müvafiq olaraq kritik sürüşməni tapaq:

$$S_{2kr} = S_{2n}(\lambda_2 \pm \sqrt{\lambda_2^2 - 1}) = 0{,}106 \cdot (2{,}4 \pm \sqrt{2{,}4^2 - 1}) = 0{,}106 \cdot (2{,}4 + 2{,}18) = 0{,}48 \tag{4}$$

Dolaqların yaratdığı maksimal (kritik) moment aşağıdakı kimi olacaqdır:

$$M_{2kr} = \lambda_2 \cdot M_{2n} = 2{,}4 \cdot 514 = 1233{,}6 \ \text{Nm} \tag{5}$$

Lövbər qurğusunun mühərrikini tezlik çeviricisi ilə idarə etdikdə ancaq orta sürət dolağından (2P=8) istifadə edimişdir və onun tələb olunan iş rejimlərini yerinə yetirməsi yoxlanılacaqdır.

Misal üçün götürülmüş MAP-622 tipli asinxron mühərrikinin ancaq işçi dolağı (2-ci dolağı) gərginlik altında olduqda eninə impuls modulyasiyalı tezlik çeviricisi ilə fırlanma sürətinin tənzim olunmasına baxaq. Belə tezlik çeviriciləri asinxron mühərrikinin fırlanma sürətini 20-30 dəfə nominaldan aşağı və 1,5-2 dəfə isə nominaldan yuxarı qaldırmağa imkan verir. Burada əsas işçi dolağı (2p=8) vasitəsilə tezlik çeviricisinin köməyi ilə lövbər qurğusuna lazım olan nominaldan aşağı fırlanma sürətlərinin alınmasını və mühərrikin qısaqapanma rejiminin aradan götürülməsinin mümkün olmasını aydınlaşdıraq.

Məlum olduğu kimi, bu tənzimetmə üsulunda mühərrikin artıq yüklənmə qabiliyyətini (tənzimetmənin bütün pillələrində) sabit saxlamaq üçün mühərrikə verilən cərəyanın tezliyini dəyişdikdə, verilən gərginliyin də qiymətini dəyişmək lazımdır. Mühərrikin artıq yüklənmə qabiliyyəti o vaxt sabit olur ki, tənzim zamanı mühərrikin yaratdığı maksimal momentin ($M_{max.i}$) nominal sürətdə yaranan maksimal momentə ($M_{max.n}$) nisbəti mexanizmin yaradığı müqavimət momentinin nisbətinə barbər olsun:

$$\frac{M_{st.i}}{M_{st.n}} = \frac{M_{\max .i}}{M_{\max .n}} \tag{6}$$

Burada $M_{st.i}$, $M_{max.i}$ – tənzim zamanı mexanizmin yaratdığı statik müqavimət momentinin və mühərrikin maksimal momentinin qiymətləridir.

$M_{st.n}$, $M_{max.n}$ – statik müqavimət və mühərrikin maksimal momentinin nominal fırlanma sürətində qiymətləridir. Asinxron mühərrikin stator dolağının müqavimətini nəzərə almasaq onun maksimal (kritik) momenti bərabərdir:

$$M_{\max} = \frac{m_1 U_1^2}{2C_1 \omega_s X_q} = K\frac{U_1^2}{f_1^2} \tag{7}$$

Burada: $K = \frac{m_1 P^2}{8C_1 \pi^2 L_q}$ – sabit kəmiyyət, L_q -qısaqapanma induktivliyidir.

Elektrik intiqalının nəzəriyyəsi kursundan məlum olduğu kimi bir çox mexanizmlərin statik müqavimət momenti mexanizmə fırlanma hərəkəti verən mühərrikin bucaq sürətindən (ω) asılıdır:

$$M_{st} = M_0 + (M_n - M_0)^{\alpha} \tag{8}$$

Burada: M_0 – statik müqavimət momentinin bucaq sürətindən asılı olmayan hissəsi;

α - statik müqavimət momentinin bucaq sürətindən asılılığının dərəcəsini bildirən göstəricidir. Mexanizmlərin əsas hissəsi üçün $\alpha = 0 \div 2$

Əgər M_0 nəzərə almasaq (8) düsturunu aşağıdakı kimi yazmaq olar:

$$M_{st} = C\omega^{\alpha} = C_1 f_i^{\alpha} \tag{9}$$

Burada: C və C_1 - sabit kəmiyyətdir.

Qeyd etmək lazımdır ki, lövbər qurğusunun statik müqavimət momenti bucaq sürətinin dəyişməsi zamanı sabit qalır. $(M_{st} = const)$ və belə hal üçün $\alpha = 0$ olur. Yəni tənzim zamanı mühərrikə verilən gərginlik tezliklə mütənasib dəyişir. Onda yaza bilərik:

$$\frac{U_{1i}}{U_n} = \frac{f_i}{f_n} \tag{10}$$

Buradan, $$U_i = U_n \varphi_i \tag{11}$$

$\varphi_i = \frac{f_i}{f_n}$ - mühərrikə verilən cərəyanın tezliyinin dəyişməsinin nisbi qiymətidir.

Məlumdur ki, mühərrikə verilən cərəyanın tezliyi dəyişdikdə həmin mühərrikin stator dolağının yaratdığı sinxron bucaq sürəti (ω_c), mühərrikin induktiv müqaviməti X_q və bunların dəyişməsi ilə əlaqədar olaraq kritik sürüşmənin də qiyməti dəyişəcəkdir.

Statorun fırlanan maqnit seli $$\omega_{cn} = \frac{2\pi f_n}{P}; \quad \omega_{cf} = \omega_{cn} \cdot \varphi \tag{12}$$

Mühərrikin qısa-qapanma reaktiv müqaviməti $$X_q = X_{qn} \cdot \varphi \tag{13}$$

Kritik sürüşmənin dəyişən tezlikdə düsturu aşağıdakı kimi olacaqdır:

$$S_{kr \cdot f} = \pm \frac{C_1 r_2^{'}}{\sqrt{r_1^2 + X_q^2 \cdot \varphi^2}} \tag{14}$$

Burada statorun müqaviməti $r_1 = 0$ qəbul edilərsə, hansı ki, tezliyin dəyişməsilə gərginliyin dəyişmə qanununun çıxarılmasında qəbul edilmişdir [4]:

$$S_{kr \cdot f} = \pm \frac{C_1 r_2^{'}}{\varphi X_q} = \frac{S_{kr}}{\varphi} \tag{15}$$

(15) düsturunu Kloss düsturunda (16) yerinə yazsaq, həmin düsturun yeni gərginlik və tezliyin dəyişməsi halı üçün ifadəsini alarıq:

$$M_f = \frac{2 \cdot M_{kr}}{\frac{s}{s_{kr}} + \frac{s_{kr}}{s}} \tag{16}$$

$$M_f = \frac{2 \cdot M_{kr}}{\frac{S \cdot \varphi}{S_{kr}} + \frac{S_{kr}}{S \cdot \varphi}} \tag{17}$$

Yuxarıda gösərildiyi kimi (17) düsturundan istifadə edib MAP-622 tipli asinxron mühərrikinin işçi dolağı üçün tezliyin müxəlif qiymətlərində yaranan mexaniki xarakteristikalarını quraq. Tənzim etmə, tezliyi nominaldan başlayaraq azaltmaqla, gərginliyi isə nominal qiymətdə (380 V) saxlamaqla mühərrikin fırlanma sürətinin azaldılması istiqamətində aparılacaqdır.

Məlum olduğu kimi, asinxron mühərrikin maksimal (kritik) momenti gərginliyin kvadratı ilə düz, tezliyin kvadratı ilə tərs mütənasibdir. $M_{kr} \equiv \frac{U^2}{f^2}$. Buna görə də mexaniki xarakteristikaların qurulmasında tezliyin azaldılmış qiymətləri üçün yeni maksimal momenti hesablamaq lazım gəlir. Bu vəziyyətdə $M_{st} = const$ olduğu üçün fırlanma sürətinin azalması istiqamətindəki moment düsturundan istifadə ediləcəkdir. Həmin düsturda tezliyin müəyyən qiyməti üçün φ tapılır və φ-nin qiyməti düsturda sabit qalmaq şərtilə sürüşmənin (S) ayrı-ayrı qiymətləri (0-dan 1-ə kimi) üçün mühərrikin yaratdığı moment tapılır. φ-nin 1; 0,8; 0,7; 0,6 və 0,5 qiymətləri üçün aparılmış hesabatın nəticəsi cədvəl 1-də göstərilmişdir.

Cədvəl 1

$U = U_n = 380\,V$ $f = f_n = 50\ Hs$ $\varphi = \frac{f}{f_n} = 1$ $M_{\max 1} = 1233{,}6$ Nm	S	0	0,05	0,1	0,3	0,4	0,48	0,6	0,7	0,8	1
	M_1 *(Nm)*	0	254	493	1111	1215	1293	1203	1152	1091	963
	n *(d/dəq)*	750	712	675	525	450	390	300	225	150	0
$U = U_n = 380\,V$ $f = 0{,}8 \cdot f_n = 40\ Hs$ $\varphi = \frac{f}{f_n} = 0{,}8$ $M_{\max 2} = 1927{,}5$ Nm	S	0	0,05	0,1	0,3	0,4	0,48	0,6	0,7	0,8	1
	M_2 *(Nm)*	0	319	625	1542	1784	1871	1927	1908	1853	1701
	n *(d/dəq)*	600	570	540	420	360	312	240	180	120	0
$U = U_n = 380\,V$ $f = 0{,}7 \cdot f_n = 35\ Hs$ $\varphi = \frac{f}{f_n} = 0{,}7$ $M_{\max 3} = 2517{,}5$ Nm	S	0	0,05	0,1	0,3	0,4	0,48	0,6	0,7	0,8	1
	M_3 *(Nm)*	0	363	719	1851	2237	2363	2504	2518	2488	2363
	n *(d/dəq)*	525	498	472	367	315	273	210	157	105	0
$U = U_n = 380\,V$ $f = 0{,}6 \cdot f_n = 30\ Hs$ $\varphi = \frac{f}{f_n} = 0{,}6$ $M_{\max 4} = 3426{,}6$ Nm	S	0	0,05	0,1	0,3	0,4	0,48	0,6	0,7	0,8	1
	M_4 *(Nm)*	0	426	843	2253	2741	2966	3294	3392	3426	3343
	n *(d/dəq)*	450	427	405	315	270	234	180	135	90	0

1. $$U = U_n = 380\ V; \quad f_n = 50\ Hs; \quad \varphi = \frac{f}{f_n} = \frac{50}{50} = 1$$

$$M_{kr1} = \frac{M_{kr \cdot n}}{\varphi^2} = \frac{1233{,}6}{1^2} = 1233{,}6 \text{ Nm}$$

$$M = \frac{2 \cdot M_{kr}}{\frac{S_2 \cdot \varphi}{S_{kr}} + \frac{S_{kr}}{S_2 \cdot \varphi}} = \frac{2 \cdot 1233{,}6}{\frac{S_2 \cdot 1}{0{,}48} + \frac{0{,}48}{S_2 \cdot 1}}$$

2. $$U = U_n = 380\ V; \quad f = 0{,}8 \cdot f_n = 0{,}8 \cdot 50 = 40\ Hs; \quad \varphi = \frac{f}{f_n} = \frac{40}{50} = 0{,}8$$

$$M_{kr2} = \frac{M_{kr \cdot n}}{\varphi^2} = \frac{1233{,}6}{0{,}8^2} = 1927{,}5 \text{ Nm}$$

$$M = \frac{2 \cdot M_{kr1}}{\frac{S_2 \cdot \varphi}{S_{kr}} + \frac{S_{kr}}{S_2 \cdot \varphi}} = \frac{2 \cdot 1927{,}5}{\frac{S_2 \cdot 0{,}8}{0{,}48} + \frac{0{,}48}{S_2 \cdot 0{,}8}}$$

3. $$U = U_n = 380\ V; \quad f = 0{,}7 \cdot f_n = 0{,}7 \cdot 50 = 35\ Hs; \quad \varphi = \frac{f}{f_n} = \frac{35}{50} = 0{,}7$$

$$M_{kr3} = \frac{M_{kr \cdot n}}{\varphi^2} = \frac{1233{,}6}{0{,}7^2} = 2517{,}5 \text{ Nm}$$

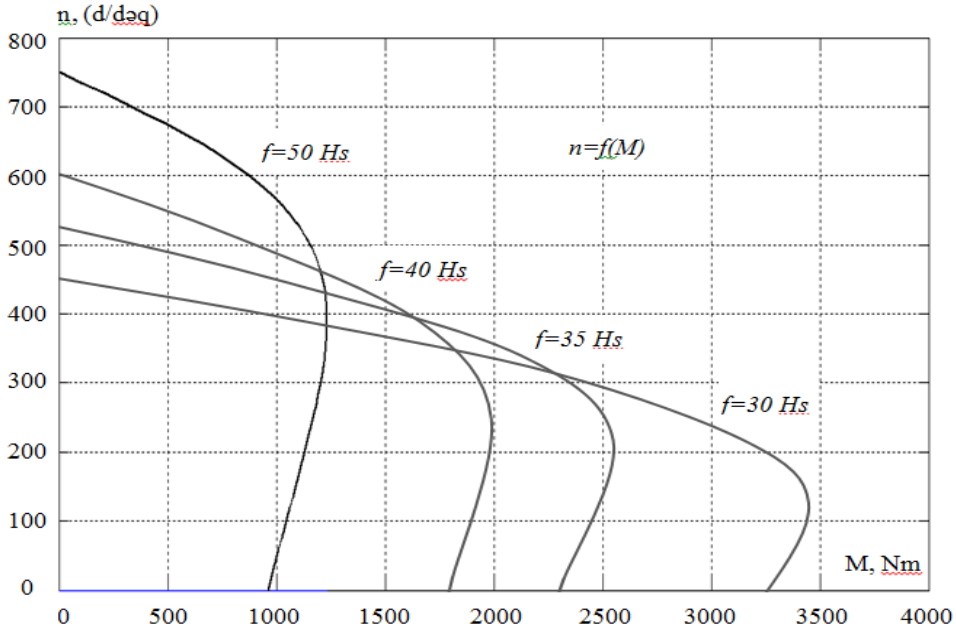
$$M = \frac{2 \cdot M_{kr1}}{\frac{S_2 \cdot \varphi}{S_{kr}} + \frac{S_{kr}}{S_2 \cdot \varphi}} = \frac{2 \cdot 2517{,}5}{\frac{S_2 \cdot 0{,}7}{0{,}48} + \frac{0{,}48}{S_2 \cdot 0{,}7}}$$

4. $U = U_n = 380\ V;\ f = 0{,}6 \cdot f_n = 0{,}6 \cdot 50 = 30\ Hs;\ \varphi = \frac{f}{f_n} = \frac{30}{50} = 0{,}6$

$$M_{kr4} = \frac{M_{kr \cdot n}}{\varphi^2} = \frac{1233{,}6}{0{,}6^2} = 3426{,}6\ \text{Nm}$$

$$M = \frac{2 \cdot M_{kr1}}{\frac{S_2 \cdot \varphi}{S_{kr}} + \frac{S_{kr}}{S_2 \cdot \varphi}} = \frac{2 \cdot 3426{,}6}{\frac{S_2 \cdot 0{,}6}{0{,}48} + \frac{0{,}48}{S_2 \cdot 0{,}6}}$$

Cədvəl 1-ə əsasən MAP-4/8/16 tipli asinxron mühərrikinin orta sürət dolağının (2P=8) təbii mexaniki xarakteristikasının MATLAB proqramının Simulink bölməsində hesablanmışdır. Şəkil 2-də isə bu proqram vasitəsilə hesablanmış və $M_{st} = const$ şətinə uyğun olaraq tezliyin müxtəlif qiymətləri üçün (f=50, 40, 35 və 30 Hs) MAP 622-4/8/16 tipli asinxron mühərrikinin orta sürət dolağının mexaniki xarakteristikaları təsvir edilmişdir.



Şəkil 2. *Tezliyin müxtəlif qiymətləri üçün (f=50, 40, 35 və 30 Hs) MAP 622-4/8/16 tipli asinxron mühərrikin orta sürət dolağının mexaniki xarakteristikaları*

Cədvəl 1-dən və mexaniki xarakteristikadan (Şəkil 4) göründüyü kimi, tezlik azaldıqca mühərrikin maksimal momenti artır. Məsələn, f=30 Hs oduqda $M_{max} = 3426{,}6\ Nm$, f=50 Hs olduğu zaman maksimal momentdən 2,77 dəfə çoxdur:

$$\frac{M_{max}(f = 30\ Hs)}{M_{max}(f = 50\ Hs)} = \frac{3426{,}6}{1233{,}6} = 2{,}77$$

Elektrik mühərrikinin dayandırılmadan lövbərin qruntdan qopması zamanı cərəyanın tezliyini müəyyən etmək üçün kiçik hesablama aparaq. Qopma qüvvəsinin qiyməti lövbərin qrunta ilişmə xarakterindən asılıdır və konkret hallarda çətin müəyyən olunur. Statistik tədqiqatlar lilə batmış Holl lövbərinin qruntdan qopma qüvvəsini onun ikiqat ağırlığına $(2G_L)$bərabər hesab etməyə imkan verir. Belə olduqda klüzdəki qopma qüvvəsini aşağıdakı kimi hesablamaq olar [1]:

$$F_{qop} = 0{,}87[2G_L + (G_L + qh)], \qquad (23)$$

Burada: G_L – lövbərin çəkisi;

q – bir metr lövbər zəncirinin çəkisi;

h – lövbərdə dayanma yerin dərinliyi.

Misal olaraq göstərilmiş МАП 622-4/8/16 tipli elektrik mühərriki Azərbaycan Respublikasının "Gəncə" tipli tankerlərin lövbər qurğularının elektrik intiqalında quraşdırılıb.

Bu gəmilərdə lövbərin çəkisi: $G_L = 2500\ kq$.

Bir metr lövbər zəncirinin çəkisi: $q = 51{,}62\ kq$.

Lövbərdə dayanma yerinin dərinliyi: $h = 100\ m$ qəbul edirik.

Bu gəmilərdə klyuzda qopma qüvvəsi:

$$F_{qop} = 0{,}87[2G_L + (G_L + qh)] = 0{,}87[2 \cdot 2500 + (2500 + 51{,}62 \cdot 100)] =$$
$$0{,}87[500 + 7662] = 11016\ kq \text{ və ya } F_{qop} = 9{,}81 \cdot 11016 = 108067\ N$$

Lövbərin qurğusunun ulduzunda qopma qüvvəsi:

$$F_{uld} = \frac{F_{qop}}{\eta_{kl}} = \frac{108067}{0{,}7} = 154381\ N$$

Burada: η_{kl} – klyuzun f.i.ə.

Lövbərin qurğusunun elektrik mühərrikinin valındakı moment:

$$M_{el.müh} = \frac{F \cdot D_{ul}}{2 \cdot К \cdot \eta_{löv}}, \qquad (24)$$

Burada: D_{ul} – lövbər ulduzunun diametri, $D_{ul} = 0{,}7\ m$.

$\eta_{löv}$ – lövbər qurğusunun reduktorla birgə f.i.ə. $\eta_{löv} = 0{,}65 \div 0{,}8$, $\eta_{löv} = 0{,}7$ qəbul edirik.

К – lövbər qurğusunun reduktorunun ötürücü sayı, $К = 80$.

$$M_{el.müh} = \frac{F \cdot D_{ul}}{2 \cdot К \cdot \eta_{löv}} = \frac{154381 \cdot 0{,}7}{2 \cdot 80 \cdot 0{,}7} = \frac{108067}{112} = 965\ Nm$$

Hesablamanın nəticəsindən göründüyü kimi, lövbər qruntdan qopduğu zaman elektrik mühərrikinin nominal momentindən təqribən 2 dəfə çoxdur ($M_n = 514\ Nm$). Bundan əlavə, nəzərə alsaq lövbər qruntdan qopduğu zaman elektrik mühərrikini qidalandıran kabeldə gərginlik itkisinin artması hesabına moment daha da azalacaq, çünki asinxron mühərrikinin momenti gərginliyin kvadratından asılıdır: $M_{A.M} \equiv U^2$.

Cədvəl 1-dən göründüyü kimi, mühərriki dayandırmadan lövbərin qruntdan qopması cərəyanın tezliyinin 40 Hs olduğundan başlayaraq həyata keçirilə bilər. Bu zaman mühərrikin maksimal momenti 50 Hs-də olduğundan 1,56 dəfə artıqdır.

Nəticə. Aparılmış hesablamalar göstərdi ki, lövbər qurğusunun elektrik mühərrikinin idarə edilməsi üçün tezlik çeviricisindən istifadə olunduqda, çeviricinin intiqala verdiyi üstünlüklərdən əlavə olaraq lövbəri dənizin dibindən qopardıqda elektrik mühərrikində yaranan qısaqapanma rejimini də aradan qaldırmaq olar.

Ədəbiyyat

1. Mehdiyev H. A, Həsənov Z. Ə, Şabanov T.H. Avtomatlaşdırılmış gəmi elektrik intiqalları. Bakı: Nurlan, 2005, 358 səh.
2. Судовые электроприводы. Справочник. Л. Судостроение. 1983, Т.II-384 с.
3. Mehdiyev H.A, Həsənov E.A. Avtomatlaşdırılmış lövbər-yanalma qurğularının sürətinin tənzim həddinin artırılması. //Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyasının Elmi əsərləri, Bakı.: 2003, səh. 59–63.
4. Sultanov E.F., Həsənov E.A. Gəmi lövbər qurğusunun elektrik intiqalının tezlik çeviricisi vasitəsilə idarə olunması, Energetikanın problemləri, Elm nəşriyyatı, Bakı, №3, 2014, səh. 65-77.
5. Чекунов К.А. Теория судового электропривода. Л.: Судостроение, 1982,382 с.

Tövsiyə edib: t.ü.f.d., dos. ***A.Ş.İsmayılov***

UOT 621.3:007

6L20 MARKALI BAŞ GƏMİ DİZELİ MÜXTƏLİF NÖV MAYE YANACAQLA İŞLƏDİKDƏ BAŞLANĞIC PÜSKÜRMƏ TƏZYİQİNİN VƏ YANACAQ VERİLMƏSİNİN QABAQLAMA BUCAĞININ ONUN GÖSTƏRİCİLƏRİNƏ TƏSİRİNİN NƏZƏRİ TƏDQİQİ

İsmayılov A.Ş., Axundov İ.S.

Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası
AZ1000, Bakı ş., Z.Əliyeva küç.,18
E-mail: a.ismayilov27@gmail.com

Xülasə. *Məqalədə 6L20 markalı baş gəmi dizel mühərriki müxtəlif maye yanacaqlarla işlədikdə forsunkanın başlanğıc püskürmə təzyiqinin və yanacaq verilməsinin qabaqlama bucağının yanma prosesiniin parametrlərinə, mühərrikin indikator və effektiv göstəricilərinə təsirini aydınlaşdırmaq məqsədi ilə yerinə yetirilən riyazi eksperimentlərin nəticələrinin nəzəri tədqiqinə baxılmışdır.*

Аннотация. *В статье рассматривается теоретическое исследование результатов вычислительных экспериментов, проведенных с целью определения влияния давления начала впрыска форсунки и угла опережения начала подачи топлива на параметры процесса сгорания, на индикаторные и эффективные показатели главного судового дизельного двигателя марки 6L20 при работе с различными видами жидкого топлива.*

Abstract. *The theoretical study of the results of computational experiments is examined in this Article, in order to determine the influence of the variation of start pressure of fuel injection and the angle of initial fuel injection on the parameters of the combustion process, the indicatory and effective parameters of marine main diesel engine type of 6L20.*

Açar sözlər: *Dizel mühərriki, yanacaq, sıxlıq, riyazi eksperimentlər, indikator göstəriciləri, effektiv göstəricilər, indikator gücü, effektiv güc, yanacaq sərfi, yanma müddəti, istilikdən istifadə olunma əmsalı, induksiya periodu*

Ключевые слова: *Дизельный двигатель, топливо, плотность, вычислительные эксперименты, индикаторные показатели, эффективные показатели, индикаторная мощность, эффективная мощность, расход топлива, продолжительность сгорания, коэффициент использования теплоты, период индукции*

Key words: *Diesel engine, fuel oil, density, computational experiments, indicator parameters, effective indicators, indicated power, effective power, fuel consumption, combustion duration, coefficient of heat utilization, induction period*

Giriş. Gəmi baş dizel mühərriklərində müxtəlif növ yüngül və ağır yanacaqdan istifadə olunur. Bu yanacaqlar bir-birindən, əsasən sıxlıqlarına, özlülüklərinə, alışma temperaturuna, setan ədədinə və s. parametrlərinə görə fərqlənirlər. Odur ki, mühərrikdə istifadə olunan yanacağın növü dəyişdikdə, onun mühərrikin göstəricilərinə necə təsir edəcəyinin qabaqcadan proqnozlaşdırılması çox mühümdür. Belə proqnozlaşdırma iki yolla mümkündür: birincisi, həmin yanacaqdan istifadə etməklə mühərrikin əsas göstəricilərinin motor sınaqları vasitəsi ilə, ikincisi, yanacağın əsas fiziki-kimyəvi göstəricilərinin dəyişməsini nəzərə ala biləcək hesablama metodikasından [1,2] istifadə etməklə mühərrikin əsas göstəricilərinin riyazi eksperimentlərin köməyi ilə təyin olunması. Birinci halda, xeyli material və vaxt itkisinə yol verildiyindən, ikinci hal daha məqsədəuyğun hesab edilir. Belə ki, bu halda çox qısa bir müddətdə, heç bir material itkisinə yol vermədən, istifadə olunan yanacağın növündən asılı olaraq mühərrikin əsas göstəriciləri təyin olunur və istismar

parametrlərinin onların ən qənaətbəxş qiymətlərini təmin edə biləcək rasional qiymətləri seçilir. Bu da baxılan məsələnin aktuallığını göstərir.

Əsas hissə. 6L20 markali baş gəmi dizelində istifadə olunan yanacaqlarin əsas fiziki-kimyəvi xassələri cədvəl 1-də göstərilmişdir. Bu cədvəldə göstərilən qiymətlər "Gəncə" gəmisində istifadə olunan yanacaqların sertifikatlarından götürülmüşdür.

Cədvəl 1.

6L20 markalı baş gəmi dizelində istifadə olunan yanacaqların əsas fiziki-kimyəvi xassələri

Göstəricilərin adı	Sıxlıq, kq/m^3			
	827	838	848	900
1. Setan ədədi (S.Ə), ən azı	51	51	45	35
2. Setan indeksi (S.İ), ən azı	50,4	50,4	-	35
3. Kükürdün kütlə miqdarı, mq/kq, ən çoxu	-	8,6	9,0	1,5
4. Qapalı tigeldə alışma temperaturu, ^{0}S, ən azı	74	67	65	60
5. 10%-qalığın kokslaşması, həcm %-i, ən çoxu	-	0,03	0,03	0,3
6. Küllülük, həcm %-i, ən çoxu	Yoxdur	Yoxdur	Yoxdur	0,01
7. Suyun kütlə miqdarı, mq/kq, ən çoxu	Yoxdur	38	-	0,3
8. Mexaniki qarışıqların kütlə miqdarı, ən çoxu	Yoxdur	Yoxdur	Yoxdur	-
9. Kinematik özlülük (40^0S temperaturda, sSt (mm^2/san)	2,98	2,579	2,76	2÷11
10. Aşağı yanma istiliyi (Q_H), MC/kq	42,654	42,654	42,654	41,418

Forsunkanın başlanğıc püskürmə təzyiqindən asılı olaraq 6L20 markalı baş gəmi dizeli standart dizel yanacağı ilə işlədikdə yanma prosesini xarakterizə edən parametrlərin (φ_z, ξ_z, P_z, T_z, τ_i), indikator (P_i, N_i, g_i, η_i) və effektiv (P_e, N_e, g_e, η_e) göstəricilərin forsunkanın başlanğıc püskürmə təzyiqindən asılı olaraq dəyişən qiymətləri cədvəl 2-də göstərilmişdir. Riyazi eksperimentlər mühərrikin nominal iş rejimi üçün ($n=1000$*dəq*$^{-1}$) forsunkanın başlanğıc püskürmə təzyiqinin *35, 40, 45* və *50 MPa* qiymətlərində yerinə yetirilmişdir. Bu zaman yanacaq verilməsinin qabaqlama bucağı meniskə görə $\theta_{men} = 9{,}8^0$, mühərrikin mexaniki f.i.ə. $\eta_m = 0{,}85$, istifadə olunan standart dizel yanacağının sıxlığı $\rho_{dy} = 848\, kq/m^3$ və setan ədədi *45*, mühərrikin nominal iş rejimi üçün yanacağın başlanğıc püskürmə təzyiqinin optimal (rasional) qiyməti P_{fopt} *= 45 MPa* qəbul olunmuşdur [3].

Cədvəl 2.

6L20 markalı baş gəmi dizeli standart dizel yanacağı ilə işlədikdə onun əsas göstəricilərinin forsunkanın başlanğıc püskürmə təzyiqindən asılı olaraq dəyişməsi
($\theta_{men} = 9{,}8^0$; $n=1000$*dəq*$^{-1}$; $\eta_m = 0{,}85$; $\rho_y = 848\, kq/m^3$)

Göstəricilər	**P_{fx}, MPa**			
	35	**40**	**45**	**50**
1. Yanmanın maksimum təzyiqi (P_z), *MPa*	16,93	18,09	18,56	18,11
2. Yanmanın maksimum temperaturu (T_z), *K*	1668	1838	1992	2133
3. İndikator f.i.ə. (η_i)	0,422	0,482	0,537	0,582
4. İnduksiya periodu ($\tau_i \cdot 10^3$), *saniyə*	0,2154	0,1678	0,6747	1,338
5. Orta indikator təzyiqi (P_i), *MPa*	2,229	2,55	2,834	3,075
6. İndikator gücü (N_i), *kVt*	980	1120	1247	1353
7. Xüsusi indikator yanacaq sərfi (g_i), $\frac{q}{kVt \cdot saat}$	200	175	157,2	144,9
8. Orta effektiv təzyiq (P_e), *MPa*	1,895	2,168	2,410	2,614
9. Effektiv güc (*Ne*), *kVt*	833	952	1060	1150
10. Xüsusi effektiv yanacaq sərfi (g_e), $\frac{q}{kVt \cdot saat}$	235	206	185	170,5
11. Yanma istiliyindən istifadə olunma əmsalı (ξ_z)	0,666	0,761	0,856	0,951
12. Effektiv f.i.ə. (η_e)	0,359	0,410	0,456	0,495
13. Yanma müddəti (φ_z), dər.	64	56	50	45

Cədvəl 2-dən göründüyü kimi başlanğıc püskürmə təzyiqi böyüdükcə induksiya periodu (τ_i) əvvəlcə azalır (P_{fx}=*40 MPa*-ya qədər), sonra isə (P_{fx} = *40 MPa*-dan sonra) artır. Fikrimizcə, buna səbəb, başlanğıc püskürmə təzyiqinin böyüməsi ilə silindrə püskürülən yanacaq daha narın tozlandığından, yanacağın buxarlanması üçün daha çox istilik sərf edildiyinə görə silindrdəki temperaturun azalması nəticəsində yanmanın gec başlamasıdır. Başlanğıc püskürmə təzyiqi artdıqca τ_i – nin artması [4]–də də öz təsdiqini tapmışdır.

Başlanğıc püskürmə təzyiqinin artması zamanı yanacağın tozlanması və buxarlanması yaxşılaşdığından yanıcı qarışığın hazırlanma keyfiyyəti yaxşılaşır, yanma prosesi daha intensiv gedir və silindrdəki təzyiq (P_z) və temperatur (T_z) yüksəlir. P_{fx} = *50 MPa*-da təzyiqin aşağı düşməsi induksiya periodu böyüdüyündən silindrdəki maksimum təzyiqin və temperaturun porşenin y.ö.n-dən daha çox keçmiş qiymətində ($16,5^0$) alındığına görə silindrin həcminin böyüməsi ilə izah olunur.

Başlanğıc püskürmə təzyiqi böyüdükcə induksiya periodunun artması, yanıcı qarışığın hazırlanma keyfiyyətinin yaxşılaşması və yanma prosesinin daha sürətlə baş verməsi yanma müddətinin (φ_z) azalmasına, istilikdən istifadə olunma əmsalının (ξ_z) isə artmasına səbəb olur. P_{fx} = *50 MPa*-da φ_z-in artmasına, ξ_z-in isə azalmasına yanmanın genişlənmə prosesinə keçməsi səbəb olur.

Yanacaq verilməsinin qabaqlama bucağının meniskə görə *4,8; 9,8; 14,8; 19,8* və $24,8^0$ qiymətlərində 6L20 markalı dizel mühərrikində standart dizel yanacağından istifadə edildikdə riyazi eksperimentlərin nəticələri cədvəl 3–də verilmişdir. Bu cədvəldən göründüyü kimi yanacaq verilməsinin qabaqlama bucağının böyüməsi induksiya periodunun (τ_i) da artmasına səbəb olur. Bu, θ-nın artması ilə silindrə yanacaq verilməsi anında silindrdəki havanın sıxlıq və temperaturunun azalması ilə izah olunur [5]. Bu riyazi eksperimentlər yanma müddətinin (φ_z), istilikdən istifadə olunma əmsalının (ξ_z) sabit və optimal qiymətlərində yerinə yetirilmişdir.

Yanacaq verilməsinin qabaqlama bucağının böyüdülməsi nəticəsində silindrdəki maksimum təzyiq (P_z) və maksimum temperatur (T_z) da artır. Lakin bu zaman temperaturun artma intensivliyi eyni olduğu halda, təzyiqin dəyişməsi $\theta \leq 14,8^0$ qiymətlərində daha intensiv olur. Məsələn, θ $4,8^0$-dən $9,8^0$-yə kimi böyüdükdə P_z *3,03 MPa*, θ $9,8^0$-dən $14,8^0$-yə kimi böyüdükdə P_z *2,9 MPa* artırsa,

θ $14,8^0$- dən $19,8^0$-yə kimi böyüdükdə P_z *2,49 MPa*, θ $19,8^0$-dən $24,8^0$-yə kimi böyüdükdə isə P_z *1,9 MPa* artır.

Cədvəl 3.

6L20 markalı baş gəmi dizeli standart dizel yanacağı ilə işlədikdə onun əsas göstəricilərinin yanacaq verılməsının qabaqlama bucağından asılı olaraq dəyişməsi

(P_{fo}=*45 MPa*; n=*1000 dəq*$^{-1}$; η_m=*0,85*; ρ_y=*848 kq/m*^{3})

Göstəricilər	**θ_{men}, dər. Y.Ö.N.-ə qalmış**				
	4,8	**9,8**	**14,8**	**19,8**	**24,8**
1.Yanmanın maksimum təzyiqi (P_z), *MPa*	15,94	18,97	21,87	24,36	26,26
2.Yanmanın maksimum temperaturu (T_z), *K*	1949	2000	2061	2122	2185
3.İndikator f.i.ə. (η_i)	0,519	0,539	0,553	0,561	0,565
4.İnduksiya periodu ($\tau_i \cdot 10^3$), *san.*	0,5173	0,572	0,7031	0,9352	1,309
5.Orta indikator təzyiqi (P_i), *MPa*	2,738	2,846	2,921	2,963	2,982
6.İndikator gücü (N_i), *kVt*	1204	1252	1285	1303	1312
7.Xüsusi indikator yanacaq sərfi (g_i), $\frac{q}{kVt \cdot saat}$	162,8	156,6	152,6	150,4	149,4
8.Orta effektiv təzyiq (P_e), *MPa*	2,327	2,42	2,483	2,519	2,535
9.Effektiv güc (N_e), *kVt*	1023	1064	1092	1108	1115
10.Xüsusi effektiv yanacaq sərfi (g_e), $\frac{q}{kVt \cdot saat}$	191,5	184,2	179,5	176,9	175,8
11.Effektiv f.i.ə. (η_e)	0,441	0,458	0,470	0,477	0,48

Cədvəl 3-dən aydın olur ki, yanacaq verilməsinin qabaqlama bucağının artması zamanı mühərrikin indikator və effektiv gücü (N_i və N_e) artır, xüsusi indikator və effektiv yanacaq sərfləri (g_i və g_e) isə azalır. Lakin, burada da, maksimum təzyiqdə (P_z) olduğu kimi $\theta \leq 14{,}8^0$ qiymətlərində N_i və N_e-nin artma intensivliyi, g_i və g_e-nin isə azalma intensivliyi daha çoxdur. Məsələn, θ $4{,}8^0$-dən $9{,}8^0$-yə kimi artdıqda N_e 48 *kVt*, $9{,}8^0$-dən $14{,}8^0$-yə kimi böyüdükdə isə N_e 33 *kVt* artırsa, θ $14{,}8^0$-dən $19{,}8^0$-yə kimi böyüdükdə N_e 18 *kVt*, $14{,}8^0$-dən $24{,}8^0$-yə kimi böyüdükdə isə 9 *kVt* artır. Xüsusi effektiv yanacaq sərfi (g_e) θ $4{,}8^0$-dən $9{,}8^0$-yə kimi böyüdükdə 7,3 $q/(kVt \cdot saat)$, $9{,}8^0$-dən $14{,}8^0$-yə kimi böyüdükdə isə 5,2 $q/(kVt \cdot saat)$ azalırsa, θ $14{,}8^0$-dən $19{,}8^0$-yə kimi böyüdükdə g_e 2,6 $q/(kVt \cdot saat)$, $19{,}8^0$-dən $24{,}8^0$-yə kimi böyüdükdə isə 1,1 $q/(kVt \cdot saat)$ azalır. Deməli, 6L20 markalı baş gəmi dizelində yanacaq verilməsinin qabaqlama bucağının $14{,}8^0$-dən çox böyüdülməsi silindrdəki maksimum təzyiqin qiymətinin həddindən artıq artmasına, eləcə də bu qiymətin y.ö.n.-ə yaxınlaşmasına səbəb olur ki, bu da öz növbəsində təzyiqin yüksəlmə sürətinin, daha doğrusu, mühərrikin sərtlik dərəcəsinin, artması ilə müşahidə olunur. Digər tərəfdən, yanacaq verilməsinin qabaqlama bucağının həddindən artıq kiçildilməsi (məsələn, $\theta_1 = 4{,}8^0$ olduqda) yanma prosesi genişlənmə xəttinə keçir ki, bu da indikator və effektiv göstəricilərin pisləşməsinə, gücün azalmasına, yanacaq sərfinin isə artmasına səbəb olur. Odur ki, $\theta_1 = 9{,}8^0$ qiyməti bu mühərrik üçün optimal və yaxud rasional hesab oluna bilər.

Qeyd etmək lazımdır ki, yuxarıda şərh olunan riyazi eksperimentlər zamanı (cədvəl 2. və cədvəl 3.) standart dizel yanacağının aşağı yanma istiliyi $Q_H = 42{,}654\ MC/kq$ qəbul olunmuşdur (cədvəl 1.).

Beləliklə, bu riyazi eksperimentlərin nəticələrinə görə aydın olur ki, 6L20 markalı baş gəmi dizel mühərriki standart dizel yanacağı ilə işlədikdə, forsunkanın başlanğıc püskürmə təzyiqinin və yanacaq verilməsinin qabaqlama bucağının uyğun olaraq 45*MPa* və $9{,}8^0$ qiymətlərini rasional qiymətlər kimi qəbul etmək olar. Belə ki, bu halda həm yanma prosesinin parametrləri, həm də mühərrikin indikator və effektiv göstəriciləri qənaətbəxşdir.

Cədvəl 4.

6L20 markalı baş gəmi dizeli motor yanacağı ilə işlədikdə onun əsas göstəricilərinin forsunkanın başlanğıc püskürmə təzyiqindən asılı olaraq dəyişməsi

($\theta_{men} = 9{,}8^0$; *n=1000 dəq*$^{-1}$; $\eta_m = 0{,}85$; $\rho_y = 900\ kq/m^3$, $Q_H = 42{,}654\ MC/kq$)

Göstəricilər	P_{fx}, MPa				
	35	**40**	**45**	**50**	**55**
1. Yanmanın maksimum təzyiqi (P_z), *MPa*	13,29	15,55	18,0	20,52	23,09
2. Yanmanın maksimum temperaturu (T_z), *K*	1547	1735	1919	2100	2277
3. İndikator f.i.ə. (η_i)	0,3792	0,444	0,5073	0,568	0,627
4. İnduksiya periodu ($\tau_i \cdot 10^3$), *san.*	0,8654	0,757	0,6731	0,6058	0,551
5. Orta indikator təzyiqi (P_i), *MPa*	2,002	2,346	2,678	2,999	3,309
6. İndikator gücü (N_i), *kVt*	880,3	1032	1178	1319	1455
7. Xüsusi indikator yanacaq sərfi (g_i), $\frac{q}{kVt \cdot saat}$	222,6	189,9	166,4	148,6	134,7
8. Orta effektiv təzyiq (P_e), *MPa*	1,702	1,994	2,276	2,549	2,813
9. Effektiv güc (*Ne*), *kVt*	748,3	877,2	1001,3	1121	1237
10. Xüsusi effektiv yanacaq sərfi (g_e), $\frac{q}{kVt \cdot saat}$	261,9	223,4	195,8	174,8	158,5
11. Effektiv f.i.ə. (η_e)	0,322	0,3774	0,431	0,483	0,533
12. Yanma istiliyindən istifadə olunma əmsalı (ξ_z)	0,627	0,717	0,8064	0,896	0,986
13. Yanma müddəti (φ_z), rad./dər.	$\frac{1{,}122}{64{,}3}$	$\frac{0{,}9813}{56{,}3}$	$\frac{0{,}8723}{50}$	$\frac{0{,}7851}{45}$	$\frac{0{,}7137}{40{,}9}$

Cədvəl 4-də 6L20 dizel mühərriki *DT* markalı ağır yanacaqla işlədikdə forsunkanın başlanğıc püskürmə təzyiqindən asılı olaraq yerinə yetirilən riyazi eksperimentlərin nəticələri göstərilmişdir. Bu cədvəldən göründüyü kimi mühərrik ağır yanacaqla işlədikdə istər, yanma prosesini xarakterizə edən parametrlərin, istərsə də, mühərrikin indikator və effektiv göstəricilərinin dəyişmə qanunauyğunluqları, demək olar ki, standart dizel yanacağına analojidir.

Mühərrik motor yanacağı ilə işlədikdə, standart dizel yanacağından fərqli olaraq, yalnız induksiya periodunun (τ_i) həmişə azalması motor yanacağının buxarlanma qabiliyyətinin xeyli pisləşməsi ilə izah olnur.

Qeyd etmək lazımdır ki, riyazi eksperimentlər zamanı forsunkanın başlanğıc püskürmə təzyiqinin rasional qiyməti P_{fopt} = 45 *MPa* və yanacağın aşağı yanma istiliyi $Q_H = 42{,}654\ MC/kq$ qəbul olunmuşdur. Lakin, motor yanacağının aşağı yanma istiliyi cədvəl 1-ə görə $Q_H = 41{,}418\ MC/kq$ olmalıdır. Bundan başqa cədvəl 4-dən göründüyü kimi başlanğıc püskürmə təzyiqi böyüdükcə mühərrikin göstəriciləri yaxşılaşdığından forsunkanın başlanğıc püskürmə təzyiqinin rasional qiymətinin P_{fopt} = 50 *MPa* qəbul olunması daha məqsədəyğundur. Odur ki, bundan sonra riyazi eksperimentlər forsunkanın başlanğıc püskürmə təzyiqinin və yanacaq verilməsinin qabaqlama bucağının rasional qiymətləri uyğun olaraq P_{fopt} = 50 *MPa* və θ_{men} = $9{,}8^0$, eləcə də yanacağın aşağı yanma istiliyi $Q_H = 41{,}418\ MC/kq$ olduqda yerinə yetirilmiş və alınan nəticələr cədvəl 5 və cədvəl 6-da göstərilmişdir. Bu cədvəllərdən də göründüyü kimi mühərrik ağır yanacaqla işlədikdə həm, yanma prosesini xarakterizə edənparametrlərin, həm də, mühərrikin indikator və effektiv göstəricilərinin forsunkanın başlanğıc püskürmə təzyiqindən və yanacaq verilməsinin qabaqlama bucağından asılı olaraq dəyişmə qanunauyğunluqları standart dizel yanacağında olduğu kimidir.

Cədvəl 5.

6L20 markalı baş gəmi dizeli motor yanacağı ilə işlədikdə onun əsas göstəricilərinin forsunkanın başlanğıc püskürmə təzyiqindən asılı olaraq dəyişməsi

(P_{fopt}=*50 MPa;* $\theta_{men} = 9{,}8^0$; *n=1000 dəq*$^{-1}$; $\eta_m = 0{,}85$; $\rho_y = 900\ kq/m^3$; Q_H = *41,418 MC/kq*)

Göstəricilər	**P_{fx}, *MPa***				
	40	**45**	**50**	**55**	**60**
1. Yanmanın maksimum təzyiqi (P_z), *MPa*	13,56	15,57	17,73	19,94	22,19
2. Yanmanın maksimum temperaturu (T_z), *K*	1558	1722	1884	2044	2200
3. İndikator f.i.ə. (η_i)	0,393	0,451	0,508	0,563	0,616
4. İnduksiya periodu ($\tau_i \cdot 10^3$), *san.*	0,841	0,748	0,673	0,612	0,561
5. Orta indikator təzyiqi (P_i), *MPa*	2,013	2,313	2,604	2,886	3,159
6. İndikator gücü (N_i), *kVt*	885,3	1017	1145	1269	1390
7. Xüsusi indikator yanacaq sərfi (g_i), $\frac{q}{kVt \cdot saat}$	221,3	192,6	171,1	154,4	141,1
8. Orta effektiv təzyiq (P_e), *MPa*	1,711	1,966	2,213	2,453	2,685
9. Effektiv güc (*Ne*), *kVt*	752,5	864,5	973,3	1078,7	1181,5
10. Xüsusi effektiv yanacaq sərfi (g_e), $\frac{q}{kVt \cdot saat}$	260,4	226,6	201,3	181,6	166,0
11. Effektiv f.i.ə. (η_e)	0,334	0,383	0,432	0,479	0,524
12. Yanma istiliyindən istifadə olunma əmsalı (ξ_z)	0,645	0,726	0,806	0,887	0,968
13. Yanma müddəti (φ_z), *rad./dər.*	$\frac{1{,}09}{62{,}5}$	$\frac{0{,}969}{55{,}5}$	$\frac{0{,}872}{50}$	$\frac{0{,}793}{45{,}5}$	$\frac{0{,}727}{41{,}7}$

Cədvəl 6.

6L20 markalı baş gəmi dizeli motor yanacağı ilə işlədikdə onun əsas göstəricilərinin yanacaq verilməsinin qabaqlama bucağından asılı olaraq dəyişməsi

(P_{fo}=50 MPa; n=1000 dəq^{-1}; η_m=0,85; ρ_y=900 kq/m^3, Q_H = 41,418 MC/kq)

Göstəricilər	θ_{men}, dər. Y.Ö.N.-ə qalmış				
	4,8	**9,8**	**14,8**	**19,8**	**24,8**
1.Yanmanın maksimum təzyiqi (P_z), *MPa*	14,9	17,73	20,36	22,57	24,1
2.Yanmanın maksimum temperaturu (T_z), *K*	1837	1884	1940	1998	2044
3.İndikator f.i.ə. (η_i)	0,4881	0,508	0,5221	0,5306	0,5353
4.İnduksiya periodu ($\tau_i \cdot 10^3$), *san.*	0,6074	0,6731	0,8038	1,112	1,567
5.Orta indikator təzyiqi (P_i), *MPa*	2,502	2,604	2,676	2,720	2,744
6.İndikator gücü (N_i), *kVt*	1101	1145	1177	1196	1207
7.Xüsusi indikator yanacaq sərfi (g_i), $\frac{q}{kVt \cdot saat}$	178,1	171,1	166,5	163,8	162,4
8.Orta effektiv təzyiq (P_e), *MPa*	2,127	2,213	2,275	2,312	2,332
9.Effektiv güc (N_e), *kVt*	935,9	973,3	1000,5	1016,6	1026
10.Xüsusi effektiv yanacaq sərfi (g_e), $\frac{q}{kVt \cdot saat}$	209,5	201,3	195,9	192,7	191,1
11.Effektiv f.i.ə. (η_e)	0,415	0,432	0,444	0,451	0,455

Mühərrik dizel və motor yanacaqları ilə işlədikdə onun əsas göstəricilərini müqayisə etmək üçün cədvəl 7- dən istifadə etmək daha əlverişlidir. Bu cədvəldən aydın olur ki, mühərrik motor yanacağı ilə işlədikdə yanmanın maksimum təzyiqi (P_z) və maksimum temperaturu (T_z) uyğun olaraq 0,83 *MPa* (4,47 %) və 108*K* (5,4%), orta indikator təzyiqi (P_i) 0,23 *MPa* (8,12%), yanma istiliyindən istifadə olunma istiliyi (ξ_z) 0,05 vahid (5,8%) azalmış, mühərrikin xüsusi indikator və effektiv yanacaq sərfləri (g_i və g_e) uyğun olaraq 13,9 $\frac{q}{kVt \cdot saat}$ (8,8 %) və 16,3 $\frac{q}{kVt \cdot saat}$ (7,5%) artmış, indikator gücü (N_i) və effektiv güc (*Ne*) uyğun olaraq 102 *kVt* (8,2%) və 86,7*kVt* (8,2%) aşağı düşmüşdür. Mühərrikin qənaətliliyinin pisləşməsi, eləcə də gücünün azalması motor yanacağının buxarlanma qabiliyyətinin, yanıcı qarışığın hazırlanma keyfiyyətinin və yanma prosesinin pisləşməsi ilə izah olunur. Buradan göründüyü kimi, istismar şəraitində mühərrikin gücünü dizel yanacağında olduğu səviyyədə saxlamaq üçün, motor yanacağından istifadə etdikdə tsikllik yanacaq verilişini mühərrikin gücünün azaldığı hədlərdə, yəni, təxminən 8 ÷ 9,5% artırmaq lazımdır.

Təklif olunan hesablama metodikasında tsikllik yanacaq verilişi aşağıdakı ifadə ilə təyin edilir:

$$g_{ts} = {}^{G_h}/_{(30 \cdot n \cdot \alpha \cdot l_0 \cdot i)}, \; kq/tsikl$$

burada G_h –mühərrikin saatlıq hava sərfi, *kq/saat*; *n*–mühərrikin dövrlər sayı, *dəq*$^{-1}$; α – hava artıqlıq əmsalı; l_0 – 1 *kq* yanacağın tam yanması üçün tələb olunan nəzəri hava miqdarı, *kq/kq*; *i* – mühərrikin silindrlərinin sayıdır.

Bu ifadədən göründüyü kimi, tsikllik yanacaq verilişini artırmaq üçün hava artıqlıq əmsalını azaltmaq lazımdır. Riyazi hesablamada hava artıqlıq əmsalının *9,27%* azaldılması tsikllik yanacaq verilişinin $g_{ts.}$=1,305·10^{-3} *kq/tsikl* – dən $g_{ts.}$=1,426·10^{-3} *kq/tsikl* - ə qədər artmasına səbəb olmuşdur ki, bu da mühərrikin indikator və effektiv güclərinin standart dizel yanacağında olan qiymətlərə qədər yüksəlməsinə kifayət etmişdir. Cədvəl 7-dən göründüyü kimi $g_{ts.}$=1,426·10^{-3} *kq/tsikl* olduqda motor yanacağı ilə işləyərkən mühərrikin digər göstəriciləri (P_z, T_z, P_i və P_e) də standart dizel yanacağında olan qiymətlərlə, demək olar ki, üst-üstə düşmüşdür. Bu zaman xüsusi indikator yanacaq sərfinin artması, indikator və effektiv f.i.ə.-lərin azalması mühərrik motor yanacağı ilə işlədikdə yanma istiliyindən istifadə olunma əmsalının (ξ_z) kiçilməsi və yanma prosesinin pisləşməsi ilə izah olunur.

Cədvəl 7.

6L20 markalı baş gəmi mühərriki dizel və motor yanacağı ilə işlədikdə onun əsas göstəricilərinin müqayisəsi

Göstəricilər	Yanacağın növü		
	Standart dizel yanacağı	Motor yanacağı ($g_{ts.}$=1,305·10^{-3} *kq/tsikl*)	Motor yanacağı ($g_{ts.}$=1,426·10^{-3} *kq/tsikl*)
1. Yanmanın maksimum təzyiqi (P_z), *MPa*	18,56	17,73	18,55
2. Yanmanın maksimum temperaturu (T_z), *K*	1992	1884	1983
3. Orta indikator təzyiqi (P_i), *MPa*	2,834	2,604	2,837
4. İndikator gücü (N_i), *kVt*	1247	1145	1248
5. Xüsusi indikator yanacaq sərfi (g_i), $\frac{q}{kVt \cdot saat}$	157,2	171,1	171,7
6. Orta effektiv təzyiq (P_e), *MPa*	2,410	2,213	2,412
7. Effektiv güc (*Ne*), *kVt*	1060	973,3	1060,8
8. Xüsusi effektiv yanacaq sərfi (g_e), $\frac{q}{kVt \cdot saat}$	185	201,3	202
9.İndikator f.i.ə. (η_i)	0,537	0,508	0,5063
10. Effektiv f.i.ə. (η_e)	0,456	0,432	0,43
11.Yanma istiliyindən istifadə olunma əmsalı (ξ_z)	0,856	0,806	0,806
12. Yanma müddəti (φ_z), rad./dər.	$\frac{0,872}{50}$	$\frac{0,872}{50}$	$\frac{0,872}{50}$

Nəticə. Yanma prosesinin parametrlərinin, eləcə də mühərrikin indikator və effektiv göstəricilərinin qənaətbəxş olması baxımından riyazi eksperimentlərin nəticələrinə görə aydın olur ki, 6L20 markalı baş gəmi mühərriki standart dizel yanacağı ilə işlədikdə, forsunkanın başlanğıc püskürmə təzyiqinin və yanacaq verilməsinin qabaqlama bucağının, uyğun olaraq, *45MPa* və $9,8^0$ qiymətlərini rasional qiymətlər kimi qəbul etmək olar. Bu nöqteyi-nəzərdən, mühərrik motor yanacağı ilə işlədikdə, forsunkanın başlanğıc püskürmə təzyiqinin rasional qiymətinin *50 MPa*, yanacaq verilməsinin qabaqlama bucağının rasional qiymətinin isə $9,8^0$ qəbul olunması əlverişli hesab olunur. Lakin bu halda mühərrikin effektiv gücü azaldığından, onu dizel yanacağında olan həddə çatdırmaq üçün mühərrik motor yanacağı ilə işlədikdə tsikllik yanacaq verilişini təxminən 8 ÷ 9,5% artırmaq lazımdır.

Ədəbiyyat

1. A.Ş.İsmayılov, İ.S.Axundov. 6L20 markalı baş gəmi dizelinin işçi tsiklinin hesablama metodikası// Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyasının Elmi əsərləri, № 1, 2018, s. 94-99.
2. T.e.n., dosent A.Ş. İsmayılov, İ.S. Axundov. Dördtaktlı gəmi dizelinin işçi tsiklini hesablama metodikası və onun riyazi modeli// Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyasının Elmi əsərləri, № 1, 2015, s.92-96.
3. İ.S.Axundov, A.Ş.İsmayılov, H.Ə.Məmmədov. Yanacağın başlanğıc püskürmə təzyiqindən və yanacaq verilməsinin qabaqlama bucağından asılı olaraq 6L20 markalı baş gəmi mühərrikinin işçi tsiklinin nəzəri tədqiqi.// Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyasının Elmi əsərləri, № 1, 2018, s.64-73.
4. В.Е.Лазарев, Г.В.Ломакин, Е.А. Лазарев. Параметры процесса сгорания топлива и показатели рабочего цикла дизеля при изменении давлении начала впрыскивания топлива. //Вестник ЮУрГУ, №11, 2011, с.83-86.
5. И.В.Парсаданов, С.И.Третьяков. Оценка влияния угла начала подачи топлива на показатели динамической напряженности и топливной экономичности быстроходного дизеля. Двигатели внутреннего сгорания, № 1, 2004 с.30-33.

Tövsiyə edib: t.ü.f.d., dos. ***A.Ş.İsmayılov***

UOT 621.431

ELEKTRON İDARƏETMƏLİ YENİ KONSTRUKSİYALI FORSUNKASI OLAN BİLAVASİTƏ SİLİNDRƏ BENZİN PÜSKÜRMƏ SİSTEMİNDƏKİ HİDRODİNAMİK PROSESLƏRİN RİYAZİ MODELİ VƏ ONUN TƏTBİQİNİN BƏZİ NƏTİCƏLƏRİ

Kərimov Z.X., Cəfərli M.K.

Azərbaycan Texniki Universiteti,
Bakı şəh., H.Cavid pr., 25
E-mail: ird@aztu.edu.az

Xülasə. *Məqalədə bilavasitə silindrə benzin püskürməli və forkamer-məşəllə alışdırmalı mühərriklərin göstəricilərinin yaxşılaşdırılması məqsədilə təklif olunmuş yeni işçi prosesin spesifik tələblərinə cavab verən elektron idarəetməli pyezo-intiqallı yeni konstruksiyalı forsunkanın konstruksiyasına və iş prinsipinə baxılmışdır. Təzyiq akkumulyatorlu bilavasitə silindrə benzin püskürmə sisteminin, o cümlədən sistemin yeni konstruksiyalı forsunkasının həcmləri və borularındakı hidrodinamik proseslərin riyazi modeli nəzərdən keçirilmiş, riyazi modelin tətbiqi ilə sistemdəki hidrodinamik proseslərin hesabi tədqiqinin bəzi nəticələri verilmişdir. Hesabi tədqiqatların nəticələri işlənmiş yeni konstruksiyalı forsunkanın iş qabiliyyətli olmasını, onun yeni işçi prosesin tələblərinə tam cavab verməsini, beləliklə də konstruksiyanın praktiki reallaşdırılmasının və onun eksperimental tədqiqinin məqsədəuyğun olduğunu göstərmişdir.*

Abstract. *The construction and operation principle of electronically controlled and piezo actuating new designed injector that meets the specific requirements of a new working process proposed for improving the performances of direct gasoline injection and prechamber-torque ignition engines are considered. The main properties of the mathematical model of the direct gasoline injection system with pressure accumulator, including hydrodynamic processes within the volumes of the nozzle and in the pipelines of the system, as well as some results of calculation investigations of the hydrodynamic processes occurring in the system are given. The results of computational investigations show the operability of the developed construction, the satisfaction of its characteristics to requirements of the working process, the feasibility of practical implementation of construction and its experimental application.*

Аннотация. *В статье рассмотрены конструкция и принцип работы форсунки новой конструкции с электронным управлением и пьезоприводом, удовлетворяющей специфичным требованиям нового рабочего процесса, предложенного с целью улучшения показателей двигателей с непосредственным впрыском бензина в цилиндр и форкамерно-факельным зажиганием. Приведены основные положения математической модели аккумуляторной системы непосредственного впрыска бензина в цилиндр, в том числе, гидродинамических процессов в полостях форсунки новой конструкции и в трубопроводах системы, а также некоторые результаты расчетного исследования гидродинамических процессов, происходящих в системе. Результаты расчетных исследований показывают работоспособность разработанной конструкции, удовлетворение ее характеристик требованиям рабочего процесса, целесообразность практической реализации конструкции и ее экспериментального применения.*

Açar sözlər: *bilavasitə benzin püskürməli mühərrik, təzyiq akkumulyatorlu benzin püskürmə sistemi, elektron idarəetməli forsunka, hidrodinamik proseslər, hesabi eksperiment metodu*

Key words: *direct petrol injection engine, accumulator fuel injection system, electronically controlled injector, hydrodynamic processes, computational experiment method*

Ключевые слова: *двигатель с непосредственным впрыском бензина, система впрыска бензина с аккумулятором давления, электронно-управляемая форсунка, гидродинамические*

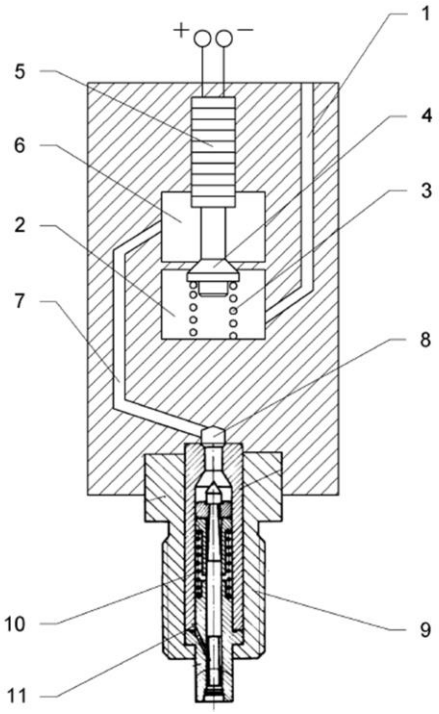
процессы, метод вычислительного эксперимента

Giriş. Məlum olduğu kimi, müasir dövrdə daxili yanma mühərriklərinin texniki-iqtisadi və eləcə də ekoloji göstəriciləri qarşısında sərt tələblər qoyulur. Bu tələbləri təmin etmək energetikanın aktual problemlərindən biridir. Bu problemi mühərrikin konstruksiya edilməsi nöqteyi-nəzərindən həll etmək üçün mühərrikin işçi prosesini təkmilləşdirmək lazımdır. Buna görə də Azərbaycan Texniki Universitetinin (AzTU) "Avtomobil texnikası" kafedrasında bilavasitə silindrə benzin püskürməli və forkamer-məşəllə alışdırmalı mühərrikin yeni işçi prosesi ixtira səviyyəsində təklif olunmuşdur [1].

Məsələnin qoyuluşu. Təklif olunmuş yeni işçi proses mühərrikin yanacaq püskürmə sisteminə bir sıra spesifik tələblər qoyur. Bilavasitə silindrə benzin püskürməli və forkamer-məşəllə alışdırmalı mühərriklərin ənənəvi yanacaq püskürmə sistemləri və eləcə də bu sistemlərin forsunkaları həmin tələblərin bir çoxuna cavab vermir [2]. Buna görə də [3] işində yeni işçi prosesli mühərrik üçün lazımi tələblərə cavab verən yeni konstruksiyalı forsunka işlənmişdir. Bu forsunka pyezointiqallı elektron idarəetməli forsunka olub, təzyiq akkumulyatorlu benzin püskürmə sisteminin tərkibində işləmək üçün nəzərdə tutulmuşdur.

Elektron idarəetməli yeni konstruksiyalı forsunka (şək. 1.) idarəedici klapanın həcmini (2) təzyiq akkumulyatorunun həcmi ilə yüksək təzyiqli yanacaq borusu vasitəsilə birləşdirən giriş kanalına (1), idarəetmə kamerini (6) idarəedici klapanın həcmi ilə birləşdirən idarəedici klapana (4) və klapanlı-soplolu tozlandırıcının həcmi (8) ilə birləşdirən idarəedici kanala (7) və yanacağı püskürmək üçün püskürdücü klapana (11) malikdir.

Forsunka aşağıdakı kimi işləyir. Yanacaq təzyiq akkumulyatorundan idarəedici klapanın həcminə yüksək təzyiqli yanacaq borusundan və giriş kanalından keçərək daxil olur. İdarəedici klapanın bağlı vəziyyətində bu klapanın həcmindəki yanacaq akkumulyatordakı təzyiq altında olur. İdarəedici klapanın həcmindəki yanacağın təzyiqinin və klapanın yayının (3) elastiklik qüvvəsinin hesabına klapanın konusu öz yəhərinə sıxılaraq, yanacağın idarəetmə kamerinə yolunu bağlayır. İdarəetmə kamerinin və klapanlı-soplolu tozlandırıcının həcmlərində, eləcə də idarəetmə kanalında yanacaq əvvəlki püskürmə siklindən qalan qalıq təzyiq altında olur. Bu qalıq təzyiq püskürdücü klapanın (11) açılma təzyiqindən aşağıdır. Buna görə də pyezoelementə (5) idarəedici elektrik gərginliyinin verilmədiyi müddətdə püskürdücü klapan bağlı vəziyyətdə qalır.



Şək. 1. *Elektron idarəetməli pyezointiqallı yeni konstruksiyalı forsunkanın prinsipial sxemi [3]*

Elektron idarəetmə blokundan idarəedici gərginlik verildikdə pyezoelementlər paketi genişlənir və idarəedici klapana təsir göstərir. Nəticədə idarəedici klapan açılaraq yüksək təzyiqli yanacağın idarəetmə kamerinə gedən yolunu açmış olur. Yanacaq idarəetmə kanalından keçərək, idarəetmə kamerindən klapanlı-soplolu tozlandırıcının həcminə yüksək təzyiq altında daxil olur və nəticədə bu həcmdə təzyiq yüksəlir. Buradakı təzyiq püskürdücü klapanın açılma təzyiqindən yüksək olduqda, püskürdücü klapan açılır və yanacaq püskürülməsi baş verir.

Elektron idarəetmə blokundan verilən idarəedici elektrik impulsunun kəsilməsi ilə idarəedici klapan əvvəlki vəziyyətinə qayıdaraq, idarəedici kamerə yanacağın daxil olmasını kəsir. Bunun nəticəsində və həmçinin klapanlı-soplolu tozlandırıcının həcmindən yanacağın silindrə püskürülməsi-

nin davam etməsi nəticəsində, klapanlı-soplolu tozlandırıcının həcmində yanacağın təzyiqi düşür. Bu həcmlə əlaqədə olan idarəetmə kanalında və idarəetmə kamerində də təzyiq düşür. Klapanlı-soplolu tozlandırıcının həcmində təzyiqin püskürdücü klapanın bağlanma təzyiqindən aşağı düşməsi zamanı bu klapan bağlanır, nəticədə yanacağın püskürülməsi kəsilir. İdarəetmə kamerində və klapanlı-soplolu tozlandırıcının həcmində, eləcə də idarəetmə kanalında püskürdücü klapanın açılma təzyiqindən aşağı olan müəyyən qalıq təzyiq yaranır.

Təklif olunmuş yeni konstruksiyalı forsunkanın praktiki reallaşdırılmasından əvvəl onun iş qabiliyyəti qiymətləndirilməli və konstruktiv parametrlərinin optimal qiymətləri müəyyənləşdirilməlidir. Bunun üçün sistemdəki və o cümlədən yeni konstruksiyalı forsunkadakı hidrodinamik proseslər hesabi eksperimentlər vasitəsilə tədqiq olunmalıdır. Buna görə də təqdim olunan işin məqsədi elektron idarəetməli yeni konstruksiyalı forsunkaya malik yanacaq püskürmə sisteminin boruları və həcmlərindəki hidrodinamik prosesləri riyazi modelləşdirmək və həmin riyazi modeli tətbiq etməklə sistemdəki hidrodinamik prosesləri tədqiq etməkdir.

Məsələnin həlli. Elektron idarəetməli yeni konstruksiyalı forsunkası olan təzyiq akkumulyatorlu benzin püskürmə sistemindəki hidrodinamik proseslər riyazi modelləşdirilərkən [4, 5] işlərində təklif olunmuş yanacaq püskürmə sistemindəki hidrodinamik proseslərin maye fazasının bütövlüyünün qırılmasının nəzərə alınması ilə modelləşdirilməsi metodu əsas götürülmüşdür. Qeyd etmək lazımdır ki, həmin riyazi modelləşdirmə metodunun adekvatlığı əvvəllər müxtəlif püskürmə sistemlərində dəfələrlə yoxlanılmış və kifayət qədər yüksək adekvatlığa malik olması sübut olunmuşdur.

Riyazi modeldə yanacaq püskürmə sisteminin borular və kanallarındakı mayenin qərarlaşmamış axını konservativ dəyişənlərlə ifadə olunmuş qərarlaşmamış birölçülü axın tənlikləri – kəsilməzlik və hərəkət miqdarı tənlikləri sistemi ilə təsvir olunmuşdur [5]:

$$\frac{\partial \rho}{\partial \tau} + \frac{\partial (\rho w)}{\partial x} = 0 , \tag{1}$$

$$\frac{\partial (\rho w)}{\partial \tau} + \frac{\partial (\rho w^2 + p)}{\partial x} = -\frac{\lambda_T}{2 d_T} \rho w^2 , \tag{2}$$

Burada

ρ – borudakı mühitin sıxlığı;
p – borudakı mühitin təzyiqi;
w – axının sürəti;
x – borunun uzunluğu boyunca koordinat;
τ – zaman;
λ_T, d_T – uyğun olaraq, borunun hidravlik müqavimət əmsalı və daxili diametridir.

(1) və (2) tənliklərində mühitin sıxlığı ρ və axının saniyəlik hərəkət miqdarı ρw konservativ dəyişənlərdir. (2) tənliyinin sağ tərəfindəki hədd isə borunun hidravlik müqavimətini dəf etməyə sərf olunan hərəkət miqdarını nəzərə alır.

Mühitin təzyiqini təyin etmək üçün (1) və (2) tənliklərinə məlum ifadə əlavə olunur [5]:

$$\frac{\partial p}{\partial \tau} = c^2 \frac{\partial \rho}{\partial \tau} , \tag{3}$$

burada c – axında təzyiq dalğasının yayılma sürətidir.

Sistemin həcmlərindəki hidrodinamik proseslər müvafiq sərhəd şərtləri tənlikləri ilə təsvir olunmuşdur. Məsələn, forsunkanın idarəedici klapanının həcmi üçün sərhəd şərti tənliyi – bu həcmdə olan maye kütləsi üçün kütlə balansı tənliyi aşağıdakı kimidir [4]:

$$\frac{dG_i}{d\tau} = f_{gk}\rho_{gkç}w_{gkç} - \mu_{ikl}\, f_{ikl}\rho_{ik}w_{ik}. \qquad (4)$$

Burada:

G_i – forsunkanın idarəedici klapanının həcmindəki yanacağın kütləsi;

f_{gk} – giriş kanalının en kəsik sahəsi;

$\mu_{ikl}\, f_{ikl}$ – idarəedici klapanın effektiv keçid sahəsi;

$\rho_{gkç}$ və ρ_{ik} – uyğun olaraq, giriş kanalının çıxışındakı və idarəetmə kamerindəki mayenin sıxlığı;

$w_{gkç}$ və w_{ik} – uyğun olaraq, giriş kanalının çıxışındakı və idarəetmə kamerindəki mayenin axın sürətləridir.

Borunun elementar hesabi məntəqələrində və eləcə də sərhəd həcmlərində sıxlığın $\rho \geq \rho_0$ qiymətində hesab edilir ki, mühit birfazalı maye mühitidir və (3) ifadəsindən mühitin təzyiqinin cari qiyməti müəyyənləşdirilir. $\rho < \rho_0$ olduqda isə mühit ikifazalı qaz-maye mühiti hesab olunur və təzyiq aşağıdakı kimi təyin edilir [6]:

$$p = \frac{\rho\rho_0\chi}{\rho_0 - \rho(1-\chi)}\ . \qquad (5)$$

Burada:

ρ_0 – atmosfer təzyiqində maye yanacağın sıxlığı;

χ – Henri qanunundakı havanın yanacaqda həllolma qabiliyyətini göstərən əmsaldan asılı olaraq yanacağın verilən temperaturu üçün təyin edilən sabit əmsal.

Yanacaq sisteminin boruları və kanallarındakı hidrodinamik prosesləri təsvir edən riyazi model tənlikləri ((1) və (2) tənlikləri) birölçülü xüsusi törəməli diferensial tənliklərdir. Bu tənliklər S.K.Qodunovun "ixtiyari kəsilmənin dağılması" adlanan sonlu fərqlər metodu ilə həll edilmişdir. Həcmlərdəki hidrodinamik prosesləri təsvir edən sərhəd şərtləri tənlikləri (4) adi diferensial tənliklərdir. Bu tənliklər Eylerin I tərtib sonlu fərqlər sxemi vasitəsilə həll edilmişdir. Hərəkət edən mexaniki elementlərin, yəni klapanların hərəkət tənlikləri isə Nyutonun II qanunu əsasında tərtib olunmuş və Eylerin I tərtib sonlu fərqlər sxemi vasitəsilə həll edilmişdir.

Qeyd etmək lazımdır ki, riyazi modeldə püskürmə sisteminin boru, kanal və həcmlərindəki hidrodinamik proseslərə təsir göstərən bütün amillər nəzərə alınmışdır.

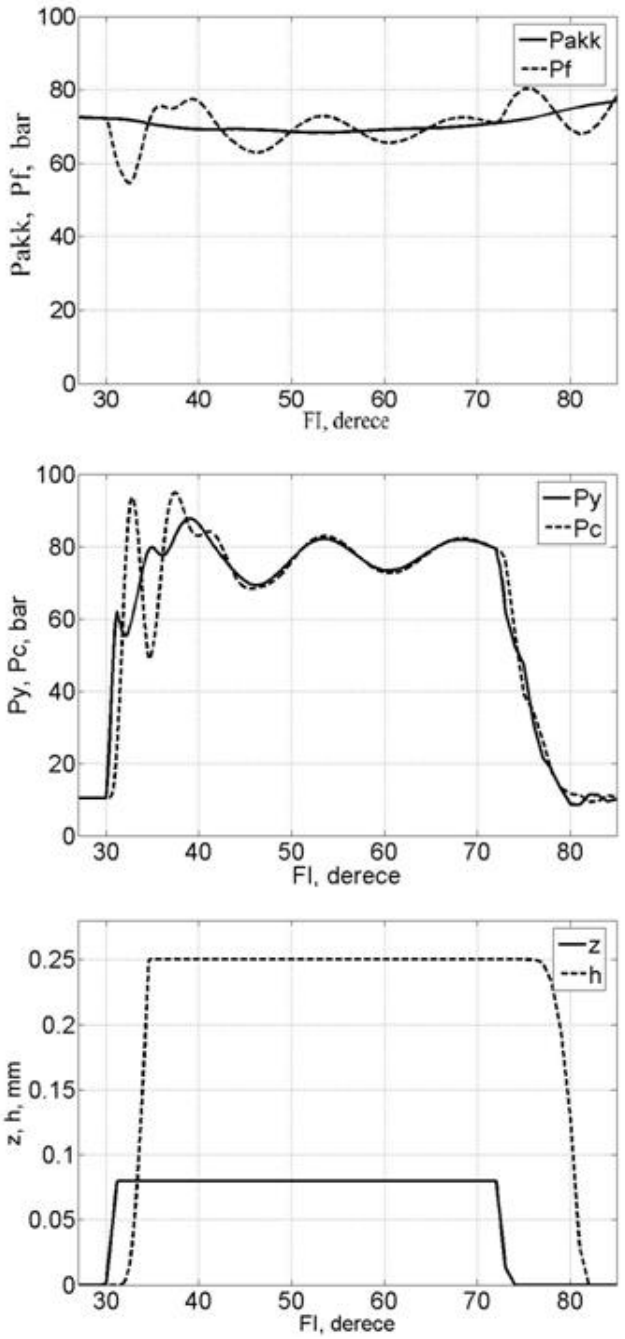
Tərtib olunmuş riyazi model elektron idarəetməli yeni konstruksiyalı forsunkası olan bilavasitə silindrə benzin püskürmə sistemindəki hidrodinamik proseslərin tədqiqi üçün tətbiq olunmuşdur. Bu məqsədlə riyazi model kompüter proqramı şəklində reallaşdırılmışdır və onun vasitəsilə bir sıra hesabi eksperimentlər aparılmışdır.

Hesabi tədqiqatlar müxtəlif rejimlərdə aparılmışdır. Belə ki, pyezo-aktuatora idarəedici impulsun verilmə və kəsilmə anının dəyişdirilməsi ilə püskürmənin davamiyyət müddəti, deməli həm də püskürülən yanacağın sikllik miqdarı geniş hədlərdə dəyişdirilmişdir. Bundan başqa, həm də dirsəkli valın dövrlər sayı və yüksək təzyiqli yanacaq nasosunun çıxışındakı təzyiq (deməli həm də təzyiq akkumulyatorundakı yanacağın təzyiqi) geniş hədlərdə dəyişdirilmişdir. Nəticədə zamandan və ya dirsəkli valın dönmə bucağından asılı olaraq müxtəlif rejimlərdə sistemin həcmlərindəki və borularının bütün hesabi kəsiklərindəki yanacağın təzyiqinin və sürətinin dəyişməsi, eləcə də hərəkətli elementlərin (klapanların) hərəkət əyriləri haqqında müfəssəl informasiyalar əldə olunmuşdur.

Alınmış nəticələrin analizi. Riyazi modelləşdirmənin bəzi nəticələri şək. 2-də göstərilmişdir.

Hesabi tədqiqatların nəticələrinin qrafik vizuallaşdırılması göstərir ki, qazpaylama valının dönmə bucağının $\varphi = 30°$ qiymətində idarəedici klapanın qalxmağa başlaması və bunun hesabına yanacağın idarəedici klapanın həcmindən idarəetmə kamerinə axması nəticəsində idarəetmə kamerində təzyiq yüksəlməyə başlayır, idarəedici klapan həcmində isə təzyiqin düşməsi və bundan sonra intensiv təzyiq rəqsləri müşahidə edilir. Bu təzyiq rəqsləri forsunkanın giriş kanalı və yüksək

təzyiqli yanacaq borusu vasitəsilə təzyiq akkumulyatoruna geri qayıdır. Təzyiq akkumulyatorunun həcminin idarəedici klapanın həcmindən xeyli böyük olması səbəbindən burada təzyiq rəqsləri böyük olmayan amplitudaya malik olur.



Şək. 2. *Təzyiq akkumulyatorundakı (Pakk), idarəedici klapanın həcmindəki (Pf), idarəetmə həcmindəki (Py) və tozlandırıcının həcmindəki (Pc) yanacağın təzyiqinin və eləcə də pyezo-aktuatorla idarəedici klapanın (z) və püskürdücü klapanın gedişinin (h) mühərrik valının dönmə bucağından (Fi) asılı olaraq dəyişmə əyriləri (Qrafiklər yüksək təzyiqli yanacaq nasosunun çıxışındakı təzyiqin 80 bar qiymətinə uyğundur)*

Qrafikdən tozlandırıcının həcmindəki təzyiq əyrisinin formasının elektron idarəetməli forsunkaların tozlandırıcı həcmlərindəki təzyiq əyrisinin xarakterik formasına uyğunluğu müşahidə olunur. Görünür ki, burada təzyiq əvvəlki püskürmə siklindən qalan təqribən *10 bar*-a bərabər olan qalıq təzyiqdən başlayaraq yüksəlir. Tozlandırıcının həcmi ilə idarəetmə həcminin bir-biri ilə en

kəsik sahəsi kiçik olan idarəedici kanal vasitəsilə əlaqələndirilməsi səbəbindən, bu iki həcmin təzyiq əyrilərinin forması arasında kiçik fərq və kiçik təzyiq düşküsü olur. İdarəedici klapanın bağlanmasından və bunun hesabına klapanlı-soplolu tozlandırıcının həcminə yanacaq verilişinin kəsilməsindən sonra bu həcmdən püskürdücü klapan vasitəsilə püskürülən yanacaq çıxdıqca, təzyiq düşür və püskürdücü klapan püskürməni kəsərək bağlanır. Püskürmə prosesinin kəsilməsi ilə hər iki həcmdə təzyiqlər bərabərləşir və təzyiq rəqsləri sönərək, həmin qalıq qiymətində qərarlaşır.

Pyezo-aktuatorla idarəedici klapanın düz və əks istiqamətdə birgə hərəkətə başlaması anları püskürmənin davamiyyət müddətinin və beləliklə də, püskürülən yanacağın sikllik miqdarının idarəolunması üçün idarəedici təsirlərdir. Buna görə də bu anlar riyazi modelə verilənlər qismində daxil edilir. Püskürdücü klapan isə ona təsir edən təzyiqlər fərqi nəticəsində hərəkət edir.

Göründüyü kimi, idarəedici klapanın hərəkətə gəlməsi ilə dərhal püskürdücü klapan hərəkət etməyə başlayır. Bunun özü çeviklik nöqteyi-nəzərindən təklif olunmuş konstruksiyanın kifayət qədər effektiv olmasını sübut edir. Lakin idarəedici klapanın bağlanması zamanı püskürdücü klapanın bağlanması müəyyən qədər gecikir. Belə ki, püskürdücü klapan tozlandırıcının həcmindən püskürülən yanacağın çıxışı nəticəsində burada təzyiqin düşməsi səbəbindən bağlanmağa başlayır. Bu cəhət püskürmə prosesinin başlanğıc fazası ilə müqayisədə son fazasının çevikliyini azaldır. Lakin, buna baxmayaraq, forsunkanın belə konstruksiyasında püskürmə prosesi tam idarəolunandır və konstruksiya lazımi tələblərə cavab verir. Bunu həm də püskürmə prosesinin kiçik təzyiq rəqsləri ilə müşayiət olunması və püskürdücü klapanın *0,25 mm*-ə qədər kifayət qədər böyük gedişinə baxmayaraq, püskürmə prosesi ərzində həmin klapanın etibarlı halda dayaqda oturması sübut edir.

Nəticə. Elektron idarəetməli yeni konstruksiyalı forsunkası olan bilavasitə silindrə benzin püskürmə sistemindəki hidrodinamik proseslərin riyazi model vasitəsilə aparılmış hesabi eksperimentləri təklif olunan yeni konstruksiyalı forsunkanın iş qabiliyyətli olmasını, işçi prosesin qoyduğu bütün tələbləri təmin etməsini, eləcə də konstruksiyanın praktiki reallaşdırılmasının və onun sonrakı eksperimental tədqiqatlarının aparılmasının məqsədə uyğunluğunu tam sübut etmişdir.

Ədəbiyyat

1. Керимов З.Х., Мамедзаде Х.Ш., Джафарли М.К. Форкамерный двигатель с непосредственным впрыском топлива в цилиндр и принудительным зажиганием. Евразийский Патент № 023968 (Номер заявки 201400220). (Дата приоритета с 17.12.2013) Бюллетень ЕАПВ 7′2016.
2. Керимов З.Х., Джафарли М.К. Системы впрыска бензина с аккумулятором давления и проблемы их применения в форкамерно-факельном двигателе с новым рабочим процессом // Azərbaycan Texniki Universiteti, Elmi əsərlər, Texnika elmləri, AzTU, Bakı, 2016, № 4. Cild 1. səh. 68-74.
3. Керимов З.Х., Джафарли М.К. Разработка новой конструкции электронно-управляемой форсунки для двигателя с непосредственным впрыском бензина и форкамерно-факельным зажиганием // Azərbaycan Ali Texniki Məktəblərinin Xəbərləri. ADNSU. Bakı. 2017. Cild 19, № 3 (107). səh. 63-71.
4. Керимов З.Х. Математическое моделирование гидродинамических процессов с учетом двухфазной среды в граничных полостях дизельной системы впрыска топлива // Авиационно-космическая техника и технология. Харьков. 2004. Вып.8 (16). с. 63–69.
5. Керимов З.Х. Некоторые результаты математического моделирования волновых процессов в двухфазной среде в дизельной топливовпрыскивающей системе // Двигатели внутреннего сгорания. Харьков, Украина. 2004. №1. с. 20-24.
6. Керимов З.Х., Годжаев К.М. Ускоренный метод математического моделирования процесса впрыска топлива в дизельных двигателях // Журн. “Механика-Машиностроение”. Министерство Образования Азербайджанской Республики. Баку. 2009. №2. с. 81-84.

Təvsiyə edib: t.ü.f.d., dos. ***A.Ş.İsmayılov***

UOT 621.436

6Ч12/14 MARKALI KÖMƏKÇİ GƏMİ MÜHƏRRIKININ SINAQ QURĞUSU VƏ SINAĞIN NƏTİCƏLƏRİNİN HESABLANMASI METODİKASI

Talıbov N.Ş., Rəhmanov M.X.

Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası
AZ1000, Bakı şəh, Z.Əliyeva küç., 18
E-mail:mugabil-rahmanov@mail.ru

Xülasə*. Məqalədə köməkçi mühərrik kimi istifadə olunan 6 silindrli, 4 taktlı, 6Ч12/14 markalı dizelin bazasında yaradılmış sınaq qurğusu, mühərrikin yanacaq, soyutma, yağlama və hava ilə işəsalma sistemləri, sınağın aparılması və onun nəticələrinin hesablanması metodikası barədə məlumat verilmişdir.*

Abstract*. The article deals üith the trial arrangement and the calculation methods of experimant ühich üas built on the base of 6 sylinder, 4 strohe 6Ч12/14 marched diesel engine used as an auxiliary one.*

Аннотация. *В статье приведены сведения по экспериментальной установке, созданной на базе 6-ти цилиндрового, четырехтактного, вспомогательного судового дизельного двигателя марки 6Ч12/14, о системах топлива, охлаждения, смазки и пуска двигателя, о методике проведения экспериментов и обработке его результатов.*

Açar sözlər*: sınaq qurğusu, köməkçi gəmi dizeli, yanacaq sistemi, soyutma sistemi, yağlama sistemi, işəsalma sistemi, saatlıq yanacaq sərfi, saatlıq hava sərfi, hava artıqlıq əmsalı, effektiv güc, xüsusi effektiv yanacaq sərfi*

Key words*: test device, technique, diesel, direct current, nozzle, motor potential, lub oil, fuel oil and coolinq system, the electric scheme Leonard*

Ключевые слова: *испытательная установка, вспомогательный судовой дизель, топливная система, система охлаждения, система смазки, система пуска, часовой расход топлива, часовой расход воздуха, коэффициент избытка воздуха, эффективная мощность, удельный эффективный расход топлива*

Giriş. Tədqiqat obyekti olaraq gəmilərdərdə köməkçi mühərrik kimi istifadə edilən 6 silindrli, 4 taktlı, 6Ч12/14 markalı dizel mühərriki seçilmişdir. Sınaq qurğusunun quraşdırılmasında məqsəd müxtəlif istismar parametrlərinin (ətraf mühit şəraitinin, dəniz suyu temperaturunun, yanacağın növünün dəyişməsinin, forsunkanın başlanğıc püskürməm təzyiqinin və s.) mühərrikin texniki-iqtisadi göstəricilərinə təsirinin sınaq yolu ilə tədqiq edilməsidir. Sınaq qurğusunda yerləşdirilən dizel mühərriki, gəmidə olduğu kimi, dəyişən cərəyan generatorunu hərəkətə gətirir və alınan elektrik enerjisi baş paylayıcı şitə verilir. Mühərrikin soyutma, yanacaq, yağlama və işəsalma sistemləri gəminin maşın zalında olan şəkildə həyata keçirilir. Bundan başqa yanacaq və hava sərflərinin, eləcə də mühərrikin dövrlər sayının və gücünün ölçülməsi üçün istifadə olunan avadanlıq və cihazlar sınaq olunan dizelin əsas iqtisai və enegetik göstəricilərinin təyin olunmasına, bu isə öz növbəsində, qarşıda qoyulan tədqiqat işlərinin aparılmasına imkan verir. Bu baxımdan məqalədə şərh olunan məsələləri aktual hesab etmək olar.

Əsas hissə. 6Ч12/14 markalı dizel mühərriki gəmilərdə 50 kVt gücə malik olan sabit və dəyişən cərəyan generatorlaına, o cümlədən, mərkəzdənqaçma nasoslarına hərəkət verməkk üçün istifadə edilir.

Mühərrikin əsas texniki-iqtisadi göstəriciləri aşağıdakı cədvəldə göstərilmişdir [1]:

Cədvəl

6 Ч 12/14 markalı mühərrikin əsas texniki-iqtisadi göstəriciləri

S/S	Göstəricilər	Qiymət
1.	Mühərrikin nominal gücü, kVt	59
2.	Nominal dövrlər sayı, dəq^{-1}	1500
3.	Silindrlərin sayı	6
4.	Silindrin diametri, mm	120
5.	Porşenin gedişi, mm	140
6.	Silindrin işçi həcmi, dm^3	1,583
7.	Porşenin orta sürəti, m/san	7
8.	Sıxma dərəcəsi	15
9.	Orta effektiv təzyiq, MPa	0,49
10.	Xüsusi effektiv yanacaq sərfi, q/(kVt saat)	245
11.	Motoresurs, saat	12000÷14000

Sınaq qurğusunun ümumi görünüşləri şəkil 1 və şəkil 2-də baş paylayıcı şitin ümumi görünüşü isə şəkil 3-də göstərilmişdir.

Sınaq olunan mühərrikin qida sisteminə sərfiyyat yanacaq çəni, kobud yanacaq süzgəci, alçaq təzyiqli yanacaq nasosu (ATYN), narın yanacaq süzgəci, yüksək təzyiqli yanacaq nasosu (YTYN), forsunkalar, yüksək və alçaq təzyiqli yanacaq boruları daxildir.



Şəkil 1. *Sınaq qurğusunun ümumi görünüşü*

Yanacaq ehtiyat çənindən öz axını ilə separatora daxil olur (seperator ehtiyat çənindən aşağıda yerləşmişdir) və separatorda təmizlənərək sərfiyyat çəninə vurulur. Sərfiyyat çəni təxminən 3 m hündürlükdə yerləşdiyindən yanacağın ATYN-ə verilməsi basqı hesabına əldə edilir.

Mühərrikin yağlama sistemi qapalı, dövri və nəm karterlidir. Yağlama sistemi mühərrikin sürtünən hissələrinə yağın təzyiq altında verilməsini təmin edir. Yağlama sistemindəki təzyiq və yağın temperaturu mühərrikin üzərındəki yoxlama cihazları şitində yeləşdirilən manometr və

termometrlə təyin edilir. Sınaq zamanı yağlama sistemindəki təzyiq və temperatur uyğun olaraq *0,18÷0,25 MPa* və $80 \div 90^0$ *S* hədlərində olmalıdır.



Şəkil 2. *Sınaq qurğusunun ümumi görünüşü*

Mühərrikin soyutma sistemi onun qızmış hissələrindən istiliyi aparmaqla soyutma sistemində normal temperatur rejimini saxlayır. Soyutma sistemi qapalı və açıq olmaqla iki konturludur. Silindr vtulkası, silindrlər başlığı və xaricetmə kollektoru qapalı sistemdəki soyuducu maye və yaxud şirin su ilə soyudulur. Qapalı konturdakı soyuducu maye və yaxud içməli su isə soyuducudan keçən açıq soyutma sisteminin suyu ilə soyudulur. Soyutma sistemin işinə yoxlama cihazları şitində yeləşdirilən manometr və termometrlə nəzarət edilir. Sınaq zamanı soyutma sistemindəki temperatur rejimi $70 \div 75^0$ *S* hədlərində saxlanılır.



Şəkil 3. *Baş paylayıcı şit*



Şəkil 4. *Yanacaq sərfinin ölçülməsi*

Sınaq qurğusunda saatlıq hava sərfi PГ100 -1 markalı rotasion qaz sayğacı ilə təyin edilir. Sayğac mühərrikə resiver vasitəsi ilə birləşdirilmişdir. Resiverin həcminin boyük olması sorma sistemində hava axınındakı təzyiq pulsasiyalarını söndürməyə imkan verir.

Dirsəkli valın dövrlər sayını məsafədən ölçmək üçün verici və ölçəndən ibarət olan taxometrdən istifadə olunur. Taxometrin vericisi YTYN-in intiqalında, ölçəni isə yoxlama cihazları şitində yerləşir. İntiqaldan vericiyə ötürmə ədədi 1:2-dir. TƏ1-3M markalı bu taxometrin ölçmə diapazonu 500÷3000 dəq-1-ə bərabərdir.

Ətraf mühitin təzyiqi БАММ-1 markalı barometr, temperaturu isə civəli termometrlə ölçülür.

Mühərriki işə salmaq üçün sıxılmış hava sistemindən istifadə edilir. Bu sistemə hava balonları, işəsalma kranları, havapaylayıcısı, altı ədəd avtomatik işəsalma klapanları və hava boruları daxildir. Hava balonlarına sıxılmış hava ikipilləli kompressorun köməyi ilə doldurulur.

Motor sınaqlarının mühərrikin nominal dövrlər sayında ($n=1500$ *dəq*$^{-1}$) aparılması nəzərdə tutulur. Bu zaman onun yüklənməsi laboratoriyada olan avadanlıq və mexanizmlərinin ardıcıl olaraq işə qoşulması ilə həyata keçriləcəkdir (*50 kVt*-a qədər).

Təcrübələrin nəticələrinə əsasən sınaq olunan mühərrikin əsas gostəriciləri aşağıdakı kimi hesablanır:

1. Mühərrikin saatlıq yanacaq sərfi həcmi üsulla (şəkil 4.) təyin edilir və aşağıdakı düsturla hesablanır [2]:

$$G_y = 3{,}6 \cdot \Delta V_y \cdot \rho_y / \tau_y \quad kq/saat \tag{1}$$

burada ΔV_y – qəbul olunmuş yanacaq dozasının həcmi, sm^3; ρ_y – yanacağın sıxlığı, q/sm^3;

τ_y – yanacaq dozasının sərf olunma müddətidir, *san*.

2. Mühərrikin saatlıq hava sərfi qaz sayğacı vasitəsilə (şəkil 2.) aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$G_h = 3600 \cdot \Delta V_h \cdot \rho_h / \tau_h, \quad kq/saat \tag{2}$$

burada ΔV_h - qəbul olunmuş hava dozasının həcmi, m^3; ρ_h - havanın sıxlığı, kq/m^3 ; τ_h – qəbul edilmiş hava dozasının silindrə daxil olduğu vaxtdır, *san*.

Havanın sıxlığı ətraf mühit təzyiqindən və temperaturundan asılı olaraq aşağıdakı kimi tapılır:

$$\rho_h = \frac{P_0 \cdot 10^6}{R_h \cdot T_0}, \quad kq/m^3 \tag{3}$$

burada P_0 - ətraf mühitin təzyiqi, *MPa*; R_h - hava üçün qaz sabiti, *C/(kq·dər)*; T_0 - ətraf mühitin temperaturudur, *K*.

3. Mühərrikin hava artıqlıq əmsalı:

$$\alpha = G_y / \left(l_o \cdot G_y \right) \tag{4}$$

burada $l_0 - 1kq$ yanacağın tam yanması üçün tələb olunan havanın nəzəri miqdarıdır, *kq/kq*. Standart dizel yanacağı üçün $l_0 = 14{,}5$, *kq/kq* qəbul olunur.

4. Mühərrikin doldurma əmsalı:

$$\eta_v = 0{,}0425 \cdot G_h / \left(i \cdot D^2 \cdot S \cdot \rho_h \cdot n \right), \tag{6}$$

burada *i* – silindrlərin sayı; *D* – silindrin diametri, *m*; *S*-porşenin gedişi, *m*; *n* – mühərrkin dövrlər sayıdır, *dəq*$^{-1}$.

5. Mühərrikin effektiv gücü (Ne) baş paylayıcı şitə görə təyin edilir (*KVt*-la).

6. Mühərrikin xüsusi effektiv yanacaq sərfi (g_e) aşağıdakı ifadə ilə hesablanır:

$$g_e = \frac{G_y}{N_e}, \quad kq/(kVt \cdot saat) \tag{7}$$

7. Mühərrikin orta effektiv təzyiqi (*Pe*) aşağıdakı kimi təyin edilir:

$$P_e = \frac{30 \cdot \tau \cdot N_e}{V_s \cdot i \cdot n},\ MPa \tag{8}$$

burada $\tau=4$- mühərrikin takt əmsalı; Vs= 1,583 dm^3- silindirlərin işçi həcmidir.

8. Xüsusi effektiv yanacaq sərfi:

$$g_e = 1000 \cdot G_y / N_e,\ \ q/(kVt \cdot saat) \tag{9}$$

9. Xüsusi indikator yanacaq sərfi:

$$g_i = 1000 \cdot G_y / N_i,\ q/(kVt \cdot saat) \tag{10}$$

Nəticə. 1**.** 6Ч 12/14 markalı köməkçi gəmi dizelinin bazasında qurulmuş sınaq stendi müxtəlif istismar parametrlərinin mühərrikin göstəricilərinə təsirini aydınlaşdırmaq məqsədi ilə aparılan tədqiqat işlərini yerinə yetirməyə imkan verir; 2**.** Təklif olunmuş hesablama metodikasına əsasən sınaq zamanı aparılan ölçmələrə görə mühərrikin əsas göstəricilərini təyin etmək mümkündür; 3**.**Bu qurğudan və hesablama metodikasından istifadə edərək tədris prosesində müvafiq fənlərə aid laboratoriya işlərini yerinə yetirmək olar.

Ədəbiyyat

1. Дизели ряда 6Ч12/14 и дизель-генераторы. М.: Машиностроение, 1973, 336 с.
2. Исмаилов А. Ш. Исследование рабочего процесса дизеля с ПАРСС восстанавливающий объем камера сгорания в конце выпуска в начале наполнения. Дис….канд. тех. наук, Баку, 1990, 187 с.

Tövsiyə edib: t.ü.f.d., dos. ***A.Ş.İsmayılov***

GƏMİÇİLİKDƏ TƏBİƏT ELMLƏRİ PROBLEMLƏRİ

УДК:678.017.620.17

ОБРАЗОВАНИЕ И РАССАСЫВАНИЕ ЗАРЯДОВ В КИНЕТИКЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО РАЗРУШЕНИЯ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ

Алиева И.К.

Азербайджанская Государственная Морская Академия
Az 1000, г Баку, ул. З.Алиевой, 18
E-mail: iradealiyevakerim@gmail.com

Xülasə. *Müxtəlif molekulyar üstlü quruluşa malik polipropilen-aşağı sıxlıqlı polietilen kompozitlərin sabit elektrik sahəsində və aralıq temperaturunda yaşama müddətinə τ_E (deşilmənin gözlənilmə zamanı) görə paylanması ölçülmüşdür. Elektrik sahəsinin fasiləli və fasiləsiz təsiri zamanı deşilməyən nümunələrin yaşama müddətləri qarşılaşdırılmışdır. Fasilə zamanı temperaturun və əks işarəli sahənin qiymətindən asılı olaraq polimer kompozitlərin (PK) elektrik möhkəmlik xassələrində müxtəlif dərəcədə regenerasiya müşahidə edilmişdir. Regenerasiya dərəcəsinə görə elektrik dagılmasına aparan yüklərin sorulma prosesinin aktivasiya enerjisi hesablanmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, sorulma prosesinin aktivasiya enerjisi əks işarəli sahənin intensivliyinin artması ilə xətti olaraq azalır.*

Abstract. *The distribution of electrical durability in a constant electric field at moderate temperatures of low-density polypropylene-polyethylene (PP-LDPE) polymer compositions (PC) with various supra molecular structures (NMS) was measured. The activation energies of the process of effective dissolution of accumulated changes in PC leading to breakdown are determined. It is shown that the process of resorption of changes, the accumulation of which leads to breakdown, has a thermo fluctuation character, and the activation energy of this process depends on the magnitude of the strength of the opposition.*

Аннотация. *В статье анализировано измерение распределения по электрической долговечности τ_E в постоянном по знаку поле при умеренных температурах полимерных композиций (ПК) полипропилен-полиэтилен низкой плотности (ПП-ПЭНП) с различными надмолекулярными структурами (НМС). Сравнены результаты опытов с непрерывным и прерываемым действием поля на образцах, оставшихся непробитыми после выдержки в течение времени, равному среднему значению $\lg\tau_E$. В перерывах варьировались: температура (Т), напряжение поля противоположного знака ($E_{пп}$), в зависимости от чего наблюдалась различная степень регенерации электропрочностных свойств ПК. По степени регенерации определены энергия активации процесса рассасывания зарядов, накопление которых ведет к пробою. Показано, что энергия активации процесса рассасывания линейно уменьшается с повышением напряженности противополя*

Açar sözlər: *polimer kompozitlər, üst molekulyar quruluş, elektrik dağılması, dağılmanın kinetikası, sorulma prosesi, aktivasiya enerjisi*

Key words*: polymer composition, supra molecular structure, electrical destruction, kinetics of destruction, process depends, activation energy*

Ключевые слова*: полимерные композиции, надмолекулярная структура, электрическое разрушение, кинетика разрушения, процесс рассасывания, энергия активации*

Введение. Проблема электрической прочности полимерных композиционных (ПК) материалов остается важной как в научном, так и в техническом отношении. В частности, до

сих пор значительный интерес представляет выяснение природы длительной электрической прочности или кинетики электрического разрушения ПК. Кинетический характер электрического разрушения проявляется прежде всего в том, что пробой данного диэлектрика происходит при различных значениях напряженности электрического поля (Е). но за различное время (τ) действия Е, причем чем меньше Е, тем больше τ [2, 4, 8, 9]. Электрическую прочность ПК можно характеризовать долговечностью τ_E – временем ожидания пробоя при заданной величине напряженности постоянного (по знаку) электрического поля [2,9]. Наличие τ_E означает, что под действием поля в ПК идут процессы, подготавливающие диэлектрик к пробою. Отсюда следует, что процесс состоит из последовательности неких элементарных актов, время ожидания которых и определяет темпы процесса. Элементарные акты приводят к образованию локальных изменений, которые условно назовем «элементами разрушения». Накопление этих элементов за время τ_E создает условие зарождения и развития магистрального пробоя. Для случаев действия электрического поля на диэлектрики при умеренных температурах вывод о накопительном процессе согласуется с данными о возможности регенерации электрической прочности [2,10].

Постановка задачи. Детализация накопительного характера подготовки полимерных композиций к пробою, а также расчет энергии активации процесса рассасывания образовавшихся зарядов, накопление которых ведет к пробою.

Объекты и методика измерения. Объектами исследования были взяты пленки толщиной в несколько десятков мкм из (ПК) ПП-ПЭНП при соотношении компонентов (80:20) с различными НМС. Использовали прижимные электроды типа плоскость-плоскость, конструкция которых исключала поверхностные разряды и краевые эффекты [2]. Пробой фиксировался по импульсу тока в цепи.

Экспериментальные результаты. На рис. 1 показаны интегральные функции распределения быстро охлажденных (БО) и медленно охлажденных (МО) образцов (ПК) ПП-ПЭНП по $\lg\tau_E$ при напряженности постоянного по знаку поля $E= 5{,}5\cdot10^8$ В/м и $E= 2{,}5\cdot10^8$ В/м, соответственно. По оси ординат отложена функция $1-\frac{n_\tau}{n}$, где n – полное число образцов по серии; n_τ –число образцов, оставшихся непробитыми после времени выдержки τ.

Из рис.1 определялись значения долговечности τ_1, отвечающие пробою половины числа образцов. Далее брались новые серии таких же образцов и выдерживались при таких же напряжениях в течение времени τ_1, после чего напряжение снималось. В результате оставалась непробитой половина числа образцов, с которыми и производились дальнейшие операции.

Анализ результатов. Смысл и способ анализа данных схематически пояснен в работе [2]. В этом случае было возможным произвести оценку времени релаксации (τ_p), т.е. эффективного времени рассасывания накопившихся изменений [2]. Для оценки характерного времени регенерации (времени релаксации изменений τ_p) требуется сделать регенерацию неполной. С этой целью на различных сериях образцов, выдержанных при Т=223К под действием напряженности $5{,}5\cdot10^8$ В/м (БО образцы ПП–ПЭНП) и $2{,}5\cdot10^8$ В/м (МО образцы ПП–ПЭНП) в течение времени τ_1 (661 с для БО образцов ПП–ПЭНП и 871 с для МО образцов ПП–ПЭНП), варьировались температура и продолжительность перерыва, а также величина постоянного (по знаку) противополя. Диапазоны вариации составляли: для БО образца ПП–ПЭНП – напряженность, обеспечивающая противополе от 0 до $4{,}5\cdot10^8$ В/м, температура от 293К до 333К, время от 10^3 с до 10^4 с; для МО образца ПП–ПЭНП соответственно – от 0 до $2{,}0\cdot10^8$ В/м, температура от 293К до 333К, время от 10^3 с до 10^4 с.

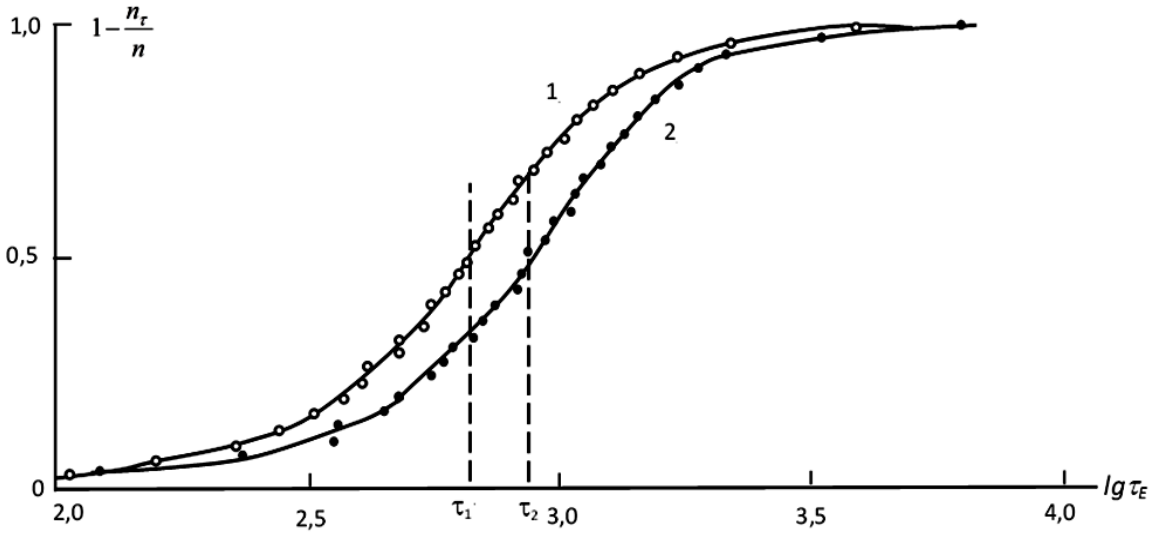


Рис.1. *Интегральное распределение образцов по времени ожидания пробоя (долговечности) в постоянном электрическом поле. Температура 223К 1 – БО образцов ПП-ПЭНП, 30 образцов, Е=5,5·10^8 В/м; 2 – МО образцов ПП-ПЭНП, 30 образцов, Е=2,5·10^8 В/м;*

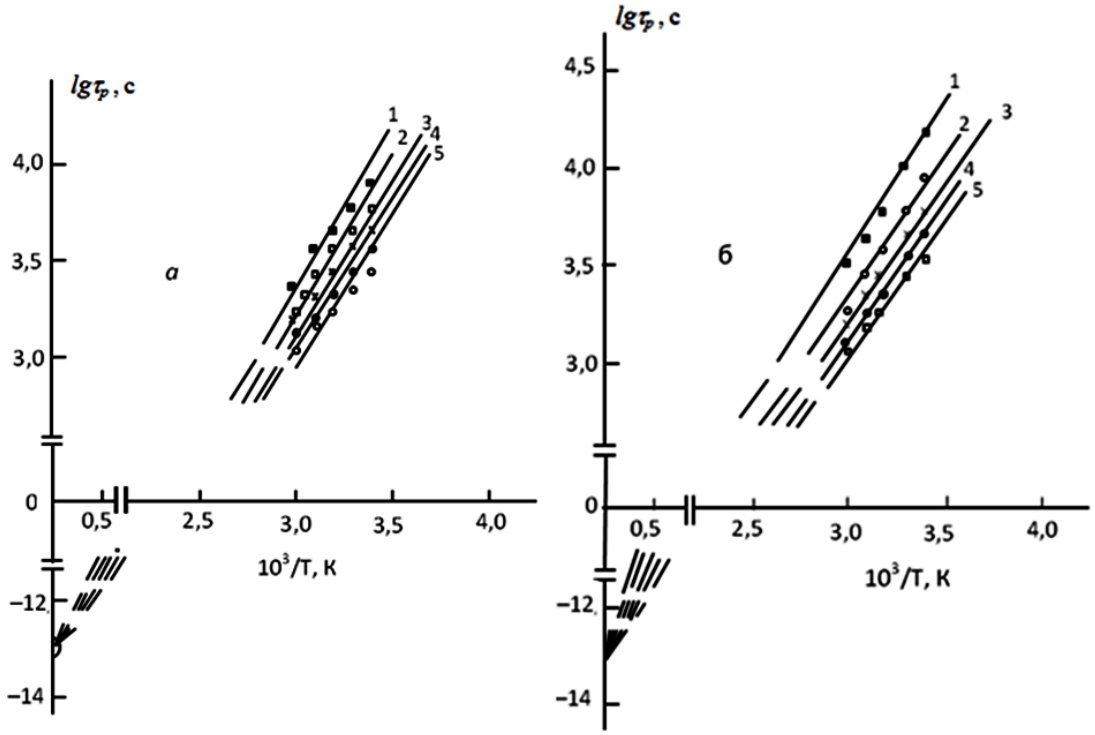


Рис.2. *Температурные зависимости времени релаксации накопившегося заряда в аррениуссовских координатах при различных значениях противополя ($E_{пп}$). Композиция ПП-ПЭНП*
а – БО образцов $E_{пп}$, 10^8 В/м: 1–0, 2–3.0, 3–3.5, 4 –4.0, 5–4.5
б – МО образцов $E_{пп}$, 10^8 В/м: 1–0, 2–0.5, 3–1.0, 4 –1.5, 5–2.0

$$\tau_p(E_{пп},T) \simeq \tau_0 \cdot \exp\frac{W(E_{пп})}{k \cdot T}. \quad (1)$$

В результате были получены значения τ_p для различных температур (Т) и величин напряженности ($E_{пп}$) противополя. Для полимерных композиций ПП–ПЭНП зависимости $lg\tau_p(1/T)$ при ряде значений $E_{пп}$ представлены на рис. 2. Как видно, можно наметить линейную экстраполяцию зависимостей $lg\tau_p(1/T)$ для каждого значения $E_{пп}$ с некоторым уменьшением наклона прямых с ростом $E_{пп}$. Важно подчеркнуть, что экстраполяция зависимостей $lg\tau_p(1/T)$ к 1/T =0 приводит к значениям $10^{-14} \div 10^{-12}$ с, причем можно достаточно непринужденно представить зависимости $lg\tau_p(1/T)$ при разных $E_{пп}$ пучком прямых с полюсом $lg\tau_0 \approx -13$ при 1/T =0 (рис.2). Таким образом, зависимость $\tau_p(E_{пп},T)$ можно описать выражением

Вид выражения (1) указывает на то, что процесс рассасывания изменений, накопление которых ведет к пробою, носит термофлуктуационный характер, причем энергия активации $W(E_{пп})$ этого процесса зависит от величины напряженности противополя.

Величину энергии активации при ряде значений $E_{пп}$ можно получить из наклона прямых, показанных на рис.2 и таким образом установить вид зависимости $W(E_{пп})$. Полученные таким путем величины W (для разных $E_{пп}$ и Т) представлены на рис.3 в координатах W– $E_{пп}$ для БО образцов композиции ПП-ПЭНП (прямая 1). Можно видеть, что все экспериментальные точки достаточно плотно сгруппировались вдоль одной линии (отдельные «вертикальные» группы точек, как очевидно, соответствуют определенной температуре). Само по себе это означает, что экстраполяция зависимости $\tau_p(E_{пп}, T)$ выражением (1) является удовлетворительной. При этом определился вид зависимости $W(E_{пп})$, а именно

$$W(E_{пп}) = W_0 - æ \cdot E_{пп}. \quad (2)$$

На рис.3 показаны аналогичные данные и для МО образца композиции ПП-ПЭНП (прямая 2), из которых следует, что зависимость $W(E_{пп})$ для МО образца близка по наклону к зависимости для БО образца.

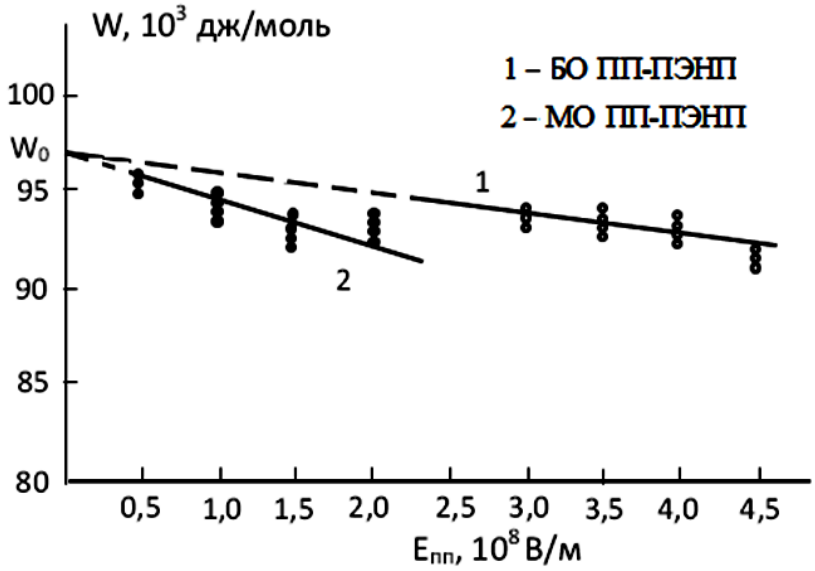


Рис.3. *Зависимость энергии активации процесса рассасывания накопившихся зарядов от напряженности противополя.*
1 – БО образцов ПП-ПЭНП
2 – МО образцов ПП-ПЭНП

Из рис.3 видно, что значение начальной энергии активации $W_0 \approx 97 \cdot 10^3$ Дж/моль. Характер зависимости $W(E_{пп})$, когда имеет место линейное снижение энергии активации именно от $E_{пп}$, представляется неслучайным. Действительно, такая зависимость функционально соответствует ускоряемому полем термическому освобождению электронов из кулоновских ловушек по механизму Френкеля-Пула [7].

С учетом (2) зависимость $\tau_p = \tau_p (E_{пп}, T)$ можно описать уравнением:

$$\tau_p = \tau_0 \exp\left(\frac{W_0 - æE_{пп}}{R \cdot T}\right) \quad (3)$$

В изотермических условиях формулах (3) переходит в формулу

$$\tau_p = B \cdot \exp(-\beta \cdot E_{пп}), \quad (4)$$

причем коэффициенты B и β можно выразить в виде

$$B = \tau_0 \cdot \exp\left(\frac{W_0}{R \cdot T}\right), \quad \beta = æ/R \cdot T, \quad (5)$$

где æ – коэффициент, характеризующий скорость снижения энергетического барьера химических связей при приложении электрического поля; R – универсальная газовая постоянная.

В соответствии с формулами (5) были рассчитаны значения æ для образцов композиции, кристаллизованных в разных режимах. Значение æ для БО образцов композиции ПП-ПЭНП составляет $1{,}02 \cdot 10^{-3}$ $\frac{Дж}{моль} \cdot \frac{м}{В}$, а для МО образцов $2{,}03 \cdot 10^{-3}$ $\frac{Дж}{моль} \cdot \frac{м}{В}$. Видно, что значение æ для БО образцов различается от МО образца. Это означает, что изменение НМС композиции ПП-ПЭНП не влияет на начальную энергию активации, а влияет лишь на величину структурно чувствительного коэффициента æ.

Таким образом, в выражении (1) для времени релаксации зарядов в ПК, накопление которых под действием приложенного поля ведет к пробою, найдены все параметры: τ_0, W_0, æ, причем значения этих параметров оказались физически осмысленными.Действительно, значение $\tau_0 = 10^{-13} c$ отвечает фундаментальной величине: периоду собственных колебаний атомов в конденсированных системах или точнее периоду колебаний максимальной частоты в дебаевском спектре [4,5,9].Значение $W_0 \approx 97 \cdot 10^3$ Дж/моль имеет смысл начальной энергии активации процесса электрического разрушения полимерных диэлектриков (ПЭ, ПП) составляет ~ $(100 \div 120) \cdot 10^3$ Дж/моль [3, 9]. Полученные значения æ ≈$1{,}02 \cdot 10^{-3}$ $\frac{Дж}{моль} \cdot \frac{м}{В}$ для БО, и æ ≈ $2{,}03 \cdot 10^{-3}$ $\frac{Дж}{моль} \cdot \frac{м}{В}$ для МО образцов композиции приблизительно соответствует тому, что в ловушках накапливаются электроны [1].

Накопление электронов в ловушках связано со структурой ПК (наличием сферолитов и т.д.), которое обуславливает наличие барьеров между сферолитными областями. Тогда как при приложении электрического поля в ловушках будет накапливаться объемный заряд (электрон), что зарегистрировано экспериментально [1].

Таким образом, результаты настоящей работы в совокупности с итогами изучения кинетики электрического разрушения ПК в области умеренных температур [1], где установлена линейная зависимость $\lg\tau_E$ от E позволяет заключить, что процессом, подготавливающим пробой исследованных ПК, является накопительным. Анализ процессов подготовки пробоя и

регенерации накопленных изменений позволяет нарисовать следующую предположительную картину электрического разрушения ПК. По-видимому и здесь накапливаются изменения только на электронном уровне, как в случае полимеров [4, 9, 10]. Молекулярные перегруппировки, разрывы молекул, как отмечалось в работе [8], очевидно, заметной роли не играют. Наиболее естественным представляется для находящегося под электрическим напряжением ПК материала формирование в нем со временем объемных зарядов, по достижению достаточной величины которых и наступает пробой. Объемный заряд может формироваться как из инжектированных электронов, так и за счет внутренней ионизации полимерных молекул в электрическом поле с переходом электронов от полимерных молекул в межмолекулярные ловушки [6].

Полученные результаты по регенерации электрической прочности ПК имеют прикладное значение, поскольку данные о пробивной напряженности и долговечности ПК материалов могут быть использованы для оценки прочности изоляционных материалов и расчета их параметров, прогнозирования сроков их службы и разработки технологии изготовления пленочной полимерной изоляции с повышенной электрической прочностью.

Заключение. Результаты изучения кинетики электрического разрушения полимерных композиций позволяют заключить, что процессы, подготавливающие композиции к пробою являются накопительными. По степени регенерации находилось время эффективного рассасывания зарядов и определены энергии активации этого процесса. Показано, что энергия активации процесса рассасывания линейно уменьшается с повышением напряженности противополя.

Литература

1. Абасов С.А., Велиев Т.М., Алиева И.К. и др. Влияние надмолекулярной структуры на релаксационные процессы и прочностные свойства полипропилена в электрическом поле. Изв.АН Азербайджана, сер.физ.-техн. и мат.наук, 1993, вып. 3-4, с.96-102
2. Алиева И.К. Роль накопительных процессов в кинетике электрического разрушения полимерных композиций.// ADDA, Elmi əsərləri, 2017, №2, с.195-200
3. Веттегрень В.И., Иванкова Е.М., Крючков М.А., Марихин В.А., Мясникова Л.П., Якушев П.Н. Влияние надмолекулярной структуры на энергию активации установившейся ползучести ориентированного сверхвысокомолякулярного полиэтилена.//ФТТ, 2005,т.47, вып.5, с.937-943
4. Воробьев Г.А., Еханин С.Г. Несмелов Н.С. Электрический пробой твердых диэлектриков// ФТТ, 2005, т.47, вып.6, с.1048-1054
5. Закревский В.А., Сударь Н.Т. Электрическое разрушение тонких полимерных пленок// ФТТ, 2005, т.47, №5, с.931-936
6. Закревский В.А., Пахотин В.А, Автоионизационный механизм разрыва химический связей в макромолекулах. Высокомолекул. соед., 1981, т.23(А), вып.3, с.658-662
7. Као К., Хуанг В. Перенос электронов в твердых телах. М.: Мир, 1984, часть 1 с.352, часть 2 с. 368.
8. Колесов С.Н., Музыченко Т.Н., Токарь Е.И. Электрические свойства каучуковых композитов. //Электричество, 1992, вып.4, с.61-65
9. Слуцкер А.И., Велиев Т.М., Алиева И.К., Алекберов В.А., Поликарпов Ю.И., Каров Д.Д. Особенности кинетики электрического разрушения полимеров//ФТТ, 2016, т.58, №9, с.1826-1834
10. Слуцкер А.И., Велиев Т.М., Алиева И.К., Алекберов В.А, Абасов С.А. Некоторые вопросы электрической прочности полимеров//Письмо в ЖТФ, 1991, т.17, №13, с. 67-72

Tövsiyə edib: f-r.e.n., dos. ***S.A.Əliyev***

УДК 621.43

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПРИ ТУРБУЛЕНТНОМ ТЕЧЕНИИ ЖИДКОСТИ

Дадашзаде М. А., Бабаев Г.М.

Азербайджанская Государственная Морская Академия
Аз1000, г. Баку, ул. З.Алиевой, 18
E-mail: nice.natali92@mail.ru

Аннотация. *В статье излагается методика расчета турбулентного движения жидкости в трубах. Учитывая многочисленные лабораторные методы, предложена обобщенная расчетная формула для определения коэффициента гидравлического сопротивления при турбулентном режиме жидкости в большом диапазоне изменения числа Рейнольдса.*

Xülasə. *Məqalədə mayenin borularda turbulent hərəkətinin hesablama metodikası verilmişdir. Çoxsaylı laboratoriya metodlarını nəzərə alaraq Reynolds ədədi geniş diapazonda dəyişdikdə mayenin turbulent rejimində hidravliki müqavimət əmsalının təyini üçün ümumiləşdirici hesablama düsturu təklif olunmuşdur.*

Abstract. *The article deals with the methodical calculation of turbulant movement of liguids in pipes. Taking into consideration a number of laboratory methods having been joined in the form for the determination of efficiency of hydrolic resistence in turbulant fuel rejime in a big sphere changes the number of Reynolds.*

Ключевые слова: *коэффициент гидравлического сопротивления, число Рейнольдса, турбулентное движение, скорость течения, абсолютное и избыточное давление*

Açar sözlər: *hidravlik müqavimət əmsalı, Reynolds ədədi, turbulent hərəkət, sürət axını, mütləq və izafi təzyiq*

Key words: *efficiency of hydrolic resistance, number of Reynolds, turbulant, the rale of flowing, absolute and surpluis pressure*

Введение. Нефтяная практика показывает, что многие технические задачи решаются на основе законов гидромеханики. При этом важным является турбулентный режим движения жидкости или газа. В данном случае движение является пульсационным движением, в результате которого возникает перемещение отдельных частей жидкости или газа.

Постановка задачи. Анализ показывает, что пульсационное движение, создающее основное движение, в своем виде настолько сложное, что возможность его теоретического расчета представляется совершенно безнадежным. Однако надо отметить, что такое перемещение жидкости или газа, создаваемое пульсационным движением, придает турбулентному движению характерные особенности, резко отличающие его от ламинарного режима течения в трубах. При развитом течении, при больших числах Рейнольдса энергия непрерывно переходит из основного течения в «вихревое» течение [1,2].

Методы решения. Лабораторные и промысловые эксперименты показали, что турбулентное перемешивание жидкости или газа является основной причиной большого сопротивления при турбулентном течении в промысловых трубах. Тщательные лабораторные наблюдения показали, что при турбулентном течении скорость и давление в заданной точке не остаются постоянными во времени, и очень часто неравномерно изменяются. Эти изменения скорости и давления, называемые пульсациями, являются наиболее характерным признаком турбулентного течения.

В лабораторных экспериментах исследования турбулентных течений обычно измеряют только осредненные давления и скорости, так как только эти величины доступны для изме-

рения. Для многих промысловых задач достаточно измерения осредненных по времени значений. Для этого необходимо измерять и вычислять главным образом осредненные по времени величины давления и скорости. По этой причине, в основном, такое движение изучается полуэмпирическими методами.

Для решения данной задачи, рассмотрим прямолинейное движение жидкости в трубе, имеющем радиальную координату (y). При этом выделим в данной системе в области развитого турбулентного течения цилиндр, имеющий длину (L) и радиусом (y). Принимая, что в данном случае силы инерции отсутствуют, то в данном случае, цилиндр находится в равновесии под действием касательных напряжений, приложенных к его боковой поверхности и разности давлений, $\Delta p = p_1 - p_2$, действующих на его основания. Учитывая, вышеизложенное, имеем

$$\tau = \frac{p_1 - p_2}{L}\frac{y}{2} \quad (1)$$

Данная формула применима как для ламинарного, так и для турбулентного режима течения. Как видно касательное напряжение распределяется по поперечному сечению линейно. Анализ показал, что максимальное значение касательного напряжения имеет место у стенки трубы, т.е.

$$\tau' = \frac{p_1 - p_2}{L}\frac{R}{2} \quad (2)$$

Как видно, касательное напряжение на стенке может быть определено экспериментально, путем измерения перепада давления.

Многочисленные теоретические и экспериментальные исследования показали, что для ламинарного режима течения связь между перепадами давления и численное значение протекающей жидкости, (объемный расход) можно определить чисто теоретически, что хорошо совпадает с опытом. При турбулентном течении данную связь можно установить только на основе лабораторных исследований. Связь между перепадом давления и расходом устанавливается законом сопротивления для движения в трубе или в канале.

Литературный анализ показывает, что существует большое число формул, определяющих сопротивление в трубе, причем более ранние формулы, определяющих сопротивление получены без учета закона подобия Рейнольдса и зависит от выбора единиц. Согласно, литературного анализа, таким формулам придают безразмерный вид, при этом вводят безразмерный коэффициент гидравлического сопротивления, определяемый как

$$\frac{p_1 - p_2}{L} = \lambda \frac{v^2}{2D}\rho \quad (3)$$

где D- диаметр трубы.

Следовательно, касательное напряжение сдвига у стенки трубы можно определить по формуле

$$\tau' = \frac{\lambda}{8}\rho v^2 \quad (4)$$

Впервые Г. Блазиус, обрабатывая накопившие эксперименты, с учетом закона подобия для коэффициента гидравлического сопротивления в гладких трубах получил эмпирическую формулу

$$\lambda = \frac{0{,}3164}{\sqrt[4]{R_c}} \quad (5)$$

Согласно данной формулы коэффициент сопротивления является функцией только числа Рейнольдса. Данная формула применима в небольшом диапазоне

$$P_e \leq 100000$$

При этом, надо отметить, что лабораторные эксперименты при более больших числах Рейнольдса в то время не проводились.

В настоящее время накопилось большое количество экспериментов при более больших числах Рейнольдса. Так в работе предлагается иная модель для расчета коэффициента гидравлического сопротивления

$$\lambda = \frac{C}{P_e^m} \tag{6}$$

Поздние [3,5] промысловые опыты показали, что численные значения (a) и (m) изменяются в большом диапазоне. Многочисленные авторы предлагают различные формулы на основе данной модели, однако их применение в конкретных задачах создает дополнительные трудности при выборе той или иной формулы.

Учитывая выше изложенное в данной работе на основе обработки многочисленных работ, в диапазоне изменения числа Рейнольдса 3000÷5000000 предложена эмпирическая формула для определения коэффициента гидравлического сопротивления для турбулентного режима движения

$$\lambda = \frac{0{,}3165}{R_e^{a-b\cdot R_e}} \tag{7}$$

Для обычных вязких жидкостей, для воды a=0,4099, в=0,0151.

Сопоставление различных значений, полученных в работе [4,5] показало хорошую сходимость расчетного значения с экспериментами.

Однако в технике встречаются трубы с шероховатыми стенками. Если ввести понятие относительной шероховатости, то связь между коэффициентом гидравлического сопротивления для шероховатых и гладких труб можно определить как

$$\lambda = \lambda\,(1+ \lambda\frac{nk}{D}R_e) \tag{8}$$

По данным, опубликованным в литературе, для шероховатых труб, n≈0,21

По данной методике определены значения для коэффициента гидравлического сопротивления для шероховатых труб и сопоставлены с экспериментальными данными.

Как видно из формул рассчитанные и измеренные значения, очень хорошо совпадают со средней погрешностью более 3%, с коэффициентом коррекции 0,9, что дает право рекомендовать данную работу для широкого применения в промысловых расчетах.

Выводы.

1. На основе многочисленных лабораторных данных сделан анализ для определения коэффициента гидравлического сопротивления.
2. Анализируя многочисленные данные экспериментов республиканских, и зарубежных авторов, предложено более простое уравнение для определения гидравлического сопротивления как для гладких, так и для шероховатых труб при большем изменении числа Рейнольдса.

Литература

1. Маковозов М.И. Гидравлика и гидравлические машины. М.; Машгиз, 2002, 430 с.
2. Угингус А.А. Гидравлика и гидравлические машины. М.; Госэнергоиздат, 1983, 349 с.
3. Повх И.Л. Техническая гидромеханика Л.; Машиностроение, 1976, 501 с.
4. Киселев П.Г. Гидравлика. Основы механики жидкости М.; Энергия, 1980, 360 с.
5. Wilkens R. and W. P. Sepson “Studes of Multiphase Flowin High Pressure Horizontal and +5 Degree Inclimed Pipelines”// Proc.6 int Offshore and Poler Engineering Conf. (ISOPE-96), 2, pp.139÷145, 1996.

Təvsiyə edib: f-r.e.n., dos. ***S.A.Əliyev***

UOT 621.372.822

İFRAT YÜKSƏK TEZLİK DİAPAZONLU DAİRƏVİ DALĞAÖTÜRƏN TELEKOMMUNİKASİYA QURĞUSUNUN MODELLƏŞDİRİLMƏSİ

İslamov İ.C.

Azərbaycan Texniki Universiteti
Az. 1073, Bakı, H.Cavid prospekti, 25
E-mail:icislamov@mail.ru

Xülasə. *Məqalədə 9 QHs tezliyində işləyən dairəvi dalğaötürən telekommunikasiya qurğusunun elektromaqnit sahəsinin hərəkət edən koordinat sistemində yeni riyazi modelləri işlənib hazırlanmışdır. Qrup sürəti ilə hərəkət edən koordinatda müxtəlif tip modaların güc selinin sıxlığı təyin edilmiş, dairəvi dalğaötürənin elektromaqnit sahəsinin intensivliklərinin elementar oblastlara görə Z oxu boyunca paylanması göstərilmişdir.*

Аннотация. *В статье даны разработки новых математических моделей электромагнитного поля устройства круглого волновода телекоммуникации в движущейся системе координат, работающей на частоте 9 ГГц. Определена плотность силы мощности различных волновых мод в движущимей системе координат с групповой скоростью, показана распределение напряженности электромагнитного поля на элементарных участках круглого волновода.*

Abstract. *New mathematical models of the electromagnetic field of a device for a circular waveguide for telecommunications in a moving coordinate system operating at 9 GHz are developed. The power density of various wave modes in the moving coordinate system is determined from the group velocity, the distribution of the electromagnetic field strength at elementary sections of the circular waveguide is shown.*

Açar sözlər: *dairəvi dalğaötürən, elektromaqnit sahəsi, intensivlik, ifrat yüksək tezlik diapazonu*

Ключевые слова: *круглый волновод, электромагнитное поле, напряженность, сверхвысокочастотный диапазон*

Key words: *circular waveguide, electromagnetic field, tension, microwave range*

Giriş. İfrat yüksək tezlik diapazonu müxtəlif təyinatlı informasiyaları ötürmək üçün hazırda intensiv istifadə olunur. Bu diapazonda işləyən qurğulardan biri də dalğaötürən tipli telekommunikasiya qurğularıdır. Bu qurğuların özləri də müxtəlif konstruksiyalı və təyinatlı olurlar. Onlar telekommunikasiyada, televiziya texnikasında, radiolokasiyada, radionaviqasiyada, tibbi texnikada, radioidarəetmədə, rabitə texnikasında, antena texnikasında, elm və texnikanın digər sahələrində geniş tətbiq olunur. İnformasiyanın ötürülməsi üçün istifadə olunan dalğaötürənlərdən ən geniş yayılanları ifrat yüksək tezlikli dairəvi dalğaötürənlərdir. Dairəvi dalğaötürənlərin bir sıra üstün cəhətləri vardır. Belə ki, onlar yüksək etibarlılığa, parametrlərinin stabilliyinə və istismar prosesində uzunömürlülüyə malikdir. Eyni zamanda dairəvi dalğaötürənlər ətraf mühitdən tam izolə olunur, yəni informasiyanı belə dalğaötürənlərlə ötürən zaman elektromaqnit dalğalarının (radiodalğaların) xarici mühitə şüalanması demək olar ki, baş vermir. İfrat yüksək tezlikli dairəvi dalğaötürənlərin çox geniş tətbiq olunmasına baxmayaraq, belə ötürücü xətlərdə yayılan elektromaqnit proseslərini tam əks etdirən və təcrübi əhəmiyyət kəsb edən elmi işlər kifayət qədər deyildir. Bu sahədə olan məlum işlərdə elektromaqnit dalğalarının (radiodalğaların) yayıldığı mühit xətti kimi qəbul edilmişdir. Bu vaxta qədər belə dalğaötürənləri layihələndirən zaman elektromaqnit dalğalarının (radiodalğaların) yayıldığı mühit xətti kimi qəbul edilmişdir. Lakin real praktikada mühit özünü qeyri-xətti kimi aparır. Eyni zamanda belə dalğaötürənləri modelləşdirən zaman

mürəkkəb klassik riyazi aparatlardan istifadə edilmişdir ki, bunlar da hesablamaların xətasını artırır və onların yerinə yetirilməsini çətinləşdirir. Ona görə də mühitin qeyri-xəttiliyi nəzərə alınmaqla ifrat yüksək tezliki dairəvi dalğaötürənlərin texniki, konstruktiv və istismar xarakteristikalarının yaxşılaşdırılması məqsədilə bu qurğuların spesifik xüsusiyyətlərini özündə əks etdirən yeni riyazi modellərin işlənilməsinə və alqoritmləşdirilməsinə imkan verən modelləşdirmə üsullarının işlənib hazırlanmasına son zamanlar böyük ehtiyac duyulur və bu məsələ çox təcrübi əhəmiyyətə malikdir.

Digər tərəfdən hazırda ifrat yüksək tezlik diapazonlu dairəvi dalğaötürənlərin istehsalatda geniş tətbiq oluduğundan bu qurğuların konstruktiv, texniki və istismar parametr və xarakteristikalarının yaxşılaşdırılması və daha optimal konstrukiv ölçülərə malik yeni qurğuların layihələndirilməsi həm elmi nöqteyi-nəzərdən, həm də istehsal baxımından çox vacib və aktualdır.

Əsas hissə. Dairəvi dalğaötürəndə E-tip (TH) və H-tip (TE) dalğalarının ayrı-ayrılıqda mövcüdlüğü mümkündür. Qeyd etmək lazımdır ki, bu dalğaötürənlər ətraf mühitə enerji şüalandırmadan elektromaqnit dalğasının bir istiqamətdə ötürülməsini təmin edən xüsusi konstuksiyalı verici (ötürücü) xətlərdir. Verici xətlər iki qismə ayrılır: müntəzəm verici xətlər; qeyri-müntəzəm verici xətlər.

Müntəzəm verici xətlər elə xətlərdir ki, onların yayılma oxları istiqamətində elektromaqnit dalğasının xassəsi dəyişilməz qalır və ya dövri qanunla dəyişir. Birinci halda verici xətlər uzununa-bircinsli, ikinci halda isə dövri verici xətlər adlanır. Əgər elektromaqnit dalğasının enerjisi verici xəttin oxu boyunca dəyişirsə, həmişə verici xətlər uzununa qeyri-bircinsli və ya qeyri-müntəzəm verici xətt adlandırılır. Elektromaqnit enerjisinin kanallaşdıran verici xətlər açıq və qapalı olur. Əgər verici xətdə elektromaqnit enerjisi eninə istiqamətdə qeyri-məhduddursa, ona açıq verici xətt deyilir. Qapalı verici xətdə isə elektromaqnit enerjisi yalnız qapalı metal örtük daxilində mövcud olur. Dairəvi dalğaötürən qapalı tipli verici xətdir.

Verici xətti əmələ gətirən materialdan asılı olaraq onlar metal, dielektrik və ya metal-dielektrik olurlar. Verici xətlərin xassələri onların eninə kəsiyinin əlaqəsindən ciddi asılıdır. Bu cəhətdən verici xətlər birəlaqəli və ya çoxəlaqəli olmaqla iki qismə ayrılır. Dairəvi dalğaötürən qapalı metal ikiəlaqəli verici xətt adlanır. Araşdırmalar göstərir ki, istənilən verici xətdə Maksvel tənliklərinin həlli elektrik və maqnit sahələrinin uzununa intensivlik vektorları üçün Helmhols tənliyinin həllindən ibarətdir.

Membrana tənliyi və ya ikiölçü Helmhols tənliyi isə aşağıdakı şəkildə yazılır [1-3]

$$\nabla_{\perp}^2 + k_c^2 \psi = 0, \qquad (1)$$

burada $k_c^2 + k_z^2 = k^2$ olub verici xəttin xarakteristik tənliyi adlanır.

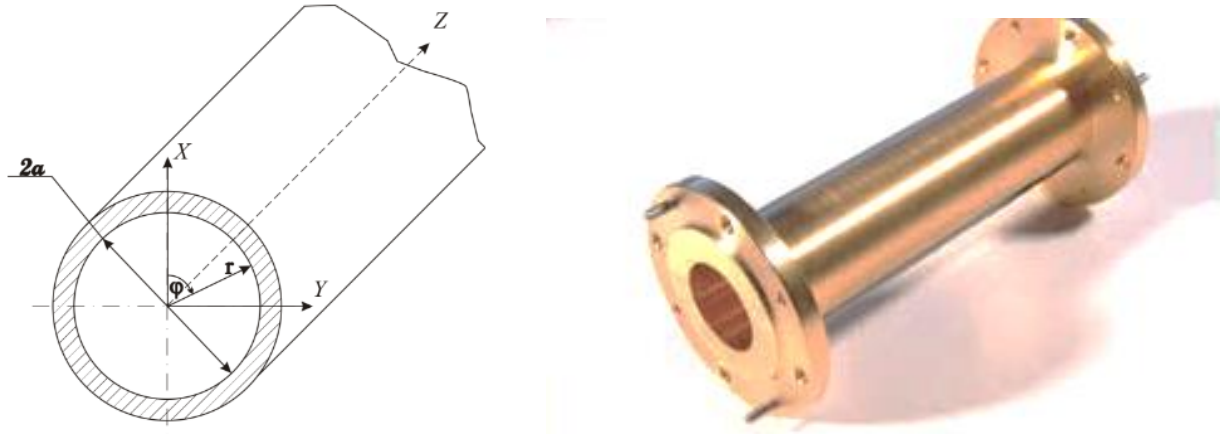
Bu tənliyə daxil olan k_c və k_z kəmiyyətləri eninə və uzununa dalğa ədədi adlanır. k_z ədədinə həmçinin yayılma sabiti, k_c-yə isə böhran dalğa ədədi deyilir. ψ funksiyası membran funksiyası adlanır. Çünki o, membran tənliyini, yəni ikiölçülü Helmhols tənliyini ödəyir. $\nabla_{\perp}$ isə Hamilton operatorudur.

Qeyd edildiyi kimi, dairəvi dalğaötürən en kəsiyi dairə olan metal borudur (şəkil 1, a, b).

Dairəvi dalğaötürənlərin elektromaqnit sahəsinin parameter və xarakteristikalarını təyin etmək üçün ilk növbədə Leontoviç-Şukin sərhəd şərtini nəzərə almaq lazımdır. Bu şərt sonlu ölçülərə malik metallik cisimlər mövcud olduğu zaman sahəni müəyyən etmək mühüm məsələlərdən biri sayılır. Bu məsələnin həllini xeyli asanlaşdırmaq üçün Leontoviç-Şukin sərhəd hərti adlanan təqribi şərtlər daxil edilir. Adi sərhəd şərtlərindən fərqli olaraq Leontoviç-Şukin sərhəd şərtləri və vektorlarının bir mühitdəki təşkiledənləri arasındakı əlaqəni göstərir. Leontoviç-Şukin sərhəd şərtinin ifadəsi aşağıdakı kimidir [4-8]:

$$\vec{E}_{1\tau} = z_{c2}\left[\vec{n}_0, \vec{H}_1\right]. \qquad (2)$$

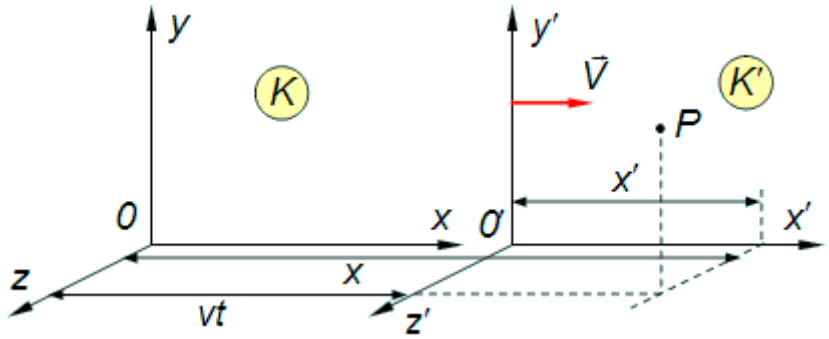
Bu münasibətdən görünür ki dairəvi dalğaötürənin real metal səthində elektrik sahəsinin toxunan (tangensial) təşkiledəni sıfırdan fərqlənir.



a) b)

Şəkil 1. *Dairəvi dalğaötürən: a) en kəsiyinin sahəsi; b) fəza modeli*

Real praktikada elektromaqnit dalğaları yayılan mühit özünü qeyri-xətti kimi apardığından dalğaötürənin daxilində elektrik və maqnit sahələrinin intensivlikləri müxtəlif qiymətlər alacaqdır. Ona görə də hərəkət edən koordinat sistemindən istifadə etmək zərurəti yaranır (şəkil 2).



Şəkil 2. *Hərəkət edən koordinat sistemi*

Şəkil 1, a-da göstərilən dairəvi dalğaötürənə baxaq. Bu dalğaötürəndə sahə məsələsi (r,θ,Z) silindrik koordinat sistemində həll olunmalıdır (X_1=r, x=θ, h_1=1, h_2=r). Bu koordinat sistemində $\nabla_{\perp}^2+\mathrm{k}_c^2\psi$ tənliyi [1]

$$\frac{1}{\mathrm{r}}\frac{\partial}{\partial \mathrm{r}}\left(\mathrm{r}\frac{\partial\psi}{\partial \mathrm{r}}\right)+\frac{1}{\mathrm{r}^2}\frac{\partial^2\psi}{\partial\theta^2}+\mathrm{k}_c^2\psi=0\,, \tag{3}$$

şəklində yazılır. Dairəvi dalğaötürəndə E-tip və H-tip elektromaqnit dalğaları yayıldığından (3) tənliyinin həlli aşağıdakı kimi axtarılır [1]:

E-tip dalğa üçün

$$E_r^{nm}=-i\frac{\beta}{\chi_{nm}}J_n'(\chi_{nm}r)\psi_n(\theta)\exp(-i\beta z), \tag{4}$$

$$E_\theta^{nm}=-i\frac{n\beta}{\chi_{nm}^2 r}J_n(\chi_{nm}r)\psi_n'(\theta)\exp(-i\beta z), \tag{5}$$

$$E_z^{nm}=J_n(\chi_{nm}r)\psi_n(\theta)\exp(-i\beta z), \tag{6}$$

$$H_r^{nm} = i\frac{n\omega\varepsilon_0}{\chi_{nm}^2 r} J_n(\chi_{nm} r)\psi_n'(\theta)\exp(-i\beta z), \tag{7}$$

$$H_\theta^{nm} = -i\frac{\omega\varepsilon_0}{\chi_{nm}} J_n'(\chi_{nm} r)\psi_n(\theta)\exp(-i\beta z), \tag{8}$$

$$H_z = 0, \tag{9}$$

$$\beta = \beta_{nm}^E = \sqrt{\omega^2\varepsilon_0\mu_0 - \left(\frac{\nu_{nm}}{a}\right)^2}, \tag{10}$$

Burada

$$\psi_n(\theta) = C_1\cos n\theta + C_2\sin n\theta,\ \psi_n(\theta) = -C_1\sin n\theta + C_2\cos n\theta,\ \ J_n'(\chi_{nm} r) - \chi_{nm} r$$

$\chi_{nm} = \nu_{nm}/a -$ arqumentinə görə funksiyanın törəməsi, eninə dalğa ədədi, ν_{nm} – n tərtibli birinci Bessel funksiyasının m-ci kökü, a-dalğaötürənin radiusudur.

H-tip dalğa üçün

$$H_r^{nm} = -i\frac{\beta}{\chi_{nm}} J_n'(\chi_{nm} r)\psi_n(\theta)\exp(-i\beta z), \tag{11}$$

$$H_\theta^{nm} = -i\frac{n\beta}{\chi_{nm}^2 r} J_n(\chi_{nm} r)\psi_n'(\theta)\exp(-i\beta z), \tag{12}$$

$$H_z = J_n(\chi_{nm} r)\psi_n(\theta)\exp(-i\beta z), \tag{13}$$

$$E_r^{nm} = i\frac{n\omega\mu_0}{\chi_{nm}^2 r} J_n(\chi_{nm} r)\psi_n'(\theta)\exp(-i\beta z), \tag{14}$$

$$E_\theta^{nm} = -i\frac{\omega\mu_0}{\chi_{nm}} J_n'(\chi_{nm} r)\psi_n(\theta)\exp(-i\beta z), \tag{15}$$

$$H_z^{nm} = 0, \tag{16}$$

$$\beta = \beta_{nm}^H = \sqrt{\omega^2\varepsilon_0\mu_0 - \left(\frac{\nu_{nm}'}{a}\right)^2}, \tag{17}$$

burada $\chi_{nm} = \nu_{nm}'/a$ eninə dalğa ədədi ν_{nm}' burada n tərtibli birinci Bessel funksiyasının m-ci köküdür.

Şəkil 2, b-də göstərilmiş stasionar və hərəkət edən koordinat sistemləri arasındakı əlaqə Lorens çevrilməsi ilə təyin olunur və silindrik sistemdə aşağıdakı kimidir:

$$r = r', \theta = \theta', z = \frac{z' + \nu t'}{\sqrt{1-(\nu/c)^2}}, t = \frac{t' + (\nu/c^2)z'}{\sqrt{1-(\nu/c)^2}}, \tag{18}$$

$$E_r = \frac{E_r' + \nu B_\theta'}{\sqrt{1-(\nu/c)^2}}, E_\theta = \frac{E_\theta' - \nu B_r'}{\sqrt{1-(\nu/c)^2}}, E_z = E_z', \tag{19}$$

$$B_r = \frac{B_r' - (\nu/c^2)E_\theta'}{\sqrt{1-(\nu/c)^2}}, B_\theta = \frac{B_\theta' + (\nu/c^2)E_r'}{\sqrt{1-(\nu/c)^2}}, B_z = B_z'. \tag{20}$$

$\varphi = \omega t - \beta z = \omega' t' - \beta' z' = \varphi'$

olduğunu nəzərə alsaq uzununa dalğa ədədi və tezlik üçün aşağıdakı ifadələri alarıq:

$$\beta' = \frac{\beta - (v/c^2)\omega}{\sqrt{1-(v/c)^2}}, \omega' = \frac{\omega - v\beta}{\sqrt{1-(v/c)^2}}. \quad (21)$$

Beləliklə, hərəkət edən koordinat üçün aşağıdakıları alarıq:
E-tip dalğa üçün

$$E_z'^{nm} = J_n(\chi_{nm} r')\psi_n(\theta')\exp(-i\beta z'), \quad (22)$$

$$E_r'^{nm} = -i\frac{\beta - (v/c^2)\omega}{\chi_{nm}\sqrt{1-(v/c^2)}} J_n'(\chi_{nm} r')\psi_n(\theta')\exp(-i\beta z'), \quad (23)$$

$$E_\theta'^{nm} = -in\frac{\beta - (v/c^2)\omega}{\chi_{nm}^2 r'\sqrt{1-(v/c^2)}} J_n(\chi_{nm} r')\psi_n'(\theta')\exp(-i\beta z'), \quad (24)$$

$$H_z' = 0, \quad (25)$$

$$H_r'^{nm} = i\frac{n\varepsilon_0(\omega - v\beta)}{\chi_{nm}^2 r'\sqrt{1-(v/c^2)}} J_n(\chi_{nm} r')\psi_n'(\theta')\exp(-i\beta z'), \quad (26)$$

$$H_\theta'^{nm} = -i\frac{\varepsilon_0(\omega - v\beta)}{\chi_{nm}\sqrt{1-(v/c^2)}} J_n'(\chi_{nm} r')\psi_n(\theta')\exp(-i\beta z'), \quad (27)$$

H-tip dalğa üçün

$$E_z'^{nm} = 0, \quad (28)$$

$$E_r'^{nm} = -i\frac{n\mu_0(\omega - v\beta)}{\chi_{nm}^2 r'\sqrt{1-(v/c^2)}} J_n(\chi_{nm} r')\psi_n'(\theta')\exp(-i\beta z'), \quad (29)$$

$$E_\theta'^{nm} = i\frac{\mu_0(\omega - v\beta)}{\chi_{nm}\sqrt{1-(v/c^2)}} J_n'(\chi_{nm} r')\psi_n(\theta')\exp(-i\beta z'), \quad (30)$$

$$H_z'^{nm} = J_n(\chi_{nm} r')\psi_n(\theta')\exp(-i\beta z'), \quad (31)$$

$$H_r'^{nm} = -i\frac{\beta - (v/c^2)\omega}{\chi_{nm}^2\sqrt{1-(v/c^2)}} J_n'(\chi_{nm} r')\psi_n(\theta')\exp(-i\beta z'), \quad (32)$$

$$H_\theta'^{nm} = -in\frac{\beta - (v/c^2)\omega}{\chi_{nm}^2 r'\sqrt{1-(v/c^2)}} J_n(\chi_{nm} r')\psi_n'(\theta')\exp(-i\beta z'), \quad (33)$$

Sahə təşkiledənlərini bilərək hərəkət edən koordinat üçün Umov-Poyntinq vektorunu da təyin etmək olar:

$$S' = \frac{1}{2}\left[E', H'^*\right] = \frac{1}{2}\left\{e_r\left(E_\theta' H_z'^* - E_z' H_\theta'^*\right) + e_\theta\left(E_z' H_r'^* - E_r' H_z'^*\right) + e_z\left(E_r' H_\theta'^* - E_\theta' H_r'^*\right)\right\}. \quad (34)$$

E-tip dalğa üçün

$$S_r' = -\frac{1}{2}E_z' H_\theta'^* = -\frac{1}{2}i\frac{\varepsilon_0(\omega - v\beta)}{\chi_{nm}\sqrt{1-(v/c)^2}} J_n(\chi_{nm} r') J_n'(\chi_{nm} r')\psi_n^2(\theta'), \quad (35)$$

$$S'_{\theta} = -\frac{1}{2}E'_z H'^{*}_r = -\frac{1}{2}i\frac{n\varepsilon_0(\omega-\nu\beta)}{\chi^2_{nm}r'\sqrt{1-(\nu/c)^2}}J^2_n(\chi_{nm}r')\psi_n(\theta')\psi'_n(\theta'), \quad (36)$$

$$S'_z = \frac{1}{2}(E'_r H'^{*}_{\theta} - E'_{\theta}H'^{*}_r) = \frac{1}{2}\frac{\varepsilon_0(\omega-\nu\beta)(\beta-\frac{\nu}{c^2}\omega)}{\chi^2_{nm}(1-(\nu/c)^2)}\left\{-\frac{n^2}{\chi^2_{nm}r'^2}J^2_n(\chi_{nm}r')\psi'^2_n(\theta') - J'^2_n(\chi_{nm}r')\psi^2_n(\theta')\right\} \quad (37)$$

H-tip dalğa üçün

$$S'_r = -\frac{1}{2}E'_{\theta}H'^{*}_z = \frac{1}{2}i\frac{\mu_0(\omega-\nu\beta)}{\chi_{nm}\sqrt{1-(\nu/c)^2}}J_n(\chi_{nm}r')J'_n(\chi_{nm}r')\psi^2_n(\theta'), \quad (38)$$

$$S'_{\theta} = -\frac{1}{2}E'_r H'^{*}_z = \frac{1}{2}i\frac{n\mu_0(\omega-\nu\beta)}{\chi^2_{nm}r'\sqrt{1-(\nu/c)^2}}J^2_n(\chi_{nm}r')\psi_n(\theta')\psi'_n(\theta'), \quad (39)$$

$$S'_z = \frac{1}{2}(E'_r H'^{*}_{\theta} - E'_{\theta}H'^{*}_r) = \frac{1}{2}\frac{\mu_0(\omega-\nu\beta)(\beta-\frac{\nu}{c^2}\omega)}{\chi^2_{nm}(1-(\nu/c)^2)}\left\{\frac{n^2}{\chi^2_{nm}r'^2}J^2_n(\chi_{nm}r')\psi'^2_n(\theta') - J'^2_n(\chi_{nm}r')\psi^2_n(\theta')\right\}. \quad (40)$$

Şəkil 3-də v_{qr} sürəti ilə hərəkət edən koordinatda E_{01} (a), E_{11} (b), H_{01} (c), H_{11} (d) dalğalarının güc selinin sıxlığı göstərilmişdir. Cədvəl 1-də müxtəlif m və n indeksləri üçün ν_{mn} və χ_{mn}-in qiymətləri verilmişdir. Cədvəl 2 və cədvəl 3-də 9 QHs tezliyində işləyən dairəvi dalğaötürənin uyğun olaraq elektrik və maqnit sahələrinin intensivliklərinin (22)-(33) düsturları ilə hesablanmış qiymətləri göstərilmişdir [9-14]. Şəkil 4 və şəkil 5-də 9 QHs tezliyində işləyən dairəvi dalğaötürənin uyğun olaraq elektrik və maqnit sahələrinin intensivliklərinin elementar oblastlara görə Z oxu boyunca paylanmaları göstərilmişdir.

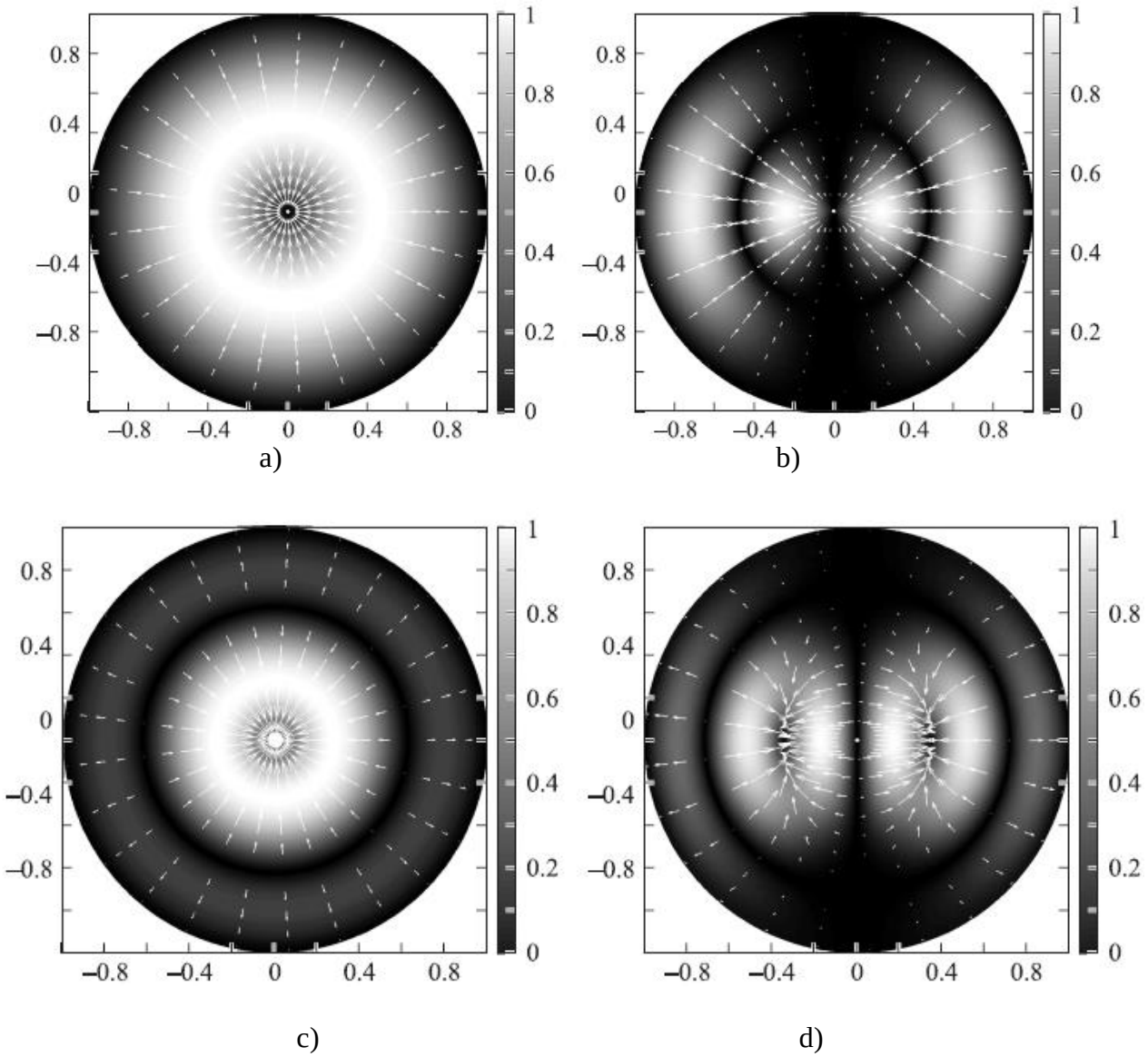
Cədvəl 1.

Müxtəlif m və n indeksləri üçün ν_{mn} və χ_{mn} -in qiymətləri [1]

m	n-in müxtəlif qiymətlərində ν_{mn}			n-in müxtəlif qiymətində χ_{mn}		
	n=1	n=2	n=3	n=1	n=2	n=3
0	2,405	5,520	8,654	3,382	7,016	10,174
1	3,832	7,016	10,174	1,840	5,335	6,705
2	5,135	8,417	11,620	3,054	6,705	9,969
3	6,380	9,761	13,015	4,201	8,015	11,346

Şəkil 6-dan görünür ki, H_{11} tipli dalğanın sahəsinin stukturu düzbucaqlı dalğaötürəndə H_{10} tipli dalğanın stukturuna bənzəyir. Odur ki, H_{11} tipli dalğa dairəvi dalğaötürəndə əsas tip dalğa sayılır.

Dalğaötürənin divarlarında H_{11} tipli dalğalar üçün ψ funksiyasının qiyməti sabit qaldığından $\left(\frac{\partial\psi}{\partial\theta} = \frac{\partial\psi}{\partial l} = 0\right)$, onların sönmə sabitləri tezlik artdıqca azalır. Bu isə H_{11} tipli dalğanı, İYT siqnalları az itki ilə uzaq məsafələrə ötürməyə, yəni uzaq rabitəni təmin etməyə əlverişli imkanlar yaradır. Məsələn, 50 mm diametrə malik mis dalğaötürəndə 37,5 QHs tezlikdə (λ=8 mm) H_{11} tipli dalğa üçün sönmə (zəifləmə) sabitinin nəzəri qiyməti 0,2 dB/km tərtibindədəir. Bu o deməkdir ki, 10 km-lik məsafədə ötürülən dalğanın gücü cəmisi 1,6 dəfə azalır. Qeyd etmək lazımdır ki, bu şəraitdə radiodalğaötürən daxilində işçi dalğalarla yanaşı, başqa tipli dalğalar da yayılır. Lakin onların zəifləməsi olduqca güclüdür.



Şəkil 3. *Qrup sürəti ilə hərəkət edən koordinatda E_{01} (a), E_{11} (b), H_{01} (c), H_{11} (d) dalğalarının güc selinin sıxlığı*

Şəkil 6-da yuxarıdakı ifadələr əsasında qurulmuş E-dalğalar və H-dalğalar üçün dairəvi dalğaötürəndə bəzi tip elektromaqnit dalğalarının stukturu (elektromaqnit dalğalarının stukturu, elektromaqnit sahəsinin qüvvə xətlərinin epürləri) təsvir edilmişdir.

Məlumdur ki, radiodalğaötürənləri layihələndirdikdə, onlarda bir qayda olaraq, texnoloji deffektlər, o cümlədən qeyri-hamarlılıqlar, kələ-kötürlülüklər və ölçülərdən digər kənara çıxmalar baş verir. Bunların nəticəsində H_{11} tipli dalğanın enerjisi başqa tip dalğaların enerjisinə çevrilir. Bu hadisə ilə aradan qaldırmaq üçün qeyri-işçi dalğaların radiodalğaötürənin daxilində yayılmasına yol verməmək lazımdır. Bu məqsədlə radiodalğaötürən bir-birindən izolə olunmuş ayrı-ayrı dairələr şəklində hazırlanır və onun daxili xüsusi uducu maddə ilə ötürülür. Şəkil 7-də dairəvi dalğaötürənin məxsusi rəqslərinin spektri göstərilmişdir.

Cədvəl 2.

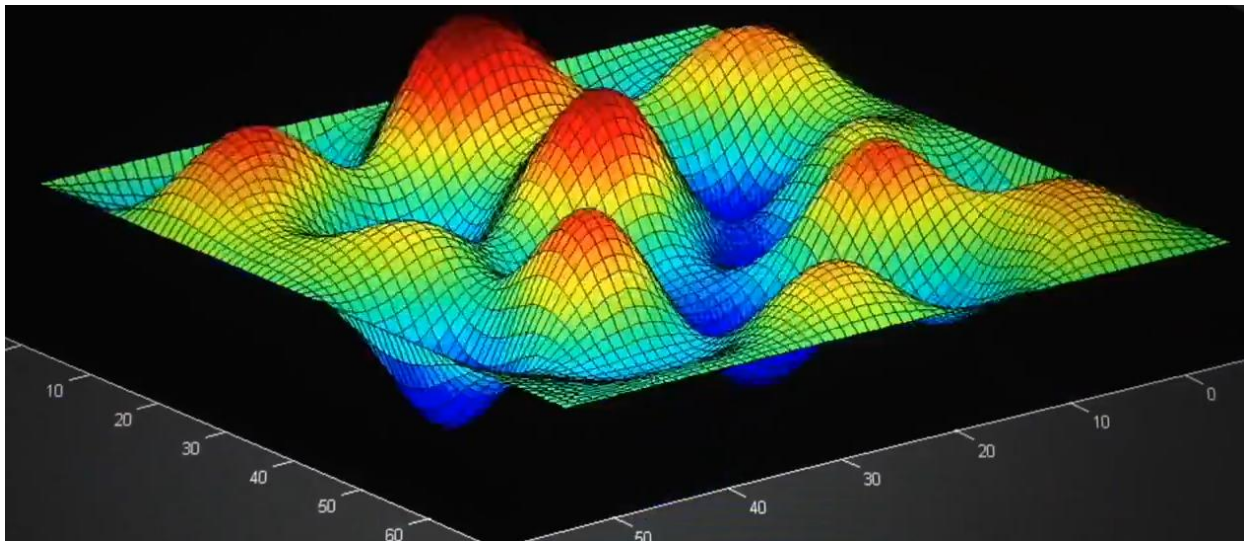
9 QHs tezliyində işləyən dairəvi dalğaötürənin elektrik sahəsinin intensivliklərinin qiymətləri

Elementar sahələrin sayı	E-tip dalğa		H-tip dalğa	
	$E_z'^{nm}$, V/m(10^5)	$E_r'^{nm}$, V/m(10^5)	$E_r'^{nm}$, V/m(10^5)	$E_\theta'^{nm}$, V/m(10^5)
1	10,21	12,42	44,80	80,64
2	12,58	19,59	42,92	85,72
3	13,47	25,81	37,67	90,84
4	75,59	72,92	49,89	27,68
5	34,61	10,68	58,77	19,53
6	21,90	10,50	93,68	20,30
7	14,79	18,72	27,68	25,79
8	12,71	17,55	33,59	28,28
9	14,79	25,60	42,60	34,64
10	16,51	14,68	45,79	10,92
11	18,47	9,31	58,27	26,69
12	26,91	8,59	65,15	40,68
13	33,21	16,17	90,96	68,79
14	70,32	18,85	33,68	76,16
15	11,29	24,37	28,35	80,05
16	10,95	32,89	26,71	71,29
17	19,88	45,43	16,56	39,57
18	22,59	57,71	45,42	35,06
19	39,49	23,49	49,87	18,72
20	87,21	12,95	68,23	13,95

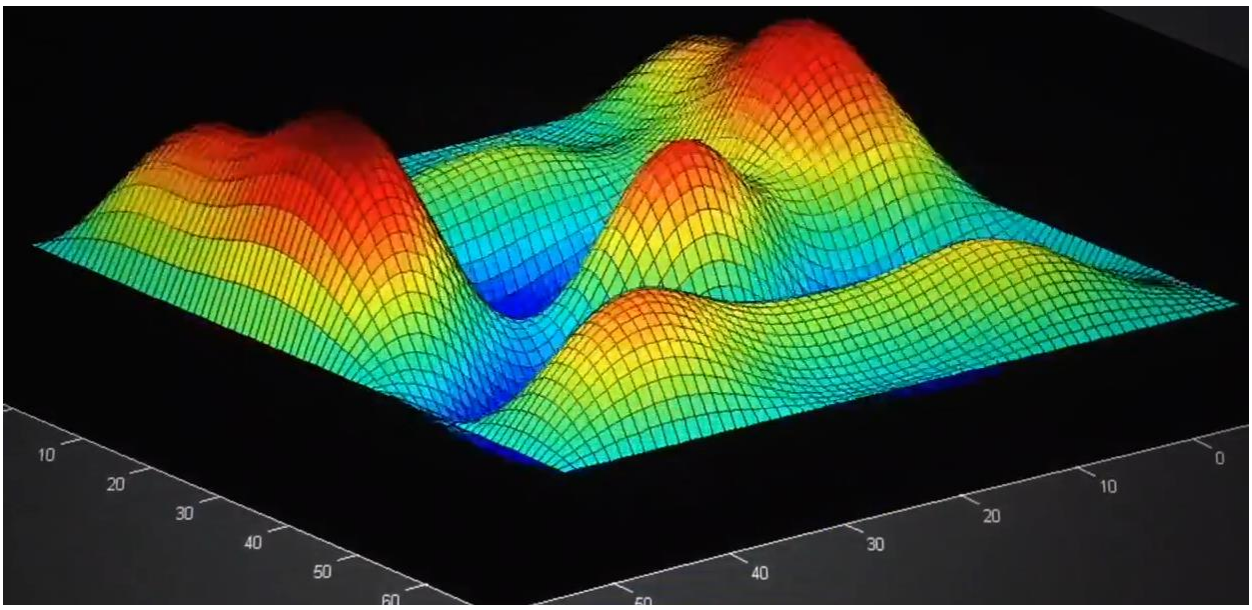
Cədvəl 3.

9 QHs tezliyində işləyən dairəvi dalğaötürənin maqnit sahəsinin intensivliklərinin qiymətləri

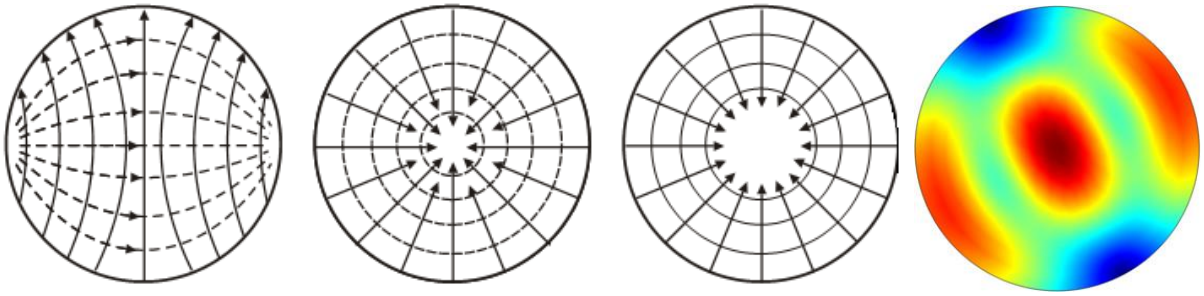
Elementar sahələrin sayı	E-tip dalğa		H-tip dalğa	
	$H_r'^{nm}$, A/m	$H_\theta'^{nm}$, A/m	$H_r'^{nm}$, A/m	$H_\theta'^{nm}$, A/m
1	42,36	44,49	35,29	23,39
2	25,45	52,23	23,66	34,15
3	27,27	65,35	36,36	85,56
4	64,13	75,36	41,04	57,51
5	62,76	65,40	23,50	17,25
6	33,44	96,23	28,56	25,56
7	47,27	63,27	32,54	46,24
8	39,34	24,35	22,46	19,26
9	42,53	41,24	96,28	49,28
10	50,24	12,33	17,12	55,16
11	94,57	25,04	12,28	31,12
12	66,29	38,19	41,36	30,07
13	82,39	34,47	54,87	63,42
14	73,35	57,31	24,13	12,35
15	48,32	78,06	85,23	17,53
16	36,57	57,38	56,72	45,95
17	64,59	19,25	23,13	79,30
18	92,25	19,20	23,34	56,97
19	83,94	76,46	82,67	96,18
20	75,53	25,33	13,72	15,69



Şəkil 4. *9 QHs tezliyində işləyən dairəvi dalğaötürənin elektrik sahəsinin intensivliklərinin elementar oblastlara görə Z oxu boyunca paylanması*

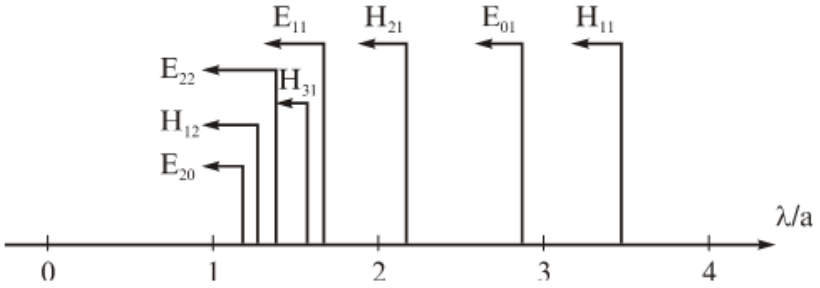


Şəkil 5. *9 QHs tezliyində işləyən dairəvi dalğaötürənin maqnit sahəsinin intensivliyinin elementar oblastlara görə Z oxu boyunca paylanmaları*



a) b) v) d)

Şəkil 6. *Dairəvi dalğaötürəndə elektromaqnit sahəsinin qüvvə xətləri:*
a) H_{11}; b) E_{01}; v) H_{01}; d) H_{11} dalğasının sahəsinin vizual paylanması
–elektrik sahəsinin, --- isə maqnit sahəsinin qüvvə xətləridir



Şəkil 7. *Dairəvi dalğaötürənin məxsusi dalğalarının spektri*

Nəticə. Dalğaların stukturunun təhlilindən aşağıdakıları qeyd etmək olar:

1. Dairəvi dalğaötürəndən aşağı tipli dalğa (H_{11}) düzbucaqlı dalğaötürəndəki H_{10} tipli dalğaya oxşayır. H_{11} tipli dalğanı bir-birinə qarşılıqlı perpendikulyar iki dalğanın cəmi kimi göstərmək olar.

2. Hər iki dalğa eyni paylanma əmsalına malikdir və cırlaşmışlar. Dairəvi dalğaötürənin eninə kəsiyinin formasında bu və ya digər qeyri-bircinsli, o cümlədən, kiçik elliptik və ya başqa cür pozulma olsa, onda hər iki dalğanın amplitudları və faza sürətləri bərabər olar. Bu da yekun dalğanın polyarizasiya müstəvisinin dönməsinə səbəb olur. Polyarizasiya müstəvisinə nəzarət etmək isə çətindir, ona görə də dairəvi dalğaötürəndə enerji ötürməkdə H_{11} dalğasından istifadə edilir.

3. Öz quruluşuna görə azimutal bircinsli sahəyə malik H_{11} dalğası bir də ona görə maraq kəsb edir ki, dalğaötürənin divarlarında H_{φ} təşkiledəni olmur və yalnız $\vec{H}$ vektorunun uzununa komponenti olur. Bu da $\frac{\lambda_b}{R} \to 0$ halında sıfra yaxınlaşır. Deməli, limitdə dalğaötürənin divarlarında sahə olmur və divarlardan cərəyan axmır. Bu isə göstərir ki, dairəvi dalğaötürəndə H_{11} tipli dalğa zəif sönməyə malikdir.

4. Dairəvi dalğaötürəndə H_{11} tipli dalğa dairəvi simmetriyaya malikdir. Bunun sayəsində H_{11} tipli dalğa antena qurğularının fırlanan birləşmələrində istifadə olunur. Bundan başqa dalğaötürənin oxu boyunca konsentrə olunmuş elektrik sahəsinin uzununa təşkiledəninin mövcudluğu sayəsində dalğaötüräni xətti elektron sürətləndiricilərində tətbiq etməyə imkan verir.

5. Enerji ötürülməsində H_{11} tipli dalğadan dairəvi dalğaötürəndən istifadə etmək sərfəlidir. H_{11} tipli dalğa zəif sönməyə malikdir. Sönməyə əsas səbəb H_{01}, E_{01}, E_{11}, H_{21} tipli dalğaların yayılmasıdır. Ona görə də ixtiyari qeyri-bircinsliklər müxtəlif tiplərin çevrilməsinə gətirir. Bunun nəticəsində isə siqnallar təhrif olur, enerji itgisi artır və s. Odur ki, dalğaötürənlər və onlara əsaslanan qurğular olduqca dəqiq hazırlanmalıdır.

Ədəbiyyat

1. E.Q.İsmibəyli, İ.C.İslamov. Elektrodinamika və radiodalğaların yayılması. Ali məktəblər üçün dərslik. Bakı:, Elm, 2006, 450 s.
2. Под ред. А.М.Чернущенко. Конструирование экранов и СВЧ устройств. М.: Радио и связь, 1990, 567 с.
3. Л.Н.Корнушова. Электродинамика. М: Изд. Контур, 2005, 112 с.
4. В.В.Никольский, Т.И.Никольская. Электродинамика и распространение радиоволн. М.: Наука, 1989, 544 с.
5. Д.Ю.Муромцев, Ю.Т.Зырянов, П.А.Федюнин и др. Электродинамика и распространение радиоволн. Учебное пособие. Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012, 200 с.
6. Б.М.Петров. Электродинамика и распространение радиоволн. Учебник для вузов. 2-е изд., испр. М.: Горячая линия Телеком, 2007, 558 с., ил.

7. М.Н.Новокшанов. Электродинамика и распространение радиоволн. Рига: РВВАИУ, 1981, 563 с.
8. О.И.Фальковский. Техническая электродинамика. Учебник. 2-е изд., стер. СПб.: Изд-во «Лань», 2009, 432 с.
9. E.G.Ismibayli, I.J.Islamov, Y.G. Gaziyev. Calculation Of The Electromagnetic Field Of The Microwave Of Devices With Use Of Method FDTD And Integral Kirchhoff. International Journal of Engineering Innovation and Research (IJEIR), Volume 5, Issue 1, (2016) 103-106.
10. E.G.Ismibayli, I.J.Islamov, Y.G. Gaziyev. Modeling Of Electromagnetic Fields Of Microwave Devices On The Basis Of Matlab Program. International Journal of Innovative Science, Engineering and Technology (IJISET), Volume 3, Issue 2, (2016) 61-63.
11. E.G.Ismibayli, I.J.Islamov, Y.G.Gaziyev. An Optimal Control Of An Electromagnetic Field In High-Powered Microwave Devices. International Journal of Trend in Research and Development (IJTRD), Volume 3(1), (2016) 246-249.
12. E.G.Ismibayli, I.J.Islamov, Y.G.Gaziyev. Modeling of Anisotropic Rectangular Waveguide Partially Embedded in an Anisotropic Substrate. Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology (JMEST). Volume 2, Issue 2, (2015) 153-157.
13. Islam J. Islamov. Application of finite elements method by calculating electric field of hollow rectangular waveguide. IASTED, 2005, Canada, Calgary, (2005) 26-32.
14. Islam J. Islamov. Numerical method for analysis of electromagnetic field of microwave waveguide. International Conference on Antenna Theory and Techniques. September 9-12, Sevastopol, Ukraine, (2003) 45-50.

Tövsiyə edib: f-r.e.n., dos. ***S.A.Əliyev***

УДК 532.5:629.735.35

MATHEMATICAL MODELING OF HIGHSPEED SHIP'S HYDRODYNAMICS

Mayboroda O.M.

State University of Infrastructure and Technologies, Ukraine
Kyiv Institute of Water Transport
Kyryliska st. 9, Kyiv, Ukrayna 02000
E-mail: olexander.mayboroda@gmail.com

Abstract. *The nonlinear mathematical model of no steady hydrodynamics for a body intersecting a free surface of fluid is considered. Unlike the known approaches, the problem definition that is given here is more general. A calculation example of the high-speed ship's towing resistance in the Froude number's range from flotation to gliding is given. A satisfactory agreement of the calculation results with the experimental data is shown.*

Xülasə. *Məqalədə mayenin sərbəst səthini kəsib keçən cisim üçün qeyri-stasionar hidrodinamikasının qeyri-xətti riyazi modeli nəzərdən keçirilir. Bundan əvvəl bilinən yanaşmalardan fərqli olaraq burda tapşırığın daha ümumi şəkildə qoyulması təklif olunur. Yüksək sürətli gəminin Frud ədədləri diapazonunda üzmə rejimindən glissirovka sürüşməsinə qədər buksir müqavimətinin hesablanma misalı göstərilmişdir. Məqalədə hesablama nəticələrinin eksperimental məlumatlarla qənaətbəxş uzlaşması göstərilmişdir.*

Аннотация. *Рассмотрена нелинейная математическая модель нестационарной гидродинамики для тела, пересекающего свободную поверхность жидкости. В отличие от известных подходов, здесь предлагается более общая постановка задачи. Приводится пример расчета буксировочного сопротивления высокоскоростного судна в диапазоне чисел Фруда*

от режима плавания до глиссирования. Показано удовлетворительное согласование результатов расчета с экспериментальными данными.

***Key words**: mathematical modeling, hydrodynamics of a high-speed vessel, towing resistance*

***Açar sözlər**: riyazi modelləşdirmə, yüksək sürətli gəminin hidrodinamikası, buksir müqavimәti*

***Ключевые слова:** математическое моделирование, гидродинамика быстроходного судна, буксировочное сопротивление*

Traditionally, in the design, construction and operation of ships for the purpose of exploring their maritime qualities, methods of physical experimentation on models in experimental basins and water channels or on land vehicles are used. Such experiments are complex, expensive, model test results can only be roughly calculated on a full-scale vessel, and in-kind tests, for example, critical operating modes, are sometimes not possible due to the risk of damage to or loss of the ship. In connection with this, there is a need for the development and application of mathematical modeling, or so-called numerical experiment, when not physical models or vessels are investigated, but numerical solutions of equations that adequately reflect the investigated processes and with proper choice of boundary and initial conditions allow us to investigate in detail enough any hazardous mode of behavior of a virtual vessel.

A characteristic feature of the mathematical problems of the hydrodynamics of ships, which considerably complicates and sometimes makes it impossible for them to be analytically solved, is the presence of a free boundary of a fluid whose shape changes and therefore needs to be defined in the process of solution and in which, in the general case, nonlinear boundary conditions. Known results of the study of such problems are usually limited to simplification of the kinematics and ship's geometry, linearized image of the free boundary and the limiting assumption of the influence of the fluid weight (extremely small or infinite Froude numbers) [1,2]. For most practical applications, the problem of calculating nonlinear hydrodynamic characteristics of bodies of complex form, which arbitrarily cross the free surface of a heavy fluid at finite Froude numbers, remains an urgent problem.

Proceeding from these conditions, based on the general statement of a nonlinear nonstationary problem, a mathematical model of a body hydrodynamics is proposed in the presence of a free surface of a fluid [3].

Incompressible ideal fluid is located in the lower half-space with a boundary consisting of a body's wetted part $S_1(t)$, an isobaric free surface of a fluid $S_2(t)$ and a hydrodynamic vortex trace $S_3(t)\,\mathrm{M}S_2(t)$ on it. An arbitrary motion of a body, including a deformation one, with finite Froude numbers is assumed. The fluid boundary is represented by surface vortex systems $\gamma(S) = \{\gamma_1(S_1),\ \gamma_2(S_2)\ ,\gamma_3(S_3)\}$whose density is determined by solving the system of singular integral equations

$$\mathbf{n}(\mathbf{x},t)\int\limits_S \frac{\gamma(\xi,t)\times(\mathbf{x}-\xi)}{|\mathbf{x}-\xi|^3}\,dS = 4\pi\mathbf{n}(\mathbf{x},\mathbf{t})\mathbf{v}_1(\mathbf{x},t),\quad \mathbf{x}\in S_1(t),$$

$$\gamma_1(\mathbf{x},t) = 2\mathbf{n}(\mathbf{x},t)\times(E-\mathbf{n}\mathbf{n}^T)\left\{\frac{1}{4\pi}\int\limits_S \frac{\gamma(\xi,t)\times(\mathbf{x}-\xi)}{|\mathbf{x}-\xi|^3}\,dS + \right.$$

$$+\frac{\mathrm{sgn}(w_n(\mathbf{x},t))}{|\mathbf{n}(\mathbf{x},t)\times\mathbf{g}|}\mathbf{g}\Big[v^2(t)-(w_n(\mathbf{x},t)-v_n(t))^2-2(\dot{\varphi}(\mathbf{x},t)+$$

$$+gh(\mathbf{x},t))]^{\frac{1}{2}} - \mathbf{v}(t)\}, \quad \mathbf{x} \in S_2(t), \tag{1}$$

where $\mathbf{v}(t)$ is the speed of the beginning of the connected coordinate system; $\mathbf{v}_1(\mathbf{x},t)$ – speeds of a body surface S_1 points; $h(\mathbf{x},t)$ – perturbation of free surface S_2; E is a unit matrix; $(E-\mathbf{nn}^T)$ – operator of projecting of vector on the surface. The multiplication on the transposed vector of a normal $\mathbf{n}^T$ is understood in the sense of multiplication of matrices. The point indicates on the local derivative of the velocity potential over time. In bold type, vector values are indicated.

With the numerical implementation of the mathematical model (1), the integrals are converted to multi-dimensional Cauchy type integrals [4], most of whose properties are generalizations of known results of a one-dimensional case [5]. Surfaces S_1 and S_2 are considered to be piecewise-smooth in the sense of Lyapunov and contain only the angular points lines (the section of splash formation on the waterline $S_1 \cap S_2$, as well as the keel, the cheekbones on the body and the crests of nonlinear waves on a free surface of fluid). Thus, the possible zones of extreme nonlinearity of the free surface (points of exacerbation and collapse of wave's crests, free jets, etc.) are excluded from consideration.

Postulating the continuity of the fluid velocity field, we will accept zero the density of Cauchy-type integrals on the angular point's lines what correspond to the condition on the edge [6] for the keel and the body's cheekbones. That also mediates the mechanism of the destruction of nonlinear waves and jets on the fluid's free surface. The fore part of waterline contains the formation of spray jets where the fluid speed is finite [1]. The heads of these jets are angular points, possibly infinitely distant, and the Cauchy-type integral's density in them must also be accepted zero [7].

The vortex layer on a finite section of the boundary is modeled by a system of discrete vortices [4]. On the internal free boundary coming from the stern part of waterline there is the hydrodynamic trace of free vortices, which according to the Helmholtz theorem maintain their intensity and move along with the fluid. The part of waterline where spray jets are formed is considered as the line of angular points of the intersection of the free boundary and the body surface. In the vicinity of these points there is a system of discrete vortices that compensate the effect of the removed part of the jets. That allows closing the system of equations for the desired vortex intensities and obtaining a solution with a limited load here.

The inaccuracy of the considered problem associated with the instability of the vortex surfaces is eliminated by the destruction of the hydrodynamic trace on the line of conjugation of the internal and external free bounds. That corresponds to the behavior of the Cauchy type integral's density at the angular points and reflects the physical mechanism of the destruction of the nonlinear fodder wave.

Below is an example of using the mathematical model (1) to simulate hydrodynamics of a high-speed vessel. It is showed the result of calculation based on the theoretical drawing of the towing resistance of a high-speed boat BK-1[8] for a wide range of Froude numbers from swimming to gliding. A characteristic feature of the investigated boat's hull is the presence of transom stern and sharp side cheekbones.

Figure 1 shows the comparison of calculations of the inverse hydrodynamic fineness ratio ε of the aforesaid boat in the operating range of Froude numbers Fr_Δ for different relative position of the mass center $\bar{X}_g$ and towing tests results of such a boat's model in the hydrochannel [8] with the same value of the load factor C_g. As can be seen, there is a sufficient agreement for the entire range of investigated parameters.

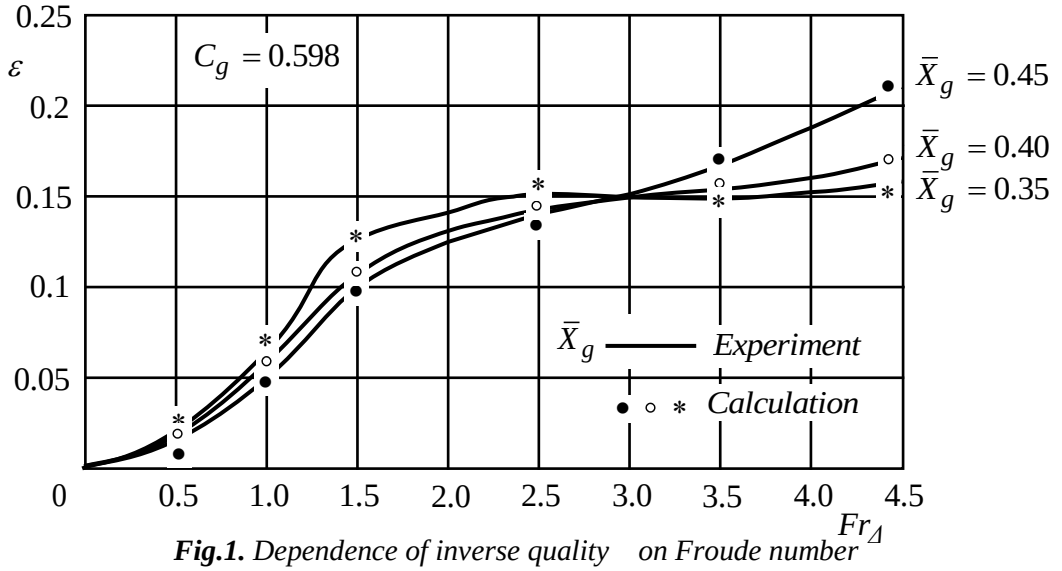


Fig.1. *Dependence of inverse quality on Froude number for the high-speed boat of type БК-1 at different relative location of the masses center*

The application of the represented modeling method for the investigation of the hydrodynamics of a perspective ship in one of the shipbuilding company allowed to obtaining recommendations for reducing the resistance of it.

The proposed mathematical model and the method of its realization can be used to study the hydrodynamics of high-speed vehicles (ships, screenplans, seaplanes, amphibious planes, etc.) that cross the free surface of the fluid.

References

1. Логвинович Г. В. Гидродинамика течений со свободными границами. Киев: Наукова думка, 1969. –209 с.
2. Сагомонян А. Я. Удар и проникание тел в жидкость. М.: Изд. Моск. ун-та, 1986. 172 с.
3. Майборода О. М. Математична модель гідродинаміки для тіла, що перетинає вільну поверхню ідеальної вагомої рідини // Доповіді АН УРСР. 1991. № 5. с. 50–53.
4. Белоцерковский С. М., Лифанов И. К. Численные методы в сингулярных интегральных уравнениях. М.: Наука, 1985. 256 с.
5. Какичев В. А. Граничные свойства интеграла типа Коши многих переменных //Уч. Зап. Шахт. пед. ин-та. 1959. **2**, вып. 6. – С. 25–91.
6. Хёнл Х., Мауэ А., Вестпфаль К. Теория дифракции. М.: Мир, 1964. 428 с.
7. Моткин А. С. Сингулярные интегральные уравнения по бесконечному контуру // Изв. АН БССР. Сер. физ.-мат. наук. 1967. № 4. с. 36-46.
8. Справочник по теории корабля: В 3 т. / Под ред. Я.И. Войткунского. Л.: Судостроение, 1985. Т. 1: Гидромеханика. Сопротивление движению судов. 76

Tövsiyə edib: f-r.e.n., dos. ***S.A.Əliyev***

УДК 622.276 621.914

FREZER TİPLİ BALTANIN TOXUNAN SƏTHLƏRİNDƏ TEMPERATUR GƏRGİNLİKLƏRİNİN TƏNZİMLƏNMƏSİ ÜSULLARI

[1]Mustafayev Ə.Q., [1]Kərimova İ.M., [2]Bayramova F.İ.

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti
Az. Bakı, Azadlıq pr. 16/21
Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası
Az1000, Bakı ş., Z.Əliyeva 18
E-mail: tetbiqimexanika@mail.ru

Xülasə. *Quyularda aparılan təmir-bərpa işlərinin sürətləndirilməsi frezerləmədə temperatur rejiminə daxil olan parametrlərin optimallaşdırılmasını tələb edir. Optimallaşdırmanı frezer qurğusunun konstruktiv ölçülərini, maye və digər rejim parametrlərini dəyişməklə tənzimləmək mümkündür. Bu parametrlərin optimallaşdırılması alətin işçi səthində temperatur balansını rasional səviyyədə saxlamaqla xeyli dərəcədə yeyilmənin qarşısını ala bilər.*

Həm frezerləmə, həm də qazma quyu daxilində baş verdiyindən, bu alətlərin toxunan səthlərində yaranan temperaturla bağlı təcrübi tədqiqatlar çox az aparılmışdır. Quyu daxilində həm qazmada, həm də frezerləmədə temperaturun yaranması ilə gedən proseslər, onların oxşarlığı və hər iki prosesdən alınan nəticələrin çox yaxın olması alətə birşaroşkalı frezer tipli balta kimi baxmağa kifayət edir. Hər iki alətin dağıdıcı elementləri ilə bağlı dağılmalar və yeyilmələr quyunun daxilində baş verir. Deməli, kəsici və dağıdıcı elementlərin istiliyə qarşı dözümlülüyü onların quyu daxilində istilik rejimlərinin tənzimlənməsindən, kəsici və dağıdıcı elementlərin qızması dağıdılan obyektlərin (metalın, süxurun) fiziki-mexaniki xüsusiyyətlərindən, qazma və frezerləmə rejimlərindən asılıdır.

Abstract. *Acceleration of repairing-fixed operation of well for milling process is required optimistic rejime of parameters an inner milling exploitation. This optimisation can be regulated due to alteration of constructive mills scale. washing with liquid properly and other rejime thoroughly, Optimisation of these parameters keeping its degree of heat balance in rational level on working process. Its surface may be prevented by wear and tear by means of cutting parts of instrument,*

In that way the process of milling and drilling occur in inner of well. as a result. the problem in connection with temperature caused due to cutting instruments for researching have been more little as well.

Processes which have been taken in milling part of surface and chisel equally and identical considerably which results have been presented a great opportunity for analysing the process as a single ball-shaped chisel. For this reason. heat stability of cutting and instrument of damage elements depend on regulation process of rejime parameters of milling and drilling as well as heating of cutting elements and objects destroyed. physico- mechanical property especially.

Аннотация. *Ускорение ремонтно-восстановительных работ в скважинах при фрезеровании требует оптимизацию режимных параметров, входящих в процесс фрезерования. Оптимизацию можно регулировать при изменении конструктивных размеров фрезера, промывочной жидкости и других режимных параметров. Оптимизация этих параметров, сохраняя в рациональном уровне тепловые балансы на рабочей поверхности, в большей степени может предотвратить износ режущей части инструмента.*

Так как процесс фрезерования и бурения происходит внутри скважины, температурные вопросы на поверхности разрушающих инструментов исследованы экспериментально

мало. Процессы, происходящие на поверхности фрезера и долота происходят одинаково и идентично, поэтому полученные результаты дают возможность рассматривать процессы, как одношарошечный долот. Таким образом, теплоустойчивость режущих и разрушающих элементов инструмента зависит от регулирования режимных параметров фрезерования и бурения, а также нагрева режущих элементов и физико-механических свойств разрушаемого объекта.

Açar sözlər. *Quyu, optimallaşdırma, qazma, oxşarlıq, şaroşkalı, kəsici, dağıdıcı*
Key words. *well, optimisation milling, similar, ball-shaped chisel, cutting, destroyed*
Ключевые слова. *колодец, оптимизация, подобие, шарошечный, врубит*

Giriş. Frezer tipli baltalar digər qazma baltalarından konstruksiyalarına, möhkəmliyinə və dayanıqlığına görə fərqlənirlər. Bu baltalar monolit gövdəyə malik olmaqla, onların dağıdıcı-doğrayıcı elementləri bərk süxurların və metal əşyaların dağıdılmasında yüksək səmərəliliyi təmin edir. Frezer tipli baltalardan əsasən beton təbəqələrin və sement tıxaclarının dağıdılmasında istifadə olunur. Əgər hər hansı bir səbəbdən quyuda qazma baltası pərçimlənib qalarsa, onları yalnız frezer tipli baltalarla dağıdıb quyudan kənarlaşdırırlar. Bu baltaların primitiv üsullarla soyudulmasına və özlülü süxurların qazılmasına yararlı olmamasına baxmayaraq, onlardan həm quyuların qazılmasında, həm də istismarında baş verən mürəkkəb qəzaların aradan qaldırılmasında əvəzolunmaz köməkçi alət kimi də istifadə olunur.

Aparılan təcrübələrin əksəriyyəti göstərir ki, qazmada baltanın şaroşkaları, frezerləmədə isə frezerin kəsici elementləri sürtünmə nəticəsində həddən artıq qızır, bəzi hallarda isə temperatur hətta 1000-1200°C-yə qədər qalxır. Belə hallar kompozit elementlərlə armirlənən sahənin tez bir zamanda sıradan çıxması ilə nəticələnir [1] .

Quyu daxilində hər iki alət iki temperatur sahəsinin (həndəsi və alətin quyu ilə qarşılıqlı) təsirinə məruz qalır.

Ona görə də, neft-qaz sənayesi üçün istiyədavamlı süxurdağıdıcı və metaldağıdıcı alətlərin quyunun konstruksiyasına uyğun işlənib hazırlanması müasir qazmada və təmirdə böyük əhəmiyyət kəsb edir.

Məsələnin qoyuluşu. Sürtünmə sahəsinə təsir edən temperatur amillərini müəyyən edən metoddan istifadə etməklə, soyutma məhlulunun miqdarını və rejim parametrlərini tənzimləməklə həm süxurdağıdıcı, həm də frezer alətinin işçi səthlərində sürtünmədən yaranan istiliyi nəzərə almaqla alətin işlək sahəsinin rasional formasını təmin edən konstruksiyasını hazırlamaq olar.

Məsələnin həlli. Baxılan problemlərlə bağlı aparılan analizlərin nəticələri göstərir ki, işçi səthlərdə yaranan temperaturlar fərqinin, temperatur gərginliklərinin təyininə, istilik rejimlərinin optimizasiyasına, alətin işçi səthinin armirlənməsində istifadə olunan kəsici elementlərin hazırlandığı kompozit materialların tərkibinin və konfiqurasiyalarının seçilməsinə texniki ədəbiyyatlarda nəzəri cəhətdən baxılmışdır [2] .

Dağılmaya məruz qalan obyektin mexaniki tərkibi sərtləşdikcə, onun emalı da çətinləşir, toxunan səthlərdə gərginlikli vəziyyət artır və kəsici–doğrayıcı elementlər deformasiyaya uğrayır. Deformasiyadan sonra alətin kəsici-dağıdıcı elementlərinin dağıdılan obyektə qarşı göstərdiyi müqavimət zamanı yaranan plastiki deformasiya, süxurun dağıdılmasında və yonqarlama zonasında yaranan bərkimə alətin pərçimlənməsinə və kütləşməsinə imkan yaradan qüvvələrin böyüməsinə gətirib çıxarır.

Toxunan səthlərdə yaranan temperaturla bağlı məsələlərin həllində alətin işləmə qabiliyyətini qiymətləndirməkdən ötrü yalnız dağıdılma zonasında yaranan qüvvələrin analizi və ya alətin işçi rejim parametrlərinin dəyişdirilməsi ilə məhdudlaşmaq olmaz.

Alətin toxunan səthlərində yaranan temperaturun tənzimlənməsində, bu istiliyi yaradan səbəblərə və onun artmasına imkan verən bütün qarşılıqlı faktorlara kompleks şəkildə baxılması tələb olunur.

Kvazistar temperatur gərginlikləri adətən termoelastiki potensial yerdəyişmə ilə təyin olunur [3]

Bu asılılıq fəza koordinat sistemində aşağıdakı kimi müəyyən olunur:

$$\begin{cases} \sigma_{rr} = \frac{4G}{r}\frac{\partial \phi}{\partial r} \\ \sigma_{\theta\theta} = \sigma_{\varphi\varphi} = 2G(\frac{1}{r}\frac{\partial \phi}{\partial r} - \nabla\phi) \end{cases} \quad (1)$$

burada, σ_{rr} və $\sigma_{\varphi\varphi}$ –uyğun olaraq radial və toxunan istiqamətlərdə yaranan temperatur gərginlikləridir; G - ikinci növ elastiklik moduludur; $\nabla = \frac{\partial r}{\partial r^2} + \frac{2}{r}\frac{\partial}{\partial r}$ -Laplas operatorudur.

$\nabla\phi$ - termoelastiki potensial yerdəyişmədir, temperaturlar fərqindən (ΔT- dən) asılı olaraq aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$\nabla\phi = \left(\frac{1+\mu}{1-\mu}\right)\beta\Delta T \quad (2)$$

burada, μ- Puasson əmsalıdır; β - termiki genişlənmə əmsalıdır.

Termoelastiki potensial yerdəyişməni (2)-ni zamana görə diferensiallasaq, onda alarıq:

$$\frac{\partial \nabla\phi}{\partial t} = \left(\frac{1+\mu}{1-\mu}\right)\beta\frac{\partial T}{\partial t} = (\frac{1+\mu}{1-\mu})\beta a\nabla\Delta T \quad (3)$$

Nəzərə alsaq ki, Laplas operatoru zamandan asılı deyil, onda (3)-ü aşağıdakı kimi yaza bilərik:

$$\nabla\frac{\partial \phi}{\partial t} = (\frac{1+\mu}{1-\mu})\beta a\nabla T \quad (4)$$

(4)-ün hər tərəfini "∇"-ya bölsək, onda alarıq:

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = (\frac{1+\mu}{1-\mu})\beta a\Delta T \quad (5)$$

(5)-i $x = \frac{r^2}{4at}$ ümumiləşmiş parametrlərə görə çevirsək, onda alarıq:

$$\begin{cases} \frac{\partial \phi}{\partial t} = \frac{\partial \phi}{dx}\frac{\partial x}{\partial t} = -\frac{x}{t}\frac{d\phi}{dx} = k\Delta T \\ \frac{d\phi}{dx} = -kt\frac{\Delta T}{x} \end{cases} \quad (6)$$

(6)-nın ikinci tənliyini x-ə görə təyin edək:

$$\frac{\mathrm{d}^2\phi}{\mathrm{dx}^2} = \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{dx}}\left(\frac{\mathrm{d}\phi}{\mathrm{x}}\right) = \mathrm{kt}\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{dx}}\left(\frac{\Delta \mathrm{T}}{\mathrm{x}}\right) = -\mathrm{kt}\frac{1}{\mathrm{x}}(\frac{\mathrm{d}\Delta \mathrm{T}}{\mathrm{dx}} - \frac{\Delta \mathrm{T}}{\mathrm{x}}) \quad (7)$$

Laplas operatorunu (7)-də nəzərə alsaq, onda temperatur gərginliklərini aşağıdakı kimi yaza bilərik:

$$\begin{cases} \sigma_{\mathrm{rr}} = -4\mathrm{G}\frac{1}{\mathrm{l}}\frac{\partial \phi}{\partial \mathrm{r}} \\ \sigma_{\theta\theta} = \sigma_{\varphi\varphi} = -2\mathrm{G}(\frac{1}{\mathrm{r}}\frac{\mathrm{d}\phi}{\partial \mathrm{r}} + \frac{\partial^2\phi}{\partial^2 \mathrm{r}}) \end{cases} \quad (8)$$

Radius üzrə xüsusi tərtibdən törəməni ümumiləşmiş "x" dəyişəni üzrə çevirsək, onda yazarıq:

$$\begin{cases} \frac{1}{r}\frac{\partial \phi}{\partial r} = \frac{1}{r}\frac{\partial x}{\partial r}\frac{d\phi}{dx} = \frac{1}{r}\frac{r}{2at}\frac{d\phi}{dx} = \frac{kt}{2at}\frac{\Delta T}{x} = -\frac{k}{2}\frac{\Delta T}{x} \\ \frac{\partial \phi^2}{\partial r^2} = \frac{d^2\phi}{dx^2}\left(\frac{\partial x}{dr}\right)^2 + \frac{d\phi}{dx}\cdot\frac{d^2x}{dr^2} = \frac{1}{at}\left(x\frac{d^2\phi}{dx^2} + \frac{1}{2}\frac{d\phi}{dx}\right) = \\ = \frac{kt}{at}\left(\frac{d\Delta T}{dx}\frac{\Delta T}{x} + \frac{1}{2}\frac{\Delta T}{x}\right) = -\frac{k}{a}\left(\frac{d\Delta T}{dx} - \frac{1}{2}\frac{\Delta T}{x}\right) \end{cases} \quad (9)$$

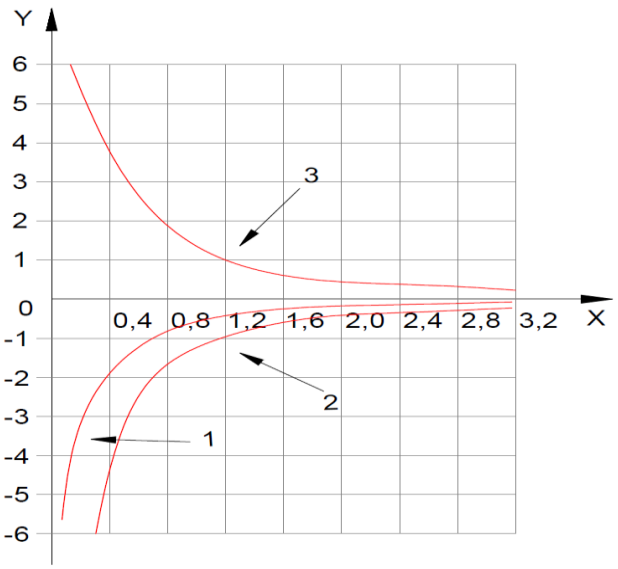
(9)-u (8)-də nəzərə alıb, temperatur gərginliklərini aşağıdakı kimi yaza bilərik:

$$\begin{cases} \sigma_{rr} = -4G\left(\frac{K}{2a}\cdot\frac{\Delta T}{x}\right) = 2G\frac{K}{a}\frac{\Delta T}{x} \\ \sigma_{\theta\theta} = \sigma_{\varphi\varphi} = 2G\left[-\frac{K}{2a}\cdot\frac{\Delta T}{x} - \frac{K}{a}\left(\frac{d\Delta T}{dx} - \frac{1}{2}\frac{\Delta T}{x}\right)\right] = \\ = 2G\frac{K}{a}\left[\frac{1}{2}\frac{\Delta T}{x} - \frac{d\Delta T}{dx} - \frac{1}{2}\frac{\Delta T}{dx}\right] = 2G\frac{K}{a}\frac{d\Delta T}{dx} \end{cases} \quad (10)$$

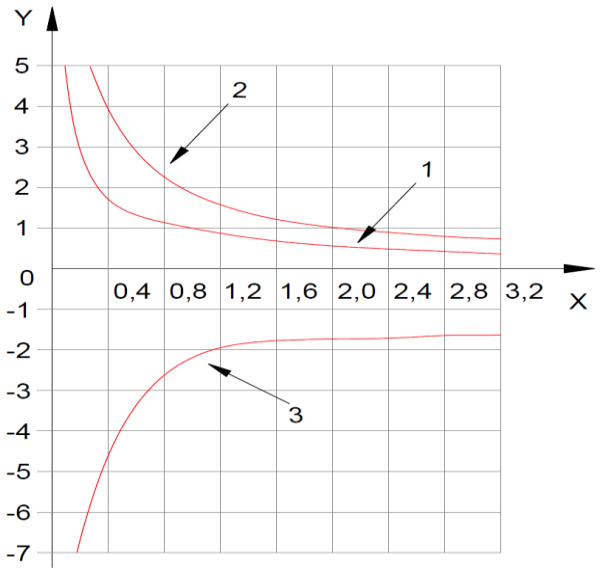
(10)-da "K"-nin qiymətini nəzərə alıb, temperatur gərginliklərini və bu gərginliklərin fərqini ölçüsüz kəmiyyət kimi yaza bilərik:

$$\begin{cases} \bar{\sigma}_{rr} = \frac{\sigma_{rr}}{2G(\frac{1+\mu}{1-\mu})\beta T_{or}} = \frac{\Delta T}{x} \\ \sigma_{\theta\theta} = \bar{\sigma}_{\varphi\varphi} = \frac{\sigma_{\theta\theta}}{2G(\frac{1+\mu}{1-\mu})\beta T_{or}} = \frac{d\Delta T}{dx} \\ \bar{\sigma}_{rr} - \bar{\sigma}_{\theta\theta} = \frac{\Delta T}{x} - \frac{d\Delta T}{dx} \end{cases} \quad (11)$$

(11) düsturuna əsasən, sürtünmədən yaranan temperatur gərginliklərinin "x" ölçüsüz kəmiyyətindən ($\frac{x_1}{x_0}$ nisbətinin müxtəlif qiymətləri üçün) asılılığını göstərən qrafik qurulmuşdur. (şəkil 1,2)



Şəkil 1. *Silindrin radial gərginliklərinin ($y = \sigma_{rr}$) "x" parametrindən ($\frac{x_1}{x_0}$ nisbətinin müxtəlif qiymətlərində) asılı olaraq dəyişməsini göstərən qrafik (qrafikdəki: 1 əyrisi $\frac{x_1}{x_0}$=0,2; 2 əyrisi $\frac{x_1}{x_0}$ =0,5; 3 əyrisi $\frac{x_1}{x_0}$ = 1 qiymətlərinə uyğun qurulmuşdur).*



Şəkil 2. *$y = \sigma_{rr} - \sigma_{\theta\theta}$ gərginliklər fərqinin "x" parametrindən ($\frac{x_1}{x_0}$ nisbətinin müxtəlif qiymətlərində) asılı olaraq dəyişməsini göstərən qrafik (qrafikdəki 1 əyrisi $\frac{x_1}{x_0}$ =0,2; 2 əyrisi $\frac{x_1}{x_0}$ =0,5; 3 əyrisi $\frac{x_1}{x_0}$ =1 qiymətlərinə uyğun qurulmuşdur)*

Şəkil 1-dən göründüyü kimi, radial istiqamətdə yaranan gərginliyin intensiv azalması müşahidə olunur. x≤1 oblastında ($\frac{x_1}{x_0}$ nisbətlərinin bütün qiymətlərində), müəyyən müddətdən sonra proses sabitləşir.

(11) düsturuna əsasən təyin olunan qrafikin analizi göstərir ki, $\frac{x_1}{x_0}$ nisbəti dəyişdikdə, gərginliklər fərqinin qiyməti də dəyişir. $\frac{x_1}{x_0}$ nisbətinin kiçik qiymətlərində gərginliklər fərqi müsbətə doğru (şəkil 2, 1 və 2 əyriləri), $\frac{x_1}{x_0}$>0.8 qiymətlərində isə gərginliklər fərqi mənfiyə doğru dəyişir.

Təcrübədən alınan nəticələr quyudaxili alətin istismarı zamanı toxunan səthlərdə yaranan temperatur gərginliklərinin proqnozlaşdırılmasına imkan verir.

Belə proqnozlaşdırmalar alətin toxunan səthlərində temperatur gərginliklərinin azaldılmasına və prosesin idarə olunmasına yaxşı imkanlar yaradır.

Təcrübədən alınan nəticələr neft və qaz quyularının tikilməsində və istismarında rasional şəraiti təmin edən iş rejimi qurmağa yaxşı imkanlar yaradır.

Nəticə. 1. Soyutma sistemi ilə istilik mübadiləsinə daxil olan parametrləri tələb edilən səviyyədə saxlamaq layihələndirmə zamanı alətin həcmi və radiusu boyunca armirlənmiş qatlarda temperatur gərginliklərini azaltmağa, kəsici elementlərin yeyilməyə qarşı davamlılığını və alətin məhsuldarlığını artırmağa imkan verir. 2. Aparılan elmi tədqiqatlardan alınan yüksək nəticələrdən istifadə etməklə, radial istiqamətdə yaranan gərginliyin, intensiv azaldılmasına, temperatur gərginliklərinin və yaxud da alətin toxunan səthlərində temperaturun tənzimlənmsinə, əsaslı təmirə çəkilən xərclərin azaldılmasına, quyuların qazılmasında və istismarında xeyli dərəcədə iqtisadi səmərəliliyə nail olmaq mümkündür.

Ədəbiyyat

1. Mustafayev A.G. «Study of the increase of well drilling tools work capability», «National Science Review», Issue 6 (2), volume 4, Oxford University Press, Proceedings of the Journal are located in the Databases Scopus and Web of Science, Source Normalized Impact per Paper, 1538-1542, 2017year
2. Mustafayev A.G., Hasanova L.A. «Methodic of determination of FBi cooling criterion in the process of drilling and milling». National Science Review, Issue 6 (2), volume 4, Oxford University Press, Proceedings of the Journal are located in the Databases Scopus and Web of Science, Source Normalized Impact per Paper, 1542-1546,2017 year.
3. Mustafayev A.G., Amirova A.M. «Influences of the composite material dispersed particles directed to the cutting edge of the drilling tool on the specific productivity of milling process of composite material». National Science Review, Issue 6 (2), volume 4, Oxford University Press, Proceedings of the Journal are located in the Databases Scopus and Web of Science, Source Normalized Impact per Paper, 1621-1627, 2017 year.

Təvsiyə edib: f-r.e.n., dos. ***S.A.Əliyev***

UOT 622.276

ÇOXLÜLƏLİ ÜFÜQİ QUYULARA MAYE AXINI MƏSƏLƏSİ

Əsgərov R.X., Əliyeva K.A.

Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası, Baker Hughes Şirkəti
E-mail: kema85@mail.ru

Аннотация. *В статья рассмотриваются работы по внедрению горизонтальных скважин в цельях эксплуатации нефтяных залежей.*

Xülasə*. Məqalədə neft yataqlarının ehtiyatlarının mənimsənilməsi üçün üfüqi quyuların tətbiqi ilə bağlı mövcud işlərin icmalı və analizi verilmişdir.*

Abstract*. In the article it is given the review and analysis of the existing works related to the application of horizontal wells for producing of oil field reserves.*

Açar sözlər: *üfüqi quyular, yataqların mənimsənilməsi, məhsuldarlıq, keçiricilik*

Key words*: horizontal wells, reservoir production, productivity, permeability*

Ключевые слова: *горизонтальные скважины, производство коллектора, производительность, проходимость*

Giriş. Son illərdə qazma və tamamlama avadanlıq və texnologiyalarının inkişafi üfüqi quyulara marağı artırmışdır. Buna baxmayaraq üfüqi quyunun qazılmasının rentabelli olub olmayacağını təyin etmək üçün mühəndislərə çıxarılabiləcək quyu hasilatını hesablamaq üçün etibarlı metod lazımdır. Bu məqsədlə müxtəlif modellər işlənmiş və bir çox tədqiqatçılar hesablama üsulları təqdim etmişlər. Bu sahədə aparılmış bir çox analitik hesablamalarda qəbul olunmuşdur ki, lay sonsuz keçiricidir və ya quyu dibinə axın sabitdir [1]. Bu o deməkdir ki, bu hesablama metodlarında təzyiq düşküsü nəzərə alınmamışdır. Başqa qrup tədqiqatçılar isə əksinə təzyiqlər fərqi böyük oldugu hal üçün hesablamalar aparmışlar. Ümumiyyətlə cari hasilat hesablama modellərini üç qrupa bölmək olar:

1. Quyu dibinin keçiriciliyi sonsuz qəbul olunan sadə analitik həllər (Borisov, Jiger, Coşi, Babu və başqaları). Bu həllər daha çox qəbul olunmuş və tətbiq olunan həllərdir. Lakin bu üsular dəqiq həllər vermir. Belə ki, onlar quyu dibində təzyiq düşküsunu nəzərə almır. Bu modellər ilkin hesablalamalar və parametrlərin bir- birinə təsirini öyrənmək üçün yaxşıdır.
2. Quyu dibinin keçiriciliyi sonlu qəbul olunan sadə yarı-analitik həllər. (Dikken, Aziz, Çen və başqaları). Bu üsullar çox mürəkkəbdir, amma onlar sahə hesablamaları üçün daha dəqiq nəticələr verir [2,3].
3. Quyu hidravlikasını nəzərə alan rəqəmsal modellər (Stone, İslam, Çakma və başqaları). Bunlar dəqiq sahə tətbiqləri- kompyuter proqramıdır. Lakin hər bir sahə mühəndisində gündəlik hesablama üçün bu proqram təminatı yoxdur.

Məsələnin qoyuluşu. Qərarlaşmış rejimdə bircins dairəvi anizotrop layda, layın daban müstəvisindən z_0 məsafə yerləşən müstəvi üzərində, lülələrinin uzunluqları, ümumi halda $l_1, l_2, \ldots, l_n$ olan çoxlüləli üfüqi quyuya maye axını kəsilməzlik tənliyi, laydan quyu lülələrinə daxil olan mayenin balans tənlikləri, quyu lülələrində mayenin hərəkət tənlikləri tənliklər sistemi ilə modelləşdirilir. Qəbul olunur ki, mayenin layda süzülməsi xətti Darsi qanununa tabedir və quyu lüləsində axın laminardır. Bu tənliklər sistemi aşağıdakı sərhəd şərtləri (1.1) daxilində həll edilməklə

$$2\pi \frac{k_z}{\mu} \frac{\partial p}{\partial z}\bigg|_{z=0,h} = 0, \quad p(r_k, z) = p_k, \quad Q^w(z)\big|_{z=z_0} = Q, \tag{1.1}$$

sərhəd şərtləri daxilində həlli aşağıdakı şəkildə alınmışdır :

$$p_k - p_q = \frac{\mu Q}{2\pi k h}\frac{1}{L_n}\left(\sum_{i=1}^{n} l_i \ln\frac{a_n r_k}{l_i} + h F_0\right), \qquad (1.2)$$

$$F_0 = \frac{1}{\sqrt{\nu}}\ln\left(\frac{h}{2\pi r_w \sqrt{\nu}}\frac{1}{\sin(\pi z_0 / h)}\right),\ \nu = \frac{k_z}{k},\quad L_n = l_1 + l_2 + \ldots + l_n,\ n \le 24$$

Burada: Q-quyunun hasilatı ($m^3/gün$), $\Delta p = p_k - p_q$ - təzyiqlər fərqi (MPa), p_k - qida konturunda təzyiqin qiyməti (MPa), p_q - üfüqi quyu lülələri üzərində dib təzyiqinin orta qiyməti (MPa), n - üfüqi quyunun lülələrinin sayı, $\nu = k_z / k$, - süxurun anizatropluğu, r_w - üfüqi quyu lüləsinin radiusu (m), $l_1, l_2, \ldots, l_n$ -üfüqi quyunun lülələrinin uzunluqları (m), z_0 - daban müstəvisindən quyu lüləsinə qədər olan məsafə (m), a_n - sabit əmsallar

Əgər (1.2) düsturunda üfüqi quyu lülələrinin uzunluqları bir-birinə bərabər olarsa, yəni $l_1 = l_2 = \ldots = l_n = l$, onda $L_n = nl$ olar və onda həmin düstur sadələşərək aşağıdakı şəklə düşər:

$$p_k - p_q = \frac{\mu Q}{2\pi k h}\left(\ln\frac{a_n r_k}{l} + \frac{h}{nl} F_0\right) \qquad (1.3)$$

Xüsusi hallara baxaq:

1. Üfüqi quyunun lüləsinin uzunluğu l-ə bərabər olan bir lüləsi var. Bu halda (1.3) ifadəsində və $n = 1$ qəbul etsək, $a_1 = 3.1422$ olar və birlüləli quyunun hasilatının təyini üçün aşağıdakı ifadəni alarıq:

$$Q(1, \alpha_1) = \frac{2\pi k h}{\mu B}\frac{p_k - p_q}{\left(\ln\frac{a_1 r_k}{l} + \frac{h}{l} F_0\right)} \quad . \qquad (1.4)$$

2. Üfüqi quyunun lülələrinin hər birinin uzunluğu l-ə bərabər və aralarında qalan bucağı 180^0 dərəcəyə bərabər olan iki lüləsi və ya uzunluğu $2l$-ə bərabər olan bir lüləsi var. Bu halda, (1.3) düsturunda və $n = 2$ qəbul etsək, $a_2 = 2.0828$ olur və quyunun hasilatının təyini üçün aşağıdakı ifadəni alarıq:

$$Q(2, \alpha_2) = \frac{2\pi k h}{\mu B}\frac{p_k - p_q}{\left(\ln\frac{a_2 r_k}{l} + \frac{h}{2l} F_0\right)} \qquad (1.5)$$

3. Üfüqi quyunun lülələrinin hər birinin uzunluğu l-ə bərabər və aralarında qalan bucağı 120^0 dərəcəyə bərabər olan üç lüləsi vardır. Bu hal üçün (1.3) ifadəsindən $n = 3$ və $a_3 = 1.8621$ olduğunu təyin edirik və quyunun hasilatının təyini üçün aşağıdakı ifadəni alarıq:

$$Q(3, \alpha_3) = \frac{2\pi k h}{\mu B}\frac{p_k - p_q}{\left(\ln\frac{a_3 r_k}{l} + \frac{h}{3l} F_0\right)} \quad . \qquad (1.6)$$

və s. aşağıdakı fərqə baxaq:

$$\Delta Q^{(1)}{}_{n,n-1} = Q(n, \alpha_n) - Q(n-1, \alpha_{n-1}) \qquad (1.7)$$

(1.7) düsturu, çoxlüləli üfüqi quyunun lülələrinin sayını uzunluğu l olan bir lülə artırdıqda onun hasilatının nə qədər artdığını təyin etməyə imkan verir.

Quyu və lay paramterlərin aşağıdakı qiymətlərində hidrodinamik hesablamalar aparaq: dairəvi

layın mərkəzindən qida konturuna qədər olan məsafə $r_k = 1000\,\text{m}$; layın mərkəzindən qida konturu istiqamətində qazılmış bütün üfüqi lülələr üçün eyni olan quyuların radiusu $r_w = 0{,}1\,\text{m}$; layın effektiv qalınlığı $h = 20\,\text{m}$; layın keçiricilik əmsalı $k = 0{,}2.10^{-12} м^2\ (\nu = 1)$; mayenin özlülük əmsalı $\mu = 1{,}3\ MPa.s$; mayenin həcmi genişlənmə əmsalı $B = 1{,}2$; layın daban müstəvisindən üfüqi quyunun yerləşdiyi müstəviyə qədər olan məsafə $z_0 = \frac{h}{4} = 5\,\text{m}$; təzyiq düşgüsü $p_k - p_q = 3\,MPa$; quyu lülələrinin üfüqi hissəsinin $l_1 = l_2 = \ldots = l_n = l$.

Quyu və lay parametrlərinin verilən qiymətlərində (1.3) düsturuna görə hesablama aparılmış və çoxlüləli üfüqi quyunun lülələrinin sayından və uzunluqlarından asılı olaraq quyunun hasilatı hesablanmış və alınmış nəticələr cədvəl 1.1-də verilmişdir.

Cədvəl 1.1

Lülələrinin sayı n -dən və uzunluqları l – dən asılı olaraq üfüqi quyu hasilatının hesablanmış qiymətləri

n	a_n	l, *м*				
		50	100	300	500	700
		Q, $м^3/gün$				
1	3,1422	743	997	1609	2103	2598
2	2,0828	934	1226	2026	2782	3653
3	1,8621	1016	1317	2189	3061	4120
4	1,7768	1060	1364	2269	3200	4359
5	1,7344	1087	1391	2315	3279	4498

Düstur (1.7) görə lay və quyu parametrlərinin yuxarıda verilmiş qiymətlərinə nəzərən hesablamalar aparılmış və üfüqi quyu lülələrinin sayının bir vahid artması ilə onun hasilatının artımı hesablanmış və alınmış nəticələr cədvəl 1.2-də verilmişdir.

Cədvəl 1.2

n – lüləli və $n-1$ lüləli üfüqi quyuların hasilatlarının fərqinin hesablanmış qiymətləri

n	a_n	l, *м*							
		100		300		500		700	
		Q,	$Q^{(1)}_{n,n-1}$	Q,	$Q^{(1)}_{n,n-1}$	Q,	$Q^{(1)}_{n,n-1}$	Q,	$Q^{(1)}_{n,n-1}$
		$м^3/gün$							
1	a_1	997	-	1609	-	2103	-	2598	-
2	a_2	1226	229	2026	417	2782	679	3653	1055
3	a_3	1317	91	2189	163	3061	279	4120	467
4	a_4	1364	47	2269	80	3200	139	4359	239
5	a_5	1391	27	2315	46	3279	79	4498	139

Cədvəl 1.3-də isə çoxlüləli üfüqi quyunun lülələrinin sayının artmasına uyğun onun hasilatı və lülələrinin vahid uzunluğuna düşən hasilat artımının hesablanmış qiymətləri verilmişdir. Üfüqi quyuylar qazılmazdan əvvəl bu quyunun iqtisadi səmərəsini təyin edilməsi üçün bu hesabatların aparılması məqsədə uyğundur.

Cədvəl 1.3

Çoxlüləli üfüqi quyunun hasilatı ($m^3 / gün$) və lülələrinin vahid uzunluğuna düşən hasilat artımının ($m^2 / gün$) qiymətləri

n	a_n	l, m									
		50		100		300		500		700	
		Q	$\frac{Q}{nl}$	Q	$\frac{Q}{nl}$	Q	$\frac{Q}{nl}$	Q	$\frac{Q}{nl}$	Q	$\frac{Q}{nl}$
1	a_1	743	14,9	997	10,0	1609	5,4	2103	4,2	2598	3,7
2	a_2	934	9,3	1226	6,1	2026	3,4	2782	2,8	3653	2,6
3	a_3	1016	6,8	1317	4,4	2189	3,4	3061	2,3	4120	2,0
4	a_4	1060	5,3	1364	3,4	2269	1,9	3200	1,6	4359	1,6
5	a_5	1087	4,3	1391	2,8	2315	1,5	3279	1,3	4498	1,3

Nəticələrin analizi. Belə ki, nəticələrdən aydındır ki, üfüqi quyunun lüləsinin uzunluğu artdıqca onun vahid uzunluğuna düşən hasilatın qiyməti azalır. Bununla belə məlumdur ki, quyu lüləsinin uzunluğu artdıqca vahid uzunluğa düşən qazma xərcləri isə artır.

Nəticə. 1. Cədvəl (1.1)-dən göründüyü kimi, quyu lülələrinin sayi artdıqca hasilat artır. Cədvəl (1.3)-dən göründüyü kimi quyu lülələrinin sayı artdıqca quyu hasilatının artımında azalma müshahidə olunur. 2. Cədvəl 1.3-dən görünür ki, çoxlüləli üfüqi maye quyusunun lülələrinin vahid uzunluğuna düşən hasilatının qiymətləri çoxlüləli üfüqi quyunun lülələrinin sayından və uzunluğundan kəskin şəkildə asılıdır. Beləliklə yataqlarin layihələndirilməsi zamanı qabaqcadan üfüqi quyunun qazılmasına çəkiləcək xərcləri bilməklə, cədvəl 1.4 çoxlüləli üfüqi quyunun lülələrinin sayını və uzunluqlarını təyin etmək olar.

Ədəbiyyat

1. Salavatov T.Ş., Axundov C.S. Yusifov M.H. Mehmanov R.Q. Çoxlüləli üqfi quyularin effektivliyi və məhsuldarlığının hesablanması // ANT, 2017, № 5, s. 14-17
2. Исмаилов Ф.С., Велиев М.Н. Определение производительности нефтяных и газовых многозабойно-горизонтальных скважин с учетом плотности перфорации и анизотропии пласта//Нефтепромысловое дело, ВНИИОЭНГ, №6, 2012 г., с. 9-13.
3. Салаватов Т.Ш. Элементы эксплуатации горизонтальных сква¬жин. // Баку: Маариф, 2001, 84 с

Tövsiyə edib: f-r.e.n., dos. ***S.A.Əliyev***

MƏQALƏLƏRİN TƏRTİBİ QAYDALARI

1. Əlyazma A4(210x297mm) formatlı, yuxarı və aşağıdan 25 mm, soldan və sağdan 20 mm boş yer saxlamaqla çap olunur. Əlyazmanın həcmi **8-10 səhifədən** çox olmamalıdır.
2. Hər bir məqalədə **UOT indekslər** və ya PACS tipli kodlar göstərilməlidir.
3. **Məqalə üç dildə - azərbaycan, rus və ingilis** dillərində çap oluna bilər. **Məqalədə xülasə 3 dildə və 100-150 söz aralığında verilməlidir**. Müxtəlif dillərdə olan xülasələrin mətnləri eyni və məqalənin məzmununa uyğun olmalıdır. Açar sözlər üç dildə - azərbaycan, rus və ingilis dillərində verilməlidir (5 sözdən az olmamaqla).
4. Məqalənin mətni azərbaycan dilində - latın, rus dilində - kiril, ingilis dilində - ingilis əlifbası ilə Times New Roman versiyasında 12 şrift ilə, bir intervalla yığılmalıdır.
5. Tənliklər və düsturlar mətndən bir boş sətirlə ayrılmalıdır.
6. Düsturları, ardıcıl olaraq, sətrin sağ tərəfində dairəvi mötərizələrdə yerləşdirilmiş ərəb rəqəmləri ilə nömrələmək lazımdır.
7. Simvolların və ədədi əmsalların izahı bilavasitə düsturun altında, onların düsturda rast gəlindiyi ardıcıllıqla verilməlidir.
8. Məqalənin nəticələrində, elm sahəsinin və məqalənin xarakterinə uyğun olaraq, işin elmi yeniliyi, tətbiqi əhəmiyyəti, iqtisadi səmərəsi və alınan əsas nəticələr aydın şəkildə verilməlidir.
9. Məqalənin sonunda verilən ədəbiyyat siyahısı istinad olunan ədəbiyyatların mətndə rast gəlindiyi ardıcılıqla verilməlidir. Onlara istinad [1] və ya [1, s.119] kimi işarə olunmalıdır. Ədəbiyyat siyahısında son 5-10 ilin elmi məqalələrinə, monoqrafiyalarına və s. istinadlara üstünlük verilməlidir.
10. Məqalədə müəllif(lər)in işlədiyi müəssisə və onun ünvanı, müəllifin elektron poçt ünvanı göstərilməlidir.
11. Məqalənin sonunda məqaləni çapa tövsiyə edən müəssisənin elmi şurasının müvafiq iclas protokolunun nömrəsi və uyğun tarixi qeyd olunmalıdır.
12. Müəllif(lər) məqalənin çap olunması üçün yazılı surətdə razılıq verməlidir(lər).
13. Səhifələr vərəqin sağ tərəfdəki aşağı küncündə karandaşla nömrələnməlidir.
14. Əlyazmada aşağıdakı ardıcıllıq gözlənməlidir:

- UOT indeks(qalın, 11 ölçü, böyük hərflərlə, məqalənin yuxarısında, sol hissədə abzasdan yazılmalı);
- məqalənin adı(qalın, 12 olçü, böyük hərflərlə yazılmalı, UOT indekslə məqalənin adı arasında iki interval buraxılmalıdır);
- müəllif(lər)in soyadı, adı, atasının adı (qalın, 12 olçü, kiçik hərflərlə yazılmalı, məqalənin adı ilə müəllif(lər)in soyadı arasında bir interval buraxmalıdır);
- təşkilatın adı, ünvanı, E-mail (12 olçü, kursiv, kiçik hərflərlə yazılmalı, müəllif(lər)in soyadı ilə təşkilatın adı, ünvanı, E-mail arasında bir interval buraxılmalıdır);
- **Xülasə**
- **Abstract**
- **Аннотация**
- **Açar sözlər**
- **Key words**
- **Ключевые слова**
- **Giriş**
- **Məsələnin qoyuluşu**
- **Alınmış nəticələrin analizi**
- **Nəticə**
- **İstifadə olunmuş ədəbiyyat**

15. Əlyazmalar 2 nüsxədə və elektron variantda təqdim olunur.

PREPARATION RULES ARTICLES

1. Handwriting is published leaving 20 mms space from right and left, 25 mms from top and bottom in A4 (210 x 297 mm) form. The volume of handwriting must not exceed **8 – 10 pages.**
2. In each article indexes of **UOT** and/or PACS types codes must be shown
3. **The article can be published in three languages: Azerbaijani, Russian and English.** The texts of abstracts in different languages must be the same and must conform to the content of the article. Key words must be given in three languages : Azerbaijani , Russian and English.
4. The texts of the article in Azerbaijani must be typed in Azerbaijani language in Latin, in Russian language in Cyrillic and in the English language in Latin alphabets with one interval , with the size of 12 in Times New Roman version.
5. Equations and formulae must be separated from the text by one empty line.
6. Formulae must be systematically numbered in Arabic figures given in round brackets on the right side of the page.
7. Explanation of symbols and literary coefficient must directly be given under the formulae with the succession they are met in the equations.
8. Scientific innovation and importance of the application, economic benefit of the work must be given in accordance with the character of the article and field of science in the summary of the article.
9. The list of literature given at the end of article must be given by succession as they are referred to in the article. The reference to them must be noted like [1] or (1, p.119). Advantage must be given to the references to the scientific articles, monographs of the last 5- 10 years in the literature list.
10. The place of work of the author(s), their addresses, and e – mail address must be shown in the article.
11. At the end of the article the number of the protocol of the appropriate meeting and date of scientific council of the institution advising the article for printing must be noted.
12. The author(s) must give written consent for the printing of the article.
13. The pages must be numbered by pencil in the right corner of the bottom of the paper.
14. The following succession must be observed.

- UOT index (bold, size 11, big letters, on the top of the article, on the left side from the new line);
- Title of the article (bold, size 12, big letters, Two-unit space must be between the title of the article and UOT index);
- Surname and initials of the author(s), e-mail, name of the organization, its addresses must be in bold, size of 12, with the small letters. Two-unit space must be between the name of the article and the author(s)
- Name of the organization and its address and e-mail must be in italics of 12 size in small letters. One-unit interval must be between the name of the article.
- **Abstract**
- **Key words**
- **Introduction**
- **Formulation of the issue**
- **Analysis of the results achieved**
- **Result**
- **The literature used**

15. Handwritings must be presented in two copies and electronic version

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

1. Рукопись печатается в формате А4 (210х297 мм), отступ сверху и снизу – 25 мм, слева и справа – 20 мм. Объём рукописи не должен превышать **8-10 страниц.**
2. В каждой статье должны быть указаны индексы **УДК или коды типа PACS**.
3. Статья может быть написана на одном из трёх языков: азербайджанском, русском или английском. Аннотация представляется на 3 языках. Тексты аннотации на этих языках должны быть идентичными и соответствовать содержанию статьи. Ключевые слова должны быть идентичными и соответствовать содержанию статьи. Ключевые слова должны быть на трёх языках: азербайджанском, русском и английском (не менее 5 слов).
4. Текст статьи должен быть набран с интервалом 1, шрифтом 12 версии Times New Roman: на азербайджанском языке - латиницей, на русском - кириллицей, на английском - английским алфавитом.
5. Уравнения и формулы должны быть отделены от текста одной пустой строкой.
6. Уравнения необходимо последовательно нумеровать с правой стороны строки в круглых скобках.
7. Пояснения и числовые коэффициенты даются непосредственно под уравнением в той же последовательности, что и в уравнении.
8. В выводах статьи должны быть в ясной форме указаны соответствующие характеру статьи научная новизна работы, прикладное значение, экономическое значение.
9. В конце статьи необходимо указывать использованную литературу в той последовательности, в которой она встречается в статье. Ссылки на источники должны обозначаться как [1] или [1, с. 119]. В качестве использованной литературы нужно отдавать предпочтение источникам, опубликованным за последние 5-10 лет.
10. В статье необходимо указывать место работы автора (авторов), его адрес и адрес электронной почты.
11. В конце статьи необходимо указывать номер и дату заседания учёного совета предприятия, рекомендующего статью к печати.
12. Автор (авторы) должны в письменной форме дать согласие на публикацию.
13. Страницы должны быть пронумерованы карандашом с правой стороны внизу страницы.
14. В статье должна быть дана информация в следующем порядке:

- Индекс УДК (жирно, размер 11, прописными буквами и набраны в левой части с абзаца).
- Название статьи (жирно, размер 12, прописными буквами, между индексом УДК и названием статьи должно быть два интервала).
- Фамилия и инициалы строчными буквами, жирно, размер 12. Между названием статьи и информацией об авторах должен быть пробел в один интервал.
- Название организации, адрес, E-mail авторов строчными буквами, курсив, размер 12. Между фамилиями авторов и информацией о них должен быть пробел в один интервал.

Статья должна иметь следующую структуру:

- **Аннотация**
- **Ключевые слова**
- **Введение**
- **Постановка задачи**
- **Анализ полученных результатов**
- **Выводы**
- **Литература**

15. Статьи необходимо представлять в двух экземплярах и в электронной версии.

Yığılmağa verilib: 24.09.18. Çapa imzalanıb: 03.10.18.
Format 60x84 1/8. F.ç.v.20,4. Sifariş №17.
Kağız əla növ. Tiraj 100 nüsxə. Qiyməti müqavilə ilə

Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyasının mətbəəsi