“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-2019

Baş redaktor
i.ü.f.d., dos. ***H.X.Əsədov***

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) rektor əvəzi

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 Universiteti
(Bolqarıstan)

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.e.d., prof. V. Priednieks
Latviya Dəniz Akademiyası
(Latviya)

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, 2019

MÜNDƏRİCAT

GƏMİQAYIRMA VƏ GƏMİ TƏMİRİ TEXNOLOGİYASI..... 7

Sadıqov V.B. Liman körpülərinin korroziyasının kəskin sürətlənməsinin tədqiqi..... 7
Воленюк Л.С., Сердюченко А.Н., Рашковский А.С. Математическое описание процесса спуска судна с наклонного продольного стапеля на пневматических баллонах……. 11
Qafarov A.M., Orucov S.Ş. Hidravliki sükan maşınlarının sıradan çıxma səbəbləri və onların analizi..... 19
Рустамова Н.З. Расчет нагрузок, действующих на корпус судна с использованием теории плоских сечений..... 23
Тарасов В.В., Герасимов А.П. Изучение структур железоуглеродистых сплавов …..... 31
Gurbanov N.A.., Salimov Z.E. Investigation of hardness characteristics of different type fiber reinforced hdpe matrix polymer composites…….. 35
Məmmədov A.T., Bayramov A.T., Xankişiyev İ.A. İnşaat armaturlarının istehsalında elektropoladəritmənin rolu..... 39

GƏMİÇİLİK VƏ SU NƏQLİYYATININ İSTİSMARI..... 45

Григорьев Н.Н., Сигида В.И. Готовность перехода к беспилотным технологиям на морском флоте…… 45
Мельник О.В. Тимощук Е.Н. Исследование безотказности работы технических средств как фактор обеспечения надежности системы бункеровки на водном транспорте…….. 51
Русинов И.А., Гаврилова И.А., Кашицкая Р.В. Современные тренды в развитии контейнерных перевозок..... 56
Тимощук Е.Н., Даки Е.А. Постановка задачи обоснования критериев синтеза измерительных сигналов для контроля радионавигационных комплексов управления движением средств водного транспорта…… 61
Терентьева Л.В., Сироткин А.Д. Обоснование оптимальной загрузки причалов контейнерного терминала..... 66
Тимощук Е.Н., Самокиш А.В. Метод формализации задачи ситуационного анализа при возникновении опасной ситуации сближения (столкновения) судов..... 70

GƏMİÇİLİK TEXNİKASI..... 78

Fərhadov V.Q., Bayramova İ.P. Bəzi texniki sistemlər üçün tənzimləyicinin sintezi və tədqiqi məsələləri..... 78
İsmayılov N.Ş., İsmayılov A.R. Silindr oymaqları daxili səthlərinin dözümlüyünü qiymətləndirmək üçün metalloqrafik tədqiqatlar..... 84
Костенко А.В., Михайлов А.Н., Лукичев А.В. Особенности синтеза технологических процессов отделочно-упрочняющей обработки методом графов..... 89
Рак А.Н., Корощенко А.В., Капанадзе Г.А. Расчет и выбор подруливающих устройств морских судов..... 94
Герасимов С.В., Штребец В.В. Оптимизация законов перестройки динамического фильтра для аппаратурного спектрального анализа технического состояния судовых двигательных установок..... 102
Morhun S.A., PhD (Tech) Study of the marine gas turbine engine impeller forced vibration 107
Sultanov E.F., İsmayılov S.S., Cəlilov T.A. Böyük güclü gəmi elektrik intiqallarında tətbiq olunan asinxron mühərriklərin işə buraxılma üsullarının təhlili 112
Sultanov E.F., Məmmədov E.M. Gəmi kran qurğusu elektrik intiqalının tezlik çeviriciləri ilə idarə olunmasının üstünlükləri..... 119

GƏMİÇİLİKDƏ TƏBİƏT ELMLƏRİNİN PROBLEMLƏRİ..... 123

Аскеров Р.Х. Движение двухфазных систем в сложных трубопроводах…… 123
Алиев А. М., Ахадов А. Б. Анализ устойчивости нелинейных движений рабочих органов технологических машин……... 127
Əzimova L.H. Dəmir filizi qranullarının qurutma texnologiyasının işlənməsi..... 131
Kərimov R.İ. Fasiləsiz tökmə ilə alınan boru pəstahlarında yaranan qüsurlar və onların aradan qaldırılma yolları..... 136
Məmmədova K.A. İnformasiya axtarışının dəqiqliyinə təsir edən informasiya sorğuları faktorlarının analizi..... 143

CONTENT

SHIPBUILDING AND SHIP REPAIR TECHNOLOGY……. 7

Sadigov V.B. Applying of a sharp acceleration of corrosion of port bridges……. 7
Volenyuk L.S., Serduchenko A.N., Rashkovskyi A.S. Mathematical description of the launching process from sloping longitudinal slipway on pneumatic ballons…… 11
Gafarov A.M., Orujov S. Sh. The reasons of failure of hydraulic steering machines and their analysis…….. 19
Rustamova N.Z. Calculation of loads acting on the ship`s hull using the theory of flat sections…… 23
Tarasov V.V., Gerasimov A.P. Training and assessing software in met…… 31
Gurbanov N.A., Salimov Z.E. Investigation of hardness characteristics of different type fiber reinforced hdpe matrix polymer composites……..... 35
Mammadov A.T., Bayramov A.T., Khankishiyev I.A. The role of electric steel casting in manufacturing of construction armatures…… 39

SHIPPING AND EXPLOITATION OF WATER TRANSPORT……..…... 45

Grigorev N.N., Sigida. V.İ. Willingness of the transition to unmanned technologies at maritime fleet…… 45
Мельник О.В., Тимощук О.М. Study of technical and technological composite reliability of bunkering on water transport…….. 51
Rusinov I.A., Gavrilova I.A., Kashitskaya R.V. The world trends of sea linear container transportations…….. 56
Tumoshchuk O.N., Daki O.A. Formulation of the problem of justification of criteria of synthesis of measuring signals for the control of radionavigation complexes traffic management of water transport……. 61
Terenteva L.V., Sirotkin A.D. Justification of optimal loading of berths container terminal….. 66
Tumoshchuk O.N., Samokish A.V. Method of formalization of the problem of situational analysis in the occasion of a dangerous closer (collission) claim situation……. 70

SHIPPING TECHNOLOGY……. 78

Farchadov V. G., Bayramova İ. P. Investigation issues and regulator synthesis for some technical systems…… 78
Ismayilov N.Sh., Ismayilov A.R. Metallografiches study for evaluation of durability of internal surfaces of cylindrical**…**……..... 84
Kostenko A.V., Mikhailov A.N., Lukichov A.V. Features of technological processes synthesis of finishing and strengthening treatment by the graph method…… 89
Rak A.N., Koroshchenko A.V., Kapanadze G.A. Calculation and choice of power thrusters motor vessel ships……. 94
Herasimov S.V., Shtribec V.V. Optimization of dynamic filter reorganization laws for instrumental spectral analysis of the technical condition of ship propulsion systems…… 102
Morhun S.A., PhD (Tech) Study of the marine gas turbine engine impeller forced vibration.. 107
Sultanov E.F., İsmayilov S.S., Calilov T.A. Analysis of exhaustion methods of asynchronous motors operated on heavy vessels…….. 112
Sultanov E.F., Mammadov E.M. The advantages of managing with frequency converters of electric drive of vessel crane device ……... 119

NATURAL SCIENCE PROBLEMS IN NAVIGATION…….... 123

*Askerov P.Kh.*The motion of two-phased system in complex piping……. 123
Aliyev A.M., Ahadov A.B. Analysis of the stability of nonlinear movements of technological machine parts…… 127
Azimova L.H. Development of drying technology of iron-ore pellets…… 131
Kerimov R.I. Defects formed on continuously tooled pipe preparations and their elimination process……. 136
Mammadova K.A. Analysis of information requests factors affecting search accuracy…….. 143

GƏMİQAYIRMA VƏ GƏMİ TƏMİRİ TEXNOLOGİYASI

UOT 621.791.011

LİMAN KÖRPÜLƏRİNİN KORROZİYASININ KƏSKİN SÜRƏTLƏNMƏSİNİN TƏDQİQİ

Sadıqov V.B.

Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası
Az1000, Bakı şəh., Z.Əliyeva küç., 18.
E-mail: vuqar.mirsadiq@asco.az

Xülasə. *Məqalədə aqressiv şəraitdə istismar olunan liman körpülərinin metal konstruksiyalarının məruz qaldığı müxtəlif korroziya prosesləri tədqiq edilib, korroziyanın sürətinə təsir edən əsas amillər araşdırılıb. Aparılan təhlil nəticəsində metal konstruksiyaların korroziya dağılmalarının azaldılması yolları göstərilib.*

Аннотация. *В статье исследованы разные коррозионные процессы, наблюдаемые у металлоконструкций портовых причалов, элсплуатируемых в агрессивной морской среде. Проводимый анализ позволяет указать пути уменьшения коррозионных разрушений металлоконструкций.*

Abstract. *The various corrosion proccesses had been researched in article, observed on metal constructions of port berths exploited in agressive marine environment. The analysis provided allows us to indicate ways of reducing the corrosion destructions of metal constructions.*

Açar sözlər: *korroziya, liman körpüsü, atmosfer korroziyası, torpaq korroziyası, нисби rütubət, elektrik keçiriciliyi, elektrolit, çirklənmələr*

Ключевые слова: *коррозия, портовый причал, атмосферная коррозия, подземная коррозия, относительная влажность, электропроводимость, электролит, загрязнения*

Key words: *corrosion, port berth, atmospheric corrosion, underground corrosion, relative humidity, electrical conductivity, electrolyte, pollution*

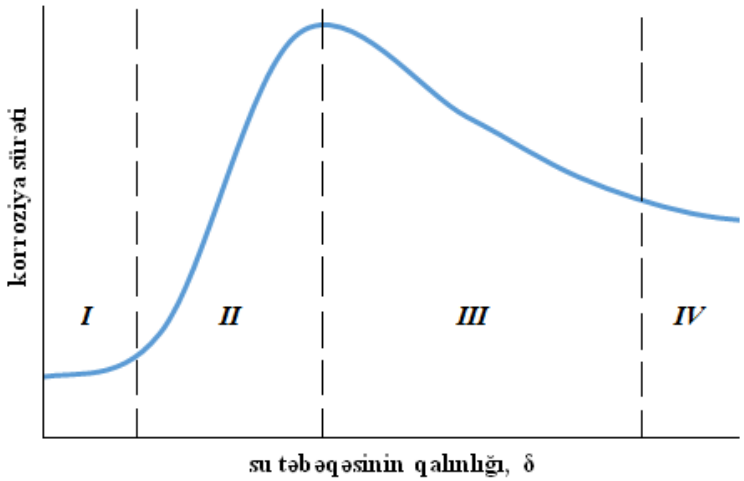
Giriş. Gəmilərin yan aldığı liman körpuləri çox aqressiv şəraitdə istismar olunurlar. Körpülərin metal konstruksiyaları küləyin, dalğaların dəyişən zərbələrinin daimi təsirinə məruz qalmaqla yanaşı, korroziyanın müxtəlif növləri ilə üzləşirlər. Metal konstruksiyaların əksəriyyətinin yuxarı hissəsi havada, orta hissəsi suda, aşağı hissəsi isə torpaqda yerləşdiyindən, burada həm atmosfer korroziyasından, həm dəniz korroziyasından, həm də torpaq korroziyasından söhbət gedir.

Əsas hissə. Atmosfer korroziyası. Liman körpülərinin metal konstruksiyalarının atmosfer korroziyasının mexanizmini və sürətini müəyyənləşdirən əsas amil metalın səthinin nəmlənmə dərəcəsidir. Nəmlənmə dərəcəsinə görə atmosfer korroziyası 3 tipə bölünür [1]:

1. Yaş atmosfer korroziyası – metalın səthində gözlə görünən, qalınlığı 1 mkm-dən 1 mm-ə qədər su təbəqəsi olduqda gedən korroziyadır. Bu tip korroziya havanın nisbi rütubəti 100%-ə yaxın olduqda və metalın səthinə suyun damcı kondensasiyası baş verdikdə, səth bilavasitə islandıqda (məsələn, yağıntı zamanı), habelə körpü dayaqlarının sualtı hissəsində müşahidə edilir.
2. Nəm atmosfer korroziyası – metalın səthində gözlə görünməyən, 10-1000 nm qalınlığında nazik su təbəqəsi olduqda gedən korroziyadır. Bu təbəqə, havanın nisbi rütubəti 100%-dən aşağı olduqda, kapillyar, adsorbsiya və kimyəvi kondensasiya nəticəsində əmələ gəlir.
3. Quru atmosfer korroziyası – metalın səthində gözlə görünməyən, 1-10 nm qalınlığında çox nazik adsorbsiya su təbəqəsi olduqda gedən korroziyadır. Bu təbəqənin xarakteri bütöv və elektrolit xassələrinə malik deyil.

Aydındır ki, korroziyanın minimal sürəti kimyəvi korroziya mexanizmi ilə gedən quru atmosfer korroziyası zamanı müşahidə olunur. Su təbəqəsinin qalınlığı artdıqca, kimyəvi korroziya elektrokimyəvi korroziyaya keçir və nəticədə proses xeyli sürətlənir.

Şəkil 1-də atmosfer korroziyasının sürətinin metal səthdəki su təbəqəsinin qalınlığından asılılığı göstərilib. Şəkildən görünür ki, korroziya sürətinin maksimumu II və III sahələrin sərhədində baş verir, sonra isə sürət azalır. Azalma daha qalın su təbəqəsindən oksigenin diffuziyasının çətinləşməsi ilə bağlıdır.



Şəkil 1. *Atmosfer korroziyasının sürətinin metal səthdəki su təbəqəsinin qalınlığından asılılığı*
I – quru atmosfer korroziyası (δ=1-10 nm); II - nəm atmosfer korroziyası (δ=10-1000 nm);
III - yaş atmosfer korroziyası (δ=1 mkm-1 mm); IV – suda korroziya (δ>1 mm)

Çox vaxt atmosfer korroziyasının hər 3 tipini bir-birindən dəqiq ayırmaq olmur. Çünki ətraf mühitdən asılı olaraq bir tipdən digərinə keçid mümkündür. Məsələn, körpünün suüstü metal konstruksiyası quru korroziya mexanizmi ilə üzləşirsə, havanın nisbi rütubəti artdıqca, nəm korroziyaya məruz qalacaq. Əgər yağıntı yağarsa, artıq yaş korroziyadan söhbət gedəcək. Səthin üzərindəki rütubət quruduqca, proses əks istiqamətdə gedəcək.

Metalın atmosfer korroziyasının sürətinə bir sıra amillər təsir göstərir. Əsas amil səthin nəmlənmə müddəti sayılır. O, əsasən havanın nisbi rütubətinin səviyyəsindən asılıdır. Qeyd etmək lazımdır ki, nisbi rütubətin müəyyən kritik ölçüsündə metalın səthində havadan kondensasiya edən suyun bütöv təbəqəsi yarandıqda, metalın korroziya sürəti kəskin artır.

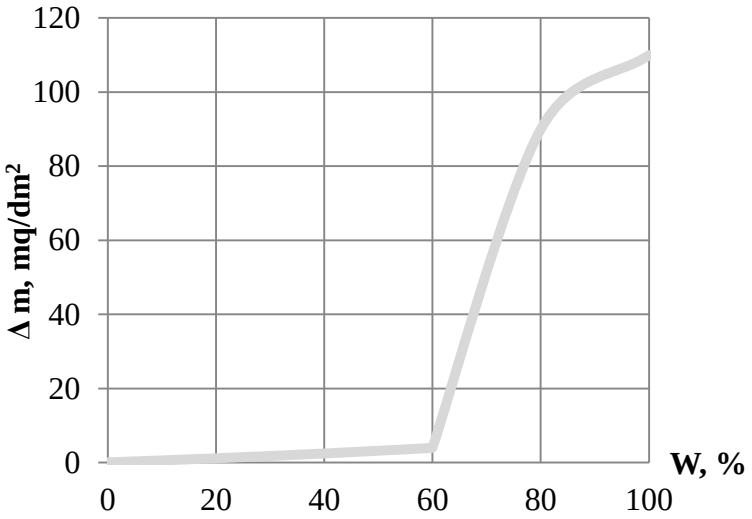
Havanın nisbi rütubətinin karbonlu poladın atmosfer korroziyasının sürətinə təsiri şəkil 2-də göstərilmişdir. Korroziya məhsullarının kütlə artımının havanın nisbi rütubətindən asılılığı polad nümunələrin 55 sutka ərzində 0,01% SO_2 tərkibli atmosferdə ekspozisiyası nəticəsində alınmışdır [2].

Nəzərə alaq ki, havanın tərkibindəki SO_2, H_2S, NH_3, HCl və.s qarışıqlar atmosfer korroziyasının sürətini kəskin yüksəldir. Onlar su təbəqəsində həll olaraq, elektrik keçiriciliyini və korroziya məhsullarının higroskopikliyini artırır [4].

Atmosferdəki bərk hissəciklər də metalın səthinə düşüb həll olur, zərərli qarışıqlar (NaCl, Na_2SO_4) kimi təsir göstərir, ya da bərk hissəciklər formasında (kömür, toz, abraziv hissəcikləri və.s) rütubətin səthə kondensasiyasını asanlaşdırırlar.

Dəniz korroziyası. Dəniz suyu yaxşı aerasiya olunmuş (4-10 mq/l O_2), neytral (pH=7.3-8.6), yüksək elektrik keçiriciliyinə malik elektrolitdir. Bu, onun tərkibində 2%-dən (körfəzlərin suyunda, çaylar dənizə tökülən yerlərdə) 40%-dək duzların olması ilə bağlıdır. Dəniz suyunun tərkibinə, əsasən, natrium, maqnezium, kalsium və kaliumun xlorid və sulfatları daxildir. Xloridlərin yüksək səviyyəsinə görə dəniz suyu metalları depassivasiya etmək qabiliyyətinə malikdir. Dəniz korroziyası elektrokimyəvi mexanizm üzrə gedir. Liman körpülərinin dəniz korroziyası yalnız

ümumi bərabər mexanizmlə xarakterik deyil, burada həm də yara və pittinq formasında dağılmalar da adi haldır. Maraqlıdır ki, poladın dəniz suyunda orta korroziya sürəti ildə 0,05 mm-dən 0,20 mm-ədək olsa da, yara korroziyasının sürəti ildə 1 mm-ə çatır [1]. Metalın dəniz korroziyasının sürətinə bir sıra amillər təsir göstərir. Dəniz suyunun ümumi duzluluğu korroziya prosesinin intensivliyinə o qədər də güclü təsir etmir, amma bəzi qarışıqlar, məsələn H_2S və ya liman akvatoriyasındakı müxtəlif çirklənmələr və tullantılar korroziya sürətini bir neçə dəfə artıra bilər.



Şəkil 2. *Atmosfer korroziyasının sürətinin havanın nisbi rütubətindən asılılığı*

Digər amil suyun temperaturudur. O, korroziyanın sürətinə ikili təsir göstərir: bir tərəfdən, temperaturun yüksəlməsi oksigenin diffuziyasını, habelə anod və katod sahələrində reaksiyaları sürətləndirir, digər tərəfdən isə, oksigenin həllolma qabiliyyətini və nəticədə korroziya sürətini azaldır [3]. Ona görə də dəniz korroziyasının müxtəlif temperaturlarda sürətindən danışarkən, metalın və suyun tərkibi, oksigenin qapalı sistemdə saxlanması imkanları və s. nəzərə alınmalıdır.

Nəhayət, körpülərin dayaqları dəniz suyunda biokorroziyaya da məruz qalır. Bu metalın səthinin dəniz orqanizmləri və yosunlarla örtülməsi nəticəsində baş verir. Qeyd edək ki, karbonlu və azlegirli poladlara biokorroziya o qədər də güclü təsir göstərmir və hətta oksigenin daxil olması çətinləşdiyinə görə korroziya sürəti azalır.

Torpaq korroziyası. Torpağın tərkibində müxtəlif kimyəvi reagentlər və rütubət var ki, bunlar da torpağın ion elektrik keçiriciliyinə səbəb olur və yeraltı metal konstruksiyalar üçün korroziya cəhətdən fəal elektrolitlər kimi çıxış edir. Nəticədə körpülərin dayaqları yerin altında elektrokimyəvi korroziyaya məruz qalır. Bu zaman metalın səthində dərin korroziya yaraları əmələ gəlir. Əsas səbəb digər korroziya növlərilə müqayisədə metalın səthinin daha heterogen olması, yəni konstruksiyanın müxtəlif hissələrində səthin nəmliyinin və aerasiyasının qeyri-bərabər paylanmasıdır [2].

Torpağın korroziya baxımından aqressivliyinə bir sıra fiziki, kimyəvi və bioloji amillər təsir göstərir. Başlıca amillərdən biri torpağın strukturudur. Onun hissəciklərinin ölçüsü, forması və yerləşməsi, hissəciklər arasında əlaqənin xarakteri torpaqda havanın və rütubətin hərəkət şəraitini müəyyən edir. Məsələn, qumlu torpaqların məsamələri nisbətən az olsa da, onların ölçüləri böyükdür, nəticədə suyu və havanı asanlıqla buraxırlar. Belə torpaqlarda proses ikili xarakter daşıyır: oksigen körpü dayaqlarının səthinə asanlıqla çatır və korroziyanı sürətləndirir, lakin qumlu torpaqda su qalmadığına görə korroziyanın inkişafı zəifləyir. Gilli torpaqların məsamələri isə çoxdur, onların ölçüləri kiçikdir və kapillyar xarakter daşıyır. Belə torpaqlar rütubəti uzun müddət saxlasalar da, oksigenin nüfuzetmə imkanları azalır.

Bütün bunlar gostərir ki, torpağın korroziya aqressivliyi təkcə onun nəmliyi ilə deyil, rütubət və aerasiya amillərinin birgə təsiri ilə müəyyən olunur. Ona görə də metalın korroziya sürəti torpağın nəmliyi 10-20% olduqda maksimuma çatır [4]. Beləliklə, nəmlik artdıqca, korroziya sürətlənir, maksimumdan sonra isə oksigen çatmadığına görə yavaşıyır.

Torpağın aqressivliyi xeyli dərəcədə tərkibində müxtəlif kimyəvi maddələrin, ən əsası elektrik keçiriciliyini artıran xloridlər, sulfatlar və nitradlar kimi həll olan duzların mövcudluğundan asılıdır. Torpağın korroziya aqressivliyinin əsas kriterisi xüsusi elektrik müqavimətinin ölçüsüdür. Cədvəl 1-də xüsusi elektrik müqavimətinə görə torpaqların korroziya fəallığının xarakteristikaları verilmişdir [3]:

Cədvəl

Xüsusi elektrik müqavimətinə görə torpaqların korroziya fəallığının xarakteristikaları

Torpağın xüsusi elektrik müqaviməti, Om×m	**Torpağın korroziya aktivliyi**
0-5	Xüsusilə yüksək
5-10	Çox yüksək
10-20	Yüksək
20-100	Orta
100-dən çox	Aşağı

Nəticə. Liman körpülərinin metal konstruksiyaları həm atmosfer korroziyası, həm dəniz korroziyası, həm də torpaq korroziyası ilə üzləşdiyinə görə korroziyanın sürətinə ayrı-ayrı amillərin təsir dərəcəsini praktikada müəyyənləşdirmək kifayət qədər çətindir. Lakin atmosfer korroziyasını ümumi xarakteristikalar baxımından nisbi vahidlərdə təxmini qiymətləndirmək mümkündür:

- quru kontinental iqlim 1-9
- təmiz dəniz iqlimi 38
- sənaye dəniz iqlimi 50
- sənaye iqlimi 65
- çirklənmiş sənaye iqlimi 100

Körpülərin dayaqlarının dəniz suyunda azan cərəyanların təsir zonasında korroziyası kəskin, bəzən 10 dəfələrlə sürətlənir. Bu zaman metalın səthi güclü anod qütbləşməsinə məruz qalır. Metal konstruksiyaların yeraltı hissələrinin korroziyası da mikroorqanizimlərlə örtüldükdə, azan cərəyanlar təsir etdikdə, habelə torpaqlar sənaye və məişət axıntıları ilə çirkləndikdə kəskin şəkildə dəfələrlə sürətlənir. Korroziyanın azalması üçün ən təsirli vasitə liman ərazisinin və akvatoriyasının müxtəlif çirklənmələrinin qarşısının alınmasıdır.

Ədəbiyyat

1. Яковлев А.Д. Химия и технология лакокрасочных покрытий / СПб, Химиздат, 2008, 448 с.
2. ИСО 9001-9003. Система качества. Модели для обеспечения качества при проектировании, разработке, производстве, монтаже и обслуживании.
3. ИСО 14000. Система управления окружающей средой.
4. Жук Н.П. Курс теории коррозии и защиты металлов / М., Металлургия, 1976, 472 с.

УДК 629.5.081.5

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА СПУСКА СУДНА С НАКЛОННОГО ПРОДОЛЬНОГО СТАПЕЛЯ НА ПНЕВМАТИЧЕСКИХ БАЛЛОНАХ

Воленюк Л.С., Сердюченко А.Н., Рашковский А.С.

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова
г. Николаев, Украина
E-mail: alexrash@trion.mk.ua

Аннотация. *В статье приведено математическое описание процесса спуска судна на воду с наклонных продольных стапелей на пневматических баллонах. Описано движение твердого тела на упругих опорах в квазистатическом приближении. В результате получены новые количественные и качественные характеристики поведения системы «судно - баллоны» при спуске.*

Abstract. *The mathematical description of ship launching from sloping longitudinal slipways on pneumatic cylinders is provided in the article. The movement of a solid on elastic supports is described in the quasistatic approximation. As a result, new quantitative and qualitative characteristics of the «vessel - cylinders» system behavior during launching were obtained.*

Ключевые слова: *судно, наклонные продольные стапели, спуск на воду, пневматические баллоны, математическое описание процесса*

Key words: *ship, sloping longitudinal slipways, launching, pneumatic cylinders, mathematical description of the process*

Условные обозначения

D_C спусковой вес судна, кН
R_i реакция от баллонов, кН•м
γV_C сила плавучести части судна, погруженной в воду, кН
γv_C сила плавучести пневматических баллонов, находящихся в воде, кН
$\gamma \Delta V_i$ потерянная сила плавучести части судна, погруженной в воду, кН
B_i поперечная длина соприкосновения между днищем судна и баллоном, м
r_i погонная реакции і-го пневматического баллона, кН / м
$T_{iв}$ глубина воды для і-го баллона, м
$x_{0воды}$ абсцисса уреза воды, м
S расстояние, пройденное судном, в расчетный момент времени, м
α_C угол наклон стапеля, рад.
$b_i(w_i)$ полуширина корпуса судна при осадке w_i в сечении расположения і-го пневматического баллона, м
k_i погонный коэффициент жесткости пневматического баллона, кН / м^2
w_i изменение рабочей высоты пневматического баллона, м
ζ_0 вертикальное перемещение судна, м
ψ_0 угол наклона судна, рад.
x_i абсцисса *i*-го баллона, м
$N_б$ число баллонов под корпусом судна, шт.
ΔL шпация судна, м;
$\omega_{jшп}$ площадь *j*-го шпангоута, погруженного в воду, м^2.
T_j осадка судна на *j*-м шпангоуте, м
N_f число шпангоутов, погруженных в воду, шт.

Введение. Процесс спуска судна на воду – один из наиболее сложных и ответственных этапов в его строительстве. Спуск с наклонных продольных стапелей является неуправляемым и наиболее опасным, в результате которого может произойти опрокидывание судна, удар о порог стапеля, возникнуть большое сосредоточенное усилие в носовой части судна – баксовое давление (разность силы веса судна и силы реакции воды, возникающей при всплытии кормы).

Истории спуска судов с наклонных продольных стапелей не менее сотни лет и поэтому данная проблема в целом может считаться достаточно разработанной [1, 2]. Однако, развитие судостроения основано на применении в нем передовых достижений в проектировании, технологии и организации строительства и спуска судов. Одной из последних инновационных разработок можно считать спуск судов на воду на пневматических баллонах [3–7].

Этот способ применяется для спуска на некоторых судостроительных заводах Китая и Турции, но теоретические основы его расчета недостаточно освещены в литературных источниках.

Таким образом, научная актуальность данной статьи определяется отсутствием научных разработок, теоретической и технической базы, связывающих проектные и технологические подходы к повышению технико-экономической эффективности спуска судов на воду с наклонных продольных стапелей на пневматических баллонах [5–8].

Целью данной статьи является представление результатов проведенных научных разработок, в основу которых положено теоретическое решение задачи спуска судов с существующих наклонных продольных стапелей на пневматических баллонах с учетом изменения рабочей высоты баллонов в процессе спуска.

Научные результаты. Математически описан процесс спуска судна с наклонных продольных стапелей на пневматических баллонах, в котором процесс спуска представлен, как поступательное движение судна на упругих опорах. При этом считаем, что скорости и ускорения движения судна достаточно малы. Это дает основание пренебречь силами инерции поступательного движения и волнового сопротивления при входе кормы в воду. Таким образом, реализуется так называемое квазистатическое приближение с учетом только сил тяжести судна, сил поддержания и реакции взаимодействия судна с баллонами, при этом скорость движения судна принимаем постоянной. Учет неучтенных сил позволил бы уточнить скорости движения судна на всех этапах спуска судна, что существенно усложнило бы расчеты без внесения значительных корректировок при определении реакций и деформации баллонов. На рис. 1 показаны силы, действующие на судно при его спуске.

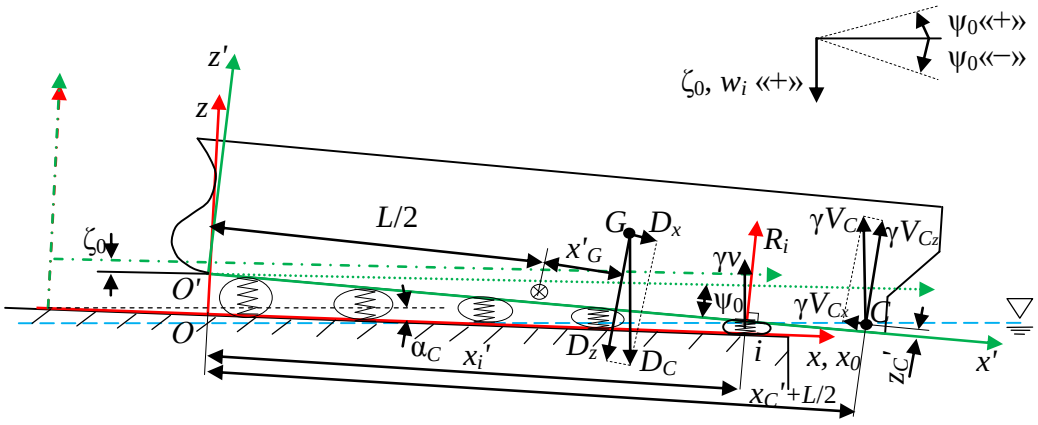


Рис. 1. *Силы, действующие на судно, и правило знаков для перемещений*

В исследовании процесса спуска использовано три системы координат: $x_0y_0z_0$ - неподвижная система координат, связанная с поверхностью стапеля, где $x_00_0y_0$ – плоскость стапеля; xyz – подвижная система координат, где плоскость $x0y$ связана с поверхностью стапеля, а плоскость $x0z$ проходит через носовой перпендикуляр судна; $x'y'z'$ – связанная с судном система координат, где плоскость $x'0'y'$ которой совпадает с основной плоскостью судна, а $x'0'z'$ связана с носовым перпендикуляром судна.

В начале спуска, когда судно находится на спусковых устройствах и удерживается только носовыми задержниками, все системы координат совпадают по оси 0z. Положение судна в каждый момент времени определятся проседанием ζ_0 и углом дифферента ψ_0 (рис.1). Силы, действующие от каждого пневматического баллона, и направление их действия приведены на рис. 2 [9–11].

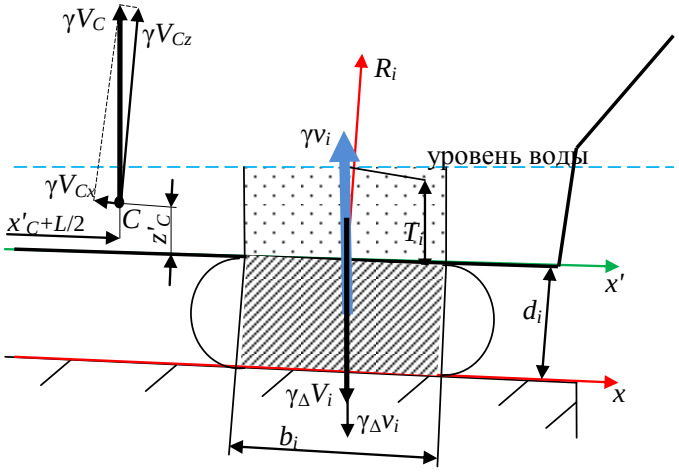


Рис. 2. *Силы, действующие при контакте погруженного в воду баллона и днища судна*

Реакция от i- го пневматического баллона определяется в зависимости от характера контакта между днищем судна и пневматическим баллоном (рис. 3, *а*) рассчитывается по формуле

$$R_i=B_i\cdot r_i\ . \tag{1}$$

Величины B_i и r_i определяются зависимостями $R_i=2b_i(w_i)$, $r_i=k_i\cdot w_i$ (рис. 3, *б*).

Изменение рабочей высоты пневматического баллона находится по формуле

$$w_i=\zeta_0-x_i\cdot\psi_0, \tag{2}$$

Величина x_i определяется в расчетный момент времени (рис.1).

Соответственно, ширина соприкосновения пневматического баллона и днища судна рассчитывается из условий сохранения периметра баллона

$$b_i=\frac{\pi}{2}\cdot\left(D_б-d_i\right)=\frac{\pi}{2}\cdot w_i=\frac{\pi}{2}\cdot\zeta_0-\frac{\pi}{2}\cdot\psi_0\cdot x_i',\ \text{м}. \tag{3}$$

Потерянные силы плавучести обусловлены контактом i-го пневматического баллона и судна определяют в зависимости от их погружения. В сумме они равны:

$$\gamma\cdot\left(\Delta v_i+\Delta V_i\right)=\frac{\pi}{2}\cdot\zeta_0\cdot\gamma\cdot B_i\cdot T_{iв}-\frac{\pi}{2}\cdot\psi_0\cdot x_i'\cdot\gamma\cdot B_i\cdot T_{iв},\ \text{кН} \tag{4}$$

$$T_{iв}=\left(S+x_i'-x_{0воды}\right)\cdot\alpha_c\ . \tag{5}$$

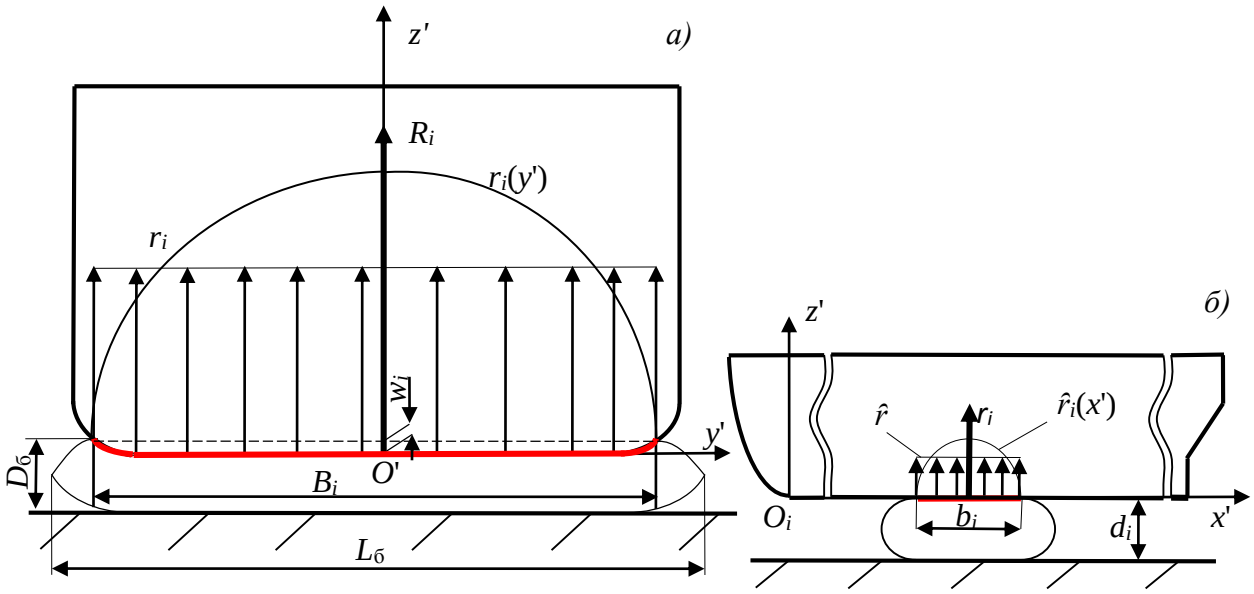


Рис. 3. *Реакция баллонов и линия контакта между днищем и баллоном:*
а – сечение судна в плоскости мидель-шпангоута; б – сечение судна в диаметральной плоскости

Таким образом, реакция от *i*-го пневматического баллона будет равняться

$$R_i = B_i \cdot k_i \cdot \zeta_0 - B_i \cdot k_i \cdot x_i \cdot \psi_0. \qquad (6)$$

Уравнения равновесия судна в системе координат $x'y'z'$:

– сумма проекций всех сил на ось $O'z'$ $\sum_i F_{iz'} = 0$:

$$-D_z + \sum_{i=1}^{N_б} R_i + \sum_{i=1}^{N_б} [\gamma v_i - \gamma \Delta v_i - \gamma \Delta V_i] + \gamma V_{Cz} = 0, \qquad (7)$$

– сумма моментов всех сил относительно точки O' $\sum_i M_{i0'} = 0$:

$$-D_z \cdot \left(x'_G + \frac{L}{2} \right) - D_x \cdot z'_G \cdot + \sum_{i=1}^{N_б} R_i \cdot x'_i + \gamma V_{Cz} \cdot \left(x'_C + \frac{L}{2} \right) + \gamma V_{Cx} \cdot z'_C +$$

$$+ \sum_{i=1}^{N_б} (\gamma v_i - \gamma \Delta v_i - \gamma \Delta V_i) \cdot x'_i = 0, \qquad (8)$$

Учитывая малые величины угла наклона стапеля α_C и угла дифферента ψ_0 судна, принимаем, что:

$D_z = D_C \cdot cos\alpha_0 \approx D_C$; $D_z = D_C \cdot sin\alpha_0 \approx D_C \cdot \alpha_0$;

$\alpha_0 = \alpha_C - \psi_0$ и аналогично для сил плавучести.

Сила плавучести судна γV_C определяется по формуле

$$\gamma V_C = \gamma \Delta L \sum_j^{N_f} \Delta \omega_{j\,шп}, \qquad (9)$$

Для расчета величины $\omega_{jшп}$ площади по масштабу Бонжана были аппроксимированы полиномом третьего порядка

$$\omega_{jш} = a_{1j} \cdot T_j + b_{1j} \cdot T_j^2 + c_{1j} \cdot T_j^3 = a_{1j} \cdot T_j + \Delta \omega_{jш},$$

где $\Delta\omega_{jшш}$ - нелинейная составляющая аппроксимации, а $T_j=T_{jв}-d_j$.

Таким образом, окончательно получено уравнение

$$\gamma\nabla_C = \gamma\Delta L\left(\sum_j^{N_f}\left[a_{1j}\left(T_{jв}-D_б\right)\right]+\zeta_0\cdot\sum_j^{N_f}\left[a_{1j}\right]-\psi_0\cdot\sum_j^{N_f}\left[a_{1j}\cdot x'_j\right]+\sum_j^{N_f}\left[\Delta\omega_{j\,шп}\right]\right) \qquad (10)$$

После подставки всех расчетных величин в уравнения (7) и (8) получим следующую систему уравнений равновесия судна:

$$\left.\begin{aligned}
&\zeta_0\left(\sum_{i=1}^{N_k}\left[B_i\cdot k_i\right]-\sum_{i=1}^{N_k}\left[\gamma\cdot B_i\cdot T_{iв}\cdot\frac{\pi}{2}\right]+\gamma\Delta L\sum_j^{N_f}\left[a_{1j}\right]\right)-\\
&-\psi_0\left(\sum_{i=1}^{N_k}\left[B_i\cdot k_i\cdot x'_i\right]-\sum_{i=1}^{N_k}\left[\gamma\cdot B_i\cdot T_{iв}\cdot\frac{\pi}{2}\cdot x'_i\right]+\gamma\Delta L\sum_j^{N_f}\left[a_{1j}\cdot x'_j\right]\right)=\\
&=D_C-\sum_{i=1}^{N_k}\left[\gamma\nu_i\right]-\gamma\Delta L\sum_j^{N_f}\left[a_{1j}\cdot\left(T_{jв}-D_б\right)\right]-\gamma\Delta L\sum_j^{N_f}\Delta\omega_{jш}\,;\\
&-\zeta_0\left(\sum_{i=1}^{N_k}\left[B_i\cdot k_i\cdot x'_i\right]+\left(x'_C+\frac{L}{2}+(\alpha_C-\psi_0)z'_C\right)\cdot\gamma\Delta L\sum_j^{N_f}\left[a_{1j}\right]-\right.\\
&\left.-\frac{\gamma\pi}{2}\sum_{i=1}^{N_k}\left[B_i\cdot T_{iв}\cdot x'_i\right]\right)-\psi_0\cdot\left(-D_C\cdot z'_G+\sum_{i=1}^{N_k}\left[B_i\cdot k_i\cdot x'^2_i\right]+\right.\\
&+\left(x'_C+\frac{L}{2}+(\alpha_C-\psi_0)z'_C\right)\cdot\gamma\Delta L\sum_j^{N_f}\left[a_{1j}\cdot x'_j\right]+\\
&+z'_C\cdot\gamma\Delta L\sum_j^{N_f}\left[a_{1j}\cdot\left(T_{jв}-D_б\right)\right]-\frac{\gamma\pi}{2}\sum_{i=1}^{N_k}\left[B_i\cdot T_{iв}\cdot x'^2_i\right]+\\
&\left.+z'_C\cdot\gamma\Delta L\sum_j^{N_f}\Delta\omega_{jш}\right)=D_C\cdot\left(x'_G+\frac{L}{2}\right)\cdot\alpha_C\cdot z'_G-\sum_{i=1}^{N_k}\left[\gamma\nu_i\cdot x'_i\right]-\\
&-\left(x'_C+\frac{L}{2}+\alpha_C\cdot z'_C\right)\cdot\gamma\Delta L\sum_j^{N_f}\left[a_{1j}\cdot\left(T_{jв}-D_б\right)+\Delta\omega_{jш}\right].
\end{aligned}\right\} \qquad (11)$$

В структурированном виде система уравнений (11) и ее решение запишутся следующим образом:

$$\left.\begin{aligned}A_1\cdot\zeta_0-B_1\cdot\psi_0=D_1\\A_2\cdot\zeta_0-B_2\cdot\psi_0=D_2\end{aligned}\right\}, \qquad (12)$$

и

$$\left.\begin{aligned}\zeta_0=\left(D_2\cdot B_1-D_1\cdot B_2\right)/\left(A_2\cdot B_1-A_1\cdot B_2\right)\\\psi_0=\left(D_2\cdot A_1-D_1\cdot A_2\right)/\left(A_2\cdot B_1-A_1\cdot B_2\right)\end{aligned}\right\}, \qquad (13)$$

где A_j, B_j, D_j при j = 1, 2 соответствуют членам левой и правой частей в системе уравнений (11).

При решении системы уравнений необходимо учитывать следующие условия:

1. Если сухой i-й баллон разгружается, то $w_i \le 0$ и следует принять условие $B_i = 0$.

2. Если полностью погруженный в воду *i*-й баллон разгружается, то должны исчезнуть и потерянные силы плавучести, то есть $B_i = 0$. Кроме того данный баллон будет снесен потоком воды в нос судна к ближайшему нагруженному баллону.

3. Если *i*-й баллон погружен в воду полностью, то в расчетных зависимостях применяется линейная интерполяция между сухим и полностью погруженным состояниями баллона.

4. Если осадка на *i*-м шпангоуте судна меньше нуля, то коэффициенты a_1, b_1, c_1 равны нулю.

Данные условия и зависимые от величин ζ_0 и ψ_0 составляющие в коэффициентах A_j, B_j, D_j делают систему уравнений нелинейной, поэтому для корректировки величин A_j, B_j, D_j на каждом этапе решения системы следует выполнять итерационные процедуры.

Расчеты выполнены для положений судна $S_k = k \cdot 2 \cdot l_б$, где $k = 0, 1, 2$; $l_б$ – расстояние между баллонами. Данный шаг был выбран так, чтобы баллоны менялись местами без изменения соответствующих координат x'_i.

На основе разработанного математического описания проведены расчеты спуска танкера длиной 174,6 м (спусковой вес судна 12035 т) [8]. Результаты представлены графически на рис. 4. На рис. 4*а* показаны: уровень воды, порог стапеля, критическое значение рабочей высоты баллонов, положение основной плоскости судна при спуске в последовательные моменты времени, а на рис. 4*б* приведены эпюры реакции пневматических баллонов в фиксированные моменты времени при спуске.

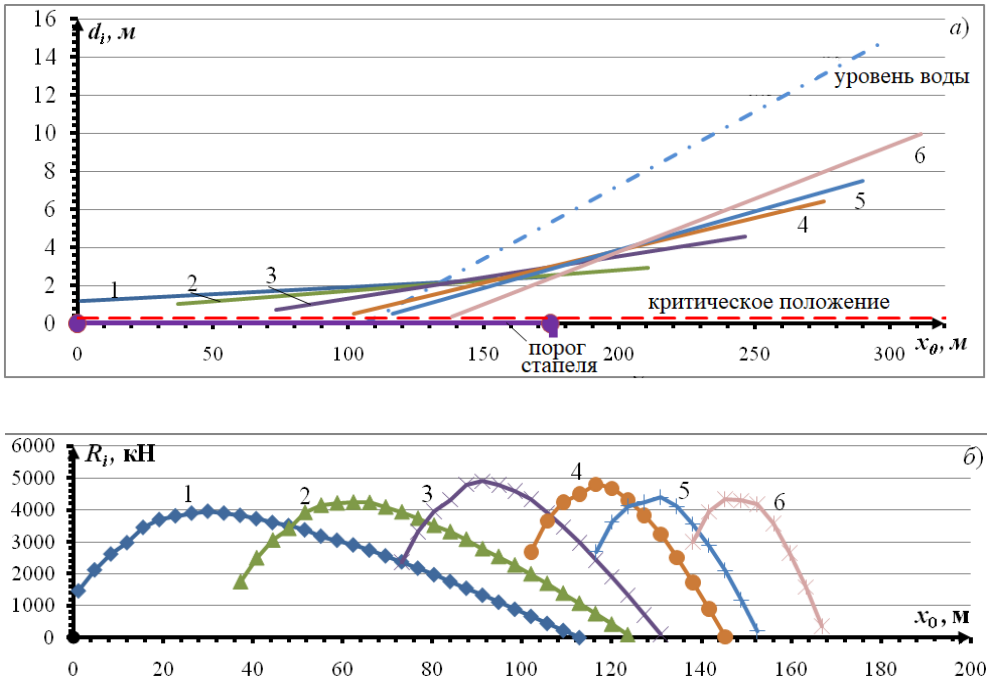


Рис. 4. *Результаты расчета спуска судна:*
а – положения основной плоскости судна; б – реакции от i-х пневматических баллонов

Расчеты спуска судна выполнены для баллонов диаметром 2 м и с расстоянием между ними 3,6 м. Линии 1- 6 соответствуют пути, пройденному судном S = 0; 36; 72; 100,8; 115,2; 136,8 м соответственно.

Варианты расчетов спуска судна были проведены для значений диаметра баллонов $D_б$ = 1,5; 1,8; 2,0 м при расстоянии между баллонами – минимальное, максимальное и промежуточное для каждого выбранного типа $l_б$ = 2,9 ... 4,2 м. На рис. 5 показаны траектории движения носового перпендикуляра судна при спуске: линии 1, 2, 3 соответствуют $D_б$ = 2,0 м при $l_б$

= 3,6; 4,2; 4,7 м соответственно; линии 4, 5, 6 соответствуют $D_б$ = 1,8 м при $l_б$ = 3,3; 3,6; 4,2 м соответственно; линия 7 – для $D_б$ = 1,5 м и $l_б$ = 2,9 м.

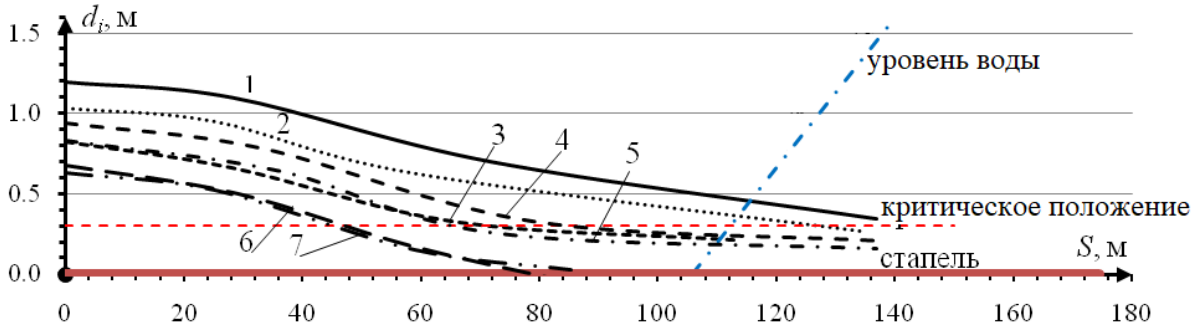


Рис. 5. *Траектория движения носового перпендикуляра судна во время спуска на пневматических баллонах*

На основании полученного во втором приближении описания процесса спуска судна проведено исследование по оптимизации выбора пневматических баллонов. Параметром целевой функции является безопасное положение судна на всех этапах спуска и ограничения – диаметр баллона и расстояние между ними.

Получены результаты решения оптимизационной задачи на примере спуска судна длиной 174,6 м со стапеля, наклон которого составляет 3° [7]. Анализ результатов исследования показал, что максимальный диаметр баллонов и минимальное расстояние между ними обеспечивают максимально безопасное положение судна при спуске на воду.

Для проверки расчетов также проведено исследование спуска судна без учета воды, то есть судно спускается с бесконечно длинной наклонной плоскости. Расчет производился до момента, когда судно коснется стапеля. Результаты расчетов показали, что расстояние, пройденное судном, практически не зависит от диаметра баллонов и расстояния между ними.

Выводы

1. Математически описан процесс спуска судна на воду с наклонных продольных стапелей на пневматических баллонах.

2. Полученные математические зависимости спуска судна на воду и проведенные расчеты данного процесса выявили следующие закономерности:

а) положение максимального значения реакций от баллонов практически стабильно на протяжении всего процесса спуска;

б) уменьшение площади контакта между баллонами и днищем судна в носовой части из-за сужения корпуса существенно снижают действующие реакции;

в) максимальные значения реакций в течение спуска судна растут не более чем на 15...20 %, постепенно смещаясь к носовой части судна;

г) давление на единицу площади контакта баллонов с днищем судна в процессе спуска остается неизменным и зависит только от показателя жесткости баллонов на сжатие;

д) при спуске судна на пневматических баллонах всплытие наступает несколько раньше, чем при спуске на традиционных спусковых устройствах.

3. В результате проведенного исследования по оптимизации выбора пневматических баллонов выявлено, что максимальный диаметр баллонов и минимальное расстояние между ними обеспечивают безопасное положение судна при спуске.

4. Разработанное математическое описание позволяет определять положение судна на всех этапах его спуска на воду.

Литература

1. Курдюмов А.А. Спуск судов. [Текст] / А.А. Курдюмов, В.В. Козляков, В.Ю. Лейзерман, В.Ф, Соколов С-Пб.: Судостроение, 1969, 505 с.
2. Основы технологии судостроения: учебник [Текст] / В.Л. Александров, Г.В. Бавыкин, А.В. Догадин, В.Ю. Лейзерман, А.С. Рашковский, В.Ф. Соколов; под. общ. ред. проф. В.Ф.Соколова С-Пб.: Судостроение, 1995, 400 с.
3. Akyildiz H. Balonla ve standart denize indirme yöntemlerinin ekonomik ve teknik yönden incelenmesi Gemi ve Deniz Teknolojisi Sayi. (Assessment of launching with balloon and standard procedures in economical and technical aspects). [Текst] / H. Akyildiz. // *Ships and Marine Technology* 185 (2010), 25–30 (in Turkish).
4. Sun J. Research report of safe countermeasures to apply the airbag launch and upgrade technology to large ships. [Текst] / J. Sun, M. Zhu. // (2012).*China Shiprepair*
5. Рашковський О.С. Вдосконалення спуску суден зі стапеля ПАТ «Чорноморський суднобудівний завод». [Текст] / А.С. Рашковський, Л.С. Смирнова // [Електронний ресурс]. Електронне видання «Вісник Національного університету кораблебудування». – Миколаїв: НУК, 2011. №5. Режим доступу: http://ev.nuos.edu.ua.
6. Рашковский А.С. Исследования по созданию плоской поверхности продольных наклонных стапелей для спуска судов на пневматических баллонах. [Текст] / А.С. Рашковский, Л.С. Смирнова // Зб. наук. праць НУК. Миколаїв: НУК, 2013. № 1. С. 11–15.
7. Технология корпусостроительных работ: учебник. [Текст] / А.С.Рашковский, А.В.Щедролосев, А.М.Фарионов, Н.В.Цыкало, В.Н.Перов, С.Н.Слижевский; под общ. ред. проф. А.С. Рашковского. Николаев: НУК, 2018. 516 с.
8. Volenyuk L.S. Ship stability analysis during launching from longitudinal sloping slipway by pneumatic airbags. [Текst] / L.S. Volenyuk, A.S. Rashkovskyi // International Shipbuilding Progress – Amsterdam The Netherlands, 2017. Vol. 64. № 1-2. P. 41–50.
9. Rashkovskiy S.A. Rolling resistance of marine airbags at the longitudinal inclined slipway during ship launching. [Текst] / S.A. Rashkovskiy, A.S. Rashkovskyi // International Shipbuilding Progress. Amsterdam The Netherlands, 2014. № 61. P. 41–59.
10. Cheng Z. Ship launching technology by airbag and design of its ramp. [Текst] / Z. Cheng. // *Transportation Science &Technology* 1 (2011), 039.
11. Qian S. Measurement and research on ship pitch change during process of ship launching by gasbag, [Текst] / S. Qian, Y. Mao, X. Sun. // *Ship & Boat* 6 (2008), 013.

UOT 629.5:656.6

HİDRAVLİKİ SÜKAN MAŞINLARININ SIRADAN ÇIXMA SƏBƏBLƏRİ VƏ ONLARIN ANALİZİ

Qafarov A.M., Orucov S.Ş.

Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası
Az1000, Bakı şəh., Z. Əliyeva küç., 18
E-mail: said.orucov.1990@mail.ru

Xülasə. *Məqalədə gəmilərdə istifadə olunan hidravliki sükan maşınlarının sıradan çıxma səbəblərinə və onların analizinə baxılmışdır.*

Abstract. *In the article discusses the reasons used in ships for the failure of the hydraulic steering machines and their analysis.*

Аннотация. *В статье рассмотрены и анализированы причины выхода из строя гидравлических рулевых машин, используемых на судах и проведен их анализ.*

Açar sözlər: *gəmi, sükan qurğusu, sükan balleri, klapan*

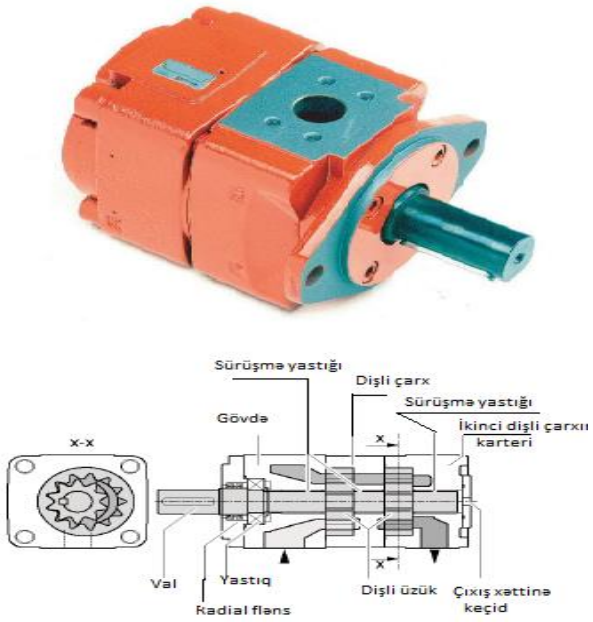
Key words: *ship, steering gear, rudder stok, valve*

Ключевые слова: *судно, рулевая машина, баллер руля, клапан*

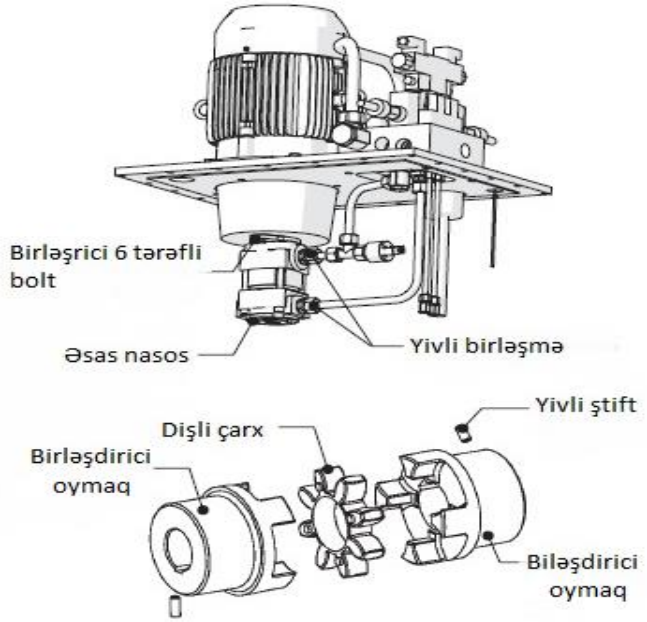
Giriş. Elektrohidravliki sükan maşınları gəmi maşın və mexanizmlərinin ən mühüm tərkib hissələrindən biridir. Elektrohidravliki sükan maşınlarında adətən dəyişən təzyiqlə işləyən nasoslardan istifadə olunur. Müasir tipli gəmilərdə sabit təzyiqlə işləyən nasoslardan geniş istifadə olunur. İstismar zamanı hidravliki sükan maşınları dəqiq işlədiklərinə görə elektrik sükan maşınlarına nisbətən daha çox istifadə olunur. Bu nasosların ölçüləri və kütləsi nisbətən daha aşağı olur. Bu nasoslarda işçi maye kimi mineral yağlardan istifadə edilir. Hidravliki sükan maşınlarında istifadə olunan nasoslar daha çox etibarlı və uzunömürlü olurlar. Bu nasosların əsas xüsusiyyətlərindən bir də, onların içərisinə yad maddələr düşdükdə öz funksiyalarını yerinə yetirə bilmələridir. Sükan maşınlarının sıradan çıxmasının əsas səbəbləri, onların hərəkət edən hissələrində yaranan nasazlıqlar, hidravliki sistemdəki mayenin fiziki və kimyəvi tərkibinin dəyişməsi, sükan maşınlarının elektrik hissələrində yaranan nasazlıqlardır [1-7].

Əsas hissə.

1. Sükan maşınlarının nasoslarında yaranan səslər:
   - sükan maşınlarının nasoslarının yastıqlarında yeyilmələrin baş verməsi (şəkil 1);
   - əks klapanının bağlı olması;
   - elektrik mühərriklərinin mufta birləşmələrinin yumruqlarının və dişli çarxlarının dişlərinin yeyilməsi (şəkil 2);
   - elektrik mühərrikinin yastıqlarında yeyilmələrin baş verməsi, radial və yan vurmaların artması ilə bağlı yaranan nasazlıqlar.
2. Sükan maşınlarının hərəkət edən hissələrində yaranan sıradan çıxmalar:
   - yağ nasoslarının ayrı- ayrı hissələrindəki detallarının sürtünmə nəticəsində yeyilməsi və yağların istifadə müddətlərinin bitirməsi ilə bağlı yaranan nasazlıqlar;
   - yağın çirklənməsi ilə əlaqədar qoruyucu klapanın həlqələrinin sıradan çıxması;
   - növbələşdirici klapanların qeyri sabit işləməsi səbəbindən sistemdə nasazlıqların baş verməsi;
   - silindirin araqatının yeyilməsi səbəbindən yaranan nasazlıqlar.
3. Sükan maşınlarının yağ nasoslarının artıq yüklənməsi səbəbindən sıradan çıxmalar:
   - porşenin yeyilməsi nəticəsində sıradan çıxmalar;
   - sükan qurğularında və sükan ballerlərində kilitlənmələrin baş verməsi.



Şəkil 1. *Sükan maşınlarının yağ nasosu və onun elementar sxemi*



Şəkil 2. *Sükan maşınının yağ nasosunun mufta ilə birləşməsi*

4. Sükan maşınlarının yağ süzgəclərinin çirklənməsi nəticəsində sıradan çıxmalar:
   - yağ süzgəclərin çirklənməsi (şəkil 3);
   - sükan maşınlarında rotorun yuxarı və aşağı çoxcərgəli kipləşdiricilərinin sıradan çıxması nəticəsində yağ axıntıları yaranması (şəkil 4);
   - ballerin qurğuda yaratdığı titrəmələrdən üzüklərin sıradan çıxması (şəkil 5).
5. Sükan maşınlarının hidravliki sistemindəki yağın temperaturunun artması nəticəsində sıradan çıxmalar :
   - sistemdəki yağın çirklənməsi nəticəsində istilik ötürmələrinin intensivliyinin aşağı düşməsi;
   - qoruyucu klapanın tənzimlənməsində yaranan qeyri-stabillik;
   - yağ nasoslarının yastıqlarının sıradan çıxması;
   - yağın səviyyəsinin aşağı düşməsi;
   - hidravliki sistemin yağ şlanqlarında zədələnmələrin olması (şəkil 6, 7).
6. Sükan maşınlarının yağ sistemlərində baş verən qapanmalardan sıradan çıxmalar:
   - bölüşdürücü klapanın öz funksiyasını yerinə yetirə bilməməsi;
   - əsas yağ ötürən klapanın çirklənməsi nəticəsində sistemlərdə nasazlıqların baş verməsi (şəkil 8);
   - idarəedici klapanların çirklənmələri nəticəsində nasazlıqların baş verməsi;
   - idarəedici klapanın elektromaqnit çarxının nasazlığı.
7. Sükan maşınlarının əks klapanları bağlı qaldıqda yaranan sıradan çıxmalar.
8. Qoruyucu klapanın həlqələrinin düzgün yerləşməməsi nəticəsində əsas yağ nasoslarının qeyri-sabit işləməsi.
9. Yağ çənində yağın səviyyəsinin normadan artıq olması və yağ sistemlərinə hava düşməsi nəticəsində yaranan nasazlıqlar.
10. Sükan maşınlarının elektrik hissələrində baş verən sıradan çıxmalar:
    - əsas və köməkçi kontaktorların sıradan çıxması;
    - yağ nasoslarının elektrik mühərriklərinin sıradan çıxması;
    - nasosların elektrik şkaflarında yaranan nasazlıqlar;
    - sükan qurğularının avtomatik idarəetmə sistemlərinin gərginliklərinin aşağı düşməsi;
    - qurğuların qidalandırıcı gərginliyinin dəyişməsi;
    - transformatorda yaranan nasazlıqlar;

- fərdi müdafiə qurğularının işləməməsi.

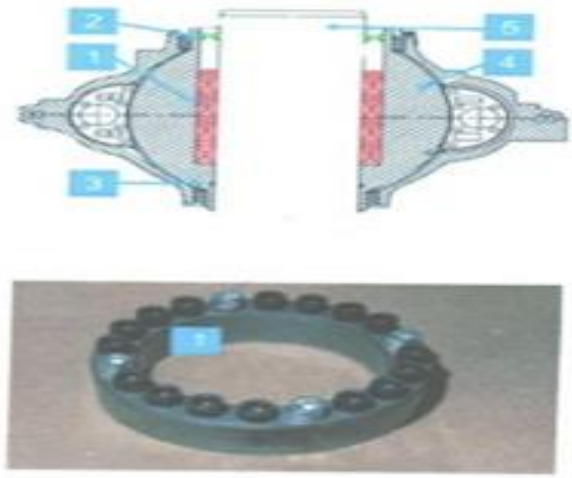
11. Elektrik ötürücü bazalarda yaranan sıradan çıxmalar:
    - Nasosun elektrik mühərrikinin fazalarında yaranan nasazlıqlar.



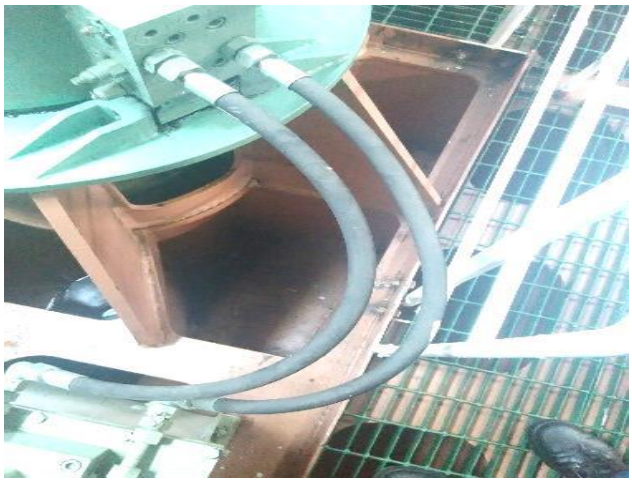
Şəkil 3.*Hidravliki sükan maşınının çirklənmiş yağ filtri*



Şəkil 4.Hidravliki sükan maşını



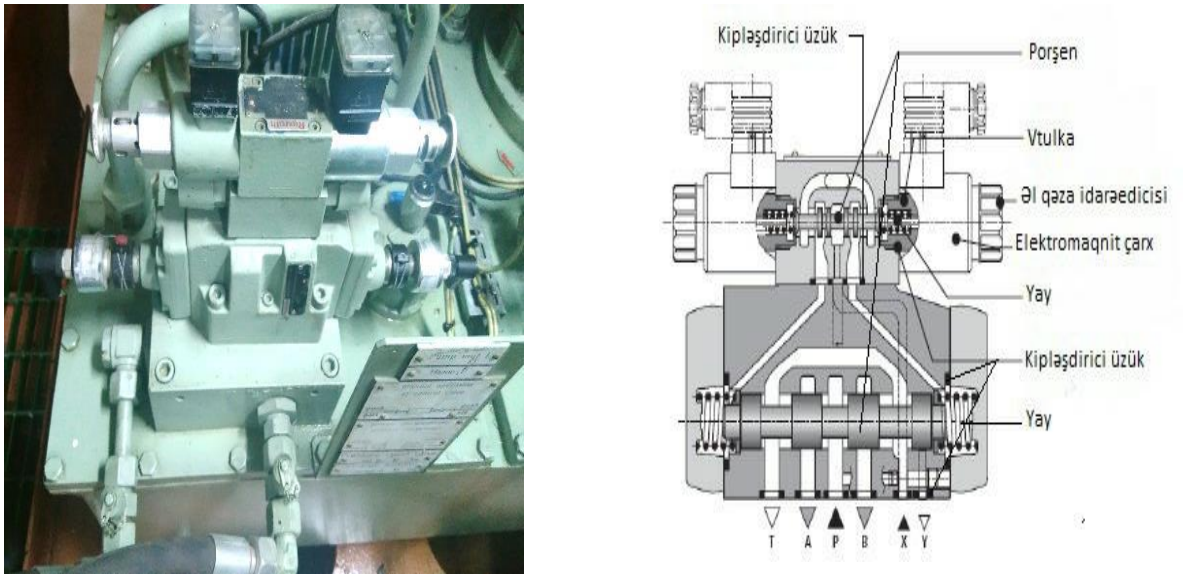
Şəkil 5. *Genişləndirici üzüklər.*
1) Genişləndirici üzüklər; 2) Sıxıcı qaykalar;
3) O – üzük; 4) Rotor; 5) Baller



Şəkil 6. *Hidravliki şlanqlar*



***Şəkil 7**. Hidravliki şlanqlarda yaranan zədələnmələr*



***Şəkil 8.** Sükan maşınının əsas yağ klapanı və onun sxemi*

Nəticə. Sükan qurğularının etibarlılığının artırılması üçün bir sıra amillər nəzərə alınmalıdır. Bunlara misal olaraq qurğuların hazırlanmasında, istismarında, onların konstruktiv quruluşlarında, hazırlanma materiallarında, texniki xidmətlərində, təmir proseslərində və işlədiyi müddətdə bir sıra mexaniki qulluq növləri nəzərə alınmalıdır. Sükan qurğularında göstərilən qaydaları yerinə yetirməklə, onların daha uzunömürlü işləməsinə nail olmaq olar.

Ədəbiyyat

1. Харин В.М. "Судовые гидравлические рулевые машины" Одесса; ФЕНИКС, 2005, 280 с.
2. Методическое указание по расчету годового экономического эффекта на предприятиях ММФ. РД31.01.91, Ленинград, Судостроение, 1993 г., 257с.
3. Трунин С.Ф., Промыслов Л.А., Смирнов О.Р. Надежность судовых машин и механизмов. Ленинград, Судостроение, 1980 г., 187с.
4. Валдаев М.Н. Диагностика технического состояния гидравлических приводов судовых механизмов // Судостроение, №1, 2003, 65 с.
5. Бронштейн И.Н.; Семендяев К.А.. Справочник по математике (для инженеров и учащихся втузов) издательства "Наука", Москва, 1965, 608 стр.
6. Инструкция завода изготовителя судов проекта 19619. 1986.
7. Техническая документация, HATLARA, 2012, 115стр.

УДК 656.6

РАСЧЕТ НАГРУЗОК, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА КОРПУС СУДНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕОРИИ ПЛОСКИХ СЕЧЕНИЙ

Рустамова Н.З.

Азербайджанская Государственная Морская Академия
Аз 1000, г. Баку, ул. З.Алиевой, 18
E-mail: rustamova.narmin@gmail.com

Аннотация. *В статье анализируется существующая методика, основанная на теории плоских сечений, для проектирования судов, которая предоставляет информацию о воздействующих нагрузках при движении судна и о добавочном сопротивлении, а так же обосновывается необходимость в новой методике расчета. Таким образом, выносится на обсуждение практический смысл использования теорий плоских сечений с использованием программного обеспечения и формируются предпосылки для новой методики.*

Xülasə. *Məqalədə gəminin hərəkəti zamanı yaranan yükləmələr və əlavə müqavimətlər haqda müvafiq informasiyanı təmin etmək ilə, müstəvi kəsiklər nəzəriyyəsinə əsaslanan, gəminin layihələndirilməsi üzrə mövcud və yeni yanaşmaya ehtiyac olan metodika təhlil edilir. Beləliklə, proqram təminatlı müstəvi kəsiklər nəzəriyyəsindən istifadənin praktiki mənası müzakirəyə çıxarılır və yeni yanaşmanın bünövrəsi qoyulur.*

Abstract. *The article analyzes the existing methodology, based on the strip theory, for ship design, which provides information about the acting loads during vessel motions and added resistance, as well as the need for a new calculation method. Thus, the practical meaning of using strip theories using software is put up for discussion and the prerequisites for a new technique are formed.*

Ключевые слова: *прочность, остойчивость, мореходность, маневрирование, управляемость, проектирование, симуляция, качка.*

Açar sözlər: *möhkəmlik, dayanıqlıq, üzmə, manevretmə, idarəolunma,, layihələndirmə, simulyasiya, yırğalanma.*

Key word: *strength, stability, seaworthiness, maneuvering, controllability, design, simulate on, motion.*

Введение. Существуют ряд различных требований для проектирования корабля, такие как прочность, остойчивость, сопротивление и тяга, мореходность, маневренность и управляемость. Множество инструментов и методов доступны для оценки качеств или характеристик этих компонентов, но очень немногие из них взаимодействуют между собой и учитывают друг друга. Так же существуют «общие» блоки проектирования, которые оценивают все эти аспекты на самом примитивном уровне и предлагают хорошо сбалансированный проект. В некоторых случаях, возможно, нет необходимости или нецелесообразно слишком глубоко вникать в то, как эти части конструкции корабля сочетаются друг с другом и влияют друг на друга. Однако исследование доказывает, что, некоторые из перечисленных аспектов не могут рассматриваться независимо, то есть, при любом случаи идеальное проектирование требует системного подхода к решению поставленных задач, в том числе, морские характеристики судна, оказывающие значительное влияние в целом на конструкцию корпуса. [1]

Основная часть. Теория плоских сечений может предоставить быстрые ответы для предварительного проектирования, но не может предсказать поведение в экстремальных условиях, которые зачастую заостряют на себе интерес. Существует необходимость сформулирование подхода, который может предсказывать нелинейные события, одновременно будучи вычислительно эффективным и надежным. Этот подход может в дальнейшем использоваться на этапе проектирования или для моделирования в реальном времени в целях прогнозирования нагрузок действующих на корпус судна.

Как правило, проектирование корабля ориентировано на характеристики стоячей воды. Во многих случаях проектировщику также нужна информация о переменных мореходных качествах судна, таких как местная качка или ускорение, добавочное сопротивление, волнение вод плавания и носовой слеминг. В настоящее время анализ качки судна используется не только для вычисления скорости судна при тех или иных погодных условиях, но и так же для определения общих нагрузок, воздействующих на корпус при качке. Модельные эксперименты для получения этой информации в процессе проектирования корабля являются дорогостоящими, длительными и не практичными.

Последние два десятилетия, стало возможным учитывать мореходные качества судна с самого начала проектирования, используя при этом численные методы. Эти численные методы включают линейные теории, такие как теории плоских сечений, а также трехмерные теории. В настоящее время различные программы по симуляции движения судов, в основном основаны на линейных теориях плоских сечений, которые в свою очередь зачастую используются в процессе проектирования корабля. Исходя из вышесказанного, возникает необходимость обсуждения практического смысла использования теорий плоских сечений на ранней стадии проектирования и его недостатки.

В современное время проектировщику нужны более быстрые вычислительные инструменты, которые удобны в использовании, хорошо защищены от ошибок ввода расчетных данных человеком, которые легко интерпретировать. Для этой цели были разработаны вычислительные методы, некоторые из которых основаны на теории плоских сечений, которые позволяет проектировщику получить необходимую информацию за очень короткое время. В программных обеспечениях используется усовершенствованная база данных, которая содержит всю необходимую информацию о двумерных потенциальных гидродинамических коэффициентах в режиме поперечной качки, вертикальной качки и бортовой качки для очень широкого диапазона поперечных сечений однокорпусного судна.

В общем случае определение коэффициентов сводится к решению пространственной волновой задачи о колебаниях тела произвольной формы на поверхности жидкости. Однако в самом общем виде такую задачу решить достаточно сложно, поэтому на практике применяется метод плоских сечений.

Суть метода «плоских сечений» заключается в следующем: судно рассматривается как удлиненное тело (B<<L, T<<L). При этом площадь любого поперечного (шпангоутного) се-

чения корпуса мала по сравнению с площадями продольных сечений. Это дает основание считать, что при движении судна в поперечном направлении поток воды вокруг корпуса распределяется как набор плоских потоков, которые происходят в плоскостях шпангоутного сечения в отдельности. Таким образом, судно по длине разбивается на участки, гидродинамические характеристики рассчитываются для заданного количества сечений. Затем, суммируя полученные величины, получают гидродинамические характеристики судна в целом [2].

На основе метода плоских сечений могут быть непосредственно вычислены присоединенные массы и коэффициенты демпфирования. Определение перечисленных коэффициентов для отдельного поперечного сечения может быть осуществлено, например, использованием метода интегральных уравнений или комбинированного метода, основанного на совместном применении методов гидродинамических особенностей и конформного отображения. Для определения этих двумерных коэффициентов корпусных сечений, эти сечения конформно отображаются на внешность круга единичного радиуса с помощью так называемого «двухпараметрического преобразования Льюиса» [3].

Преимущество конформного отображения состоит в том, что потенциал скорости жидкости вокруг произвольной формы поперечного сечения (шпангоута) в комплексной плоскости может быть получен из более удобного кругового поперечного сечения в другой комплексной плоскости. Таким образом, гидродинамические задачи могут быть решены непосредственно с помощью коэффициентов функции отображения. Преимущество использования двухпараметрического конформного отображения Льюиса состоит в том, что безразмерные зависящие от частоты потенциальные коэффициенты являются функцией только двух параметров. Эти параметры представлены соотношением половины ширины к осадке H_0 и коэффициенту площади поперечного сечения. Таким образом, база данных может быть заполнена потенциальными коэффициентами для достаточно большого количества этих параметров.

Далее коэффициенты гидродинамического потенциала поперечных сечений любого однокорпусного корабля можно найти путем интерполяции из полученной базы данных. Согласно теории плоских сечений, общие гидродинамические коэффициенты для корабля могут быть легко найдены путем интегрирования значений сечения по длине корабля.

Анализ качки в проектировании судов.

Фальтинсен и Свенсен (1990) обсуждали включение теории мореходства в проектирование кораблей с помощью компьютерного программного обеспечения. В результате общего обзора мореходных теорий для судопроектирования был сделан вывод о том, что, несмотря на некоторые ограничения, теория плоских сечений все еще является наиболее успешной и практичной теорией для анализа качки корабля под воздействием волновых нагрузок на ранней стадии проектирования корабля. Теория плоских сечений является теорией тонкого тела, поэтому следует ожидать менее точных прогнозов для судов с малым соотношением длины к ширине.

Теория плоских сечений основана на теории потенциального потока. Это говорит о том, что эффектами вязкости пренебрегают, что может создать серьезные проблемы при прогнозировании бортовой качки на резонансных частотах. На практике эффекты вязкости при бортовой качки можно объяснить эмпирическими формулами.

По причине того, что проблемы вынужденной качки обычно решаются при помощи теории плоских сечений, можно найти существенные расхождения между расчетными результатами и экспериментальными данными о волновых нагрузках при низких частотах столкновения с идущими волнами. На практике проблему «почти нулевой частоты столкновений» можно решить путем принудительного сведения волновых нагрузок к нулю.

Теория плоских сечений может дать менее точные результаты анализа качки для высокоскоростных судов и для больших судов, которые проводятся в экстремальных морских условиях. Теория плоских сечений очень просто оценивает взаимодействия со скоростью

движения вперед. Эффект системы устойчивых волн вокруг корабля игнорируется и условия свободной поверхности упрощаются, таким образом, нестационарные волны, генерируемые кораблем, распространяются в направлениях перпендикулярных центральной плоскости корабля. На самом деле волновые системы вокруг корабля намного сложнее. Для быстроходных судов важное значение приобретают нестационарные расходящиеся волновые системы. Этот эффект игнорируется в теории плоских сечений.

Теория плоских сечений основана только на линейности. Это означает, что качка корабля должна быть небольшой относительно размеров поперечного сечения судна. Учитываются только гидродинамические эффекты корпуса ниже уровня стоячей воды. Поэтому, когда части корабля выходят из воды или погружаются в воду, или, когда «зеленая вода» заливает палубу, можно ожидать неточностей. Кроме того, теория плоских сечений не различает альтернативные формы надводной части корпуса.

Несмотря на перечисленные выше замечания, методы прогнозирования мореходства, основанные на теории плоских сечений, обеспечивают достаточно хорошую основу для исследований по оптимизации на ранней стадии проектирования корабля.

Метод плоских сечений

Уравнения движения для шести степеней свободы парусного судна, на которое влияют внешние нагрузки, основаны на втором законе динамики Ньютона (рис.1). Благодаря симметрии корабля можно различить два несвязанных набора из трех связанных уравнений движения [4].

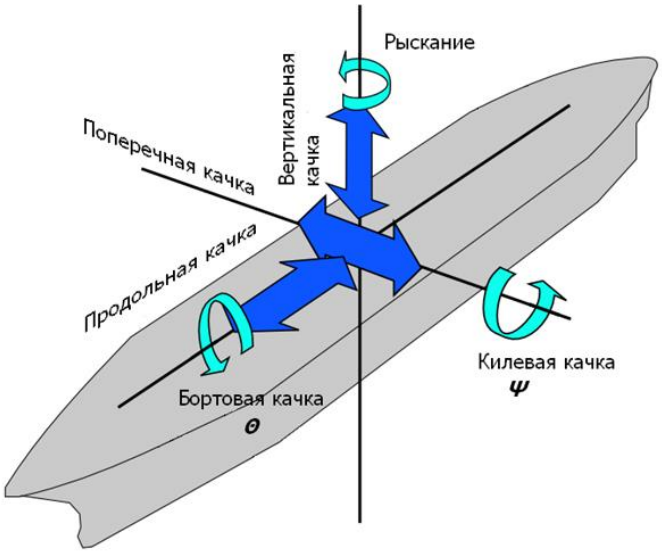


Рис. 1. *6 степеней свободы*

В правосторонней системе координат с началом в центре тяжести корабля эти уравнения имеют следующий вид:

$$\sum_{j=1}^{6}\left\{\left(M_{kj}+A_{kj}\right)\ddot{x}_j+B_{kj}\dot{x}_j+C_{kj}x_j\right\}=x_k$$

где: k = 1,3,5 - Сочетание продольной качки, вертикальной качки и килевой качки;
k = 2,4,6 - Сочетание поперечной качки, бортовой качки и рыскания;
Для k=1,2,3,4,5,6.
$\ddot{x}_j$ - Ускорение гармонического колебания в направлении j;
$\dot{x}_j$ - Скорость гармонического колебания в направлении j;
x_j - Смещение гармонического колебания в направлении j;
X_k - Гармоническая возбуждающая волновая сила или момент в направлении k;

M_{kj} - Коэффициент твердой массы или инерции;

A_{kj} - Гидродинамическая масса или коэффициент инерции;

B_{kj} - Коэффициент гидродинамического демпфирования;

C_{kj} - Коэффициент упругости.

В результате этой формулировки в области частотных интервалов любая система, влияющая на поведение судна, должна иметь линейную зависимость от водоизмещения, скорости и ускорения тела. Коэффициенты гидродинамической массы и демпфирования, а также нагрузки от внешних волн зависят от амплитуды и частоты колебаний. Восстанавливающиеся коэффициенты упругости постоянны. В литературе можно найти несколько подходов теории плоских сечений для определения гидродинамических коэффициентов массы и демпфирования, а также внешних нагрузок от волны. Рассмотрим метод теории плоских сечений на примере программного обеспечения SACS Marine от компании Bentley (рис.2).

SACS Marine - это компьютерная программа предназначенная для проведения комплекса расчётов для проектирования судов и плавучих установок. Один из модулей SACS Marine Motions анализирует качку судна и основан на нескольких методах расчета, а также на обычном и модифицированном методе теории плоских сечений, для расчета индуцированных волнами нагрузок, движений и механических нагрузок с шестью степенями свободы как для однокорпусного судна, так и для судов с двойным корпусом, таких как катамараны или полупогружные платформы.

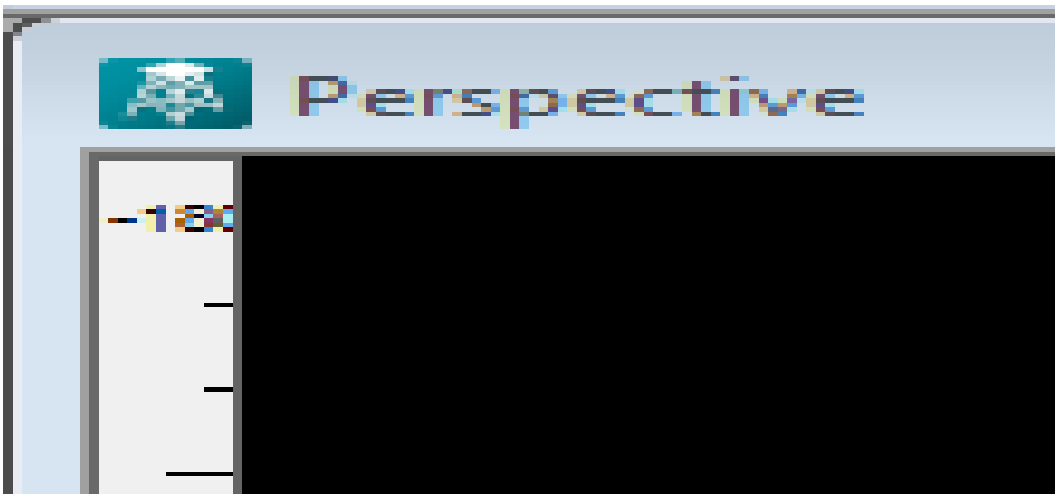


Рис. 2. *Анализ качки на программе SACS Marine Motions для танкера RST12C*

Модуль программы Motions использует смоделированную геометрию корпуса для расчета реакции судна на определенные пользователем морские условия. Для расчета ответной реакции судна доступны не только метод теории плоских сечений, но и ряд решателей дифракции излучения, которые в совокупности называются панельными методами.

Панельные методы представляют собой дифракционный излучающий гидродинамический анализ первого порядка, в котором используется метод граничных элементов (BEM) на постоянной панели. Методы панели генерируют свои элементы анализа на основе геометрии из поверхностей NURBS (Неоднородный рациональный B-сплайн). Так же Методы панели генерируют «Операторы Амплитуды Реакции» (RAO) для всех шести степеней свободы: продольная качка, бортовая качка, поперечная качка, килевая качка, вертикальная качка и рыскание (рис. 3).

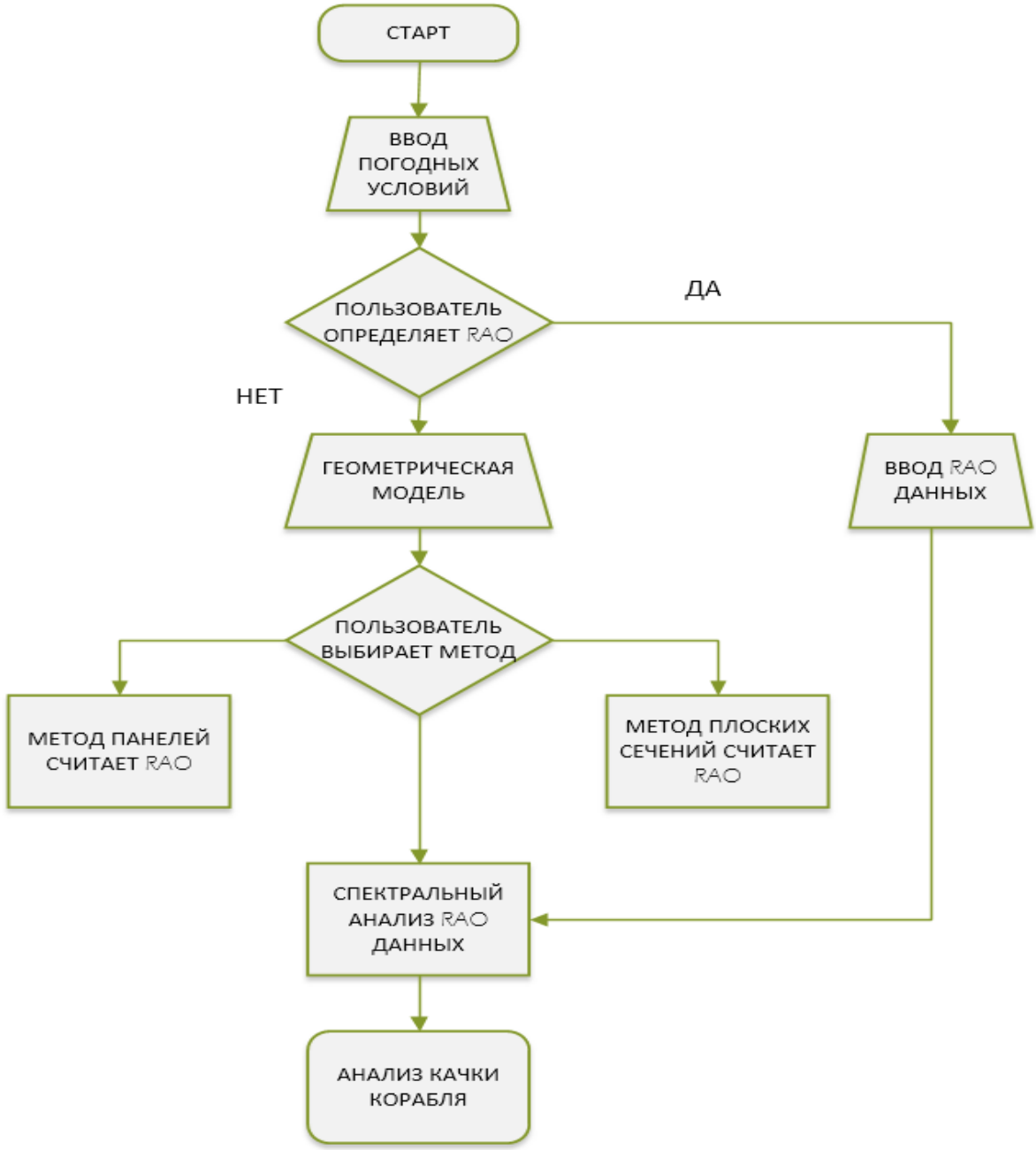


Рис. 3. *Последовательность операций анализа качки*

Что же такое Операторы Амплитуды Реакции? Движения судна на волнах могут быть определены с помощью водоизмещения RAO (операторы амплитуды реакции). Каждое водоизмещение RAO состоит из пары чисел, которые определяют реакцию судна для одной конкретной степени свободы на одно конкретное направление волны и период. Два числа представляют собой амплитуду, которая связывает амплитуду движения судна с амплитудой волны, и фазу, которая определяет синхронизацию движения судна относительно волны. Например, RAO продольной качки 0,5 при волне высотой 4 м (и, следовательно, амплитуда волны 2 м) означает, что судно поднимается и опускается от -1 м до + 1 м от своего статического положения; RAO с шагом килевой качки 0,5 ° на метр на той же волне будет означать, что судно наклоняется от -1 ° до + 1 °.

Волновая нагрузка

В расчетах теории плоских сечений, волновые нагрузки на корабль определяются путем интегрирования двумерных нагрузок на поперечные сечения судна по длине его корпуса. Эти нагрузки состоят из части Фруда-Крылова и дифракционной части.

Силы и моменты, воздействующие на тело, определяются:

$$F = \int_L dx \int_{C_H} p\, N\, dl$$

$$M = \int_L dx \int_{C_H} pr\, \times N\, dl$$

и давление p, можно разделить на гидростатическую и гидродинамическую составляющие:

$$p = p^{HS} + p^{DYN}$$

$$p^{HS} = -\rho g z$$

$$p^{DYN} = p^I + p^D + p^R + p^A + p^S,$$

где p^I, p^D, p^R, p^A члены первого порядка, $-\rho\left(\frac{\partial \varphi}{\partial t} - U_o \frac{\partial \varphi}{\partial x}\right)$, условия инцидента (также называемые Фруд-Крылов) дифрагированной, излучаемой и угловой составляющих давления; p^S член второго порядка, $-\rho \frac{1}{2} |\nabla \varphi|^2$, включает в себя всю скорость пертурбации, ∇_φ, из всех компонентов.

Сила или момент Фруда-Крылова в волнах могут быть раскрыты последовательно. Доминирующий член в соответствующей части ряда обеспечивает эквивалентные направленные компоненты орбитального ускорения и скорости. Эти компоненты были использованы Журнеем (1991) для расчета дифракционной части волновых нагрузок.

Определения волновых спектров

Для сравнения расчетного поведения различных конструкций или для получения представления о поведении конкретного проекта в море требуются стандартные представления распределений энергии волны. В основном используется три математических определения с двумя параметрами нормированных спектров нерегулярных однонаправленных волн:

- волновой спектр Неймана, несколько более широкий волновой спектр,
- волновой спектр Бретшнейдера, также называемый ISSC, ITTC или модифицированный волновой спектр Пирсона-Московича, средний волновой спектр
- спектр JONSWAP, узкий волновой спектр.

Этими двумя параметрами являются значительная высота волны и средний период волны.

Заключение

На основе проверок ожидается, что этот простой метод расчета можно безопасно использовать для обычных судов с одним корпусом, по крайней мере, на стадии предварительного проектирования судна. Однако здесь необходимо сделать несколько ограничений:

- Для высокоскоростных судов, для судов с отношением длины к ширине менее 3 и для судов со значительным влиянием затопленных поперечных сечений или с бульбовидным носом ожидаемы более или менее неточные результаты.
- Из-за использования линейной теории можно ожидать менее точных результатов при сильной качке в экстремальных морских условиях.
- Метод основан на конформном отображении сечений Льюиса. При этом считается, что секции с различными формами, но с одинаковой шириной, уклоном и площадью, получат рав-

ные значения для двумерных гидродинамических потенциальных коэффициентов и волновых нагрузок.

- При расчете вертикальных движений относительно волн или при расчете вероятностей заливания воды или носового слеминга статическое и динамическое увеличение не учитывается.
- Метод Икеды для оценки вязкости демпфирования менее подходит для необычной формы судна, сильно заполненных судов или судов с большим отношением ширины к осадке. Но расчетные или экспериментальные коэффициенты демпфирования также могут быть введены в ручную.
- Метод расчета почти во всех программных обеспечениях используется для бесконечной глубины воды. Ограниченные эффекты глубины воды не включены.

Когда требуются более точные результаты, следует использовать программы, основанные на теории плоских сечений. Однако некоторые из этих ограничений связаны с самим методом плоских сечений. В этом случае результат будет зависеть от других вычислительных методов или модельных экспериментов.

Вывод. Теория плоских сечений может дать быстрые ответы для предварительного проектирования, но не может предсказать поведение в экстремальных условиях, которые в настоящее время представляют основной интерес. Анализируя проблемы и недостатки теории плоских сечений в будущем можно будет получить более точные компьютеризированные методы проведения анализа качки, над чем ведутся научно исследовательские работы и положительные эффекты просвечивается.

Литература

1. Piotr Jozef Bandyk. A body-exact strip theory approach to ship motion computations. A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy (Naval Architecture and Marine Engineering) in The University of Michigan, 2009, p. 135.
2. Семенова В.Ю. Гидродинамическая теория линейной качки корабля. Учебное пособие 2014, 105с.
3. G. J. Grigoropoulos and G. A. Athanassoullis. Investigation of an Extended-Lewis form family of ship sections and its application to seakeeping optimization. The Royal Institution of Naval Architects, 1996, p.138.
4. J. M. J. Journee, Theory and Algorithms of Two-Dimensional Hydrodynamic Potential Coefficients. Delft University of Technology 1990, p.71.

УДК 669.01(075.8)

ИЗУЧЕНИЕ СТРУКТУР ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ

Тарасов В.В., Герасимов А.П.

Государственный Морской Университет им. адм. Невельского
г. Владивосток, Россия
E-mail: Tarasov@msun.ru

Аннотация. *Современные требования к программе подготовки морских специалистов, занимающихся морской деятельностью, предполагают все более широкое использование компьютерных программ. В статье представлена программа обучения и оценки освоения знаний по структурообразованию в железоуглеродистых сплавах. Диаграмма железо-цементит позволяет определить формирование структуры углеродистых сталей и чугунов с различным содержанием углерода и при разных температурах. На ее основе выбираются режимы термообработки, диапазон температур горячей обработки стали давлением. Цель статьи – ознакомить с программой изучения диаграммы и показать преимущества ее применения в учебном процессе.*

Abstract.*Current demands to the contents and syllabus in training seagoing cadets and maritime industry-related students imply the use of computer-based training to an increasing degree. The paper presents digital training and assessing program named Structure formation in iron-carbon alloys to have future professionals well familiarized with these. The iron-cementite diagram allows determining the formation of structures of carbon steels and cast irons with different carbon content and at different temperatures. On its basis heat treatment modes, steel hot forming temperature range are chosen. The paper aims at giving an account of the program, showing the advantages of introducing it as an example of best practices.*

Ключевые слова: *компьютерная подготовка, обучение и оценка, морское образование и подготовка конструкционный материал, диаграмма железо-цементит*

Key words: *computer-based training, training and assessing, maritime education and training (MET), structural material, iron-cementite diagram*

Введение. Сплавы на основе железа, к которым относятся стали и чугуны, имеют широкое распространение в судостроении и они относятся к основным конструкционным материалам. Эти же материалы идут на изготовление деталей главных и вспомогательных судовых двигателей, гребных, упорных и промежуточных валов, баллеров пера руля и других деталей вспомогательных механизмов.

Для понятия этих материалов: формирование их структур, влияние температур на изменения фазового и структурного состояния, а также выбор необходимой термической обработки дает наглядное представление диаграмма состояния железо - цементит. На ее основе выбирают режимы термической обработки, интервал температуры горячей обработки сталей давлением и т.п.

Содержание программы включает в себя: «Изучение диаграммы», «Обучающие тесты» и «Контролирующие тесты». Ее изучение способствует пониманию физических процессов, которые протекают в железоуглеродистых сплавах и приводят к формированию соответствующих структур при медленном охлаждении.

Обучающие тесты дают возможность пользователю изучить линии, точки и структурные составляющие по соответствующим областям диаграммы.

Контролирующие тесты позволяют пользователю оценить свои знания в целом по структурной диаграмме железо-цементит и подготовиться к сдаче зачета по этой теме.

Структурная диаграмма железо-цементит, в данной работе, приведена в упрощенном виде: исключено рассмотрение перитектического превращения.

Основная часть. Целью изучения диаграммы «Железо-цементит» является: изучить превращения в углеродистых сталях и чугунах при медленном охлаждении и формирование их структур в равновесном состоянии.

Современные информационные технологии позволяют наглядно представить процессы, происходящие в железоуглеродистых сплавах и использовать эти знания в практической работе.

В представленной работе дается краткое описание электронной программы по изучению диаграммы «Железо-цементит».

Программа имеет свободный доступ в сети Интернет по адресу http:// msun. ru/dir/ kaf_tm/educate/diagramma_19/language/rus_engl.html.

Программа выполнена в русскоязычной и англоязычной версии.

Исходный код англоязычная версия программы полностью соответствует русскоязычной версии. Отличается только в применении английского языка.

Главное меню программы включает в себя: режим изучения диаграммы, режим самоконтроля знаний и режим итогового тестирования.

Режим изучения диаграммы представлен кадром основных линий диаграммы (рис. 1.), кадром характерных точек диаграммы (рис. 2.) и кадром структурных областей диаграммы (рис. 3.).

При практическом изучении линий и точек диаграммы необходимо в меню справа кликнуть на выбранную кнопку. На диаграмме выбранная линия или точка отобразится мерцающим цветом с указательной стрелкой, а в текстовом поле ниже диаграммы отобразится описание линии или точки.

В процессе изучения структурных областей диаграммы, после клика кнопки меню справа на диаграмме высвечивается выбранная область диаграммы с указательной стрелкой, а в текстовом поле снизу диаграммы отображается описание области.

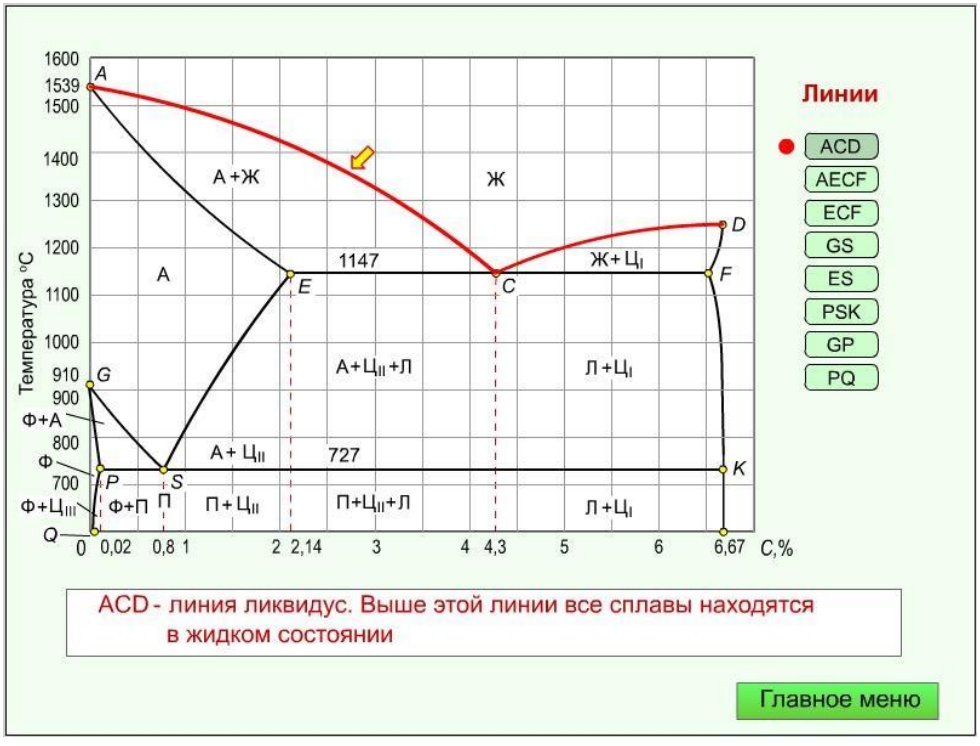


***Рис. 1**. Рабочий кадр изучения линий диаграммы*

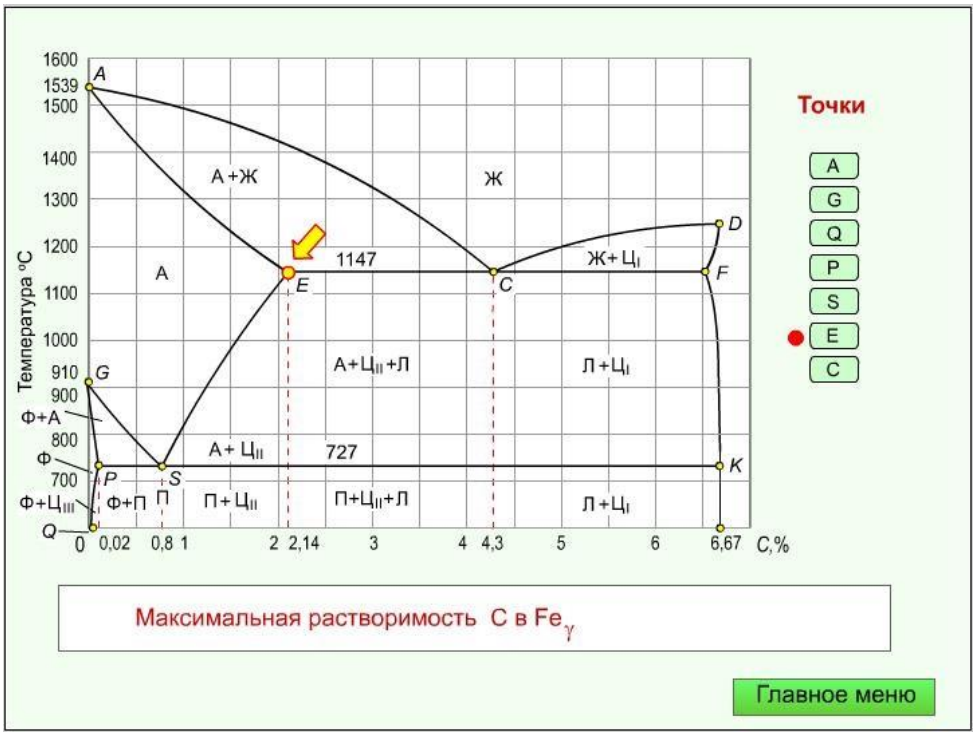


Рис. 2. *Рабочий кадр изучения точек диаграммы*

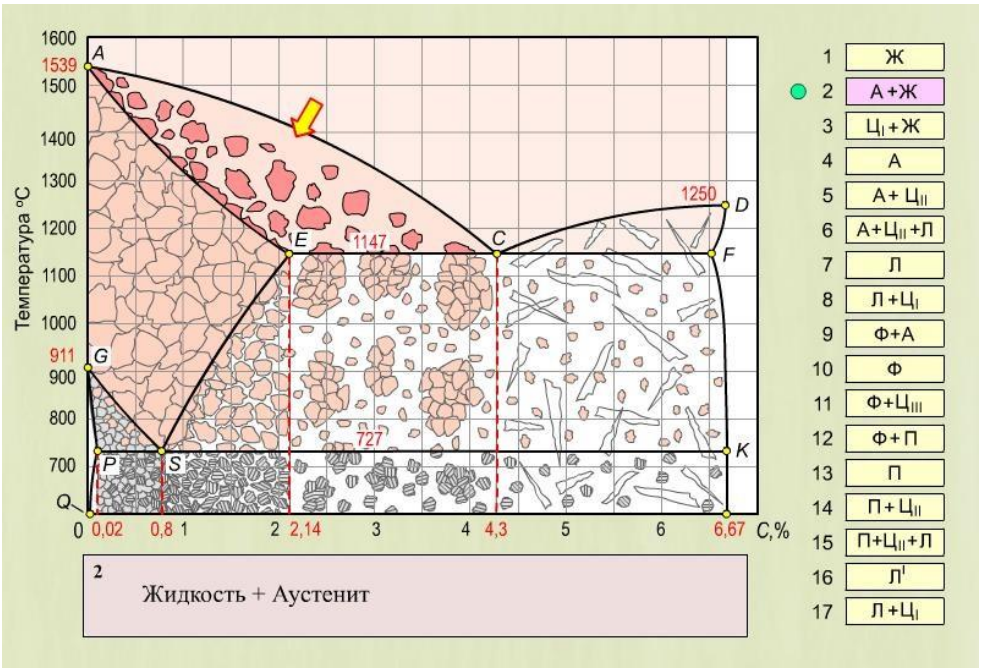


Рис. 3. *Рабочий кадр режима изучения структурных областей диаграммы*

В режиме самоконтроля знаний в текстовом поле под диаграммой отображается вопрос. В этом режиме линии и точки являются кнопками. При клике на линию или точку выводится сообщение о результате ответа с подсказкой правильного ответа (рис. 4.).

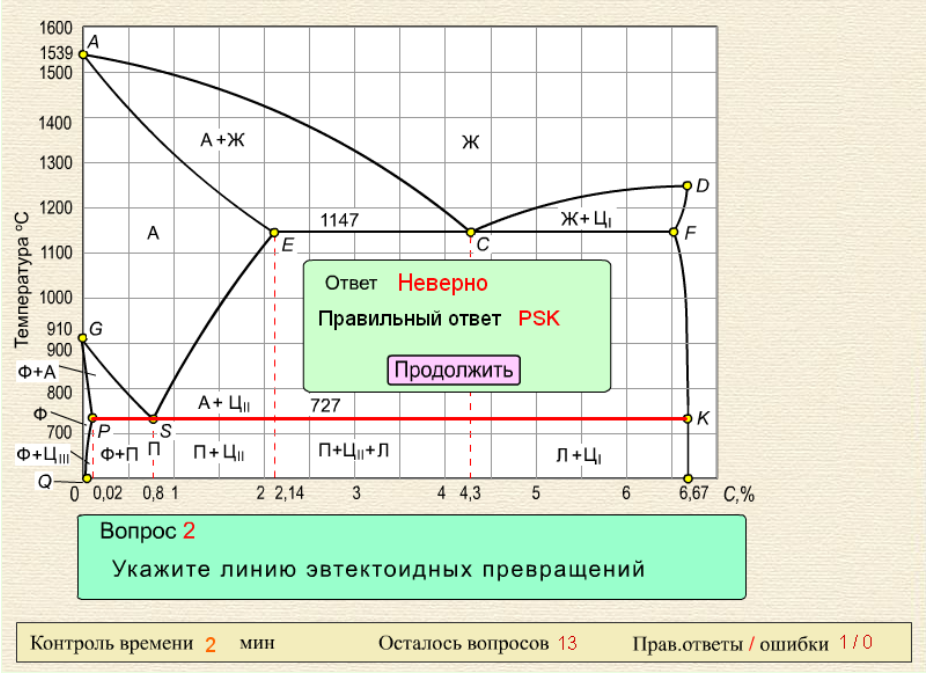


Рис. 4. *Рабочий кадр самоконтроля знаний*

В режиме итогового тестирования программа работает аналогично режиму самотестирования, но без вывода сообщения о неправильном ответе. На рисунке 5 представлен кадр режима итогового тестирования по знанию областей диаграммы. Всего вопросов по числу областей 17. Из этих вопросов сформированы варианты тестовых заданий по 15 вопросов в каждом. Вариант теста выбирается автоматически. Время тестирования ограничено 15-ти минутами. По завершению теста выводится сообщение о результатах с оценкой.

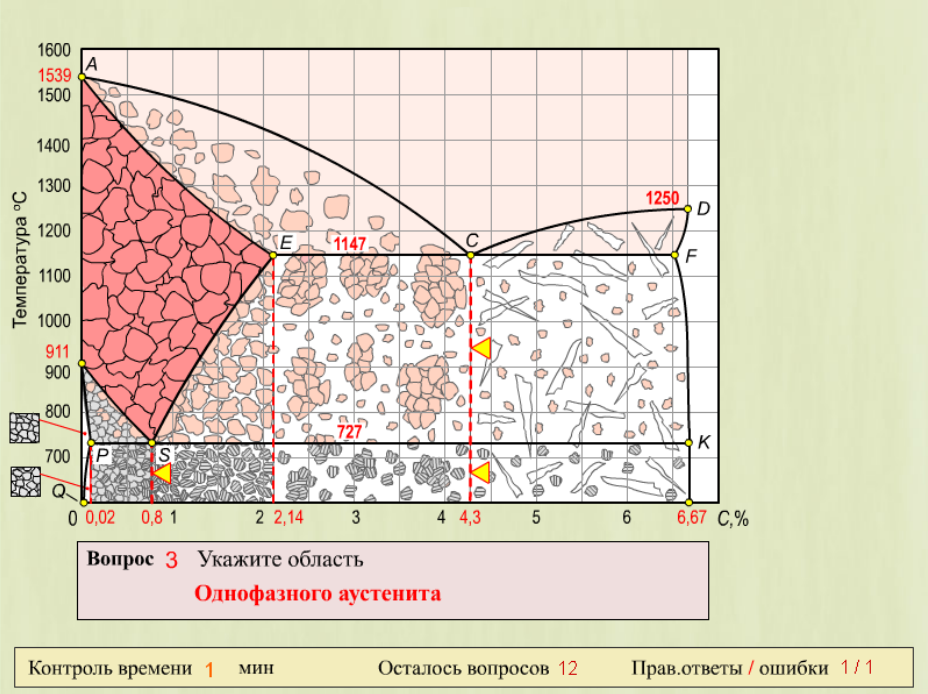


Рис. 5. *Рабочий кадр контролирующего теста*

Вывод. Представленное краткое описание программы и ее практическое использование дает возможность при меньших затратах времени освоить железоуглеродистые сплавы и понимать их применение при соответствующих эксплуатационных ограничениях.

Литература

1. STCW Convention. 3rd consolidated edition. IMO Publication. London, 2011. 364 p.
2. Тарасов В.В., Герасимов А.П. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2018615968. Структурная диаграмма «Железо-цементит». Обучающе-контролирующая программа. Дата регистрации мая 2018 г.
3. Тарасов В.В., Герасимов А.П., Стрелков А.Ю. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ№2018663697. Формирование структуры в железоуглеродистых сплавах. Обучающе-контролирующая программа. Русскоязычная и англоязычная версии. Дата регистрации 01 октября 2018 г.

UOT 621.762

INVESTIGATION OF HARDNESS CHARACTERISTICS OF DIFFERENT TYPE FIBER REINFORCED HDPE MATRIX POLYMER COMPOSITES

Gurbanov N.A., Salimov Z.E.

Azerbaijan State Oil and Industry University
E-mail: nurlan.gurbanov@asoiu.edu.az., zaka.salimov@asoiu.edu.az

Abstract. *With the increasing use of polymers, plastic materials in composite materials have started to be replaced by plastic materials. In this article, fiber reinforced HDPE matrix polymer composites were produced and their hardness properties were investigated. In the study, HDPE engineering plastic as matrix material, carbok fiber, basalt fiber, jute fiber, coconate (coconut) fiber harmonizer as PE-g-MA were used as reinforcement material.*

Xülasə. *Polimer materialların günümüzdə artan istifadəsi ilə birlikdə, kompozisiya materiallarında metal materialları əvəzlənməyə başlamışdır. Bu məqalədə, müxtəlif tip fiberlərlə gücləndirilmiş YSPE matrisli polimer kompozisiya materialları hazırlanmış və onların sərtlik xüsusiyyətləri araşdırılmışdır. Doldurucu materiallar olaraq, karbon fiber, bazalt fiber, jut fiber, kokos (hindistan qozu) fiber əlaqələndirici olaraq da PE-g-MA və matris material olaraq YSPE mühəndislik plastik materiallar kimi istifadə edilmişdir.*

Аннотация. *С ростом использования полимеров пластмассовые материалы в композитных материалах начали заменяться пластиковыми материалами. В этой статье рассмотрены армированные волокном полимерные композиты из ПЭВП - матрицы и исследованы их твердостные свойства. В ходе исследования в качестве армирующего материала использовались конструкционный пластик из ПЭВП в качестве матричного материала, карбоновое волокно, базальтовое волокно, джутовое волокно, кокосовое волокно в качестве ПЕ-г-МА.*

Key words: *plastic materials, HDPE, hardness, carbon fiber*
Açar sözlər: *plastik materiallar, YSPE, sərtlik, karbon fiber*
Ключевые слова: *пластик, ПЭВП, твердость, углеродное волокно*

Introduction. Polymer composites are increasingly interested in both the scientific and industrial sectors, since they produce appropriate, cost-effective solutions for the development of completely new materials with the desired properties [1-2].

HDPE as the matrix material is the most widely used thermoplastic type. Polyethylenes are very complex engineering plastics and have many advantages such as easy shaping, light weight, low production cost, widespread availability, resistance to chemicals, easy and recyclable workmanship. However, due to its more widespread properties, strength properties, wear and fatigue resistance as well as low thermal resistance and high moisture absorption are the qualities that must be overcome [3- 4].

Shipway et al. Studied the studies on basalt fiber reinforced polymer composites. As a result of their researches, they stated that as the ratio of the fiber in the composites increased, the impact properties improved and the hardness strengths increased [5].

Materials and methods

Materials. HDPE density 0.956 g/cm^3 (ASTM D1505), melt flow rate (MFR) 20.0 g/10 min (190°C/2.16 kg, ASTM D1238), melting point (DSC) 180°C (ASTM D3417), tensile tensile strength 25 MPa (ASTM D638), Shore D hardness 65 (ASTM D 2240). PE-g-MA has a PE-g-MA 6gm KOH /g acid content having a density of 0.92g / cm^3 at 25^{0}C, a melting point Tm=107^{0}C (DSC), and a viscosity of 500 MPa at 140^{0}C. The CF are chopped 6 mm in size and covered with 1.5-3% by weight of polyurethane based resin. Tensile strength, tensile modulus and density are 4200MPa, 240GPa and 1.76 g/cm^3 respectively. The BF is 6 mm in size and 13-20μm in chopped form. Tensile strength, tensile modulus and BF density were 2825MPa, 89GPa and 2.8g / cm^3, respectively. The JF was chopped 6 mm in size and fiber-shaped. The tensile strength, tensile modulus and JF density were 393 and 773MPa, 13-26.5GPa and 1.3 fiber 1.45 g / cm^3, respectively. NaOH (sodium hydroxide) was used for surface modification of chopped jute fibers. In order to clean the foreign material from the fibers before the modification process, the jute fibers were washed in tap water and left to dry in a shadow area for 24 hours. The mixture was prepared by adding 15% NaOH in 1000ml of distilled water. In this mixture, the jute fibers were incubated for 1 h and in the final rinse stage 10-15 drops of ASC (acetic acid) were used. After the final rinse process is finished, the shade is left to dry in an area. The tensile strength, tensile modulus and density of the CCF are 131 MP 175MPa, 4-6 GPa and 1.15 g / cm^3, respectively. The same as the surface modification process applied to the JF was made in the CCF.

Methods. CF/HDPE, BF/HDPE, JF/HDPE, CCF/HDPE composites, D = 16 mm screw diameter and 40 length / diameter (L/D) ratio, screws are rotated in the same direction by using a twin screw extruder technique was produced by using the melt blending technique. The spindle speed is 100 rpm and the production die pressure is 6.7 bar. CF/HDPE, BF/HDPE, JF/HDPE, CCF/HDPE, CF/HDPE/PE-g-MA, BF/HDPE/PE-g-MA, JF/HDPE/ PE-g-MA, CCF/HDPE 24 compositions were prepared with the weight ratios of PE-g-MA 10/90%, 20/80%, 30/70% and 10/88/2%, 20/76/4%, 30/64/6%, respectively. Table 1 shows the compositions of the composites used in the study. Prior to mixing, CF, BF, JF, CCF, HDPE, and the compatibilizer were pre-dried in an oven at 80 °C for 24 hours to remove moisture from the PE-g-MA. The temperature profile of the six regions of the extruder was set at 50, 200, 205, 210, 215 and 220 °C from the feeding zone to the heating zones, respectively. The extruded material was removed from the mold in rod form, passed through a water bath at room temperature and pelleted using a granulator.

It was then dried in an oven at 80 °C overnight. The pellets were then molded in a hardness and abrasion test specimen using a 12 ml micro injection molding device. The sample diameter is 29 mm and the height is 8 mm. The temperature and mold temperatures are 210 and 25 °C and the injection pressure is 7 bar, respectively. It is molded under the same conditions as the control sample in pure HDPE.

Table 1.

Compositions used in the study compositions

Matrix Composition (% wt.)	Reinforcement Composition (% wt.)	Harmonic Composition
90 HDPE	10 CF	-
80 HDPE	20 CF	-
70 HDPE	30 CF	-
88 HDPE	10 CF	2 PE-g-MA
76 HDPE	20 CF	4 PE-g-MA
64 HDPE	30 CF	6 PE-g-MA
90 HDPE	10 BF	-
80 HDPE	20 BF	-
70 HDPE	30 BF	-
88 HDPE	10 BF	2 PE-g-MA
76 HDPE	20 BF	4 PE-g-MA
64 HDPE	30 BF	6 PE-g-MA
90 HDPE	10 JF	-
80 HDPE	20 JF	-
70 HDPE	30 JF	-
88 HDPE	10 JF	2 PE-g-MA
76 HDPE	20 JF	4 PE-g-MA
64 HDPE	30 JF	6 PE-g-MA
90 HDPE	10 CCF	-
80 HDPE	20 CCF	-
70 HDPE	30 CCF	-
88 HDPE	10 CCF	2 PE-g-MA
76 HDPE	20 CCF	4 PE-g-MA
64 HDPE	30 CCF	6 PE-g-MA
100 HDPE	-	-

Experimental studies

In the experimental part of this study, high density polyethylene in different weight ratios (HDPE) using maleic anhydride grafted polyethylene (PE-g-MA) as a harmonizer with carbon fiber (CF), basalt fiber (BF), jute fiber (JF) and coconat fiber (CCF). The effects of test parameters of composites on the hardness properties of composites after injection molding were investigated. The details of the experimental work, the findings and the comments are summarized below. The details of the experimental work, the findings and the comments are summarized below.

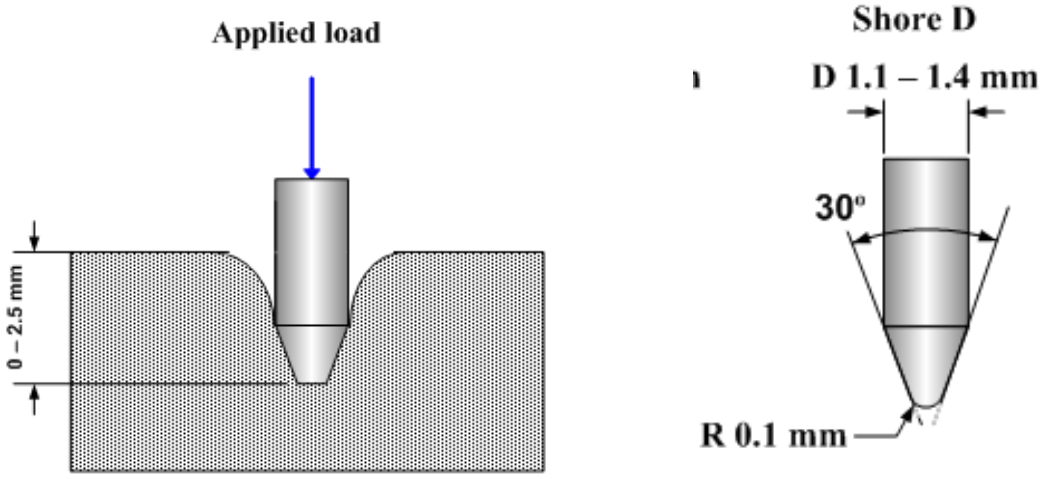


Figure 1. *Test procedure for Shore D*

In addition, the hardness of the samples was measured with a Shore D hardness tester in accordance with ASTM D2240 to determine the relationship between the hardness values of the composites and wear characteristics (figure 1).

Results and discussions

The change of Shore D hardness values of composites according to reinforcement composition is given in Figure 2. In general, the hardness values of the composites according to pure HDPE are increased by the use of the reinforcement phase ratio and the harmonizer. This increase is linear for CF and BF reinforced composites, while some fluctuations in JF and CCF reinforced composites are noteworthy. It is seen that the highest hardness value is in CF fiber reinforced composites. The hardness values of BF, JF and CCF reinforced composites vary according to the composition but they are close. It can be concluded that the most rigid structure can be obtained with CF.

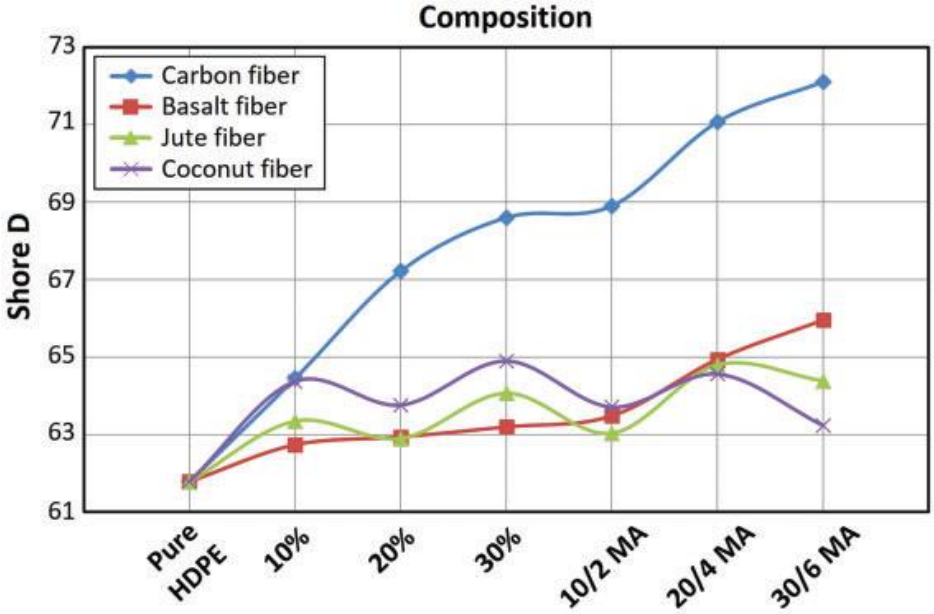


Figure 2. *Composition of Shore D hardness values of composites according to reinforcement composition*

Conclusion. High density polyethylene (HDPE) matrix composites with different weight ratios using PE-g-MA as harmonizers with CF, BF, JF and CCF have been successfully used with melt blending method. It was investigated.

The results can be summarized as follows:

Ir Generally, the hardness values of the composites according to pure HDPE are increased by the use of the reinforcement phase ratio and the harmonizer. While this increase is linear for CF and BF reinforced composites, some fluctuations in JF and CCF reinforced composites are noteworthy.

Resources

1. Bajsić E.G., Šmit I., Leskovac M., 2007. Blends of thermoplastic polyurethane and polypropylene. I. Mechanical and phase behavior. Journal of Applied Polymer Science, 104, 3980–3985.
2. Bajsić E., Rek V., 2004. Dynamic mechanical study of thermoplastic polyurethane/ polypropylene blends, in: S. Agarwal, A. Greiner (Eds.). E-Polymers, Germany, pp. 837–846.
3. Zum Gahr K.H., Microstracture and Wear of Materials, Elsevier, Amsterdam, 1987.
4. Çiler TOĞUŞLU(2011),Cam Fiber ve Grafit Takviyeli Naylon 6 Matrisli Kompozit Malzemelerin Bazimekanik Özellikleri ve Aşınma Mekanizmalarının Deneysel Olarak İncelenmesi,Ege Universitesi Fen Bilimleri Enstitüsü,Yüksek Lisans Tezi, Bornova-Izmir

5. Shipway, P.H., Ngao, N.K., 2003, Microscale abrasive wear of polymeric materials, Wear, 255, 742–750p.
6. Kishore, Sampathkumaran P., Seetharamu S., Murali A. Ve Kumar R.K., 2001,"On the SEM Features of Glass-Epoxy Composite System Subjedted to Dry Sliding Wear." Wear, 241, 208-213p.

UOT 671.721

İNŞAAT ARMATURLARININ İSTEHSALINDA ELEKTROPOLADƏRİTMƏNİN ROLU

Məmmədov A.T., Bayramov A.T., Xankişiyev İ.A.

Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası
AZ 1000, Bakı şəh., Z.Əliyeva küç., 18.
E-mail: isaq_x@mail.ru

Abstract: *The role of the electric wall mill in the production of valves, which constitute the main part of reinforced concrete structures used in the construction sector. The grades and strength groups of building steels are presented. A selection of schemes of electric arc furnaces for smelting reinforcing steel is being conducted. The technological scheme of steel production during smelting in arc furnaces is presented. A scheme of modern electric steel melting in a 50-ton furnace used in Baku Steel Company LLC is proposed.*

Аннотация. *В статье анализируется роль электросталеплавки при производстве арматур, составляющих основную часть железобетонных конструкций, используемых в строительном секторе. Представлены марки и группы прочности строительных сталей. Проводится выбор схем электродуговых печей для выплавки арматурных сталей. Представлена технологическая схема производства стали при выплавке в дуговых печах. Предлагается схема современной электросталеплавки в 50 тонной печи, используемой в ООО «Baku Steel Company».*

Xülasə. *Məqalədə inşaat sektorunda istifadə olunan dəmir-beton konstruksiyaların əsas hissəsi olan armaturların istehsalında elektropoladəritmənin rolu təhlil olunur. İnşaat poladlarının markaları və möhkəmlik qrupları verilir. Armatur poladlarının əridilməsi üçün elektroqövs sobalarının sxemləri seçilib. Qövslü poladəritmə sobasında polad istehsalının texnoloji sxemi verilir. "Baku Steel Company MMC"-də istifadə olunan 50 tonluq sobada müasir poladəritmənin sxemi təklif olunur.*

Key words: *electric arc melting, construction fittings, reinforced concrete structures, strength group, mechanical properties, arc furnace, oxidation period*

Ключевые слова: *электросталеплавка, строительные арматуры, железобетонные конструкции, группа прочности, механические свойства, дуговая печь, период оксидирования*

Açar sözlər: *elektropoladəritmə, inşaat armaturları, dəmir-beton konstruksiyaları, möhkəmlik qrupu, mexaniki xassələr,* qövslü soba, oksidləşdirmə dövrü

Giriş. İnşaatda istifadə olunan dəmir-beton konstruksiyalarının əsas tərkib hissəsi müxtəlif formaya (dairəvi, dövri profilli) malik armaturlardır. Bu armaturlar metal konstruksiyalar üçün nəzərdə tutulmuş poladlardan hazırlanır. Bu poladların möhkəmlik sinifləri cədvəl 1-də verilib [1].

Cədvəl 1.

Metal konstruksiyalar üçün poladların möhkəmlik sinifləri

Möhkəmlik sinifi	Dartılmada möhkəmlik göstəriciləri			Möhkəmlik qrupu
	σ_d, MPa	σ_{ax}, MPa	δ, %	
C38/23	380	230	24	adi
C44/29	440	290	21	yüksəldilmiş
C46/33	460	330	21	----------
C52/40	520	400	19	Yüksək
C60/45	600	450	16	----------
C70/60	700	600	12	----------
C85/75	850	750	10	----------

Armatura qoyulan əsas tələblərdən biri də onun betonla yaxşı ilişmə qabiliyyətidir. Buna görə də armatur betonla yaxşı yapışmaya, lazımi mexaniki və texnoloji xassələrə malik olmalıdır.

Armatur poladları dəmir-beton konstruksiyaların hazırlanmasının və istismarının bütün mərhələlərində aşağıdakı tələbləri təmin etməlidir: möhkəmlik xassələri, qısa və uzunmüddətli yükləmələr zamanı plastiklik, aşağı (mənfi) temperaturlarda davamlılıq, korroziyaya dözümlülük və s. [2-4].

İnşaatda istifadə olunan armaturlar praktiki olaraq ox boyu dartılma-sıxılmaya işləyir və onların gərginlik-deformasiya halı bir sıra texnoloji və konstruktiv amillərlə müəyyən olunur.

Tətbiq üsuluna görə inşaat armaturları adi (qeyri-gərginlikli) və gərginləşdirilmiş olmaqla iki qrupa bölünür. Qeyri-gərginlikli dəmir-beton konstruksiyalarında armaturlar kiçik gərginliyə məruz qaldığından onların hazırlanması üçün Ст3КП, Ст3, Ст5, Ст3КП3, СтПС, Ст3ПС3, Ст3СП, Ст3СП3, ВСт3КП2, ВСт3СП2, ВСт3ПС2, ВСт3ГПС2, ВСт5СП2, 18Г2С, 10ГТ, 35ГС, 25Г2С, 32Г2РПС, 25ГС2 və s. markalı adi keyfiyyətli poladlardan istifadə edilir. Qabaqcadan gərginləşdirilmiş dəmir-beton konstruksiyalar üçün isə 20ХГ2Т, 20ХГ24, 80С, 23Х2Г2Т, 22Х2Г2ФЮ, 22ХГ2Р, 20ХГ2СР, Ст6, 35ГС, 45С, 45ГС və s. markalı poladlardan istifadə olunur [5-6].

Bəzi armatur poladlarının kimyəvi tərkibi Russiya Federasiyasının standartına görə cədvəl 2-də verilib.

Cədvəl 2.

ГОСТ 5781-75-П görə armatur poladlarının kimyəvi tərkibi

Poladların markası	Kimyəvi tərkib, %		
	C	Mn	Si
25Г2С	0.20-0.29	1.2-1.6	0.6-0.9
.35ГС	0.30-0.37	0.8-1.2	0.6-0.9
20ХГ29	0.19-0.26	1.5-1.9	0.4-0.7
80С	0.74-0.82	0.5-0.8	0.6-1.0
45С	0.40-0.48	0.5-0.8	1.0-1.3

Qeyd: 20ХГСУ tərkibinə əlavə olaraq 0.9-1.2%Cr, 0.07-0.14%Zr qatırlar.

Bu məlumatlardan görünür ki, inşaat armaturlarının hazırlandığı poladların keyfiyyəti kifayət qədər yüksək olmalıdır. Eyni zamanda inşaat işlərinin çəkisinin həddən çox böyük həcmə malik olduğunu nəzərə olaraq armaturlar üçün poladların istehsal prosesi həm də yüksək məhsuldarlığa malik olmalıdır [7-8].

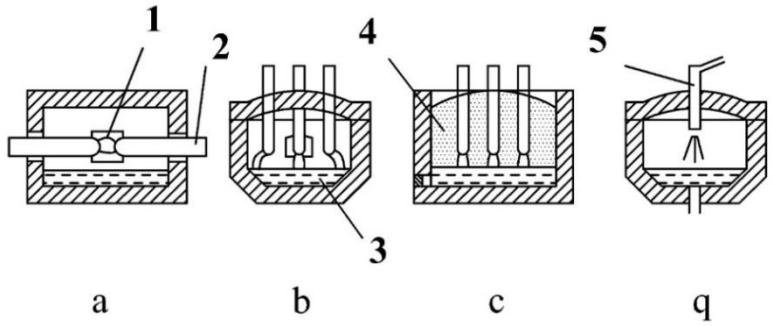
Elektropoladəritmə texnologiyalarının təhlili. Müasir dövrdə bu tələblərə yalnız elektrometallurgiya cavab verə bilər. Elektrometallurgiyada istifadə olunan əsas avadanlıq elektrik sobalarıdır. Bu sobalarda poladın elektroqövs, elektroposa, plazmalı, elektron-şüa, induksion, qövslü vakuum təkrar əritmə prosesləri həyata keçirilir. Bu proseslər yüksək təmizlikli, yüksək mexaniki və texniki xarakteristikalarlı polad almağa imkan verirlər.

Elektrik enerjisinin istiliyə çevrilmə üsuluna görə elektrik sobaları üç qrupa bölünür: qövslü, induksion və müqavimət. Bunlar içərisində yüksək məhsuldarlıqla böyük həcmdə polad əridilməsi üçün istifadə olunanı elektroqövs sobalarıdır.

Hazırda tutumu 0.5; 1.5; 3; 6; 12; 25; 50; 100; 150 və 200 ton olan qövslü sobalar seriya ilə istehsal olunur və 300 və 400 ton tutuma malik olan sobaların müasir layihələri işlənir [9-10].

Qövslü sobalarda əritmə prosesinin mahiyyəti ondan ibarətdir ki, elektrikqidalandırıcı mənbə ilə birləşdirilmiş iki kömür elektrodu toxunana qədər bir-birinə yaxınlaşdırıb, sonra müəyyən məsafəyə qədər onları araladıqda onlar arasında fasiləsiz boşalma gedir, yəni elektrik qövsü yaranır. Bu proses böyük miqdarda istiliyin ayrılması və güclü şüalanma ilə müşayət olunur.

İstiliyin qövsdən metala verilmə üsulundan asılı olaraq sobalar dolayıcı, düz təsirli, qarışıq və plazmalı qızma ilə ola bilirlər onların sadə sxemləri şəkil 1-də verilib.



Şəkil 1. *Elektrik qövs sobalarının sxemləri*
a-dolayısı qızma; b-birbaşa qızma; c-qarışıq qızma; q-plazmalı qızma

Dolayısı qızdırmada (şəkil 1, a) elektrik qövsü elektrodlar 2 arasında metaldan müəyyən məsafədə yanır, düzünə təsirdə (şəkil 1, b) elektrodlar və qızdırılan metal 3 arasında, bu, metal elektrik zəncirinin bir sırası rolunu oynayır. Qeyd edək ki, bizim tədqiqat obyektimiz olan "Baku Steel Company" MMC-də armatur poladının sənaye istehsalı həyata keçirilir və ona görə də daha məhsuldar düzünə təsirli soba istifadə olunur.

Qarışıq qızdırma sobalarında (şəkil 1,c) qövs elektrodları əhatə edən bərk şixtə qatı (4) altında yanır. O şixtədən elektrik cərəyanı keçdikdə qövs və bilavasitə şixtədə ayrılan istiliklə qızır. Belə sobalar əsasən ferroərintilərin və çuqunun istehsalında tətbiq olunurlar.

Plazmalı qızma qurğularında (şəkil 1,q) qızma plazmatrona 5 təzyiq altında verilən ionlaşdırılmış qaz (arqon) vasitəsilə köçürülür. Bu halda 2000^0C-dək qızıma mümkündür. Plazma sobalarını xüsusi poladların, ərintilərin və təmiz metalların əridilməsi üçün istifadə edirlər.

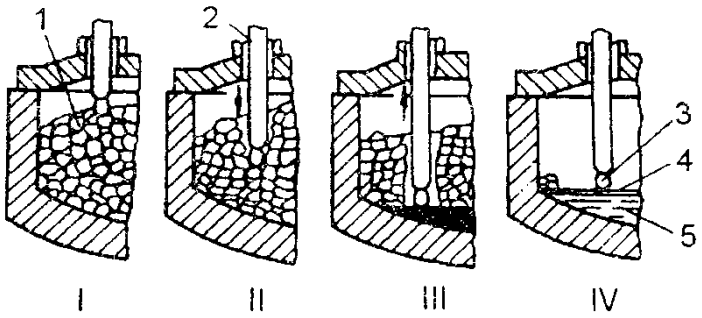
Qövslü sobalarda poladın əridilməsi dörd mərhələyə bölünür (şəkil 2.).

I mərhələ - qövs 3 şixtənin səthində yanır, o tədricən hər üç elektrodun ətrafında əriyir. Bu mərhələdə istiliyin əhəmiyyətli hissəsi qübbəyə şüalanır və onun (qübbənin) elektrodların üzərinə əriyib tökülməsindən qaçmaq üçün az gücə malik olan cərəyan verirlər;

II mərhələ - şixtə əridikcən elektrodlar avtomatik aşağı düşürlər və qövslər şixtəyə yüklənir, bu halda elektrodlara verilən cərəyanın gücü artırılır;

III mərhələ - elektrodlar şixtədədə kolodsları yandırır və sobanın dibində olan maye metal qatı və elektrodlar arasında qövs yanır. Maye metalın miqdarı artır, qövslərin uzunluğu isə azalır, bu halda eelktrodlar avtomatik qalxırlar və şixtə elektrodlar arasında əriyir.

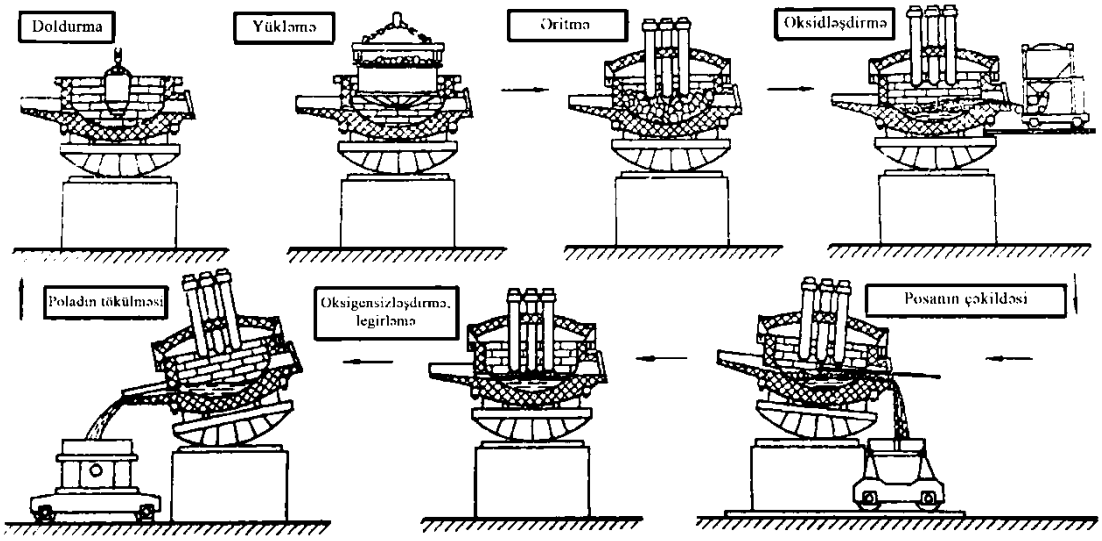
IV mərhələ - demək olar ki, bütün şixtə əriyib və elektrik qövsləri posa 4 və maye metal 5 üzərində açıq yanırlar, onların istilik qəbul etmə qabiliyyəti bərk şixtəyə nisbətən xeyli azdır. İstiliyin şüalanması sobanın divarlarına və qübbəsinə artır və hərgünün əriməsindən qaçmaq üçün elektrodlara verilən cərəyanın gücü azalır [11].



Şəkil 2. *Qövslü sobada metalın ardıcıl ərimə mərhələləri*

Qövslü poladəritmə sobalarında əritmənin bir neçə müxtəlif növləri vardır: aşqarların tam oksidləşdirilməsi ilə; oksidləşdirmədən metal tullantılarının təkrar əridilməsi; maye yarımməhsulda əritmə (dupleks proses) və b.

Tam oksidləşdirməklə əritmədə şixtə başlıca olaraq polad lingdən və çuqundan və habelə posaəmələgətiricidən (əhəng, əhəng daşı, üzgəcli şpat, samat döyüntüsü) ibarət olur. Əritmə aşağıdakı əsas dövrləri özündə əks etdirir (şəkil 3.): sobanın hazırlanması, şixtənin yüklənməsi, əritmə, oksidləşdirmə dövrü, bərpa etmə dövrü və boşaltma.



Şəkil 3. *Qövslü poladəritmə sobasında polad istehsalının texnoloji sxemi*

Sobanın hazırlanması əritmə fəzasının hörgüsünün işçi vəzəyyətdə saxlanması üçün yerinə yetirilir. Bunun üçün növbəti əritməni boşaltdıqdan sonra dibin və sobanın dibinin divarlara keçidin zədələnmiş yerlərinə hazırlanma maşının köməyilə quru maqnezit ovuntusu, böyük zədələnmələr halında isə maye şüşə əlavə etməklə ovuntu atırlar.

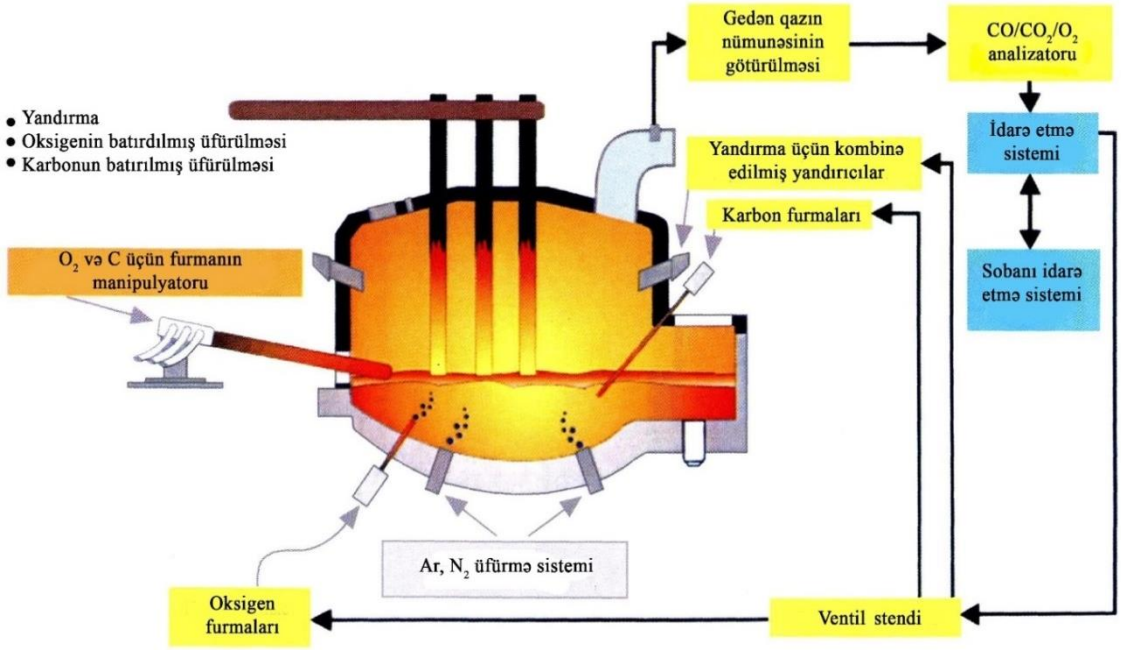
Şixtənin yüklənməsinə hazırlamanın sonundan sonra dərhal yükləməyə başlayırlar. Şixtənin qalaqlanmasını yükləyici badyanın köməyilə yuxarıdan həyata keçirirlər.

Əritmə. Qalaqlama qurtardıqdan sonra qübbəni elektrodlarla sobaya quraşdırılar, elektrodları aşağı salırıar və cərəyan işə salırlar. Elektrik qövsünün yüksək temperaturunun təsiri altında şixtə əvvəlcə elektrodların altında əriyir, maye metal aşağı axır və dibin mərkəzi hissəsində toplanır. Tədricən şixtənin tam əriməsi baş verir. Əriməni sürətləndirmək üçün ərimiş şixtənin loxmalarını sobanın kecidlərindən elektrik qövsləri zonasına itələyirlər. əritmənin birinci mərhələsinin səciyyəvi xüsusiyyəti şixtədə elektrodlar ətrafında (və ya ifrat güclü sobalarda bir "kolodsın") "kolodsların" əriməsidir. Ərimə dövründə posanın yaranması, həm əhəngin aşqarlarları hesabına, həm də şixtənin

tərkibinə daxil olan elementlərin hesabına baş verir. Ərimə vaxtı silisium tam, manqan isə 50-60% oksidləşir, qismən karbon, dəmir və fosfor oksidləşir [2].

Bəzən əriməni sürətləndirmək üçün sobanın gövdəsinin $\pm 40^0$ döndərilməsi, sobadan kənar (yükləyici badyada) və ya yanacaq yandırıcılarının köməyilə sobada şixtənin qızdırılmasından istifadə edirlər. Həm də şixtənin çox hissəsinin əriməsindən sonra furma və boruların köməyilə oksigenlə üfürmə tətbbiq edirlər. Dəmirin, manqanın, silisiumun oksidləşməsi istiliyin xeyli hissəsinin ayrılması ilə baş verir, bu metal lingin qalıqlarının əriməsini sürətləndirir.

Ərimənin oksidləşdirmə dövrü metalda fosforun miqdarının 0.01-0.15%-dək azaldılması, metalda hidrogen və azotun miqdarının azaldılması, tələb olunan temperaturadək metalın qızdırılması (120^0-130^0C ərimə temperatrurundan yuxarı) üçün təyin olunur. Aşqarların oksidləşdirilməsi üçün bərk oksidləşdiricilər (dəmir filizi, aqlomerat) və habelə qazəmələgətirici oksigen və arqon istifadə edilir (şəkil 4.).



Şəkil 4. *Müasir qövslü poladəritmənin (QPƏ) sxemi*

Filizin oturdulması və ya oksigen və arqonla üfürmə karbonun intensiv oksidləşməsini çağırır və bu halda CO-nun ayrılan qabarcıqları vannanın aktiv funksiyasını yaradır. Bu metalın tez qızmasına, qazların-hidrogen və azotun deqazlaşmasına və habelə qeyri-metal ünsürlərin kənarlaşmasına kömək edir.

Qeyri-metal ünsürlər - bunlar metal və ərintilərdə makro və mikrokhissəciklər olub, başlıca olaraq metalın oksigensizləşdirilməsi, odadavamlıların yuyulması, metalın oksidləşməsi nəticəsində digər yollarla metala düşən oksidlər, silikatlar, sulfidlər və nitridlərdir.

Oksidləşdirici dövr o halda başa çatır ki, karbonun miqdarı verilən həddən bir qədər aşağı, fosforun miqdarı 0.01%-dən az olur. Oksidləşdirmə dövrünün sonunda sobadan posanı tam kənalaşdırırlar.

Əritmənin bərpa etmə dövrü metalın oksigensizləşdirilməsi, kükürdün kənarlaşdırılması, poladın kimyəvi tərkibinin verilən həddədək çatdırılması, prosesin temperaturunun tənzimlənməsi məqsədi güdür. Bütün bu məsələlər paralel şəkildə bütün bərpaetmə dövründə həll edilir. Oksidləşdirici posanın tam kənarlaşdırılmasından sonra sobaya oksigensizləşdiricilərlə birlikdə posaəmələgətirici qarışıqlar oturdurlar, yəni yeni posa verilir (karbid və ağ).

Oksigensizləşdiricilər kimi adətən ferromanqan, ferrosilisium, alüminium istifadə edilir. Sobaya həm də metala lazımi legirləyəci elementlər daxil etmək üçün legirləyici əlavəliklər oturdurlar. Bundan sonra metalı sobadan jelobun altında quraşdırılmış poladtökücü çalova

buraxırlar, bunun üçün sobanı poladburaxıcı deşiyə tərəf mailləndirirlər. Zərurət olduqda. çalovda poladın əlavə oksigensizləşdirilməsini və legirlənməsini aparmaq mümkündür. Əritmənin ikiposalı posesi belə həyatda keçirilir.

"Baku Steel Company" MMC-nin texnologiyasında legirli tullantılardan şixtənin əridilməsi oksigensizləşdirmədən təkrar əritməyə əsaslanır. Belə əritmə üçün şixtə elə hesabla tərtib olunur ki, ərimənin sonunadək metalda karbonun miqdarı poladın verilən markasından 0.05-0.1% az olsun. Bu onunla əlaqədardır ki, legirləmədə və oksigensizləşdirmədə karbonun miqdarı artır. Şixtə yalnız həm bilavasitə metallurgiya zavodlarında yaranan, həm də maşınqayırma müəssisələrindən və digər mənbələrdən (məsələn metal toplayıcı məntəqələrdən) daxil olan legirli poladların tullantılarından təşkil olunur. Şixtənin təşkilində verilən polad markasının və ya ona yaxın markalarının tullantılarının maksimal miqdarının istifadəsinə cəhd edilir. Tullantıların belə səmərəli istifadəsi legirləyici elementlərin, elektrik enerjisinin böyük qənaətini verir və elektrik sobalarının məhsuldarlığını artırır.

Təkrar əritmə metodu ilə ərintilərdə oksidləşdirici dövr olmur. Şixtənin düzgün tərkibində əritmədən sonra dərhal bərpaetmə dövrü başlayır, metalı oksigensizləşdirirlər, bəzi legirləyici əlavələkləri verirlər və maye metalı boşaldırlar.

Adi əritmə ilə müqaisədə legirli tullantıların təkrar əritmə metodu ilə əritmə xeyli qısa prosesdir.

Nəticə. İnşaat armaturlarına qoyulan tələblərin təhlili göstərir ki, onların keyfiyyəti, o cümlədən möhkəmlik və texnoloji xassələri kifayət qədər yüksək olmalıdır. Ədəbiyyat icmalı göstərmişdir ki, inşaat armaturlarının keyfiyyətinin artırılmasında elektropoladəritmə ən innovativ texnoloji proses sayılır. Müəyyən edilmişdir ki, poladların keyfiyyətinin təmin olunmasında və məhsuldarlığın artırılmasında metal tullantıların təkrar əritmə texnologiyasının tətbiqi elektropoladəritmədə ən effektli üsul sayıla bilər.

Ədəbiyyat

1. Aslanov T.İ. Metallar texnologiyasının əsasları və tikintidə qaynaq işləri / Bakı, "Təhsil", 2002, 528 c.
2. Рохманов С.Р. Продесы и машины электрометаллургического производства / Торолов В.Л., Гасик М.И., Мамедов А.Т., Азимов А.А. // Баку-днепр: «Сиственые техналогии»-издательство «Саваж», 2017, 568с.
3. Козлова Л.Я. Производство стальных отливок: учеткик дпи вузов / Колокольцев В.М., Вдавим К.Н и др. под ред.// М.: «Мисис», 2003, 352с.
4. Зубов В.Л. Электрометаллургия ферросилиция. / Гасик М.И. // Днепропетровск: ГНПП «Системные технологии» 2002, 704 с.
5. Беличко Б.Ф. Металлургия маганца Украины / В.О. Гаврилов, М.И.Гасик и др.//Подред. акад. НАН Украины. // К.: Техника, 1996, 472с.
6. Рысс М.А. Производство ферросплавов / М: Металлургия, 1985, 344с.
7. Гладких В.А. Проектирование и оборудование электросталеплавильных и ферросплавных цехов: Учебник / М.И.Гасик, А.Н.Овчарук, Ю.С.Пройдак. // Днепропетровск: ГНПП «Системные технологии», 2004, 736 с.
8. Гасик М.И. Теория и технология производства ферросплавов: Учебник для вузов / Лякишев Н.П., Емлин Б.И. // М.: Металлургия, 1988, 784 с.
9. Шевченко В.Ф. Устройство и эксплуатация оборудования ферросплавных заводов / Справочник. М.: Металлургия, 1982, 208 с.
10. Финкель А.Ф., Ипатов П.П.Технологическое оборудование металлургических заводов / М.: Металлургия, 1975, 336 с.
11. Шевченко В.Ф. Совершенствование цехов и оборудования ферросплавного производства/ М – Х: Металлургия, 1997, 470 с.

GƏMİÇİLİK VƏ SU NƏQLİYYATININ İSTİSMARI

УДК 656.61.086

ГОТОВНОСТЬ ПЕРЕХОДА К БЕСПИЛОТНЫМ ТЕХНОЛОГИЯМ НА МОРСКОМ ФЛОТЕ

Григорьев Н.Н., Сигида В.И.

Государственный Университет Морского и Речного флота им. адмирала С.О. Макарова
г. Санкт-Петербург, Россия
E-mail: sigidavi@gumrf.ru

Аннотация. *Внедрение беспилотных технологий на морском флоте сопряжено с проблемами разрешения неопределенности восприятия информации при расхождении судов, пересмотром Международных правил предупреждения столкновения и применением правовой базы на случай возникновения аварийных ситуаций.*

Abstract. *Introduction of unmanned technologies at maritime fleet is associated with the problems of resolving uncertainty of perception of information when ships diverge, revision of the International Regulations for Preventing Collisions at Sea of prevention and legal laws in case of accident.*

Ключевые слова: *морской флот, беспилотные технологии, неопределенность восприятия информации*

Key words: *maritime fleet, unmanned technologies, uncertainty of perception of information*

Введение. Объем перевозок грузов морским транспортом с каждым годом увеличиваются. Потребность судоходной отрасли в квалифицированных кадрах возрастает. Однако, по целому ряду причин, популярность морских профессий неуклонно снижается.

Проблема перехода к беспилотным технологиям на морском флоте назрела давно. Успехи в освоении космоса свидетельствуют о том, что беспилотные летательные аппараты способны совершать перемещения на астрономические расстояния. Казалось бы, что же мешает создавать и эксплуатировать беспилотные суда с не меньшим успехом? Однако проблема заключается в том, что интенсивность судоходства, особенно в условиях неблагоприятных метеорологических условий, существенно влияет на принимаемые управленческие решения. Для современного судоходства характерно состояние неопределенности в некоторых навигационных ситуациях.

Сам по себе переход судна из одной точки в другую, с высокой точностью, сегодня не представляет проблем. Современные технические средства судовождения, в комплекте с самоадаптирующими авторулевыми, способны обеспечить высокую точность навигации.

И уже есть этому реальные свидетельства в сфере мореплавания. Дистанционно управляемый пассажирский паром ледового класса «Суоменлинна II» совершил плавание по заданному маршруту в районе порта Хельсинки. Как сообщает пресс-служба компании ABB, проводившей испытания: «Современные технологии позволяют управлять судном из любой точки. Передовые технологии, успешно протестированные на пассажирском пароме, могут быть установлены на судно любого типа».

Руководитель подразделения «Промышленная автоматизация» ABB Питер Тервиш так комментировал это событие: «Мы не сомневаемся, что проведенные нами испытания повлияют на развитие морской индустрии. Передовые решения в области автоматизации уже не раз доказывали, что невозможное возможно, в том числе и в судостроении. Повышение эф-

фективности и безопасности навигации с помощью новых разработок всегда будут актуальны. Ожидается, что в ближайшие десятилетия решения по автономной работе изменят международное судоходство, так как отрасль оправилась от спада, вызванного финансовым кризисом 2008 года. Согласно данным Международной палаты судоходства, спрос на морские перевозки в мире за последнее десятилетие вырос на 30 %, более 10 миллиардов тонн грузов транспортируется морем каждый год. Испытания провели в нерабочие часы, на удаленном от берега расстоянии, без пассажиров на борту и в отсутствие вблизи других судов».

Завершив рейс, капитан Хаинонен прокомментировал: «Прогресс, которого мы достигли в дистанционном управлении, уже достоин внимания. Мы на верном пути и продолжаем двигаться вперед» [1].

Следует особо подчеркнуть, что «испытания провели в нерабочие часы, на удаленном от берега расстоянии, без пассажиров на борту и в отсутствие вблизи других судов». Все это понятно и объяснимо. Безопасность - превыше всего! Важно отметить, что была создана ситуация, характерная для замкнутой системы, когда внешние воздействия на систему управления минимизированы. Как только беспилотное судно окажется в общем потоке среди других судов, которые могут быть, как автоматизированными, так и не автоматизированными, система автоматизированного судна из замкнутой, трансформируется в разомкнутую систему со всеми проблемами неопределенности, свойственными любому другому судну.

Основная часть. Проблема беспилотной навигации заключается в том, что средства автоматизации для замкнутых систем следует отличать от средств автоматизации разомкнутых систем. Это наглядно демонстрирует статистика аварийности страховой компании P&I Club UK. По их данным: 25% аварий происходит по вине вахтенного помощника капитана и только 2% по вине вахтенного механика [2]. Столь существенная разница объясняется тем, что машинное отделение – это замкнутая система, а ходовой мостик – разомкнутая система. Для замкнутых систем характерно детерминированное протекание процессов, в то время как для разомкнутой системы свойственна неопределенность. Это связано, например, с процессами расхождения судов [3, 4].

Действительно, многие, очень многие вопросы автоматизации управления судовыми механизмами можно решать успешно с помощью современных технологий. Основной проблемой является обеспечение безопасности при выполнении Международных правил предупреждения столкновения судов (МППСС-72).

При внедрении в практику средств беспилотной навигации в судоходную отрасль следует быть осмотрительным. Ведь речь идет не о плавсредствах одноразового использования, а о транспортных судах, которые заняты плановыми перевозками грузов в районах с интенсивным судоходством, где выполнение Правил МППСС-72 – неотъемлемое условие безопасности мореплавания.

Как свидетельствует публикация, плавание пассажирского парома «Суоменлинна II» по заданному маршруту, осуществлялось при помощи дистанционного управления.

Следует иметь в виду, что дистанционное управление, опробованное в космосе, имеет существенный недостаток. О чем свидетельствует разработчик системы стыковки космических кораблей академик Б. Раушенбах. Об этом он пишет в своей книге «Геометрия картины и зрительное восприятие» [5].

Сложностям восприятия трехмерного пространства в двухмерном изображении рассмотрена в работах К. Левитина [6], Эдвина Э. Эббота и Диониса Бюргера [7].

Редукционизм, при переходе от трехмерного измерения пространства к двухмерному, приводит к потере целого человеческого измерения в восприятии. Именно по этой причине первые стыковки космических кораблей были неудачными.

При освоении новых технологий, человек часто воспринимает угрозу только через негативные последствия.

Подобное случилась, например, при расхождении судов в море с использованием только что появившихся на судах радиолокаторов (на транспортных судах РЛС появились в середине 1940 годов), когда вместо ожидаемого снижения аварийности, она (аварийность) резко возросла. Это было связано с тем, что информация с РЛС не воспринималась как относительная.

Между тем, окружающий мир представлен бесконечным разнообразием сенсорных проявлений, из которых человек на уровне сознания способен воспринимать лишь малую их часть. Поэтому «фильтры» восприятия необходимо «настраивать», сообразуясь с обстоятельствами, в которых предстоит реализовывать действия через систему обратных связей. Учитывая динамику изменения ситуации на ходовом мостике, к судоводителю повышаются требуется по восприятию информации. Эффективность обратных связей будет зависеть от многих факторов, что чаще всего именуется «человеческим фактором». В профессиональной деятельности существенное влияние оказывает профессионализм, который формируется в зависимости от знания теории и от практики.

Академик А.Н. Крылов в статье «Теория и практика» пишет: Оба слова греческие, по-русски ближе всего, не вполне переводимы словами: «обсуждение» и «действие». Отсюда ясно общее соотношение между теорией и практикой. Можно обсуждать не действуя, но гораздо хуже действовать без обсуждения. Теория без практики мертва или бесплодна, практика без теории невозможна или пагубна. Для теории нужны главным образом знания, для практики, сверх того, и умение» [8].

Успешность реализации беспилотных проектов будет зависеть от качества обратных связей, следовательно, человек, интегрируя теоретические познания и опыт, должен сформировать параметры обратной связи. Здесь неизбежно приходиться прибегать к «фильтрации», используя свой уникальный опыт, культуру, язык, убеждения интересы и предположения. Готовы ли разработчики систем беспилотной навигации теоретически, и, тем более, практически воплотить многообразие обратных связей, которые у человека заключены в бессознательной области его мозга?

Таким образом, реализация беспилотных технологий потребует выработки критериев фильтрации получаемой информации и выстраивания приоритетов для формирования обратных связей.

Говоря о беспилотной навигации, больше всего следует опасаться предположений. Сегодня многие тренажеры построены без учета влияния очень важных обратных связей.

Одной из ключевых проблем безопасности мореплавания является проблема расхождения судов. В частности, при выполнении Правила 14 МППСС-72 предписывается: «Ситуация сближения судов, идущих прямо друг на друга, когда два судна с механическими двигателями сближаются на противоположных или почти противоположных курсах так, что возникает опасность столкновения, каждое из них должно изменить курс вправо, с тем чтобы каждое судно прошло у другого с левого борта». Уточняющая фраза «*или почти противоположных курсах»* порождает ситуацию неопределенности.

В [9] авторы А.П. Коккрофд и Дж. Н.Ф. Ламеер приводят высказывание судьи Sheen, по поводу столкновения судов «*Moloje II*» и «*John M*»: «Правила составлены таким образом, чтобы суда, насколько это возможно, не попадали в такие ситуации сближения, в которых существуют опасность столкновения и в которых принимаются решения, на обдумывания которых недостаточно времени. Я считаю наиболее серьезными ошибками судовождения те ошибки, которые делает судоводитель, имеющий время для обдумывания. В этом случае не существует оправданий для нарушения Правил предупреждения столкновений судов».

На курсах повышения квалификации ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова слушателям было предложено принять решения по расхождению с другим судном в соответствии с Правилом 14 МППСС-72, «когда два судна с механическими двигателями сближаются на противоположных или почти противоположных курсах …». При этом задавались Дкр=0;

Дкр=0,5; Дкр=1,0; Дкр=1,5; и Дкр=2,0 м.м., причем в четырех случаях ЛОД проходит справа (рис. 1).

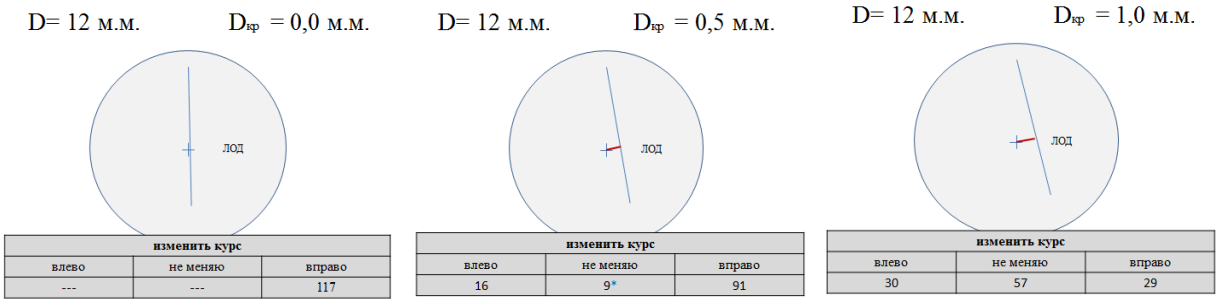


Рис. 1. *Варианты расхождения в зависимости от Дкр*

Опрос (анкетирование) проводилось в четыре этапа.

В трех случаях слушатели начинали отвечать, тогда, когда преподаватель предлагал это сделать, то есть времени на длительные размышления не было. В одном случае, опросные листы были розданы минут за 20 до начала занятия. При этом никакого специального умысла (замысла) не было. Это привело к тому, что слушатели стали группироваться по 2-3 человек. Начались обмены мнениями. По всему было видно, что неоднозначность ситуации вызывает среди них дебаты. Как это и водится, чье-то мнение могло оказаться доминирующим, особенно в ситуациях, когда Дкр=0,5 и Дкр=1,0 м.м. Интересно, что некоторых слушатели время ответа затянули на 4 часа занятий. По всему было ясно, что ситуация, требующая решения не является однозначной.

При выдаче опросников ничего не было сказано о погрешностях пеленгования. В «Руководстве по правилам предупреждения столкновения» авторы приводят пример того, как скажется ошибка на 1˚ градус со знаком +1˚/-1˚ при пеленговании на дистанции 12, а со знаком -1˚/+1˚ дистанции 10 миль (а, равно, и наоборот) на то же самое судно. При этом погрешность в Дкр > 2 м.м. [9].

Судно	первый пеленг (ошибка в пеленге) на дистанции 12 м.м.	второй пеленг (ошибка в пеленге) на дистанции 10 м.м	ошибка в $D_{кр}$
судно № 1	+1˚	- 1˚	>2 м.м.
судно № 2	- 1˚	+1˚	>2 м.м.

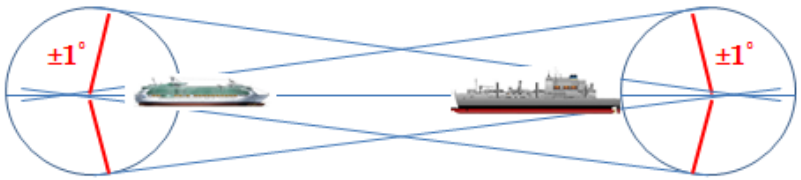


Рис. 2. *Ошибки в Дкр при ошибке в пеленге на +1˚/-1˚ на дистанции 12 м.м. и -1˚/+1˚ на дистанции 10 м.м.*

Действия судоводителей при различных Дкр. представлены на рис. 3.

МППСС-72 Правило 14
расхождение судов на встречных или почти встречных курсах

D кр	изменяют курс влево	не изменяют курс	изменяют курс вправо
0,0	---	---	117
0,5	16	9*	91
1,0	30	57	29
1,5	10	93	13
2,0	1	110	5

Рис. 3. *Действия судоводителей при различных Дкр*

Учитывая, что на другом (встречном) судне ситуация аналогичная, правомерно рассмотреть вариант представленный на рис. 4.



Рис.4. *Результаты принятия решения на маневрирование на обоих судах*

При вероятной погрешности в Дкр > 2 м.м. ситуация неопределенности налицо.

Говоря о беспилотной навигации, предсказать последствия маневра в вышеописанной ситуации проблематично. Дело в том, что дистанционное управление, «когда оператор может находиться на другом конце планеты» будет еще сложнее. «Оператор на другом конце планеты» должен будет использовать информацию, которая несет в себе существенную долю неопределенности, некоторое запаздывание во времени и дополнительную погрешность от обработки передачи сигнала информации и управляющего воздействия (команды).

Более того, оператор будет вынужден использовать информацию, отображающую двухмерное пространство, вместо реального – трехмерного (рис. 5). Утрата одного, а если быть более точным, *целого* измерения, чревата негативными последствиями. С этим, как уже говорилось выше, столкнулись в космосе, когда стали решать проблему стыковки кораблей. Первоначально предполагалось, что несколько видеокамер позволять успешно выполнить стыковку, однако этого не случилось именно из-за того, что камеры отражали двумерное пространство – трехмерного. Академик Б.В. Раушенбах в [5] пишет: «Поставленная задача полной, протокольно точной передачи геометрии субъективного пространства на плоскости картины, оказывается, не имеет решения».



Рис. 5. *Отображение трехмерного пространства на плоскости монитора*

Использование информации от GPS и AIS для решения вопросов расхождения судов так же проблематично, во-первых, из-за ошибок в передаваемой информации, а во-вторых, из-за возможного несанкционированного вмешательства в их работу, когда поступающая информация может быть существенно искажена.

Вывод. Таким образом, главными направлениями в области беспилотных технологий на морском транспорте следует считать проблемы разрешения неопределенности восприятия информации при расхождении судов, пересмотр Правил предупреждения столкновения и законодательной базы на случай возникновения аварийных ситуаций.

Литература

1. Дистанционное управление паромом. Интернетресурс http://infomach.ru/remote-control-ferry/;
2. Григорьев Н.Н., Двинин А.П., Яловенко А.В. и др. Психологический аспект подготовки специалистов для морского флота. Эксплуатация морского транспорта. - №1(47) 2007.;
3. Григорьев Н., Человеческий фактор – матрица аварийности. Морской флот. 02 (1524). 2016. с.22-25;
4. Григорьев Н., Наконечный М. «Правила МППСС-72: неопределенность при принятии решения» Морской флот. №05 (1527) 2016, с.30-34;
5. Раушенбах Б. В., Геометрия картины и зрительное восприятие СПб.: Азбука-классика, 2002. 320 с.;
6. Левитин К., Геометрическая рапсодия СПб.: ООО Торгово-издательский дом «Амфора», 2016. 313 с.;
7. Эбботт Э., Флатландия. Бюргер Д. Сферландия –СПб.: ООО Торгово-издательский дом «Амфора», 2015. 320 с.;
8. Сборник трудов академика А.Н. Крылова, т.1, ч.2, Издательство Академии наук СССР, М. Л., 1951, 323 с.
9. Коккрофд А.Н., Ламеер Дж. Н.Ф., Руководство по Правилам предупреждения столкновения (МППСС-72) – СПб.: ООО «МОРСАР», 2005, 320 с.

УДК 681.5:629.12

ИССЛЕДОВАНИЕ БЕЗОТКАЗНОСТИ РАБОТЫ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ КАК ФАКТОР ОБЕСПЕЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ БУНКЕРОВКИ НА ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ

Мельник О.В., Тимощук Е.Н.

Киевский институт водного транспорта имени гетмана Петра Конашевича-Сагайдачного Государственного университета инфраструктуры и технологий
г. Киев, Украина
E-mail: mnielena7@gmail.com

Аннотация. *Надежность бункеровки судов на водном транспорте может быть достигнута путем обеспечения безотказной работы технических средств технико-технологической системы бункеровки.*

Смоделированы соответствующие значения вероятностей безотказной работы технических средств системы бункеровки. Исследовано распределение вероятности случайной величины, определено количество технических средств, которые отказали в течение определенного времени. Рассчитана интенсивность отказов транспортных средств в зависимости от времени. Вычислено среднее время наработки до отказа.

Abstract. *To ensure the reliability of bunkering of ships on water transport, the bunkering process is considered as a technical-technological system, which consists of a set of technological links (technical objects and facilities). The corresponding values of the probabilities of failure-free operation of the technical means of the bunkering system are modeled. The probability distribution of a random variable, which determines the number of technical devices that have failed over time, is investigated. Calculated the failure rate of vehicles depending on time. Calculated average operating time of vehicles to the first failure.*

Ключевые слова: *бункеровка, надежность, безотказная работа, вероятность отказа*
Key words: *bunkering, reliability, trouble-free operation, probability of failure*

Актуальность проблемы.

Бункеровка судов на водном транспорте требует обеспечения надежности как одного из основных факторов для предотвращения разливов нефти, которые приводят к экологическим загрязнениям и материальному ущербу. Повышение надежности технического обеспечения средств бункеровки необходимо рассматривать с учетом предотвращения возможных отказов оборудования.

Анализ последних исследований и постановка проблемы.

Анализу рынка бункеровочных услуг посвящены работы авторов А. В. Абрамович, Ю.Ю. Гореловой, А.В. Кострова, Р.Р. Марковского, Н.И. Плявина, А. Сакского, В.А. Стариковского, К.Л. Терехова, В. И. Станкевича, А. А. Суханова, Ж.Б. Сепа, Дж.В. Тилла, Д. Формби, В. Хойера, А. Хоскинса, А. Черчилля и других.

Исследованием автоматизации технологического процесса бункеровки судов занимались Ю.П. Подопригора, Кондратенко.

Но недостаточно внимания уделялось исследованию надежности системы бункеровки с точки зрения обеспечения ее технической составляющей. Для этого необходимо рассмотреть вероятность безотказной работы технических средств бункеровки, вероятность и интенсивность отказов, среднюю наработку до первого отказа технических средств.

Цель статьи. Повышение уровня надежности процесса бункеровки путем определения времени безотказной работы технических средств для своевременной замены оборудования

для предотвращения аварий в результате разлива нефти и обеспечения экологической безопасности.

Изложение основного материала.

Проблема исследования надежности бункеровки судов на водном транспорте чрезвычайно важна, поскольку выход из строя основных технических средств бункеровки может создать аварийные ситуации с разливами нефти, что приводит к экологическому загрязнению, а иногда вызывает аварии с тяжелыми последствиями, включая человеческие жертвы.

Для обеспечения надежности бункеровки судов на водном транспорте рассмотрим процесс бункеровки как технико-технологическую систему, которая состоит из совокупности технологических звеньев (технических объектов и средств). Под техническими объектами понимают комплексы оборудования, устройства, приборы, механизмы, машины, технологические операции и процессы, системы связи, информационные системы, автоматизированные системы управления технологическими процессами.

Для решения практических задач обеспечения и повышения надежности необходимо иметь возможность количественно оценить уровень надежности конкретных объектов, технологических схем. Только количественная оценка надежности позволяет рассчитывать сроки службы и ресурсы элементов и определять необходимое количество запасных частей; определять периодичность технического обслуживания и планировать ремонт.

При построении логической структуры технической системы (ТС), предназначенной для исследования надежности, для упрощения расчетов имеет смысл принимать во внимание только основные элементы. С точки зрения теории надежности любой технический объект (система) можно охарактеризовать по его свойствам, техническим состоянием и приспособленностью к восстановлению после потери трудоспособности (рис.1).

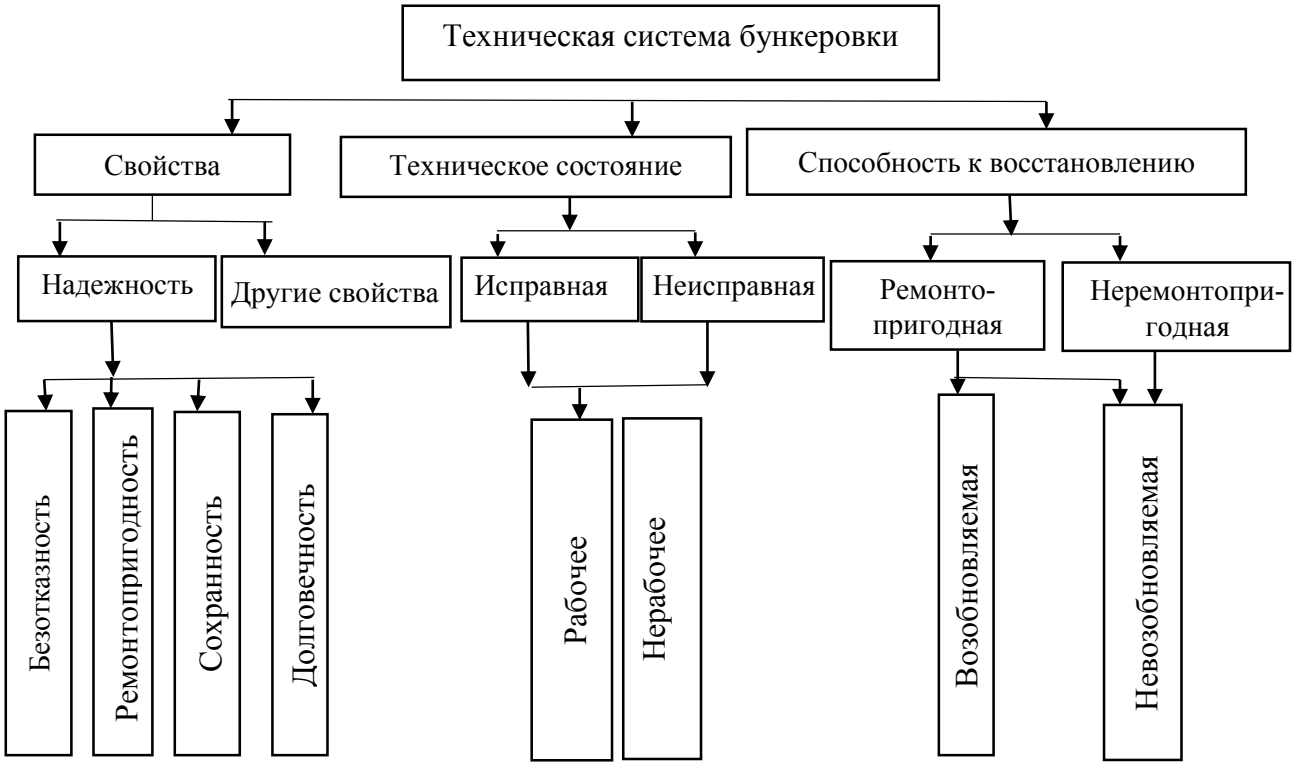


Рис. 1. *Характеристика свойств, технического состояния технико-технологической системы*

При назначении показателей надежности систем второго типа (из условий безопасности), к которой относится техническая система бункеровки, необходимо выделить основные факторы, которые влияют на безопасность. Основным показателем надежности технической системы бункеровки является безотказность.

Математические модели для определения вероятности безотказной работы должны учитывать случайные процессы, которые происходят в системе поля появления отказов.

Для теории надежности основу математического аппарата составляют теория вероятности и математическая статистика. Теория надежности является инструментом для решения многих практических заданий, и в частности задач оптимальной технической эксплуатации (ТЭ). Рассмотрим схему использования теории надежности для решения практических заданий ТЭ средств бункеровки.

Надежность является комплексным свойством, что в зависимости от назначения объекта и условий его применения, может включать в себя: безотказность, долговечность, ремонтопригодность, сохраняемость [2].

При сравнении объектов по надежности оказывается, что показатели надежности (ПН) неравнозначны [5]. На практике применяется методика выбора показателей надежности. Она заключается в следующем:

1. Собирают ведомости о системе, в которую входит данный объект, и последовательно анализируют факторы, которые влияют на выбор показателей надежности.

2. Устанавливают назначения объекта. При этом все объекты делятся на три группы [6]:

а) объекты, предназначенные для работы в системах, эффективность которых может быть оценена экономическими показателями;

б) объекты, функционирование которых может быть связано с обеспечением безопасности;

в) объекты, для которых нельзя указать назначения систем, в которых они будут использованы.

Основной количественной характеристикой безотказной работы принято считать достоверность безотказной работы на заданном интервале времени, то есть достоверность того, что наработка к первому отказу ξ_1 превышает величину t [7].

Вероятность безотказной работы элемента на промежутке времени от 0 к t можно записать в виде функции надежности:

$$P(t) = P\{\xi_1 \geq t\} = 1 - F_1(t) \quad \text{, где} \tag{1}$$

ξ_1 – случайная величина, которая характеризует наработку элемента к первому отказу за определенный промежуток времени;

$\xi_1(i)$ – реализация случайной величины ξ 1 для i-го элемента системы;

$F_1(t) = P\{\xi_1 < t\}$– функция распределения времени к первому отказу;

Соответствующий статистический показатель (точечная оценка) вероятности безотказной работы определяется как отношение числа элементов, которые безотказно работали до момента времени t, к общему числу элементов, которые работали в начальный (нулевой) момент времени :

$$P^*(t) = \frac{N(t)}{N(0)}. \tag{2}$$

где $N(t)$ – число элементов, которые отказали на момент времени t;

$N(t)$ – число работающих элементов на момент времени t.

В нашем исследовании рассмотрим следующие основные причины отказов при проведении бункеровки (табл. 1)

Таблица 1

Причины отказов при бункеровке

№П/п	Причины аварий	Доли аварий(p_i)
1	Неисправное оборудование	0,37
1.1	Повреждение шланга	0,241
1.2	Поломка насоса	0,105
1.3	Поломка клинкетных замков	0,024

К основным техническим причинам относится неисправность оборудования, связанная с неисправностью насоса, бункеровочного шланга или технических средств на бункеруемом судне (клинкетные замки) (рис. 2).



Рис. 2. *Технологические элементы бункеровочного процесса*

Поскольку отказ каждого из технических средств является случайным независимым событием, то вероятность безотказной работы технической системы в целом будет определяться как произведение соответствующих вероятностей:

$$P(t) = \prod_{i=1}^{3} P_i(t), \quad (3)$$

где P_i (t) - вероятность безотказной работы i- го элемента. Соответственно, количество отказов технических средств будет случайной величиной, которая будет иметь дискретное распределение следующего вида (табл. 2).

Таблица 2

Вероятность отказов технических средств при проведении бункеровки

Количество ТС, которые отказали	0	1	2	3
Вероятность	p_0	p_1	p_2	p_3

$$p_0 = P_1(t)P_2(t)P_3(t),$$
$$p_1 = P_1(1) \cdot \big(1 - P_2(t)\big) \cdot \big(1 - P_3(t)\big) + \big(1 - P_1(1)\big) \cdot P_2(t) \cdot \big(1 - P_3(t)\big) + \big(1 - P_1(1)\big)X$$
$$X(1 - P_2(t)) \cdot P_3(t),$$
$$p_2 = P_1(1) \cdot P_2(t) \cdot \big(1 - P_3(t)\big) + \big(1 - P_1(1)\big) \cdot P_2(t) \cdot P_3(t) + P_1(1) \cdot (1 - P_2(t)) \cdot P_3(t),$$
$$p_3 = (1 - P_1(1)) \cdot \big(1 - P_2(t)\big) \cdot \big(1 - P_3(t)\big).$$

Чтобы смоделировать значение P_i(t) нам необходимо определить функции распределения времени к первому отказу (см. формулу (1)). Для этого используем данные, приведенные в таблице 3 :

Таблица 3

Характеристики свойств надежности основных технических средств при осуществлении процессов бункеровки *

Свойство надежности	Технический объект		
	Насос НМШ 5-25-4.0/10 автозаправщика	Бункеровочный шланг	Бункеруемое судно: клинкетные замки
1. Безотказность	4500 часов	3000 часов	6000
3. Долговечность	12 месяцев	50000 часов	60000
2.Ремонтопригодность	40 000 часов	50 000	80 000
4.Сохранность	2 года	3 года	5
5. Готовность	5 лет		

** разработано автором на основе паспортных данных оборудования*

Для моделирования функции распределения отказов ТС используем экспоненциальное распределение с параметром λ:

$$F_1(t) = \begin{cases} 0, & t < 0, \\ 1 - e^{-\lambda t}, & t \geq 0. \end{cases} \quad (4)$$

Параметр λ определяет интенсивность отказов и статистически может быть оценен как величина обратная к среднему времени безотказной работы. То есть в нашем случае имеем три параметра:

$$\lambda_1 = \frac{1}{4500} = 0{,}00022, \quad \lambda_2 = \frac{1}{3000} = 0{,}00033, \quad \lambda_3 = \frac{1}{6000} = 0{,}00017.$$

Тогда соответствующие значения будут $P_i(t)$ представлять:

$$P_1(t) = e^{-0{,}00022t}, \quad P_2(t) = e^{-0{,}00033t}, \quad P_3(t) = e^{-0{,}00017t}.$$

Вероятность безотказной работы трех ТС будет определяться за формулой:

$$P(t) = e^{-0{,}00022t - 0{,}00033t - 0{,}00017t} = e^{-0{,}00072t}.$$

Смоделируем соответствующие значения вероятностей безотказной работы при $t \in [0; 6500]$ час.

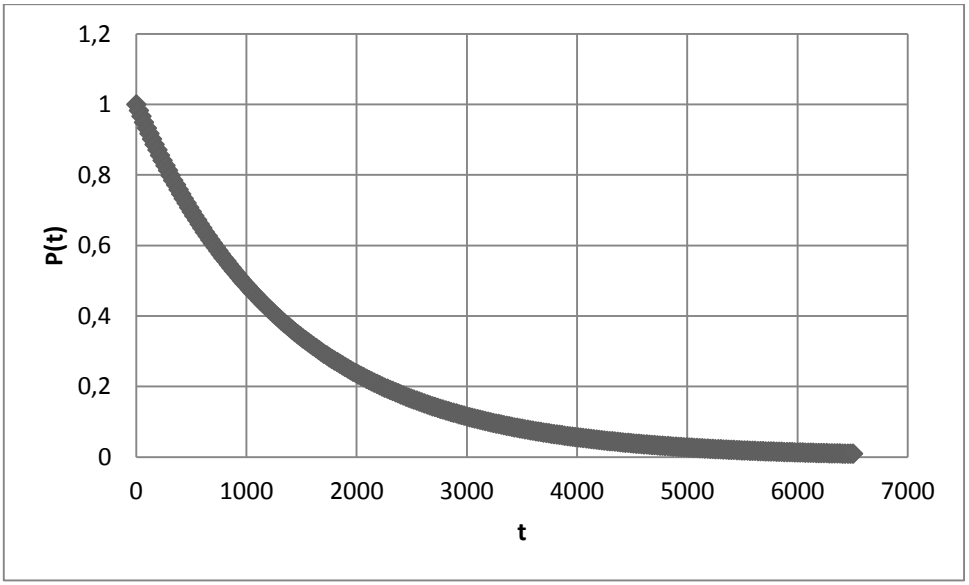


Рис. 3. *График функции вероятности безотказной работы ТС бункеровки*

Для повышения технико-технологической эффективности использования технических средств необходимо количественно оценивать уровень надежности, определять количественную зависимость надежности от режимов использования и условий эксплуатации. Это позволит загодя принять меры, которые обеспечивают достаточно высокий уровень надежности даже в самые неблагоприятные условия технической эксплуатации.

Выводы.

При длительной эксплуатации техническая система бункеровки может достичь предельного состояния, при котором ее дальнейшая эксплуатация должна быть прекращена из-за нарушения требований безопасности, при отходе заданных параметров за установленные пределы, или снижения эффективности эксплуатации ниже допустимой, или необходимости проведения среднего или капитального ремонта. Следовательно, определение средней наработки к первому отказу системы бункеровки позволит своевременно заменить элемент технической системы бункеровки, тем же обеспечив ее надежность.

Литература

1. Плявин Н.И. Морские перевозки наливных грузов // М.А. Шаповал, Ю.В. Васильев., А.Г. Казимиров Москва.: Транспорт, 1991,191 с.

2. Васілевський О.М. Нормування показників надійності технічних засобів: навчальний посібник/ О. М. Васілевський, В.О. Поджаренко. Вінниця: ВНТУ, 2010. 129 с.
3. Надійність техніки. Терміни та визначення: ДСТУ 2860-94, 1994. [Введен в дію від 1994 - 12-24]. - К.: Держстандарт України,1994, 36 с. (Національний стандарт України).
4. Половко А. М. Основы теории надежности / А. М. Половко, С. В. Гуров. 2-еизд. – СПб.:БХВ-Петербург,2006, 704 с.
5. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности: Основные характеристики надежности и их статистический анализ. Изд.2. М.: URSS, 2013. 584 с.
6. Рябинин И.А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем. СПб.: Изд. С.-Петерб. ун-та, 2007, с. 276.
7. Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика : учебник для прикладного бакалавриата / В. Е. Гмурман. 12-е изд. М.: Издательство Юрайт, 2019. 479 с.

УДК 656.611

СОВРЕМЕННЫЕ ТРЕНДЫ В РАЗВИТИИ КОНТЕЙНЕРНЫХ ПЕРЕВОЗОК

Русинов И.А., Гаврилова И.А., Кашицкая Р.В.

Государственный университет морского и речного флота им. адм. С.О. Макарова
г. Санкт-Петербург, Россия
E-mail: RusinovIA@gumrf., rugavrilova.irina.a@gmail.com, KashitskayaRV@gumrf.ru

Аннотация. *Статья посвящена вопросам морских линейных контейнерных перевозок. В статье проанализированы темпы мирового экономического роста, приведена динамика международных морских перевозок. Сделан вывод о том, что морские контейнерные перевозки находятся в тесной зависимости от тенденций в экономике и торговле. Также в статье рассмотрены особенности линейных контейнерных перевозок, затронуты вопросы вместимости судов, грузоподъемности и грузовместимости.*

Abstract. *The work is devoted to the issues of sea container shipping. The article analyzes the pace of global economic growth, shows the dynamics of international shipping. It was concluded that sea container transportation is closely dependent on trends in the economy and trade. The article also discusses the features of linear container transportation, touched upon issues of vessel capacity, cargo capacity and cargo capacity.*

Ключевые слова: *морской транспорт, перевозчик, контейнерные перевозки, судоходство, грузы, торговля*

Key words: *maritime transport, carrier, container transportation, shipping, cargo, trading*

Введение. Начиная с 1968 года, секретариатом ЮНКТАД ежегодно подготавливается Обзор морского транспорта за соответствующий год в целях повышения прозрачности рынков морских перевозок и анализа преобладающих тенденций.

В «Обзоре морского транспорта за 2017 год» (далее – Обзор за 2017 г.) отмечено следующее: «С учетом того, что более 80% мировой торговли по физическому объему и более 70% по стоимости перевозится морем и проходит через морские порты мира, невозможно переоценить значение морского транспорта для торговли и развития. Признавая стратегическую роль морской отрасли, в глобальных программах действий, включая Аддис-Абебскую программу действий и Повестку дня в области устойчивого развития на период до 2030 года, подчеркивается роль торговли – и, соответственно, морских перевозок – как одной из

движущих сил инклюзивного и устойчивого роста и развития» [1, с. 12]. А в «Обзоре морского транспорта за 2018 год» (далее – Обзор за 2018 г.) говорится, что глобальная торговля морем в 2018 году выросла на 4%, что является самым быстрым ростом за последние пять лет. Общий объем производства достиг 10,7 млрд. тонн, увеличив показатель по сравнению с 2017 годом на 411 млн. тонн, из которых около половины приходится на сухогрузы [2, с. 10]. Таким образом, исследуя статистику морских перевозок, динамику, общие тенденции развития, становится возможным изучать фактическое состояние и перспективы конкурентной способности определенной страны.

Основная часть. Безусловно, морские перевозки находятся в тесной зависимости от тенденций и направлений в экономике и торговле. С течением времени могут изменяться различные взаимосвязи между показателями промышленного производства и мировой торговли товарами, тем не менее, динамика мировых морских перевозок всегда будет зависеть от состояния мировой экономики.

В начале статьи целесообразно представить информацию о темпах мирового экономического роста, данные о котором за 2015-2017 годы приведены в таблице 1.

Таблица 1

Мировой экономический рост, 2016-2018 годы [2]
(годовое изменение в процентах)

Регион или экономическая группа/ Годы	**2016**	**2017**	**2018**
Все страны мира	2,5	3,1	3,0
Развитые страны	1,7	2,3	2,1
в том числе Соединенные Штаты	1,5	2,3	2,5
Япония	1,0	1,7	0,9
Европейский Союз (28 стран)	2,0	2,6	2,0
Развивающиеся страны	3,9	4,5	4,6
в том числе Африка	1,7	3,0	3,5
Китай	6,7	6,9	6,7
Индия	7,9	6,2	7,0
Латинская Америка и Карибский бассейн	-1,1	1,1	1,8
Бразилия	-3,5	1,0	1,4
Наименее развитые страны	3,5	4,3	4,9
Страны с переходной экономикой	0,3	2,1	2,2
Российская Федерация	-0,2	1,5	1,7

Поскольку во всех Обзорах ЮНКТАД приводятся данные о динамике физического объема торговли товарами за соответствующие предыдущие три года, и подобные данные ЮНКТАД публикует ежегодно, поэтому возможно сопоставить показатели не только за три года, но и за более протяженный временной период. Проанализировав числовые показатели, можно сделать вывод о том, что тенденция к низкому росту торговли товарами наблюдается с 2008 года, причем низкие темпы роста торговли характерны как для развитых, так и для развивающихся стран на протяжении длительного периода времени. Положительную динамику за последний год (2018 г.) можно наблюдать в США и в большинстве развивающихся стран.

Благодаря повышению внутреннего спроса в Китае, а также расширению взаимной торговли стран Азии и торговли по линии Юг-Юг, в последние годы ситуация в секторе морских перевозок стала лучше, чем в целом в мировой экономике, и рост объемов перевозок составил около 4%. Наливные грузы (сырая нефть, нефтепродукты и сжиженный газ) составили около половины совокупного объема перевозок, а вторая часть в основном пришлась на сухие грузы (таблица 2).

Таблица 2

Динамика международных морских перевозок, отдельные годы [1,2]
(млн. погруженных тонн)

	1980	**1990**	**2000**	**2010**	**2011**	**2012**	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**2017**
Нефть и газ	1871	1755	2163	2772	2794	2841	2829	2825	2932	3055	3146
5 основных массовых грузов	608	988	1295	2335	2486	2742	2923	2985	3121	3172	3196
Другие сухие грузы	1125	1265	2526	3302	3505	3614	3762	4033	3971	4059	4360

Для удобства и наглядности таблица 2 представлена ниже в виде графика (рис. 1).

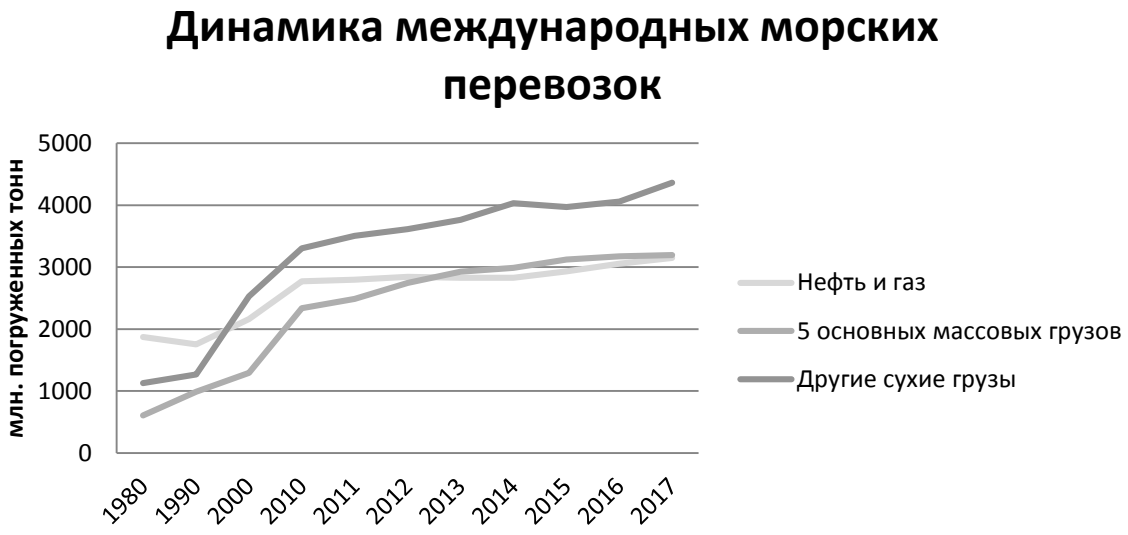


Рис. 1. *Динамика международных морских перевозок, отдельные годы [1]*

В обзоре ЮНКТАД за 2018 г. названы семь основных ключевых факторов изменения глобального рынка морской торговли [2]. Такими ключевыми факторами в частности, являются: цифровизация, технологические достижения (новые возможности для развития международного морского судоходства открывают технологии, в том числе искусственный интеллект, Интернет вещей, блокчейн, автономные суда и пр., что может повлечь за собой важные последствия для судоходства и мировой торговли. Цифровизация морского транспорта поможет отрасли удовлетворить растущий спрос и повысить эффективность); политика в области изменения климата (действия по ограничению выбросов углекислого газа и улучшению экологических показателей международных перевозок остаются в центре внимания международного морского сообщества), а также укрепление судоходства, отношения между портами и линиями контейнерных перевозчиков, внутренняя политика и растущие протекционистские идеи, которые могут подорвать глобальный экономический рост и изменить структуру мировой морской торговли и пр.

Далее стоит рассмотреть вопрос о контейнерных перевозках. В 2016 году было отмечено увеличение темпов роста контейнерных перевозок. Объемы этих грузопотоков на маршрутах Восток-Запад выросли на 4,4% против 1,2% в 2015 году (наибольший грузопоток зафиксирован на тихоокеанских маршрутах). На маршрутах Азия-Европа грузопоток увеличился на 3,1%, на трансатлантических маршрутах – на 2,9% [3, с. 119-123].

В недавно проведенном исследовании с охватом 157 стран за период 1962-1990 годов представлены эмпирические данные о том, что контейнеризация является движущей силой

экономической глобализации XX века [4]. В представленных данных о развитии 22 промышленных стран, которые в целом определяют состояние мировой экономики, главным фактором контейнеризации названо увеличение двусторонней торговли на 320% за первые пять лет после внедрения контейнерных перевозок и на 790% за 20-летний период. В порядке сравнения за 20-летний период двустороннее соглашение о свободной торговле увеличило торговлю на 45%, а членство в Генеральном соглашении о тарифах и торговле - на 285% [4].

По мнению экспертов журнала «Экономист», «для осуществления успешной глобализации контейнеры важнее, чем более свободная торговля» [5]. Тем не менее, глобализация является неоднозначным процессом, но она стала выбором системы развития международных экономических отношений на продолжительное время. Возможно, этот период уже завершается. Независимо от перспектив глобализации, можно утверждать, что контейнеризация всё это время была (и в настоящее время остается) важнейшим и агрессивным фактором влияния на мировую экономику.

С учетом того, что контейнерные перевозки в значительной мере осуществляются линейными перевозчиками [6, с. 113-116], следует отметить, что способность страны осуществлять свои контейнерные внешнеторговые перевозки с использованием линейных маршрутов имеет большее значение для торговых издержек, чем показатели «организации логистики», «стартовые расходы на организацию делового предприятия» и «снижение тарифов» вместе взятые [7].

Особенно важное значение имеют данные о структуре рынка морских контейнерных перевозок на направлении Дальний Восток – Европа и v.v. [8, с. 397-405], то есть не только о количестве контейнеров, но и объеме (общей массе) грузов в метрических тоннах с поквартальной разбивкой, что дает возможность получить представление о существующих дисбалансах на данном направлении.

Проанализировав имеющиеся в открытом доступе статистические данные (отчеты, доклады комиссий), можно сделать вывод о том, что количественный дисбаланс, заключающийся в превышении европейского импорта над экспортом, носит стабильный характер. В тоже время, если дисбаланс в части количества контейнеров чаще бывает близок к 2,0 и никогда не ниже 1,5, то дисбаланс по весу существенно меньше.

Эти количественные показатели имеют важнейшее значение для выбора оптимального тоннажа для обслуживания направления, и, возможно, при оценке грузовой базы при заказе новых судов, вместимостью свыше 10000 TEUs уже были сделаны серьезные ошибки.

С данными о структуре грузопотоков и существующих дисбалансах связан вопрос об утилизации (использовании) вместимости судов. Здесь следует иметь ввиду то, что в идеальном случае при перевозке грузов в равной степени используется как грузоподъемность, так и грузовместимость судна. Для контейнеровоза понятие грузовместимости схоже с понятием контейнерной вместимости судна. Тем не менее, в большинстве случаев возможен один из трех вариантов:

- частичное использование грузоподъемности и грузовместимости (это свидетельствует о недостаточной грузовой базе);
- полное использование грузоподъемности при частичном использовании контейнерной вместимости (это свидетельствует о наличии более тяжелого груза, чем рассматривалось в расчетах. Такая ситуация может создать проблемы для перевозчиков и спровоцировать введение ограничений по загрузке контейнеров и специальных надбавок (overweight surcharge);
- полное использование контейнерной вместимости при частичном использовании грузоподъемности (данный вариант является наиболее предпочтительным и удобным).

Прослеживается также тенденция к продолжению проникновения контейнеризации в сектор перевозок массовых грузов, особенно на обратных рейсах в случае несбалансированных перевозок. Развитие этой тенденции подкрепляется изменением режимов регулирования в сырьевом секторе, о чем свидетельствует давно вошедший в историю пример австралий-

ского зерна. С 2008 года, когда в Австралии были либерализованы операции с зерном, объемы отгрузок пшеницы в контейнерах увеличились в стране в десять раз. Аналогичным образом недавняя либерализация рынка зерна Канады по всей вероятности приведет к повышению степени контейнеризации перевозок зерна [9].

В связи с этим, целесообразно вспомнить о том, что массовые грузы, как правило, являются тяжелыми грузами и использование современных контейнеровозов для перевозки массовых грузов вероятно будет связано с проблемой использования контейнерной вместимости судов.

Особое место в исследованиях ЮНКТАД занимает рассчитываемый с 2004 года индекс обслуживания внешней торговли стран линейным судоходством. Этот индекс рассчитывается исходя из пяти компонентов:

- количество судов, заходящих в морские порты каждой страны;
- общая контейнеровместимость судов, заходящих в порты;
- число компаний, осуществляющих регулярные перевозки;
- количество осуществляемых рейсов;
- размер самого крупного используемого судна.

Выводы. Рассмотрев вопросы, связанные с мировой торговлей и морскими перевозками, были более детально исследованы контейнерные перевозки. В течение многих десятилетий контейнерные перевозки признавались одним из самых быстро растущих сегментов рынка. И сегодня линейные контейнерные перевозки остаются тесно связанными с процессами глобализации и фрагментации мирового глобального производства.

Литература

1. Обзор морского транспорта за 2017 год. ЮНКТАД.
2. Обзор морского транспорта за 2018 год. ЮНКТАД.
3. Русинов И.А., Гаврилова И.А., Берсенев А.И. Морские перевозки: основные тенденции, особенности контейнерных перевозок // Сборник научных статей национальной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова» 2018.
4. Daniel M. Bernhofen, Zouheir El-Sahli, Richard Kneller. Estimating the Effects of the Container Revolution on World Trade. Article in Journal of International Economics. January 2016.
5. The Economist, 2013.
6. Русинов И.А., Гаврилова И.А., Нелогов А.Г. Коротко о линейных конференциях // Морской Вестник. 2016. № 2 (58).
7. Исследование Экономической и социальной комиссии для Азии и Тихого океана и Всемирного банка. Arvis et al., 2013. http://siteresources.worldbank.org/EXTPREMNET/-Resources/EP104.pdf дата обращения: 25.09.2018.
8. Русинов И.А., Гаврилова И.А., Нелогов А.Г. Политика ЕС в области регулирования линейного судоходства // Аудит и финансовый анализ. № 3-4. 2017.
9. Dynamar B.V. Transhipment and Feedering. Trades and Operators - Ships and Hubs. 2018.

УДК 621.317(045)

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОБОСНОВАНИЯ КРИТЕРИЕВ СИНТЕЗА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИГНАЛОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ СРЕДСТВ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

Тимощук Е.Н., Даки Е.А.

Государственный Университет Инфраструктуры и Технологий
г. Киев, Украина
E-mail: tumoshchuk_olena@ukr.net, olena_daki@ukr.net

***Аннотация**. Обоснована актуальность исследования совершенствования методов и средств контроля технического состояния радионавигационных комплексов управления движением средств водного транспорта. Предложена задача определения оптимальной методики контроля технического состояния радионавигационных комплексов. Определены критерии синтеза измерительных сигналов для контроля радионавигационных комплексов.*

***Abstract.** The relevance of the study of improving the methods and means of monitoring the technical condition of radio-navigation complexes controlling the movement of water transport vehicles is substantiated. The task of determining the optimal method of monitoring the technical condition of radio navigation complexes is proposed. The criteria for the synthesis of measuring signals for monitoring radio-navigation complexes have been determined.*

***Ключевые слова:** средства водного транспорта, радионавигационные комплексы, измерительные сигналы, критерии синтеза*

***Key words:** means of water transport, radio navigation complexes, measuring signals, synthesis criteria*

Введение. Применение современных систем и комплексов навигации для управления движением средств водного транспорта позволило обеспечить судоводителей полной и достоверной информации об обстановке вокруг такого средства. Это осуществляется с помощью автоматизированных идентификационных систем и комплексов автоматизированной радиолокационной прокладки маршрута, позволяет принимать грамотные решения для обеспечения безопасного судоходства [1,2]. Таким образом, навигационное обеспечение средств водного транспорта предназначено для оперативного решения задач управления подвижными объектами на новом качественном уровне. При этом правильная работа средств навигационного обеспечения – радионавигационных комплексов – зависит от их технического состояния. Наличие в составе радионавигационных комплексов большого количества электронных элементов и радиоканалов, агрессивная среда их эксплуатации (большая влажность, постоянное движение (качания), соленая вода и т.д.) повышают роль методов и приборов контроля и диагностирования технического состояния радионавигационных комплексов во время эксплуатации для обеспечения безаварийного функционирования средств водного транспорта [3].

Перспективным направлением развития методов и приборов контроля и диагностирования технического состояния радионавигационных комплексов управления движением средств водного транспорта является их автоматизация и универсализация. Это направление нашло свое воплощение в проектировании и производстве информационных приборов (систем) контроля и диагностирования, измерительно-информационных систем, оснащенных современной микропроцессорной техникой, устройствами сопряжения с персональным компьютером, удобными интерфейсными программами и т.д. [4].

Основная часть. Радионавигационный комплекс из состава систем навигации и управления движением средств водного транспорта предназначен для преобразования входного измерительного сигнала $u(t)$ в выходной сигнал $y(t)$. В общем случае может быть несколько параллельных входных и выходных сигналов, поэтому имеются векторы входных и выходных сигналов. Качество преобразования (зависит от технического состояния комплекса) описывается оператором системы $\Phi(\{u\})$. Это преобразование запишем в виде: $y = \Phi(\{u\})$.

Для линейных систем с сосредоточенными параметрами оператор зависит от конечного числа параметров. Если $G(p)$ – изображения Лапласа передаточной функции системы:

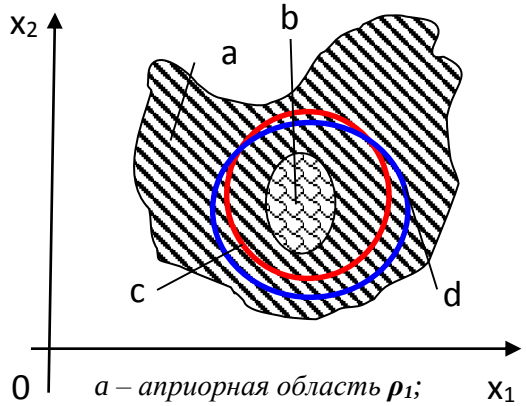
$$G(p) = \sum_{i=1}^{m} b_i p^i \Big/ \sum_{j=1}^{n} a_j p^j ,$$

где a_j, b_i – коэффициенты, $j = \overline{1,n}$, $i = \overline{1,m}$;

m, n – количество параметров контроля исходящего и входящего измерительного сигнала соответственно,то за такие параметры можно взять, например, коэффициенты a_j и b_i или их комбинации (коэффициент усиления, постоянные времени и затухания, собственные частоты), а для электрических систем – активное сопротивление, индуктивность или емкость.

Оператор нелинейной системы не определяется конечным количеством параметров. Но с известной степенью точности его всегда можно аппроксимировать оператором (в общем случае нелинейным), но зависимым от конечного числа параметров. Так, например, если система контроля содержит звена типа элементов с насыщением, то, представив характеристику такого звена на отдельных участках соответствующей функцией аппроксимации (отрезками прямых, арктангенсом, гиперболическим тангенсом и т.д.), можно за параметры контроля системы взять параметры этих аппроксимирующих функций [5].

Обозначим параметры контроля радионавигационного комплекса управления движением средств водного транспорта вектором $q = \{q_1, q_2, ..., q_n\}$, $j = \overline{1,n}$, так, что оператор системы $\Phi(\{u\})$ будет функцией этих параметров: $\Phi(\{u\}) = \Phi(q_1, q_2, ..., q_n)$. Значения параметров q_j являются случайными величинами, которые в процессе хранения и эксплуатации комплекса могут меняться. Считаем в процессе контроля эти параметры неизменными, так как время контрольных операций, как правило, значительно меньше времени изменения параметров.



a – априорная область ρ_1;
b – апостериорная область (рассчитанная) ρ_3;
c – область допуска параметра;
d – апостериорная область (существующие методы) ρ_2
***Рис.** Области отклонения параметров контроля*

Таким образом, состояние радионавигационного комплекса управления движением средств водного транспорта определяется вектором параметров $q = \{q_1, q_2, ..., q_n\}$. При известной априорной функции распределения параметров (плотность распределения которой ρ_1) или дисперсии параметров и корреляционных связей между этими параметрами. Тогда известна и априорная область, в которой находится вектор параметров контроля q – априорная область «отклонений» параметров комплекса (рис. 1). Чем меньше априорная информация о системе, тем больше такая область «отклонения». Полученная по результатам контроля информация позволяет определить (уточнить) функцию распределения параметров q_j, так что область «отклонения» параметров уменьшается (сужается) – апостериорная область ρ_2 (рис. 1).

Чем точнее и полнее проведен контроль, тем уже (меньше) апостериорная область. Поэтому, основой предложенного метода обоснования критериев оптимальности синтеза измерительных сигналов является рассчитанная апостериорная область ρ_3.

Часто целью контроля является определение не самых параметров q_j, а какой-то функции от этих параметров $Z = f(q_1, q_2, ..., q_n)$, то есть определение технического состояния системы с обобщенным параметром Z. Функция Z (при m < n) предоставляет меньший объем информации о техническом состоянии радионавигационного комплекса по сравнению с полным количеством величин q_j. Однако в большинстве случаев оптимальный набор (номенклатура) неполного количества параметров z_i, $i = \overline{1,m}$, считается достаточным для сравнительно полной оценки качества системы, а, с другой стороны, может существенно упростить контроль параметров q_j. Иногда параметры z_i могут совпадать с параметрами q_j.

Итак, выходной сигнал $y(t)$ представляет собой функцию от параметров комплекса q_j и функционал от входного измерительного сигнала $u(t)$: $y = y_0(\{u\}, q, t)$. На этот выходной сигнал накладываются помехи: возникающие из-за погрешности генератора сигналов, разного рода внешние помехи, наводки и погрешности средств измерения. Такие помехи с известной степенью точности считаются аддитивными. Тогда выходной сигнал запишем так:

$$y(t) = y_0(\{u\}, q, t) + \xi(t). \quad (1)$$

Отнесем к помехам также составляющие выходного сигнала радионавигационного комплекса, обусловленные отклонением параметров, которые не контролируются, от номинальных значений. Тогда, составная часть выходного сигнала, обусловленная отклонением параметров от номинальных значений, подлежащих определению, является полезным сигналом.

Задача синтеза входного измерительного сигнала при контроле технического состояния радионавигационных комплексов управления движением средств водного транспорта приобретает смысл только при учете указанных помех. Иначе, при отсутствии помех для определения n параметров контроля комплекса $\{q_1, q_2, ..., q_n\}$ достаточно провести измерения значений выходного сигнала в точках $\{t_1, t_2, ..., t_s\}$, где s – количество моментов отсчета (точек дискретизации) и решить систему уравнений (1), составленную для моментов времени $\{t_1, t_2, ..., t_s\}$ относительно параметров $\{q_1, q_2, ..., q_n\}$.

Выбор входного измерительного сигнала $u(t)$ в значительной степени произвольный. Единственным ограничением является то, что Якобиан соответствующей системы уравнений $J = \det\left|\frac{\partial y_0(t_k)}{\partial q_j}\right|$ не превращается в ноль. Все входные сигналы $u(t)$, для которых $J \neq 0$, равнозначны, то есть отпадает необходимость определять оптимальный выходной сигнал.

Поскольку в реальных радионавигационных комплексах управления движением средств водного транспорта приведенные выше помехи могут вносить значительные погрешности, то методика контроля без их учета достаточно близка, что, в свою очередь, снижает достоверность контроля.

Поэтому необходимо проводить контроль систем с учетом помех выходного сигнала. Задача контроля комплексов с учетом помех, которые вносятся комплексом (внутренними шумами), измерительными приборами и другими факторами, может быть решена с помощью предложенной оптимальной методики контроля в рамках метода обоснования критериев оптимальности синтеза измерительных сигналов.

Сформулируем задачу определения оптимальной методики контроля. Оптимальной есть такая методика, при заданной априорной области «отклонения» параметров контроля

комплекса, заданном уровне помехи, необходимом времени контроля позволяет максимально сузить апостериорную область «отклонения» параметров системы (или функции этих параметров). Эквивалентной предыдущей постановке задачи является задача определения методики, которая обеспечивает минимальное время контроля при заданной априорной области «отклонения» параметров контроля комплекса, заданных размерах апостериорной области. Или задача определения методики, которая позволяет при фиксированных условиях максимально снизить требуемую точность измерительных приборов. Выбор эквивалентных постановок задачи определяется конкретными ситуациями [5].

Определение оптимальной методики контроля технического состояния радионавигационных комплексов управления движением средств водного транспорта состоит из нескольких, не связанных одна с другой, задач.

Во-первых, необходимо установить количественную оценку методики контроля. Такая оценка должна быть связана с размерами апостериорной области «отклонения» параметров z_i. Вся информация о параметрах z_i, полученная по результатам контроля, содержится в функции распределения $\rho(z/y)$. Эта функция предоставляет вероятность для различных значений z_i, при условии, что на выходе комплекса наблюдалась реакция $y(t)$. Апостериорная область «отклонения» параметров z_i является, вероятность попадания в середину которой для z_i больше некоторой установленной вероятности. Если есть несколько параметров, то для задания этой области необходимо в соответствии несколько величин (например, при нормальном законе распределения можно задавать полуоси эллипсоида рассеяния).

Различные статистические оценки качества контроля по другому связанные с величинами, которые характеризуют область «отклонения». Исключение составляет случай одной переменной, когда практически все оценки эквивалентны.

Во-вторых, после установки количественной меры оценки необходимо выбрать такие входные воздействия на контролируемую систему, которые обеспечивали бы для данной системы максимальное значение этой количественной оценки. Определение оптимальных измерительных сигналов заключается для различных классов систем в решении различных вариационных задач [3, 5].

При анализе статистических оценок качества контроля будем считать, что примерный (номинальный) выходной измерительный сигнал $y_0(\{u\}, q, t)$ может быть разложен в ряд по отклонениям параметров q_j от номинальных значений q_{0j}: $\Delta q_j = q_j - q_{0j}$. Удерживая первый член этого разложения получим:

$$\Delta y = \sum_{j=1}^{n} a_j(\{u\}, q_0, t)\Delta q_j + \xi(t), \tag{2}$$

где

$$\Delta y = y_j(\{u\}, \{q\}, t) - y_0(\{u\}, q_0, t);$$

$$a_j(\{u\}, q_0, t) = \left(\frac{\partial y(\{u\}, q, t)}{\partial q_j} \right)\Bigg|_{q_j = q_{j0}}.$$

Аналогично, раскладывая величины $z_i(q_j)$, получим для отклонений:

$$\Delta z_i \approx \sum_{j=1}^{n} \alpha_{ij}\Delta q_j, \tag{3}$$

где

$$\Delta z_i = z_i(q) - z_i(q_0);$$

$$\alpha_{ij} = \left(\frac{\partial z_i}{\partial q_j} \right)\Bigg|_{q_j = q_{j0}}.$$

Докажем правильность (адекватность) расписаний (2) и (3).

При контроле технической системы необходимо усовершенствовать методику контроля в случаях, когда отклонения параметров небольшие, так что чувствительности и точности измерений аппаратуры при заданном времени, отведенном на контроль системы, оказывается недостаточно для выявления этих отклонений или для определения их величины с нужной степенью точности. Поэтому, методика контроля, которая является оптимальной при малых отклонениях параметров и за счет получения максимально возможной чувствительности и точности, что позволяет выявлять такие отклонения, будет пригодна и при нелинейных отклонениях параметров. При малых отклонениях параметров для определения величины этих отклонений может быть применена линейная обработка сигнала $\Delta y(t)$. Оценки параметров q_j или z_i будут линейными функциями от значения выходного сигнала $\Delta y(t)$.

Если отклонения действительно малы, то линейная обработка выходного сигнала позволяет определить величину отклонений параметров от номинальных значений. Если в результате применения методики обработки выходного сигнала (соотношение (2) и (3)) любые параметры будут вне области линейности, то в этом случае значения отклонений определены не будут, а будет установлен факт выхода параметров за эти пределы. Ситуация, в которой комбинация больших отклонений нескольких параметров приводит к малому отклонения качества системы от номинальных, маловероятно, особенно при контроле достаточно большого количества параметров системы.

Для определения величины отклонения параметра при больших отклонениях необходимо применить нелинейную обработку выходного сигнала. Методика контроля, за исключением последней стадии обработки выходного сигнала, может базироваться на соотношениях (2) и (3).

Для линейных систем проведем оценку точности приближения (2). С этой целью передаточную функцию системы запишем в виде

$$G(p)=k_{п}\prod_{i=1}^{m}(\tau_i p+1)\Big/\prod_{j=1}^{n}(T_j p+1),$$

где $k_{п}$ – коэффициент усиления.

Среди величин τ_i и T_j при наличии колебательных звеньев могут быть пары комплексно связанных величин. Если взять за параметры Δq_j относительные отклонения величин $k_{п}, \tau_i$ и T_j от их номинальных значений $k_{п0}, \tau_{i0}$ и T_{j0}, тогда

$$\Delta q=\left\{\frac{\Delta k_{п}}{k_{п0}},\frac{\Delta\tau_i}{\tau_{i0}},\frac{\Delta T_j}{T_{j0}}\right\},$$

то для величин $G(p)$ получим:

$$G(q_0+\Delta q)=G(q_0)(1+\delta k_{п})\prod_{i=1}^{m}(1+\gamma_i+\delta\tau_i)\Big/\prod_{j=1}^{n}(1+\gamma'_j+\delta T_j), \qquad (4)$$

где $$\delta k=\frac{\Delta k_{п}}{k_{п0}};\ \gamma_i=\frac{1}{\tau_i p};\ \gamma'_j=\frac{1}{T_j p};\ \delta\tau_i=\frac{\Delta\tau_i}{\tau_{i0}};\ \delta T_j=\frac{\Delta T_j}{T_{j0}}.$$

Поскольку величины γ_i i γ'_j по модулю не превосходят единицы ($|\gamma_i|\le 1$, $|\gamma'_j|\le 1$), то последний член в формуле (4) будет иметь порядок $0(\Delta q')$.

Будем считать, что процесс ортогонализации выполнен и все переменные статистически независимы и имеют единичные дисперсии. При необходимости можно вернуться к исходным статистически зависимых переменных. Доказано относится также и к переменным z_i, которые можно считать статистически независимыми.

Выводы. Согласно полученным соотношениям (1) – (4) предлагается рассчитать критерии синтеза измерительных сигналов для контроля радионавигационных комплексов управления движением средств водного транспорта. К критериям предлагается отнести достоверность определения технического состояния радионавигационных комплексов, оперативность проведения контроля и количество информации (информативность) о результатах контроля технического состояния радионавигационных комплексов средств водного транспорта.

Литература

1. Соловьев И. Морская радиоэлектроника / И. Соловьев. Санкт-Петербург: Политехника, 2003. 185 с.
2. Герасимов С.В., Макарчук Д.В., Костенко О.І. Метод адаптивної обробки навігаційної інформації в умовах невизначеності // Системи обробки інформації. Х.: ХНУПС. 2018. Вип. 3 (154). с. 19-25. DOI: 10.30748/soi.2018.154.03.
3. Тимощук О.М. Методологія синтезу полігармонійних вимірювальних сигналів з нормованим спектром / О.М. Тимощук, В.І. Богом'я, О.А. Дакі // Новітні технології: збірник наукових праць. 2018. Вип. 3 (7). с. 33-44. DOI:10.31180/2524-0102/2018.3.07.05.
4. Герасимов С.В. Синтез полігармонійного вимірювального сигналу з будь-якою кількістю точок перемикання / С.В. Герасимов, О.А. Дакі, М.Ю. Яковлев // Вимірювальна техніка та метрологія. 2018. №79 (2). с. 73-76. DOI: 10.23939/istcmtm 2018/02/073.
5. Герасимов С.В. Постановка проблеми розробки оптимальної методики контролю параметрів технічних систем при експлуатації за станом // Системи обробки інформації: Зб. наук. пр. Х.: ХУПС. 2013. Вип. 9 (116). с. 7–11.

УДК 656.615

ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ЗАГРУЗКИ ПРИЧАЛОВ КОНТЕЙНЕРНОГО ТЕРМИНАЛА

Терентьева Л.В., Сироткин А.Д.

Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского
Владивосток, Россия
E-mail:terenteva@msun.ru

Abstract. *The results of solving the problem of determining the optimal container flow, providing a minimum of costs for ships downtime and berths of the seaport container terminal as a Queuing system, are presented.*

Аннотация. *Представлены результаты решения задачи по определению оптимального контейнеропотока, обеспечивающего минимум издержек на простои судов и причалов контейнерного терминала морского порта как системы массового обслуживания.*

Key words: *seaport, container terminal, berth, Queuing theory*

Ключевые слова: *морской порт, контейнерный терминал, причал, теория массового обслуживания*

Введение. Одной из основных целей управления предприятием является повышение эффективности его работы за счет оптимального использования ресурсов, необходимых для выполнения заданного объема работ с заданным уровнем качества или определение возмож-

ного, желательно оптимального, объёма работ при существующих ресурсах. Оптимизация ресурсов грузовых терминалов морского порта или установление оптимальной занятости причалов должна выполняться комплексно с учетом затрат флота как основного потребителя услуг. Комплексное исследование таких сложных систем массового обслуживания как морской порт, на результаты деятельности которых влияют многочисленные факторы, в том числе случайные, могут быть решены с помощью теории массового обслуживания (ТМО).

Загрузка имеющихся производственных мощностей является одной из важных эксплуатационных задач, в особенности для морского порта. Недостаточная загрузка причалов приводит к простою дорогостоящих гидротехнических сооружений и оборудования морского порта и экономическим потерям. Если грузопотоки растут и потребность в причалах занижена, будут простаивать не менее дорогостоящие суда, и убытки будет нести судовладелец, а стивидорная компания рискует потерять клиентов.

На практике невозможно реализовать такую организацию работы порта, чтобы в любой момент времени причалы были бы заняты обработкой судов, и одновременно с этим судам не приходилось бы ожидать начала обработки. При этом интересы судовладельцев и операторов портовых терминалов противоположны. Для судовладельца важно, чтобы судно ожидало постановки под обработку как можно меньше, так как время ожидания в очереди является непроизводительным простоем и не приносит доходов. В интересах же терминала – обеспечить наименьшие простои причалов в ожидании подхода судов, так как приходится тратить ресурсы порта на поддерживание причалов в работоспособном состоянии.

Поскольку простои из-за ожидания судном причала и простои из-за ожидания причалом судна не могут быть устранены полностью, то одним из вариантов решения данной проблемы, может стать минимизация совокупных издержек обоих участников транспортного процесса за счет решения с помощью ТМО задачи по определению оптимального числа каналов обслуживания – числа причалов. Критерием для определения оптимального числа причалов может служить минимум суммарных затрат, связанных с простоями судов и простоями причалов для комплекса «порт-флот».

Основная часть. Задача была решена для одного из контейнерных терминалов порта Владивосток, включающего три причала. Краткая постановка задачи сводится к следующему. К контейнерному терминалу поступает поток судов с интенсивностью λ и средним временем обслуживания τ. Интенсивность судопотока, показывающая среднее количество судов, прибывающих к терминалу в течение суток, равна λ=0,73 сут$^{-1}$. Было установлено, что значения интервалов между прибытиями судов распределены по показательному закону с параметром λ. Среднее время обработки судна составляет τ=1,49 суток. Расчеты показали, что значения продолжительности обработки судов также распределены по показательному закону с параметром $\mu=1/\tau$. Необходимо для заданных характеристик судопотока определить такое число причалов, при котором суммарные издержки на простои причалов контейнерного терминала и издержки из-за ожидания постановки судов к причалу были бы минимальны. Целевой функцией задачи является комплексный оценочный показатель для системы «порт-флот»: – минимальные суммарные расходы судов и причалов из-за ожидания:

$$C = C_n + C_c \rightarrow min$$

где: C – суммарные расходы из-за ожидания по комплексу «порт-флот», руб.;

C_c – расходы по флоту из-за ожидания постановки судов к причалу, руб.;

C_n – расходы по порту из-за простоя причалов в связи с отсутствием судов, руб.

По формулам теории вероятности были определены значения следующих показателей терминала как системы массового обслуживания [1, 2]:

- вариантный ряд числа причалов n=2,3,4;
- вероятность того, что на контейнерном терминале все причалы будут свободны P_0;

- вероятность того, что будет занят только один причал P_1;
- вероятность того, что будут заняты два причала P_2;
- вероятность того, что будут заняты три причала P_3;
- вероятность того, что будут заняты четыре причала P_4;
- среднее число одновременно занятых причалов ρ;
- средняя длина очереди в системе массового обслуживания (СМО) l;
- среднее время ожидания судном постановки к причалу $t_{ож}$;
- коэффициент занятости причалов $k_{зан}$.

Результаты расчета для каждого значения числа причалов из вариантного ряда при λ=0,73 сут$^{-1}$ представлены в таблице 1.

Таблица 1

Вероятности состояний и показатели СМО при λ=0,73 сут$^{-1}$

Вероятности и показатели	Число причалов		
	2	3	4
Все причалы свободны P_0	0,295	0,332	0,336
Один причал занят P_1	0,321	0,361	0,366
Два причала заняты P_2	0,383	0,196	0,199
Три причала заняты P_3	-	0,112	0,072
Четыре причала заняты P_4	-	-	0,027
Среднее число занятых причалов ρ	1,0877	1,0877	1,0877
Средняя длина очереди l	0,457	0,063	0,010
Среднее время ожидания $t_{ож}$, сут.	0,63	0,09	0,01
Коэффициент занятости причалов $k_{зан}$	0,544	0,363	0,272

После определения всех необходимых показателей работы системы по заданным суточным затратам на содержание расчетного типа судна и затратам на содержание причала без грузовых операций были рассчитаны издержки от простоев судов и простоев причалов при интенсивности судопотока λ=0,73 сут$^{-1}$ (табл. 2).

Таблица 2

Издержки из-за простоя флота и причалов при λ=0,73 сут$^{-1}$

Издержки, тыс. руб.	Число причалов		
	2	3	4
Издержки флота	157949	21942	3478
Издержки терминала	157722	330606	503490
Издержки по комплексу «порт-флот»	315671	352548	506969

Из таблицы 2 видно, что при двух причалах комплексные затраты из-за простоев минимальны. Следовательно, оптимальное число причалов при существующей интенсивности судопотока равно двум. В настоящее время контейнерный терминал включает три причала. Было предложено определить такой показатель интенсивности потока судов, при котором оптимальным значением станет существующее число причалов равное трем. Это обеспечит минимальные издержки на простои по комплексу «порт-флот» и, следовательно, оптимальную загрузку причалов контейнерного терминала. Расчет минимальной интенсивности потока судов, произведен в программе для работы с электронными таблицами MS Excel. Алгоритм расчета минимальной интенсивности судопотока для условия, что число причалов равное трем оптимально представлен на рисунке.

Результаты расчета показали, что для оптимальной загрузки контейнерного терминала при существующем числе причалов интенсивность судопотока должна быть равна λ= 0,78 сут$^{-1}$.

Вероятности состояний и показатели эффективности системы для интенсивности судопотока λ=0,78 сут$^{-1}$ представлены в таблице 3.

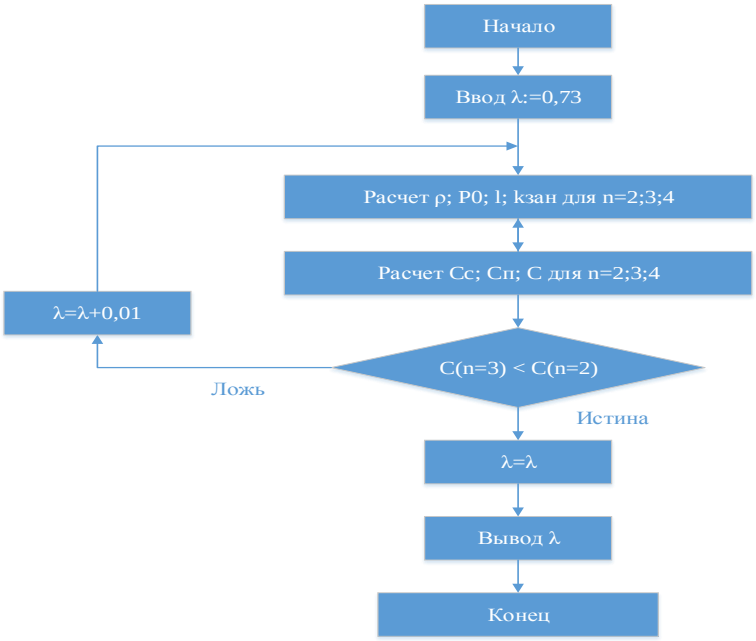


Рисунок. *Алгоритм определения минимальной интенсивности судопотока для условия, что число причалов равное трем оптимально*

Таблица 3

Вероятности состояний и показатели СМО при λ=0,78 сут$^{-1}$

Вероятности и показатели	Число причалов (λ=0,78 сут$^{-1}$)		
	2	3	4
Все причалы свободны P_0	0,265	0,306	0,312
Один причал занят P_1	0,356	0,356	0,362
Два причала заняты P_2	0,338	0,207	0,211
Три причала заняты P_3	-	0,131	0,082
Четыре причала заняты P_4	-	-	0,033
Среднее число занятых причалов ρ	1,162	1,162	1,162
Средняя длина очереди l	0,593	0,083	0,014
Среднее время ожидания $t_{ож}$, сут.	0,760	0,106	0,018
Коэффициент занятости причалов $k_{зан}$	0,581	0,387	0,291

Издержки из-за простоев судов и простоев причалов при интенсивности судопотока λ=0,78 сут$^{-1}$ представлены в таблице 4 (для удобства сравнения величин в таблицу 4 включены также издержки по комплексу «порт-флот» при существующей интенсивности судопотока λ=0,73 сут$^{-1}$ из табл.2).

Таблица 4

Издержки из-за простоя флота и причалов при λ=0,73 сут$^{-1}$ и λ=0,78 сут$^{-1}$

Издержки, тыс. руб.	Число причалов (λ=0,73 сут$^{-1}$)			Число причалов (λ=0,78 сут$^{-1}$)		
	2	3	4	2	3	4
Издержки флота	157949	21942	3478	204868	28604	4732
Издержки терминала	157722	330606	503490	144842	317726	490610
Издержки по комплексу «порт-флот»	315671	352548	506969	349711	346330	495342

Сравнение результатов расчета издержек для различных значений интенсивности судопотока показывает, что для существующего числа причалов контейнерного терминала равного трем при увеличении интенсивности подхода судов до λ=0,78 сут$^{-1}$ затраты, связанные с

простоями флота, увеличиваются на 6,7 млн. рублей. Но при этом на 12,9 млн. рублей снижаются затраты по порту из-за простоев причалов в связи с отсутствием судов, что в целом приводит к уменьшению издержек на простои по комплексу «порт-флот».

Вывод. Таким образом, результаты решения частной задачи по обоснованию оптимальной загрузки причалов контейнерного терминала показывают, что для обеспечения минимальных издержки из-за простоя судов и простоя причалов по комплексу «порт-флот» при существующем числе причалов необходимо увеличить интенсивность судопотока до величины λ=0,78 сут$^{-1}$, что означает увеличение количества судозаходов на 18 судов в год. Это даст увеличение контейнеропотока и прирост доходов терминала. Расчеты показали, что, несмотря на рост переменных эксплуатационных расходов, связанных с увеличением контейнерооборота терминала, они перекрываются значительным ростом доходов, что указывает на экономическую целесообразность для морского транспорта рекомендаций, полученных по результатам расчетов.

Решение задачи по оптимальной загрузке причалов грузового терминала будет особенно актуально, если и флот, и причалы находятся в распоряжении одной и той же компании (оператора или собственника). Это позволит более рационально использовать, как флот, так и грузовой терминал, и снизить потери от простоев производственных мощностей морского транспорта.

Литература

1. Гнеденко Б.В., Зубков М.Н. Об определении оптимального числа причалов//Морской сборник. 1964. №6. с. 22-39
2. Фролов А.С., Кузьмин П.В., Степанец А.В. Организация, планирование и технология перегрузочных работ в морских портах: Учебник для высших учебных заведений ММФ. М. Транспорт, 1979. 408 с.

УДК 629.5.072.1

МЕТОД ФОРМАЛИЗАЦИИ ЗАДАЧИ СИТУАЦИОННОГО АНАЛИЗА ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ОПАСНОЙ СИТУАЦИИ СБЛИЖЕНИЯ (СТОЛКНОВЕНИЯ) СУДОВ

[1]Тимощук Е.Н., [2]Самокиш А.В.

[1]Киевский институт водного транспорта им. гетмана Петра Конашевича-Сагайдачного
г. Киев, Украина
[2]Харьковский национальный университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба
г. Харьков, Украина
E-mail:timochko.alex@gmail.com

Аннотация. *В статье рассматривается разработанный метод формализации задачи ситуационного анализа при возникновении опасной ситуации сближения (столкновения) судов, на основе информации, полученной от разных источников.*

Abstract. *The article discusses the developed method of formalizing the problem of situational analysis in the occasion of a dangerous situation of convergence (collision) of ships, based on information from various sources.*

Ключевые слова: *судовождение, опасное сближение, нечеткие множества, столкновение судов, принятие решений, оценка обстановки*

Key words: *navigation, dangerous approach, fuzzy sets, collision of vessels, decision making, assessment of the situation*

Введение. Основной целью распознавания опасных ситуаций на море является отнесение их формализованных описаний к соответствующим классам. Автоматизация процедур распознавания является элементом автоматизации принятия решений. По результатам распознавания ситуаций принимают решение выполнения маневра для расхождения судов для предупреждения столкновений.

Анализ литературы. Анализ литературы показал что данная задача является актуальной и для ее решения разработаны подходы, основанные на различных методах обработки информации и выработки решений. В работе [1] рассматриваются стандартные подходы для оценки ситуации опасного сближения, основанные на прогнозировании дальнейшей ситуации на численных методах расчета движения судов. Данный подход учитывает, в основном, информацию от одного источника, не учитывает методы объединения информации от разных источников для получения более полной информационной модели ситуации. Предлагается использовать математический аппарат нечетких множеств для оценки риска опасной ситуации. В работе [2] для оценки ситуации предложено использовать сценарную модель наступления аварийного морского события (АМС). Рассмотренные в работе методы основаны на эвристической вероятностной идентификации, графо-аналитической формализации и сопровождении по показательному закону изменения текущей ситуации по времени. Используется вероятностная модель АМС. Недостатком является достаточно большая избыточность системы. В работе [3] ситуации определяются на основе формирования результирующих частных взаимодействий судов. Для построения используются навигационные параметры движения судна и правила МПСС72. В работах [4-5] ситуации опасного сближения определяются на основе разработанных методов построение опасных зон, попадание судов в которые может привести к столкновению. Для построения этих зон рассматриваются лишь навигационные параметры движения судов. В работе [6] предложено использовать математический аппарат нечетких множеств для обработки сигналов от судовых РЛС для более точного определения параметров движения судов и формирования на основе этих данных информации о ситуации. В работе [7] рассмотрена гибридная модель логического вывода с объединением механизма принятия решений на основе прецедентов с механизмом, основанным на правилах или ограничениях. Показано, что задачи выработки решений для обеспечения безопасности судна являются актуальными для предотвращения опасных ситуация в водных акваториях.

Основной материал. Пусть заданы классы на множестве решений и распознаваемых ситуаций, и установлено однозначное соответствие между такими классами.

Для распознавания опасных ситуаций во время движения судов в морской акватории необходимо построить совокупность моделей, отражающих процесс оценки обстановки при определении риска столкновения. Он отличается выявлением степени опасности ситуаций, складывающихся при движении судна на основе применения аппарата нечетких множеств и метода анализа иерархий.

Метод включает следующие основные этапы (рис. 1):

- обоснование и выбор априорных данных, построение начальных моделей;
- формализация описаний ситуаций, возникающих при движении судна, устранение неопределенностей;
- разработка методов представления знаний и манипулирования ими;
- моделирование и оценка качества решения задачи распознавания ситуаций.

Метод представления знаний о задаче обнаружения опасных ситуаций во время движения судна базируется на следующих основных принципах.

1. Объединение координатной и некоординатной информации с различными видами неопределенности, поступающей от различных источников.

2. Сравнение (идентификация) данных от различных источников.

3. Определение степени опасности ситуаций, возникающих в воздушном пространстве, на основе экспертной информации.

Для анализа обстановки при движении судна существуют методики оценки ситуаций, возникающих при взаимодействии с другими судами и навигационными препятствиями. Они включают параметров, необходимо учитывать для установления факторов, влияющих на выбор безопасного маневра различия.

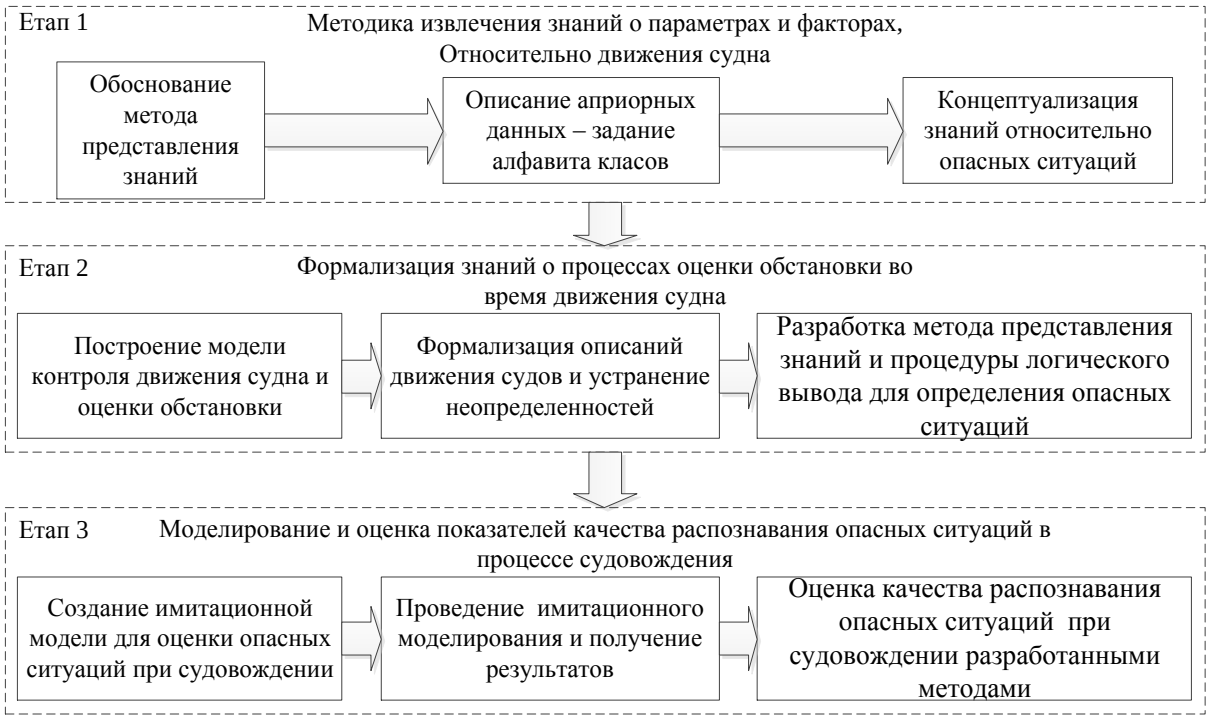


Рис. 1. *Общая структура и содержание метода представления знаний о задаче обнаружения опасных ситуаций во время движения судна*

Сформулируем математическую постановку задачи распознавания.

Для каждого судна, выполняющего движение в водной акватории существует целевая функция F, которую он реализует в процессе эксплуатации. Соответственно, цель судна $C_{вир}$ заключается в получении максимальной экономической эффективности при условии обеспечения безопасности движения в водной акватории. Математически $C_{вир}$ можно описать следующим выражением:

$$C_{вир} = F[(E \to \max E)/(P_{бз} > P_{нз})], \quad (1)$$

где E – экономическая эффективность;

$P_{бз}$ – возможность плавания без столкновений;

$P_{нз}$ – вероятность наступления ситуации опасного сближения.

При наличии в акватории движения судна других судов может возникнуть ситуация опасного сближения. Соответственно, при постоянном движении судов не выполняется неравенство $P_{бз} > P_{нз}$. Отсюда следует, что не обеспечивается достаточный уровень безопасности судна. Поэтому цель судна изменяется и состоит из уменьшения $P_{íç}$ независимо от по-

терь экономической эффективности. Поэтому при возникновении ситуации опасного сближения $C_{вир}$ изменяется на $C_{без}$:

$$C_{âèð} \to C_{áåç} = F[(P_{íç} \to P_{áç})/(E \to \max E)]. \quad (2)$$

Поскольку цель судна $C_{без}$ возникает при появлении в акватории других судов, поэтому возникает категория ситуации $s_i \in S$. Каждая ситуация характеризуется значениями некоторых признаков [1]:

$$s_i = S\{D_{ij}, P_{ij}, V_i, V_j, K_i, K_j, W, R, L, U, N_j, N_{ij}, T_{ij}, A_{ij}, G_{ij}\}. \quad (3)$$

На множестве S существует разбиение на конечное множество видов сближения судов a_{ij}, $A_{ij} = \bigcup_{j=1}^{m} a_{ij}$. Совокупность значений признаков определяет описание ситуаций множества S. Каждая из признаков может принимать значения из различной множества допустимых значений. При декомпозиции множества ситуаций S на подмножество недопустимых значений $S_{ñò}$, попадание в которую приводит к высокой вероятности столкновения, и подмножество безопасных позиций $S_{áåç}$. При нахождении судна в $s_i \in S_{без}$ при неизменных параметрах движения судов вероятность столкновения мала. Также существует подмножество ситуаций опасного сближения $S_{îï}$, движение в которой приводит к опасному сближению с одним или несколькими судами.

Задача распознавания состоит в том, чтобы для данной $s_i \in S$ ситуации и набора видов сближение из множества $a_{ij} \in A_{ij}$ по информации о ситуации $I_s(s_i, ..., s_m)$ и описания признаков опасного сближения $I_a\left(a_{ij}, ..., a_{im}\right)$ определить вероятность наступления опасной ситуации $s_i \in S_{áåç}$ и $s_i \in S_{çîíк}$.:

$$\tilde{N} = \begin{cases} \tilde{N}_{âèð}, åñëè\ s_i \in S_{áåç}; \\ \tilde{N}_{áåç}, åñëè\ s_i \in S_{îï}; \\ \tilde{N}_{ñò}, åñëè\ s_i \in S_{ñò}. \end{cases} \quad (4)$$

Отсюда следует, что процесс оценки и определения ситуации опасного сближения для предупреждения столкновений является одним из неотъемлемых этапов принятия решений при управлении судном.

Модель ситуационного анализа устанавливает связь между полученными данными и выходными величинами. Входные величины характеризуют такие понятия как район плавания, обнаружение, цели и параметры их движения, собственное судно, положение руководящих документов.

Текущие данные об обстановке в акватории во время движения судна в судоводителя поступают от средств радиолокационного, диспетчерского и визуального контроля (рис. 2). Соответственно от полученной информации о ситуации обстановки $I_j^s = \left\{I_j^{rad}, I_j^{dis}, I_j^{vis}\right\}$ от соответствующих источников ($I_j^{rad}, I_j^{dis}, I_j^{vis}$) судоводитель выполняет оценку обстановки при принятии решений [8].

Представим информацию:

а) о судне j:

$$I^j = \left\{X_j, Y_j, V_j, K_j, t_j, N_{ij}, G_{ij}\right\} \quad (5)$$

б) о собственном судне i так:

$$I^i = \left\{X_i, Y_i, V_i, K_i, t_i, G_{ij}, A_{ij}, U, N_i\right\} \quad (6)$$

в) о характеристике условий плавания:

$$I_{ij}^{cond} = \{W, R, L\} \tag{7}$$

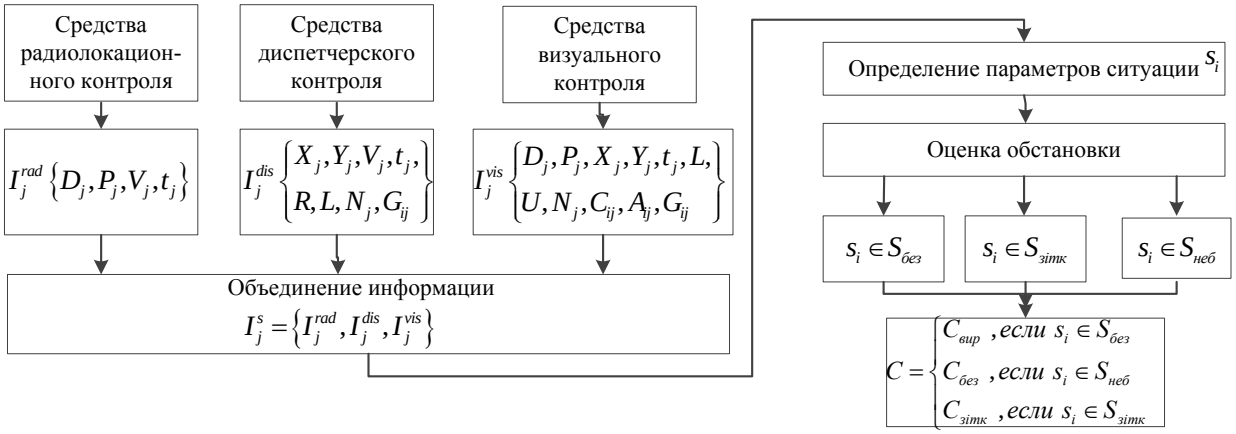


Рис. 2. *Метод формализации задачи ситуационного анализа при возникновении опасной ситуации столкновения судов*

Таким образом, средства радиолокационного, диспетчерского и визуального контроля позволяют сформировать достаточно полную информацию об обстановке и ситуации, складывающиеся при движении судна.

Представляя движение судна совокупностью ситуаций, в которых оно находится, необходимо учитывать набор признаков. Задача распознавания может быть представлена как определение совокупности ситуаций в которых находится судно в процессе судовождения. Но часто важна не сама совокупность наблюдаемых ситуаций, а их последовательность. То есть результат распознавания определяется предысторией и возможными последующими маневрами судов .

Разделим зоны, контролируемые судоводителем $Z_{control}$ на отдельные участки [9].

$$\{Z_{vis}, Z_{\sec}, Z_{res}, Z_{mov}, Z_{dis}\} \subset Z_{control}. \tag{8}$$

Для решения таких задач перспективным выглядит применение методов принятия решений при многокритериальном анализе альтернатив, к которым относятся нечеткий логический вывод (НЛВ) и метод анализа иерархий (МАИ) в нечетком приближении. Представим штатные и нештатные ситуации во время движения судна в зонах, контролируемых судоводителем логико-лингвистическими описаниями используя нечеткую импликацию.[10]

Ситуация является штатной, если судно движется установленному маршруту, а имеющиеся в акватории другие суда не создают опасность опасного сближения или столкновения.

Выделим для данного описания отношение [11]:

а) принадлежности:

- текущих плоскостных координат $\left(X_j^n, Y_j^n\right)$ имеющихся в акватории других судов зонам Z_{vis}, $Z_{\sec}$, собственного судна i:

$$\tilde{A}(x_i, y_i) \circ R(X_{Z_{vis}^i}\ Y_{Z_{vis}^i}; X_{Z_{\sec}^i}\ Y_{Z_{\sec}^i}) \Rightarrow Z_{vis}^i \vee Z_{\sec}^i; \tag{9}$$

- скорости движения V_j^n других судов заданной безопасной относительной скоростью $\Delta V_{îòí}^{ij}$:

$$\tilde{A}(V_j^n) \circ R(V_{îòí}^{ij}) \Rightarrow \Delta V_{îòí}^{ij}; \tag{10}$$

- курса движения q_j^n других имеющихся судов заданном безопасном относительном курса $\Delta K_{\hat{a}\ddot{y}\acute{a}\acute{i}}^{ij}$:

$$\tilde{A}(q_j^n) \circ R(K_{\hat{i}\grave{o}\acute{i}}^{ij}) \Rightarrow \Delta K_{\hat{i}\grave{o}\acute{i}}^{ij}; \quad (11)$$

- соответствия времени до момента кратчайшего сближения t_j^n заданному интервалу безопасном интервала времени $\Delta t_{\ddot{c}}^{ij} > t_{\ddot{c}\grave{a}\ddot{a}}^{ij}$:

$$\tilde{A}(t_j^n) \circ R(t_{\ddot{c}}^{ij}) \Rightarrow \Delta t_{\ddot{c}}^{ij} > t_{\ddot{c}\grave{a}\ddot{a}}^{ij}; \quad (12)$$

б) соответствия:

- статуса судна i в соответствии с пр.18 МППСС72 необходимом для данных условий штатной ситуации статуса судна ΔN_i :

$$\tilde{A}(n_i) \circ R(N_i) \Rightarrow \Delta N_i; \quad (13)$$

- статуса судна j по отношению к судну для данных условий штатной ситуации статуса судна ΔN_{ij} :

$$\tilde{A}(n_{ij}) \circ R(N_{ij}) \Rightarrow \Delta N_{ij}; \quad (14)$$

- категории судна j по степени опасности к судну для данных условий штатной ситуации к категории безопасных (ΔC_{ij}):

$$\tilde{A}(c_{ij}) \circ R(C_{ij}) \Rightarrow \Delta C_{ij}; \quad (15)$$

- уровня границ безопасности U для данных условий штатной ситуации к категории безопасных (ΔU_{ij}):

$$\tilde{A}(u_{ij}) \circ R(U_{ij}) \Rightarrow \Delta U_{ij}; \quad (16)$$

в) присутствия (отсутствия):

- отсутствие признаков плохой видимости W :

$$\tilde{A}(w) \circ R(W) \Rightarrow W_g; \quad (17)$$

где W_g – предельное значение метеорологической видимости, что позволяет ведение наблюдения за акваторией на дистанцию, необходимую для выявления и безопасного маневрирования, по предотвращению ситуаций опасного сближения или столкновения.

- присутствие признаков района с осложненными условиями судоходства B :

$$\tilde{A}(b) \circ R(B) \Rightarrow r_n; \quad (18)$$

где r_n – характеристика района плавания.

- присутствие признаков, относят вид сближения A_{ij} судна j к судну i для данных условий штатной ситуации к категории безопасных (ΔA_{ij}):

$$\tilde{A}(a_{ij}) \circ \mathrm{R}(A_{ij}) \Rightarrow \Delta A_{ij}; \quad (19)$$

- присутствие признаков, суда по характеру влияния на выбор судном j, заблаговременных мер по предупреждению столкновения (G_{ij}) для данных условий штатной ситуации к категории безопасных (ΔG_{ij}):

$$\tilde{A}(g_{ij}) \circ R(G_{ij}) \Rightarrow \Delta G_{ij}. \quad (20)$$

Если судно движется в сложных условиях метеообстановки, района плавания и нарушается установленный порядок (правила) использования морских путей и безопасного ма-

неврирования, то данная ситуация характеризуется как опасная или ситуация высокой вероятности столкновения, то есть отсутствует хотя бы одно из отношений (10-20).

Аналогичным образом для данных ситуаций строятся логико-лингвистические описания. На основании полученных выражений разработан метод оценки опасной ситуации сближения (столкновения) судов рисунок 3.

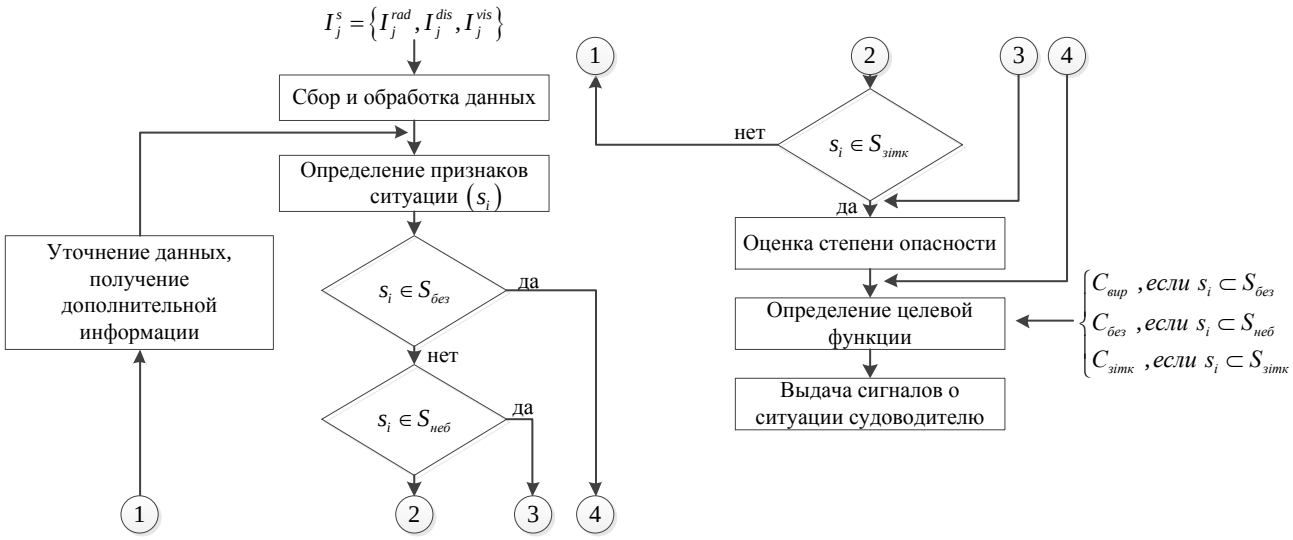


Рис. 3. *Метод распознавания опасных ситуаций сближения (столкновения) судов*

Выводы. Разработан метод формализации задачи ситуационного анализа при возникновении опасной ситуации сближения (столкновения) судов, который позволяет представлять, осознать и обрабатывать знания о задаче обнаружения опасных ситуаций при судовождении. Их реализация предполагает решение расчетных и логико-аналитических задач с использованием методов нечеткой логики. Особенностью предложенного метода формализации знаний о возможной опасной ситуации в зоне, контролируемой судоводителем, является учет следующих ограничений:

- разнородность, неточность и неполнота исходной информации об обстановке;
- временные рамки решения задач;
- использование качественных оценок лицами, принимающими решения;
- представление и интерпретация модальных знаний о ситуации.

Предложенный метод отличается:

- процедурой формализации модальностей разного рода и их обобщенным описанием с использованием аппарата нечетких множеств;
- использованием комбинированных моделей знаний для формализации процесса распознавания ситуации.

Данные метод позволяет решить задачу адаптивного управления и повысить оперативность и обоснованность оценки обстановки.

Литература

1. Вагущенко Л. Л. Поддержка решений по расхождению с судами / Л.Л. Вагущенко Одесса: Феникс, 2010. 229 с.
2. Обертюр К. Л. Повышение безопасности эксплуатации судов методами управления событиями: дис. ... кандидата техн. наук 05.22.20 / Обертюр Константин Леонидович. Одесса, 2015. 223 с.

3. Бужбецкий Р. Ю. Совершенствование методов предупреждения столкновения судов с учетом особенностей их взаимодействия: дис. ... кандидата техн. наук: 05.22.13 / Бужбецкий Ростислав Юрьевич. Одесса, 2016. 223 с.
4. Булгаков А. Ю. Разработка метода выбора стратегии расхождения судов с использованием областей опасных курсов: дис. ... кандидата техн. наук : 05.22.13 / Булгаков Александр Юрьевич. Одесса, 2016. 256 с.
5. Бурмака А.И. Разработка метода выбора стратегии расхождения в ситуации чрезвычайного сближения судов: дис. ... кандидата техн. наук …05.22.13 / Бурмака Алексей Игоревич. Одесса, 2016. 246 с.
6. Гриняк В. М. Разработка математических моделей обеспечения безопасности коллективного движения морских судов: дис. ... доктора техн. наук : 05.13.18 / Гриняк Виктор Михайлович. Владивосток, 2016. 297 с.
7. Астреин В. В. Методология анализа и синтеза сложных активных технических систем и ее реализация в системе безопасности судовождения: дис. ... доктора техн. наук : 05.13.01 / Астреин Вадим Викторович. Краснодар, 2017. 311 с.
8. Мальцев А. С. Маневрирование судов при расхождении / А. С. Мальцев Одесса: Морской тренажерный центр, 2005. 208 с.
9. Шарлай Г. Н. МППСС-72 с комментариями [Текст] : учебное пособие / Г. Н. Шарлай. М.: МОРКНИГА, 2017. 137 с
10. Нечеткий логический вывод и нечеткий метод анализа иерархий в системах поддержки принятия решений: приложение к оценке надежности технических систем / Мухаметзянов И.З. // Кибернетика и программирование. 2017. № 2. С. 59 77.
11. Яхъяева Г.Э. Основы теории нечетких множеств / Г.Э. Яхъяева. М.: ИНТУИТ,2016. 187с.

GƏMİÇİLİK TEXNİKASI

UOT 681.5.01

BƏZİ TEXNİKİ SİSTEMLƏR ÜÇÜN TƏNZİMLƏYİCİNİN SİNTEZİ VƏ TƏDQİQİ MƏSƏLƏLƏRİ

Fərhadov V.Q., Bayramova İ.P.

Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası
Az1000, Bakı şəh., Z.Əliyeva küç., 18
E-mail: vahidf@mail.ru, genclik76@mail.ru

Xülasə. *Məqalədə gəmilərdə istifadə olunan sabit cərəyan mühərrikli antenanın fırlanma sürətini tənzimləmək üçün sintez olunan tənzimləyicilərin analitik konstruksiyasından və klassik üsullardan fərqli olaraq idarə siqnalının tezliyini azaltmaqla tarazlıq nöqtəsinin kiçik ətrafında avtorəqslərin meydana çıxmasının qarşısının alınmasından bəhs edilir.*

Аннотация. *В статье рассматриваются вопросы предотвращения возникновения автоколебаний вокруг точки равновесия, путём снижения частоты управляющих сигналов для регулирования частоты вращения судовых антенн, приводящихся в движение с помощью электродвигателя постоянного тока.*

Abstract. *The article deals with the prevention of the current of self-oscillations around the equilibrium point, by reducing the frequency of control signals, to control the frequency of rotation of ship antennas driven by direct current motor.*

Açar sözlər: *gəmi, idarəetmə, istiqamət, tənzimləyici, elektrik mühərriki, tənlik, xarakteristika*

Ключевые слова: *судно, управление, направление, регулятор, электрический двигатель, уравнение, характеристика*

Key words: *ship, control, direction, regulator, electrical engine, equation, characteristics*

Giriş. Məlumdur ki, hər bir obyekt və ya texnoloji proses müəyyən xarici qüvvələrin təsiri ilə müvazinətdən çıxarılır, tənzimləmə parametri tapşırıq qiymətdən meyl edir və onun normal iş rejimi pozulur. Obyektlərin iş rejimini xarakterizə edən əsas amillərdən biri də onların yükləridir. Obyektin yükü dedikdə hər hansı bir texnoloji məqsədlər üçün sərf olunan enerji miqdarı və ya maddə miqdarı nəzərdə tutulur [1].

Avtomatik tənzimləyicilər, sistem müxtəlif xarici qüvvələrin təsiri ilə müvazinətdən çıxarılarkən verilmiş tənzimləmə parametrini avtomatik olaraq sabit saxlayan və ya onu müəyyən qanun üzrə dəyişən quruluşlardır.

Sənayedə və texnikada müxtəlif tənzimləmə qanunlarından istifadə edilir. Hər bir konkret obyekt üçün sintez olunmuş optimal tənzimləmə qanununu realizə edən tənzimləyiçilər konstruktiv çəhətdən çox müxtəlif olduğundan onların fərdi qaydada seriyalı buraxılışı səmərəli deyil.

Texniki sistemlərin idarə olunmasında əsas icra mexanizmi kimi mühərriklər tətbiq edilir. Buna görə də onların idarə olunması hal-hazırda aktual hesab edilir. Belə mühərriklərin kiçik ətalət momentinə malik olması və dövrlər sayının geniş diapazonda dəyişləsi idarəetmə məsələsini daha da aktuallaşdırır.

Əsas hissə. Dəniz nəqliyyat sistemlərində və vasitələrində elektromexaniki icra orqanlarının idarə olunmasında və onların verilmiş parametrlərinin qiymətlərinin sabit saxlanılmasında və tələb olunan qanun üzrə dəyişdirilməsində elektrik mühərrikli, xüsusən sabit cərəyan mühərrikli elektrik intiqllarından geniş istifadə edilir [1, 2].

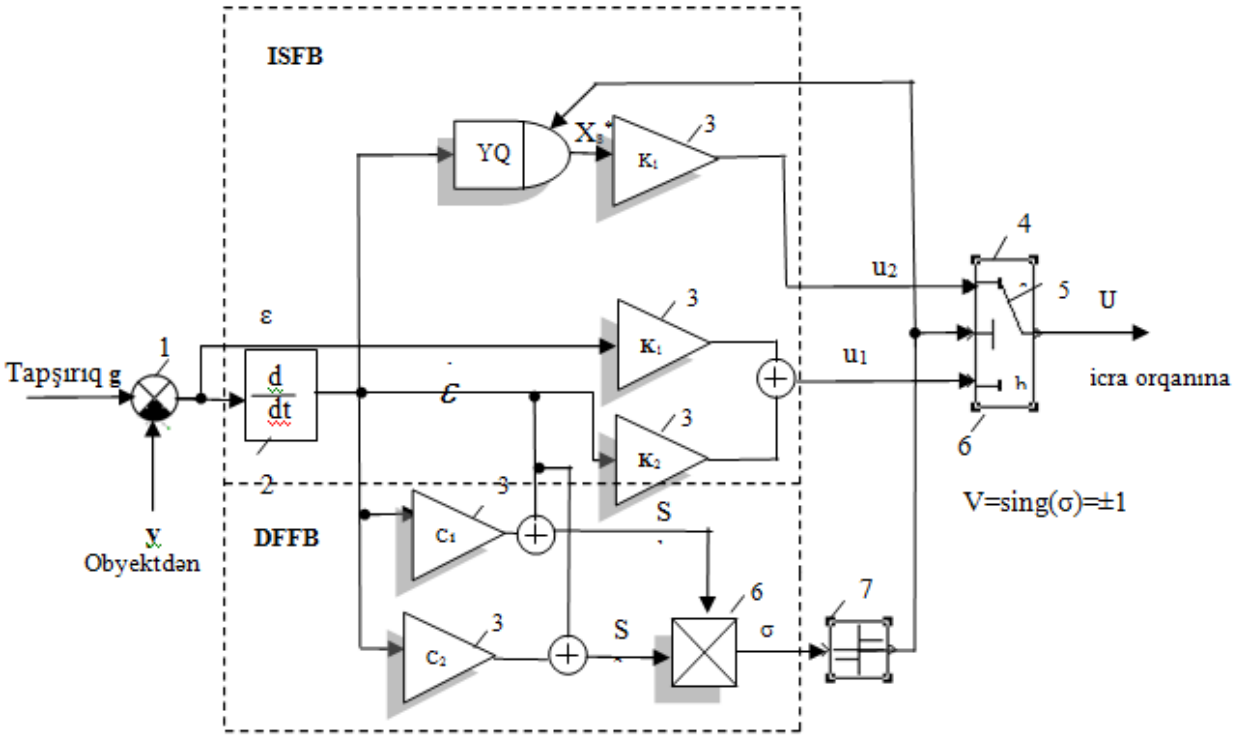
Nəzərdən keçirilən obyektlər, adətən, ikinci tərtib diferensial tənliklərlə ifadə olunur, çox hallarda isə bu tənliklər qeyri-xətti tənliklərdir. Bu məqsədlə həmin tənlikləri kiçik artımlar verməklə işçi nöqtəsi ətrafında xəttiləşdirməklə praktiki məsələlərin həllinə nail olmaq olar.

Giriş və cıxışa nəzərən iki tərtibli obyektlər üçün tənliyi belə yazmaq olar:

$$\dot{x}(t)=\begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} x(t)+\begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \end{pmatrix} u, \quad y=x_1, \tag{1}$$

Haradakı, $x=(x_1,x_2)^T$ - vəziyyət vektoru, u – idarə siqnalıdır.

Qeyd edək ki, sistemi $\varepsilon_0 \in \{\varepsilon : \sigma > 0\}$ oblastından tarazlıq $\varepsilon = 0$ nöqtəsinə gətirmək üçün *u* idarə siqnalı yalnız bir dəfə, $\varepsilon_0 \in \{\varepsilon : \sigma < 0\}$ oblastında isə iki dəfə dəyişir. Belə hal üçün ikitərtibli obyektlərdə istifadə olunan tənzimləyicinin arxitekturası şəkil 1-də verilmişdir.



Şəkil 1. *İkitərtibli obyektlər üçün tənzimləyicinin arxitekturası.*
Burada, İSFB – idarə siqnalını formalaşdıran blok; DFFB – dəyişmə funksiyasını formalaşdıran blok; 1 – müqayisə elementi; 2 – diferensiallayıcı qurğu; 3 – gücləndiricilər; 4 – kommutator; 5 – açar; 6 – vurma bloku; 7 – siqnium rele.

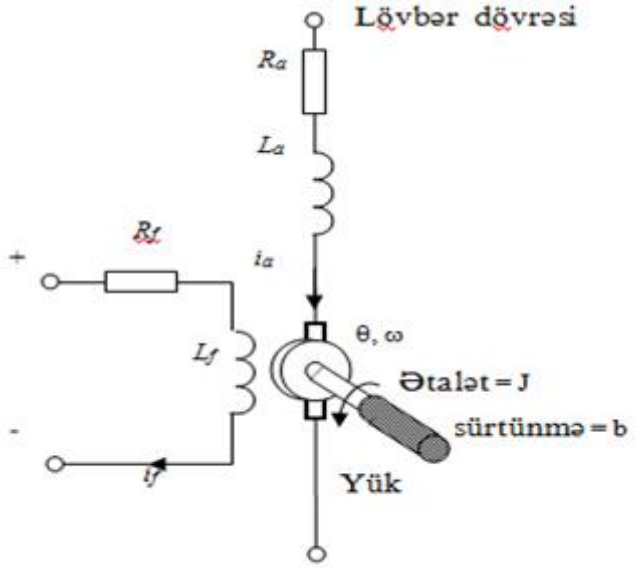
Sabit cərəyan mühərrikləri gəmi elektromexaniki sistemlərində icra orqanı rolunu oynadığından onların idarə olunması çox aktual məsələdir. Bu mühərriklərin tətbiqinin əsas səbəbləri onların lövbərinin kiçik ətalət momentində nisbətən yüksək moment yaratması və fırlanma sürətinin geniş diapazonda səlis tənzimlənə bilməsidir. Bu səbəbdən sabit cərəyan mühərrikləri gəmilərin izləyici sistemlərin icra qurğularında geniş istifadə olunur [3].

Şəkil 2-də gəmidə antenanı hərəkət etdirən sabit cərəyan mühərrikin ekvivalent elektrik sxemi göstərilmişdir. İdarə siqnalı lövbər dövrəsinə verilən i_a cərəyanıdır.

Müəyyən sadələşmələr apardıqdan sonra mühərrikin ötürmə funksiyası belə yazıla bilər [4]:

$$W_M(s)=\frac{K_m/(R_a b+K_b K_m)}{\tau_1 s^2}, \tag{2}$$

burada ekvivalent zaman sabiti



Şəkil 2. *Sabit cərəyan mühərrikinin ekvivalent elektrik sxemi*

$$\tau_1 = \frac{R_a J}{R_a b + K_b K_m}; \tag{3}$$

$K_m = K_b$ - mühərrik sabitidir;

Normalaşdırma aparsaq mühərrikin «θ - i_a» kanalı üzrə ötürmə funksiyasını belə yazmaq olar:

$$W(s) = \frac{b}{s^2}. \tag{4}$$

Burada $b = K_m /(\tau_1(R_a b + K_b K_m)$.

Vəziyyət koordinatlarında yazılmış uyğun differensial tənlik:

$$\dot{x}_1 = x_{2,}$$

$$\dot{x}_2 = bu,$$

burada $x_1 = \theta$ - rotorun dönmə bucağı; $\dot{x}_1 = \omega$ - rotorn bucaq sürətidir, yəni $\omega = d\theta/dt$; $u = i_a$ - lövbər dövrəsinə verilən cərəyan şiddətidir.

Tənliyi sadələşdirmək üçün fərz edək ki, $b \equiv 1$.

Birinci strukturun k_1, k_2 gücləndirmə əmsallarını sistemin tərtibi $n = 2$ olduğu üçün , $a_{11} = a_{21} = a_{22} = 0,\ a_{12} = 1,\ b_1 = 0$, $b_2 = b = 1$ üçün tənliyi aşağıdakı şəkildə yazmaq olar:

$$(k_1, k_2) = \left[\begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} -2h_1 \\ h_1^2 + \omega_1^2 \end{pmatrix} \right]^T. \tag{5}$$

Burada $h_1 = 0$, $\omega_1 = 1$ qəbul edib tərs matrisi hesablasaq, alarıq:

$$(k_1, k_2) = \left[\begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix} \right]^T = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}^T = (1,0). \tag{6}$$

Buradan k_1=1, k_2=0 alınır. Deməli birinci strukturun idarəsi $u = -(k_1, k_2)x = -1 \cdot x_1$ tənzimləmə qanunu şəkildə alınır.

İkinci strukturun k_{11} və c_1 sazlama parametrlərini tapmaq üçün fundamental matrisi hesablayırıq:

$$\Phi(-t) = \begin{pmatrix} \Phi_{11}(-t) & \Phi_{12}(-t) \\ \Phi_{21}(-t) & \Phi_{22}(-t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & -t \\ 0 & 1 \end{pmatrix}. \tag{7}$$

Onda gücləndirmə əmsalı

$$k_{11} = \frac{2}{t_s^2},$$

$s_1 = 0$ xəttinin bücaq əmsalı:

$$c_1 = \frac{2}{t_s}, \quad 0 < t_s < \infty.$$

$s_2 = 0$ dəyişmə xəttinin bucaq əmsalı, $c_2 = -\infty$. Bu o deməkdir ki, ikinci dəyişmə xətti $s_1 = x_1$ ordinat oxu ilə üst-üstə düşür. Fərz edək ki, $t_s = 2s$. Onda idarə qanunu

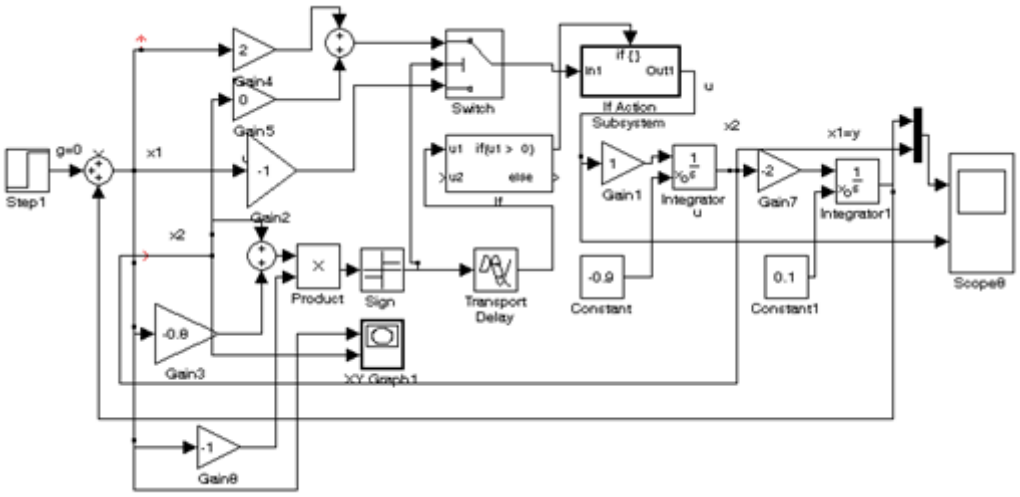
$$u = \begin{cases} -x_1 & s_1 x_1 > 0, \\ 0{,}5x_{1s} = const & s_1 x_1 < 0. \end{cases}$$

Burada dəyişmə xətti $s_1 = x_2 + c_1 x_1, \quad c_1 = 1.$

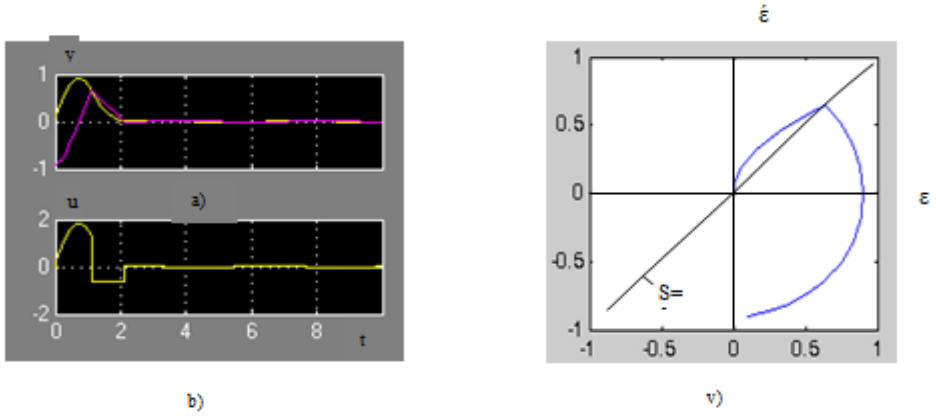
Şəkil 3-də tənzimləmə sisteminin SIMULINK paketində simulyasiya sxemi, şəkil 4-də sistemin finit rejimində dinamik xarakteristikaları göstərilmişdir, $k_1 = 1, \ k_{11} = -0{,}5, \ c = 0{,}61$.

$\theta = x_1, \ \dot{\theta} = x_2$ işarə etməklə normal Koşi formasında tənliyi belə yazmaq olar:

$$\dot{x}_1 = x_2$$
$$\dot{x}_2 = -\alpha x_2 + \chi u.$$



Şəkil 3. *Tənzimləmə sisteminin simulyasiya sxemi*



Şəkil 4. *Tənzimləmə sisteminin dinamik xarakteristikaları*

Burada α = 4,6 s^{-1} antenanın fırlanma sürəti, ; χ = 0,787 rad/(V·s2) - gücləndirmə əmsalıdır [4]. Bu halda

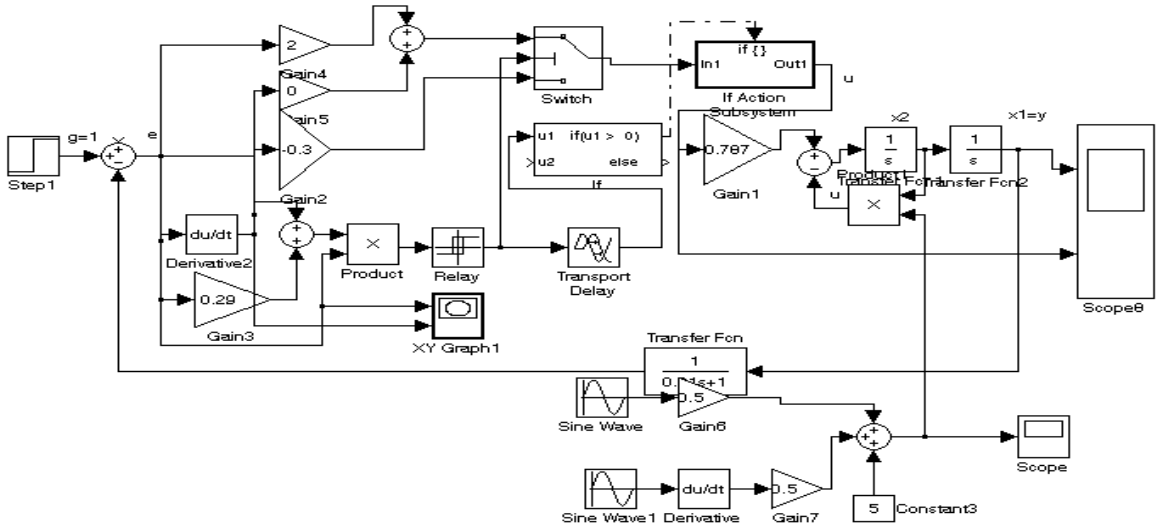
$$\dot{x}_1 = x_2$$
$$\dot{x}_2 = -\alpha x_2 + \chi u.$$
$$k_{11} = \left[bT\left(e^{\varphi_s} - \varphi_s - 1\right)\right]^{-1},$$
$$c_1 = \frac{e^{\varphi_s} - 1}{T\left(e^{\varphi_s} - \varphi_s - 1\right)}.$$

Burada $\varphi_s = t_s / T, \quad b = \chi / \alpha, \quad T = 1/\alpha.$

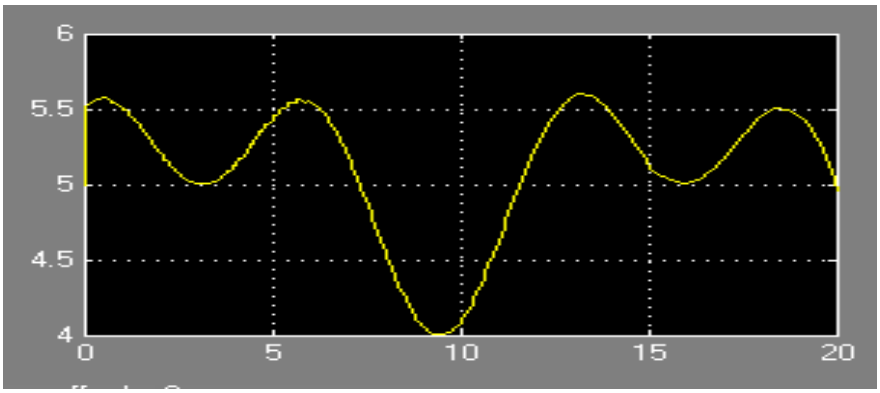
Fərz edək ki, antenanın hərəkət vaxtı t_s = 1 s. Onda finit rejimində $k_{11} = 0{,}2865,\ c_1 = 4{,}825$

Şəkil 5-də antenanın stabilləşdirmə sisteminin sxemi, şəkil 6-da isə sazlama parametrlərinin $k_1 = -2,\ k_{11} = 0{,}3,\ c_1 = 0{,}29$ qiymətlərində fırlanma sürətinin $\chi = 5 + 0{,}5\sin 0{,}5t + 0{,}5\cos t,$ $4{,}0 < \chi < 5{,}6$ qiymətlərində $\chi(t)$ əyrisi, şəkil 7-də isə dinamik xarakteristikaları göstərilmişdir.

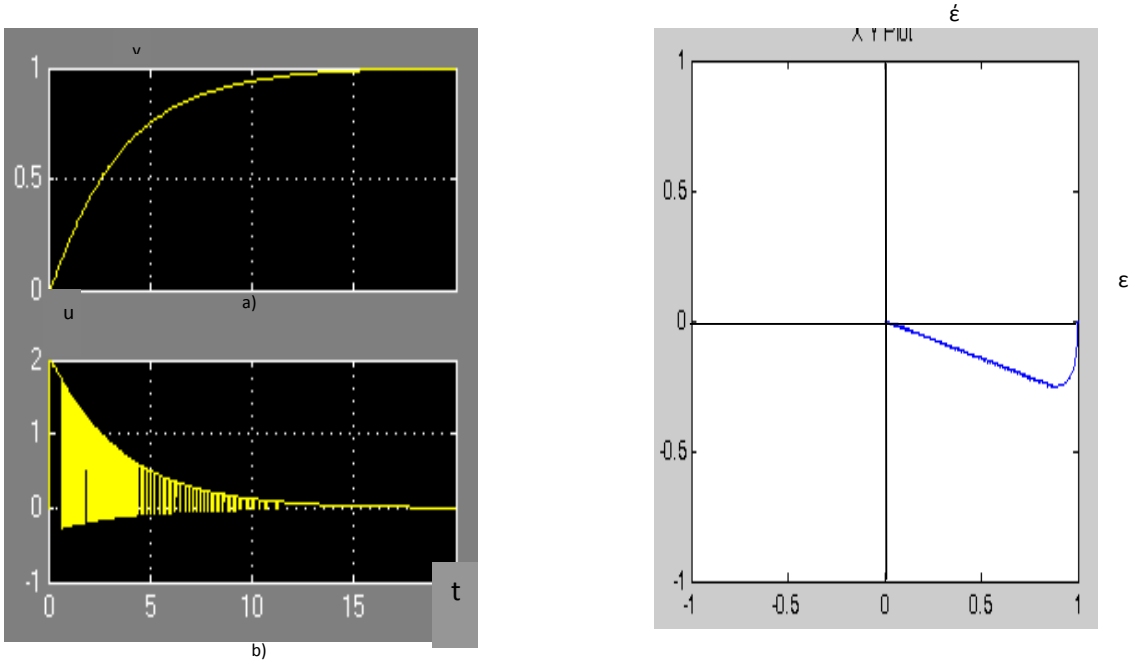
Xarakteristikalardan göründüyü kimi qərarlaşma müddəti t_T =15s olmuş, $g(t) = 1$ qiymətində keçid xarakteristikası öz tapşırıq qiymətinə ifrat tənzimləməsiz çatmışdır.



Şəkil 5. *Antenanın stabilləşdirmə sisteminin sxemi*



Şəkil 6. *Antenanın bucaq sürətinin dəyişmə qanunu*



Şəkil 7. *Antenanın stabilləşdirmə sisteminin dinamik xarakteristikaları*

Nəticə. Məqalədə sonlu vaxtda yekunlaşan keçid prosesi almaq üçün tənzimləyicinin arxitekturası işlənmiş, alınmış ümumi ifadələr ikitərtibli tətbiqi sistemlər üçün sadələşdirilmiş və Matlab/Simulink proqram paketində simuliyasiya sxemləri qurulmuş, dinamik xarakteristikalar alınmış və əsas sintez məsələsi həll edilmişdir.

Sabit cərəyan mühərrikli antenanın fırlanma sürətini tənzimləmək üçün sintez olunan tənzimləyicilərin analitik konstruksiyası aparılmışdır.

Eyni zamanda klassik üsullardan fərqli olaraq idarə siqnalının tezliyini azaltmaqla sistemin dəyişmə xəttinin yaxın ətrafında hərəkətini təmin etmək mümkün olmuş və tarazlıq nöqtəsinin kiçik ətrafında avtorəqslərin meydana çıxmasının qarşısı alınmışdır.

Ədəbiyyat

1. Вагущенко Л.Л., Цымбал Н.Н. Системы автоматического управления движением судна. 3-е изд., перераб. и доп. Одесса: Фенікс, 2007, 328 с.
2. Дороф Р., Бишоп Р. Современные системы управления. М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2004, 832 с.
3. Рустамов Г.А. Синтез адаптивного управления с переменной структурой для организации точечного скользящего движения в условиях параметрической неопределенности. Изв. высш. уч. заведений. Электромеханика, 1990, № 3, с. 52-57.
4. Fərhadov V.Q., Bayramova İ.P. Gəmilərin idarəolunma obyekti kimi təhlili. //Bakı, ADDA-nın Elmi əsəsrləri, 2018, №2 səh.

UOT 567.456

SİLİNDR OYMAQLARI DAXİLİ SƏTHLƏRİNİN DÖZÜMLÜYÜNÜ QİYMƏTLƏNDİRMƏK ÜÇÜN METALLOQRAFİK TƏDQİQATLAR

İsmayılov N.Ş., İsmayılov A.R.

Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası
Az 1000, Bakı şəh., Z.Əliyeva küç., 18
E-mail: nizism@mail.ru

Xülasə. *Silindr oymaqları daxili səthlərinin dözümlüyünü qiymətləndirmək üçün metalloqrafik tədqiqatların nəticələri təhlil olunmuşdur. Müəyyən olunmuşdur ki, lazer emalından sonra silindr oymaqlarının səth qatlarının bərkliyi HV1000...1200 kq/mm^2-a çatır. Boz çuqunların lazer emalı zonasında austenit sahələrinin olması sürtünən işçi səthlərin yeyilməyə davamlılığına müsbət təsir göstərir. Orta dövrlü mühərriklərin silindr oymaqlarının emalı üçün silindrin güzgü səthinin üstəritməklə lazer emalını tətbiq etmək tövsiyə olunmuşdur.*

Аннотация. *Проанализированы результаты металлографических исследований для оценки стойкости внутренних поверхностей цилиндрических втулок. Установлено, что после лазерной обработки твердость поверхностных слоев цилиндровых втулок составляет до HV 1000…1200 кг/мм^2. Наличие аустенитных участков в зоне лазерной обработки серых чугунов оказывает положительное влияние на износостойкость цилиндровых втулок. Рекомендовано внедрение наплавочной лазерной обработки зеркальной поверхности цилиндровых втулок среднеоборотных судовых двигателей.*

Abstract. *Metallographic studies research results are analyzed to assess the persistence of internal surfaces of cylindrical. Found that after laser processing surface hardness tional sectors cylinder bushings up to HV 1000...1200. The presence of austenitic plots in the area of laser machining of gray cast iron has a significant positive impact on polo wear resistance of cylinder. Reko mendo vana introduction naplavochnoj laser processing mirror on top of ness cylinder middle speed ship engines.*

Açar sözlər: *oymaq, dözümlülük, lazer emalı, bərklik, yeyilməyə davamlılıq*

Ключевые слова: *цилиндровые втулки, стойкость, лазерная обработка, твердость, износостойкость*

Key words: *cylinder, resistance, laser treatment, hardness, wear resistance*

Giriş. Məlumdur ki, sürtünmə cütləri detalları işçi səthlərinin nazik qatları fiziki və kimyəvi cəhətdən böyük aktivliyə malikdir [1, 2]. Səth qatı xassələrinə və strukturuna görə əsas materialdan xeyli fərqlənirlər. Sürtünmə zamanı deformasiya prosesində spesifik davranışı səth qatında (SQ) materialın atomlarının xüsusi vəziyyəti ilə əlaqədardır, başqa sözlə, səth qatında atomlar bəzi əlaqələrdən azad olur. Nəticədə bu, sərbəst səth enerjisinin yaranmasına gətirib çıxarır və nazik səthyanı qatda materialın bəzi struktur xüsusiyyətlərinin təzahürünə səbəb olur [2]. Bərk cisimlər sürtünən zaman səth qatlarının dağılmasında həlledici rolu sonrakı dağılmalardan əvvəlki dönməyən plastik deformasiyalar oynayır. Plastik deformasiya səth qatının fiziki-kimyəvi aktivliyini artırır, bundan isə sərhəd qatlarının quruluş və xassələri, habelə sürtünən metallik səthlərin bir-birinə ilişmək imkanı asılıdır.

Məlumdur [3] ki, maşın hissələri işləyən zaman materialın səth qatı plastik deformasiya, sürtünmə istiliyi, fiziki-kimyəvi və mexaniki proseslərin təsirindən dəyişir, bu isə yeyilmə zamanı sonrakı dağılmalara əhəmiyyətli təsir göstərir. Materialın səth qatlarının xassələrinin dəyişməsi kimyəvi, struktur qradiyentinin yaranmasına və deməli, səth qatının bütün dərinliyi boyunca mexaniki qeyri-bircinsliyə gətirib çıxarır.

Məsələnin qoyuluşu. Maşın hissələri toxunan cütlərinin səth qatlarının yeyilməyə dözümlülüyünü yüksəltmək üçün müxtəlif möhkəmləndirmə üsulları tətbiq olunur: sementləmə, azotlama, səthi tablama, üst əritmə və s. Bu üsullar detalların işçi səthlərində dövrü gərginliklərə böyük müqavimətli metastabil struktur almağa imkan verir.

Səthdə belə strukturun formalaşdırılması maşın hissələri və qovşaqlarının istismar xassələrinin yüksəlməsini təmin edir [6]. Daha effektiv struktur austenit-martensit-karbid quruluşuna malik struktur hesab olunur [1,6,9]. Belə struktur ərintini tablandırma temperaturlarından çox sürətlə soyutmaqla alına bilər. Ərintinin böyük sürətlə (10^3...10^6K/s) soyudulması əksər konstruksiya materialları üçün səth qatlarının lazer şüalanması nəticəsində nail oluna bilər.

Məlumdur ki, çuqun ən əlverişli konstruksiya materialıdır və yeyilmə şəraitində işləyən mühərriklərin silindr və ya oymaqları, porşen və porşen həlqələri və s. boz çuqundan hazırlanır. Belə detalların resursları əsasən onların səthinin emalı nəticəsində alınmış işçi xassələrdən asılı olur. Beləliklə, möhkəmləndirici emal əsasən səthin bərkliyinin artırılmasına yönəlməlidir [3,4].

Bununla yanaşı, bərklik göstəriciləri yeyilməyə davamlılığın qiymətləndirilməsi üçün heç də kifayət deyildir [1,7]. Bu onunla əlaqədardır ki, yeyilmə zamanı səth qatının dağılması prosesləri almaz piramidanın sınaq edilən materialın səthinə sıxılması zamanı gedən prosesdən fərqlənir. Yeyilmə prosesini şərti olaraq iki mərhələdən ibarət təsvir etmək olar: prosesin birinci mərhələsi birmənalı olaraq metalın bərkliyi, ikincisi isə onun strukturu ilə əlaqədardır.

Dözümlülüyün qiymətləndirilməsi. Abraziv yeyilməyə dözümlülüyün öyrənilməsi 201 markalı profilometr-profiloqraf cihazında aparılmışdır. Nümunələr predmet stoluna qoyulmuş və bərkidilmişdir. ПМТ-3 bərklik ölçəninin tutqacı almaz piramida ilə cihaza bərkidilmiş və nümunələrə nəzərən 1N yüklənmədə 10mm/dəq. sürətlə hərəkətə gətirilmişdir. Nümunələrin şliflərinə silindrin tərəflərinə müxtəlif bucaqlar altında cızıqlar çəkilmişdir. Metalloqrafik tədqiqatlar Neofolt-32, MIM-8M və PƏM-200 mikroskoplarında aparılmışdır. Çuqunun mikrostrukturunun faza analizini rentgen difraktometriya metodu ilə "DRON-1" cihazı və fotometodla УРС-60 qurğusunda, eləcə də nüvə-qamma-rezonanslı analizatorda (NQR) aparılmışdır [5,7]. Spektrlərin qeydə alınmasını müntəzəm təcilli rejimdə işləyən çoxkanallı LP-4840 analizatorunda spektrlərin yazılması məlum metodika əsasında aparılmışdır.

Məlumdur ki, metalın səth qatlarında gedən proseslərə təsir edən ən vacib faktorlardan biri temperaturdur. Yüksək təzyiq və sürətlərdə materialların yeyilməsi kontakt sahələrində temperaturun yüksəlməsi ilə əlaqədardır. Temperaturun yüksəlməsi sürtünmə səthində müxtəlif fiziki-kimyəvi təsirlərə səbəb olur. Səthdə qızmanın lokal xarakteri metalın səthinin ayrıca sahələrində yüksək həcmi gərginliklərin yaranması ilə əlaqədardır, bunlar isə metalın səth qatlarında əhəmiyyətli struktur dəyişmələrinə səbəb olur.

Bununla əlaqədar olaraq aparılmış işdə möhkəmləndirilmiş qatın mikrostrukturu və faza tərkibi, boz çuqunun yeyilməyə dözümlülüyü və cızılmaya müqaviməti öyrənilmişdir. Tribotexniki sınaqlar 2070 СМТ-1 sürtünmə maşınında disk-kolodka sxemi üzrə aparılmışdır. Bu sxem silindr oymaqları və porşen həlqələrinin sürtünən səthlərində müşahidə olunan dağılmaların əsas növünü və sürtünən cütlərin qarşılıqlı təsirini daha dolğun səciyyələndirir [6].

Qalınlığı 10 və diametri 50 mm olan disklər SÇ 25 boz çuqunundan iki üsulla hazırlanmışdır: qum-gil qəlibdə və mərkəzdənqaçma tökməsi ilə. Kontrcisim qismində 6ЧЗН 36/45 orta dövrlü mühərrikin mikrobərkliyi HV 200...220kq/mm^2 olan perlitli çuqundan hazırlanmış nümunələr istifadə olunmuşdur. Kolodkanın disklə kontakt sahəsi 100mm^2 olmuşdur. Diskin mexaniki emalı Ra=0,63...0,8mkm, kolodkanınkı isə Ra=1,25...1,6mkm kələkötürlüyədək pardaxlamaqla həyata keçirilmişdir. Emalın keyfiyyətinə sürtünən səthlərin kələkötürlük göstəricisinə görə 201 profoloqraf-profilometrində nəzarət aparılmışdır. Sürtünmə əmsalı induksiya vericisi vasitəsilə qeydə alınmış və КСП-4 elektron potensiometri ilə yazılmışdır. Cızılmağa müqavimət sürtünmə əmsalı və temperaturun kəskin artımına görə qiymətləndirilmişdir.

Tədqiqatlar bir neçə mərhələdə aparılmışdır. ***Birinci mərhələdə*** sürtünən cütlərin yeyilməyə dözümlülüyə sınaqları kontakt zonasına sulu-yağlı emulsiyanın verilməsi ilə aparılmışdır.

Yeyilmənin intensivliyi kriteriyası qismində nümunələrin kütləsinin azalması qəbul edilmişdir. Nümunələrin lazer emalını gücü 1700Vt olan "Kometa -2" lazer qurğusunda (fasiləsiz CO_2-lazeri) aparılmışdır. Nümunələrin işçi səthinə lazerin şüa enerjisinin udulma əmsalının artırılması üçün karbonlu və oksidli örtük çəkilmişdir. Möhkəmləndirmənin texnoloji rejiminin seçilməsi zamanı lazer şüasının yerdəyişməsinin xətti sürəti və şüalanma gücü bu hədlərdə dəyişmişdir: *V=4,5...10mm/s, P-500...1700Vt.* Lazer emalına uğradılmış nümunələrin işçi səthlərində eni 2...12mm arasında və addımı 2...5mm intervalında, emal olunan səthin oxuna 0, 30, 45 və 90^0 bucaq altında yerləşmiş möhkəmlənmiş zolaqlar müşahidə olunmuşdur.

Sınaqlar üçün hazırlanmış nümunələr səthlərin uyğunlaşması üçün 10 dəq. ərzində qabaq-cadan 800N yük altında 0,2m/s sürətlə işlədilmişdir Sınaqlar başlanmazdan əvvəl nümunələr 150^0C-də 2 saat müddətində $M10B_2$ yağı ilə hopdurulmuş, sonra isə Б-70 benzinində (QOST 1012-82) yuyulmuş və termoşkafda 120^0C-də 10 dəq. ərzində qurudulmaqla otaq temperaturunadək soyudul-muşdur. Nümunələrin xətti yeyilməsini öyrənmək üçün süni bazalar metodu tətbiq olunmuşdur [6]. Nümunələr 10^{-4}q dəqiqliklə BAP-200 markalı analitik tərəzidə çəkilmişdir.

İkinci mərhələdə sınaqlar $M10B_2$ yağlayıcısını (QOST 8581-78) sürtünmə zonasına nasosun köməyilə damcı üsulu ilə verilməklə aparılmışdır. Bu üsul yağın diskin altında qoyulmuş vannadan diskin kolodka ilə kontakt zonasına fasiləsiz sirkulyasiyasını təmin edir. Hər bir sürtünmə cütünün sınaqları 0,2m/s sürüşmə sürəti və diskret dəyişən 800-1200 N xüsusi yükdə aparılmışdır. Sürtünmə cütü kimi silindr oymağı və porşen həlqəsi götürülmüşdür. Müəyyən sayda sınaqlardan sonra nümunələrə göstərilən təzyiq müntəzəm olaraq aptırılmışdır. Sınaqlar üçün hazırlanmış nümunələr ilkin olaraq 10 dəq ərzində 800N yükləmədə 0,2m/s sürətlə uyuşdurulmuşdur. Sonra kontakt zonasına yağın verilməsi dayandırılmış və proses quru sürtünmə mərhələsinə adlamışdır. $6500 \cdot 10^2$ dövrdən sonra yükləmənin 1000N-dək artırılması nəzərdə tutulmuşdur.

Sınaqların son mərhələsində nümunələr $7500 \cdot 10^2$ dövr işlədikdən sonra yük 1200 N-a qədər artırılmışdır. Bu yük altında nümunələr sürtünən səthlərin ilişmə anınadək sınaq edilmişdir. Cızıqlanma sürtünmə momentinin kəskin artması ilə qeydə alınmış və ondan sonra sınaqlar dayandırılmışdır.

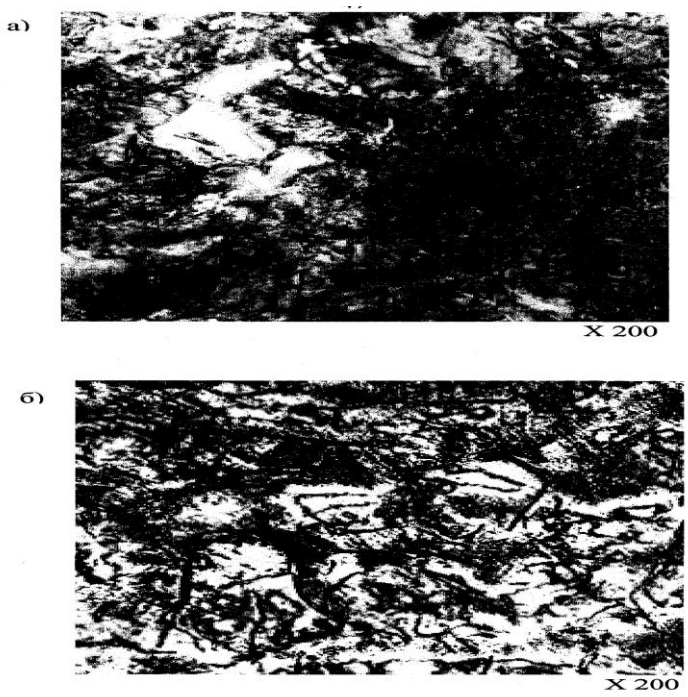
Metalloqrafik tədqiqatlar. Lazer emalından sonra boz çuqunun möhkəmləndirilmiş sahəsində bir neçə zona müşahidə olunur: ərimiş və bərk fazadan tablanmış zonalar. İkinci qat isə keçid zonası və ya tabı alınmış zonadır. Termiki təsir zonası (TTZ) ancaq bərk fazadan tablanma zonasından (BFT) ibarətdir.

S25 markalı boz çuqunun fasiləsiz CO_2-lazer emalından əvvəl və sonra mikrostrukturu şək. 1-3-də göstərilmişdir. Göründüyü kimi, əritməklə emal zamanı qrafit ərintidə həll olur və soyuduqdan sonra ərimə zonasında ağ çuqun strukturu formalaşır. Ağ çuqunda kristallaşma austenitin ilkin dənələrinin ayrılması ilə başlayır, bundan sonra təxminən 1147^0C ətrafında evtektika - ledeburitin yaranması başlayır. Ərimə zonasının strukturunda austenit və dendrit quruluşa malik sementitin xırda dispers qarışığı müşahidə olunur (şək. 3).

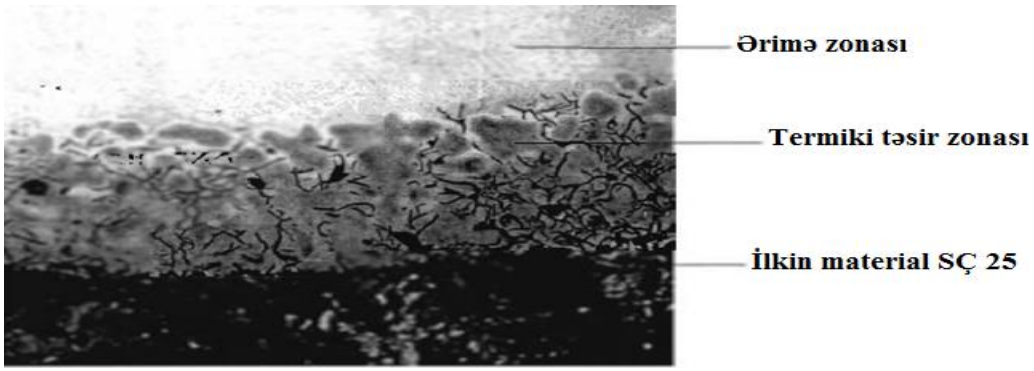
Soyutma sürəti yüksək olduqda, izafi austenitin kristallaşma prosesi ləngiyir və bütün ərinti ledeburitin yaranması ilə evtektik bərkiyir. Bu ledeburitin xüsusiyyəti odur ki, demək olar ki, tamamilə sementitdən ibarət olur. Deməli, kristallaşma evtektik mexanizmə yaxın bir mexanizmlə gedir. Sementitin böyük miqdarı lazer təsiri zonasında (LTZ) səth qatlarının yüksək bərkliyini təmin edir. Lazer emalı zonalarının strukturu işıqlı və zolaqlı elektron mikroskopların köməyilə öyrənilmişdir [7]. NQR- spektrləri səth qatının qalınlığı 1...5 mkm olan səpələnmiş nümunədə 14,4 kev enerjili ikinci γ-kvantlar və 6,3 kev enerjili rentgen şüalarının qeydə alınması zamanı ölçülmüşdür.

Spektrlərin ölçülməsi üçün aktivliyi 30m Küri olan misin matrisində Co_{57} γ- kvantların mesbanrov mənbəyi istifadə olunmuşdur. Lazer emalı zonasında çuqunda karbonun, xromun və manqanın paylanmasını yüngül elementlərin analizi üçün antikontaminasion quruluşla MS-46 mikrorentgenospektral analizatorda təyin olunmuşdur. Etalonlar qismində karbonu təyin etmək

üçün qrafit və П-2 ərintisi (3,5%C, 0,32%Mo, 0,66%Cu, 0,6%N, 1,00%Mn, 0,60%Cr, 0,087%S, 0,47%P, 3,08%Si, 0,12%Al) [7,8].



Şəkil 1. *Boz çuqunun fasiləsiz lazerlə emaldan əvvəl və sonra mikrostrukturu*



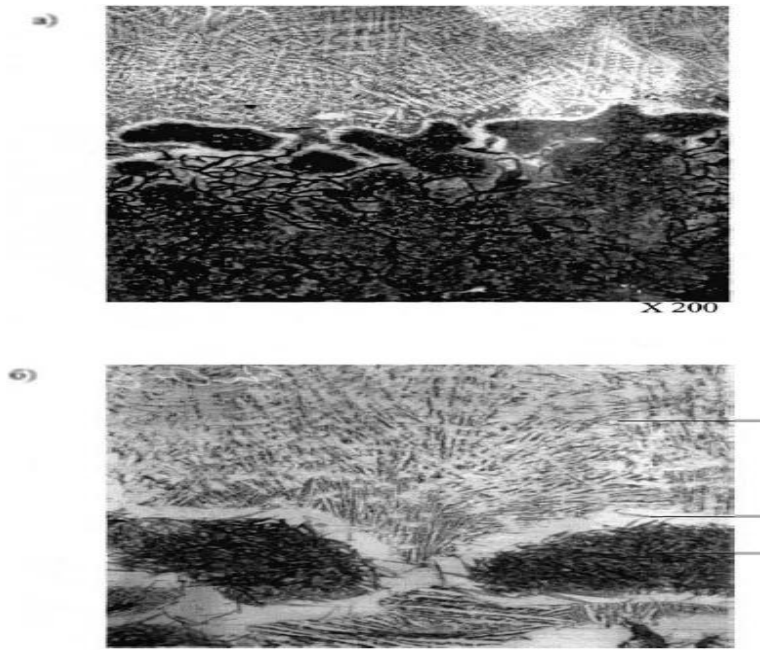
Şəkil 2. *Boz çuqunun fasiləsiz lazer emalından sonra mikrostrukturu*

Nəticələrin müzakirəsi. Mikrostruktur analiz vasitəsilə müəyyən olunmuşdur ki, lazer emalı nəticəsində yaranan strukturlar yüksək qızma və soyutma ($10^3...10^7 S$) zamanı izotermik tablandırma ilə müqayisədə ciddi fərqlənir. Lazer emalından sonra strukturda iki aydın təzahürlü zonalar müşahidə olunur.

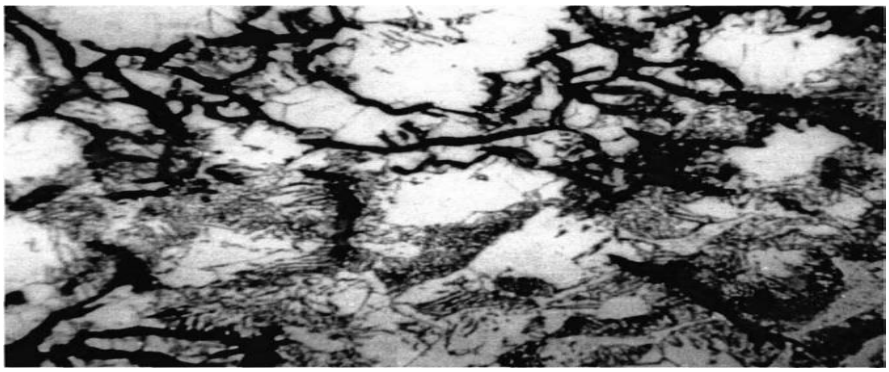
Birinci zonada (soyutma maye haldan gedir) HNO_3–in 4%-li spirtli məhlulunda bu istiqamətdə dendritlərin kristallaşmasını müəyyən edən sementitin evtektik dəstəsi şəkilində səthə $8...15^0$ bucaq altında yönəlmiş aşılanmış çökəkliklər sırası müşahidə olunur.

Ərintinin adi sürətlə soyudulması zamanı gedən kristallaşmada sütunvari kristallar zonası və oturma boşluğu müşahidə olunur, bunlar lazer emalından sonra müşahidə olunmur. Ərimə zonasının mərkəzi hissəsinə yaxınlıqda dendritlərin kristallaşması müxtəlif istiqamətdə gedir, bu isə birinci sementit üçün xarakterikdir. Maye metalın bərk faza ilə ayrılma sərhəddində dendritlərin istiqaməti ayrılma səthinə əksərən perpendikulyardır və onların ölçüləri mərkəzi hissədə olduğundan bir neçə dəfə böyükdür (şək. 3). Ərinmiş zonada adi izotermik emaldan sonra boz çuqunun strukturunda

müşahidə olunan qrafit birləşmələri yoxdur (şək. 4). Qrafit təmamilə maye metalda həll olmuş və onu karbonla zənginləşdirmişdir.



Şəkil 3. *Ərimə zonasının strukturu: 1 - austenit dənələri, 2 - sementitin xırda dispers qarışığı, 3 – qrafit topaları*



Şəkil 4. *İzotermik emaldan sonra boz çuqunun strukturu*

Ərimə zonasında karbonun yüksək miqdarı mikrorentgenspektral analizlə təsdiqlənir. 0,05mm dərinliyədək karbonun qatılığı hiss ediləcək dərəcədə artır, görünür bu, səthin karbon tərkibli boyadan doyması və qrafitin qismən əriməsi ilə əlaqədardır. Hesablamalar göstərir ki, bu zonada ~7%-dək C olur. Ərimə zonasında xrom və manqanın paylanması təcrübi olaraq eynidir. Lazer emalı zonasının səthinə silisiumun cüzi likvasiyası müşahidə olunur. Ərimiş zonada səth qatlarının bərkliyi HV 1000...1200-ə çatır və şüanın yerdəyişmə sürəti və onun gücündən asılıdır [8,9]. Maye metalın kristallaşmasının əriməmiş metalla görüşmə sərhəddində müəyyən məsaməlilik yarana bilər; məsamələrin sferik forması çuqunun kristallaşması zamanı adsorbsiya olunmuş qrafit hissəciklərinin qazların ayrılması nəticəsində yarandığından xəbər verir. Termiki təsr zonası martensit, austenit və bərkliyi HV 800...1000 kq/mm^2 olan lövhəli qrafitdən ibarətdir.

Nəticə. Beləliklə, tədqiqatların nəticələrinə görə aşağıdakı qənaətə gəlmək olar. Lazer emalından sonra silindr oymaqlarının səth qatlarının bərkliyi HV1000...1200 kq/mm^2 çatır. Boz çuqunların lazer emalı zonasında austenit sahələrinin olması sürtünən işçi səthlərin yeyilməyə

davamlılığına müsbət təsir göstərir. Orta dövrlü mühərriklərin silindr oymaqlarının emalı üçün silindrin güzgü səthinin üstəritməklə lazer emalını tətbiq etmək tövsiyə olunur.

Ədəbiyyat

1. Еднерал Н.В. Поверхностная лазерная обработка стали У10. Технология автомобилестроения, 2010, N5, 27 стр.
2. Ершова Л.С. О механизме перекристаллизации при лазерной обработке //МиТОМ, 2013, N3, стр. 34-40
3. Ильин В.М. Влияние лазерного упрочнения на стойкость и надёжность режущего инструмента.//Изв. Вузов, Машиностроение, 2012, N 7, стр. 11 -115
4. Кондратьев Н.Н. Отказы и дефекты судовых дизелей. М., Транспорт, 2005, 152 стр.
5. Коваленко В.С., Дятел В.П. Лазерная обработка отверстий. Машиностроитель. 2008, 323 стр.
6. Коваленко В.С., Котляров В.П., Дятел В.П. Справочник по технологии лазерной обработки. К: Техника, 2005, 167 стр.
7. Костин А.К., Пугачёв Б.П., Кочинев Ю.И. Работа дизелей в условиях эксплуатации. Л., Машиностроение, 1989, 284 стр.
8. Костецкий Б.И., Ноювский И.Г., Караулов А.К. Поверхностная прочность материалов при трении. К., Техника, 1996, 296 стр.
9. Котляров В.И. Прогрессивные технологические процессы лазерной обработки материалов. Киев: Знание, 2003, 168 стр.

УДК 621

ОСОБЕННОСТИ СИНТЕЗА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ОТДЕЛОЧНО-УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ МЕТОДОМ ГРАФОВ

[1]Костенко А.В., [2]Михайлов А.Н., [2]Лукичев А.В.

[1]Камчатский Государственный Технический Университет
Россия, г. Петропавловск-Камчатский
[2]Донецкий национальный технический университет
г. Донецк
E-mail: andr13kost@list.ru, mntk21@mail.ru, a_lukichov@mail.ru

Аннотация. *В статье описана особенность синтеза технологических процессов отделочно-упрочняющей обработки, связанных с нанесением покрытия на поверхности деталей. Показаны особенности реализации методов нанесения покрытий и их применения. Приведен универсализированный граф технологического процесса нанесения покрытий. Показаны примеры синтеза таких способов нанесения покрытий, как сульфидирование, фосфатирование, хромирование и никелирование.*

Abstract. *The article describes the feature of the technological processes synthesis of finishing and strengthening treatment of coating on the surface of parts. The implementation features of coating methods and their application are shown. The universal graph of the coating process is given. Examples of the coating methods synthesis such as sulphidation, phosphating, chroming and nickel plating are shown.*

Ключевые слова: *отделочно-упрочняющая обработка, нанесение покрытия, граф, универсализированный подход, синтез технологического процесса.*

Key words: *finishing and strengthening treatment, coating, graph, universal approach, process synthesis.*

Введение. Судовые дизели во многом определяют работоспособность всего судна, в связи с чем, перед технологией машиностроения ставятся задачи поиска новых подходов к изготовлению деталей этих судовых энергетических установок.

Отделочно-упрочняющая обработка (ОУО) самым широким образом используется при производстве деталей судовых дизелей, представляя собой целый набор методов, особенности которых известны и приведены в большом количестве научных и прикладных работах. Однако, развитие существующих и создание новых технологических процессов, в частности, на основе функционально-ориентированного подхода (ФОП), требуют переосмысления особенностей использования методов ОУО с целью их использования на основе ФОП.

Целью статьи является универсализация создания технологических процессов (ТП) ОУО деталей судовых дизелей методом графов.

Основная часть. Одним из перспективных методов ОУО для их использования на основе ФОП являются методы, связанные с нанесением покрытия на поверхности деталей, которые можно разделить на три группы:

– осаждение химической реакцией: сульфидирование, фосфатирование;

– электролитическое осаждение: хромирование, никелирование;

– напыление покрытий: плазменное напыление; детонационное напыление, электродуговое напыление, лазерное напыление.

Существует низко-, средне- и высокотемпературное сульфидирование. В настоящее время среднетемпературное сульфидирование нашло применение за рубежом, в частности, в Англии. Так, на заводах фирмы Imperial Chemical lndustrice Limilad сульфидирование применяется для обработки большого количества деталей: гильзы блока, поршневые кольца, коромысла клапанов, толкатели клапана и др [1].

Процесс применяется для предотвращения задира поверхностей в начальный момент работы деталей. Вместе с тем сульфидирование способствует снижению усталостных разрушений, косвенно уничтожая причины, создающие концентрацию напряжений на поверхности деталей. Сульфидированные детали, например, чугунные толкатели клапанов автомобильного двигателя, работают отлично, так как у них устраняются местные очаги усталостного разрушения на поверхности. С этой же целью производится сульфидирование коленчатых валов, поршней, поршневых колец, работающих при высоких температурах, когда происходят затруднения в подаче смазки. Также сульфидирование является одним из эффективных средств против заедания, при котором повышению износостойкости способствует возникновение тонкой сульфидной пленки на поверхности трения [2].

В процессе фосфатирования на поверхности детали образуется защитная пленка (толщиной 2…5 мкм), обладающая высокими антикоррозионными и антифрикционными свойствами. Фосфатные пленки помимо повышенной коррозийной стойкости обладают еще целым рядом ценных свойств: электроизоляционные, маслоемкостью и адгезионной способностью.

Часть гильз цилиндров подвергается фосфатированию. Цель фосфатирования – исключение прижогов в паре трения «кольцо-гильза цилиндра» на этапе приработки и в экстремальных режимах эксплуатации двигателя. При возникновении прижогов двигатель за 50…60 часов приработки может потерять более половины своего будущего моторесурса. Эта проблема особенно актуальна для высокофорсированных двигателей [3].

Для восстановления прецизионных поверхностей деталей топливной аппаратуры наиболее широкое распространение получило пористое хромирование благодаря удовлетворительной прирабатываемости гальванического хрома к сопряженным нехромированным поверхностям и высокой износостойкости [4].

Поршни, работающие в сложных эксплуатационных условиях, требуют восстановления размеров или замены через определенный период отработки в двигателе. После износа появляется возможность восстановления их с помощью использования технологии нанесении химического никеля. В ряде случаев нанесение никелевого покрытия позволяет заменить нанесенный ранее на деталь слой гальванического хрома [5].

При восстановлении и ремонте деталей цилиндро-поршневой группы, а также при их изготовлении, большой практический интерес вызывают методы нанесения износостойких покрытий газотермическими способами (газопламенное, плазменное, детонационное напыление, электродуговая металлизация), каждый из которых имеет свои достоинства и недостатки [6].

Указанные выше методы создания пленки на поверхности детали позволяют реализовать требуемые параметры качества поверхностного слоя (ПС), определяющие необходимые свойства – шероховатость, долговечность, коэффициент трения, противокоррозионные свойства и т.д. Следует отметить, что эти методы, в особенности плазменное, детонационное, лазерное напыление, позволяют формировать на поверхности детали ПС с заданными параметрами качества, что является отличительной особенностью ФОП.

Например, цилиндровая втулка, особенности эксплуатационных условий которой были рассмотрены в работе [7], что позволило выделить несколько функциональных элементов на разных уровнях глубины технологии. Это, в свою очередь предопределяет особенности технологических воздействий, зависящих от эксплуатационных функций.

Т.е. различные функциональные элементы втулки должны обладать различными свойствами. Например, если наружная поверхность втулки должна обладать, в первую очередь, высокой кавитационной и эрозионной стойкостью при сравнительно низких температурах, то внутренняя поверхность – обладать износо-, задиро- коррозионной стойкостью при высоких температурах. Один из путей решения проблемы совмещения отличающихся свойств разных поверхностей одной втулки – внутреннюю и наружную поверхности цилиндровой втулки изготовить из различных материалов [8].

Для математического описания протекания ТП и отдельных технологических операций используют математический аппарат, использующий положения теорий множеств и графов.

Представим ТП нанесения покрытия в виде графа G (T, A): T – это множество вершин графа – элементы (операции) ТП; A – упорядоченные пары вершин – отношения между элементами (операциями). В графе ТП отношения являются ориентированными, что изображается в виде дуг со стрелками и означает, что начальная вершина каждой последующей цепи маршрута должна совпадать с конечной вершиной предыдущей дуги, т.е. «движение» возможно только в направлении стрелки.

На рис. 1 представлен универсализированный граф ТП нанесения покрытий на основе ФОП, при этом: t_{ij} – вершины графа – возможные операции; a_{ij} – дуги (ориентированные ребра) отношения между операциями технологического процесса ОУО.

Используя представленный на рис. 1 граф возможно составление графов для конкретных методов ОУО. Приведем структурные варианты, составленные на основе универсализированного графа ТП нанесения покрытий на основе ФОП. На рис. 2, а показан граф состава операций ТП фосфатирования поверхности детали, а на рис. 2, б – граф состава операций ТП сульфидирования поверхности детали.

Ниже приведем граф состава операций ТП хромирования поверхности детали (рис. 3, а) и граф состава операций ТП никелирования (рис. 3, б) поверхности детали.

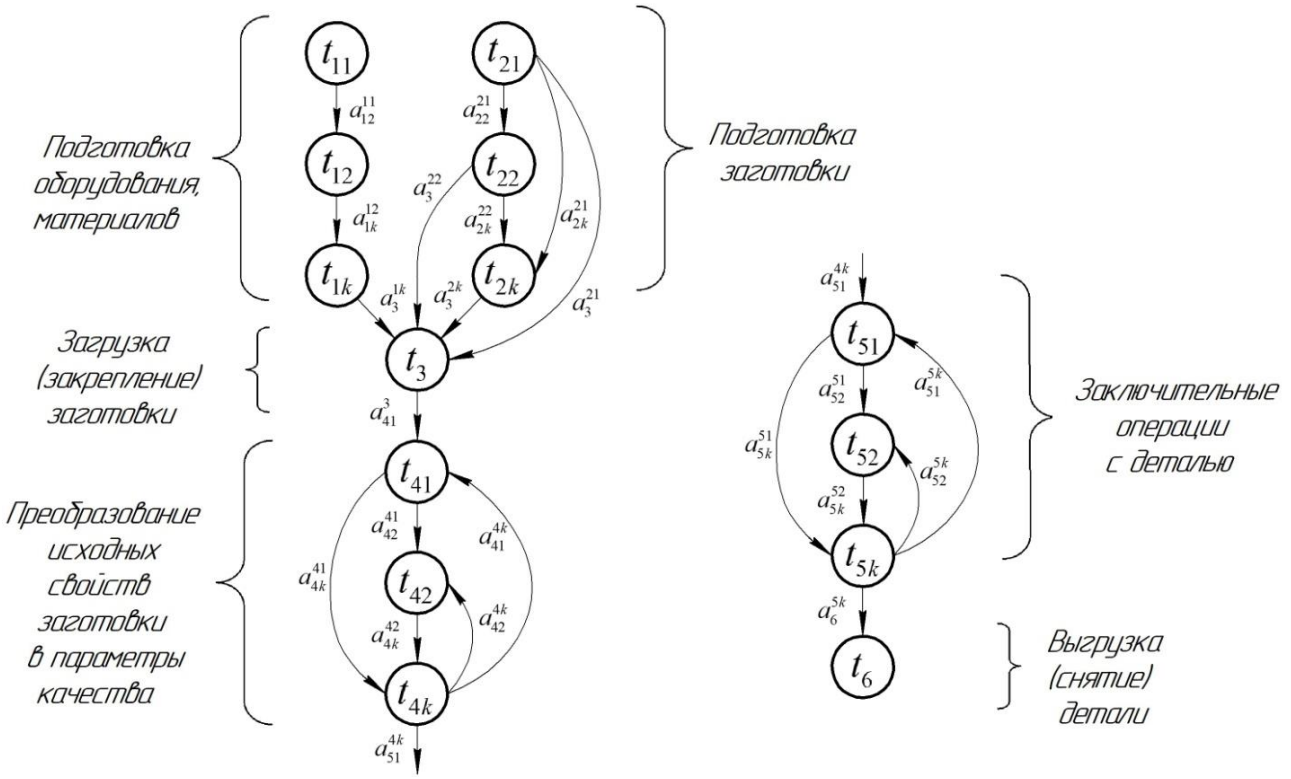


Рис 1. *Универсализированный граф ТП нанесения покрытий на основе ФОП*

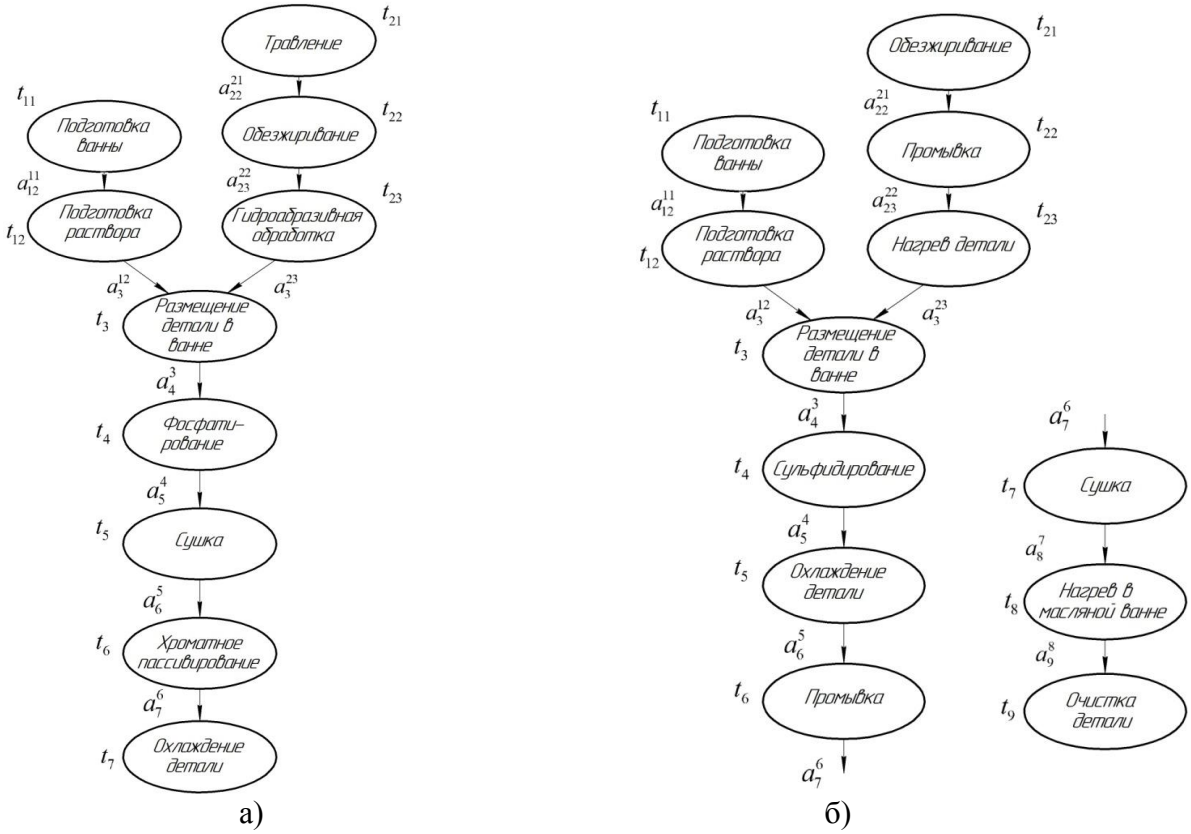
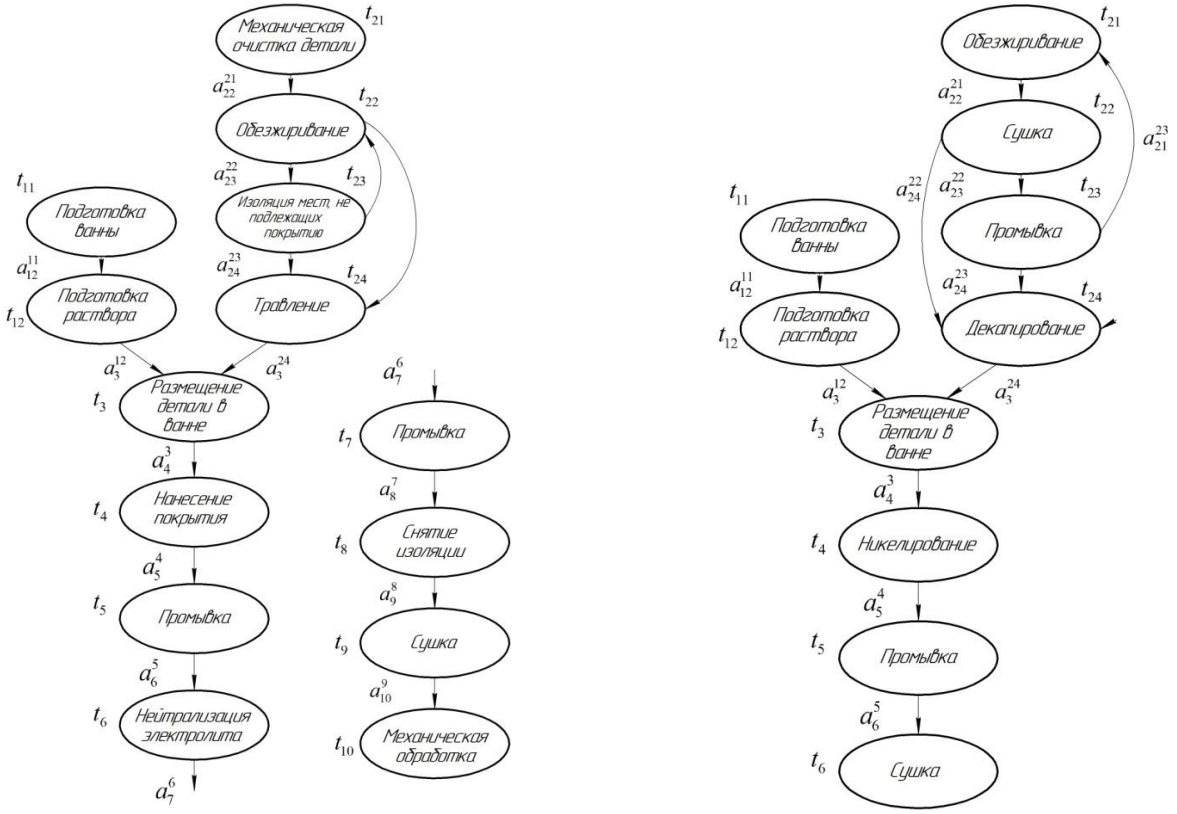


Рис. 2. *Структурные варианты операций:*
а) фосфатирования поверхности детали; б) сульфидирования поверхности детали.



а) *б)*

Рис. 3. *Структурные варианты операций:*
а) хромирования поверхности детали; б) никелирования поверхности детали.

Вывод. Таким образом, используя универсализированный подход к созданию ТП ОУО можно синтезировать различные варианты ТП для методов ОУО, представляющих собой нанесение покрытия на поверхность детали различными способами. Применение подхода при разработке технологических процессов производства деталей судовых дизелей и других агрегатов позволит создавать изделия с заданными параметрами качества, реализующими необходимые эксплуатационные свойства деталей.

Литература

1. Процесс сульфидирования [Электронный ресурс]. – URL: http://техноинжениринг.рф (дата обращения: 14.03.2019).
2. Хлебунов С.А. Структура и свойства антифрикционных материалов на основе железо-серных микрокомпозитов : диссертация... канд. техн. наук : 05.02.01 / С.А. Хлебунов. – Ростов-на-Дону, 2007.161 с.
3. Отличительные особенности гильз производства ООО «Мотордеталь-Конотоп» [Электронный ресурс]. – URL: http://www.agrosouz-saratov.ru/articles/1021.html (дата обращения: 14.03.2019).
4. Леонтьев Л.Б. Повышение надежности прецизионных деталей топливной аппаратуры судовых дизелей технологическими методами / Леонтьев Л.Б., Леонтьев А.Л. // Судостроение. 2011. № 3. с. 40-41.
5. Особенности восстановления поршней из сплавов алюминия автотракторной техники / Скрябин В.А., Репин А.С., Суменков С.В., Иванов А.Г. // Успехи современного естествознания. 2009. №3. с. 20-22.

6. Матвеев Ю.И. Повышение долговечности деталей судовых дизелей с использованием плазменного напыления и лазерной обработки: диссертация… доктора техн. наук : 05.08.04 / Ю.И. Матвеев. Нижний Новгород, 2003 329 с.
7. Костенко А. В. Синтез структуры функционально-ориентированного процесса изготовления цилиндровых втулок на основе анализа работы судовых дизелей / А. В. Костенко // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2017. Т. 9. № 1. с. 176-186.
8. Петров С.В. Универсальные полуавтоматы для плазменного напыления композиционных защитных покрытий / Петров С.В., Коржик В.Н. Никитюк Ю.А. [Электронный ресурс]. URL: http://plazer.com.ua/docs/pdf/universal_semiautomat.pdf (дата обращения: 14.03.2019).

УДК 629.5.061.17+621.313

РАСЧЕТ И ВЫБОР ПОДРУЛИВАЮЩИХ УСТРОЙСТВ МОРСКИХ СУДОВ

[1]Рак А.Н., [1]Корощенко А.В., [2]Капанадзе Г.А.

[1]Донецкий национальный технический университет
[2]Донецкий национальный университет
г. Донецк, Украина
E-mail: metod@donntu.org

Аннотация. *В статье показана актуальность использования подруливающих устройств на крупных судах морского флота. Проанализированы существующие методики расчёта и выбора подруливающих устройств. При анализе режимов работы подруливающего устройства предложено представлять его в виде горизонтального осевого насоса. Статья будет полезна не только электромеханикам, но и лицам командного состава, занимающимся их эксплуатацией, техническим обслуживанием и ремонтом подруливающих устройств.*

Abstract. *The relevance of the bow-thrusters usage at the large vessels of navy is shown in article. The existing calculation procedures and the choice of the bow-thrusters are analyzed. In the operating modes analysis of the bow-thruster it is offered to present it in the form of the horizontal axial pump. Article will be useful not only for electricians, but also for the command personnel, engaged in their operation, maintenance and repair of the bow-thrusters.*

Ключевые слова: *подруливающее устройство, асинхронный двигатель, горизонтальный осевой насос, режим работы, класс изоляции*

Key words: *bow thruster, stern thruster, induction motor, controllable pitch, horizontal axial pump, operating mode, insulation class*

Введение. В настоящее время одним из распространенных средств управления судами не только морского, но и речного флота, являются подруливающие устройства (ПУ). Их применение обусловлено все возрастающей интенсивностью движения судов в проливах, портах и реках, возле буровых платформ и других морских объектов при все возрастающих требованиях к обеспечению безопасности судоходства. Поэтому сейчас практически нет судов, на которых бы не устанавливались средства активного управления (САУ) для улучшения управляемости на малых ходах. Кроме того, оснащение судов САУ позволяет экономить средства на привлечение буксиров в морских портах.

На многих судах могут применяться одновременно несколько ПУ, при этом они могут устанавливаться как в носовой, так и в кормовой части судна. Количество ПУ на буровых платформах и судах добычи может достигать восьми и более единиц.

Как правило, ПУ на судах уже установлены, и поэтому экипажи судов занимаются только их технической эксплуатацией (ТЭ). В п. 2.1.3 ПТЭ [1] указывается, что ответственность за ТЭ судна несет капитан. Ответственность за ТЭ судовых технических средств, систем, приводов и механизмов палубных устройств (СТСиК) несет старший/главный механик (далее – старший механик). Ответственность за ТЭ конкретных СТСиК несут лица командного состава (члены экипажей судов), в чьем заведовании они находятся. Ответственность за техническое использование судна (ТИ), СТСиК несет выполняющий свои обязанности вахтенный персонал.

Но в целом ряде случаев, например, при решении оптимизационных задач, поскольку на ПУ одного и того же типоразмера могут быть установлены электродвигатели разной мощности, а также для правильной ТЭ, необходимо обладать большим объемом знаний и информацией по данному вопросу.

Целью нашего исследования является ознакомление не только электромехаников (ЭМХ), но и лиц командного состава из числа экипажей судов, занимающихся эксплуатацией ПУ при отсутствии ЭМХ. В своих исследованиях будем руководствоваться только отечественной нормативно-технической документацией.

Основная часть. В соответствии с рекомендациями [2] мощность ПУ транспортных судов (за исключением танкеров и паромов) при отсутствии каких-либо данных можно определить:

$$P_{ПУ} = 40 \cdot D^{0,8}, \tag{1}$$

где: D – дедвейт судна, тыс.т.

Для проверки соотношения (1) рассмотрим контейнеровоз «Mathilde Maersk» вместимостью 16000 TEU. Его основные технические характеристики приведены в [3] и табл.1.

Таблица 1

Технические характеристики судна

Название судна	Mathilde Maersk
Дата закладки киля	22.09.2008
IMO №	9359052
Официальный №	D. 4253
Позывной	CUJS2
Дедвейт, тыс.т.	116
Длина, м	415
Ширина, м	45
Высота борта, м	24
Осадка, м	15

В [4] предлагается определять силу тяги, создаваемую ПУ с учетом площади судна ниже/выше ватерлинии, пользуясь соотношением:

$$F = S \cdot T, \tag{2}$$

где S – площадь подводной/надводной части судна, м^2; T – упор, Н/м^2.

Сила тяги, определяется с учетом данных табл.2.

Тогда мощность ПУ определяется:

$$P_{ПУ} = \frac{F}{f_{УД}}, \tag{3}$$

где, $f_{уд}$ = 140-170– удельная тяга, Н/кВт.

Таблица 2

Упор, создаваемый ПУ для разных типов судов

Тип судна	Упор, требуемый для площади выше ватерлинии, Н/м^2	Упор, требуемый для площади ниже ватерлинии, Н/м^2
Буксиры, суда снабженцы	50-70	70-90
Сейнеры, суда специального назначения	50-80	100-120
Танкеры, балкеры, контейнеровозы и др.	50-80	50-70
Паромы, пассажирские суда	50-80	100-140

Применяя таблицы тягово-мощностных характеристик (ТМХ) ПУ ведущих зарубежных фирм-производителей Rolls-Royce (Великобритания), Wärtsilä Lips (Финляндия) или НПО «Винт» (РФ), выбираем тип, диаметр винта и мощность его двигателя. Для удобства пользования и анализа результатов, полученных в соответствии с (1) и (3), нами выполнены аппроксимации ТМХ ПУ и зависимости диаметра винта от мощности его привода.

ТМХ ПУ, приведенные на рис.1, аппроксимируются зависимостью:

$$P(T) = 0{,}4228 \cdot 10^{-3} \cdot T^2 + 7{,}137T - 32{,}661, \quad (4)$$

Зависимость диаметра винта от мощности двигателя, которая приведена на рис.2. можно представить в виде:

$$D = 0{,}1636 \cdot P^{0{,}3656}, \quad (5)$$

где P – мощность электродвигателя, кВт.

При заданных в табл.1 дедвейте, осадке и длине подводной части судна, в соответствии с приведенными выше зависимостями (1)-(3), получены значения мощности ПУ, которые приведены на рис.1. Для зависимости (1) мощность двигателя составляет P=1700 кВт, а для (3) – P=2100 кВт.

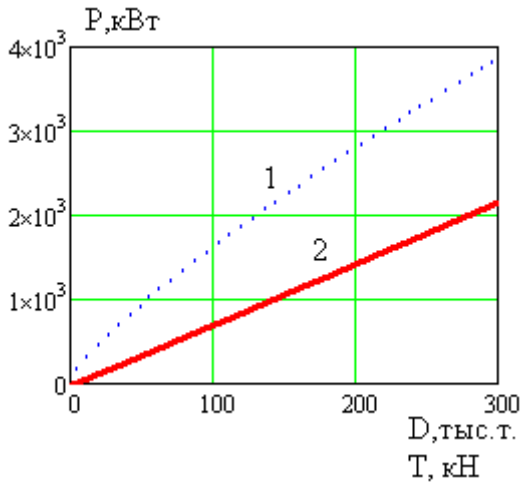


Рис.1. *Зависимости P=f(D) (1); P=f(T) (2)*

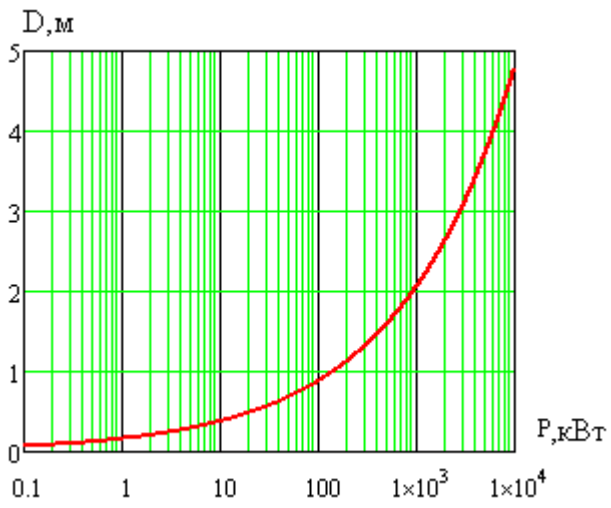


Рис. 2. *Зависимость диаметра винта ПУ от мощности электродвигателя*

В табл.3 и табл.4 представлены технические характеристики ПУ и приводного асинхронного двигателя (АД), которые приведены в [3].

Таблица 3

Технические характеристики подруливающего устройства

Производитель	Тип	Диаметр винта, мм	Мощность приводного двигателя, кВт	Частота вращения двигателя, об/мин.	Частота вращения винта, об/мин.
Rolls-Royce/ Kamewa	TT 2650 AUX CP*	2650	2200	892	204

* – винт регулируемого шага (ВРШ)

Таблица 4

Технические характеристики приводного двигателя

Тип	Uн, В	Iн, А	Iп, А	Io, А	cosφ	η, %	λп	λmax
ABB AMB 560L8A VAMH	6600	241	1277,3	59	0,89	0,92	1,8	2,0

Указанный тип АД имеет класс изоляции F с допустимым превышением температуры изоляции в соответствии с классом B. Характеристика классов изоляционных материалов, применяемых в электромашиностроении приведены в [5, 6]. На рис.3 приведены допустимые температуры нагрева различных классов изоляционных материалов. Применение указанного выше класса изоляции позволяет, таким образом, фирмам-производителям и ABB, в частности, увеличить запас по температуре и, соответственно, ресурс изоляции.

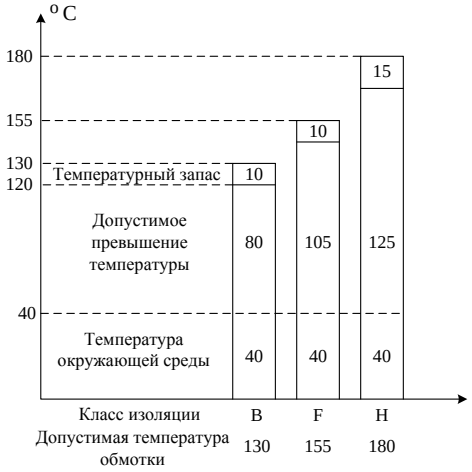


Рис. 3. *Допустимые температуры нагрева классов изоляционных материалов*

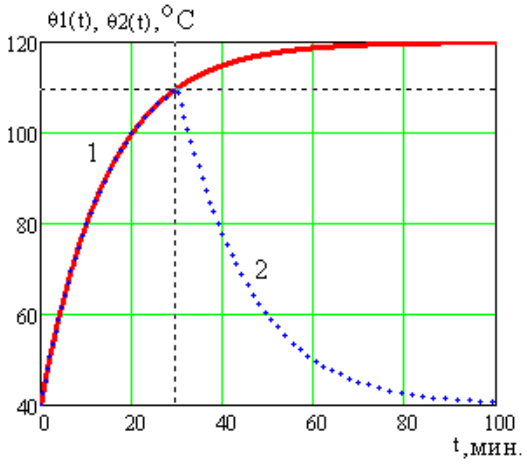


Рис. 4. *Кривые нагрева АД в режиме S1 (1); нагрева и охлаждения АД при работе в режиме S2 (2)*

Для выбора какой-либо из методик, рассмотренных выше, перейдем к вопросу о ТЭ ПУ. В п.16.2.1 ПТЭ [7] указывается, что перед выходом судна в рейс не ранее чем за 12часов до назначенного времени ЭМХ должен осмотреть и подготовить к действию все элементы электропривода ПУ и доложить об их готовности. Данное положение является вполне обоснованным и очень важным для принятия решения капитаном о привлечении буксира (в случае выхода ПУ из строя и невозможности его применения). В п.16.2.10 отмечается, что ТЭ ПУ должно производиться в соответствии с указанием завода-изготовителя или судовладельца. Как показывает практика эксплуатации ПУ, многие фирмы-производители и судовладельцы в своих инструкциях рекомендуют ежемесячно в течение 10 мин. испытывать его на всех режимах. Продолжительность его эксплуатации с *номинальным* током ограничивается временем 30мин., но при этом отсутствуют какие-либо разъяснения по данному поводу. Так, в [8, 9] указывается, что при ТЭ ПУ для обеспечения маневрирования судна на малых скоростях хода его наработка в год, как правило, не превышает 1000ч, а для динамического

позиционирования (например, на буровых судах) наработка ПУ в год может превышать 5000ч, при этом около 70-80% рабочего времени электропривод работает на холостом ходу при нулевом шаге винта или долевой нагрузке.

Прежде чем перейти к особень остям ТЭ ПУ, кратко поясним принцип его действия. ПУ представляет собой конструкцию «винт в трубе» и приводится в действие АД через редуктор с постоянной частотой вращения. Упор винта, а следовательно и сила тяги регулируются поворотом лопастей винта регулируемого шага (ВРШ), который имеет гидравлическую систему управления. Для анализа режимов работы ПУ нами предлагается представить его в виде горизонтального осевого насоса.

Как указывается в [11], данный тип насосов применяется очень редко, а поэтому в научной литературе вопросам, связанным с его применением практически внимания не уделяется. На рис. 5 представлены универсальные характеристики горизонтального осевого насоса. При рассмотрении вопросов, связанных с гидравлическими процессами, будем использовать обозначения, применяемые в данной области.

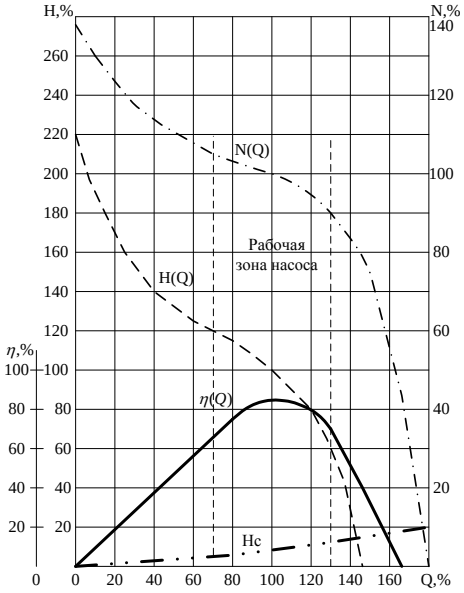


Рис. 5. *Универсальные характеристики осевого насоса*

Насос работает на сеть, напорная характеристика которой зависит от скорости движения жидкости в трубе и местных сопротивлений [12] и определяется выражением:

$$H_C = \frac{\xi \cdot v^2}{2 \cdot g}, \tag{9}$$

где ξ=0,6 – коэффициент, учитывающий местные сопротивления, который приведен в [13]; v – скорость движения жидкости в ПРУ, м/с (для швартовного режима принимается v=5м/с); g=9,81м/с^2 – ускорение свободного падения.

Значение скорости движения жидкости в трубе можно определить в соответствии с:

$$v = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2}, \tag{10}$$

где Q – расход жидкости, м^3/с; D – диаметр трубы ПУ, м; длина трубы обычно принимается $l = (2...3) \cdot D$[14].

Подставляя (10) в (9), получаем зависимость напора сети от подачи:

$$H_C = \frac{8 \cdot \xi \cdot Q^2}{\pi^2 \cdot D^4 \cdot g}. \tag{11}$$

Мощность приводного двигателя в кВт определяется в соответствии с [13]:

$$N = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{\eta}, \tag{12}$$

где ρ=1025 кг/м^3 – плотность морской воды; η – КПД насоса.

В соответствии с [13] насос создает момент сопротивления (упор):

$$M_{CH} = \frac{N}{\omega} = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot H}{\omega \cdot \eta}, \tag{13}$$

где ω – угловая частота вращения винта, рад/с.

Анализ данного выражения показывает, что при пуске $M_{сн}$ должен быть очень большим, что требует большой мощности АД, чтобы преодолеть трение винта о воду, которое, в свою очередь, зависит от частоты вращения.

Здесь необходимо особо отметить, что во всех справочниках по гидроприводу *мощность* приводного двигателя и *напор* насоса в зависимости от *подачи* определяются для режима *максимального* КПД, т.е. *характеристики насоса рассматриваются только для области, выделенной штриховыми линиями*. АД при *пуске,* то есть фактически в режиме к.з., потребляют большой ток, а *осевые* насосы, в отличие от *центробежных*, при Q=0 потребляют максимальную мощность (1,4·$P_{ном}$). При работе с *максимальным* КПД АД будет действительно функционировать в *номинальном* режиме. Построением напорной характеристики сети в зависимости от подачи определяются *фактические* значения напора, мощности двигателя и КПД, используемые в последующих расчетах. Как следует из рис.5, при дальнейшем увеличении подачи двигатель переходит в режим холостого хода. При этом: сеть (труба, в которой вращается винт) – короткая; характеристика сети – пологая и практически без потерь; напор – маленький; подача – большая; КПД – низкий.

Работу АД с номинальным током, то есть в соответствии с п. 16.2.10 [7], проанализируем с точки зрения его нагрева и охлаждения (рис. 4). Данный режим работы АД в соответствии с [5] классифицируется как кратковременный режим (S2). Для АД, имеющих высокую кратность перегрузок при пуске (5-7) $I_{ном}$, необходимо выполнять проверку на адиабатический нагрев обмоток двигателя. При этом, в соответствии с [10], значение постоянного тока при измерении сопротивления обмоток методами вольтметра и амперметра или двойного моста должно быть таким, чтобы адиабатное повышение температуры измеряемой обмотки за время измерения не превышало 1К. Скорость адиабатного повышения температуры медной обмотки $\Delta\theta/\Delta t$, К/с, следует определять по формуле:

$$\frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{J^2}{200}, \tag{14}$$

где J – плотность тока в обмотке при измерении, А/мм^2.

Величина плотности тока в обмотках электрических машин в паспортных данных электродвигателей, к сожалению, не указывается. Значение плотности тока зависит от величины среднего значения произведения (AJ) (рис. 6) и электромагнитных нагрузок *(A)* (рис. 7), которые можно принять по данным [14]. Для нашего случая данная величина составит 0,091К/с, что находится в пределах нормы.

Постоянная времени нагрева АД при работе с номинальным током определяется в соответствии с формулой:

$$T_H = \frac{200 \cdot \Delta\theta}{J^2} \tag{15}$$

где $\Delta\theta$ – допустимое превышение температуры для данного класса изоляции, °С. Для нашего случая $\Delta\theta$=80 °С.

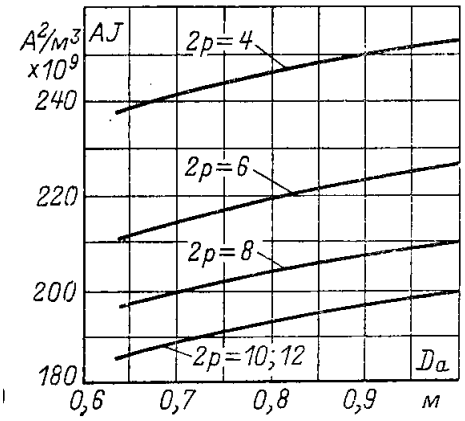


Рис. 6. *Средние значения произведения (AJ) асинхронных двигателей при U=6000В*

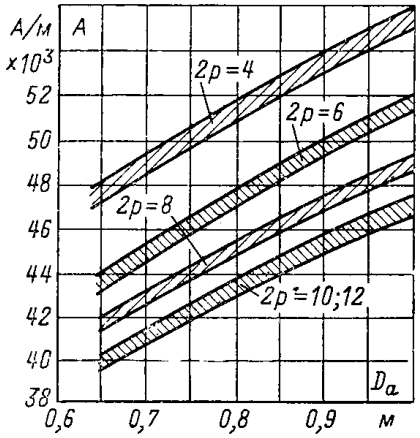


Рис. 7. *Электромагнитные нагрузки (A) асинхронных двигателей при U=6000В*

Мощность приводного двигателя, полученную для длительного режима (S1), необходимо привести к мощности кратковременного режима (S2):

$$P_{S2} = P_{S1} \cdot \sqrt{\frac{1}{1 - e^{\frac{-t}{T_H}}}} \tag{16}$$

где $T_н$ – постоянная времени нагрева двигателя, мин.

В этом случае мощность АД, полученная в соответствии с (1) при пересчете в соответствии с (16), составит 1743 кВт, а мощность, полученная в соответствии с (3) – 2153 кВт, что практически совпадает со значением, указанным в табл.3, то есть методика, предлагаемая нами (соотношения (2)-(3)) даёт более реальные результаты.

Момент сопротивления, который должен преодолеть приводной двигатель ПУ определяется:

$$M_C = F \cdot L \tag{18}$$

где L – расстояние от центра приложения силы до центра трубы подруливающего устройства (плечо), м. Центр приложения силы, как показывает практика и опыт эксплуатации крупнотоннажных судов, находится на расстоянии одной ширины судна от кормы, которая принимается равной ширине судна по мидель-шпангоуту.

Далее определяются динамические характеристики электропривода в соответствии с основным уравнением движения электропривода:

$$J_\Sigma \frac{dn}{9{,}55 \cdot dt} = M_{ДВ} - M_C \tag{19}$$

где J_Σ – момент инерции системы кг·м^2; $\frac{dn}{dt}$ - изменение частоты вращения; $M_{ДВ}$ – момент, создаваемый приводным двигателем, Н·м; M_C – момент, создаваемый приводимым в действие механизмом (судном). Здесь есть свои особенности и это уже тема другого исследования.

Выводы

1. Мощность ПУ, полученная с применением рекомендаций [4], дает наилучшую сходимость с данными, приведенными в [3].
2. Выбор и проверку двигателя необходимо осуществлять с учетом режима работы и рекомендаций ГОСТ183-74 и ГОСТ 11828-86.
3. Представление ПУ в виде горизонтального насоса позволяет анализировать режимы работы ПУ.

4. При работе АД в режиме S2 с номинальным током в течение 30 мин. его температура действительно не достигает установившегося превышения 120°С. После этого АД перейдет к режиму охлаждения, продолжительность которого составит 70 мин. При работе в номинальном режиме температура нагрева обмотки будет находиться в допустимых пределах.
5. При увеличении подачи насоса АД перейдет в режим холостого хода, что, естественно, не вызовет перегрева обмоток, но это ухудшит энергетические характеристики самого АД и если не предпринять меры, то и всей электроэнергетической системы судна. Низкий коэффициент мощности потребует увеличения генерирующих мощностей, а следовательно больших затрат топлива для производства электроэнергии.
6. В ПТЭ необходимо периодически вносить корректировки, соответствующие современному уровню развития науки, техники и технологий.

Литература

1. Правила технической эксплуатации морских судов. Основное руководство РД.31.20.01-97. Москва, 1997.
2. Технико-эксплуатационные требования по оптимальной комплектации электростанций морских транспортных судов РД 31.03.41-90: Центральный ордена трудового красного знамени научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт морского флота Ленинград, 1990.
3. “M” class container ship. Operating manual lindø newbuilding L. 216. m/s “MATHILDE MAERSK”. Электронный ресурс.
4. www.fincantieri.com/globalassets/prodotti-servizi/sistemi-e-componenti/sistemi-e-componenti navali/transverse-tunnel-thrusters_mp-05-14.pdf
5. ГОСТ 183-74. Межгосударственный стандарт. Машины электрические вращающиеся. Общие технические условия. Москва. ИПК издательство стандартов.
6. Проектирование электрических машин: Учеб. пособие для вузов/ И.П. Копылов, Ф.А. Горяинов, Б.К. Клоков и др.; Под ред. И.П. Копылова. М.: Энергия, 1980. 496с., ил.
7. Правила технической эксплуатации морских и речных судов КНД 31.2.002.07-96. Электрооборудование. Министерство транспорта Украины, Государственный департамент морского и речного транспорта, Нормативный документ морского транспорта Украины.
8. Мартиросов Г.Г., Харченко Д.С. О применении подруливающих устройств на судах: Научно-технический и производственный журнал «Судостроение» №4, (803) Санкт-Петербург, ОАО «Центр технологии судостроения и судоремонта», 2012 с. 52-54.
9. Григорьев А.К. Судовые подруливающие устройства нового поколения: Научно-технический и производственный журнал «Судостроение» №3, (802) Санкт-Петербург, ОАО «Центр технологии судостроения и судоремонта», 2012 с. 52-55.
10. ГОСТ 11828-86. Межгосударственный стандарт. Машины электрические вращающиеся. Общие методы испытаний: Москва. ИПК издательство стандартов.
11. Малюшенко В.В., Михайлов А.К. Энергетические насосы: Справочное пособие. М.: Энергоиздат, 1981. 200с., ил.
12. Борисенко К.С., Боруменский А.Г., Дулин В.С., Русанов Н.М. Горная механика. М.: 1962 Государственно-техническое издательство литературы по горному делу 408 с. ил.
13. Шевцов С.П. Исследование гидродинамических характеристик подруливающих устройств типа «винт в трубе». Уточнение методики проектирования этих устройств, включая установки большой мощности. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Федеральное государственное унитарное предприятие Крыловский государственный научный центр. Санкт-Петербург, 2014. 139с.
14. Wärtsilä encyclopedia of ship technology. Second edition by Jan Babicz. Электронный ресурс.

УДК 681.5: 621.317(045)

ОПТИМИЗАЦИЯ ЗАКОНОВ ПЕРЕСТРОЙКИ ДИНАМИЧЕСКОГО ФИЛЬТРА ДЛЯ АППАРАТУРНОГО СПЕКТРАЛЬНОГО АНАЛИЗА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СУДОВЫХ ДВИГАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

Герасимов С.В., Штребец В.В.

Харьковский национальный университет Воздушных Сил
г. Харьков, Украина
Государственный университет инфраструктуры и технологий
г. Киев, Украина
E-mail: gsvnr@ukr.net, schtribecv@ukr.net

Аннотация. *Показано влияние технического состояния двигателей средств водного транспорта на экономичность грузоперевозок. Обоснован метод диагностирования технического состояния двигателей на основе спектрального анализа случайных сигналов при работе двигателя. Получены соотношения для оптимального синтеза характеристик динамических фильтров для измерения оценок спектральной плотности мощности случайных сигналов.*

Abstract. *The influence of the technical condition of the engines of watercraft on the profitability of cargo transportation is shown. A reasonable method for diagnosing the technical condition of engines based on the spectral analysis of random signals during engine operation. Relations are obtained for the optimal synthesis of the characteristics of dynamic filters for measuring the spectral power density estimates of random signals.*

Ключевые слова: *техническое состояние, спектральный анализ, средства водного транспорта, оптимальный фильтр, двигатель*

Key words: *technical condition, spectral analysis, means of water transport, optimal filter, engine*

Введение. В последнее время быстрыми темпами развиваются морские грузоперевозки. При этом все большее применение находят трансатлантических суда для больших объёмов перевозки разнообразных грузов – от нефти и сниженного газа до продуктов питания.

Для экономии средств на транспортировку грузов и при перевозке продуктов питания актуальной является задача планирования (прокладки) оптимального маршрута с целью уменьшения времени движения средств водного транспорта. Однако, при этом следует учитывать и техническое состояние средств водного транспорта, которое может значительно влиять на стоимость перевозки. Так, например, неисправность силовой установки (двигателя) средства водного транспорта может привести к увеличению расхода топлива, уменьшению мощности, или даже выходу из строя во время маршрута. Учитывая, что подавляющее большинство средств водного транспорта (включая находящиеся в аренде других компаний) имеет значительный расход ресурса, актуальной научной задачей является разработка метода диагностического контроля технического состояния двигателей средств водного транспорта для своевременного определения (выявления) и устранения возможных неисправностей [1, 2]. Это обеспечит оптимальные (плановые) затраты на перевозку грузов с помощью средств водного транспорта и позволит уменьшить (а может и вообще избежать), дополнительные (неплановые) расходы при этом.

Основная часть. Одним из распространенных методов контроля технического состояния силовых установок (двигателей) является анализ спектрального состава сигналов работающих двигателей. При этом возможные неисправности характеризуются появлением до-

полнительных шумов в спектре тестового сигнала. Таким образом, исправность двигателей средств водного транспорта контролируется наличием случайных составляющих в спектре тестового сигнала работающего двигателя. Такие случайные сигналы могут характеризовать как механические повреждения (наличие дополнительных вибраций, люфтов и т.д.), так и неисправности топливной или электрической части силовых установок средств водного транспорта [3, 4].

Отметим, что исследование случайных сигналов зависит от точности измерений их характеристик. Развитие вычислительной техники привело к возможности измерения спектральных характеристик случайных сигналов в реальном масштабе времени. Наиболее простой с технической точки зрения является аппаратурная реализация фильтровых методов спектрального анализа.

В средствах измерительной техники для спектрального анализа случайных сигналов, особенно в системах диагностирования технических объектов, в том числе и силовых установок (двигателей) средств водного транспорта, используют узкополосные фильтры. Стоит указать, что чем меньше порядок такого фильтра, тем выше точность определения спектральных характеристик и проще синтез и техническая реализация такого фильтра. Рассмотрим теоретические положения оптимизации законов перестройки динамических фильтров, которые могут применяться при проведении спектрального анализа технического состояния судовых двигательных установок.

Запишем выражение для комплексной частотной характеристики динамического фильтра второго порядка [5]

$$W_t(j\omega) = \frac{A(t) + j\omega B(t)}{\omega_0^2(t) - \omega^2 + 2j\alpha(t)\omega} \tag{1}$$

где $\omega_0(t)$ – функция перестройки центральной частоты ω_0 динамического фильтра во времени; $\alpha(t)$ – функция перестройки коэффициента затухания α динамического фильтра во времени; A(t), B(t) – функции изменения во времени параметров A и B фильтра, определяющих его коэффициент передачи.

Применим полученное условие эквивалентности фильтров к фильтру второго порядка с комплексной частотной характеристикой согласно выражения:

$$\Phi(\omega) = \frac{1}{T}\int_0^T \varphi_t(\omega)\,d\omega \equiv < \varphi_t(\omega) > \tag{2}$$

где $\Phi(\omega)$ – функция спектрального окна фильтра; T – время анализа случайного процесса; $\varphi_t(\omega)$ – обобщенная функция, зависящая от комплексной частотной характеристики динамического фильтра и метода спектрального анализа, при реализации которого он используется.

Так, для корреляционно-фильтрового метода спектрального анализа обобщенная функция имеет вид:

$$\varphi_t(\omega) = \mathrm{Re}\, W_t(j\omega).$$

Для метода непосредственной фильтрации обобщенную функцию находят так:

$$\varphi_t(\omega) = \left|W_t(j\omega)\right|^2 .$$

После вычислений выражения (1) с использованием равенства (2) получим:

– для корреляционно-фильтрового метода:

$$\mathrm{Re}\, W_t^{(1)}(j\omega) = \frac{A_1(\omega_0^2 - \omega^2) + 2\omega^2\alpha B_1}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\alpha^2\omega^2} \tag{3}$$

– для метода непосредственной фильтрации:

$$\left|W_t^{(2)}(j\omega)\right|^2 = \frac{A_2^2 + \omega^2 B_2^2}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + 4\alpha^2\omega^2}. \quad (4)$$

Из условия эквивалентности фильтров, приравнивая выражения (3) и (4), для корреляционно-фильтрового метода спектрального анализа имеем:

$$A_1(\omega_0^2 - \omega^2) + 2\omega^2 \alpha B_1 = A_2^2 + \omega^2 B_2^2$$

откуда находим

$$\begin{aligned} A_1\omega_0^2 &= A_2^2; \\ 2\alpha B_1 - A_1 &= B_2^2. \end{aligned} \quad (5)$$

Для метода непосредственной фильтрации, т.е. для $\left|W_t^{(2)}(j\omega)\right|^2$ условие эквивалентности имеет вид:

$$A_2^2 = \alpha\omega_0^2 B_1;$$

$$B_2^2 = \alpha B_1,$$

т.е. $$A_2 = \omega_0 B_2.$$

Определим основные характеристики динамического фильтра: функцию спектрального окна (или амплитудно-частотную характеристику) и относительную дисперсию оценки спектральной плотности мощности.

Для вычисления функции спектрального окна динамического фильтра найдем сначала его комплексную частотную характеристику $W_t(j\omega)$, а затем её вещественную часть $\mathrm{Re}\,W_t(j\omega)$.

Разложим функцию $W_t(j\omega)$ на простые дроби:

$$W_t(j\omega) = \frac{1}{\omega_1 - \omega_2}\left(\frac{A + j\omega_2 B}{\omega - \omega_2} - \frac{A + j\omega_1 B}{\omega - \omega_1}\right) \quad (6)$$

где $$\omega_1 = j\alpha + \sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2} = j\alpha + \tilde{\omega}; \quad (7)$$

$$\omega_2 = j\alpha - \sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2} = j\alpha - \tilde{\omega}; \quad (8)$$

$$\tilde{\omega} = \sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2}. \quad (9)$$

Подставляя равенства (7), (8), (9) в выражение (6), получим соотношение:

$$W_t(j\omega) = \frac{1}{2\tilde{\omega}}\left[\frac{A + j(j\alpha - \tilde{\omega})B}{\omega + \tilde{\omega} - j\alpha} - \frac{A + j(j\alpha + \tilde{\omega})B}{\omega - \tilde{\omega} - j\alpha}\right].$$

Запишем это соотношение в виде:

$$W_t(j\omega) = \frac{1}{2\tilde{\omega}}\left(\frac{A - \alpha B - j\tilde{\omega}B}{\omega + \tilde{\omega} - j\alpha} - \frac{A - \alpha B + j\tilde{\omega}B}{\omega - \tilde{\omega} - j\alpha}\right).$$

Отсюда, с учетом обозначений для корреляционно-фильтрового метода, введенных в формуле (3), находим:

$$\mathrm{Re}\,W_t(j\omega) = \frac{1}{2\tilde{\omega}}\left[\frac{(A_1 - \alpha B_1)(\omega + \tilde{\omega}) + \alpha\tilde{\omega}B_1}{(\omega + \tilde{\omega})^2 + \alpha^2} + \frac{(\alpha B_1 - A_1)(\omega - \tilde{\omega}) + \alpha\tilde{\omega}B_1}{(\omega - \tilde{\omega})^2 + \alpha^2}\right]. \quad (10)$$

Для того, чтобы составляющая $\mathrm{Re}\,W_t(j\omega)$ функции спектрального окна фильтра $\Phi_1(\omega)$ была симметрична относительно частот $\omega = \pm\omega_0$, в соотношении (10) нужно представить

$$A_1 = \alpha B_1. \quad (11)$$

Для величины $|W_t(j\omega)|^2$ функции спектрального окна фильтра $\Phi_2(\omega)$, при использовании метода непосредственной фильтрации, условие симметрии, аналогичное равенству (11), имеет вид:

$$A_2 = \omega_0 B_2 . \tag{12}$$

При выполнении условий симметрии (10) и (11) функцию спектрального окна фильтра представим суммой двух функций:

$$\Phi(\omega) = \Phi_+(\omega) + \Phi_-(\omega),$$

причем

$$\Phi_+(-\omega) = \Phi_-(\omega). \tag{13}$$

Принимая во внимание условие (10) и формулу (9), имеем:

$$\operatorname{Re} W_t(\omega) = \frac{1}{2}\left[\frac{\alpha}{(\omega-\tilde{\omega})^2+\alpha^2} + \frac{\alpha}{(\omega+\tilde{\omega})^2+\alpha^2}\right] B_1 . \tag{14}$$

Преобразование соотношение (13) с учетом равенства (12), находим:

$$\Phi_{1+}(\omega) = \frac{1}{2}\int_0^T \frac{\alpha(t)}{[\omega-\tilde{\omega}(t)]^2+\alpha^2(t)} B_1(t)\,dt . \tag{15}$$

Полученная формула связывает функции спектрального окна динамического фильтра с его характеристиками $\alpha(t), \tilde{\omega}(t), B_1(t)$ для корреляционно-фильтрового метода измерения оценки спектральной плотности мощности.

Полученные выражения позволяют определить относительную дисперсию оценки спектральной плотности мощности, получаемой корреляционно-фильтровым методом с использованием динамического фильтра по известным характеристикам фильтра: либо по комплексной частотной характеристике (или функции спектрального окна), либо по импульсной переходной характеристике.

С использованием соотношений (14) при условии $\alpha T >> 1$ находим:

$$h_t(\tau) = \frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} W_t(j\omega) e^{j\omega\tau}\,d\omega = B_1(t)\cos\tilde{\omega}(t)\tau\, e^{-\alpha(t)\tau} .$$

При $\alpha << \tilde{\omega}$ из этого равенства получим:

$$\int_0^T h_t^2(\tau)\,d\tau = \int_0^T \left[B_1(t)\cos\tilde{\omega}(t)\tau\, e^{-\alpha(t)\tau}\right]^2 d\tau \approx \frac{1}{4\alpha(t)}\left[1-e^{-2\alpha(t)\tau}\right] B_1^2(t) . \tag{16}$$

Если же $\tilde{\omega} = 0$ (для фильтра низких частот), то

$$\int_0^t h_t^2(\tau)\,d\tau \approx \frac{1}{2\alpha(t)}\left[1-e^{-2\alpha(t)t}\right] B_1^2(t) . \tag{17}$$

С учетом соотношения (16) находим:

$$\int_0^T dt \int_0^t h_t^2(\tau)\,d\tau \approx \frac{1}{4}\int_0^T \frac{B_1^2(t)}{\alpha(t)}\,dt, \qquad \tilde{\omega} \neq 0 . \tag{18}$$

Для фильтра низких частот из равенства (17) имеем

$$\int_0^T dt \int_0^t h_t^2(\tau)\,d\tau \approx \frac{1}{2}\int_0^T \frac{B_1^2(t)}{\alpha(t)}\,dt, \qquad \tilde{\omega} \approx 0 .$$

Используя выражение (16), получим

$$\int_0^T h_t(0)\,dt = \int_0^T B_1(t)\,dt . \tag{19}$$

После преобразования соотношений (18) и (19), находим:

$$\delta\hat{G}_1 = \frac{\int_0^T \frac{B_1^2(t)}{\alpha(t)}dt}{\left[\int_0^T B_1(t)dt\right]^2}. \qquad (20)$$

Это выражение связывает характеристики динамического фильтра $\alpha(t)$, $B_1(t)$ с относительной дисперсией оценки спектральной плотности мощности, измеряемой корреляционно-фильтровым методом.

Полученные соотношения (15) и (20) являются исходными для решения задачи оптимизации законов перестройки характеристик (параметров) динамических фильтров для корреляционно-фильтрового метода спектрального анализа.

Выводы. Таким образом, предложены теоретические результаты для расчета характеристик оптимальных фильтров при спектральном анализе случайных сигналов. Такие фильтры для диагностирования технического состояния силовых установок (двигателей) средств водного транспорта позволяют своевременно выявить возможные неисправности или нарушения в режимах работы при нахождении несоответствия (различий) полученных результатов с заранее известными (полученными для исправных). Своевременное выявление возможных отказов двигателей средств водного транспорта позволит избежать дополнительных расходов при перевозке грузов, то есть уменьшить дополнительные (неплановые) издержки.

Литература

1. Герасимов С.В. Розробка та дослідження методу розрахунку достовірності вимірювального контролю параметрів радіотехнічних систем морського транспорту / С.В. Герасимов, Ю.Є. Шапран, В.В. Кірвас // Системи озброєння і військова техніка. 2017. Вип. 4 (52). с. 5-10.
2. Приборы и методы измерений, контроля качества и диагностики в промышленности и на транспорте // Материалы второй всероссийской научно-технической конференции с международным участием. – Омск: Омский гос. ун-т путей сообщения, 2016. – 368 с.
3. Чинков В.Н. Комплексная методика оптимизации контролируемых параметров сложных технических объектов / В.Н. Чинков, С.В. Герасимов // Украинский метрологический журнал. 2003. № 1. с. 11-15.
4. Герасимов С.В. Постановка проблеми розробки оптимальної методики контролю параметрів технічних систем при експлуатації за станом / С.В. Герасимов // Системи обробки інформації. 2013. Вип. 9 (116). с. 7-11.
5. Штрибець В.В. Модель оцінки спектральної щільності потужності випадкових сигналів морських навігаційних приладів / В.В. Штрибець, В.М. Василенко, О.М. Вечурко // Наукоємні технології. 2018. №4(40). с. 487-491. DOI: 10.18372/2310-5461.40.13276.

UDC 539.3

STUDY OF THE MARINE GAS TURBINE ENGINE IMPELLER FORCED VIBRATION

Morhun S.A., PhD (Tech)

Admiral Makarov National University of Shipbuilding
Ukraine, Mykolaiv
E-mail: serhii.morhun@nuos.edu.ua

Abstract. *The method of the marine gas turbine non-cooled impeller with damping links vibration research is described. Using the finite element method, a refined mathematical model was developed for the impeller's section, consisting of a disk sector and a blade with damping links. The developed mathematical model takes into consideration the structural heterogeneity of the blade itself and the disk. The results of the impeller vibration frequencies calculation, caused by the influence of non-stationary gas flow are given for the three vibration modes.*

Аннотация. *Разработан метод определения вибрационных характеристик неохлаждаемого лопаточного венца с демпферными связями морского газотурбинного двигателя. На основе метода конечных элементов создана уточненная математическая модель секции венца, включающая в себя сектор диска, собственно лопатку и демпферные связи. Также разработанная математическая модель позволяет учесть конструктивную неоднородность лопатки. Определены частоты вынужденных колебаний венца, вызванных воздействием нестационарного газодинамического потока, для первых трех форм колебаний.*

Key words: *marine gas turbine, impeller, forced vibration, vibration frequency, non-stationary gas flow*

Ключевые слова: *морской газотурбинный двигатель, лопаточный венец, вынужденные колебания, частота колебаний, нестационарный газодинамический поток*

Introduction. The task of the marine vehicles gas turbine engines service life increasing is of practical interest and is an urgent problem for Ukrainian engineering. The rapid pace of turbine engines development is accompanied by a constant increase in the intensity of the processes occurring in them with a general increase in the requirements for their strength and reliability. Therefore, one of the basic tasks for the turbine impeller development is to calculate its vibration modes and frequencies. The matter is that the blades are one of the most crucial elements of a turbine due to extremely hard working conditions and their constructional heterogeneity, caused by a system of cooling channels in their cavities. So one of the most important moments of the marine gas turbine engine design is not only the detuning of the impeller's natural frequencies and modes, but also a more comprehensive study of vibration processes in it, caused by an influence of a non-stationary gas flow. Such research is also impossible without taking into consideration the processes of internal and structural damping in the blades feather joints, that are called "damping links". For all its complexity described problem requires the constant expansion and deepening of theoretical ideas about the dynamic phenomena associated with the working process of gas turbine engine.

Due to the high cost of modern turbines and especially works on their fine-tuning, the methods of their impellers vibration characteristics determining are of great importance even at the design stage. Therefore, a comprehensive study of the vibration of the blade apparatus, taking into account the specifics of its elements and their interaction, is a serious scientific and practical problem, and, despite intensive research in this area [1 − 3], remains a number of unresolved aspects.

Thus, the use of simplified design schemes based on the application of the core theory [1] does not allow to identify the important features of the system, such as the influence of damping on the impeller's vibration frequencies. Within the framework of this theory, the blades are considered

as twisted, inextensible and rigidly fixed in the disk rods of variable cross-section, making common-mode oscillations in one of the main bending planes. In [4], forced vibrations of the turbine engine impellers are investigated using the method of initial parameters; however, it does not indicate a method for the intensity of the disturbed gas dynamic forces calculating. In [3], asymptotic methods of nonlinear dynamics are used to solve the differential equations of impeller's forced vibration, but the damping in the system is not taken into account. In works [2, 5], this problem is solved using the finite element method, but in [5] the damping is not taken into account, and in [2], when constructing a finite-element mathematical model of an impeller, finite elements like "tetrahedron" are used, which do not allow take into consideration the blade constructional heterogeneity. The technique of compressors and turbines working blades free vibration frequencies experimental study is given in [6, 7], however, the experimental data are less reliable, since in the course of the experiment there are always unavoidable systemic errors of the experimental setup itself and measuring equipment.

Purpose of the study. The development of a set of measures for the gas turbines reliability increase is not feasible without a detailed study of vibration processes occurring in such critical details as impellers, influenced by non-stationary gas-dynamic forces of high temperature. However, as follows from the above analysis of recent research on this topic, some important aspects remain insufficiently illuminated, therefore, it is necessary to develop a refined mathematical model of the impeller forced vibration. It is also necessary to take into consideration the significant constructional heterogeneity of the impellers cooled blades.

Therefore, the aim of this work is to develop a refined mathematical model of the marine gas turbine cooled impeller with damping links, based on the usage of finite elements method. Full description of the finite elements that are suitable for the impeller correct modeling is given in the works [8 − 10].

Study. The task of the gas turbine impeller forced vibration amplitudes and frequencies determining is given. It is also assumed that the considered system of solid bodies (impeller) has the properties of cyclic symmetry. So it can be interpreted as a set of h subsystems (sections) with the same geometric, inertial and stiffness properties [7]. In this case, h determines the system's order of symmetry. So a section of such impeller generally includes a disk sector and a blade set in it with parts of damper links (fig. 1). The section is located in the rectangular right $X\ Y\ Z$ coordinate system: X axis coincides with the axis of turbine rotor rotation, Z axis is directed along the impeller radius, and the Y axis is perpendicular to the Z axis.

The finite element model of an impeller blade was built on the basis of superparametric curvilinear finite elements. Each of them consisted of 20 nodes with 5 degrees of freedom in every node. The damper links, connecting the blades in a unity were modeled using a rod finite element. The disk model included 230 first-order hexagonal finite elements with 1254 degrees of freedom totally [9].

The value of pressure field, caused by the influence of non-stationary gas-dynamic flow is known. Due to the periodicity of the gas flow intensity, the function of pressure can be decomposed into a Fourier row:

$$p = p_1 \cos k\omega t + p_2 \sin k\omega t \quad (k=1,\ldots,g) \tag{1}$$

where k − is the number of the gas flow pressure harmonic; g – is an amount of the harmonics; ω − is the frequency of forced vibrations.

Taking into consideration (1) the equations of the section motion can be written as follows:

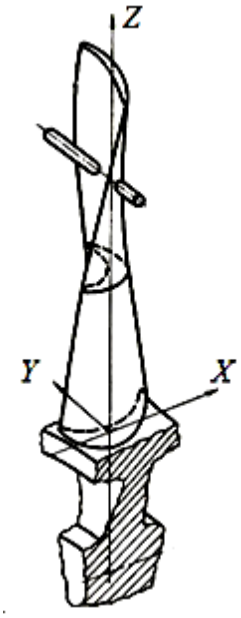


Fig. 1. *Model of the impeller section*

$$[M]\left\{\frac{d^2\delta}{dt^2}\right\}+[C]\left\{\frac{d\delta}{dt}\right\}+[K]\{\delta\}=\{p\} \quad (2)$$

where M − mass matrix of the section; C − matrix of damping; K − stiffness matrix; δ – generalized displacement vector of the section finite elements model; p – vector of the gas flow pressure.

Let's do some transformations. Represent the generalized displacement vector $\{\delta\}$ as a decomposition into a Fourier row (3):

$$\delta_i = a_1 \cos k\omega t + a_2 \sin k\omega t \quad (3)$$
$$(i=1, 2,..., n)$$

where i − is the number of the finite elements model nodes; n – is an amount of nodes.

Using the dependencies (1, 3), it is possible to transform the relation (2) for one finite element:

$$\begin{aligned} &M_{ij}\left(a_1 \cos k\omega t + a_2 \sin k\omega\right)'' + K_{ij}\left(a_1 \cos k\omega t + a_2 \sin k\omega\right)' + \\ &+ K_{ij}\left(a_1 \cos k\omega t + a_2 \sin k\omega\right) = p_1 \cos k\omega t + p_2 \sin k\omega t \end{aligned} \quad (4)$$

The system of equations (4) should be converted into the matrix equation (5), according to which the amplitudes of the impeller could be found.

$$[S]\{a\}=\{p\} \quad (5)$$

where S – is the global matrix.

From the matrix equation (5) the set of the impeller's section forced vibration amplitudes could be found. Then it is possible to find section forced vibration frequencies as follows []:

$$[K_{ij}]a_i - \omega^2[M_{ij}]a_i = p_i \quad (6)$$

Equation (6) represents the so called generalized proper value problem. In general its solution could be obtained as follows::

$$[A]x - \lambda[B]x = 0 \quad (7)$$

where A and B – are symmetric matrixes.

To solve the matrix equation (7) we need to use the positive decomposition of the Kholetskyi numerical algorithm [7]. Thus:

$$\begin{aligned} [B] &= [L][M]\left[L^{-1}\right]^T \\ [A] &= [K] = [L][L]^T \end{aligned} \quad (8)$$

where L – the positive triangle matrix.

Thus having solved the systems of matrix equations (5) and (6), it is possible to obtain the forced vibration amplitudes and frequencies of the impeller, excited by any harmonic of the gas flow.

Main results and their analysis. In order to study the practical suitability of the developed mathematical model, calculations of the second stage gas turbine impeller forced vibration amplitudes and frequencies are calculated. As it is well-known, for the marine gas turbine engines there are two main constructional types of the impellers: an impeller with a disk having a central shaft hole and with a solid disk. The heterogeneity of the gas flow, which is the main source of the impeller forced vibration, was set by the deviation of the nozzle vanes installation angle from its nominal value. Also the unevenness of the twist angle along the blades height was taken into consideration. In addition, damping was taken into account at the points of contact between the blades, the blades and the disk and the blades and damper links.

The studied impeller consists of 65 working blades of variable cross section with damping links. The height of the blade l = 115 mm; the material of the blades − heat-resistant alloy (material density ρ = 8100 kg / m3, Young's modulus E = 1.79x10^6 MPa, Poisson's ratio υ = 0.3). The diame-

ter of the disk D = 375 mm. The exit angle of flow from the nozzle channels $\alpha 1$ was changed from $16^{\circ}30^{/}$ to $18^{\circ}30^{/}$; the exit angle of flow from the impeller $\alpha 2 = 73^{\circ}$.

The information, given on fig. 2 shows the amplitude-frequency characteristic of the marine gas turbine second stage impeller forced vibration, caused by the non-stationary gas flow of second harmonic (k=2). The resonance frequency of the impeller ω_p = 1325 Hz.

Analyzing graphical dependencies presented in fig. 2, it can be concluded that the amplitude of the impeller forced vibration increases smoothly when approaching the resonant frequency of vibration for types of the impeller construction. Then, when the resonance frequency is reached, there is a sharp increase, and after passing through the resonance state, there is a sharp drop and then a gradual decrease in the amplitude. As it is known, the resonance occurs when the frequency of the impeller forced vibration coincides with the frequency of turbine rotor rotation. Therefore, the knowledge of the forced vibration frequencies allows to carry out the so-called detuning from the resonant mode. It is sufficient to exclude the occurrence of resonance in the range of operating frequencies, translating it into fast-running modes of the engine starting and stopping. You can also avoid preventing the coincidence of the turbine rotor rotation frequency with the impeller frequency of forced vibration by changing the parameters of the gas flow, especially, reducing the gas pressure drop before and after the considered turbine stage. This will give an opportunity to reduce the variable component of the gas-dynamic force, which arises due to the turbulence of the gas flow and is the main cause of the impeller vibration. Another way to improve the instability of gas flow is to reduce the structural heterogeneity of the nozzle array that means to reduce the deviation of the nozzle vanes installation angle from the nominal value.

Another important conclusion which can be made analyzing fig. 2, is that at the same frequencies, the vibration amplitudes of the impeller with a solid disc (curve 2) are lower than those of the impeller having a disc with a central shaft hole (curve 1). It can be explained by the fact that an impeller with a solid disc is more rigid.

Then let's take into consideration the impeller forced vibration modes and frequencies. All frequencies have been calculated for the first three vibration modes.

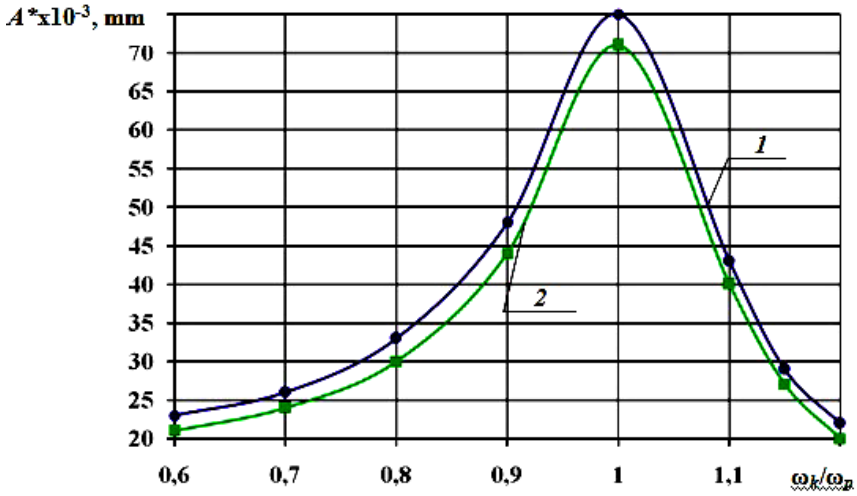


Fig. 2. *Amplitude-frequency characteristic of the impeller forced vibration:*
1 − impeller with a disk having a central shaft hole; 2 − impeller with a solid disk

According to the data, given on the fig. 3 – 5, we can find out that for all given types of impeller modes they change from the bending mode at the peripheral area to the torsion mode near the nodal diameters. It should be also mentioned that for the impeller with less quantity of nodal diameters they are more obvious and its amplitude is much slider. The explanation of this fact is its higher ductility.

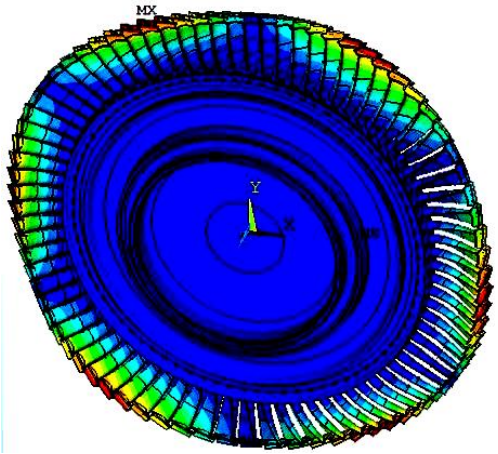


Fig. 3. *The impeller forced vibration mode with three nodal diameters (f = 886 Hz)*

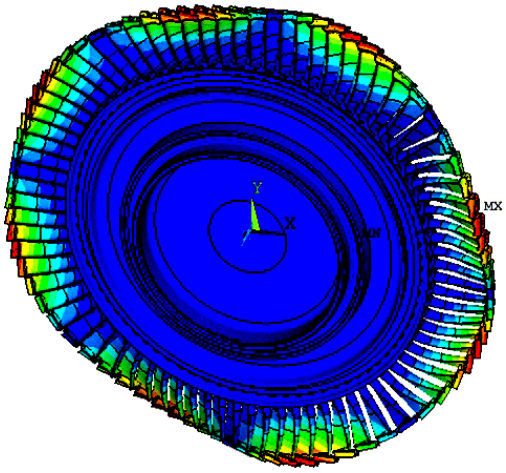


Fig. 4. *The impeller forced vibration mode with four nodal diameters (f = 909,7 Hz)*

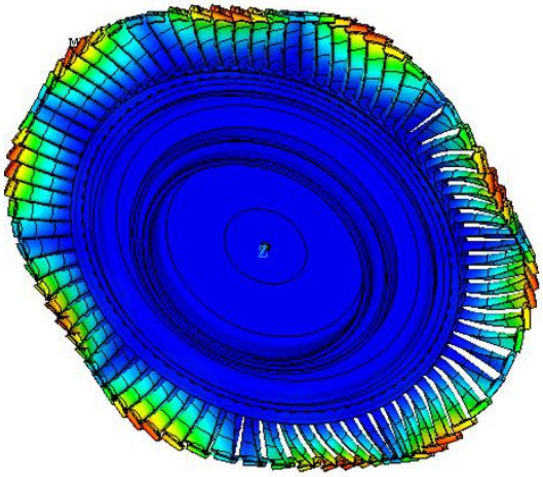


Fig. 5. *The impeller forced vibration mode with five nodal diameters (f = 970,5 Hz)*

Conclusion. Using the finite element method, the problem of the marine gas turbine engine forced vibration amplitudes and frequencies calculating has been solved. To solve this problem, a refined mathematical model has been developed for the impeller's section, which includes a disk sector and a blade with damping links. Usage of such model allows to take into full account the impeller's design features. Analysis of the obtained results confirms the adequacy of this model and indicates that the design of an impeller with a solid disk is more preferable from the point of view of vibration reliability. The developed mathematical model can be used further study of the gas turbine impeller stress-strain state, caused by a complex influence of turbulent gas flow of high temperature.

References

1. Samaras C. Emissions and lifetime estimation modeling of industrial gas turbines. / C. Samaras // M. Sc. Progress Review, Cranfield University, UK, 2009. P. 30–35.
2. Krishnakanth P. V. Structural and Thermal Analysis of Gas Turbine Blade by using FEM / P. V. Krishnakanth, G. Narasa Raju et. al. // International Journal of Scientific Research Engineering and Technology. 2013 Vol. 2, Issue 2. P. 060–065.
3. Mrinaline M. Steady state structural analysis of single crystal turbine blade / M. Mrinaline // International Journal of Engineering Research and Technology. 2016. Vol. V5, Issue 10. P. 382–384. doi: 10.17577/ijertv5is100314

4. Rzadkowski R. Unsteady forces acting on the rotor blades in the turbine stage in 3D viscous flow in nominal and off-design regimes / R. Rzadkowski, V. Gnesin, L. Kolodyazhnaya // Journal of Vibration Engineering, and Technologies. 2014. Vol. 2, Issue 2. P. 89–95.
5. Postnov V.V. Theoretical and experimental stress-strain analysis of machining gas turbine engine parts made of the high energy structural efficiency alloy / V. V. Postnov, S. V. Starovoitov, S. Yu. Fomin, R. R. Basharov // Journal of Engineering Science and Technology Review. 2014. Vol. 7, Issue 5. P. 47–50.
6. Sosunov V.A. Teoriya, raschet i proektirovanie aviacionnyh dvigateley i energeticheskih ustanovok (The theory, calculation and design of the aircraft engines) / V. A. Sosunov, V. M. Chepkin // Moscow: Mosk.energ. in-t., 2003. 677 p.
7. Pyhalov A.A. Staticheskiy i dinamicheskiy analiz sbornyh rotorov turbomashin (Static and dynamic analysis of the turbine rotors assemblies) / A. A. Pyhalov, A. E. Milov // Irkutsk: Izd-vo Irkut. tekhn. un-ta, 2007. 194 p.
8. Kairov A. S. Turbine engines bladed disks with circular damping links forced vibration / A. S. Kairov, S. A. Morhun // Journal of Mechanical Engineering. 2013. Issue №68. P. 128-133. doi: 10.20535/2305-9001.2013.68.36149. (in Russian).
9. Morgun S. The blades constructions finite elements models development / S. Morgun // Bulletin of the National Technical University «KhPI». Series: New Solutions in Modern Technologies. 2016. Issue 42 (1214). P. 86–91. doi: 10.20998/2413-4295.2016.42.14
10. Morhun S. The influence of the blade feather constructional inhomogeneity on the turbine cooling blades stress-strain state // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Series: Applied Mechanics. 2018. Issue 2/7 (92). P. 11-17. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.125937.

UOT 62.83.52

BÖYÜK GÜCLÜ GƏMİ ELEKTRİK İNTİQALLARINDA TƏTBİQ OLUNAN ASİNXRON MÜHƏRRİKLƏRİN İŞƏ BURAXILMA ÜSULLARININ TƏHLİLİ

Sultanov E.F., İsmayılov S.S., Cəlilov T.A.

Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası
Az 1000 Bakı şəh., Z.Əliyeva küç., 18
E-mail: elshen_sultanov@mail.ru, sahib-ismayil@bk.ru, turyancelil@gmail.com

Xülasə. *Məqalədə böyük güclü gəmi elektrik intiqallarında tətbiq olunan asinxron mühərriklərin işə buraxılması üsulları təhlil olunmuş, idarəetmə sistemlərinin etibarlılığını yüksəltmək və elektrik enerjisi sərfini azaltmaq məqsədilə böyük güclü elektrik intiqallarının müasir qurğularla işə buraxılması təklif olunmuşdur.*

Аннотация. *В статье рассмотрены и исследованы вопросы пуска асинхронных электродвигателей, применяемых в судовых электроприводах большой мощности, а также предложены методы пуска мощных судовых электроприводов с помощью современных устройств, способствующих повышению надежности систем управления и снижению затрат электроэнергии.*

Abstract. *İn the article is reviewed and investigated the issues of starting asynchronous electric motors used in shipboard high power electric drives and also suggested methods for starting powerful ship based electric droves using modern devices that contrubute to improving the reliability of control systems and reducing power costs.*

Açar sözlər: *asinxron mühərrik, ulduz-üçbucaq, yumşaq işəburaxıcı, elektrik intiqalı, tezlik çeviricisi*

Ключевые слова: *асинхронный двигатель, звезда-треугольник, софт стартер, электропривод, частотное преобразователы*
Key words: *asynchronous motor, star-delta, soft starter, electrical drive, frequency converter*

Giriş. Gəmilərdə istifadə olunan müxtəlif işçi mexanizmlərin normal iş şəraiti onları hərəkətə gətirən elektrik intiqallarından asılıdır. Müasir dövrdə layihələndirilən və hazırlanan gəmilərin elektrik intiqallarının idarəetmə sistemlərinin təkmilləşdirilməsinə tələblər artır. Hal-hazırda istismarda olan gəmilərin böyük hissəsində elektrik intiqallarının avtomatik idarəetmə sxemlərində istifadə olunan rele-kontakt aparatlarının uzunmüddətli işləməsi yükdən və qoşulma tezliyindən asılıdır [1].

Əsas hissə. Asinxron mühərriklərinin işəburaxılma xassələri mühərrik üçün vacib məsələlərdən biridir. Bu xassələr, əsasən, işəburaxılma cərəyanı və momenti ilə xarakterizə olunur. Asinxron mühərriklərinin işə salınma xassələri, adətən, onların rotorlarının quruluşundan asılıdır. Əksər hallarda az güclü qısa qapanmış rotorlu mühərriklərdə bilavasitə işəburaxmadan istifadə olunur. Belə işəsalma çox sadə və tez olur. Ümümiyyətlə, işəsalma şəbəkənin gücündən asılıdır. Asinxron mühərriklərdə işəsalma cərəyanını azaltmaq üçün bəzən stator dolaqlarına ardıcıl induktiv müqavimət qoşurlar [2, 3].

Avtotransformatorla işəsalma metodu da bu məqsədlə edilir. Mühərrikin statoruna verilən gərginlik avtotransformator vasitəsilə alçaldılır. İşə salındıqdan sonra gərginlik tədricən artırılır. Adətən, böyük gücə malik olan mühərrikləri avtotransformator vasitəsilə işə salırlar. Statorda, işəsalma zamanı gərginliyi azaltmaq üçün mühərrikin dolaqları ulduz birləşdirilir. Belə metod kiçik gücə malik olan, təxminən, 20 kVt-a qədər gücdə, qısaqapalı rotorlu asinxron mühərrikinin işə salınmasında istifadə olunur. İşəsalma zamanı stator dolaqları ulduzvari birləşdirilir və beləliklə də, faza gərginliyi 3 dəfə azaldılır.

Faza rotorlu asinxron mühərriklərdə isə işəsalma reostatından istifadə edilir. Mühərrik şəbəkəyə qoşulmazdan əvvəl işəburaxma reostatlarının dəstəyi elə vəziyyətdə yerləşdirilir ki, rotor dövrəsinin müqaviməti maksimum olsun. Sonra stator dolaqları şəbəkəyə bilavasitə qoşulur. Bu zaman stator dolaqlarından az cərəyan keçir. Ona görə ki, rotor dövrəsinin müqaviməti böyükdür. Aydındır ki, stator cərəyanı da az olmalıdır. Rotorun sürətini artırmaq üçün reostatların müqavimətini tədricən azaldırlar. Mühərrik nominal sürət aldıqda reostatları qısa qapayırlar. İndi isə işə buraxma üsullarının qısa icmalına baxaq.

1. Birbaşa işəburaxma üsulu.

Bu ən sadə işəburaxma üsuludur (şəkil 1). Burada stator bir başa qidalanma şəbəkəsinə qoşulur. Mühərrik təbii xarakteristikası ilə işə buraxılır.

Mühərrik işəburaxılan zaman, az müqavimətli rotorun qəfəsi ilə yaranan, ikinci dolağı qısa qapanmış transformator kimi işləyir. Rotorda yaranan cərəyan qidalanma şəbəkəsində ifrat cərəyanı yaradır. İşə buraxma cərəyanı nominal cərəyandan 5-8 dəfə çoxdur.

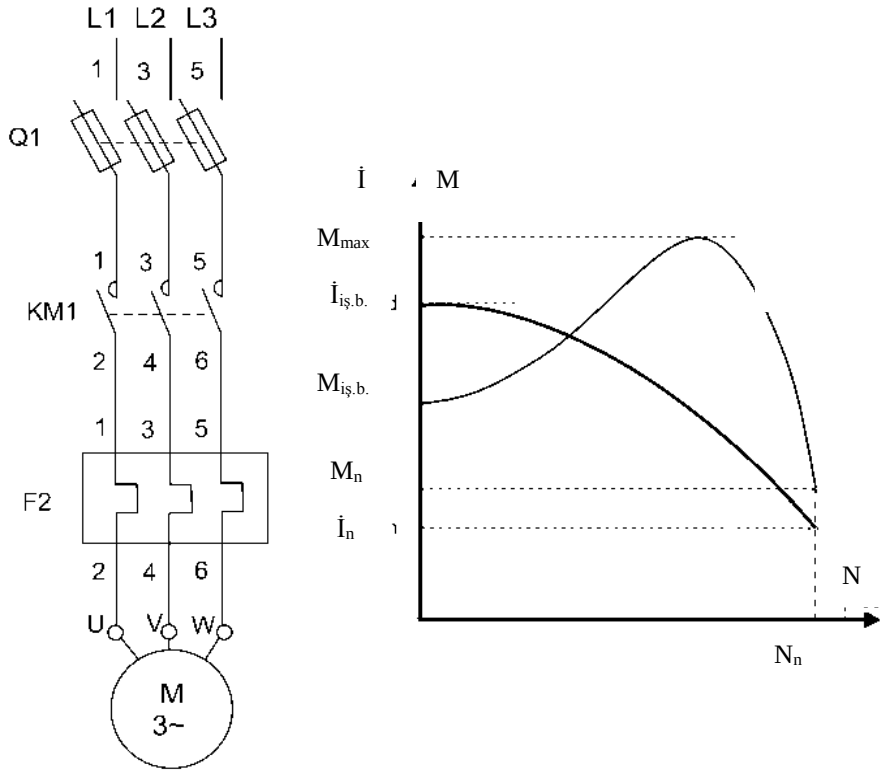
Orta işəburaxma firlanma momenti $M_{iş.b.}$ isə nominal momentin M_n 0,5-1,5 hissəsinə bərabərdir.

Üstünlüklərə baxmayaraq (quruluşu sadə, yüksək işə buraxma momenti, tez işə salma, ucuz qiymət) bir başa işəburaxma sistemi yalnız aşağıda göstərilən hallar üçün uyğundur:

- Mühərrikin gücü şəbəkənin gücünə nisbətən aşağıdırsa, bu halda zərərli ifrat cərəyanın qiyməti məhdudlaşır:
- Hərəkətə gətirilən maşın tədricən sürətlənməni tələb etmirsə, ya da işəburaxma zamanı təkanların hamarlanmasını təmin edən dempfer qurğusuna malikdirsə;
- Mühərriki hərəkətə gətirən işəburaxma firlanma momenti yüksək olduğu halda mühərrikin işinə yaxud işçi mexanizmə pis təsir etmirsə.

Asinxron mühərriklərin birbaşa işəburaxılmasının mənfi cəhətiləri aşağıdakılardır.

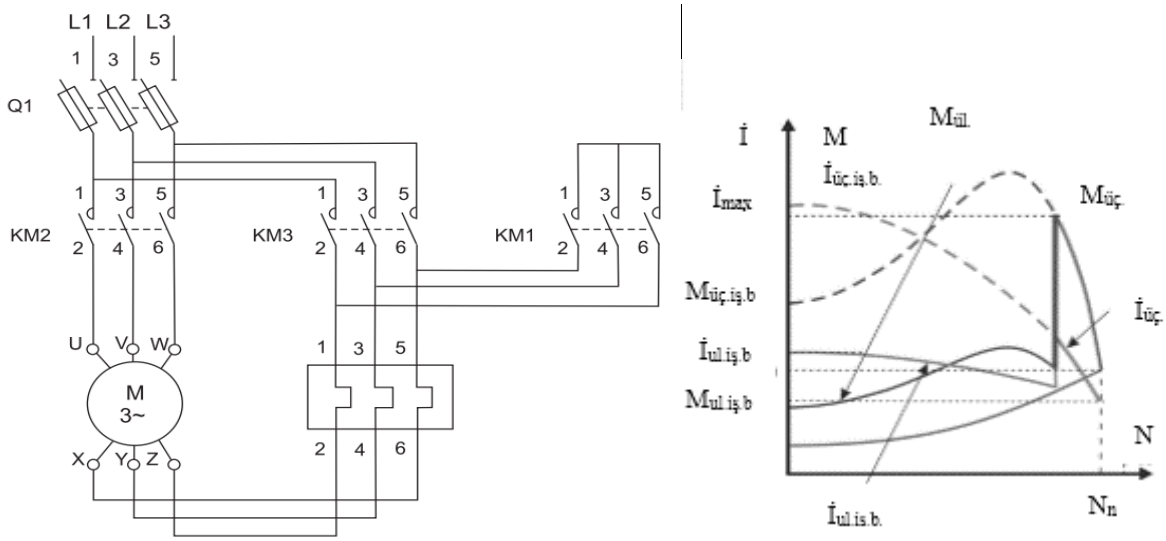
1. Mühərrikin işəburaxma cərəyanı $İ_{iş.b.}$ nominal cərəyana $İ_n$ nəzərən çox böyük olur.
2. Mühərrik işəburaxılan anda çox böyük mexaniki zərbələr yaranır.



Şəkil 1. *Mühərrikin birbaşa işəburaxma sxemi və mexaniki xarakteristikası.*

2. Ulduzdan üçbucağa keçməklə işəburaxma üsulu.

Bu işəburaxma sistemi yalnız statorun üç dolağının hər iki sonluğu sıxac qutusuna çıxardılan mühərriklərdə mümkündür (şəkil 2). Həmçinin, dolaqlar elə qurulmalıdılar ki, 380 V gərginlikli şəbəkəyə müvafiq olaraq üçbucaq birləşməsində 380 V, ulduz birləşməsində isə 660 V gərginlikli mühərrik olmalıdır. İşəburaxma, ilk növbədə, dolaqların ulduz birləşmə sxemi ilə reallaşdırılır. Bu zaman gərginlik $\sqrt{3}$ dəfə az olur, 380V = 660V/$\sqrt{3}$. Cərəyanın pik qiyməti $İ_{ul.iş.b.}$ də bu halda üç dəfə az olur $İ_{ul.iş.b.}$= (1,5 ÷ 2,6)$İ_n$. Ulduz birləşməsi ilə qoşulan mühərrik 380/660 V nominal gərginliklə 660 V üçbucaq birləşməsinə nisbətən 380V $\sqrt{3}$ dəfə az cərəyan istehlak edir. İşəburaxma fırlanma momentidə həmçinin oda üç dəfə fərqlənir $İ_{ul.iş.b}$ = (0,2 ÷ 0,5) M_n.



Şəkil 2. *Mühərrikin ulduzdan üçbucağa keçməklə işəburaxılma sxemi və mexaniki xarakteristikaları*

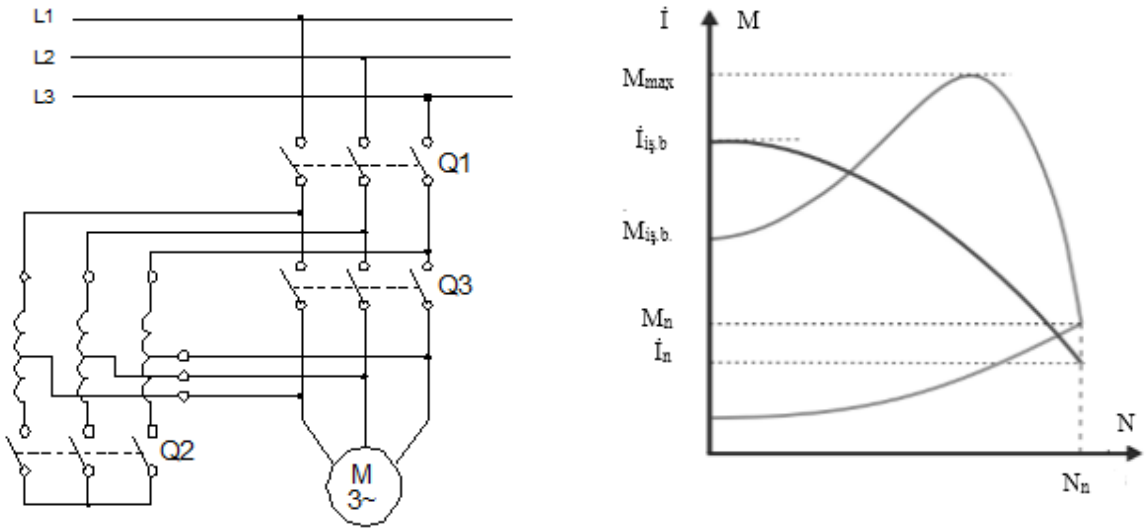
Mühərrikin sürəti müqavimət momenti ilə fırlanma momenti bərabərləşəndə stabilləşir, bu adətən nominal sürətin 75 - 85% də əldə edilir. Sonra dolaqlar üçbucaq sxemi ilə qoşulur və mühərrik öz xarakteristikalarına çatır. Ulduzdan üçbucağa keçid, zaman relesi vasitəsilə yerinə yetirilir. Fazalar arasında qısa qapanmanın qarşısını almaq üçün üçbucaq sxemin kontaktorları ulduz sxemin kontaktorlarının açılmasından 3 - 5 saniyə sonra qapanır. Ulduz sxemin kontaktoru açılanda dolaqda cərəyanın axını dayanır və üçbucaq sxemin kontaktı qapananda bərpa olunur. Üçbucaq sxeminə keçəndə yüksək pik səviyyəli amma qısamüddətli mühərrikə əks EHQ yaranır [2, 3].

Asinxron mühərriklərin ulduzdan üçbucağa keçməklə işə buraxma üsulunun mənfi cəhətləri aşağıdakılardır:

1. Mühərrik ulduz sxemindən üçbucaq sxeminə keçid edəndə cərəyanın sıçrayışla böyük qiymət alması;
2. Mühərrikin işəburaxma momentinin kiçik olması;
3. Ulduz-üçbucaq keçidi zamanı mexaniki zərbələr yaranması.

3. Avtotransformatorla işəburaxma üsulu.

Asinxron mühərrikin dolaqlarının üçbucaq qoşulması zamanı işləmə gərginliyi şəbəkə gərginliyinə bərabər olmayan mühərriklər ulduz-üçbucaq sxemi ilə işə buraxılmır. Bu tip mühərriklər avtotransformatorla işə buraxılır (şəkil 3). Ulduzdan-üçbucağa keçməklə işə buraxılma üsulunda işə salma cərəyanı nominaldan 33,3 %-ə qədər az olurdusa, bu rəqəm avtotransformatorla işə buraxılma zamanı 65%-ə qədər təşkil edir. Pilləli olaraq sarınan avtotransformatorun 2-ci tərəf dolaqlarında induksiyalanan EHQ mühərrikin nominal işləmə gərginliyindən daha kiçik qiymətlərdə olur. Belə ki, üçfazalı avtotransformatorla asinxron mühərrikə işə salma anında tətbiq olunan gərginlik nominal mühərrik gərginliyinin 50%, 70% və ya 80%-i qədər kiçik bir gərginlikdir. Buna misal olaraq, əgər birbaşa işə buraxılma zamanı mühərrik şəbəkədən nominaldan 5 - 8 dəfə artıq cərəyan alırsa, avtotransformator vasitəsilə mühərrikin işə buraxılması zamanı onun statoruna nominal gərginliyin 50%-i tətbiq olunduqda mühərrikin avtotransformatordan aldığı cərəyan nominaldan 3 dəfə artıq olar. Avtotransformatorun şəbəkədən aldığı cərəyan isə 2-ci tərəfdə 50% az gərginlik tətbiq etdiyimizə görə 2-ci tərəf dolaqlarından axan cərəyanın yarısı qədər olur. Beləliklə, mühərrikin işəburaxılma zamanı şəbəkədən aldığı cərəyan nominaldan 1.5 dəfə artıq olur. Buda şəbəkədə keçid prosesi zamanı baş verə biləcək cərəyan dalğalanmalarını minimuma endirir [2, 3].



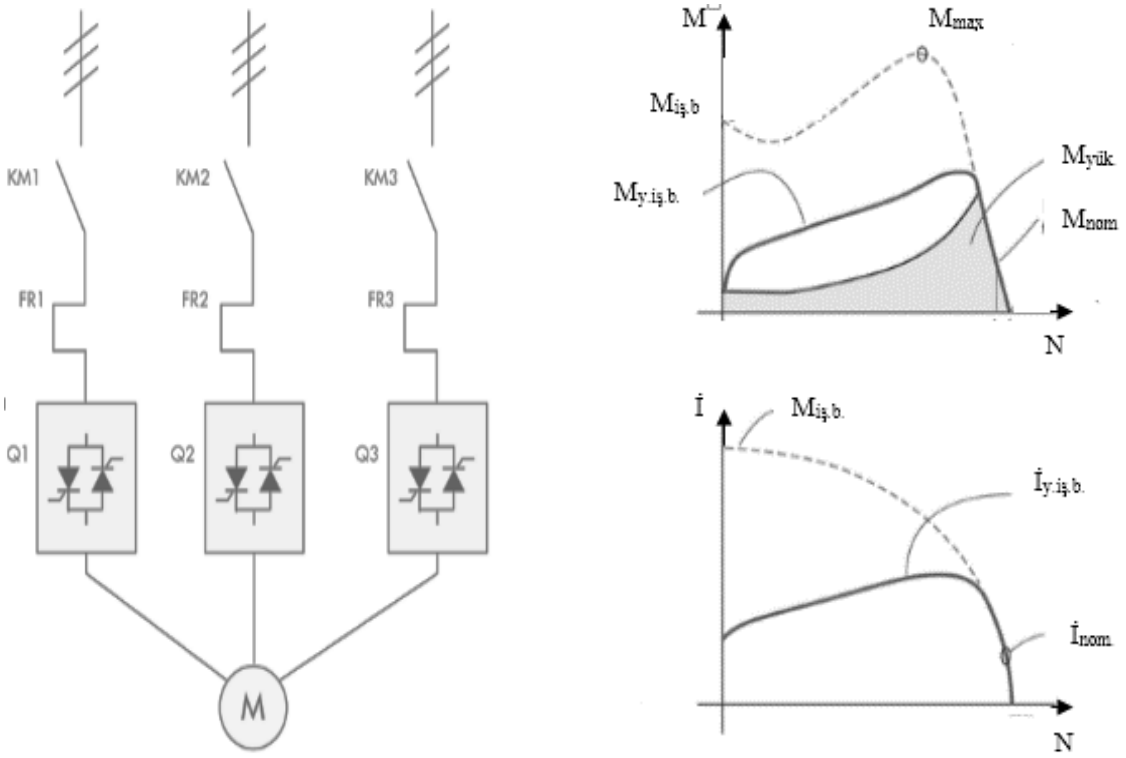
Şəkil 3. *Mühərrikin avtotransformatorla işəburaxılma sxemi və mexaniki xarakteristikaları*

Bu üsulun mənfi cəhətiləri aşağıdakılardır:

1. Avtotransformatorun sarğılar sayının pilləli dəyişilməsi zamanı stator cərəyanı qısamüddətli kəsilir. Bu anda mühərrikin rotoru fırlanır və rotor cərəyanının yaratdığı maqnit sahəsi stator dolaqlarını kəsərək EHQ induksiyalayır. Bu zaman avtotransformator vasitəsilə statora gərginlik tətbiq olunduqda bu iki gərginlik toplanacaq şəkildə eyni fazada ola bilər. Bu da statordan ifrat cərəyanların keçməsinə səbəb ola bilir;
2. Avtotransformatorların iqtisadi cəhətdən səmərəli olmaması.

4. Yumşaq işəburaxıcı ilə işəburaxma üsulu.

Asinxron mühərrikin statoruna tətbiq olunan gərginliyi aşağı salmaqla işəburaxma metodlarından müasir dövrdə ən çox istifadə olunanlardan biri də mikroprosessor idarə sistemləri ilə təchiz edilmiş yumşaq işəburaxma metodudur (şəkil 4). Yumşaq işəburaxıcıları nəzəri olaraq mühərrikin işəsalma dövrəsinə ardıcıl qoşulmuş müqavimət kimi başa düşmək olar. Yumşaq işəburaxıcılarda eyni ilə digər işəburaxma üsullarında olduğu kimi işəsalma cərəyanını tənzim edir. Bu üsulun digər metodlardan əsas üstün cəhəti mühərrikin heç bir mexaniki zərbə olmadan işə buraxılması və tormozlanmasıdır. Digər üstün cəhət isə göstərilən üsulların heç birində mövcut olmayan cərəyan-moment xarakteristikasının səlis tənzim oluna bilməsidir.



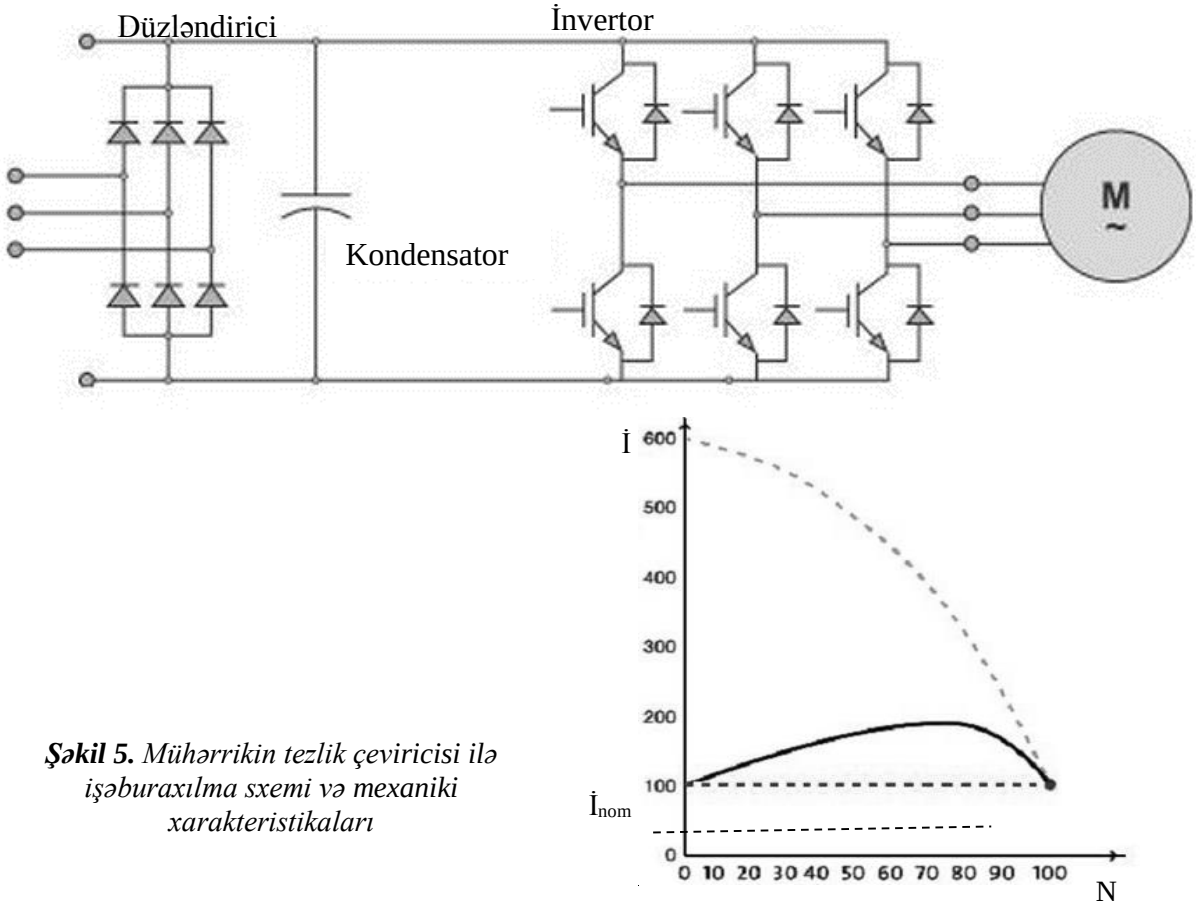
Şəkil 4. *Mühərrikin yumşaq işəburaxıcı ilə işəburaxılma sxemi və mexaniki xarakteristikaları.*

Yumşaq işəburaxıcılarda Amplitud İmpuls Modulyasiyası (PAM - Pulse Amplitude Modulation) texnologiyasından istifadə olunur. Yumşaq işəburaxıcı mühərrikin işəburaxılması zamanı statora tətbiq olunan gərginliyi 30% -dən 100% -ə qədər səlis şəkildə artıraraq mühərrikin işəsalma cərəyanını tənzim edir. İşəburaxılma zamanı eyni zamanda mikroprosessor vasitəsilə mühərrikin cərəyan-moment xaraktersitikasıda tənzim edilir ki, bu yumşaq işə buraxıcının əsas üstün cəhətlərindən birdir. Yumşaq işəburaxıcılar hər fazada qoşulmuş triyak, reversiv birləşmiş diod-tiristor cütündən, və ya ən çox istifadə olunan reversiv birləşmiş tiristor cütündən ibarət olurlar. Mikroprosessorla idarə olunan bu yarımkeçirici cütünə mühərrikin işə buraxılması anından başlayaraq idarə siqnalları göndərilir. Bununla da, mühərrikin statoruna tətbiq olunan gərginlik tənzim olunur. Mühərrikin işəburaxılma xarakterisikası bu üsulla ideal vəziyyətə gətirilə bilir. Bu

üsulun mənfi cəhəti iqtisadi cəhətdən səmərəli olmaması və idarə olunan bilən yarımkeçiricilərdə baş verən güc itkilərinin olmasıdır [4, 5].

5. Tezlik çevirisi ilə işəburaxma üsulu.

Tezlik çeviricisi üç əsas hissədən ibarətdir: düzləndirici, filtr və invertor. Düzləndirici tezlik çeviricisinə gələn dəyişən cərəyanı sabit cərəyana çevirir. Sabit cərəyan filtrdən keçdikdən sonra invertora ötürülür. Tezlik çeviricisinin sonuncu hissəsi invertordur. İnvertorda, gücü mühərrikə ötürən tranzistorlar vardır. Müasir tezlik çevricilərində bu məqsədlə İGBT tranzistorlarından istifadə olunurlar. İGBT tranzistorlar saniyədə min dəfələrlə açılıb-bağlanaraq cərəyanın səlis bir şəkildə mühərrikə verilməsini təmin edirlər. İGBT tranzistorlar, istənilən tezlikdə eninə impuls modulyasiyası (EİM) üçün (PWM - Pulse Width Modulated) texnologiyasını istifadə edirlər.



Şəkil 5. *Mühərrikin tezlik çeviricisi ilə işəburaxılma sxemi və mexaniki xarakteristikaları*

Gəmilərdə yumşaq işəburaxıcılarla yanaşı böyük güclü gəmi elektrik intiqallarının işə buraxılması üçün tezlik çeviriciləri də tətbiq olunur. Mikroelektronikanın, yarımkeçiricilərdən hazırlanan elektrik çeviricilərinin inkişafı və müasir texniki inkişaf ilə əlaqədar olaraq gəmi elektrik avadanlığının quruluşu təkmilləşir, istismarı asanlaşır və avtomatlaşma dərəcəsi artır. Belə ki, 2000-ci ildən sonra xəzərə gətirilən A1 avtomatlaşma dərəcəsinə malik olan ticarət gəmilərinin ("Heydər Əliyev", "Əziz Əliyev", "Cabbar Həşimov" tipli tankerlərin və başqa gəmilərin) ən lazımlı elektrik intiqalları (sükan və köməkçi sükan, yük nasosları, baş mühərriklərin köməkçi mexanizmlərin elektrik intiqalları) yarımkeçiricilərdən hazırlanmış tezlik çevriciləri ilə işə salınır və lazım olduqda fırlanma tezliklərində həmin çeviricilər vasitəsilə tənzim olunur. Adətən, belə intiqallar gəminin mərkəzi postunda qurulmuş mikroprosessorlarla idarə olunur.

Tezlik çeviricilərinin tətbiqi zamanıda mühərrik əvvəlcə alçaq tezliklə işə buraxıldığı üçün onun sıxaclarına verilən gərginlik də tezliyə mütənasib olaraq az olur [4, 5].

Kiçik gərginliklə işə buraxılan mühərrik də məlum olduğu kimi şəbəkədən az cərəyan tələb edir. Sonra isə tədricən artırılan tezlik və gərginlik mühərrikin və yaxud işçi mexanizmin öz nominal sürətini almasına səbəb olur.

Eyni qidalanma dövrəsinə bağlı digər cihazlar və çoxlu sayda tezlik çeviriciləri olması halında belə davamlı olaraq şəbəkədə harmonikalar yaranır.

Tezlik çeviricilərin mənfi cəhətləri aşağıdakılardır:

1. İqtsiadi cəhətdən əlverişli olmaması;

2. Tezlik çeviricisi istifadə etdikdə, tezlik çeviricisindən elektrik mühərriklərinə gələn harmonik gərginliklərin və cərəyanların təsiri ilə mühərriklərdə dəmir və mis itkilərinin artmasıdır. Bu harmonikalar, intiqalın səmərəliliyinə və momentinə təsir edib, mühərrikin aşırı qızmasına səbəb olur.

Ümumi olaraq, işəburaxma üsullarından tezlik çevriciləri gəmi elektrik intiqalları üçün ən ideal seçimdir.

Cədvəl

	Birbaşa işəburaxma	**Ulduz-üçbucaq işəburaxma**	**Avtotransfor-matorla işəburaxma**	**Yumşaq işəburaxma**	**Tezlik çeviricisi ilə işəburaxma**
Qiymət	+	++	+++	+++	++++
İşəburaxma cərəyanı	5÷10 $İ_{nom}$	2÷3 $İ_{nom}$	1.7÷4 $İ_{nom}$	4÷5 $İ_{nom}$	$İ_{nom}$
Gərginlik enməsi	Yüksək	Keçid prose-sində yüksək	Aşağı	Aşağı	Aşağı
İşəburaxma momenti	2.5 M_{nom}	0.2÷ 0.5 M_{nom}	Təx. 0.5 M_{nom}	Təx. 0.5 M_{nom}	1.5÷ 2 M_{nom}
İşəsalmaların sayı	Məhdud	2-3dəfə	3-4 dəfə	Məhdud	Məhdudiyyət yoxdur
Mexaniki zərbə	Çox yüksək	Orta	Orta	Orta	Zəif

Qısaca desək, dəyişən yüklü elektrik intiqallarında tezlik çeviriciləri daha əlverişlidirlər. Ancaq mühərrik sabit olaraq tam yüklə işləyirsə və tez-tez dayandırılıb yenidən işə buraxılmırsa, yumşaq işəburaxıcılar son dərəcə əlverişlidir.

Yuxarıda qeyd edilənləri nəzərə alaraq böyük güclü gəmi elektrik intiqallarının işəburaxılma üsullarına görə bəzi parametrlərin müqayisəsi cədvəldə verilmişdir. Hansı işəburaxılma üsulunun daha əlverişli olması cədvəldən açıq-aydın görünür.

Nəticə. Böyük güclü asinxron mühərriklərin mövcud üsullarla işə salınmasının təhlili göstərir ki, rele-kontakt aparatları mütəmadi olaraq qulluq tələb edir, elektrik enerjisinin sərfi böyük olur və istismarda kifayət qədər etibarlı olmur. Etibarlılığı yüksəltmək və enerji itkilərini azaltmaq məqsədilə böyük güclü rotoru qısaqapanmış asinxron mühərriklərin yumşaq işəburaxıcılar və ya tezlik çeviriciləri ilə idarə edilməsi təklif olunur.

Ədəbiyyat

1. H. A. Mehdiyev, Z. Ə. Həsənov, T.H. Şabanov “Avtomatlaşdırılmış gəmi elektrik intiqalları”. Bakı, “Nurlan”, 2005, 358 səh.
2. S.C. Osmanov "Elektrik maşınları" II hissə, dərslik. Bakı, 2010, 256 səh.
3. В.В. Москаленко. Электрический привод: учебник для студентов высших учебных заведений. М.: Издательский центр "Академия", 2007, 368 с.
4. А.А. Суптель. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод: Учеб. пособие. Чебоксары: Изд-во, Чуваш, ун-та. 2000. 164 с.
5. Ю.А. Фролов. “В.Н. Хохловский (Редактор перевода)”. Руководство по решениям в автоматизации. “Shenider Electric”; Москва, 2011, 323 стр.

UOT 62.83.52

GƏMİ KRAN QURĞUSU ELEKTRİK İNTİQALININ TEZLİK ÇEVİRİCİLƏRİ İLƏ İDARƏ OLUNMASININ ÜSTÜNLÜKLƏRİ

Sultanov E.F., Məmmədov E.M.

Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası
Az1000, Bakı şəh., Z.Əliyeva küç., 18
E-mail: elshen_sultanov@mail.ru, emilmemmedoglu@gmail.com

Xülasə. *Məqalədə gəmi kran qurğularının elektrik intiqallarının tezlik çeviriciləri ilə idarə olunmasına baxılmış və onların üstünlükləri qeyd edilmişdir.*

Abstract. *In this article were considered the questions of managing with electric drive of vessel crane devices with the help of frequency converters. The advantages of management of frequency converters had been held with modern electric drive.*

Аннотация. *В статье рассмотрены вопросы управления электроприводом судовых крановых устройств с помощью частотных преобразователей. Приведены преимущества частотного управления современным электроприводом.*

Açar sözlər: *gəmi, kran qurğusu, elektrik intiqalı, tezlik çeviricisi, idarəolunma*

Ключевые слова: *судно, крановое устройство, электропривод, частотный преобразователь, управление*

Key words: *vessel, lifting installation, electrical drive, frequency converter, management*

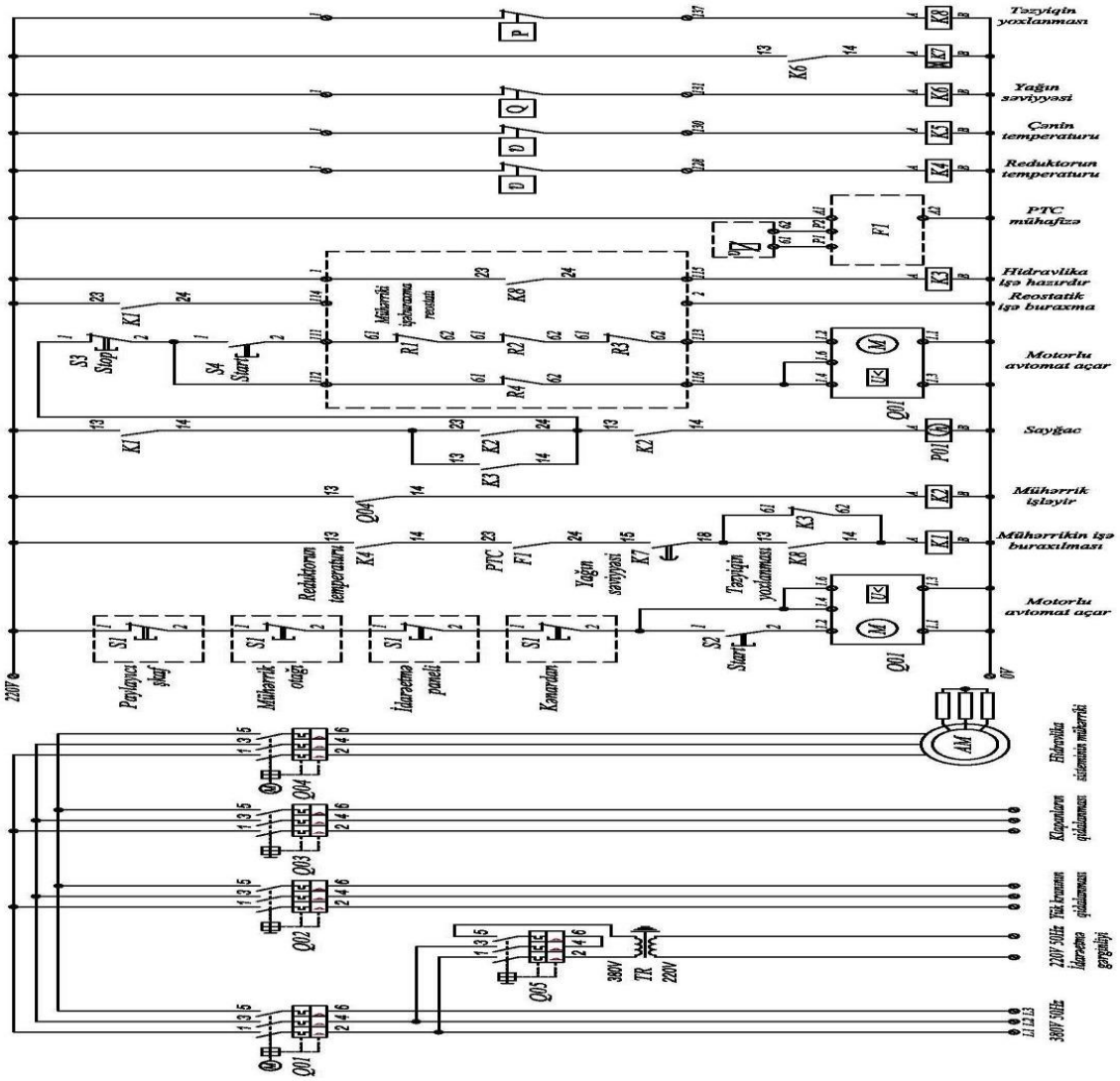
Giriş. Nəqliyyat gəmilərində yükləmə və yükboşaltma işləri əsas etibarı ilə bucurqadlar və kranlar vasitəsilə yerinə yetirilir. Gəmi yükqaldırıcı mexanizmlərin elektrik intiqalları, gəmi şəraitində istismar tələblərinə cavab verən xüsusiləşdirilmiş elektrik maşınlarından və aparatlarından istifadə etməklə hazırlanırlar. Bir çox gəmilərdə, yükqaldırıcı mexanizmlərdə elektrik mühərrikinin gücü elektrik stansiyasının bir generatorunun gücünə bərabər və ya ona yaxın olur. Yükqaldırıcı bucurğadların və kranların elektrik intiqallarına verilən tələblərin əsası yüksək məhsuldarlığın təmin edilməsidir.

Müasir gəmidə müxtəlif təyinatlı yükqaldırıcı qurğular mövcuddur. Bunlardan kranlar, maşın şöbəsinin telferləri, sərnişin, yük, kambuz liftləri və s. göstərmək olar. Bu elektrik intiqalları bir qayda olaraq bir sürətə malik olduqları və qısa müddətli rejimdə işlədikləri üçün nisbətən sadədirlər. Mühərrikinin gücü böyük olan elektrik intiqalının idarə üsulunu seçdikdə əsas iki problemi düzgün həll etmək lazımdır. Bunlardan birincisi mühərrikin işə salınması ikinci isə fırlanma sürətinin tənzim edilməsidir [1, 2].

Əsas hissə. Şəkildə "Zülfi Hacıyev" tipli kran gəmisinin kran qurğusunun prinsipial elektrik sxemi göstərilmişdir.

Sxem iki hissədən ibarətdir: Mühərriki işə salan güc dövrəsi və idarəetmə üçün idarə dövrəsi. İdarəetmə dövrəsi 220V gərginliklə işləyir və bu TR gərginlik transformatorunun köməyi ilə alınır. Güc dövrəsində qoyulan Q (01-04) avtomat açarları işlədiciləri, Q05 avtomat açarı isə idarəetmə dövrəsini artıq yüklənmədən və qısa qapanmadan mühafizə etmək üçün nəzərdə tutulub.

Güc dövrəsinə gərginlik vermək üçün ilk növbədə Q01 avtomat açarını qapamaq lazımdır. Bunun üçün S2 start düyməsini sıxmaq lazımdır. Sxemdən də göründüyü kimi giriş avtomatının söndürülməsi üçün bir neçə yerdə stop düymələri nəzərdə tutulmuşdur. Stop düyməsi sıxılan zaman avtomatın içində aşağı gərginlikdən mühafizə üçün nəzərdə tutulan minimal gərginlik relesinin gərginliyi kəsilir və rele avtomat açarı söndürür.



Şəkil 1. *Yük kranının elektrik intiqalının prinsipial sxemi*

Transformatorun vasitəsilə idarəetmə sisteminə verilən gərginlik ilk növbədə F1 - yüksək temperaturdan mühafizə relesi və uyğun olaraq K4,K5,K6 və K8 aralıq relelərinin makaralarını qidalandıran, reduktorun temperaturu, hidravlika sisteminin çənində olan yağın temperaturu, səviyyəsi və təzyiqinə nəzarət edən relelərin kontaktlarına ötürülür. Əgər sistemdə problem yoxdursa mühafizə releləri yuxarıda qeyd etdiyimiz idarəetmə relelərinin makaralarına gərginlik ötürür. İdarəetmə releləri idarəetmə dövrəsində olan kontaktlarını qapayaraq sistemi işə hazır vəziyyətə gətirir. K6 relesinin kontaktı K7 zaman relesinin makarasına gərginlik ötürür və zaman relesi bir neçə saniyə gözlədikdən sonra kontaktını qapayaraq mühərriki işə buraxmağa icazə verir. Mühərrik işə buraxmaq üçün S4 start düyməsini sıxmaq lazımdır. Bu zaman Q04 avtomat açarı kontaktlarını qapayır. Mühərrik işəburaxma reostatının köməyi ilə işə buraxılır. Avtomat açarı söndürmək üçün S3 stop düyməsini sıxmaq lazımdır. İşəburaxma reostatı mühərrikin normal iş rejiminə nəzarət edir. Hər hansı problem yaranan zaman reostatın içində olan R(1-4) kontaktları açılır. R4 kontaktı açılan zaman minimal gərginlik relesinə ötürülən gərginlik kəsilir və rele avtomat açarı söndürür. R1,R2 və R3 kontaktları isə açılaraq problem aradan qalxmamış avtomat açarın yenidən qoşulmasının qarşısını alır. Mühərrik işə buraxılandan sonra idarəetmə kontaktları qapanaraq sayğacı dövrəyə qoşur. Mühərrikin yüksək temperaturdan mühafizəsini F1 relesi həyata keçirir. Q04 avtomatı qapanan zaman öz idarəetmə kontaktını qapayır. Kontakt qapanaraq K2 relesinin makarasına gərginlik ötürür. K2 relesinin kontaktlarının köməyi ilə avtomatın qapalı və ya açıq olması barədə siqnallar ötürülür.

Sxemdən də göründüyü kimi, qurğunun icraedici elektrik mühərriki faza rotorlu asinxron mühərrikdir. Faza rotorlu asinxron mühərriklərdə işə salma və fırlanma sürətinin tənzim edilməsi mühərrikin rotor dövrəsinə müqavimət qoşmaqla həyata keçirilir.

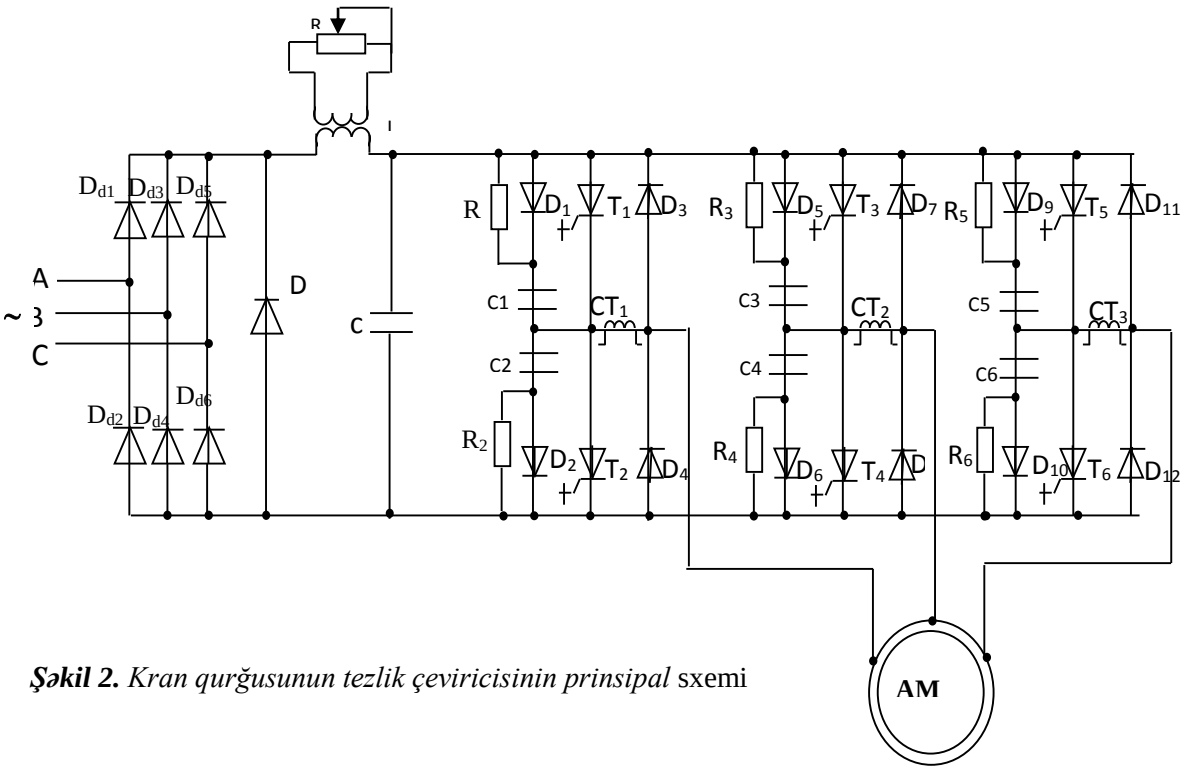
Belə üsulun əsas mənfi cəhəti tənzimetmənin pilləli olması və tənzim müqavimətində böyük enerji itkisinin yaranmasıdır. Bununla yanaşı, mühərrikin şəbəkədən aldığı elektrik gücünün çox hissəsi həmin müqavimətlərdə istiliyə çevrildiyi üçün, belə intiqal iqtisadi cəhətdən əlverişli sayılmır.

Bu məsələni həll etmək üçün məqalədə yükqaldırıcı mexanizmlər üçün elektrik mühərriki seçildikdə üstünlük idarəetmə ilə əlaqədar əlavə güc itgisi olmayan tezlik çeviricisi ilə idarə olunan rotoru qısa qapanmış asinxron mühərrikə verilməsi təklif olunur.

Gəmi kran qurğularında tezlik çeviricisi ilə idarə olunan asinxron elektrik intiqalının tətbiq edilməsi qurğuda həcm və kütləsi böyük olan xüsusi üç dolaqlı (üç sürətli) asinxron mühərrikinin əvəzinə statorunda bir üçfazalı dolaq yerləşən asinxron mühərrikin işlədilməsinə imkan yaradır. Bundan əlavə tezlik çeviricisinin tətbiqi kran qurğularına lazım olan sürət tənzimini pilləlidən səlistə keçirir, tənzim həddini artırır və üç sürətli asinxron mühərrikinin bir sürət dolağından digərinə keçməsinə sərf olunan vaxtı aradan götürüb qurğunun tez işləməsini təmin edir.

Kran qurğularında asinxron mühərrikə verilən cərəyanın tezliyini tənzim etmək üçün sabit cərəyan bəndli, eninə impuls modulyasiyalı gərginlik invertoruna malik olan tezlik çeviricisi seçilmişdir [3, 4].

Belə tezlik çeviricisinin sxemi şəkil 2-də göstərilmişdir. Şəkildən göründüyü kimi, invertorun sxemində tam idarə olunan (qapanan) tiristorlar tətbiq edilmişdir [5].



Şəkil 2. *Kran qurğusunun tezlik çeviricisinin prinsipal* sxemi

İnvertorun sxemində R1÷R6, D1÷D12, C1÷C6 elementləri tam idarə olunan tiristorların mühafizəsi üçün sxemə daxil edilmişdir. CT1÷CT3 cərəyan transformatorları tiristorların kommutasiyasına nəzarət etmək üçün qurulmuşdur.

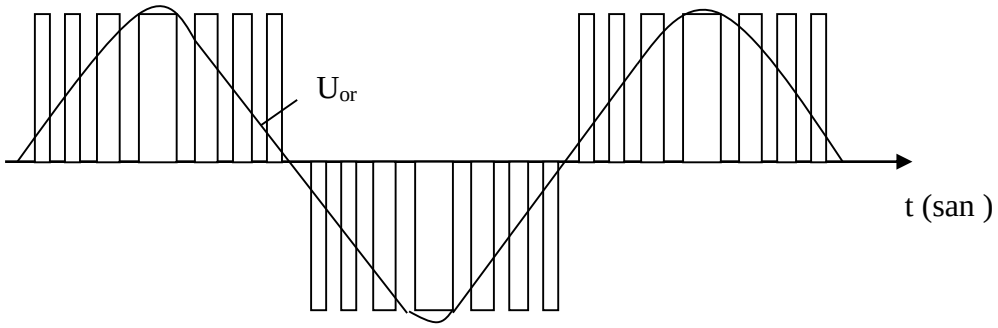
Məlum olduğu kimi, tam idarə olunan tiristorlar bir çox üstünlüklərə malikdirlər. Bunlardan cərəyan keçən istiqamətdə gərginlik itkisinin az olması, böyük güclənmə əmsalına malik olması və tez işə hazır olması kimi cəhətlər tam idarə olunan tiristorlardan yığılmış tezlik çeviricisini başqa növ tiristor çeviricisinə nisbətən etibarlı, az həcmli və tez işləyən edir. Eninə impuls modulyasiyalı

sinusoidal qanun ilə idarə olunan invertorda dəyişən cərəyanı sabitə çevirən düzləndiricidə düzlənmiş gərginliyi tənzim etmək lazım gəlmir, bu funksiyanı invertor özü yerinə yetirir və buna görə də tezlik çeviricisinin sxemi sadələşir, güc əmsalı isə artır [5].

Şəkil 3-də belə invertorun çıxış gərginliyinin diaqramı göstərilmişdir.

Şəkil 3-dən göründüyü kimi invertorun çıxış gərginliyinin impulslarının enini sinus qanunu ilə idarə etdikdə çıxış gərginliyinin orta qiyməti sinus əyrisi kimi olur.

Eninə impuls modulyasiyalı prinsipdə işləyən invertorun həm tezliyi və həmdə gərginliyi invertor tərəfindən tənzim edilir.



Şəkil 3. *Sinus qanunu ilə idarə olunan eninə impuls modulyasiyalı invertorun çıxış gərginliyini diaqramı*

Nəticə. Gəmi kran qurğularının elektrik intiqallarının tezlik çeviriciləri vasitəsilə idarə olunmasının üstünlükləri kimi aşağıdakıları qeyd etmək olar:

1. Tezlik çeviriciləri lazım olan sürət tənzimini pilləlidən səlistə keçirir;
2. Tənzim həddini artırır;
3. Üç sürətli asinxron mühərrikin bir sürət dolağından digərinə keçməsinə sərf olunan vaxtı aradan götürüb qurğunun tez işləməsini təmin edir.

Ədəbiyyat

1. Бабаев А.М., Ягодкин В.А. Автоматизированные судовые электроприводы. М., Транспорт, 1986. 448 ст.
2. Mehdiyev H. A., Həsənov Z.Ə., Şabanov T.H. Avtomatlaşdırılmış gəmi elektrik intiqalları. Bakı, “Nurlan”, 2005-ci il, 358 səh.
3. Соколовский Г.Г., Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. - М.: Издательский центр "Академия", 2006. 272с.
4. Суптель А.А. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод: Учеб. пособие. Чебоксары: Изд-во Чуваш, ун-та. 2000. 164 с.
5. Фролов Ю.А., Хохловский В.Н. (Редактор перевода). Руководство по решениям в автоматизации, “Shenider Electric”, Москва, 2011, 323 стр.

GƏMİÇİLİKDƏ TƏBİƏT ELMLƏRİNİN PROBLEMLƏRİ

УДК 622.276

ДВИЖЕНИЕ ДВУХФАЗНЫХ СИСТЕМ В СЛОЖНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ

Аскеров Р.Х.

Азербайджанская Государственная Морская Академия
Az1000, г. Баку, ул. З.Алиевой, 18
E-mail: r_askerov_57@mail.ru

Аннотация. *В статье на основе законов гидромеханики однородной жидкости и газа предложена новая модель движения двухфазной системы типа жидкость-газ в горизонтальных трубах. Данный метод дает возможность определить основные параметры сложных трубопроводов, с учетом физических свойств двухфазных систем. В данной работе на основе гидравлических законов однородной жидкости и газа предложена модель движения двухфазной системы в трубопроводе и получены основные расчетные формулы для сложных трубопроводов.*

Получено также уравнение движения двухфазной системы в простом и сложном трубопроводе, что позволяет рекомендовать использование данной методики в промысловой практике.

Abstract. *A new model of the motion of a two-phase fluid-gas system in horizontal pipes is proposed based on fluid mechanics of a homogeneous fluid and gas. This method makes it possible to determine the main parameters for complex pipelines, taking into account the physical properties of two-phase systems. In this paper, based on the hydraulic laws of a homogeneous fluid and gas, a model is proposed for the motion of a two-phase mixture in a pipeline and basic calculation formulas for complex pipelines are derived.*

Also, the equation of motion of a two-phase system in a simple and complex pipeline is obtained, which makes it possible to recommend this technique in field practice.

This technique can be used for other complex pipelines. Given the simplicity and validity of the laws of hydromechanics of a homogeneous liquid and gas, this method can be recommended for wide application in field conditions.

Xülasə. *Məqalədə bircins maye və qazın hidrodinamik qanunları əsasında horizontal borularda ikifazalı sistemlərin hərəkətinin yeni modeli təklif olunmuşdur. Bu üsul ikifazalı sistemlərin fiziki xassələrini nəzərə almaqla mürəkkəb boru kəmərlərinin əsas parametrlərini müəyyənləşdirməyə imkan verir. Bu məqalədə bircins maye və qaz hidravlik qanunlarına əsasən ikifazalı sistemlərin kəmərdə hərəkəti və mürəkkəb kəmərlərin hesabat düsturları alınmışdır.*

Eyni zamanda, ikifazalı sistemlərin sadə və mürəkkəb kəmərlərdə hərəkət tənliyi verilmişdir ki, bu da göstərilən üsulun mədən praktikasında istifadəsinə imkan verir.

Ключевые слова: *касательное напряжение сдвига, сложный трубопровод, параллельное соединение, диаметр, объемный расход жидкости и газа*

Key words: *tangential shear stress, compound pipelines, parallel connections, diameter, volumetric flow rate through liquid and gas*

Açar sözləri: *toxunma gərginliyi, mürəkkəb boru kəməri, paralel birləşmələr, diametr, maye və qazın həcm sərfiyyatı*

Введение. Нефтяные месторождения в мире находятся в различных климатических зонах, скважины имеют различные глубины и различные физико-химические свойства нефти, газа и воды, что является основанием для индивидуального подхода при разработке проектов

их обустройства. Практика показывает, что система сбора и транспортирования нефти, газа и воды является отдельной разветвлённой сетью трубопроводов, проложенных по территориям месторождений. Это подземные, надземные, подводные и надводные трубопроводы. С учетом условий разработки нефтяного месторождения для разных пластов сети трубопроводов бывают различными. Так, для месторождений России общая длина всех трубопроводов, проложенных под землёй, превышает более 30 тысяч километров. Геометрические размеры таких трубопроводов колеблются в широких пределах от 0,1 до 1,02 метра.

В основном трубопроводы малого диаметра (выкидные линии), прокладывают от устья скважины до групповых замерных установок. По трубопроводам большого диаметра транспортируется пресная вода для заводнения нефтяного пласта с целью поддержания в них пластового давления, увеличивающего коэффициент нефтеотдачи.

Результаты анализа показывают, что все трубопроводы, транспортирующие однофазные (нефть, газ, пресная или пластовая вода), двухфазные (нефть и газ) или многофазные (нефть, газ и вода) системы проверяются на пропускную способность, т.е. на гидравлическое сопротивление, а также на механическую прочность.

Практика показывает, что для всей работы по сбору, транспортированию и подготовке нефти, газа и воды в комплексном проекте разработки месторождения предусматривается размещение основных нефтепромысловых объектов и коммуникаций, на сооружение которых расходуется около 50% капиталовложений, выделяемых нефтедобывающей промышленности [1-3].

Известно, что все трубопроводы, применяемые на нефтяных месторождениях, подразделяются на категории: по назначению – нефтепроводы, газопроводы, нефтегазопроводы; по характеру движения – с совместным движением нефти, газа и воды: с раздельным движением обводненной и необводненной нефти; по характеру напоров– напорные и безнапорные; по способу прокладки – подземные, надземные, подводные и подвесные; по функции – выкидные линии, сборные и товарные коллекторы; по гидравлической схеме работы – простые без ответвлений, сложные – с ответвлениями, к которым относятся параллельные, кольцевые и замкнутые трубопроводы.

Основная часть. Для данных трубопроводов, предусмотренных в комплексном проекте, требуется проведение гидродинамических расчётов. В основном, сборные коллекторы, транспортирующие газожидкостные смеси типа нефть и газ, должны проектироваться и рассчитываться с учетом темпа бурения эксплуатационных скважин, а также климатических условий данного месторождения.

Проведенные многочисленные гидравлические расчеты показывают, что от темпов ввода скважины в эксплуатацию зависит выбор рациональных диаметров сборных коллекторов. Так, при низких темпах ввода в эксплуатацию скважин с небольшим дебитом в морских условиях должны проектироваться как два сборных коллектора, равных по площади сечения одному большому, рассчитанному на максимальную производительность всех эксплуатируемых скважин.

При высоких темпах эксплуатации скважин можно проектировать и строить одну общую систему, т.е. один сборный коллектор, рассчитанный на максимальную производительность всех подключенных скважин. При построении сложной системы трубопроводов, транспортирующих как однофазные, так и двухфазные системы, прежде всего, необходимо руководствоваться расположением скважин на месторождении, с учетом их начальных и конечных дебитов, а также физико-химическими свойствами углеводородов, добываемых из различных продуктивных горизонтов. Учёт расположения скважин на нефтяном месторождении, глубины моря, рельефа морского дна и климата дает возможность выбора рациональных трасс всех трубопроводов.

В основном, гидравлические расчеты выполняются для простых и сложных трубопроводов, транспортирующих как однофазную и многофазную системы.

Гидравлический расчет простого трубопровода сводится к определению его пропускной способности, необходимого начального напора и диаметра трубопровода. Сложные трубопроводы могут быть различного диаметра по длине и отводу.

При гидравлическом расчете сложных трубопроводов практический интерес представляют четыре случая, которые часто встречаются в промысловых условиях:

1. Раздаточный коллектор с постоянным диаметром для равномерного и неравномерного отбора углеводородов;
2. Сборный коллектор, имеющий постоянный или разный диаметр, флюиды для равномерно или неравномерно поступающих флюидов;
3. Общий сборный коллектор, образующий параллельные трубопроводы (люпинги);
4. Общий сборный коллектор имеющий форму кольца.

В данной работе на основе гидравлических законов однородной жидкости и газа предложена модель для движения двухфазной смеси в трубопроводе и получены основные расчетные формулы для сложных трубопроводов. Известно, что совместный транспорт двухфазных углеводородных систем по трубопроводам распространен в нефтяной и газовой промышленности. Сложность гидродинамических процессов, происходящих при движении нефтегазовой системы, которые отличаются от расчетов при однофазном потоке, является причиной того, что эта проблема на сегодняшний день не нашла своего удовлетворительного решения.

Обрабатывая результаты многочисленных теоретических и лабораторно-экспериментальных работ классиков по гидравлике многофазных систем, таких как А.И.Гужов, А.А.Арманд, С.И.Костерин, С.С.Кутателадзе, В.А.Мамаев, G.I.Hoogendoorn, Г.Уоллиси др. в пределах, следующих параметров: Фруд газа $Fr_{\text{г}} = 0{,}15 \div 3246$, Фруд жидкости $Fr_{\text{ж}} = 0{,}0005 \div 134{,}12$;Рейнольдс газа $Re_{\text{г}} = 211 \div 67500$, Рейнольдс жидкости $Re_{\text{ж}} = 404 \div 18886$и при диаметре трубы $D = (0.02 \div 0.05)$ м для различных жидкостей была получена зависимость:

$$\tau_{\text{с}} = \tau_{\text{ж}} + \tau_{\text{г}} + k\sqrt{\tau_{\text{ж}}\tau_{\text{г}}} \qquad (1)$$

где $\tau_{\text{с}}$ - касательное напряжение при движении двухфазной системы;

$\tau_{\text{ж}}$ и $\tau_{\text{г}}$ - касательные напряжения жидкости и газа, соответственно;

k - экспериментальный параметр.

Лабораторный анализ показывает, что данный экспериментальный параметр зависит от соотношений плотностей жидкости и газа. Для водо-воздушной системы $k = \sqrt{\frac{\rho_{\text{ж}}}{\rho_{\text{г}}}} = 26$, для других жидкостей – $k = \sqrt{\frac{\rho_{\text{ж}}}{\rho_{\text{г}}}} = 26 \div 33$, в зависимости от физико-химических свойств жидкости и газа. В работе [3] дано полное исследование данной модели.

$$\Delta p_c = \Delta p_{\text{ж}} + \Delta p_{\text{г}} + k\sqrt{\Delta p_{\text{ж}}\Delta p_{\text{г}}}, \qquad (2)$$

где Δp_c - потеря напора на трение при движении двухфазной системы;

$\Delta p_{\text{ж}}$ и $\Delta p_{\text{г}}$ - потери на трение при движении однородной жидкости и газа, соответственно.

Учитывая отдельные параметры для жидкости и газа, соответственно, получаем:

$$\frac{\Delta p_c}{L} = \lambda_{\text{ж}}\frac{v_{\text{ж}}^2}{2D}\rho_{\text{ж}} + \lambda_{\text{г}}\frac{v_{\text{г}}^2}{2D}\rho_{\text{г}} + k\sqrt{\lambda_{\text{ж}}\frac{v_{\text{ж}}^2}{2D}\rho_{\text{ж}}\lambda_{\text{г}}\frac{v_{\text{г}}^2}{2D}\rho_{\text{г}}} \qquad (3)$$

где $\lambda_{\text{ж}}$ и $\lambda_{\text{г}}$ - коэффициенты гидравлического сопротивления для однородной жидкости и газа, соответственно;

$v_{\text{ж}}$ и $v_{\text{г}}$ - приведенная скорость жидкости и газа, соответственно;

$\rho_{\text{ж}}$ и $\rho_{\text{г}}$ - плотность жидкости и газа, соответственно;

L - длина трубопровода;

D – внутренний диаметр трубы.

При расчете гидродинамики трубопроводов часто применяется формула Шези. Примем данное уравнение для однородной жидкости и газа

$$\lambda_{ж} = \frac{8g}{c_{ж}^2} \text{ и } \lambda_{г} = \frac{8g}{c_{г}^2}$$

где $c_{ж}$ и $c_{г}$ - коэффициент Шези для жидкости и газа соответственно;

g - ускорение свободного падения.

После несложных преобразований, получим:

$$\frac{\Delta p_c}{\rho_{ж} g}\frac{D}{4L} = \frac{v_{ж}^2}{c_{ж}^2} + \frac{v_{г}^2}{c_{г}^2}\frac{\rho_{г}}{\rho_{ж}} + k\sqrt{\frac{v_{ж}^2}{c_{ж}^2}\frac{v_{г}^2}{c_{г}^2}\frac{\rho_{г}}{\rho_{ж}}} \quad (4)$$

Введем в данное уравнение объемно-расходное газосодержание:

$$\beta = \frac{v_{г}}{v_{г}+v_{ж}} \quad (5)$$

Известно, что приведенную скорость жидкости и газа, соответственно, можно определить по формуле:

$$v_{ж} = c_{ж}\sqrt{R\, I_{ж}} \text{ и } v_{г} = c_{г}\sqrt{R\, I_{г}} \quad (6)$$

где $I_{ж}$ и $I_{г}$ - гидравлический уклон для жидкости и газа;

R - гидравлический радиус.

Тогда

$$\frac{\Delta p_c}{\rho_{ж} g}\frac{D}{4L} = \frac{v_{ж}^2}{c_{ж}^2}\left(1 + \frac{I_{г}}{I_{ж}}\frac{\rho_{г}}{\rho_{ж}} + k\sqrt{\frac{I_{г}}{I_{ж}}\frac{\rho_{г}}{\rho_{ж}}}\right) \quad (7)$$

Обозначим выражение, заключённое в скобки через параметр

$$A = 1 + \frac{I_{г}}{I_{ж}}\frac{\rho_{г}}{\rho_{ж}} + k\sqrt{\frac{I_{г}}{I_{ж}}\frac{\rho_{г}}{\rho_{ж}}} \quad (8)$$

Данное выражение дает возможность определить объемные расходы отдельных фаз. Так, для жидкости это

$$Q_{ж} = v_{ж} S = k_{ж}\sqrt{\frac{I_{ж}}{A}} \quad (9)$$

где $k_{ж}$ - расходная характеристика по жидкости.

Тогда

$$Q_{ж} = k_{ж}\sqrt{\frac{h_{ж}}{L}}\frac{1}{\sqrt{A}} \quad (10)$$

где $h_{ж}$ - гидравлический напор жидкости.

Часто в сложных морских условиях рекомендуется строить параллельные трубопроводы, для которых

$$Q_{ж} = Q_{1ж} + Q_{2ж} \quad (11)$$

Тогда, с учетом (10) и (11) получаем

$$Q_{ж} = k_{ж1}\sqrt{\frac{h_{ж1}}{L_1}}\frac{1}{\sqrt{A_1}} + k_{ж2}\sqrt{\frac{h_{ж2}}{L_2}}\frac{1}{\sqrt{A_2}} \quad (12)$$

Выводы. Как видно, данный метод дает возможность определить основные параметры для сложных трубопроводов, с учетом физических свойств двухфазных систем.

Данную методику можно применять и для других сложных трубопроводов. Учитывая простоту и обоснованность данной методики законами гидромеханики однородной жидкости и газа можно рекомендовать её для широкого применения в промысловых условиях.

Литература

1. Лутошкин Г.С. Сбор и подготовка нефти, газа и воды. М:, "Недра", 1979, 319 с.
2. Альтшуль А.Д., Киселев П.Г. Гидравлика и аэродинамика. М:, "Стройиздат", 1975, 323 с.

3. Салаватов Т.Ш., Аскеров Р.Х., Дадашзаде Х.И. Определение забойного давления в процессе эксплуатации обводненных газовых скважин// "Газовая промышленность", №1, 2017, с. 26-30.
4. Гужов А.И. Совместный сбор и транспорт нефти и газа. М:, "Недра", 1973, 280 с.

УДК 3313.02

АНАЛИЗ УСТОЙЧИВОСТИ НЕЛИНЕЙНЫХ ДВИЖЕНИЙ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

Алиев А.М., Ахадов А.Б.

Азербайджанский Государственный Университет Нефти и Промышленности
Аз1000, г. Баку, пр. Азадлыг, 16/21
E-mail: ehedov.anar@gmail.com

Аннотация. *Статья посвящена теоретическому исследованию устойчивости движений рабочих органов технологических машин. Записаны и решены дифференциальные уравнения движения приводов станка. Проведены экспериментальные исследования динамики станка в различных режимах его работы.*

Xülasə. *Məqalədə texnoloji maşınların işçi mexanizmlərinin dayanıqlı hərəkəti öyrənilmişdir. Dəzgahın işlədicisinin hərəkət tənlikləri yazılmış və həll edilmişdir. Müxtəlif rejimlərdə avadanlığın dinamikası əyani tətbiq edilməklə araşdırılmışdır.*

Abstract. *The work is dedicated to a theoretical study of the stability of motions of technological machines parts. The differential equations of motion of the machine drives are recorded and solved. Experimental studies of the dynamics of the machine tool in various operating modes have been carried out.*

Ключевые слова: *машина, устойчивость, надежность, динамика*
Açar sözlər: *maşın, stabillik, dayanıqlıq, etibarlılıq, dinamika*
Key words: *machine, sustainability, steadiness, stability, reliability, dynamics*

Актуальность проблемы. Среди требований поставленных перед современным машиностроением, весьма важными являются повышение производительности, экономичности, точности, надежности, долговечности, виброустойчивости машин и аппаратов.

Эффективность решения этих задач в значительной степени зависит от уровня развития машиностроения, в частности станкостроения, являющегося основой развития других отраслей машиностроения.

Движение реальных технологических машин, в том числе металлорежущих станков, в действительности имеют нелинейные характеристики. Нелинейности, отброшенные при составлении динамических моделей и уравнений движения машин, являются теми основными причинами, приводящими к неточностям результатов теоретических исследований и действительными законами движения реальной машины.

Движение нелинейной крутильной системы машин с n степенями свободы описываются уравнением вида [1,2]:

$$J_i\ddot{\varphi}_i - C_{i-1,i}(\varphi_{i-1}-\varphi_i) + C_{i,i+1}(\varphi_i-\varphi_{i+1}) - \beta_{i-1,i}(\dot{\varphi}_{i-1}-\dot{\varphi}_i) + \beta_{i,i+1}(\dot{\varphi}_i-\dot{\varphi}_{i+1}) + \\ +\varepsilon_{i,i+1}(\varphi_i-\varphi_{i+1})^3 = M_i(t) - N_{1i} + N_{2i}\dot{\varphi}_i - N_{3i}\dot{\varphi}_i{}^3 \qquad (1)$$

где $i=1,2,3,....,n;\ C_{01}=\beta_{01}=\varepsilon_{01}=0;\ \varphi_{n+1}\equiv 0;\ \dot{\varphi}_{n-1}\equiv 0;\ M_i=M_{01}sin\omega t$

J_i,φ_i – момент инерции и угловые перемещения;

C_i, β_i – приведенная жесткость и коэффициент демпфирования.

Предположим, что ряд металлорежущих станков, в которых имеют место нелинейные колебательные явления, приведены к двухмассовым динамическим моделям (рис. 1). В динамической модели, показанной на рис. 1a, генерируются автоколебания, причиной которой является действие силы трения в местах контакта движущих тел. В динамических моделях, показанных на рис. 1a,b могут возникнуть вынужденные и автоколебания под действием сил трения или сил резания и т.д.

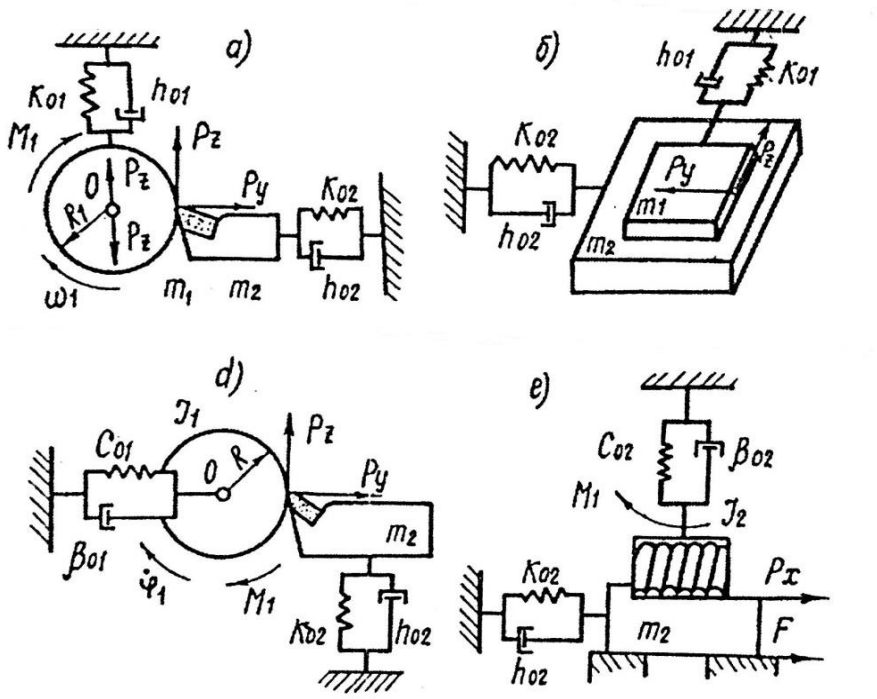


Рис. 1. *Двухмассовые динамические модели станков [3]*

Исходя из формулы (1) запишем дифференциальные уравнения движения динамических моделей, показанных на рис. 1d, e

$$J_1\ddot{\varphi}_1 - \beta_{12}(\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) + C_{12}(\varphi_1 - \varphi_2) + \varepsilon_{12}(\varphi_1 - \varphi_2)^3 = M_1(t)$$
$$J_2\ddot{\varphi}_2 - \beta_{12}(\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) - C_{12}(\varphi_1 - \varphi_2) + \varepsilon_{12}(\varphi_1 - \varphi_2)^3 = -M_2(t) \qquad (2)$$

Рассмотрим устойчивость колебательного движения двухмассовой динамической модели токарно-винторезного станка модели 1К625, когда характеристика силы резания P_z описывается нелинейной функцией скорости [4,1]. тогда, дифференциальные уравнения движения двухмассовой системы имеют вид:

$$\left.\begin{aligned} \ddot{\psi} + \omega_1^2(\psi - \theta) - \beta_{\varphi_1}(\dot{\psi} - \dot{\theta}) = 0 \\ \ddot{\theta} + \omega_2^2(\psi - \theta) - \beta_{\varphi_2}(\dot{\psi} - \dot{\theta}) + \beta_{\varphi}(\dot{\psi} - \dot{\theta})^3 = 0 \end{aligned}\right\} \qquad (3)$$

где, P_0 – сила резания при отсутствии вибрации;

$$P_z = P_0 + H(\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2) - \frac{(\dot{\varphi}_1 - \dot{\varphi}_2)^3}{3\omega_\phi^2} \qquad (4)$$

H, $\omega_Ф$ – параметры, характеризующие крутизны и протяженности подающего участка силы резания:

$$\psi = \varphi_1, \theta = \varphi_2 - \frac{P_0 R}{J_2 \omega_2^2};\ \omega_1^2 = \frac{C_{12}}{J_2 \omega_2^2};\ \omega_2^2 = \frac{C_{12}}{J_2} \tag{5}$$

$$\beta_{\varphi_1} = \beta_{12}, \beta_{\varphi_2} = \frac{\beta_{12}+HR}{J_2};\ \beta_\varphi = HR/3J_2\omega_\varphi^2 \tag{6}$$

Из первого уравнения системы (4), вычитывая второе и принимая обозначения, получим:

$$\phi = \psi - \theta;\ \omega_\varphi^2 = \omega_1^2 + \omega_2^2;\ \beta_\phi = \beta_{\varphi_1} + \beta_{\varphi_2} \tag{7}$$

Приводим системы уравнений (4) к стандартному уравнению квазилинейной системы:

$$\ddot{\phi}(t) + \omega_\phi^2 \phi(t) = \varepsilon\omega_\phi[k\dot{\phi}^3(t) - \dot{\phi}(t)] \tag{8}$$

где,

$$\varepsilon = \frac{\beta_\phi}{\omega_\phi} = [\beta_{12}J_2 + (\beta_{12} + HR)J_1]/\sqrt{J_1 J_2 C_{12}(J_1 + J_2)} < 1; \tag{9}$$

$$k = \beta_\varphi/\beta_\phi = 1/3\omega_\phi^2[1 + (1 + (1 + J_2/J_1)\beta_{12}/HR] < 1; \tag{10}$$

Для решения нелинейного уравнения (8) методом малого параметра вводим новое безразмерное время $\tau = vt$.

При этом будем иметь:

$$v^2\ddot{\phi}(\tau) = \omega_\phi^2\phi(t) = \ \varepsilon\omega_\phi[kv^3\dot{\phi}^3(t) - v\dot{\phi}(\tau)] \tag{11}$$

где, ε – безразмерный малый параметр; v – частота нелинейной системы.

Согласно основной идее метода малого параметра, для определения значений параметров нелинейной автоколебательной системы, с точностью до третьей степени малости, записываем [1]:

$$v = \sqrt{\frac{C_{12}(J_1+J_2)}{J_1 J_2}}\left(1 - \frac{1}{16}\varepsilon^2\right) \tag{12}$$

$$\phi(t) = \frac{2}{\omega_\phi\sqrt{3k}}\left[\cos vt + \frac{1}{8}\varepsilon\left(\sin vt - \frac{1}{3}\sin 3vt\right) + \frac{1}{32}\varepsilon^2 \cdot\right.$$

$$\left. \cdot\ \left(\frac{5}{2}\cos vt + \cos vt - \frac{1}{G}\cos 5vt\right)\right] \tag{13}$$

$$G = \frac{2J_2}{C_{12}J_1}\sqrt{\frac{C_{12}(J_1+J_2)[\beta_{12}(J_1+J_2)^2 - AJ_1^2]}{3DJ_1J_2}} \tag{14}$$

где, A, D – коэффициенты интерполяции сил резания.

Из формулы (12) и (13) видно, что с увеличением малого параметра ε частота нелинейного колебательного движения уменьшается, а амплитуда увеличивается. При значениях ε>1 амплитуда и частота нелинейной системы резко меняются.

Исходя из формулы (13) найдем выражения для определения максимального значения упругого момента и крутильных колебаний рассматриваемой системы:

$$M_{max} = C_{12}(\varphi_1 - \varphi_2) = 2C_{12}\omega_\phi\sqrt{\frac{\beta_{12}J_2(J_1+J_2)+J_1J_2HR}{C_{12}(J_1+J_2)HR}} \tag{15}$$

$$\phi_{max} = 2\omega_\phi\sqrt{\frac{\beta_{12}J_2(J_1+J_2)+J_1J_2HR}{C_{12}(J_1+J_2)HR}} \tag{16}$$

Из формулы (15) и (16) видно, что амплитуды, как колебательного движения ϕ_{max}, так и упругого момента M_{max} зависят от протяженности падающего участка силы резания, жесткостных и инерционных параметров системы.

Определим устойчивость движения рассматриваемой системы. Для этого примем критерии Рауста-Гривица [5].

Решение уравнения (4) принимаем в виде:

$$\psi = \beta e^{pt};\ \theta = Ae^{pt} \tag{17}$$

Выражения (17) подставляя в систему уравнений (4) и проводя определенное преобразование, получим характеристическое уравнение:

$$b_0p^4 + b_1p^3 + b_2p^2 = 0 \tag{18}$$

где,

$$b_0 = 1,\ b_1 = \frac{\beta_{12}(J_1+J_2)+J_1HR}{J_1J_2};\qquad b_2 = \frac{C_{12}(J_1+J_2)+J_1HR}{J_1J_2}$$

Для уравнения (18) запишем матрицу Гурвица [2]:

$$\Delta = \begin{vmatrix} b_1 & b_0 & 0 & 0 \\ b_1 & b_2 & b_1 & b_0 \\ 0 & b_4 & b_3 & b_2 \\ 0 & 0 & 0 & b_4 \end{vmatrix} \tag{19}$$

Критерии устойчивости рассматриваемой системы будут:

$$b_0 > 0; b_1 > 0\ ;\ b_2 > 0$$
$$\beta_{12}(J_1 + J_2) + HJ_1R > 0;\ c_{12}(J_1 + J_2) > 0 \tag{20}$$

В качестве численного примера проверим устойчивость колебательного движения в установившемся режиме работы станков.

Пример.

Приведенная к валу шпинделя двухмассовая модель (рис. 2) токарно-винторезного станка 1К625 при отработке стального вала диаметром 168 мм с подачей *S=0.2 мм/об* и со скоростью *V=0.8 м/с,* имеет следующие параметры [1]:

J_1=49 Нмс^2; J_2=138 Нмс^2; c_{12}=67.10^3 Нм/рад; R=0.084 m; β_{12}=8.0 Нмс; H=-300 Нс

Подставляя эти параметры в первое уравнение (20), получим

$$\beta_{12}(J_1 + J_2) + HJ_1R = 8(49+138)-300\cdot49\cdot0.084=1496-1234.8=261.2>0$$

Второе уравнение (20) всегда удовлетворяется.

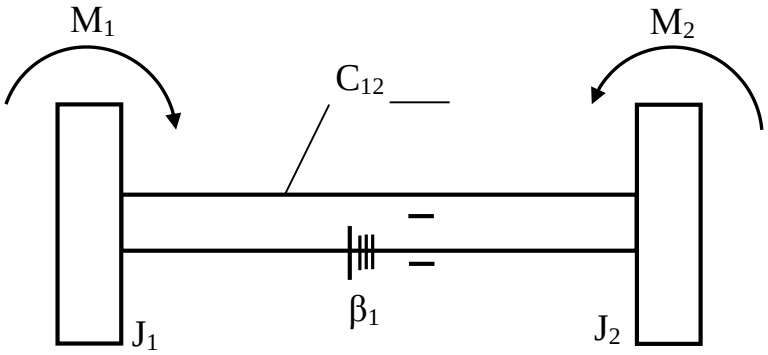


Рис. 2

Колебательное движение токарно-винторезного станка 1К625 в установившемся режиме работы устойчиво.

Выводы

1. Наибольшая динамическая сила возникает на первом этапе разгона привода стола. Значение динамического момента в этом случае 4-6 раз превышает значения номинального пускового момента электродвигателя.
2. Для уменьшения динамической силы в приводе стола необходимо уменьшить коэффициент инерционности и увеличить жесткость системы.
3. Выведены формулы аналитического исследования динамики электромеханических приводов технологических машин, в частности металлорежущих станков.
4. Теоретические расчеты, сделанные в данной статье, могут быть полезны на практике при расчете и проектирование машин, а также при изучении характера движения рабочих органов, к которым предъявляются высокие требования.
5. Проведенные в статье теоретические исследования показывают, что движения рассматриваемых электромеханических приводов металлорежущих станков, при принятых их параметрах, являются устойчивыми.

Литература

1. Самидов Х.С., Самидов Э.Х. Динамика и оптимальное конструирование машин. Баку, «Нурлан», 2003, 612с.
2. Фильчаков П.Ф. Справочник по высшей математике. Киев:, «Наука и Димка», 1972, 743 с.
3. Кудинов В.А. Динамика станков. Москва:, «Машиностроение», 1968, 332с.
4. Самидов Х.С., Кулиев Н.А. Автоколебание при отрезке стальных труб на трубоотрезных станках.// Известия Академии наук Азербайджанской ССР, серия физико-технических и математических наук, Баку, 1981, № 3, с. 117-122.
5. Самидов Х.С., Ахадов А.Б. Оптимизация динамических процессов приводов технологических машин методом «Обобщенные безразмерные параметры». //Вістник национального технического университета «ХПІ», Харьков, № 23 (1195), 2016, 142-145 с.
6. Əhədov A.B. Avtomatik idarə olunan texnoloji maşın stolunun dayanıqlı hərəkətinin analizi//Bakı, Nəzəri və tətbiqi mexanika № 2. 2016, 68-72 s.

UOT 321.762

DƏMİR FİLİZİ QRANULLARININ QURUTMA TEXNOLOGİYASININ İŞLƏNMƏSİ

Əzimova L.H.

Azərbaycan Texniki Universiteti
Az1073, Bakı şəh., H.Cavid pr., 25
E-mail: lala.azimova.77@mail.ru

Xülasə. *Məqalədə dəmir qranullarının qurutma texnologiyasının əsas xüsusiyyətləri qeyd edilmişdir. Məlum olmuşdur ki, polad girdələrinin qurudulma sürəti zonanın uzunluğu boyunca 70-140 kq/dəq intervalında olduqda maksimum dərəcədə fərqlidir. Polad girdələrinin qurudulması zamanı nəmliyin təsiri ilə girdələrdə şişmələr, müxtəlif forma və ölçülü çatlar və digər qüsurlar əmələ gəlir. Əsasən xam formada olan qranulların keyfiyyətinin artırılması üçün, texnoloji prosesin düzgün seçilməsi məsələləri, qranulların yandırılmış hazır məhsula çevrilməsi və digər parametrlər araşdırılmışdır. Müxtəlif qurutma texnologiyalarının araşdırılması zamanı qranulların hazır məhsula çevrilməsi, qurutmanın intensivliyi, nəmliyin maksimum dərəcədə azaldılması məsələləri öyrənilmişdir. Müxtəlif diametrli və formalı qranulların islatma ilə yanaşı qurutma istiliyinin, o*

cümlədən qurutma qatının hündürlüyü üzrə istilik daşıyıcılarının iş prinsipi ilə keyfiyyətli məhsulun əldə edilməsi məsələləri öz əksini tapmışdır. Məqalədə qaz axınının köməkliyi ilə rütubətin damcı şəklində kənarlaşdırılması qanunauyğunluqları, qranulların forma və ölçülərinin qorunub saxlanılması məsələləri araşdırılaraq, müvafiq nəticələr şəklində qeyd edilmişdir. Qurutma prosesinin girdələrin fiziki-mexaniki xassələrinə təsiri araşdırılmış, qranulların qurudulmasının intensivləşdirilməsi üçün görülən texnoloji proseslər təcrübi olaraq öyrənilmişdir. Qurutma texnologiyasından çıxmış polad girdələri, baza materialı kimi əridilərək gəmilərin müxtəlif hissələrinin, gövdə detallarının və digər qurğuların istehsalı üçün keyfiyyətli məhsul hesab edilir. Əldə edilmiş dəmir filizi qranulları əridilməklə, gəmi sənayesində yüksəkkeyfiyyətli məhsul kimi geniş istifadə edilir.

Abstract.*The article noted the main properties of the technology of drying metal pellets. It became known that the rate of drying of metal granules along the entire length of the zone in the range of 70-140 kg / min is the most different. During the drying of metal granules under the influence of moisture, an increase in granules cracks of various shapes and sizes, and other defects are formed. Mainly to increase the quality of raw granules, the choice of technological processes, the transformation of pellets into burnt finished product and other parameters were investigated. In the study of various drying technologies, the transformation of granules into the finished product, the intensity of drying, and the maximum decrease in the degree of moisture were studied. Along with moistening of granules of different shapes and diameters, problems of heat of drying were reflected, including the principle of operation of heat carriers, obtaining quality products according to the height of the drying layer. The article noted the results and patterns of moisture removal in the form of droplets using a gas stream, as well as preserved forms and sizes of granules were investigated. The process of the influence of the drying of the granules on the physic mechanical properties was investigated; the technological process for the intensity of the drying of the granules was practically studied. As a result of technological drying, the obtained pellets are the base material for the production of ships, high-quality products of the production of body parts and other devices. In shipbuilding, molten metal pellets can be widely used as a high-quality product.*

Аннотация. *В статье были отмечены основные свойства технологии сушки металлических окатышей. Стало известно, что скорость сушки металлических гранул по всей длине зоны в интервале 70 – 140 кг\мин максимально другая. Во время сушки металлических гранул под воздействием влаги формируется увеличение гранул, трещины различной формы и размера, а также другие дефекты. В основном для увеличения качества гранул в сыром виде, были исследованы выбор технологических процессов, превращение гранул в сгоревший готовый продукт и другие параметры. При исследовании различных технологий сушки было изучено преобразование гранул в готовый продукт, интенсивность сушки, максимальное уменьшение степени влажности. Наряду с увлажнением гранул разной формы и диаметра были отражены проблемы теплоты сушки, в том числе и принцип работы теплоносителей, получение качественной продукции по высоте слоя сушки. В статье отмечены результаты и закономерности удаления влаги в виде капель с помощью потока газа, а также исследовано сохраненние формы и размера гранул. Исследован процесс влияния сушки гранул на физико–механические свойства, практически изучен технологический процесс для интенсивности сушки гранул. В результате технологической сушки полученные окатыши являются базовым материалом для строительства судов, качественной продукцией производства корпусных деталей и др. устройств. В судостроении расплавленные металлические гранулы можно широко использовать как высококачественный продукт.*

Açar sözlər: *şixtə, struktur, temperatur, dəmir filizi, qranul, qurutma, gəmigayırma*

Key words: *charge, strukture, temperature, ironstone, pellets, dryinq, shipbuilding*

Ключевые слова*: шихта, структура, температура, железная руда, окатыш, сушка судостроение*

Məsələnin qoyuluşu. Müasir elektro-qövs sobalarında kəsəkləri qismən şixtə materialı ilə əvəz edirlər. Bu ən çox metallik girdələr və isti briketləşdirilmiş dəmirdən ibarət olur. Qövs sobalarında poladın metallaşmış material ilə əridilməsi poladın keyfiyyətinin yaxşılaşdırılması səbəbi ilə geniş yayılmağa başladı. Əldə edilmiş məlumatlar onu göstərir ki, şixtədə polad kəsəklərini metallaşmış material ilə əvəz etdikdə, poladın plastikliyi və zərbə özlülüyü artır, kövrək hala keçmə temperaturunu azaldır, hazır məhsulların etibarlılığını və uzunömürlülüyünü artırır. Bu proses kükürdün, fosforun miqdarının azalması, əlvan metalların qatışıqlarının, qaz, və qeyri-metallik iç qarışıqları ilə də əsaslı surətdə bağlıdır [1].

Bişirmə maşınlarının işinin texniki-iqtisadi göstəricilərinin və yandırılmış qranulların metallurji xüsusiyyətlərinin artımı, sonrakı texnoloji zonaların işi ilə xam qranulların xüsusiyyətlərini əlaqələndirən, qurutma zonalarının rejimlərinə və strukturlarına hərtərəfli yanaşmaların işlənməsi və həyata keçirilməsi ilə təyin edilir. Qranulların qurutma rejimlərinin optimallaşdırılması məsələlərinə ədəbiyyatda əhəmiyyətli diqqət ayırılmışdır [1]. Ancaq onda göstərilən eksperimental məlumatlardan istifadə, həmçinin inkişaf etmiş model təsəvvürləri iki səbəbdən tez-tez çətinləşir. Belə ki, ya nəticələr bir qranulun qurutma şərtləri üçün alınmış olur, ya da təbəqəli prosesin şərtlərinə əsaslanır.

Xam qranulların keyfiyyətli qurudulması texnoloji zonaların işi ilə və nəticədə nə də yandırılmış məhsulun keyfiyyəti ilə bağlı deyildir. İndiki tədqiqatın hədəfi - bişirmə maşınlarında alınmış qranulların keyfiyyətli göstəricilərinə təsir edən prosesləri nəzərə alaraq, qurutma zonalarının işinin analizidir [2]. İslatma ilə yanaşı temperaturun və qatın hündürlüyü üzrə istilik daşıyıcısının rütubətinin dəyişikliyi təbəqəli prosesin əhəmiyyətli xarakteristikasıdır. Həmçinin qaz axını ilə rütubətin damcı şəkildə daşınması imkanı da nəzərə alınmalıdır. İslatma dərəcəsinin inkişaf qanunauyğunluqlarına və onun yandırılmış qranulların keyfiyyətinin formalaşmasındakı rolunu nəzərdən keçirmək vacib elmi-texniki məsələ hesab edilə bilər [2].

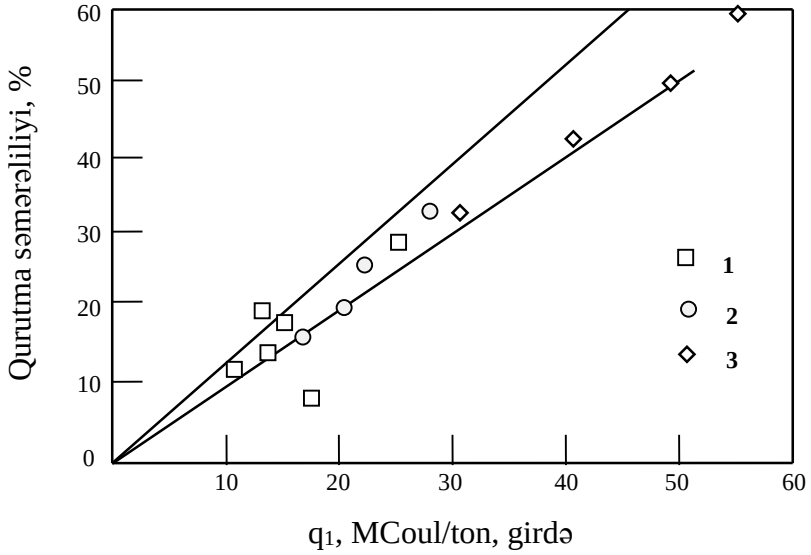
Məsələnin həlli. Polad girdələrinin (okatışın) qurudulma sürəti (qatın ortalama hündürlüyü) zonanın uzunluğu boyunca 70-140 kq/dəq intervalında olduqda maksimum dərəcədə fərqləndi. Belə ki, U_C-nin maksimal qiyməti qurutma zonasının mərkəzində, minimum qiyməti isə qurutma zonasının başlanğıcında qeydə alınmışdır. Buna səbəb soyuducu temperaturda polad girdələrinin (okatışın) daxilində və qurutma zonasında formalaşan vakuum şəraitində temperaturun azalmasıdır. Polad girdələrinin qurudulması zamanı səthdə formalaşan qazodinamiki qat, girdələrin (okatışın) qranullarının strukturuna da mənfi təsir göstərir. Bir sıra araşdırmalar zamanı məlum olmuşdur ki, polad girdələrinin (okatışın) qurudulması zamanı quru və nəm girdələrin strukturu bir-birindən xeyli dərəcədə fərqli alınmışdır. Məlum oldu ki, polad girdələrinin qurudulması zamanı nəmliyin təsiri ilə girdələrdə şişmələr, müxtəlif forma və ölçülü çatlar və digər qüsurlar mövcud olmuşdur. Bundan başqa laboratoriyalarda polad girdələrinin şişmə xüsusiyyətləri, miqdarı və strukturla əlaqələri öyrənilmişdir. Ümumiyyətlə, bu qüsurlar çox çətin aradan qaldırılır və əks halda polad girdələrinin formasına, ölçülərinə və strukturuna öz mənfi təsirini göstərir. Beləliklə, qurudulmuş polad girdələrində mövcud olan qüsurlar, nəm girdələrə nisbətən qat-qat az olur.

Polad girdələrində nəmliyin təyin edilməsi zamanı məlum olmuşdur ki, Hindistan bentonitinin nəmliyi 0,35% təşkil etmişdir. Təcrübə 20^0C temperaturlu soyuq suda və 60^0C olan qaynar suda aparılmışdır.

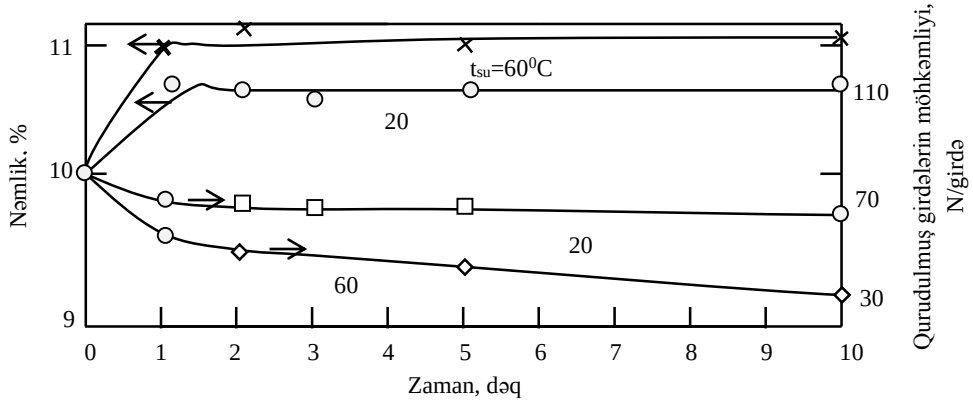
Təcrübənin əvvəlində nəmliyin qiyməti, təxminən 10% təşkil etmişdir. Təcrübənin nəticələrindən məlum olmuşdur ki, qurutmanın nisbətən böyük sürətlə getməsi halları, təcrübənin ilk dəqiqələrində baş verir. Bu hal istər soyuq suda 0,6%, qaynar suda qurutma zamanı 1,2% müşahidə edilmişdir

Qurumuş polad girdələrində möhkəmliyin azalması müşahidə edilmişdir: təxminən suda olan ilk dəqiqələrdə kəskin şəkildə, daha sonra isə zəif azalma müşahidə edilmişdir. Beləliklə, qurutma zamanı polad girdələrin möhkəmliyinin 1,2% azalması hallarına da rast gəlinir. Polad girdələrinin qurudulma prosesini intensivləşdirmək üçün, qurutma prosesini 400^0C və yuxarı temperaturlarda aparmaq daha məqsədəuyğun hesab edilir. Lakin bu proses, yəni qurutma prosesinin

intensivləşdirilməsi, qurutma maşınlarının istilik sistemlərinin daha da modernləşdirilməsi ilə bağlı olan bir məsələdir. Qurudulmuş polad girdələrinin struktur formalaşması qanunauyğunluğuna nəzər yetirdikdə, aydın olur ki, ən yaxşı girdələr sonuncu qurutma prosesi zamanı əldə edilir. ЛебГОК-da qurutma maşınlarında müxtəlif sınaqlar aparılmışdır və sınaqlar zamanı qurudulmuş polad girdələrinin səthində dağıntılar, müxtəlif boşluqlar və cızıqlar şəklində qüsurlar meydana gəldi. Eyni zamanda girdələrin səthində müxtəlif tozlar da müşahidə edildi. Qurutma zamanı dağılmalar və müxtəlif qüsurların əmələ gəlməsi, əsasən qurutma prosesinin 3-cü mərhələsində müşahidə edilmişdir. Polad girdələrində bu cür qüsurların araşdırılması üçün müxtəlif tədqiqatlar aparılmışdır.



Şəkil 1. *İstiliyin miqdarından asılı olaraq qurutma zonasında (q_T) polad girdələrinin quruma effekti*
1-Lebedinski Polad girdələri Kombinatı; 2-Kaçanski Polad girdələri Kombinatı
3-Lebedinski Polad girdələri Kombinatı; 4- Kostamuş Polad girdələri Kombinatı



Şəkil 2. *Polad girdələrinin nəmliyinin soyuq və qaynar suda qalma müddətindən asılılığı*

Polad girdələrinin qurudulması zamanı termiki dağılmaların baş verməsi, əsasən qurutma prosesinin şəraitindən (xarici şəraitdən) və girdələrin təbiətindən asılı olaraq dəyişir. Girdələrin dağılmaya qarşı olan müqaviməti, onun strukturundan və tərkibindən əsaslı şəkildə asılı olur. Polad girdələrinin strukturu, sıxlığı, məsaməliliyi və keçdiyi emal prosesləri bir-birindən fərqlənirlər. Girdələrin sıxlığının azalması, termiki dayanıqlılığı azaldır, müxtəlif ölçülü məsamələrdən istiliyin və buxarın diffuziyasını isə sürətləndirir. Aparılmış tədqiqatlar göstərdi ki, girdələrin istilik müqaviməti, girdənin xüsusi səth sahəsinin artması və diametrinin azalması ilə daha da artmışdır.

Polad girdələrinin plastikliyinin artması istiliyədözümlülüyünə müsbət təsir göstərir. Bu isə öz növbəsində qurutma zamanı yüksək temperaturlarda strukturun plastikliyinin qorunub saxlanılması və dağılmaya qarşı olan müqavimətinin artması üçün effektiv sayılır. Qeyd edildiyi kimi, polad girdələr nəmliyin təsiri nəticəsində şişirlər. Qurutma zamanı temperaturun (150-250^{0}C) qiymətlərində girdələr dağılmırlar, lakin bu, qısa müddətdə, yəni qurutmanın ilk 2-3 dəqiqəsində müşahidə edilir. Girdələrin qurudulması prosesinə təsir edən amillərin müxtəlifliyinə baxmayaraq, qurutma prosesi 2-3 dəqiqə ərzində dəyişir. Lakin, girdələrin səth təbəqələrinin qurudulması şəraitində, yəni səth təbəqəsinin qurudulması prosesinin müddəti, qurutmanın orta temperaturundan və temperaturun kontakt təsirindən 4-5 dəqiqə artıq olur.

Nəticələr: 1. Müəyyən edilmişdir ki, polad girdələrin istilik müqaviməti, girdənin xüsusi səth sahəsinin artması və diametrinin azalması ilə daha da artır.

2. Polad girdələrinin plastikliyinin artması istiliyədözümlülüyünə müsbət təsir göstərir. Bu isə öz növbəsində qurutma zamanı yüksək temperaturlarda strukturun plastikliyinin qorunub saxlanılması və dağılmaya qarşı olan müqavimətinin artması üçün effektiv sayılır.

3. Tədqiqat göstərmişdir ki, polad girdələrinin qurudulması zamanı nəmliyin təsiri ilə girdələrdə şişmələr, müxtəlif formalı və ölçülü çatlar kimi qüsurlar mövcud olur ki, bu da qurutma prosesinə mənfi təsir göstərir. Ümumiyyətlə, polad girdələrdə nəmliyin təsirindən baş verən bu tip qüsurlar çətin aradan qaldırılır və çox zaman da bu, mümkünsüz olur.

4. Təcrübələr zamanı məlum olmuşdur ki, polad girdələrinin qurudulması zamanı səthdə formalaşan qazodinamiki qat, girdələrin (okatışın) qranullarının strukturuna mənfi təsir göstərir.

5. Quru və nəmlik dərəcəsi müəyyən qiymətlərdə olan polad girdələrin strukturu bir-birindən əsaslı dərəcədə fərqlənir.

Ədəbiyyat

1. В.М. Абзалов , Я.Л. Белоцерковский, Е.В. Некрасов и др. 1222694 СССР. Способ сушки окатышей на обжиговых машинах конвейерного типа.// Открытия. Изобретения, 1986. 313. с. 98-99
2. Абзалов В.М., Архипова Т.М., Евстюгин С.Н. и др. Оптимизация процессов сушка окатышей на обжиговых машинных Костомукшского ГОКа // Сталь. 1986. №6. с. 8-10
3. Абзалов В.М., Горбачев В.А., Клейн В.И. и др.// Теплофизика и информатика в металлургии: достижения и проблемы: Материалы международной конференции к 300 – летию металлургии Урала. Екатеринбург: УГТУ, 2000. с. 53 – 55.
4. Евстюгин С.Н., Абзалов В.М., Некрасов Е.В. и др. // Сталь. 1990. №3с.11-15
5. Леонтьев Л.И., Кобелев В.А. Десульфаця офлюсованных окатышей при обжоге в регулируемой атмосфере. //Тез. Докл. Всесоюзной конференции «теория и технология подго-товки сырья к доменной плавке». Днепропетровск, 1985.с. 48
6. R.İ.Şükürov, L.H. Əzimova, Ş.M.Maşayev, S.R.Namazova, "Dəmir filizi qranullarinin təbəqəli qurutmasinin xüsusiyyətləri", "Ölçmə və keyfiyyət: problemlər, perspektivkər", Beynəlxalq konfrans, Baki-2018, səh 364-366.

UOT 669.18046.518:621.746.27:66.065.52

FASİLƏSİZ TÖKMƏ İLƏ ALINAN BORU PƏSTAHLARINDA YARANAN QÜSURLAR VƏ ONLARIN ARADAN QALDIRILMA YOLLARI

Kərimov R.İ.

"Baku Steel Company" MMC
Az1073, Bakı şəh., H.Cavid pr., 25
E-mail: ariff-1947@mail.ru.

Xülasə. *Məqalədə fasiləsiz tökmə texnologiyası ilə alınan boru pəstahlarında baş verən qüsurlar təhlil olunur və onların aradan qaldırılma yolları göstərilir. Boru pəstahlarına qoyulan tələblər və onların keyfiyyətinin təmin olunması, boru pəstahlarında yarana bilən qüsurlar və onların yaranma səbəbləri araşdırılır. Qüsurların yaranma səbəblərinin müəyyənləşdirilməsi əsasən qazıma qoruyucu borularının muftalarında tətbiq olunub və əsas səbəb kimi onların yayılmasında baş verən qüsurlar göstərilir. Ona görə də boru pəstahlarında bütün en kəsik üzrə homogen strukturun formalaşdırılması təklif olunur.*

Аннотация. *В статье проведен анализ дефектов, возникающих на непрерывнолитых заготовках и показаны пути их устранения. Изучаются требования, предъявляемые на трубные заготовки и пути обеспечения их качества. Показаны дефекты, возникающие на трубных заготовках и причины их образования. Дефекты в основном исследованы на муфтах обсадных труб и в качестве основной причины показаны дефекты, возникающие при их прокате. Поэтому предлагается формирование гомогенной структуры по всему сечению трубных заготовок.*

Abstract. *The article analyzes the defects arising on continuously cast billets and shows how to eliminate them. The requirements for pipe billets and ways to ensure their quality are studied. The defects on the tube blanks and the reasons for their formation are shown. Defects are mainly investigated on casing couplings, and defects resulting from their hire are shown as the main cause. Therefore, it is proposed to form a homogeneous structure over the entire cross section of billets.*

Açar sözlər: *boru pəstahları, qüsurlar, mufta, içyayma, likvasiya, sementit koloniyaları, fasiləsiz tökmə maşını, oturma boşluğu*

Ключевые слова: *трубные заготовки, дефекты, муфта, раскатка, ликвация, цементитные колонии, машина непрерывной разливки, усадочная раковина*

Key words: *tubular billets, defects, coupling, rolling, segregation, cementite colonies, continuous casting machine, shrinkage shell*

Giriş. "Baku Steel Company" MMC-də pəstahların alınması üçün müxtəlif markalı poladlar elektrik sobasında əsasən təkrar emal texnologiyası ilə əridilir. Müəssisə respublikamızda ilk dəfə olaraq boru pəstahlarının fasiləsiz tökmə texnologiyası ilə istehsalına başlamışdır. Hal–hazırda müəssisədə diametri 130–220mm olan boru pəstahları istehsal olunur. İstehsal olunan boru pəstahlarını zavodun yeni sexi olan boruyayma sexində müxtəlif diametrli boruların istehsalında istifadə edirlər. Borular Rusiya və Qazaxıstanın neft çıxarma müəssisələrində istifadə üçün ixcar edilir. İstehsal olunan pəstahlar AZS 876 – 2016 (ГОСТ Р53932-2010) standartı əsasında, yayılan borular isə ГОСТ 632-80 "Qoruyucu borular və onların muftaları", TŞAZ1501481481.001-2016 trapes şəkilli "Batress" yivli qoruyucu borular və onların muftaları standartlara əsasən istehsal olunurlar [1].

Boru pəstahlarına qoyulan tələblər və onların keyfiyyətinin təmin olunması. Boru pəstahlarının istehsalı zamanı qarşıya qoyulan əsas tələblərdən biri tökülən polad markalarının yüksək keyfiyyətli olmasıdır. Bunun üçün əsas texnoloji tələblər ərintinin fasiləsiz tökmə maşınında

pəstah tökülməsinin bağlı şəkildə aparılma texnologiyasının həyata keirilməsidir. Bağlı konturla tökmə zamanı istifadə olunan yağlayıcı və temperaturu tənzim edən ovuntuların verilməsi avtomatik rejimdə yerinə yetirilir. Dairəvi pəstahların birinci və ikinci soyuma zonasında düzgün kristallaşmasını təmin etmək üçün suyun verilməsi avtomatik olaraq pəstahın diametrindən asılı olaraq tənzimlənir. İstehlakçılar tərəfindən əsasən aşağıdakı polad markaları Ст20сп, Ст45, 09Г2С, 32Г2, 30ХГСА, 17ГС, 17Г1С və s. sifariş olunur. Boru pəstahlarının keyfiyyətli alınmasında əsas göstəricilərdən olan zərərli aşqarların və qazların (P, S, N_2, O_2) miqdarının standartın tələblərinə uyğun olmasıdır. Bunun üçün şixtələnmə sahəsində aparılan təxirəsalınmaz tədbirlər kimi şixtənin çeşidlənməsi, əlvan metalların seçilməsi və əlbəttə ki, saflaşdırılmış filizdən (Yuvar (DRİ)) isti briketlənmiş yuvarın (HBİ) geniş istifadəsini göstərmək olar. Boru pəstahlarının keyfiyyətinə qoyulan tələblər istehsal olunan boruların yüksək keyfiyyətini təmin edir. Borular ∅114-178mm və divarının qalınlığı 4,5 – 9,0 mm ölçülərdə istehsal olunur [2].

Yarana bilən qüsurlar və onların yaranma səbəbləri. Polad 45-dən diametri 190 mm olan pəstahlardan hazırlanan boru muftalarının istehsalında baş verən problemlərdən biri muftaların emalı zamanı yaranan daxili gərginliklər nəticəsində çatların əmələ gəlməsidir. Polad 45 onu emal zamanı məcburi termiki emal prosesinə uğradılır. Həmin termiki emal belə qüsurların əmələ gəlməsinə şərait yaradır. Belə ki, bu poladlarda karbonun miqdarının nisbətən çox olması kristallaşma zamanı onların strukturunda karbonun iri likvasiya sahələrinin yaranmasına səbəb olur. Karbonun likvasiiyası 190 diametrli pəstahın mərkəzində cəmləşdiyinə görə onun iri sahələri borudeşici standa yayma zamanı borunun divarı üzrə yayılmış kristal dənələri arasındakı əlaqənin pozulmasına gətirir. Həmin istehsal olunan borulardan alınan muftaların emalı və istismar zamanı çatların yaranması baş verir. Bu cür qüsurların həm emal, həm də istismar zamanı baş verməsi bu poladların termiki emal prosesinin rejimlərinin yenidən işlənməsi zərurətini və yaxud polad 45 markasının 32Г2 və 32Г2С markaları ilə əvəz olunması məsələsini gündəmə gətirir. Bu səpkidə yaranan qüsurların aradan qaldırılması üçün pəstahları fasiləsiz tökmə maşınının texnoloji rejimlərə uyğun olaraq lazımi hündürlüyə və radiusa malik layihələndirilməsi və keyfiyyətli pəstahların alınması üçün vakuumatorun, maqnitli qarışdırıcının tətbiqi tövsiyə olunmuşdur [3,4].

Borulardan hazırlanan muftaların analizi zamanı alınan nəticlərin təhlili:

1. Metal nümunə muftadan kəsilmişdir, ərintinin nömrəsi isə A1062 açıq konturla tökülmüş pəstahlar olmuşdur, poladın markası 45-dir;
2. Bu cür poladlardan hazırlanmış muftalar mütləq termiki emala – tabəksiltmə prosesinə uğradılmalıdır. Çünki bu tərkibli poladların daxili strukturu gərgin vəziyyətdə qalır;
3. Strukturda yaranmış karbon likvasiyası və oturma boşluğu isə tökmə zamanı kristallaşmanın başlama temperaturu ilə sona çatma temperaturunun sürətindən və pəstahın hündürüyündən asılı olaraq tam başa çatmaması ucbatından mərkəzi likvasiyanın yaranması baş verir;
4. Həmin likvasiya və oturma boşluğu sərhədində dənələrin böyüməməsi, kristalların qeyri müntəzəm düzülməsi nəticəsində əlaqənin pozulması baş verdiyindən daxili gərginliklər yaranır. Boru yayılan zaman daxili gərginliyin borunun divar hissəsində qərarlaması nəticəsində iri dənəli struktur formalaşır və bu onlar arasında əlaqənin pozulmasına şərait yaradır;
5. Belə qüsurun yaranmasına əsas səbəblərdən biri də metalın açıq konturla tökülməsidir;
6. Kəsilmiş muftadan hazırlanmış nümunənin şlifindən aydın görünür ki, gərginlik yaranan hissələrdə daxili çatlar əmələ gəlmişdir (nümunənin uc hissəsində);
7. Həmin nümunədən hazırlanmış şlifin aşılanmış (HNO_3 turşusunun spirtdə 3%-li məhlulunda) və aşılanmamış mikrostruktrunun tədqiqi ferrit strukturunun çoxluğunu təsdiqləmişdir. Bu da karbon likvasiyasına birbaşa dəlalət edir;
8. İki müxtəlif spektrometrdə aparılmış nəticəyə əsasən demək olar ki, həmin A1062 ərintisinin kimyəvi tərkibi fərqlidir. Əsasən karbonun miqdarının fərqlənməsi qeyd olunur, çünki yaymadan sonra termiki sobada yanma nəticəsində karbonun azalması mümkündür. Lakin əksinə olaraq onun artması müşahidə olunur;

9. Boru pəstahlarının PFTM qurğusunda tökülməsində daha keyfiyyətli alınmasını təmin etmək üçün elektromaqnit qarışdırıcının istifadəsi belə qüsurların 2–3 dəfə azalmasına kömək edə bilər;
10. Soba–çalovda metalın emalı zamanı verilən materialların tam həll olmasına nəzarət olunmalıdır. Bunun üçün maye metalın fiziki üsullarla qarışdırılması aparılmalıdır. Bu məqsədlə maqnit qarışdırıcıdan istifadə daha effektli ola bilər.

Kimyəvi və metalloqrafik analizlərin nəticələri: Cədvəl 1-də A 1062 ərintisindən (polad 45) alınan dairəvi pəstahların kimyəvi analizinin nəticələri verilib.

Cədvəl 1

Dairəvi pəstahların kimyəvi tərkibi

Adı	Spektometr	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	Mo	∅	Tökmə üsulu
A1062	OSE 5500	0,440	0,710	0,260	0,020	0,019	0,110	0,140	0,230	0,025	0,012	190	Açıq

Həmin pəstahdan muftalar hazırlanmışdır. Bu müftalardan kəsilmiş nümunələrin kimyəvi tərkibinin analizinin nəticələri cədvəl 2-də təqdim olunub.

Cədvəl 2

Muftadan kəsilmiş nümunənin kimyəvi analizi

Adı	Borunun en kəsiyi	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu	Al	Mo	N_2	O_2
Nümunə 1	xarici səth	0,453	0,715	0,286	0,016	0,014	0,121	0,100	0,215	0,002	0,011	115 PPM	110 PPM
	daxili səth	0,383	0,701	0,264	0,011	0,013	0,123	0,100	0,200	0,002	0,008		
Nümunə 2	xarici səth	0,430	0,750	0,300	0,017	0,023	0,120	0,100	0,214	0,007	0,011		
	daxili səth	0,430	0,705	0,288	0,011	0,013	0,122	0,102	0,198	0,002	0,008		

Boru pəstahının diametri ∅190mm və fasiləsiz tökmə prosesi açıq şəkildə aparılmışdır. İlkin pəstahda kimyəvi analizin təhlili göstərir ki, polad 45-in tərkibində elementlər üzrə standartdan ciddi sapma yoxdur (cədvəl 1).

Boru pəstahlarından hazırlanmış muftaların xarici və daxili səthlərində karbon qradienti yaranır. Bu isə daxili səthdən xarici səthə doğru muftanın divarında karbon likvasiyasına dəlalət edir (cədvəl 2).

Hesab edirik ki, muftanın daxili səthindən xarici səthinə doğru karbon qradientinin yaranması boru pəstahını içəridən yayma zamanı sərbəst sementit ünsürlərinin plastiki deformasiya nəticəsində xaricə doğru sürüşməsidir. Bu isə öz növbəsində muftada daxili gərginliklərin və bəzi halda çatların yaranmasına səbəb olur.

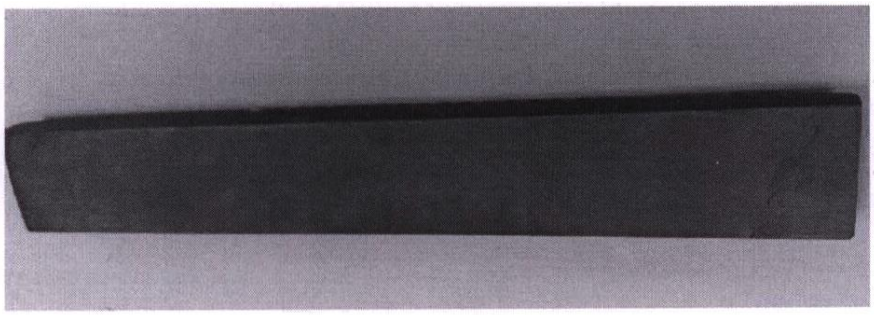
Bu deyilənləri aydın şəkildə muftanın divarının makrostrukturundan da görmək olar (şəkil 1). Makrostrukturlarda plastik deformasiya nəticəsində teksturalaşmış sahələr görünür. Bu sahələrdə sementit ünsürləri ilə yanaşı qeyri–metal ünsürlərin toplanması müşahidə olunur. Aydındır ki, belə makrostruktur qradienti kobud heterogen strukturun yaranmasına dəlalət edir (şəkil 2).

Muftanın xarici və daxili səthlərinin mikrostrukturları şəkil 3 və 4-də göstərilib. Şəkil 3 aşılanmamış, şəkil 4 isə aşılanmış vəziyyətdə mikrostrukturu əks etdirir. Aşılanmış muftanın daxili səthində narın və nisbətən homogen strukturun fomalaşması görünür. Xarici səthin mikrostrukturu haqqında bunu demək olmur. Çünki strukturda kobud sementit koloniyaları aydın görünür.

Odur ki, boruların içyayma prosesində rejimlərin düzgün seçilməsi və həm də bu əməliyyatdan sonra homogenləşdirici tabalma əməliyyatının aparılması vacib əhəmiyyət kəsb edir. Hesab edirik ki, orta legirli poladlardan, məsələn polad 45-dən borular istehsal edərkən, yaymadan sonra karbonun həcmdə paylanması üçün homogenləşdirici tabalma aparılmalıdır.

Bu tədqiqatlar əsasında aşağıdakıları qeyd etməyi lazım bilirik. Fasiləsiz tökmə ilə boruların istehsalında tökmə prosesi qapalı şəraitdə aparılmalıdır. Eyni zamanda tökmə çalovunda metalın

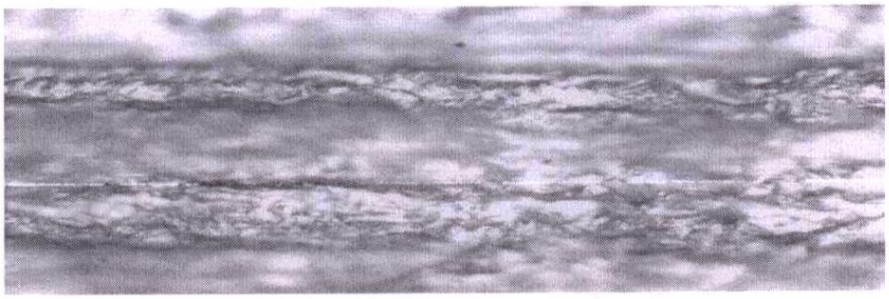
intensiv qarışdırılması üçün fiziki təsir metodlarından, məsələn, maqnit qarışdırmadan istifadə məqsədəuyğundur.



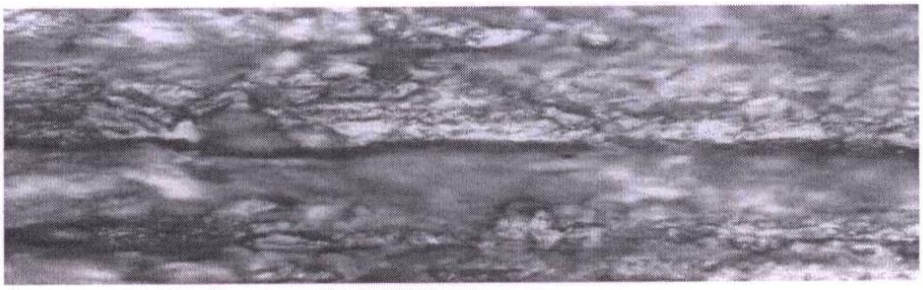
Muftadan kəsilmiş nümunə



Muftanin makrostrukturu

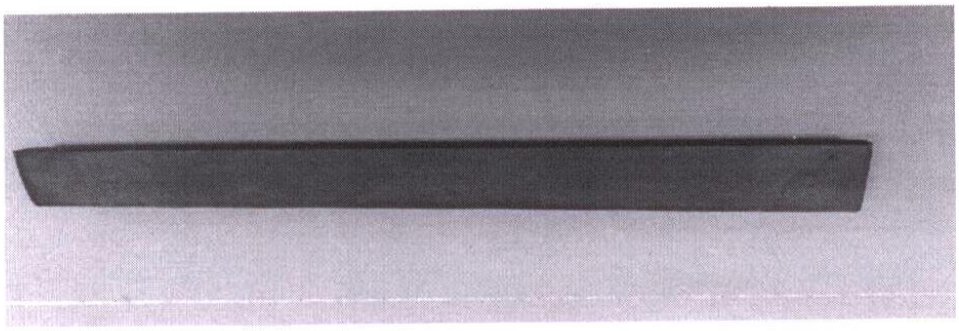


Muftanin makrostrukturu x 50

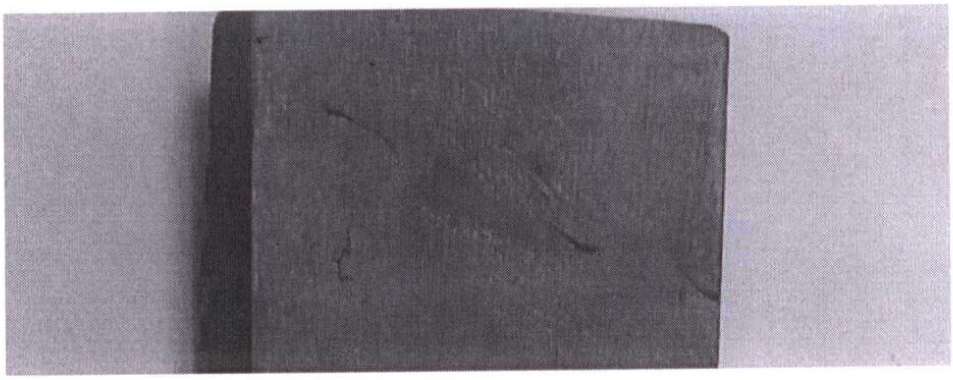


Muftanın makrostrukturu x 50

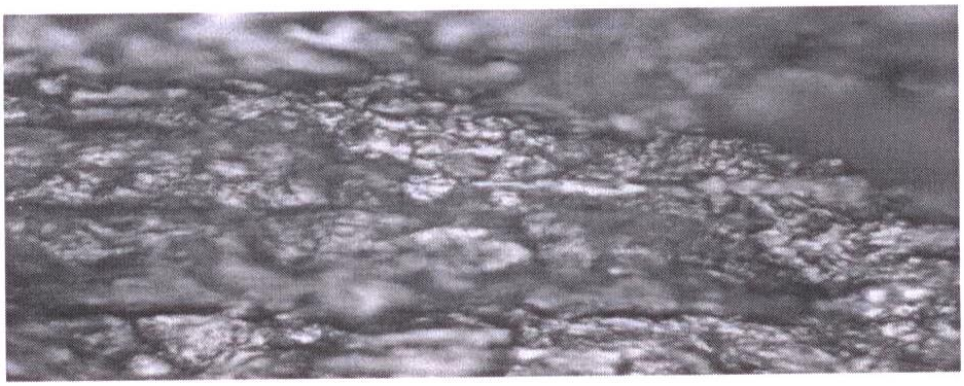
Şəkil 1. *Muftanın müxtəlif sahələrində makrostrukturu x50*



Kəsilmiş nümunə



Kəsilmiş nümunə

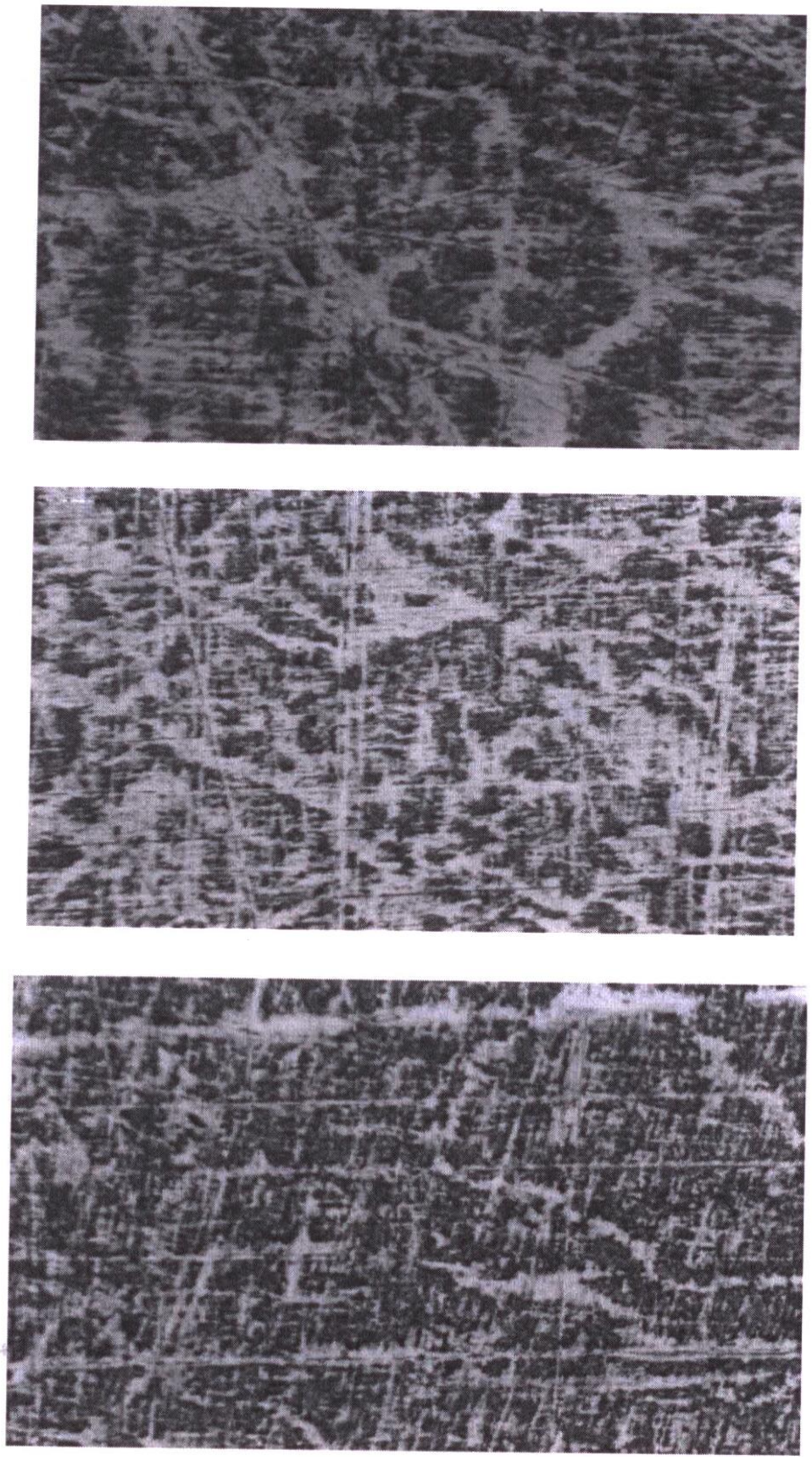


Muftanın makrostrukturu

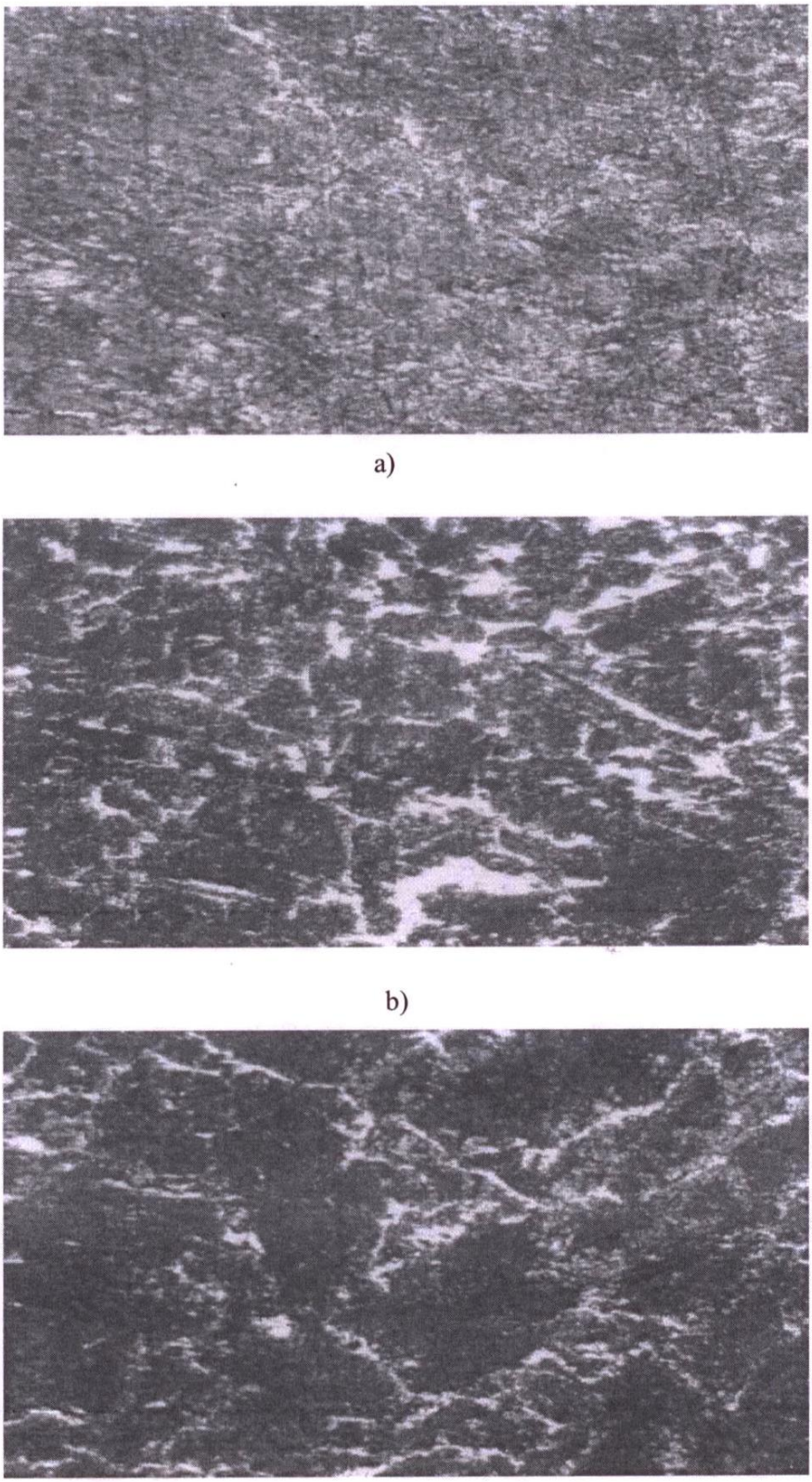


Muftanın makrostrukturu

Şəkil 2. *Muftanın kobud heterogen makrostrukturu x50*



Şəkil 3. *Aşılanmamış nümunənin makrosturkturu x500*



Şəkil 4. *Muftanın aşılanmış mikrostrukuru x500*
a – daxili səth; b, c – xarici səthlər

Fasiləsiz tökmə ilə alınan boru pəstahlarının yayılmasında sementit koloniyalarının yaranması müşahidə olunur. Nəticədə yaranan karbon likvasiyası kristallararası əlaqələrin zəifləməsinə gətirir.

Pəstahlarda sementit koloniyalarını ləğv etmək və həcmdə karbonun bərabər paylanmasını təmin etmək üçün içyayma əməliyyatından sonra homogenləşdirici tabalmanın aparılması zəruridir.

Nəticə. Fasiləsiz tökmə ilə alınan boru pəstahlarında yaranan qüsurlar və onların aradan qaldırılma yolları təhlil olunmuşdur. Müəyyən olunmuşdur ki, fasiləsiz tökmə ilə boruların istehsalında tökmə prosesi elektromaqnit qarışdırmanın iştirakı ilə qapalı şəraitdə aparılmalıdır.

Ədəbiyyat

1. G.Gabai. Continuous casting of steel. Some principles and practical notes. STS s.r.l., 1993. 71p.
2. Паршин В.М. Повышение эффективности процесса непрерывной разливки стали // Международная конференция «Технология и оборудование для внепечной обработки и непрерывной разливки стали» 2005
3. Либерман А.Л. Дефекты непрерывно литых заготовок //Электрометаллургия 2006. №3 20-25с.
4. Еланский Г.Н., Косырев А.И., Сургаев Е.В., Грибкова М.С./Формирование корочки при затвердевании непрерывнолитой заготовки квадратного сечения// Московский государственный вечерный металлургический институт, ОАО «Московский металлургический завод «Серп и молот», 2012, с.45-65.
5. Правосудович В.П., Сокуренко В.П., Данченко В.Н. и др. Дефекты стальных стилков и проката Справочник. М.: «Интермет Инжиниринт», 2006, 382с.

UOT: 001.8

İNFORMASİYA AXTARIŞININ DƏQİQLİYİNƏ TƏSİR EDƏN İNFORMASİYA SORĞULARI FAKTORLARININ ANALİZİ

Məmmədova K.A.

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti
Az1010, Bakı şəh., Azadlıq pr., 20
E-mail: ka.mamedova@yandex.ru

Xülasə. *Bu məqalədə informasiya axtarışının dəqiqliyinə təsir edən informasiya sorğuları amilləri tədqiq edilir və qiymətləndirilir. Seçim relevantlığının yaxşılaşdırılması üçün indeks-kataloqun informasiya resurslarını informasiya istehlakçılarının tələbatına uyğun nizamlamaq tövsiyə olunur. Axtarışın yüksək dəqiqlik dərəcəsinin təmin edilməsi üçün axtarış sorğusunda informasiya resursunun hər bir rekvizitindən iki sözdən istifadə edilməsi kifayət edir. İndeks-kataloq üzrə axtarışın keyfiyyətinə təsir edən parametr və amillər analiz və aşkar edilmişdir. İndeks-kataloq üzrə axtarışın axtarış sorğusunda açar sözlərin sayı ilə əlaqədar olan asimptotik imkanları tədqiq edilmişdir. Göstərilmişdir ki, dörd açar sözdən ibarət olan axtarış sorğusu axtarışın qəbul edilən dəqiqliyini təmin edir.*

Abstract. *This article investigates and evaluates information inquiries that affect the accuracy of information search. To improve the relevance of the selection, it is recommended that the index catalog be adjusted to meet the needs of information consumers. To ensure high degree of accuracy in your search, it is enough to use just two words from each requisite of the information source. The parameters and factors affecting the quality of search index-catalog were analyzed and revealed. The asymptotic possibilities related to the number of keywords in the search query search index-*

catalog have been studied. It has been shown that a search query consisting of four keywords provides the accuracy of the search.

Аннотация. *В этой статье исследуются и оцениваются запросы информации, которые влияют на точность поиска информации. Чтобы повысить значимость выбора, рекомендуется, чтобы каталог индекса был скорректирован для удовлетворения потребностей потребителей информации. Чтобы обеспечить высокую точность поиска, достаточно использовать только два слова из каждого источника информации. Были проанализированы и выявлены параметры и факторы, влияющие на качество каталога индекса поиска. Изучены асимптотические возможности, связанные с количеством ключевых слов в каталоге индекса поиска поисковых запросов. Было показано, что поисковый запрос, состоящий из четырех ключевых слов обеспечивает точность поиска.*

Açar sözlər*: informasiya resursları, dəqiqlik qiymətləri, indeks-kataloq, axtarış sorğusu, eksperimental dəqiqlik*

Keywords*: information resources, accuracy prices, index catalog, search queries, experimental accuracy*

Ключевые слова: *информационные ресурсы, цена точности, индексный каталог, поисковые запросы, экспериментальная точность*

Giriş. Aydındır ki, verilənlər anbarından informasiya resurslarının verilmə dəqiqliyinə ən azı iki amil təsir göstərir. Onlardan birincisi axtarış metodunun dəqiqliyidir [2]. İkincisi isə - informasiya resurslarının nizamlanma dərəcəsidir. Onların düşüncəli birliyi informasiya resurslarının axtarış mexanizminin hətta orta xarakteristikalarında informasiya axtarışının kifayət edən dərəcədə dəqiqliyini almağa imkan verir.

Qeyd etmək lazımdır ki, indeks-kataloqun nizamsızlığına görə tematik məcmuya informasiya resursları ixtiyari qaydada daxil edildiyindən və axtarışın bütün tematik məcmusu üzrə İR-nın sadə xətti seçimi yolu ilə aparıldığından, informasiya sorğularının verilməsi nizamsız idi. Ən çox tələb olunan informasiya resursunun heç cür qeyd olunmamasına görə o, veriliş siyahısının sonunda ola bilər. Bu da istehlakçı üçün mənfi amildir.

Bu məqalədə axtarışın yüksək dəqiqlik dərəcəsinin təmin edilməsi üçün axtarış sorğusunda informasiya resursunun dəqiqliyinin qiymətləndirilməsi və axtarışın keyfiyyətinə təsir edən parametr və amillərin analizi nəzərdə tutulmuşdur

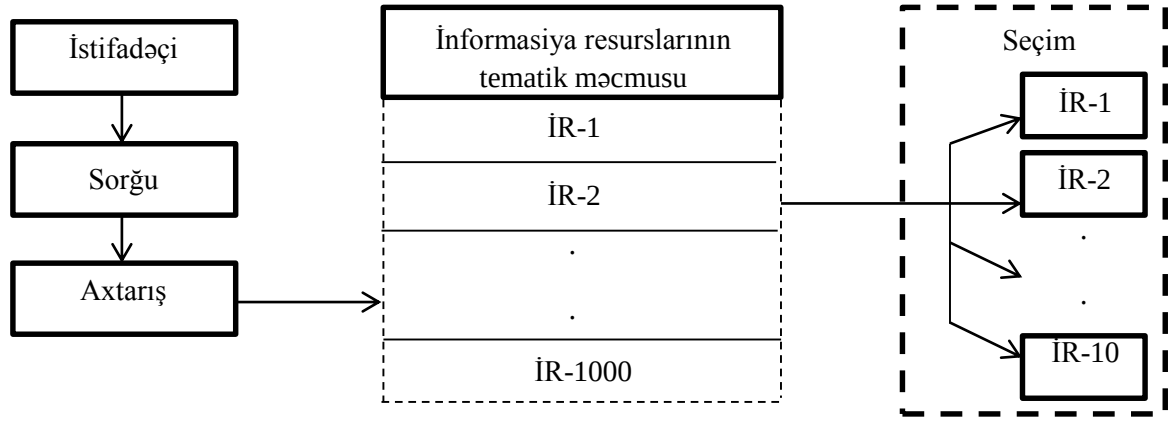
İR-nın tematik məcmusu üzrə axtarışın dəqiqliyinin təyin edilmə prosedurunun modelləşdirmə prosesi. Verilənlər anbarında nizamlanmamış informasiya resurslarının olduğunu fərz edərək ən sadə axtarış növünün – açar sözlər üzrə axtarışın analizini aparaq. Bu fərziyəyə əsaslanaraq, informasiya axtarışının dəqiqliyinə müxtəlif amillərin təsini qiymətləndirək [1,2].

İnformasiya axtarışı modelinin hədd parametrlərini əvvəlcədən formalaşdıraq. Tədqiqatın əsasına şəkil 1-də göstərilən sxemi qoyaq.

Bu sxem üçün təhsil sahəsində informasiya resurslarının 1000 adından ibarət xüsusi tematik seçim qurulmuşdur. İnformasiya resursları TTI SFU elmi-texniki kitabxanadan götürülümüşdür. Tematik seçim nizamlanmamışdır. Tematik seçimin informasiya resursuna daxil olması açar sözlərdən ibarət olan axtarış sorğusu əsasında həyata keçirilmişdir. İnformasiya resursları axtarışının dəqiqliyi axtarış sorğusunda istifadə edilən açar sözlərin sayından asılı olaraq təyin edilirdi [2].

Bu eksperimentə aşağıdakı məhdudiyyət qoyulmuşdur:

- Axtarış sorğularında informasiya resurslarında olan tematik məcmunun təşkil edildiyi sözlərlə hərflər üzrə uyğun olan açar sözlərdən istifadə edilmişdi.



Şəkil 1. *İR-nın tematik məcmusu üzrə axtarışın dəqiqliyinin təyinedilmə prosedurunun modelləşdirmə prosesinin strukturu*

Tematik məcmu elə qurulmuşdur ki, seçimə daxil olan bütün informasiya resursları axtarış sorğusuna relevantdır. Bu tələb tematik məcmunun əl vasitəsilə konstruktorlaşdırılması yolu ilə yerinə yetirilmişdi.

Məsələnin riyazi qoyuluşu. Axtarışın dəqiqlik funksiyası. Axtarış dəqiqliyinin ölçülməsi üçün aşağıdakı şkalanı daxil edək. Fərz edək ki, əgər informasiya tələbinə bir informasiya resursu verilirsə, onda axtarışın dəqiqliyi β-ya uyğundur. Əgər informasiya tələbinə n informasiya resursu verilirsə, onda dəqiqlik α-ya uyğundur. Bu dəqiqlik qiymətləri verilən şkalanın kənar nöqtələri kimi təyin edilmişdir. İnformasiya resursu 30 olarsa, praktiki yaxınlaşmada $\mathrm{n} = 30$, $\beta = 1$, $\alpha = 0{,}03$ qəbul edilmişdir.

Bu asılılıqda k və b parametrlərini ümumi şəkildə təyin edək. Bunun üçün aşağıdakı tənliklər sistemini tərtib edək:

$$\begin{cases} \beta = k * 1 + b\,; \\ \alpha = k * n + b\,. \end{cases} \tag{2}$$

Bu tənlikləri β və α-ya nəzərən həll etsək, aşağıdakını alarıq:

$$\mathrm{k} = \beta - \mathrm{b}\,;$$

$$\mathrm{b} = \frac{\alpha - \mathrm{n} * \beta}{1 - \mathrm{n}}\,.$$

Xüsusi halda, n— 30, $\beta = 1$, $\alpha = 0{,}03$ olduqda, tənliklərin köklərinin qiymətləri aşağıdakı şəkildə olacaq:

$$\mathrm{b} = \frac{0.03 - 30 * 1}{1 - 30} = 1.03\,;$$

$$\mathrm{k} = 1 - 1.03 = -0.03\,.$$

Funksional asılılıq özü isə

$$\mathrm{y} = \mathrm{f(x)} = \mathrm{kx} + \mathrm{b} = -0.03\mathrm{x} + 1.03 \tag{3}$$

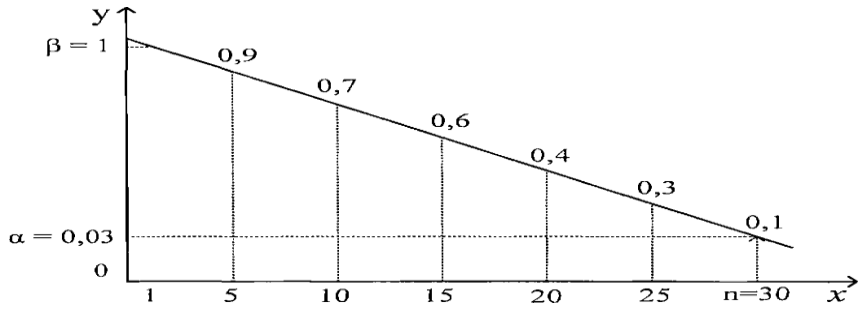
(3) funksional asılılığı n konkret qimyətlər çoxluğunda təyin edilib və cədvəl 1-də göstərilmişdir.

Cədvəl 1.

İnformasiya resursları sayının dəqiqliyinin funksional asılılığı

Dəqiqlik (y)	1	0,9	0,7	0,6	0,4	0,3	0,03
İR-nın miqdarı (n)	1	5	10	15	20	25	30

Cədvəl 1-dəki funksiyanın qrafiki təsviri şəkil 2-də göstərilmişdir.



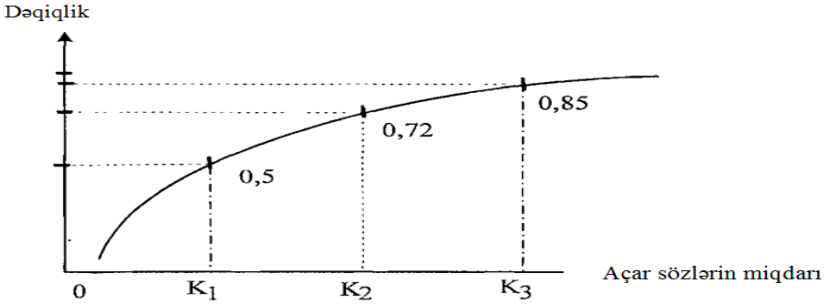
Şəkil 2. *Axtarışın dəqiqlik funksiyası*

Axtarış dəqiliyinin axtarış sorğusunda sözlərin sayı ilə əlaqəsinin təyin edilməsi. Axtarış dəqiqliyinin axtarış sorğusunda açar sözlərin sayından, bu dəqiqliyin informasiya resursunun müqayisə üçün konkret istifadə edilən rekvizitdən necə asılı olduğunu təyin edək [4-6]. Belə rekvizitlər kimi müəlliflərin soyadı, adı, atasının adı (SAA) və informasiya resursunun adından istifadə edəcəyik.

Açar sözlərini aşağıdakı kimi işarə edək: axtarış sorğusunda K_1- birinci açar sözü, K_2 - ikinci aşar sözü, K_3 – üçüncü açar sözü və s.

Axtarış sorğusunda istifadə edilən açar sözlərin sayından asılı olaraq "Müəlliflər" rekviziti üzrə İR–nın tematik məcmusu üzrə orta statistik dəqiqlik nəticələri şəkil 3-dəki qrafik şəklində göstərilmişdir.

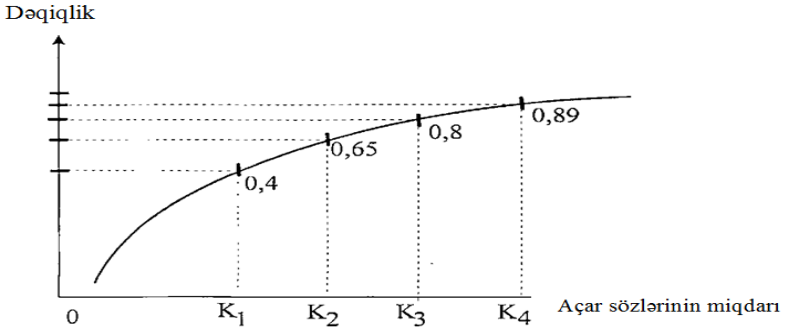
Eksperimentlərin nəticələrinin analizindən görünür ki, açar sözünün sayı nə qədər cox olarsa axtarışın dəqiqliyi artır. üçüncü açar sözünün əlavə edilməsi faktiki olaraq onu tam dəqiq edir. Axtarış sorğusuna açar sözlərinin sonrakı əlavəsi dəqiqliyə xüsusi artım vermir.



Şəkil 3. *"Müəllif" rekviziti üzrə axtarışın statistik nəticələri*

Belə tendensiya "Ad" rekviziti üzrə axtarışda da müşahidə olunur. "Ad" rekvizitinin açar sözləri üzrə axtarışda eksperimental dəqiqlik verilənlərinə ətraflı baxaq. Bu rekvizit üçün açar sözlərini aşağıdakı kimi işarə edək: axtarış sorğusunda K_1 - birinci açar sözü, K_2 - ikinci açar sözü, K_3 - üçüncü açar sözü, K_4 - dördüncü açar sözü və s.

"Ad" rekviziti üzrə axtarışın orta statistik nəticələri şəkil 4-də qrafik şəklində verilmişdir.



Şəkil 4. *"Ad" rekviziti üzrə axtarışın statistik nəticələri*

"Ad" rekvizitinin aşar sözləri üzrə axtarışda aşar sözlərin sayının əlavə edilməsində dəqiqliyin artırılması daha az cəldliklə baş verir.

Eksperimentin ikinci növü ondan ibarət idi ki, bir İR üçün indeks-kataloqda "Müəllif" və "Ad" rekvizitləri bir verilənlər sətrində birləşdirilə bilər, bu axtarışın dəqiqliyinə təsir etmir. Bundan sonra hesab edəcəyik ki, İR barədə indeks-kataloqda informasiya İR-in müəllifi və adından ibarət olan bir sətirlə göstərilir [2,3,7].

O faktı qeyd etmək lazımdır ki, indeks-kataloqun nizamsızlığına görə tematik məcmuya İR ixtiyari qaydada daxil edildiyindən və axtarışın bütün tematik məcmusu üzrə İR-nın sadə xətti seçimi yolu ilə aparıldığından, informasiya sorğularının verilməsi nizamsız idi. Ən çox tələb olunan informasiya resursunun heç cür qeyd olunmamasına görə o, veriliş siyahısının sonunda ola bilər. Bu da istehlakçı üçün mənfi amildir.

Beləliklə, axtarışın sürətinin, eləcə də dəqiqliyinin sonrakı artırılması zamanı informasiya resurslarının nizamlanmasında istehlakçıların maraq dərəcəsinin nəzərə alınması lazımdır.

Nəticə. Bu məqalədə belə nəticə əldə edilmişdir ki, axtarışın yüksək dəqiqlik dərəcəsinin təmin edilməsi üçün axtarış sorğusunda informasiya resursunun hər bir rekvizitindən iki sözdən istifadə edilməsi kifayət edir. Beləliklə, istifadə edilən açar sözlərin verilən sayı müəyyən mənada "kifayət" edir. Beləliklə,

1. İndeks-kataloq üzrə axtarışın keyfiyyətinə təsir edən parametr və amillər analiz və aşkar edilmişdir;
2. İndeks-kataloq üzrə axtarışın axtarış sorğusunda açar sözlərin sayı ilə əlaqədar olan asimptotik imkanları tədqiq edilmişdir. Göstərilmişdir ki, dörd açar sözdən ibarət olan axtarış sorğusu artıq axtarışın qəbul edilən dəqiqliyini təmin edir;

Ədəbiyyat

1. Məmmədova K.A., Əhmədov C.Ə. İndeks-kataloqda informasiya resurslarının dinamik nizamlanmasının qeyri-səlis modelinin işlənməsi. "İnformasiya sistemləri və texnologiyalar: nailiyyətlər və perspektivlər" mövzusunda Beynəlxalq elmi konfrans. Sumqayıt Dövlət Universiteti. 15-16 noyabr 2018.
2. Вишняков Ю.М. О подходе к управлению уровнем сервисов в информационных системах. // Известия ЮФУ. Технические науки. Тематический выпуск Интеллектуальные САПР. Таганрог: Изд-во ЮФУ, 2009, №4 (93), с. 168-174.
3. Печников В.Н. Создание Web-сайтов без посторонней помощи. М.: Изд-во Триумф, 2006 г., 464 с.
4. Тиек Ленг. Теоретическое построение интеллектуальной системы поиска в хранилище данных, [текст] // Известия ЮФУ. Технические науки. Тематический выпуск Интеллектуальный САПР≫. Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, № 2 (77), 2007 г., с 116 -119.
5. Тиек Ленг. Система распределенного поиска, сбора и хранения информации, [текст] // Всероссийская научная школа-семинар студентов, аспирантов и молодых ученых ≪Интеллектуализация информационного поиска, скантехнологии и электронные библиотеки≫. - Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2007. с 57 - 59.
6. Doug Tidwell, James Snell, Pavel Kulchenko. Programming Web Services with SOAP / Publisher: O'Rielly. First Edition December 2001. ISBN: 0-596-0095-2, 216 pages.
7. http://schoollibrary-ikt.narod2.ru/
8. http://lib.aldebaran.ru

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 ardıcıllıqla 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 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 indeksilə 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 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 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: 13.06.19. Çapa imzalanıb: 21.06.19.
Format 60x84 1/8. F.ç.v. 19. Sifariş №11.
Kağız əla növ. Tiraj 100 nüsxə. Qiyməti müqavilə ilə

Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyasının mətbəəsi