“AZƏRBAYCAN XƏZƏR DƏNİZ GƏMİÇİLİYİ” QSC
AZƏRBAYCAN DÖVLƏT DƏNİZ AKADEMİYASI

ISSN 2220-1025

AZƏRBAYCAN DÖVLƏT DƏNİZ AKADEMİYASININ

ELMİ ƏSƏRLƏRİ

PROCEEDINGS OF

AZERBAIJAN STATE MARINE ACADEMY

№1

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
Шарифов З.З., Курбанов Ф.Н. Влияние структуры диборида ниобия на формирование структуры получаемых покрытий на стали 35 при электроискровом легировании 7
Гафаров А.М., Садыгов В.Б., Ханкишиев И.А. Анализ причин разрушений высокоточных деталей судовых машин и механизмов…….. 12
Kazimirenko Yu.A. Perspektivы primenenia metall-steklyannыx elektrodugovыx pokrыtiy dlya korrozionnoy zashchitы sudovыx konstrukciy pri perevozke opasnыx gruzov..... 17
Qafarov F.M., Rəhimova M.S., Namazova G.İ. Hidrotexniki dəniz qurğularının qaynaq düyünlərinin hesablama metodikasına dair..... 22
Малышко С.Б., Тарасов В.В. Влияние исходной структуры стали на результаты электромеханической обработки……. 26
Məmmədli N.R., Məmmədov A.T., Hüseynov M.Ç. Alüminium ovuntusunun hissəciklərinin ölçülərinin prespəstahların həcmi böyüməsinə təsiri..... 30
Bayramov A.T. Ovuntuları üfürməklə çalovda saflaşdırılmış elektropoladın mexaniki xassələri..... 33

GƏMİÇİLİK VƏ SU NƏQLİYYATININ İSTİSMARI..... 39
Abbasov E.O. Dəniz suyunun fiziki–kimyəvi xüsusiyyətlərinin naviqasiya exolotlarına təsirinin analizi..... 39
Багиров Э.А., Бородулина С.А. Метод выбора приоритетов развития морского порта…. 43
Хекерт Е.В., Кондратьев А.И., Попов А.Н., Гень С.О. Повышение ситуационной осведомленности команды мостика при маневрировании крупнотоннажных судов в особых условиях за счет внедрения дополненной реальности……...… 47
Ганношина И.М. Метод автоматизации процесса определения маршрута судна при планировании перехода..... 53
Масик И.П., Тимощук Е.Н. Модель идентификации навигационных ситуаций для повышения эффективности управления в эргатических системах..... 59
Тимощук Е.Н,. Мельник О.В. TCSE-анализ как инструмент определения степени надежности системы бункеровки на водном транспорте…….. 67

GƏMİÇİLİK TEXNİKASI..... 74
Axundov İ.S., Yadigarov T.A., İsmayılova Y.N. Gəmi dizellərində yanacağın başlanğıc püskürmə təzyiqinin riyazi eksperimentlərlə təyin edilməsindən alınan iqtisadi səmərənin hesabı..... 74
Cəlilov T.A. Gəmi elektrik stansiyasının asinxronlaşmış sinxron generatorlarının işçi xarakteristikalarının tədqiqi..... 79
Федоровский К.Ю., Федоровская Н.К. Работа систем охлаждения судовых энергоустановок по замкнутой схеме..... 85
Худяков И.В., Грицук И.В., Погорлецкий Д.С., Манжелей В.С. Использование тренажерного комплекса ERS-500 TechSIM TRANSAS MIP Ltd в процессе обучения судовых инженер-механиков..... 91
Горбов В.М., Митенкова В.С. Анализ способов повышения энергетической эффективности нефтяных наливных судов..... 97
Məmmədov E.D., İsmayılov N.Ş., İsmayılov A.R., Ağayev İ.Y. Qaz mühərrikləri silindr gilizi daxili səthinin diskret möhkəmləndirilməsi..... 103
Sultanov E.F., Abdullayev A.N. Gəmi köməkçi sükan qurğusunun elektrik intiqalının idarə sisteminin tədqiqi..... 108

Тимочко А.И., Шапран Ю.Е. Математическая модель измерительного контроля параметров при контроле технического состояния радиоэлектронных систем водных транспортных средств…….... 113

GƏMİÇİLİKDƏ TƏBİƏT ELMLƏRİNİN PROBLEMLƏRİ..... 121
Алиева И.К., Алиев Х.М. Температурная зависимость электрической прочности полимеров…… 121
Алиев С.А., Иманова А.Я., Алиев С.С. Исследование электрических свойств GaSb, легированного Mn и Sm и эвтектик $Mn_{0,6}Ga_{0,4}Sb$……..... 128
Əliyeva Y.N. Məsafədən ölçmə metodu ilə çirklənmiş su hövzələrinin əsas keyfiyyət göstəricilərinin təyini..... 131
Mehtiyev R.K., Mehdiyev Ə.K. Boyuna sürüşmə zamanı eyni istiqamətli ortotrop liflərlə möhkəmliyi artırılmış kompozitdə çatların yaranması..... 136
Рашковский А.С., Ухо В.С., Нейман В.М., Гасанзаде Д.Ф. Исследование по выбору и расположению кластера морских ветроэнергетических установок на Каспии..... 141
Abbaszadə M.T. Regional iqtisadiyyatın inkişafı məsələləri……..... 147

CONTENT

SHIPBUILDING AND SHIP REPAIR TECHNOLOGY…….. 7

Z.Z. Sharifov, F.N.Gurbanov. Influence of the structure of niobium diboride on the formation of the structure of the resulting coatings on steel 35 during electro-spark alloying ……..…. 7

Gafarov A.M., Sadigov V.B., Khankishiyev I.A. Analysis of the reasons of destruction of high-précised details of ship machines and mechanisms…….. 12

Kazymyrenko Y. Prospects for the application of metal-glass electric-arc coatings for corrosion protection of vessels' constructions for the dangerous cargo transportation……... 17

Gafarov F.M., Ragimova M.S., Namazov G. I.. Welding of hydrotechnic sea works history of accountability methods…… 22

Malyshko S.B., Tarasov V.V. The influence of steel's initial structure on the results of the electromechanical treatment……. 26

Mammadli N.R., Mammadov A.T., Huseynov M.C. Influence of the dimensions of powder aluminum particles on the volume changes of the pressers……. 30

Bayramov A.F. Mechanical properties of refined electrodes in a ladle by blowing off powders 33

SHIPPING AND EXPLOITATION OF WATER TRANSPORT……..….. 39

Abbasov E.G. Analysis of the impact of physico-chemical properties of sea water on navigational echo-sounders……. 39

Bagirov E.A., Borodulina S.A. Selection of the sea port development priorities……. 43

Khekert E.V., Kondratiev A.İ., Popov A.N., Gen S.O. The increase in the bridge team situational awareness while large tonnage ships manuvering in special conditions by means of augmented reality……... 47

Gannoshina I. Method of automating the process of determining the ship's route when planning a transition…… 53

Masik I., Tymoschuk E.N. Identification model of navigational situations to improve the efficiency of management in ergatic systems…… 59

Tymoschuk E.N., Melnyk O.V. TCSE-analysis as an instrument for determining degree of reliability of system of bunkering on water transport…… 67

SHIPPING TECHNOLOGY…… 74

Akhundov İ.S., Yadigarov T.A., Ismayilova Y.N. Calculation of economical benefit from determining of the initial injection pressure by the assistance mathematical experiments in marine diesels……..... 74

Calilov T.A. The study of the working characteristics of asynchronoused-synchronous generators of the ships power plant..... 79

Fedorovkiy K.Yu., Fedorovskaya N. K. Cooling systems operation of vessel power installlations on closed scheme..... 85

Khudiakov I., Gritsuk I, Pogorletsky D., Manzheley V. Using the ers-500 techsim transas mip ltd training complex in the process of training of ship engineering mechanics…….. 91

Gorbov V.M., Mitienkova V.S. Analysis of ways of improving of energy efficiency of oil liquid cargo vessels…….. 97

Mammadov E.D., Ismayilov N.Sh., Ismayilov A.R., Agayev I.Y. The discrete fortification of inner surface of cylinder liner of gas engines…….... 103

Sultanov E. F., Abdullayev A. N. The investigation of management system of electric drives in vessel bow thruster..... 108

Tymochko O., Shapran Yu.E. Mathematical model of the measuring control of parameters at the control of the technical condition of radio electronic systems of water vehicles…….. 113

NATURAL SCIENCE PROBLEMS IN NAVIGATION……... 121
Aliyeva İ.K., Aliyev Kh.M. Temperature dependence of the electrical strength of polymers 121
Aliyev S.A. Imanova A.Y., Aliyev S.S. Research of electrical properties Ga Sb alloyed Mn and Sm and eutectic $Mn_{0,6}$ $Ga_{0,4}$ Sb…….. 128
Aliyeva Y.N. Water supply with measurement method main features of the table the watchtower students……... 131
Mehtiyev R.K. Mehdiyev A.K. Cracking in composite with an increase in strength of orthotropic unidirectional fiber at longitudinal slip…….. 136
Rashkovskyi A.S., Uho V.S., Nejman V.M., Gasanzade D.F. Research on the selection and location of the marine wind power turbine cluster in Caspian sea…….... 141
Abbaszade M. T. Development ıssues of regıonal economy…… 147
.

GƏMİQAYIRMA VƏ GƏMİ TƏMİRİ TEXNOLOGİYASI

УДК: 621.762.8

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ ДИБОРИДА НИОБИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ПОЛУЧАЕМЫХ ПОКРЫТИЙ НА СТАЛИ 35 ПРИ ЭЛЕКТРОИСКРОВОМ ЛЕГИРОВАНИИ

Шарифов З.З., Курбанов Ф.Н.

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

Аннотация. *В статье исследовано влияние структуры диборида ниобия на образование получаемых покрытий на стали 35 при электроискровом легировании. Определен фазовый состав рабочих поверхностей анодов (электродов) с разной пористостью и катодов. Изучена зависимость суммарного привеса катода и порог хрупкого разрушения от пористости NbB_2.*

Abstract. *The influence of the structure of niobium diboride on the formation of the resulting coatings on steel 35 during electro-spark alloying is studied in the article. The phase composition of the working surfaces of anodes (electrodes) with different porosity and cathodes is determined. The dependence of the total cathode weight gain and the brittle fracture boundary on the porosity of NbB_2 is studied.*

Xülasə. *Məqalədə polad 35-in elektroqığılcım legirlənməsində niobium diboridin strukturunun alınan örtüklərin yaranmasına təsiri tədqiq olunmuşdur. Müxtəlif məsaməlikli anodların (elektrodların) və katodların işçi səthlərinin faza tərkibləri müəyyən edilmişdir. Katodun cəm artımının və kövrək dağılma sərhədinin NbB_2-nin məsaməliliyindən asılılığı öyrənilmişdir.*

Key words*: niobium diboride, steel 35, porosity, total weight gain, brittle failure, anode, cathode*

Ключевые слова*: диборид ниобия, сталь 35, пористость, суммарный привес, хрупкое разрушение, анод, катод*

Açar sözlər: *niobium diboridi, polad 35, məsaməlilik, cəm artım, kövrək dağılma, anod, katod.*

Введение. Чем больше твердость материала легирующих электродов, тем выше износостойкость поверхностного слоя деталей после электроискрового легирования (ЭИЛ)[1]. В работах [2,3] интерпретированы результаты исследования процесса электроискрового легирования стали и некоторых переходных металлов диборидом титана (Ti B_2), данное соединение отличается высокой твердостью (Нμ = 336Pa) между фазами борида. Диборид ниобия внутри таких соединений вызывает определенный интерес с точки зрения электроискрового легирования поверхностей. Однако исследований в этой области не проводилось. Например, не изучено влияние структуры NbB_2, в том числе его пористости и зернистости на формирование и эрозию легированного слоя, что усложняет обоснование выбора и синтеза материалов на основе диборида ниобия. Это имеет большое значение еще и потому, что при получении NbB_2 и его сплавов методом порошковой металлургии могут значительно изменяться характеристики структуры. Целью данной работы является исследование влияния пористости и зернистости NbB_2 на его эрозию и формирование легированного слоя на поверхности стали 35.

Обсуждение результатов. Исследования были проведены на образцах со средней зернистостью r=10,15,45;55mkm, пористостью M=1-15% и полученных методом горячего прессования частиц диборида ниобия. Электроискровое легирование осуществляли на воздухе на установке ЭФИ-46А (J_{qq}=4,5А; U_{bg}=45V, E=0,31C). При ЭИЛ с использованием катода площадью 1см^2, в течение каждой минуты осуществляли замеры эрозии анода Δ_a и привеса катода Δ_k с точностью 4% для среднеарифметического значения шести измерений; в течении определенного времени обработки были вычислены суммарные величины $\Sigma\Delta_a$ и $\Sigma\Delta_k$. Было проведено исследование гранулометрического состава продуктов эрозии, проведен рентгеноструктурный анализ легированного слоя и анодного материала.

Хрупкое разрушение при искровом разряде преимущественно NbB_2, по сравнению с другими боридами, можно объяснить наибольшим вкладом гомеополярных компонентов в его межатомную связь[4]: 90% частиц продуктов эрозии составляют частицы неправильной формы размером 8-80 мкм с характерными следами хрупкого разрушения (t=0,8-2,8мин). Размер и количество частиц, возникших из твердой фазы в интервале пористости M=5-12%, не зависят от пористости NbB_2: частицы размером до 15мкм составили 18±4%, 15-55мкм-85±15%, крупнодисперсная фракция (больше 55мкм) - 12±4%. При увеличении пористости до 15%, количество частиц размером больше 55мкм увеличивается до 40±6%.

Временная зависимость эрозии NbB_2 свидетельствует о неаддитивности процесса (рис.1): независимо от пористости и размера зерна при увеличении времени легирования Δ_a экспоненциально уменьшается. Причиной является изменение плотности рабочей поверхности анода и фазового состава в условиях многоимпульсной обработки, в результате чего формируется вторая структура. При длительном электроискровом легировании нагревание поверхности анода за счет импульсных нагрузок, сопровождается уплотнением его поверхности. Пористость поверхностного слоя анода толщиной 0,8мм по сравнению с начальной пористостью (M=4-9%) уменьшается до 2,5-3,5% и после ЭИЛ в течение 1 мин. в нем обнаруживаются новый фазобразователи (таблица 1): интерметаллиды FeNb və Fe_1 Nb с менее холодным слоем, нижние бориды ниобия и бориды железа, которые возникают в результате частичной диссоциации NbB_2 и перехода материала от катода к аноду. Наличие этих фаз на поверхности анода содействуют релаксации тепловых и термомеханических напряжений, возникающих под действием искрового разряда, что наряду с укреплением поверхности, повышает устойчивость эрозии электрода. Это приводит к изменению гранулометрического состава продуктов эрозии, в котором при легировании подложки 1см^2 более 5 минут увеличивается количество расплавленных и мелкодисперсных частиц размером ~12мкм.

Таблица 1

Фазовый состав рабочих поверхностей электродов спустя 10 мин. после ЭИЛ стали 35 посредством NbB_2 разной степени пористости (r=45мкм)

M,%	Анод	Катод
4	NbB_2, Nb_3B_4	NbB_2, FeB, Fe_2Nb, Nb_3B_4, γ-Fe
4,5	NbB_2, NiB	NbB_2, FeB, γ-Fe, Fe_2Nb
7,5	NbB_2, Nb_3B_4	NbB_2, Nb_3B_4, FeB, α-Fe
8,5	NbB_2, FeB	NiB, Nb_3B_4, Fe_2B
9,7	NbB_2, Fe_2B, FeNb	NiB_2, Nb, α-Fe, Fe_2B
10	Nb_3B_4, $Fe_{25}(C,B)_6$, γ-Fe	Nb_3B_4, Fe_2B_3, γ-Fe, α-Fe
21	NbB_2, Nb_3B_4, Nb, Fe_2B	NbB_2, α-Fe, FeB, Fe_2B, γ-Fe

На рисунке 2 показана типичная зависимость $\Delta_a=f(M)_{t=const}$ для всех $\bar{r}$. На начальной стадии ЭИЛ ($t \leq 3,5$мин) с увеличением пористости при общем приросте эрозии устанавливается минимум Δ_a соответствующий M~12% за счет ослабления межчастичных границ.

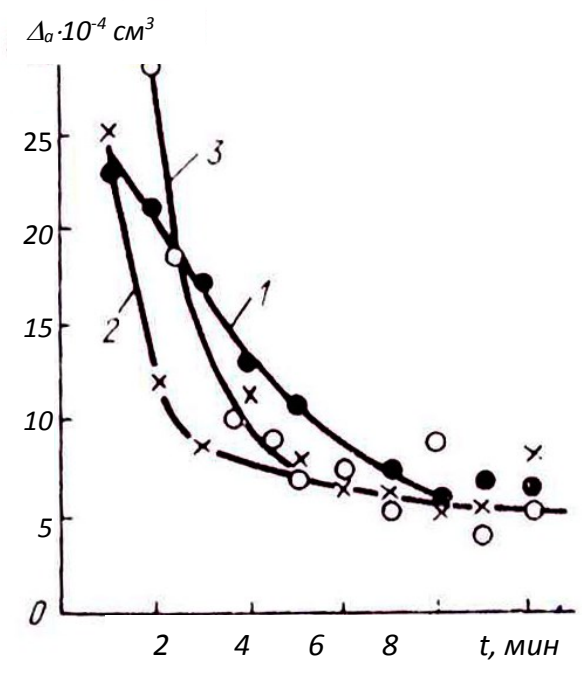


Рис. 1. *Зависимость эрозии NbB_2 от продолжительности ЭИЛ стали 35*
1-r=10-15; M=6,1; 2-r=35;M=5; 3-r=45мкм M=8%

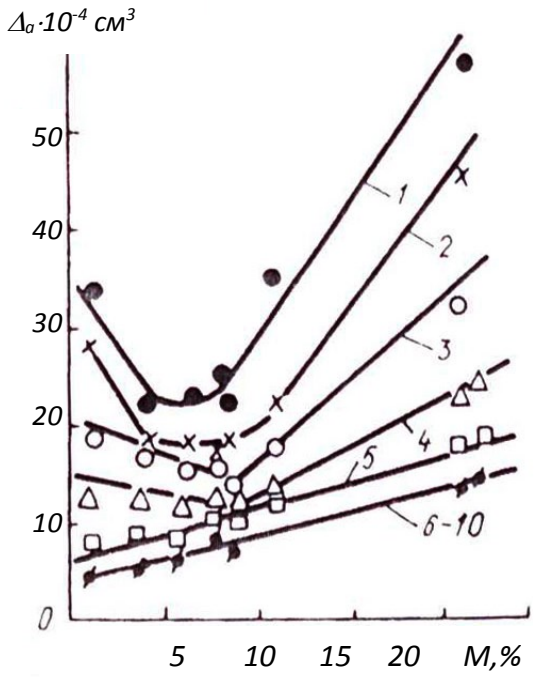


Рис. 2. *Зависимость эрозии NbB_2 (r=1015мкм) от его пористости в процессе ЭИЛ стали 35*

При искровой замерной обработке наибольшая устойчивость NbB_2 к эрозии соответствует данной пористости [5], что подтверждает общность полученной закономерности. Вероятно, проникновение материала катода в поверхностный слой анода при M~12% капилляр, как эффективный результат, самый большой. Кроме того, можно также предположить, что при M>9% вследствии ухудшения теплопередачи воздушного слоя в порах поверхность анода дополнительно нагревается, что приводит к увеличению вклада жидкофазной эрозии и повышается устойчивость к эрозии. Это подтверждается увеличением объема жидкой фазы на поверхности электрода с уменьшением его теплопроводности [6]. Это предположение можно подтвердить тем, что при M≥9% отмечается резкое (скачкообразное) улучшение условий формирования легированного слоя для всех фракций NbB_2 (рис. 3): суммарный привес катода $\sum_{t_x} \Delta_k$ и порог хрупкого разрушения легированного слоя увеличивается. Кроме того, на рабочей поверхности анода - NbB_2 - меняется фазовый состав: в образцах M>9% помимо нижних боридов ниобия, обнаруживаются дориды железа и γ-Fe, что можно объяснить большим воздействием жидкой фазы в контактной зоне электродов, которое способствует воспламенению материалов электродов и как следствие обратному переходу.

При дальнейшем увеличении пористости (M>15%) резко увеличивается эрозия материала электрода (рис. 2). Вероятно, причиной этого является то, что отдельные конгломераты частиц подвергаются эрозии в результате погашения узких шеек при искровом разряде, они соединяют эти конгломераты в структурах сильно пористых материалов. Такое увеличение доли крупнодисперсных фракций частиц в продуктах эрозии приводит к их плохому схватыванию с поверхностью катода, и несмотря на прерывистое увеличение эрозии при M>10% стабилизирует количество $\sum_{t_x} \Delta_k$ и t_x (рис. 3).

При длительном ЭИЛ (t>10 мин) зависимость эрозии от пористости выравнивается формированием вторичной структуры на рабочей поверхности анода (рис. 2).

Уменьшение размера зерна способствует увеличению эрозионной стойкости NbB2 (рис. 3). Это обусловлено, согласно формуле Петча [7], повышением хрупкой прочности за счет уменьшения длины частиц, что обуславливается уменьшением воздействия холодного разрыва границ частиц (рис. 4). Зависимость $\Delta_a=f(r)$ коррелирует с увеличением прочности NbB_2 при сжатии с уменьшением r в иследованном диапазоне температур (таблица 2). Это свидетельствует об уменьшении вклада твердофазной эрозии в общий эрозионный эффект, т.е. благоприятствует формированию легированного слоя: с уменьшением зернистости возрастают привес катода и порог хрупкого разрушения легированного слоя (рис. 5).

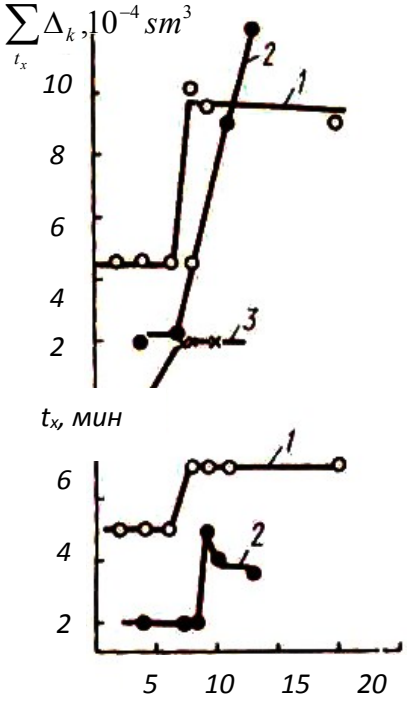


Рис. 3. *Зависимость суммарного привеса катода и порога хрупкого разрушения от пористости NbB_2: 1-$\bar{r}$ =10-15; 2-45; 3-55мкм*

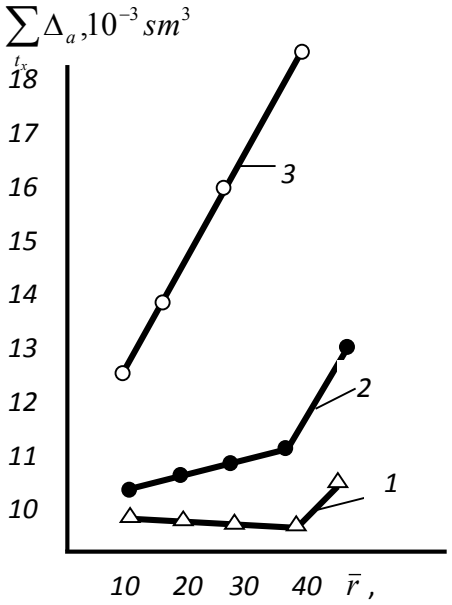


Рис. 4. *Зависимость суммарной эрозии NbB_2 от среднего размера зерна при ЭИЛ в течение10 мин: 1-M=3,5-5,5; 2-10; 3-12-25%*

Таблица 2

Зависимость NbB_2 от среднего значения порога прочности на сжатие и температуры, MPa

$\bar{r}$ мкм	Температура, °C					
	20	1050	1250	1350	1550	1650
10-15	500±50	1050±150	900±45	850±50	800±60	230±25
55	250±15	300±15	350±15	350±35	350±30	145±25

По данным металлографического анализа толщина легированного слоя составляет ~25 мкм, его фазный состав указан в таблице 1. При послойной шлифовке на глубине 35-45 мкм фазы борида не видны, в то время как в фазе железа превалируют его соединения с карбоном (Fe_3C) и ниобием (FeNb).

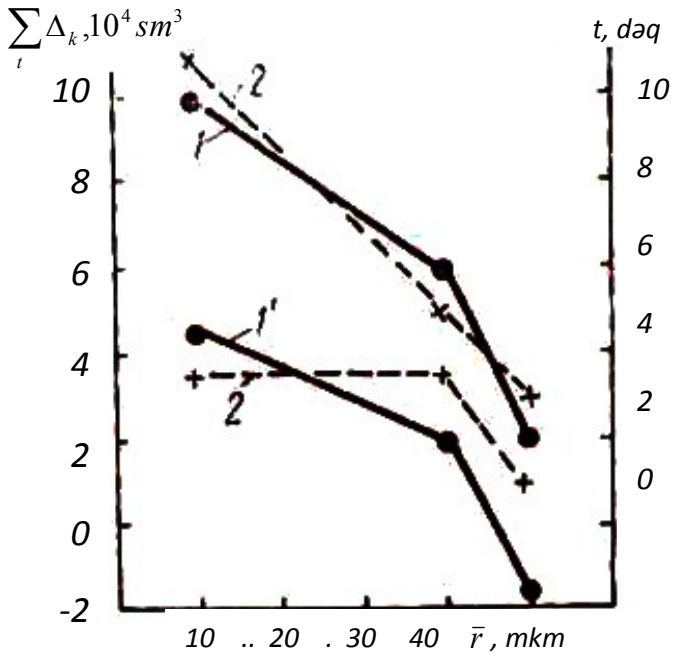


Рис. 5. *Зависимость суммарного прироста катода (сталь 35) и порога хрупкого разрушения легированного слоя от среднего размера зерна NbB_2: 1,2-M-q-10; 1/; 2/ -2,5-5,5%, сплошная линия- Δ_k, пунктир - t_x.*

Таким образом, варьирование в структуре материала электрода - является одним из технологических приемов управления формированием покрытия в процессе ЭИЛ. Лучшие условия для формирования легированного слоя обеспечиваются при наименьшем размере зерна (10-15мкм) и наименьшем значении пористости (М~12%). Однако, в этом случае, коэффициент передачи ($K=\Delta_k/\Delta a$) не превышает 25% и поэтому при практическом использовании NbB_2 в качестве материала электрода необходимо добавлять пластическую связку.

Выводы. 1. Было проведено исследование эрозии легирующих анодов с использование простых и сложных соединений, применяемых в процессе ЭИЛ. Установлено, что с увеличением пористости анодов из простых и сложных соединений, резко увеличивается эрозия материала электрода. Это связано с эрозией в результате погашения узких шеек при искровом разряде отдельных конгломератов частиц. Такое увеличение доли крупно дисперсных фракций в продуктах эрозии приводит к их плохому схватыванию на поверхности катода.

2. Установлено, что изменение структуры материала электрода является одним их технологических приемов управления формированием покрытия в процессе ЭИЛ. Наилучшие условия для образования легированного слоя можно рассчитать при наменьших размерах зерен композиции и наименьшем значении пористости анода. Одноко, при практическом использовании некоторых боридов, в том числе NbB_2 в качестве материала электрода, важно включение пластической связки в состав композиции.

Литература

1. Самсонов Г.В., Ткаченко Ю.Г. Бердиков В.Ф., Бовкун Г.А. Микротвердость, микрохрупкость и хрупкая микропрочность карбидов переходных металлов. -В.кн.: Карбиды и сплавы на их основе. Киев: Наук. думка, 1996, с.99-103.

2. Лазаренко Н.И. Технологический процесс изменения исходных свойств металлических поверхностей электрическими импульсами.-В кн: Электронная обработка металлов. М.Изд-во АН СССР, 1990, вып.2, с.36-66.
3. Сафронов И.И. Исследование возможности применения карбидных и боридных соединений титана, ниобия, циркония и хрома в качестве электродов для электроискрового легирования. Автореф. дисс. канд. техн. наук, Киев, 1997, 25с.
4. Харламов А.И. Связь между активностью боридов d-металлов в реакции превращения водорода и зарядовым состоянием элементов катализатора. Кинетика и катализ, 2001, 22, №3, с.684-689.
5. Игнатенко Э.П., Верхотуров А.Д., Маркман М.З. Формирование поверхностного слоя при электроисковом легировании легкоплавкими металлами. Электрон. обраб. Материалов, 2009, №3, с.18-20.
6. Разрушение Т.I. Микроскопические и макроскопические основы механики разрушения. / Под ред. А.Ю.Ишлинского. Пер. с англ. М.: Мир, 1983, 280с.

УДК621.923.5

АНАЛИЗ ПРИЧИН РАЗРУШЕНИЙ ВЫСОКОТОЧНЫХ ДЕТАЛЕЙ СУДОВЫХ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

Гафаров А.М., Садыгов В.Б., Ханкишиев И.А.

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

Xülasə. *Məqalədə ekstremal vəziyyətlərdə istismar olunan gəmi maşın və mexanizmlərinin yüksək dəqiqliyə malik detallarının dağılma səbəbləri göstərilir. Alınan nəticələr analiz edilir.*

Abstract. *In article are statet the reasons of the -*destruction of high precision details of ship machines and mechanisms, exploited in the extreme conditions.*

Аннотация. *В статье излагаются причины разрушения высокоточных деталей судовых машин и механизмов, эксплуатируемых в экстремальных условиях.*

Açar sözlər: *maşın, avadanlıq, detal, dağılma, istismar, səbəb, gəmilər, rejimlər, şərait*

Key words: *machine, equipment, detail, destruction, reasons, exploitation, ships, regime, conditions*

Ключевые слова: *машины, оборудование, деталь, разрушение, эксплуатация, причины, суда, режимы, условия*

Введение. Разрушение материалов происходит в основном при их взаимодействии с агрессивной средой. Например, в зависимости от условий эксплуатации коррозионное разрушение может протекать либо по одному из механизмов, либо с преобладанием одного из них. Газовая коррозия является частным случаем химической и проявляется в активных газовых средах при повышенных температурах (например, в атмосфере водорода при давлении 150 атмосфер и температуре 560°С предел прочности стали через сутки уменьшается в 2 раза) [1].

Постановка задачи. Одним из основных видов коррозии является атмосферная коррозия, которая оказывает существенное влияние на разрушение металлов. Имеется три основных вида атмосферной коррозии: сухая коррозия, которая при отсутствии влаги проявляется на поверхностном слое деталей, скорость коррозии мала; влажная коррозия, которая проис-

ходит под тонким слоем влаги, скорость коррозии очень велика; мокрая коррозия проявляется под воздействием капельной конденсации влаги на поверхности деталей, скорость коррозии при этом виде небольшая.

Коррозия в неэлектриках происходит под воздействием агрессивных органических и неорганических соединений, таких как бензол, толуол, четырёххлористый углерод, мазут, керосин, бензин, смазочные масла, расплавленная сера и др.

Контактная коррозия происходит при контакте разнородных материалов в среде электролита. Щелевая коррозия происходит при присутствии электролита между разнородными металлами. Коррозия под напряжением проявляется при одновременном воздействии деформации и коррозионной среды.

Как видно из изложенного, коррозионные процессы зависят от многочисленных между собой зависящих и независящих факторов. Имеются разные методы и методики оценки коррозионных процессов [2].

Анализ полученных результатов. Разрушение материалов поверхностного слоя деталей машин в результате эрозии очень редко происходит по одной причине, что усложняет оценку природы явления эрозии. В настоящее время наиболее исследованными видами эрозии являются механохимическая, микроударная, термическая, гидроэрозия, газовая, абразивная, гидроабразивная эрозия и т.д.

Механохимическая эрозия проявляется, когда энергия потока жидкости, газа или твёрдых частиц недостаточна для пластической деформации. Микроударная эрозия наблюдается в случаях, когда поверхность материала в потоке газа, жидкости или твёрдых частиц подвергается локальным ударам, энергия которых достаточна для пластических деформаций, структур или фазовых превращений [1], [2].

Процесс гидроэрозии происходит при механохимическом механизме или в результате микроударного разрушения.

В результате кавитации часто проявляются локальные гидравлические удары из-за гидродинамических флуктуаций давления.

Газовая эрозия является результатом контакта поверхности материалов с высокотемпературными и химически активными газовыми струями. Как известно, газовой эрозии способствуют термическая усталость, поглощение газов твёрдыми материалами, газовые коррозии, вторичные закалки и отпуск, цементация, азотирование и т.д.

Разрушение поверхностей неметаллических материалов в потоке раскалённых газов называется абляцией. Для процесса абляции характерны пиролиз, испарения, сублимация и др.

Гидро- и газоабразивная эрозия происходит в потоке жидкостей или газов под действием твёрдых частиц. Основными факторами, оказывающими существенное влияние на интенсивность гидро и газоабразивной эрозии являются твёрдость, прочность, размер, форма частиц, скорость и угол их атаки, характер их перемещения и др.

Гидроабразивная эрозия при кавитации наблюдается при одновременном воздействии на материал динамических потоков жидкости, абразивных частиц и локальных кавитационных гидроударов [1].

Надёжность и долговечность машин и механизмов, работающих в чрезвычайных ситуациях и экстремальных условиях в определённой степени зависит также от теплового разрушения материалов их деталей (например, при тушение пожаров). Способность материалов деталей, имеющие высокую теплостойкость, механическую и электрическую прочность во многих случаях является определяющим фактором при оценке показателей надёжности и долговечности машин и механизмов, эксплуатируемых в чрезвычайных ситуациях и экстремальных условиях.

В зависимости от скорости нагрева материал плавится и испаряется: медленное нагревание сопровождается плавлением и испарением расплава, быстрое нагревание вызывает испарение (сублимацию) твёрдого тела.

Процесс сублимации обычно не характерен для деталей машин и механизмов, работающих в чрезвычайных ситуациях и экстремальных условиях.

Однако некоторые материалы, применяемые для покрытий (например, кадмий и цинк), в вакууме при температурах выше 120-180^{0}C могут испарятся с довольно значительными скоростями (порядка 1 мм/год), что заставляет учитывать процесс сублимации при расчёте долговечности деталей машин и механизмов [1].

Одной из основных причин, снижающих надёжность и долговечность машин и механизмов является процесс старения материалов деталей машин и механизмов.

Результаты многочисленных наблюдений показывают, что при старении может происходить как улучшение, так и ухудшение физико-механических показателей материалов деталей, а также и других характеристик машин и механизмов.

Все виды превращений могут быть разделены на две большие группы: процессы, связанные с изменением кристаллической структуры (без изменения химического состава), и процессы, связанные с образованием фаз и изменением химического состава. Некоторые процессы могут происходить в широком диапазоне температур, другие – только при определенных (иногда очень высоких или очень низких) температурах [3].

Для деталей машин изготовленных из металлов в процессе старения существенное значение имеет мартенситное превращение и изменение мартенситной структуры.

К мартенситным превращениям относятся также аллотропические превращения в безуглеродистых сплавах железа с хромом, никелем, марганцем, а также в кобальте, титане, цирконии и в сплавах на их основе. Аллотропические превращения связаны с возможностью образования элементов кристаллических решёток разных кристаллографических систем и образованием молекул с разным числом атомов. Аллотропическим превращениям подвержены некоторые чистые материалы – железо, кобальт, титан, цирконий, олово и др.

Одними из материалов, которым характерны более интенсивные старения по сравнению с металлами являются полимеры. Для них характерен процесс деструкции.

Процесс деструкции происходит под влиянием тепла, света, кислорода, воды и других факторов. Деструкция происходит в результате распада основных макромолекул на осколки более простого строения или к изменению строения макромолекул и взаимодействия между ними [4].

Наиболее часто встречаются - термическая деструкция под действием тепла; фотохимическая деструкция под воздействием ультрафиолетового излучения; окислительная деструкция под действием химических агентов.

Кроме вышеуказанных видов старения также отличают электрические старения под влиянием приложенного напряжения.

Обеспечение требуемого уровня надёжности требует проведения широкого комплекса мероприятий, выполняемых на стадиях проектирования, изготовления и эксплуатации машин и механизмов.

Методы повышения надёжности машин и оборудований можно разделить на многочисленные группы.

Методы повышения надежности отдельных элементов в основном направлены на исключение или замедление процессов, снижающих их надежность и проводящих к отказам. В зависимости от назначения, характера протекающих процессов, испытаемых нагрузок и положение в структуре технической системы могут использоваться различные методы повышения надежности элементов.

Согласно [5] отказы механических устройств происходят в основном по следующим причинам: износ и нарушение условий трения, недостаточная прочность, недопустимые де-

формации, старение, коррозия и эрозия материалов, нарушение регулировок и центровок, нарушение крепления и соединения отдельных деталей и агрегатов, непредусмотренные контакты и соприкосновения деталей, неправильный выбор допусков и посадок. Соответственно, основные методы повышения надежности отдельных элементов механических систем в основном направлены на исключение или замедление процессов, снижающих их надежность и приводящих к отказом.

При эксплуатации машин и оборудований, эксплуатируемых в чрезвычайных ситуациях и экстремальных условиях к вышеуказанным причинам можно прибавить беспрерывность работы машин и оборудований, сверхперегрузка при эксплуатации, различные климатические условия, изменения технологических режимов во времени и в зависимости от незапланированных ситуаций и др.

В зависимости от места протекания все указанные процессы делятся на объемные и поверхностные и, соответственно, их интенсивность определяется объемными или поверхностными характеристиками [6].

Вопросы обеспечения и улучшения объемных характеристик материалов разработаны достаточно полно, изучены физические механизмы процессов хрупкого, вязкого, усталостного разрушения и ползучести, существуют отработанные методы инженерного расчета элементов на прочность. Однако многие процессы разрушения и старения определяются состоянием и свойствами поверхностных слоев материалов, поэтому обеспечение объемной прочности не всегда гарантирует надежность элементов в целом. Так как физические механизмы процессов и явлений при поверхностном разрушении коренным образом отличаются от объемных механизмов, то обычно наибольшую трудность представляет выбор материалов и обеспечение поверхностной прочности элементов с учетом конструктивных, технологических и эксплуатационных требований [5].

Наиболее частой причиной отказов большинства механических устройств (до 80-90%) является износ и нарушение условий трения [7].

Поэтому проблема трибологической надежности и связанная с ней задача рационального выбора конструкционных материалов является центральной проблемой обеспечения и повышения ресурса изделий машиностроения. Методы обеспечения трибологической надежности механических систем основаны на комплексном анализе процессов трения и изнашивания, на методах физического и математического моделирования, использовании оптимальных покрытий, оптимизации конструкций узлов трения и анализ большого количества экспериментальных данных [8].

При конструировании узлов трения необходимо выбирать такой вид трения, форму и размеры трущихся поверхностей деталей, чтобы обеспечить в заданном диапазоне скоростей и нагрузок высокую износостойкость при отсутствии повреждаемости рабочих поверхностей. Эти задачи решаются рациональным сочетанием материалов элементов узла трения, конструктивными и технологическими мероприятиями, направленными на устранение основных причин, вызывающих конкретный вид повреждаемости [2], [8].

Для получения достоверной информации о надежности машин и механизмов обычно проводится экспериментальные исследования или используются статистические данные, полученные при эксплуатации.

Однако случайный характер происходящих процессов при эксплуатации машин и механизмов, некорректность, нелинейность, дискретность показателей надежности не позволяет однозначно ответить на поставленные вопросы.

Анализ многочисленных наблюдений показывает, что наиболее достоверную информацию о надежности машин и оборудований можно получить в результате проведения экспериментально-исследовательских работ. В связи с этим при определении параметров надежности применяются различные методы моделирования.

Для оценки надежности деталей и узлов машин и механизмов применяются два основных вида модели отказов: прочностная надежность и параметрическая надежность. Для первого вида характерна мгновенное, для второго вида постепенная потеря работоспособности.

Отказы по параметрам прочности могут быть связаны с разрушением элемента, недопустимыми деформациями или резким изменением механических, электрических, тепловых и других свойств материала вследствие дефектов материала или в результате однократных или многократных статических или динамических перегрузок [2], [5], [7], [8].

Выводы. 1. Нагрузки, которые испытывают элементы различных технических систем, можно разделить на внешние и внутренние. Внешние нагрузки возникают вне самого элемента независимо от его функционирования и определяются условиями работы (механическими, климатическими, радиационными, акустическими). Внутренние нагрузки возникают в самом элементе и связаны с ошибками при конструировании, производстве и эксплуатации (локальные напряжения, перегревы, уходы параметров, физико-химические изменения в структуре элемента и т.д.) [2], [8].

2. Основной задачей оценки надежности является определения оптимальных параметров машин и механизмов, обеспечивающих наиболее эффективные условия эксплуатации, оптимальных характеристик, технического обслуживания и ремонта.

Литература

1. Крачельский И.В. Узлы трения машин / Крачельский И.В., Михин Н.М. // Справочник. М., «Машиностроение», 1983, 520 с.
2. Сулейманов П.Г. Повышение надежности машин и оборудований, эксплуатируемых в экстремальных условиях. Баку: Наука, 2018, 308 с.
3. Швецова Е.М. Классификация видов разрушения поверхностей деталей машин в условиях сухого и граничного трения / Швецова Е.М., Крачельский И.В. // В сб. «Трение и износ в машинах», вып. 8. М., АН СССР, 1953, с. 16-38.
4. Лихтман В.И. Физико-химическая механика материалов / Лихтман В.И., Ребиндер П.А., Щукин Е.Д. // М., АН СССР, 1962, 363 с.
5. Гафаров А.М., Некоторые аспекты надежности и долговечности машин и механизмов, работающих в чрезвычайных ситуациях / Гафаров А.М., Сулейманов П.Г. // Ст. трудов АПБ МЧС Украины, Черкассы, 2013, с. 254-260.
6. Герасимова А.М. Анализ взаимодействия гидроабразивной струи с внутренней поверхностью канала фокусирующего сопла / А. М. Герасимова, А. Л. Галиновский, В. И. Колпаков // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2015. № 9 (666). с. 59–67.
7. Кубарев А.Н. Надменность в машиностроении / М., Из-во стандартов.1989, 224 с.
8. Гафаров А.М., Прогрессивные методы механической обработки / Баку, ″Наука″, 2001, В-2х Томах. Т.1286,Т.2310 с.

УДК 629.56: 620.193.47

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТАЛЛ-СТЕКЛЯННЫХ ЭЛЕКТРОДУГОВЫХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ КОРРОЗИОННОЙ ЗАЩИТЫ СУДОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ПЕРЕВОЗКЕ ОПАСНЫХ ГРУЗОВ

Казимиренко Ю.А.

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова
г. Николаев, Украина
E-mail: u.a.kazimirenko@gmail.com

Аннотация. *Рассмотрены перспективы применения новых металл-стеклянных электродуговых покрытий на основе Св-08Г2С и Св-АМг5 для комплексной защиты судовых конструкций и транспортного оборудования при перевозке опасных насыпных грузов. Экспериментально установлены механизмы разрушения покрытий в условиях длительного пребывания в среде аммиачной селитры и нафталина, для чего в работе проведены микроструктурные и рентгеноструктурные исследования.*

Abstract. *The prospects for the use of new metal-glass electric-arc coatings based on Sv-08G2S and Sv-AMg5 for the integrated protection of vessels' constructions and transport equipment during the transportation of dangerous bulk cargoes have been considered. The mechanisms of their destruction under the conditions of a long stay in the environment of ammonium nitrate and naphthalene have been experimentally established; microstructural and X-ray structural studies have been carried out.*

Ключевые слова: *многоцелевые суда, опасные грузы, химическая стойкость, аммиачная селитра, нафталин, металл-стеклянные электродуговые покрытия*

Key words: *multi-purpose vessels, dangerous cargo, chemical resistance, ammonium nitrate, naphthalene, metal-glass electric-arc coatings*

Постановка проблемы. Расширение объемов перевозок опасных грузов водным транспортом предусматривает разработку комплексных мероприятий, связанных с коррозионной защитой грузовых отсеков. Так, при транспортировке насыпных грузов, таких как аммиачная селитра и нафталин, упакованных в полипропиленовые, полиэтиленовые или бумажные мешки (рис. 1), возможны нарушения герметичности упаковки, что создает реальный риск для экипажа судна и работников порта, и приводит к коррозионным повреждениям конструкций [1].



а *б* *в*

Рис. 1. *Упаковка аммиачной селитры [2]:*
а – полипропиленовый мешок; б – мягкий контейнер; в – бумажный мешок

Нанесение лакокрасочных покрытий является эффективным, но в то же время недолговечным способом, их применение в трюмных помещениях ограничивается химическим составом полимерных компонентов, горючестью и адгезионной прочностью с материалом-основой [3]. Развитие направлений постройки и модернизации многоцелевых судов [4] предусматривает внедрение новых многофункциональных защитных материалов, среди которых перспективными являются металл-стеклянные электродуговые покрытия [5], обладающие рентгенозащитными свойствами и коррозионной стойкостью в растворах кислот [6], что создает предпосылки для их применения в качестве коррозионной защиты трюмных помещений, используемых для перевозки таких опасных грузов как аммиачная селитра и нафталин.

Цель работы – экспериментальное исследование процесса коррозионного разрушения металл-стеклянных электродуговых покрытий при длительном взаимодействии с аммиачной селитрой и нафталином.

Материалы и методики исследований.

Характеристика химически активных сред.

Физико-химические свойства аммиачной селитры и нафталина как сыпучих сред представлены в табл. 1 [7, 8].

Таблица 1

Физико-химические свойства аммиачной селитры и нафталина

Свойства	**Аммиачная селитра**	**Нафталин**
Химическая формула	NH_4NO_3	$C_{10}H_8$
Класс опасности	5 класс 5.1 – окисляющие вещества	4 класс 4.1 – легковоспламеняющиеся твердые вещества
Плотность, кг/м^3	1725	1140
Температура плавления, °С	170	80,26
Температура вспышки, °С	281	79…87
Температура самовоспламенения, °С	350	525
Растворимость в воде	Растворяется в воде	Не растворяется в воде

Аммиачная селитра – гранулированное сельскохозяйственное удобрение, содержащее 33…35% азота в аммиачной и нитридной формах [7]; при взаимодействии с серой, серным колчеданом, суперфосфатом, порошкообразными металлами (особенно с Zn) и при температуре выше 300°С начинает быстро разлагаться с выделением токсичных окислов азота и кислорода, что может привести к возгоранию горючих материалов.

Нафталин – твердое кристаллическое достаточно летучее вещество с характерным запахом [8], применяется в качестве исходного сырья для различных нефтехимических синтезов, в том числе фталевого ангидрида, тетралина, декалина; легко нитруется, сульфируется, взаимодействует с галогенами.

Подготовка образцов.

Учитывая специфику химической активности сыпучих сред, при проведении исследований использованы натурные методы испытаний [9], для чего были подготовлены образцы-свидетели в виде стальных пластин из Ст 3 (ГОСТ 380-2005) размером 140×100×1,5 мм, на которые с одной стороны нанесены металл-стеклянные электродуговые покрытия толщиной 2 мм. При напылении использованы цельнотянутые сварочные проволоки марок Св-08Г2С (ГОСТ 2246-70) и Св-АМг5 (ГОСТ 7871-75); их химический состав приведен в табл. 2.

Таблица 2

Химический состав цельнотянутых сварочных проволок и материала подложки образцов

Марка материала	**Химический состав, мас. %:**
Св-АМг5, ГОСТ 7871-75	Mg − 5,0; Fe − до 0,4; Cr − 0,12 ; Mn − 0,15; Si − до 0,25; остальное – Al
Св-08Г2С, ГОСТ 2246-70	C − 0,05…0,11; Si − 0,70…0,95; Mn − 1,80…2,0; Cr − до 0,20; Ni −до 0,25; S – до 0,025; P – до 0,03
Ст3, ГОСТ 380–94	C – 0,14…0,22; Mn – 0,30…0,60; Si –не более 0,05

В качестве наполнителей, повышающих радиационную и коррозионную стойкость [5, 6], при напылении были добавлены: полые стеклянные микросферы натрийборсиликатного состава; порошки, полученные механическим измельчением хрустального и рентгенозащитного оптического стекол [10]. Химический состав стекол приведен в табл. 3.

Таблица 3

Химический состав стеклянных наполнителей электродуговых покрытий

Стеклянный наполнитель	**Химический состав, мас. %:**
Полые стеклянные микросферы	SiO_2–69,0; B_2O_3–7,5; CaO–6,0; Na_2O_3–13,5; ZnO–2,0; F–2,0
Хрустальное стекло	SiO_2–70,0; NaO_3–20,0; CaO–8,0; B_2O_3–2,0
Рентгенозащитное оптическое (свинцовосодержащее) стекло	SiO_2–55…57,33; K_2O_3–1,34…11,0; PbO–33…40

Структура напыленных покрытий представляет собой пористую (≈20%) металлическую матрицу с равномерно распределенными стеклянными включениями, объемное содержание которых составляет 35 ± 7%.

Методы исследований коррозионных повреждений.

Подготовленные образцы полностью были полностью погружены в два герметично закрытых контейнера: с аммиачной селитрой и с нафталином, где выдерживались в течение 120…150 дней при температуре 18±2°C. Условия испытаний, обеспечивающие постоянный контакт между исследуемыми материалами и агрессивной средой, по своей интенсивности превосходят условия эксплуатации судовых конструкций и транспортного оборудования, где их непосредственный контакт с сыпучими химикатами возможен только в случаях повреждения упаковок.

Коррозионные повреждения оценивались визульально по изменениям цветовой гаммы и текстуры покрытий.

Изменения химического состава покрытий под действием аммиачной селитры и нафталина исследованы с помощью рентгеноструктурного анализа, выполненного на установке ДРОН-3 в излучении меди.

Деградационные изменения в металл-стеклянных покрытиях определены по измерению массы образцов-свидетелей и по результатам металлографического анализа [11]. Для измерения массы образцов использовались аналитические весы GR200. Исследования очагов и глубины коррозионных повреждений проводились с помощью методов оптической и компьютерной металлографии, для чего с поверхности покрытий при помощи микроскопа БИОЛАМ-И в светлом поле сделаны цифровые микрофотографии, которые сравнивались со снимками эталонных образцов после напыления. По результатам определены изменения пористости и другие дефекты. Обработанные данные заносились в электронный каталог базы данных «*PROTECTIVE COATINGS DATA*» [12] с информационно-поисковым массивом документально-фактографического типа.

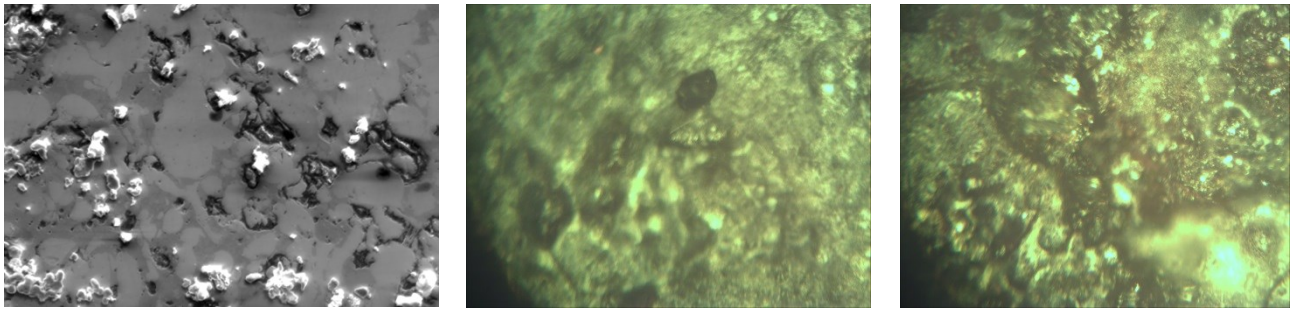
Результаты исследований и их обсуждение.

Результаты визуальной диагностики. Установлено, что в обоих случаях пребывание в коррозионной сыпучей среде сопровождается изменением цветовой гаммы покрытий с преобладающими цветами побежалости, и образованием оксидной пленки, наличие которой

препятствует распространению коррозионных процессов по глубине покрытия. На отдельных участках наблюдается прилипание аммиачной селитры без видимых разрушений покрытий.

Результаты рентгеноструктурного анализа показали образование на поверхности покрытий оксидных соединений, подтверждающих образование оксидной пленки. Рентгенограммы механически очищенных образцов характеризуются стабильностью фазового состава без образования новых химических соединений, что свидетельствует об отсутствии химических реакций между покрытиями и сыпучими химикатами.

Коррозионные повреждения металл-стеклянных электродуговых покрытий. Результаты исследований представлены в виде микрофотографий (рис. 2–3) поврежденных поверхностей.

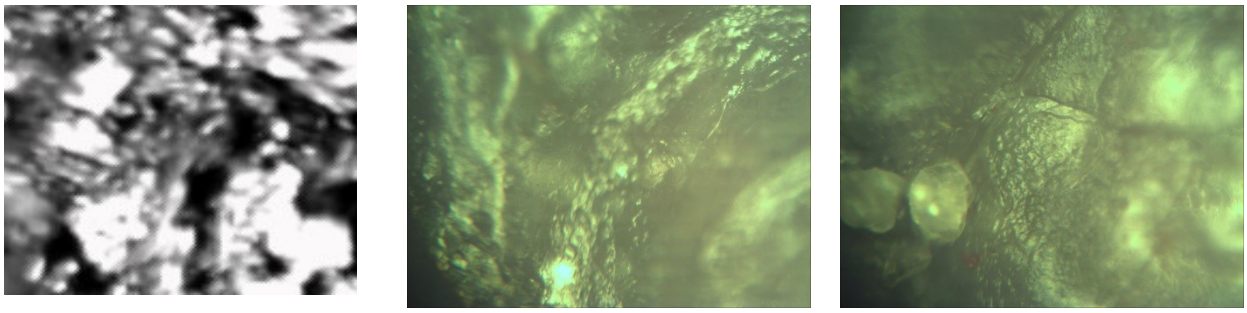


а *б* *в*

Рис. 2. *Микрофотографии (× 150) электродуговых покрытий из Св-08Г2С, наполненных хрустальным стеклом:*
а – после напыления; б – после выдержки в аммиачной селитре; в – после выдержки в нафталине

Полученные результаты свидетельствуют о химической стойкости металл-стеклянных электродуговых покрытий из Св-08Г2С и Св-АМг5 в условиях сыпучих опасных сред 4 и 5 классов опасности, таких как аммиачная селитра и нафталин. Коррозионные повреждения носят очаговый характер и выражаются в образовании поверхностной пористости покрытий, которые более ярко выражены в покрытиях на основе Св-08Г2С; при этом выкрашивания стеклянных включений не наблюдается. Измерения массы не показали существенных ее изменений по сравнению с пребыванием покрытий в водных растворах серной, соляной и азотной кислот [6].

Полученные результаты расширяют научные представления о развитии коррозионных процессов в структурно-неоднородных композициях и могут быть использованы в технологиях изготовления и защиты судовых конструкций.



а *б* *в*

Рис. 3. *Микрофотографии (× 250) электродуговых покрытий из Св-АМг5, наполненных свинцовосодержащим стеклом:*
а – после напыления; б – после выдержки в аммиачной селитре; в – после выдержки в нафталине

Перспективы дальнейших исследований связаны с разработкой практических рекомендаций по нанесению металл-стеклянных электродуговых покрытий при формировании трюмных помещений и выполнении ремонтных работ в условиях судна.

Выводы. 1. Экспериментально исследованы механизмы протекания коррозионных процессов в металл-стеклянных электродуговых покрытиях при непосредственном воздействии химически активных сред аммиачной селитры и нафталина: на поверхности покрытий возникает окисная пленка, препятствующая их разрушению; главным коррозионным дефектом является развитие поверхностной пористости. 2. Коррозионные испытания металл-стеклянных электродуговых покрытий на основе Св-08Г2С и Св-АМг5 в условиях, максимально приближенных к эксплуатационным, показали перспективы их применения для защиты стальных конструкций и транспортного оборудования (контейнеров и другой тары) судов, предназначенных для перевозки опасных грузов.

Литература

1. Снопков В.И. Перевозка грузов морем: справ. пособие / В. И. Снопков. Изд. 2-е. М. : Транспорт, 1986. 312 с.
2. Технология упаковочного производства / Т.И. Аксенова, В.В. Аганьев, Н.М. Дворецкая и др. ; под ред. Г. Розанцева. М. : Колос, 2002. 184 с.
3. Горбонос В.А. Защита от коррозии корпуса судов, балластных танков и систем / В.А. Горбонос // Вологодинские чтения. 2010. Вып. 78. с. 141 – 148.
4. Егоров Г.В. О перспективах новых сухогрузных судов смешанного река–море плавания / Г.В. Егоров // Транспорт. 2017. № 11 (983). с. 37–39.
5. Kazymyrenko Y. Patterns and mechanisms of interaction of radioactive cargo radiation wite metal-glass layer of watercrats structure / Y. Kazymyrenko // The advanced science journal. 2014. – Iss. 12. P. 45–48.
6. Казимиренко Ю.О. Корозійний захист сталевих цистерн для зберігання рідких радіоактивних речовин на плавучих спорудах / Ю. О. Казимиренко // East European Scientific Journal Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe. 2016. №7 (11), vol. 2. p. 16–21.
7. Аммиачная селитра: свойства, производство, применение : [монография] / А. К. Чернышев [и др.] : под. Ред Б.В. Левина, А.В. Туголукова. М. : ЗАО «Инфохим». 2009. 544 с.
8. Справочник коксохимика: в 6 т. / Под общ ред. Е. Т. Ковалева Т. 3 :Улавливание и переработка химических продуктов коксования. Харьков : Издательский Дом «ИНЖЭК», 2009. 4332 с.
9. Воробьева Г. А. Коррозионная стойкость материалов в агрессивных средах / Г.А. Воробьева. 3-е изд. М. : Химия, 1975, 816 с.
10. Казимиренко, Ю.О. Порошки систем $Na_2O–CaO–SiO_2$ і $K_2O–PbO–SiO_2$: переробка відходів і процеси розм'якшення / Ю.О. Казимиренко // East European Scientific Journal Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe. 2018. № 7 (35), vol. 2. p. 21–30.
11. Анисович А.Г. Практика металлографического исследования материалов / А.Г. Анисович Н.И. Румянцева. Минск : Беларус. Навука, 2013. 221 с.
12. Казимиренко Ю.А. Информационная поддержка оценки технического состояния конструкций судов и плавучих сооружений / Ю.А. Казимиренко, Т.А. Фарионова // Управління розвитком складних систем : зб. наук. пр. К. : КНУБА, 2015. № 12. с. 111–117.

UOT: 622.62

HİDROTEXNİKİ DƏNİZ QURĞULARININ QAYNAQ DÜYÜNLƏRİNİN HESABLAMA METODİKASINA DAİR

Qafarov F.M., Rəhimova M.S., Namazova G.İ.

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti
Az1000, Bakı şəh., Azadlıq pr., 16/21
E-mail: rahimova_mahluqa@mail.ru

***Xülasə**. Dəniz hidrotexniki qurğularının qaynaq düyünlərinin istismar, konstruksiya və texnoloji yükləmələrinin analizi aparılmışdır. Analiz nəticəsində müəyyən olunmuşdur ki, ayrı-ayrı özüllərin qaynaq düyünləri sıxıcı dəyişən gərginlikləri qəbul edir, başqa hissələri isə asimmetrik dəyişən dartılma, əyilmə və burulma şəraitində işləyir. Bundan əlavə, qaynaq düyünlərinin uzunömürlülüyünə xeyli dərəcədə ətraf mühit təsir edir.*

***Аннотация.** Приведен анализ эксплуатационной, конструкционной и технологической нагруженности сварных узлов морских гидротехнический сооружений. Установлено, что часть сварных узлов отдельных оснований воспринимают только сжимающие переменные напряжения и определяющим для них могут явиться обычные расчеты на статическую прочность, а другая же часть сварных узлов находятся в условиях асимметричного переменного растяжения, изгиба и кручения. Кроме этого на долговечность сварных узлов значительно влияет окружающая среда.*

Получены расчетные формулы для определения предельных и допускаемых напряжений в зависимости от влияния коррозии и асимметрии разрушающего цикла для сварных узлов морских гидротехнических сооружений.

***Abstract**. The analysis of operational, structural and technological loading of welded marine hydrotechnical units is given. It is established that some of the welded assemblies of individual bases perceive only compressive stress variables and the usual calculations for static strength can be the determining factor for them, while the other part of the welded assemblies are under conditions of asymmetric alternating bending and torsion. In addition, the environment for the life of welded nodes is significantly affected.*

Calculation formulas are obtained for determining the limiting and permissible stresses depending on the influence of corrosion and the asymmetry of the destructive cycle for welded units of marine hydraulic structures.

***Açar sözlər**: dağılma, yük, gərginlik, zədələnmə, uzunömürlülük*
***Ключевые слова**: разрушение, нагрузка, напряжение, повреждение, долговечность*
***Key words**: destruction, load, voltage, damage, durability*

Giriş. Hidrotexniki qurğuların birləşdirici düyünləri konstruksiyalarının analizi qaynaq birləşmələrinin əsas konstruktiv icra ediləbilmə üsullarını aşkara çıxarır:

- müxtəlif profillərdən, əyilmə və ya qaynaq elementlərindən ibarət olan şəbəkəli konstruksiyalar. Bu tip konstruksiyaların konstruksiyaedilməsi AWS A2.4-79 saylı standartlara uyğun gəlir.
- prokat və əyilmiş profillərdən yığılmış konstruksiyalar. Ən çox istifadə olunan qaynaq tirləri ikitavr və qutu profilli hesab edilir.
- borulardan və ya vərəq materiallardan hazırlanmış boru konstruksiyaları. Bu tip konstruksiyalar «boru içərisində boru» birləşmələrində istifadə olunur.

Şəbəkəli konstruksiyaların fermalarının kəməri vərəqlərlə qaynaq edilmişdir və gərginliklər konsentrasiyasının effektivlik əmsalının kiçik qiymətlərə malik olması ilə fərqlənir. Bu səbəbdən də belə konstruksiyalar yüksək yorğunluq möhkəmliyinə malik olur.

Maşın hissələrinin möhkəmliyə hesabında qaynaq birləşmələrinin yorğunluğa yoxlanılması nominal gərginliklər üzrə yerinə yetirilir və $N < R$ bərabərsizliyinin təsdiq olunmasına gətirilir. Burada N – xarici dəyişən qüvvələrin hesabı təsiri; R – yorğunluq şərtilə qaynaq birləşmələrinin hesabi aparıcılıq qabiliyyəti.

Məsələnin qoyuluşu. Maşınqayırmanın ayrı-ayrı sahələrində qəbul edilən hesablama metodikası nəinki öz forması ilə fərqlənir, eyni zamanda N və R parametrlərinin təyinolunma yanaşması ilə seçilir. Bu zaman qeyri-stasionar yükləmənin, asimmetrik tsiklin təsirinin, qalıq gərginliyin, yorğunluq çatlarının inkişafı mərhələlərinin və s. nəzərə alınması təklif olunur.

Fərqlərin əmələ gəlməsi maşınqayırmada, neft sənayesində, həmçinin hidrotexniki dəniz qurğularının aradılmasında hesablama metodlarının xüsusiyyətləri ilə əlaqədardır. Maşın hissələri buraxılabilən gərginliklər, inşaat konstruksiyaları isə həddi vəziyyəti metodu ilə hesablanır.

Həlli. Maşın hissələrinin hesablamalarında səciyyəvi hesablama metodikası maşınların bütün istismar zamanı yorğunluq zədələnmələrinin olmaması prinsipinə əsaslanır.

Konstruksiyanın dözümlülüyü möhkəmlik ehtiyatı parametri ilə qiymətləndirilir və $\sigma_m - \sigma_{\max}$ (şək.) diaqramı üzrə müəyyən edilir. Bu zaman dəyişən gərginliklər amplitudu ilə və dözümlülük həddi nisbətinin sabit olması qəbul edilir:

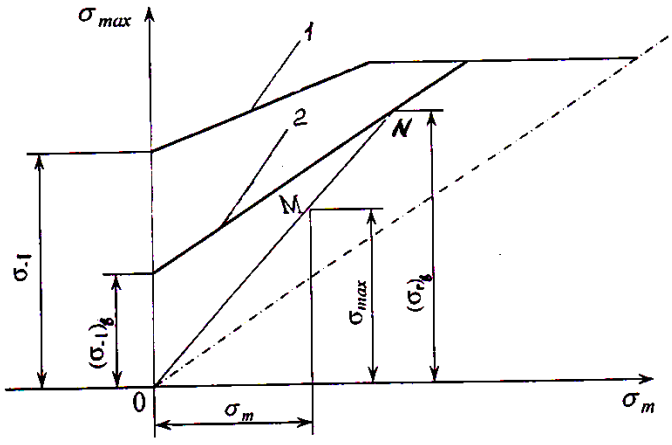
$$n = \frac{\sigma_{-1}}{k_\sigma \sigma_a + \psi \cdot \sigma_m} \geq 2{,}0 \qquad (1)$$

burada n – möhkəmlik ehtiyatı; σ_{-1} – simmetrik tsikl üzrə standart nümunənin dözümlülük həddi; σ_m – tsiklin orta gərginliyi; σ_a – tsiklin amplitud gərginliyi; $\psi = \frac{2\sigma_{-1} - \sigma_0}{\sigma_0}$ – tsiklin asimmetriyasını nəzərə alan əmsal; k_σ – effektivlik əmsalıdır.

σ_a – amplitud gərginliyi konstruksiyalarda tətbiq olunan ossilloqrafiya yazılarının emal-olunma nəticəsində müəyyən edilir. σ_a hesabi qiyməti axırıncı variantda aşağıdakı kimi qəbul edilir [2]:

$$\sigma_a = \overline{\sigma}_a + 3S_a \qquad (2)$$

burada $\overline{\sigma}_a$ – amplitud gərginliyin orta statistik qiyməti; S_a – amplitud gərginliyin orta kvadratik meyli.



Şəkil. *Qaynaq birləşməsinin möhkəmlik ehtiyatının təyin olunma sxemi*
1– əsas metal; 2 – qaynaq birləşməsi

Effektivlik əmsalını (k_σ) stend təcrübələri əsasında müəyyən olması irəli sürülür. Eyni zamanda effektivlik əmsalının təyini üçün istifadə olunan parametrlərin qiymətləndirilməsi yolu ilə

$$k_\sigma = \alpha_\sigma \frac{k_1 k_2}{k_s \cdot k_v} \cdot \eta \tag{3}$$

burada α_σ – gərginlik konsentrasiyasının effektivlik əmsalıdır. Bu əmsal elastiqiyyət və plastiklik nəzəriyyələrinə əsaslanan metodlarla və ya təcrübi yolla (tenzometriya, qalvanik örtmə və s.) müəyyən edilir. k_1 – materialın bircinsli olmamasını nəzərə alan əmsal; k_2 – hissəni təşkil edən materialdakı daxili gərginliyi nəzərə alan əmsal; k_v – səthin vəziyyətini nəzərə alan əmsal; k_s – miqyas amilini nəzərə alan əmsal; η – nəzərdə tutulan texnologiyadan kənaraçıxma imkanlarını nəzərə alan əmsaldır.

İrəli sürülən metodika maşın hissələrinin yorğunluğa hesabı ilə uyğunlaşır [1]. Bununla bərabər, yüksək qalıq gərginlikli qaynaq birləşmələrinin hesabı üçün bir sıra dəqiqləşdirilmələrin yerinə yetirilməsini tələb edir.

Qaynaq birləşməsi zonasında xeyli qalıq gərginlik təsir edirsə, (σ_a) qiymətinin sabit olmasına əsaslanır. Bu halda qaynaq birləşməsinin həddi gərginliklər tənliyi aşağıdakı kimi qəbul edilir:

$$(\sigma'_r)_b = \sigma'_m + (\sigma_{-1})_b = \sigma'_m + \frac{\sigma_{-1}}{k_\sigma} \tag{4}$$

burada $(\sigma'_r)_b$ – asimmetrik tsikl üzrə qaynaq birləşməsinin dözümlülük həddi; σ_m – tsiklin orta gərginliyi; k_σ – gərginlik konsentrasiyasının effektiv əmsalıdır.

Əgər verilən gərginlik vəziyyəti M nöqtəsi (şək.1) ilə müəyyən olunursa və bu nöqtənin koordinatları (σ_m, σ_{max}) təşkil edirsə, onda möhkəmlik ehtiyat əmsalı (S) həddi gərginliklər xətti üçün tənliyin və ON şüası tənliyinin birgə həlli ilə müəyyən olunur. ON şüası üçün tənlik

$$\sigma'_m = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_m} \cdot \sigma'_m \tag{5}$$

ilə ifadə edilir. N nöqtəsi üçün

$$\sigma'_m = (\sigma'_r)_b = (\sigma_r)_b \tag{6}$$

(4) və (5) tənliklərinin birgə həlli nəticəsində

$$(\sigma_r)_b = \frac{(\sigma_r)_b \cdot \sigma_m}{\sigma_{max}} + \frac{\sigma_{-1}}{k_\sigma} \tag{7}$$

alınır.

(7) ifadəsindən

$$(\sigma_r)_b = \frac{\sigma_{-1} \cdot \sigma_{max}}{k_\sigma (\sigma_{max} - \sigma_m)} = \frac{\sigma_{-1} \cdot \sigma_{max}}{k_\sigma \cdot k_v} \tag{8}$$

Onda möhkəmlik ehtiyatı əmsalı

$$S = \frac{(\sigma_r)_b}{\sigma_{max}} = \frac{\sigma_{-1}}{k_\sigma \cdot k_v} \tag{9}$$

Məlum olduğu kimi, dəniz hidrotexniki qurğularının metallokonstruksiyası müxtəlif qüvvələrin təsirindən mürəkkəb gərginlik vəziyyətdə olur.

Bu qüvvələrə daxildir:

- konstruksiyanın qaynaq düyünlərində xüsusi çəkidən yaranan qüvvələr;
- maşının işi zamanı ortaya çıxan qüvvə amilləri;
- özüllərin yığılması zamanı əmələ gələn daxili qüvvə amilləri;
- qaynaq düyünləri konstruksiyasında külək və dalğanın təzyiqinin yaranan qüvvələr;
- ətraf mühitin temperaturunun dəyişməsi nəticəsində yaranan daxili qüvvə amilləri və s.

Bununla bərabər qeyd etmək lazımdır ki, yuxarıda qeyd olunan qüvvələrdən, məsələn, metal konstruksiyanın ayrı-ayrı elementlərinin xüsusi çəkisindən və özüllərin yığılması zamanı yaranan texnoloji gərginliklərin qiymətlərini sabit xarakterli qəbul etmək olar.

Avadanlıqların istismarı zamanı yaranan ətalət qüvvələrindən, küləyin və dalğanın təzyiqindən, həmçinin ətraf mühitin temperaturunun dəyişməsi nəticəsində yaranan gərginlikləri zamandan asılı olaraq dəyişən gərginliklər kimi qəbul etmək olar.

Özüllərin ayrı-ayrı qaynaq düyünlərinin istismar, konstruksiya və texnoloji yükləmələrini analiz etməklə bu fikrə gəlmək olur ki, qaynaq düyünlərinin bir hissəsi sıxıcı dəyişən gərginlikləri qəbul edir və bu düyünlər üçün adi statiki möhkəmliyə hesablamalar, digər qaynaq düyünləri üçün dəyişən asimmetrik şəraitdə hesablamalar qəbul edilir.

Məlum olduğu kimi asimmetrik tsikli yükləmələrdə dözümlülük həddinin analitik ifadəsi [2]-də olduğu kimi qəbul edilir:

$$\sigma_{max} = \sigma_{-1} + (1-\psi)\cdot\sigma_m \tag{10}$$

burada ψ – tsiklin asimmetriya əmsalıdır; σ_{max}, σ_m – tsiklin maksimal orta gərginliyidir.

ψ əmsalı aşağıdakı kimi təyin olunur:

$$\psi = 2\sigma_{-1} - \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_0}\ , \tag{11}$$

burada σ_0 – döyünən tsikl üzrə dözümlülük həddi; σ_{-1} – simmetrik tsikl üzrə dözümlülük həddidir.

Asimmetrik tsikl üzrə yükləmələrdə gərginlik amplitudu

$$\sigma_a = \sigma_{max} - \sigma_m = \sigma_{-1} - \psi\cdot\sigma_m \tag{12}$$

kimi təyin olunur.

Korroziyanı nəzərə alan korelyasiya əmsalını daxil etməklə onu

$$\beta_{kor} = \frac{(\sigma_{-1})_{\text{şərti}}}{\sigma_{-1}}$$

dəyişən gərginliklər amplituduna daxil etmək olar:

$$\sigma_к = (\sigma_{-1} - \psi\sigma_{max})\beta_{kor} + \sigma_m$$

Qaynaq düyünlərində dartılma gərginliklərinin qiyməti $\sigma_{\max} > 0$. Aşağıdakı nisbətdən

$$tg\beta = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_m} = 2\cdot\frac{\sigma_{max}}{\sigma_{max}+\sigma_{min}} = \frac{2}{1+R} \tag{13}$$

və tsiklin orta gərginliyi

$$\sigma_m = 1 + \frac{R}{2\sigma_r} \tag{14}$$

qəbul etməklə, dözümlülük həddini

$$\sigma_r = \frac{2\beta_{kor}\cdot\sigma_{-1}}{\psi\beta_{kor}(1+R)-(1-R)}, \tag{15}$$

burada R – tsiklin asimmetriya əmsalıdır.

Təhlükəsizlik əmsalını (S) daxil etməklə buraxılabilən gərginliyin qiymətini aşağıdakı düsturun köməyi ilə təyin etmək olar.

$$[\sigma_r] = \frac{2\beta_{kor}\cdot\sigma_{-1}}{[\psi\beta_{kor}(1+R)+(1-R)]\cdot S} \tag{16}$$

Nəticə. Dəniz hidrotexniki qurğularının qaynaq düyünləri üçün korroziyanı nəzərə alan əmsaldan β_{kor} və asimmetriya tsiklindən asılı olaraq həddi və buraxılabilən gərginliklərin hesablama ifadəsi müəyyən olunmuşdur.

Ədəbiyyat

1. Kərimov Z.H. Maşın hissələri və yükqaldırıcı nəqledici maşınlar. Bakı, Maarif, 2002,464s.
2. Серенсен С.В., Когаев В.П., Шнейдерович Р.И. Несущая способность и расчет деталей машин на прочность. Изд. 3-е. М.Машиностроение, 1975, 488 с.

УДК 621.787

ВЛИЯНИЕ ИСХОДНОЙ СТРУКТУРЫ СТАЛИ НА РЕЗУЛЬТАТЫ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Малышко С.Б., Тарасов В.В.

Морской Государственный Университет имени адмирала Г.И.Невельского
г. Владивосток, Россия
E-mail: tarasov@msun.ru

Аннотация. *Обсуждается влияние исходной структуры стали на полноту диффузионных процессов при электромеханической обработке, а также на глубину и микротвердость поверхностного слоя. Рекомендована оптимальная предварительная термическая обработка для доэвтектоидной стали.*

Abstract. *The influence of steel's initial structure on completeness of diffusive processes and on depth and microhardness of surface layer during the electromechanical treatment is discussed. Optimum preliminary heat treatment for hypo eutectoid steels is recommended.*

Ключевые слова: *электромеханическая обработка, исходная структура стали, диффузионные процессы, глубина и микротвердость поверхностного слоя*

Key words: *the electromechanical treatment, of steel's initial structure, diffusive processes, depth and microhardness of surface layer*

Введение. В связи с интенсификацией эксплуатационных процессов большое значение приобретает проблема повышения надежности деталей судовых машин и механизмов, которая непосредственно связана с качеством их поверхностного слоя. Для решения этой проблемы в современном судостроении и судоремонте все более широкое применение находят методы упрочнения поверхностного слоя деталей, к которым относится электромеханическая обработка (ЭМО).

Основная часть. При высокоскоростном нагреве, характерном для электромеханической обработки, взаимосвязь исходного состояния стали и термических параметров образования аустенита приобретает особенно большое значение. Поскольку в одной и той же стали можно создать существенно разное расположение цементитных частиц в ферритной матрице, то можно, таким образом, сильно облегчить или, наоборот, затруднить образование аустенита при быстром нагреве [1].

В работах [2, 3] предложены математические модели структурных превращений в пластинчатом и зернистом перлите при нагреве и представлены результаты расчетов времени диффузионного превращения перлита разной дисперсности в аустенит.

Расчеты показали, что чем больше степень дисперсности феррито-карбидной смеси, тем с большей скоростью перлит переходит в аустенит при нагреве, а время полного диффузионного превращения для зернистого перлита разной дисперсности несколько выше, чем для пластинчатого перлита.

При электромеханической обработке доэвтектоидной стали, согласно выполненным расчетам [4], только часть объема феррита охвачена диффузионным превращением, т.е. пол-

ное диффузионное превращение структурно свободного феррита в аустенит в доэвтектоидной стали в исследуемом интервале температур невозможно.

В настоящей работе поставлена задача экспериментального подтверждения расчетов путем исследования электромеханического упрочнения сталей с разной исходной структурой.

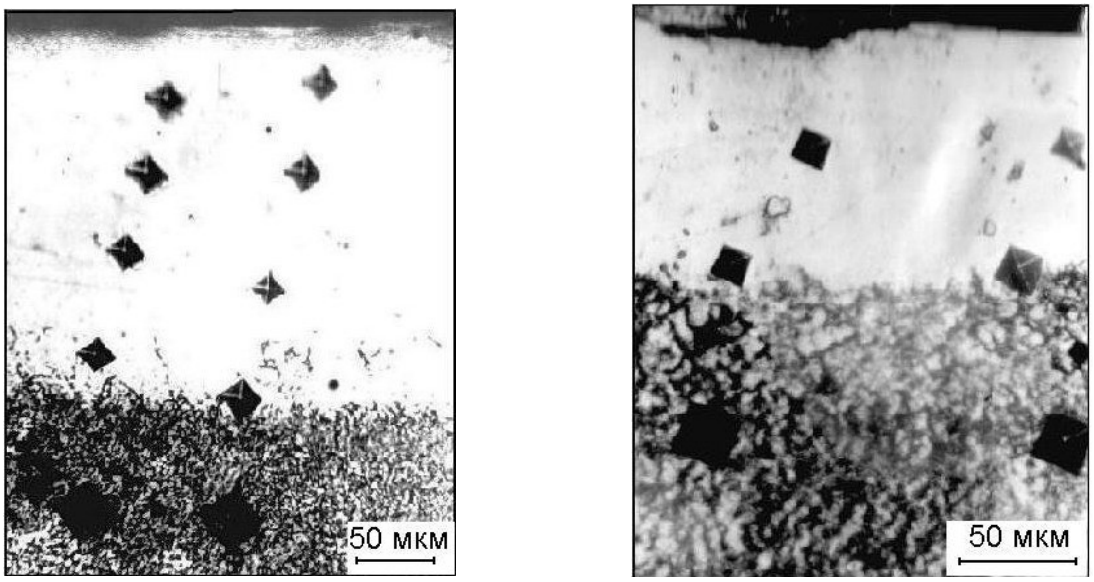
Для исследования взяты сталь У8 с исходной отожженной и нормализованной структурой, сталь 45 после улучшения и сталь 35 после отжига, которые были повергнуты электромеханическому упрочнению по режиму: сила тока I = 800 А; сила прижатия ролика P = 300 Н; окружная скорость обработки V = 3,4 м/мин; подача S = 0,22 мм/об, число проходов 2.

Оценка микротвердости по локальным микрообъемам поверхностного слоя проведена на приборе ПМТ-3 при нагрузке 0,98 Н. Расстояние между отпечатками составляло 50 мкм.

Микроструктура сталей исследована после травления шлифов в 4%-ном растворе азотной кислоты в этиловом спирте на металлографическом микроскопе NEOPHOT 21 при увеличении от 100 до 500 крат.

Рентгенографический фазовый анализ проведен на установке ДРОН-2 в железном $К_\alpha$ – излучении.

Рентгенографический анализ сталей У8 и 45, упрочненных ЭМО, показал, что во всех случаях в поверхностных слоях образцов имеется мартенсит и цементит. Однако на всех дифрактограммах мартенситный дуплет не расщеплен. Это свидетельствует о том, что содержание углерода в мартенсите менее 0,6 % по массе и может быть объяснено тем, что диффузионный процесс перлито-аустенитного превращения реализуется на стадии образования неоднородного по концентрации углерода аустенита и не полностью растворившихся частиц перлитного цементита. Последующее охлаждение приводит к образованию малоуглеродистого мартенсита. В стали У8 обнаружен остаточный аустенит в пределах 6 – 10 %.



а) б)

Рис. 1. *Микроструктура упрочненного ЭМО поверхностного слоя стали У8 в зависимости от предшествующей термообработки: а – после нормализации; б – после отжига*

При электромеханическом упрочнении стали в поверхностном слое образуется светлая нетравящаяся полоса – «белый» слой (рис. 1), который представляет из себя бесструктурный мартенсит. Из рисунка видно, что «белый» слой нормализованной стали (рис. 1, а) имеет большую глубину, чем отожженной (рис. 1, б). Исходная микроструктура исследуемой стали У8 после отжига представляет собой крупнопластинчатый перлит 8 - го балла дисперсности, что соответствует межпластинчатому расстоянию Δ = 1,6 мкм, а после нормализации – тон-

копластинчатый перлит (сорбит) с межпластинчатым расстоянием Δ = 0,4 мкм. Согласно расчетам, для реализации полного диффузионного превращения тонкопластинчатого перлита указанной дисперсности в аустенит при 900°С требуется время $\tau = 3{,}20 \cdot 10^{-4}$ с, а для крупнопластинчатого (Δ = 1,6 мкм) перлита на порядок больше ($\tau = 5{,}12 \cdot 10^{-3}$ с), поэтому процесс аустенитизации тонкопластинчатого перлита распространяется на более значительную глубину, что соответствует увеличению глубины белого слоя.

Распределение средней микротвердости по толщине упрочненного ЭМО поверхностного слоя сталей У8 и стали 45 показаны на рис. 2. Поверхностная микротвердость (пологие участки кривых) нормализованной стали У8 (кривая 3) существенно больше, чем отожженной (кривая 1). Это объясняется тем, что более высокая степень дисперсности карбидов нормализованной стали по сравнению с отожженной, способствует более полному их растворению в образующемся при ЭМО аустените, что приводит к получению в «белом» слое более твердого мартенсита. Круто падающие участки кривых микротвердости соответствуют переходному слою, на протяжении которого (от 0,1 до 0,2 мм) твердость уменьшается до исходной.

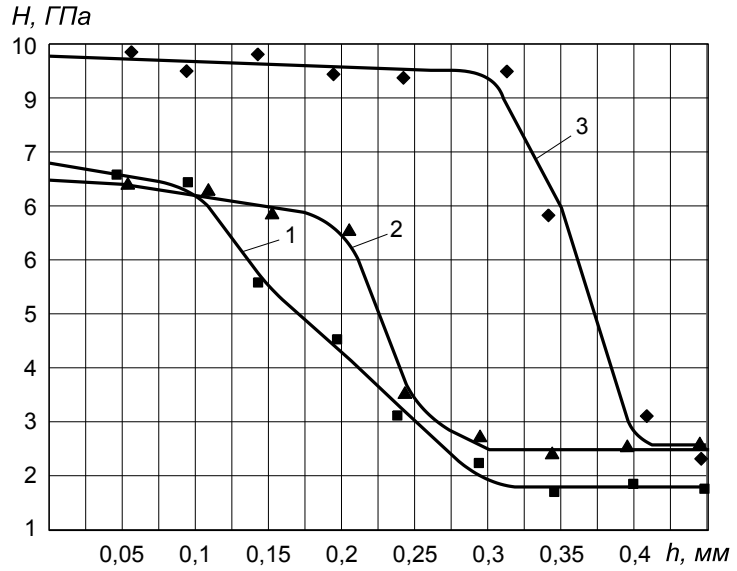


***Рис. 2**. Распределение средней микротвердости H по глубине закаленного слоя сталей после ЭМО: 1 – сталь У8 после отжига; 2 – сталь 45 после улучшения; 3 – сталь У8 после нормализации*

На рис. 2 представлен график распределения микротвердости по глубине упрочненного слоя (кривая 2), а на рис. 3 микроструктура упрочненного ЭМО поверхностного слоя стали 45. Конфигурация кривой 2 качественно не отличается от ранее рассмотренных кривых 1 и 3.

Исходная структура исследуемой стали 45 представляет собой сорбит отпуска, ориентированный по бывшему мартенситу, дисперсность которого, определенная по стандартным шкалам, соответствовала мелкозернистому перлиту со средним диаметром зерен цементита 0,8 мкм. Среднее расстояние, измеренное между зернами цементита, составляло 0,9 мкм. Для зернистого перлита с такой дисперсностью для полной аустенитизации при 900°потребуется, согласно расчетам, время $\tau = 2{,}10 \cdot 10^{-3}$ с, которое не больше времени теплосилового воздействия при ЭМО. Поэтому на рис.3, а наблюдаем «белый» слой средней толщины у стали 45 (0,2 мм) по сравнению с нормализованной (0,3 мм) и отожженной (0,1 мм) сталью У8 (рис. 1), так как дисперсность перлита стали 45 тоже средняя.

Поверхностный слой стали 35, подвергнутой электромеханическому упрочнению (рис. 3, б) имеет ферритомартенситную структуру. На рисунке отчетливо видны участки бесструктурного мартенсита (средняя микротвердость H = 8,2 ГПа), которые имеют вид сплошных

«белых» зерен, соответствующих по размерам, конфигурации и расположению бывшим перлитным колониям.

Феррит поверхностного слоя (средняя микротвердость H = 1,95 ГПа) сильнее растравливается реактивом по сравнению с ферритом исходной структуры. Это можно объяснить тем, что в поверхностном слое феррит претерпевает наклеп в результате силового воздействия обрабатывающего инструмента. Исследования микроструктуры стали 35 после ЭМО хорошо согласуются с расчетами. Времени тепло-силового воздействия недостаточно для полной аустенитизации исходной феррито-перлитной структуры, но достаточно для полной аустенитизации перлита (межпластинчатое расстояние исходного перлита Δ = 0,6 мкм, что согласно расчетам при 900°С требует времени нагрева $\tau = 7{,}20 \cdot 10^{-4}$ с).

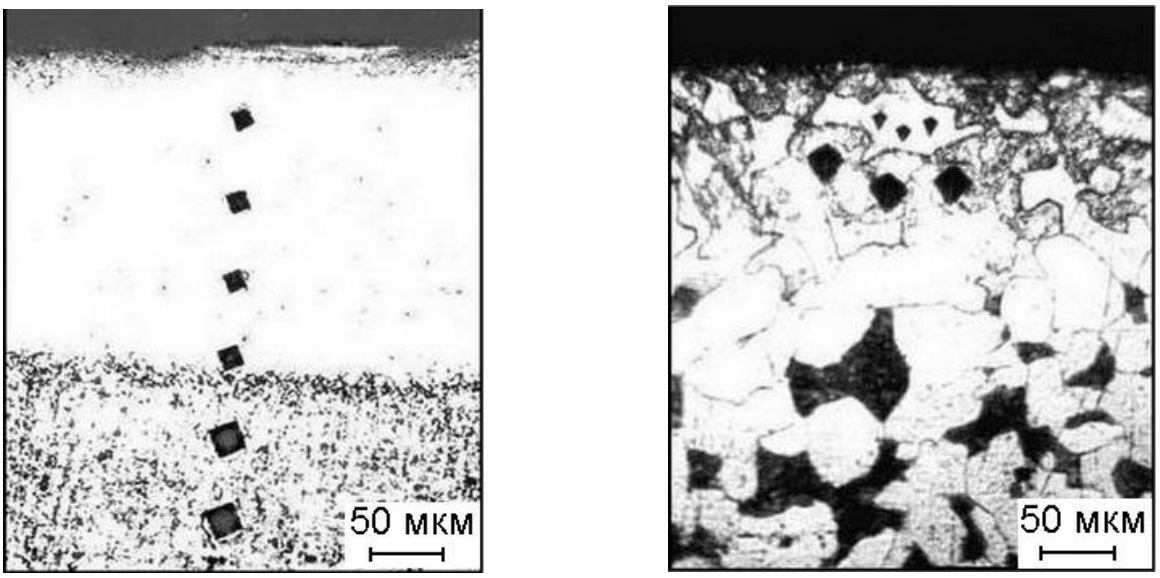


Рис. 3. *Микроструктура упрочненного ЭМО поверхностного слоя: а – стали 45 с исходной структурой сорбита отпуска; б – стали 35 с исходной феррито-перлитной структурой после отжига*

Вывод. Таким образом, результаты электромеханической обработки значительно зависят от исходной структуры упрочняемой стали. Экспериментальные исследования показали, что с увеличением степени дисперсности карбидных частиц увеличивается толщина и микротвердость «белого» слоя, что связано с распространением процесса аустенитизации перлита на большую глубину и более полном растворении карбидов в аустените.

Для обеспечения полной закалки поверхностного слоя доэвтектоидных сталей при электромеханической обработке необходимо проведение предварительной термической обработки для получения структуры, не содержащей избыточного феррита, и представляющей собой ферритокарбидную смесь с равномерным распределением карбидной фазы. Рекомендуемая предварительная термическая обработка – улучшение, а микроструктура – сорбит отпуска.

Литература

1. Кидин И.Н. Физические основы электротермической обработки металлов и сплавов [Текст] / И.Н. Кидин; М.: Металлургия, 1969. 376 с.
2. Особенности диффузионных превращений при электромеханической обработке [Текст] / С.Б. Малышко, Т.Г. Белейчева, В.В Тарасов // Материалы пятой международной научно-практической конференции «Проблемы транспорта Дальнего Востока». Владивосток: ДВО РАТ, 2003. с. 495–498.

3. Особенности фазовых превращений при электромеханической обработке [Текст] / С.Б. Малышко, В. В Тарасов // Вестник морского государственного университета. Сер. Судостроение и судоремонт. Владивосток: Мор.гос.ун-т, 2007. Вып. 17. с.50–54.
4. Исследование фазовых превращений углеродистых сталей при электромеханической обработке [Текст] / В.В Тарасов, С.Б. Малышко // Материалы шестой международной научно-практической конференции «Проблемы транспорта Дальнего Востока». Владивосток: ДВО РАТ, 2005. с. 46–47.

UOT 621.762.04.05

ALÜMİNİUM OVUNTUSUNUN HİSSƏCİKLƏRİNİN ÖLÇÜLƏRİNİN PRESPƏSTAHLARIN HƏCMİ BÖYÜMƏSİNƏ TƏSİRİ

Məmmədli N.R., Məmmədov A.T., Hüseynov M.Ç.

Azərbaycan Texniki Universiteti
Az1029, Bakı şəh., H.Cavid pr.,25
E-mail: ariff-1947@ mail.ru.

Xülasə. *Tərkibində 12% nikel olan və 20% məsaməlikli prespəstahların bişirilməsinin gedişində pəstahların nisbi böyüməsinə alüminium ovuntusunun hissəciklərinin dispersliyinin təsiri öyrənilib. Cr–Al sistemində xromun iri hissəciklərinin böyüməsi onların səthində intermetallid qatın çatlaması ilə müşayiət olunur. Bu Kirkendall effekti ilə müqayisədə prespəstahların artıq böyüməsinə əhəmiyyətli töhfə verir.*

Аннотация. *Изучение влияние дисперсности порошковых частиц алюминия на относительный рост заготовок в процессе спекания прессовок, содержащих 12% никеля и 20% пористостью. Установлено, что в системе Cr–Al рост крупных частиц хрома сопровождается трещинообразованием интерметаллидного слоя на их поверхности. Это, по сравнению с эффектом Киркендалла вносит значительным вклад на избыточный рост прессовок.*

Abstract. *The study of the effect of the dispersion of aluminum powder particles on the relative growth of blanks in the process of sintering compacts containing 12% nickel and 20% porosity. It has been established that in the Cr-Al system, the growth of large chromium particles is accompanied by cracking of the intermetallic layer on their surface. This, compared to the Kirkendall effect, makes a significant contribution to the overgrowth of compacts.*

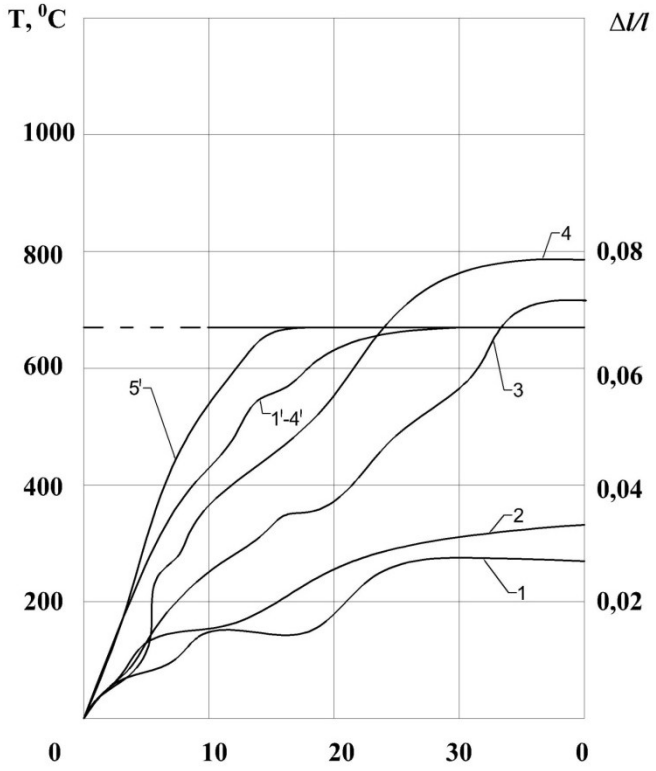
Açar sözlər: *ovuntu, pəstah, bişirmə, Kirkendall effekti, hissəcik, fərziyyə, maye faza*

Ключевые слова: *порошок, заготовка, спекание, эффект Киркендалла, частица, допущение, жидкая фаза*

Key words: *powder, billet, sintering, Kirkendall effect, particle, assumption, liquid phase*

Giriş. Al–Cr–Ni ovuntu pəstahlarının bişirilməsində onların həcm dəyişməsi vacib əhəmiyyət kəsb edir. Belə ki, bu sistemdə maye və bərk fazaların iştirakı ilə gedən bişirmə prosesi hökmən Kirkendall effektilə müşayət olunur. Bu halda maye fazada həll olan bərk fazanın hissəciklərinin yerində boşluqlar qalır, maye fazanın isə bərkidikdən sonra böyüməsi baş verir. Ona görə də məqalədə bu sistemin bişirilməsində pəstahların həcmi böyüməsi hissəciklərin dispersliyindən asılı olaraq öyrənilib.

Eksperimental tədqiqatlar. Görmək olar ki, hissəciklərin cəm səthinin azalması ucbatından hissəciklərin orta ölçüsünün artımında mayedən bərk fazaya diffuziya etmiş nikelin miqdarı azalacaqdır. Lakin ən böyük böyümə ən iri hissəciklərli ovuntudan olan prespəstahlarda müşahidə olunur (şəkil 1).



Şəkil 1. *Tərkibində 12% nikel olan və 20% məsaməlilikli prespəstahların bişirilməsinin gedişində onların nisbi böyüməsinə alüminium ovuntusunun hissəciklərinin dispersliyinin təsiri.*
Hissəciklərin orta ölçüsü, mmk: 1 – 10; 2 – 15; 3 – 100; 4 – 200; $1'-4'$ - prespəstahların temperaturu, $5'$ - mühitin temperaturu.

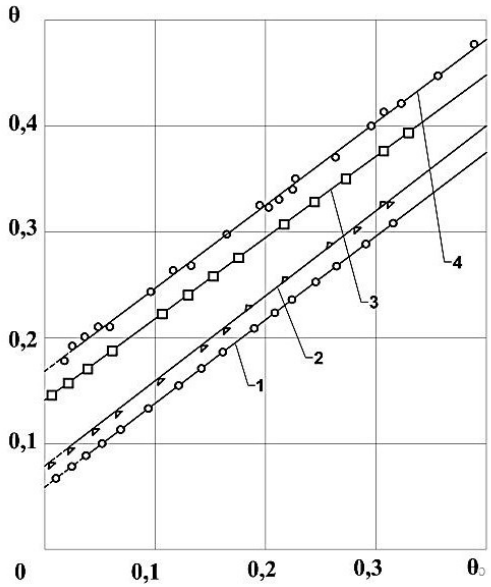
Al+12% Ni tərkibin 650ºC-də bişirilmiş prespəstahların məsaməliliyinin hissəciklərin müxtəlif orta öçülü alüminium ovuntuları üçün ilkin məsaməlilikdən asılılığı şəkil 2-də verilib. Maye fazadan bərk fazaya nikelin atomlarının diffuziyası ilə şərtlənən, ərintilərin alüminiumla doymasını nəzərə amaqla və o fərziyyə ilə ki, alüminiumun (C_3') ərintisində həll olmur nəticələr cədvəldə verilib.

Cədvəl

650ºC-də bişirilmiş Al+12%Ni ərintisinin prespəstahlarının həcmi dəyişmələri əsasında tapılmış C_S, C_S' və R parametrləri

d, mkm	θ (0)	tgα	C_S'	C_S	R
10	0,050	0,885	0,112	0,085	0,935
15	0,080	0,875	0,128	0,100	0,950
100	0,188	0,860	0,140	0,120	0,970
200	0,160	0,820	0,169	0,140	0,985

Qeyd. *Prespəstahların tərkibində hissəciklərin müxtəlif orta diametrli d alüminium ovuntusu daxil olmuşdur.*



Şəkil 2. *Tərkibində 12% nikel olan alüminium ovuntularının qarışığından bişirilmiş prespəstahların məsaməliliyinin ilkin məsaməlilikdən asılılığı.*
Alüminiumun hissəciklərinin orta ölçüsü, mkm: 1 – 10; 2 – 15; 3 – 100; 4 – 200.

Alüminiumun hissəciklərinin orta ölçüsü 15mkm və daha böyük olduqda nikelin alüminiumda konsentrasiyası C'_S, hansıki o fərziyyədən tapılmışdır ki, C_L=0, onun prespəstahdakı konsentrasiyasından (C'_S>C) yuxarı olur. Hissəciklərin orta ölçüsü 200 mkm-də anoloji nəticə alınır $(C_S>C)_R$ və bu alüminiumun mayedə doymasınadək həll olma prosesini nəzərə almaqla baş verir. Nikellə mayefazalı bişirmədə iri hissəciklərli alüminiumun ovuntularından prespəstahların tapılmış anomal yüksək böyüməsi, Kirkendall effekti ucbatından maye faza ilə qarşılıqlı təsirdə bərk fazanın hissəciklərinin böyüməsinə əsaslanan modelin izahına nisbətən bir qədər böyük olur. Bu, hissəciklərin ölçüsündən asılı olan prespəstahların daha bir səbəbinin mövcudluğuna dəlalət edir. Cr – Al sistemində xromun iri hissəciklərinin böyüməsi onların səthində intermetallid qatın çatlaması ilə müşayət olunur, bu Kirkendall effektinə görə böyümə ilə müqaisədə prespəstahların artıq böyüməsinə əhəmiyyətli töhfə verir [1].

Mümkündür ki, Al – Ni ərintisindən prespəstahların ölçülərinin əlavə dəyişməsi hərtərəfli dartıcı gərginliklərin yaranması ucbatından diffuziya zonası ilə əhatə olunmamış iri hissəciklərin daxili sahələrində məsamələrin yaranması ilə şərtlənir [2]. Lakin belə məsamələrin alümium hissəciklərinin daxilində tapmaq üçün tərəfimizdən edilmiş cəhd heç bir nəticə vermədi. Güman ki, maye fazalı bişirmədə prespəstahların həcmi dəyişmələrinə hissəciklərin ölçüsünün təsiri haqında məsələ daha ətraflı öyrənmə tələb edir.

Nəticə. Alüminium hissəciklərinin orta ölçüsü nə qədər böyükdürsə, bir o qədər daha böyük dərəcədə Al – Ni ovuntularının qarışığından olan prespəstahların həcmi bişirmədə artır.

Ədəbiyyat

1. Савицкий А.П., Бурцев Н.Н. Влияние размера растиц титана на рост прессовок при жидкофазном спекании с алюминием // Порошковая металлургия, 2001, №9/10, с. 33-37.
2. Гегузин Я.Е., Клинчук Ю.И., Парицкая Л.М. Особенности порообразования при взаимной диффузии в образцах «Замкнутой» формы. //Физика – металлов и металловедение, 1987, 43, №3, с.602- 609.

UOT. 669.18:046.518:621.746.27:66.065.52

OVUNTULARI ÜFÜRMƏKLƏ ÇALOVDA SAFLAŞDIRILMIŞ ELEKTROPOLADIN MEXANİKİ XASSƏLƏRİ

Bayramov A.T.

"Baku Steel Company" MMC
Az1073, Bakı şəh., H.Cavid pr., 25
E-mail: ariff-1947@mail.ru.

Xülasə. *Ovuntuları üfürməklə çalovda saflaşdırmadan sonra elektropoladın mexaniki xassələrinin göstəriciləri verilib. Eninə və uzununa nümunələrin sınağında armatur poladında fosforun miqdarından zərbə özlülüyünün asılılıq qrafikləri təqdim olunub. Ovuntuları üfürməklə çalovda saflaşdırmaqla və adi texnologiya ilə əridilmiş poladların mexaniki xassələri müqayisəli şəkildə göstərilib. Əritmə texnoloji variantlarından asılı olaraq armatur poladlarının mexaniki xassələri müqayisə olunub. Təzə şixtədən və təkrar metal tullantılarından alınan poladların mexaniki xassələrinin müqayisəsi göstərir ki, daha yüksək nəticələr təkrar metal tullantılarından istifadədə alınır.*

Аннотация. *Представлены показатели механических свойств электростали после рафинирования в ковше продувкой порошков. Представлены графики зависимости ударной вязкости от количества фосфора в арматурной стали при испытании продольных и поперечных образцов. В сравнении показаны механические свойства сталей, выплавленных рафинированием в ковше продувкой порошков и обычной технологией. В зависимости от вариантов выплавки произведено сравнение механических свойств арматурных сталей. Сравнение механических свойств сталей, полученных из свежей шихты и вторичных металлических отходов показывает, что самые высокие свойства получаются в случае использования вторичных металлических отходов.*

Abstract. *The indicators of the mechanical properties of electric steel after refining in the ladle by blowing powders are presented. The graphs of the dependence of the impact strength on the amount of phosphorus in the reinforcing steel when testing longitudinal and transverse samples are presented. A comparison shows the mechanical properties of steel smelted by refining in a ladle by blowing powders and conventional technology. Depending on the smelting options, the mechanical properties of the reinforcing steel were compared. A comparison of the mechanical properties of steels obtained from a fresh batch and secondary metallic waste shows that the highest properties are obtained in the case of using secondary metallic waste.*

Açar sözlər: *mexaniki xassələr, dartılmada möhkəmlik həddi, axma həddi, zərbə özlülüyü, nisbi uzanma, təzə şixtə, təkrar metal tullantıları*

Ключевые слова: *механические свойства, предел прочности при растяжении, предел текучести, ударная вязкость, относительное удлинение, свежая шихта, вторичные металлические отходы*

Key words: *mechanical properties, tensile strength, yield strength, impact strength, elongation, fresh charge, secondary metal waste*

Giriş. "Baku Steel Company" MMC armatur poladlarının əridilməsində əsasən şixtə materialı kimi metal tullantılarından istifadə edir. Təkrar əritməyə məruz edilən zərərli aşqarlardan daha təmiz belə şixtənin istifadəsi keyfiyyətli elektropoladın alınmasına yaxşı zəmin yaradır. Artıq bir və ya bir neçə dəfə əritməyə məruz edilmiş bu metal tullantıları müəyyən dərəcədə saflaşdırma, oksigensizləşdirmə və digər bu tip təmizləmə əməliyyatlarından keçmişlər. Ona görə də belə

tərkibli şixtədən və təzə şixtələrdən elektroqövs sobasında əridilmiş armatur poladlarının müqayisəli şəkildə mexaniki xassələrinin öyrənilməsi böyük maraq doğurur.

Təkrar emal texnologiyası ilə alınan poladın mexaniki xassələri. Armatur poladının mexaniki xassələrinin (cədvəl 1) sınaqları göstərdi ki, metalın möhkəmlik və plastiklik xassələri tədqiq olunan hədlərində fosforun miqdarından asılı deyildir. Fosforun miqdarının 0.010-dan 0.005%-dək azaldılması (digər elementlərin praktiki eyni miqdarında) kəsintinin dairələnmə radiusu 1.0 mm nümunələrdə uzununa istiqamətdə zərbə özlülüyünün 0,505-dən 0,585 MC/m^2-dək, eninə istiqamətdə 0,425-dən, 0,515MC/m^2-dək böyüməsilə müşayiət olunur. Ilkin yorulma çatlı nümunələrlə zərbə özlülüyü uyğun olaraq 0,0101-dən 0,155-dək və 0,078-dən 0,125-dək MC/m^2 artır [1, 2] (cədvəl 1).

Cədvəl 1.

Yeni və adi texnologiya ilə əridilmiş armatur poladının mexaniki xassələri

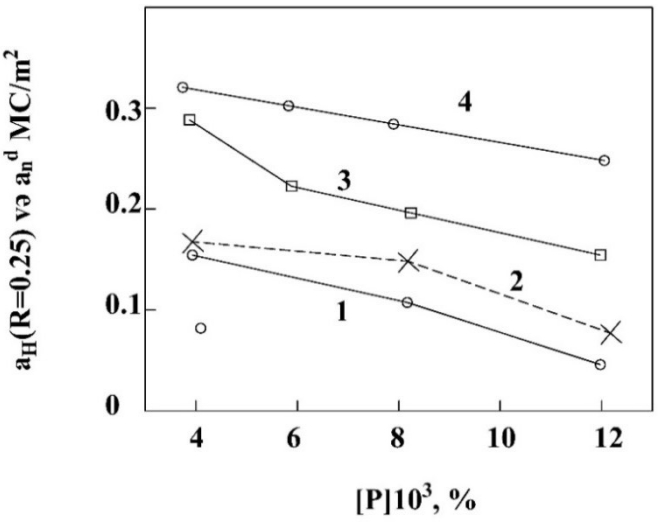
Texnologiyanın variantı	[P], %	σ_d, MPa	$\sigma_{0.2}$, MPa	δ, %	φ, %	a_H, MC/m^2
Təzə şixtədə adi (a)	0,0078	165	150,5	10,5	52,5	0,45/0,15
		162	149,5	8,5	49,8	0,46/0,130
Sobada ovuntunu üfürməklə təzə şixtədən təcrübi	0,0038	156	141,3	12,1	54,1	0,51/0,50
		152	148,3	12,8	51,3	0,45/0,15
Həmçinin, tullantılardan	0,0108	175	152	11,4	54,2	0,52/0,1
		171	150,1	10,1	43,1	0,42/0,078
Həmçinin	0,0056	163,1	144,2	10,8	55,5	0,54/0,161
		159,6	143,3	11,2	51,2	0,51/0,13

**surət - uzununa, məxrəc - eninə nümunələrin mexaniki xassələri. Çəp xətdən sola - yumşaq kəsinti ilə nümunələrdə zərbə özlülüyü (R=1.0mm), sağa - suni yaradılmış çatla nümunələrin özlülüyü.*

Metalda fosforun konsentrasiyalarının bütün tədqiq olunan intervalında armatur poladının zərbə özülülyünün tədqiqi göstərdi ki, onun miqdarının 0,0035-0.0118%-dək intervallarda artırılması zərbə özlülüyünü kəsintilərin dairələmə radiuslu 0,25 və xüsusən ilkin yaradılmış yorulma çatlarlı həm eninə və həm də uzununa nümunələrdə xeyli azaldır (şəkil 1). Adi texnologiya və sobada ovuntuları üfürməklə əridilmiş armatur poladının -60-dan +100^{0}C-dək temperatur intervalında iti kəsinti ilə (R=0,25 mm) nümunələrdə zərbə özlülüyünün tədqiqi göstərdi ki, ovuntuları üfürməklə əritmələrin metalın bütün tədqiq olunmuş temperatur intervalında həm uzununa və həm də eninə nümunələrdə metal bu göstəricinin daha yüksək qiymətlərinə malikdir (cədvəl 2). Armatur poladında fosforun miqdarının 0,0078-dən 0,0038%-dək azaldılması baxılan temperatur intervalında zərbə özlülüyünü əhəmiyyətli artırır.

Sobada və çalovda ovuntuları üfürməklə aparılan texnologiya üzrə armatur poladlarının əridilməsi digər mexaniki xassələrin də xeyli yüksəlməsinə gətirir [3] (cədvəl 3).

Cədvəl 3-ün məlumatlarından görünür ki, ovuntuları üfürməklə aparılan texnologiyanın bütün variantlarına görə metalın möhkəmlik həddi və nisbi uzanması adi texnologiya ilə alınan metala nisbətən yüksəkdir.



Şəkil 1. *Eninə (1, 3) və uzununa (2, 4) nümunələrin sınağında armatur poladında fosforun miqdarından zərbə özlülüyünün asılılığı*

Cədvəl 2.

Yeni və adi texnologiya ilə əridilmiş armatur poladının müxtəlif sınaq temperaturlarında zərbə özlülüyü, MC/m^2

Texnologiyanın variantı	[P], %	τ_{sin}, ^{0}C-də a_H, MC/m^2					
		+100	+20	0	-20	-40	-60
A	0,0078	0,401	0,28	0,261	0,262	0,237	0,22
		0,28	0,21	0,22	0,182	0,22	0,192
B	0,0038	0,433	0,325	0,267	0,288	0,265	0,228
		0,303	0,227	0,232	0,228	0,248	0,201
C	0,0056	0,399	0,316	0,296	0,288	0,264	0,283
		0,306	0,288	0,238	0,189	0,22	0,205

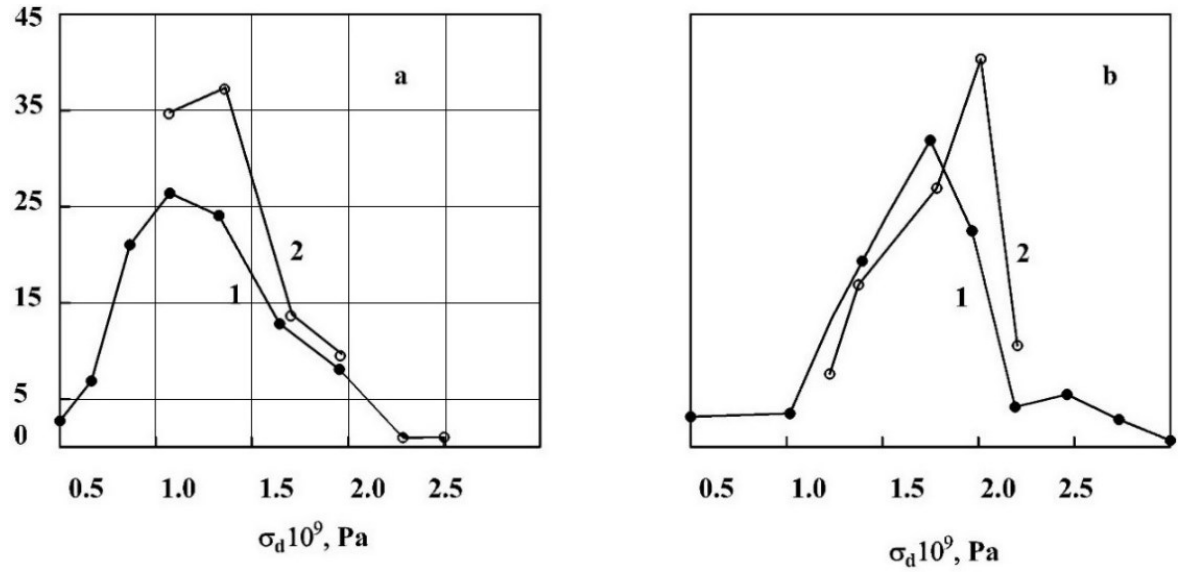
Qeyd: R=0,25mm kəsintili nümunələr. Surət – uzununa, məxrəc - eninə nümunələr. Texnologiyanın variantları cədvəl 2-də verilənlərə uyğundur.

Cədvəl 3.

Armatur poladlarının mexaniki xassələri

Texnologiyanın variantı	Poladın markası	σ_d, MPa	δ, %
I	Ст3	162	9,1
	Polad 20	176	8,6
II	Ст3	165	12,1
	Polad 20	180,4	10,5
III	Ст3	166	10,55
	Polad 20	170,7	10,51

Polad Ст3 və 20-nin möhkəmlik həddinin şəkil 2-də təqdim olunan tezlikli paylanma əyriləri göstərir ki, ovuntularla üfürməklə çalovda saflaşdırmaqla əridilmiş metalın möhkəmlik hədlərinin maksimumları onların adi texnologiya üzrə yerləşmələri ilə müqayisədə daha yüksək qiymətlər tərəfə meyllənib.



Şəkil 2. *Adi texnologiya ilə (1) və çalovda posa qarışığı ilə metalın üfürülməsi ilə (2) əritmədə Cm3 (a) və polad 20-nın (b) möhkəmlik həddinin qiymətlərinin paylanması*

Sobada ovuntuları üfürməklə əridilmiş armatur poladının kövrəklik böhran temperaturu adi poladla müqayisədə 20-30^{0}C aşağı, çatın inkişaf işi isə 30% böyükdür, bu göstərilən poladın özlülüyünün yüksək ehtiyatının olmasına dəlalət edir [2].

Armatur poladlarının nisbi uzanması II və III texnoloji variantlar üzrə poladın əridilməsində ən böyük dərəcədə yüksəlir. Məsələn, Ст3 və 20 poladlarının əridilməsində II variant üzrə nisbi uzanma uyğun olaraq 28,5 və 18,4% yüksəlir. Məlumdur ki, plastiklik nə qədər yüksəkdirsə, poladın kövrək dağılmaya meylliyi bir o qədər azdır. Mürəkkəb yükləmə şəraitlərində poladın işləmə qabiliyyətinin və kövrək dağılmaya meylliliyinin qiymətləndirilməsini zərbə özlülüyünü əyilmədə təyin etməklə aparırlar, ona görə nisbi uzanma və nisbi daralmadan savayı, poladın əridilməsinin bütün texnoloji variantları üçün Ст3 markalı poladın zərbə özlülüyü təyin olunmuşdur.

Təmiz şixtədən (variant II) əridilmiş, sobada və çalovda ovuntularla üfürülmüş legirli tullantıların təkrar əridilməsi (variant III) alınmış polad Ст3-un zərbə özlülüyü adi əritmə texnologiyasının metalının səviyyəsilə müqayisədə orta hesabla 45 və 35% artmışdır (cədvəl 4). Soba və çalovda ovuntularla metalın üfürülməsilə təkrar əritmə metodu ilə əridilmiş armatur poladının zərbə özlülüyünün tezlik əyrisi, təmiz şixtədən adi texnologiya ilə əridilmiş bu poladın tezlik əyrisinə nisbətən zərbə özlülüyünün daha yüksək qiymətləri tərəfə meyillənib (şəkil 3). Armatur poladının külçəsinin hündürlüyü üzrə götürülmüş nümunələrdə zərbə özlülüyünün təyini həm də ona dəlalət edir ki, metalın sobada və çalovda emalından sonra zərbə özlülüyünün daha böyük qiymətləri alınır (şəkil 4).

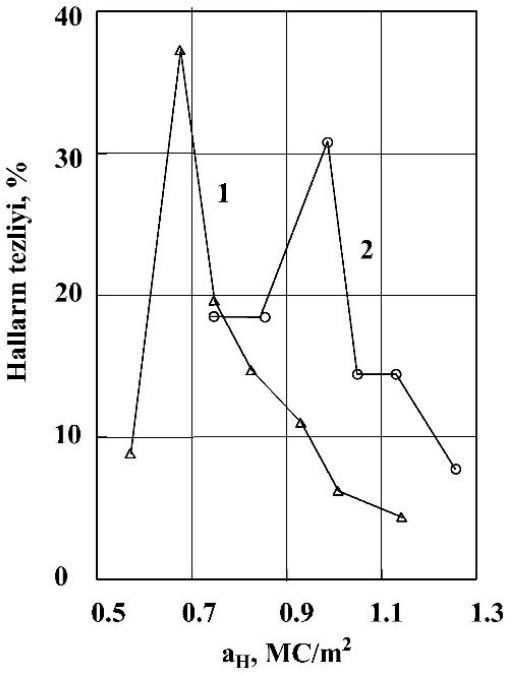
Cədvəl 4.

Ст3 poladının mexaniki xassələri (orta qiymətlər)

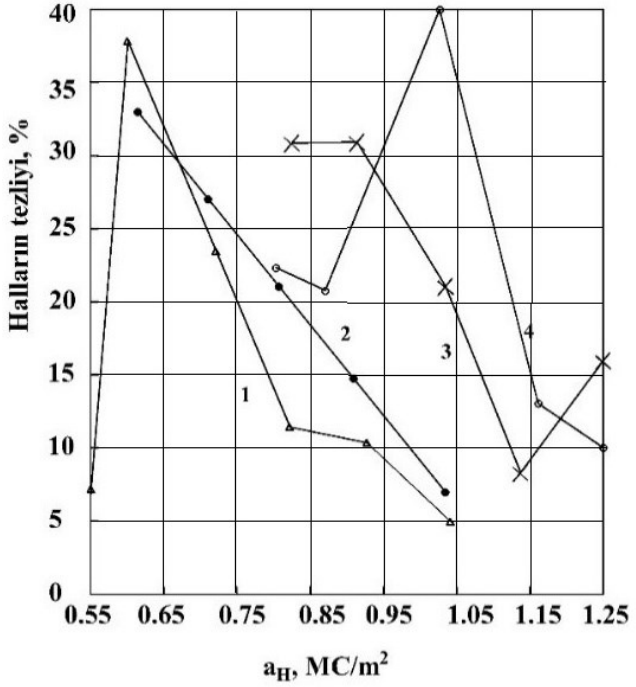
Əritmə texnologiyasının variantları	σ_d, MPa	δ, %	φ, %	a_H, MC/m^2
I	168,1	11,55	47,1	0,730
II	170,0	12,5	48,2	1,050
III	164,5	10,5	47,1	0,985
IV	164,1	9,5	46,1	0.745

Poladların ən vacib istismar xarakteristikalarından biri onların mexaniki xassələrinin stabilliyidir. Ovuntularla üfürməklə texnologiya üzrə əridilmiş polad o mexaniki xassələrə malikdir ki, onların qiymətləri adi texnlogiya ilə müqayisədə daha dar hədlərdə dəyişirlər. Məsələn, Ст3 və 20 poladlarının möhkəmlik həddinin qiymətlərinin dəyişmə hədləri II varianta görə əritmədə adi texnologiya ilə əritməyə nisbətən 2,5-2,7 dəfə azdır (şəkil 2-yə baxın). Sobada və çalovda ovuntularla üfürmədə poladın mexaniki xassələrinin stabilləşməsi nəinki zərərli aşqarların miqdarının azalmasına və metalda onların likvasiya dərəcəsinin aşağı düşməsinə, həm də kimyəvi tərkibə və temperatura görə maye ərintinin homogenləşmə dərəcəsinin armasına kömək edir. Sonuncu əhəmiyyətli dərəcədə bərk metalın, o cümlədən onun qeyrimetal ünsürlərlə çirkliliyinə görə bircinslik dərəcəsinin artmasına kömək edir. Buna, məsələn, armatur poladlarının yayılmış pəstahlarının ültrasəslə nəzarəti (USN) dəlalət edir. Məsələn, sobada və çalovda posa ovuntuları ilə üfürməklə legirli tullantıların təkrar əridilməsi ilə alınmış Ст3 və 20 armatur poladının çeşidli pəstahlarının USN üzrə şərti zay məhsulu 0,7% təşkil etmişdir (adi texnologiyaya görə 6,4%). Posa ovuntuları ilə çalovda üfürməklə təzə şixtədə göstərilən poladların əridilməsində USN-ə görə şərti zay məhsul olmamışdır.

Sobada və çalovda posa ovuntularının üfürülməsilə əridilmiş çeşidli armatur poladının mikrostrukturu böyük bircinsliliklə və sıxlıqla səciyyələnir. ГОСТ 10243-95-ə uyğun olaraq təyin olunmuş aşılanmış nümunələrin mikrostrukturunda mərkəzi məsaməlilik, nöqtəvi qeyri-bircinslik, likvasiya kvadratı və digər qüsurlar, adi texnologiya ilə əridilmiş poladla nisbətdə xeyli seyrək şəkildədir və 1 balı üstələmir.



Şəkil 3. *Təzə şixtədə (1) adi texnologiya ilə Cm3 poladının əridilməsində və soba və çalovda (2) posa ovuntuları ilə metalın üfürülməsilə legirli tullantıların təkrar əridilməsində zərbə özlülüyünün qiymətlərinin paylanması*



Şəkil 4. *Təzə şixtədə (1, 2 - uyğun olaraq külçənin aşağı və yuxarısı) əritmədə külçənin hündürlüyü üzrə soba və çalovda (3, 4 - külçənin aşağı və yuxarısı) ovuntularla metalın üfürülməsilə legirli tullantılardan təkrar əritmə ilə alınan Cm3 armatur poladının zərbə özlülüyünün qiymətlərinin paylanması*

Qazovuntu şırnağı ilə üfürmədə maye poladın intensiv qarışdırılması həm də maye metalın mikrotaraz vəziyyətinə nail olmağa kömək etməlidir, bu onun fiziki, struktur-hissiyyat xassələrinin dəyişməsinə və saflaşdırılmış metalın keyfiyyət xarakteristikalarının yaxşılaşmasına kömək edir [3]. Qövslü sobada və çalovda ovuntuları üfürməklə armatur poladlarının əridilməsi ferroərintilərin sərfinin azaldılması və əritmənin davamiyyətinin orta hesabla 20% aşağı salınması sayəsində yüksək iqtisadi səmərəliliklə səciyyələnir. Hazırda "Baku Steel Company" MMC-də armatur və boru poladlarının sobada və çalovda ovuntuları metala üfürməklə kompleks texnologiyanın geniş tətbiqi sahəsində işlərin başlanması üçün hazırlıq görülür. Ovuntularla üfürməklə poladın əritmə texnologiyasının istehsalata geniş tətbiqi üçün hazırlıq, saxlama, nəqletmə, yükləmə və ovuntuların qövslü sobaya və çalova üfürülməsinin kompleksi işlənməlidir.

Nəticə. 1. Yeni texnologiya ilə alınan armatur elektropoladının mexaniki xassələrinin tədqiqi onların möhkəmlik və plastiklik xassələrinin adi texnologiya ilə əridilmiş polada nisbətən yüksək olmasını göstərmişdir. Yeni texnologiya armatur poladında fosforun miqdarının azaldılması onun zərbə özlülüyünün artmasına gətirir. Eyni zamanda fosforun poladın tərkibində azaldılması yorulma çatlarının xeyli azalmasının əsas səbəbi rolunu oynayır.

2. Eninə və uzununa nümunələrin sınağında armatur poladında fosforun miqdarından zərbə özlülüyünün asılılığı qurulmuş və müxtəlif sınaq temperaturlarında zərbə özlülüyünün dəyişmə xarakteri müəyyən edilmişdir. Təhlil göstərir ki, yeni texnologiya ilə əridilmiş armatur nisbətən temperatur dəyişməsinə daha az həssasdır.

3. Sobada və çalovda ovuntuların üfürülməsi ilə təkrar əridilmiş legirli poladlardan alınan nümunələrin möhkəmlik xarakteristikaları, o cümlədən möhkəmlik həddi, axıcılıq həddi, zərbə özlülüyü, nisbi uzanması və nisbi daralması adi texnologiya ilə və təzə şixtədən əridilmiş poladlara nisbətən əhəmiyyətli dərəcədə yüksək qiymətlərə malikdir.

"Baku Steel Company" MMC-də işlənmiş yeni texnologiyanın - ovuntuların üfürülməsi ilə sobada və çalovda emal texnologiyasının tətbiqi üçün hazırlıq işləri götürülür. Bu məqsədlə ovuntuların hazırlanması, saxlanması, nəqli, yüklənməsi və ovuntuların qövslü sobaya və çalova üfürülməsinin kompleks həlli üçün tədbirlər görülür.

Ədəbiyyat

1. Дроздовский Б.А., Фридман Я.Б. Влияние трещин на механические свойства конструкционных сталей. М.: Металлургия, 1990, 260 стр.
2. Смирнов Н.Л., Кудрин В.А., Кудрявцев П.С. и др. Проблемы качественной металлургии. Науч. гр. / ТПИ. ТУЛА, Книжи. Изд-во, 1988, стр.3-15.
3. Баканев К.П., Барматин И.П., Герасимов Ю.В. и др. Рафинирование стали инертным газом/ М.: Металлургия, 2012, 232 стр.

GƏMİÇİLİK VƏ SU NƏQLİYYATININ İSTİSMARI

UOT. 656.6.052

DƏNİZ SUYUNUN FİZİKİ – KİMYƏVİ XÜSUSİYYƏTLƏRİNİN NAVİQASİYA EXOLOTLARINA TƏSİRİNİN ANALİZİ

Abbasov E.O.

Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası
Az1000, Bakı şəh.,Z. Əliyeva küç.,18
E-mail: abbasovelnur1980@mail.ru

Abstract. *In the article navigation echo-sounders influence of temperature regime and saltness of the sea to the principle of work and investigating of the mistakes arising in them have been shown. Measurement of the different depths has counted price of the mistakes of which time is arisen.*

Аннотация. *В данной статье рассмотрены вопросы влияния температурного режима и солености морской воды на работу эхолотов, также выведены погрешности в их показаниях. Составлены таблицы погрешностей в измерениях для различных глубин.*

Xülasə. *Məqalədə dənizin temperatur rejiminin və duzluluğunun naviqasiya exolotlarının iş prinsipinə təsiri və onlarda yaranan xətaların araşdırılması göstərilmişdir. Müxtəlif dərinliklərin ölcülməsi zamanı yaranan xətaların qiymətləri hesablanmışdır.*

Acar sözlər: *exolot, temperatur, səs, duzluluq, akustika*
Ключевые слова: *эхолот, температура, звук, соленость, акустика*
Key words*: echo-sounder, temperature, sound, saltness, acoustics*

Giriş. Müasir dəniz donanması gəmilərində giroskopik, radiotexniki və başqa naviqasiya cihazları ilə yanaşı hidroakustik naviqasiya cihazları da geniş istifadə olunur. Bu cihazlara exolotlar, hidrolokatorlar, sürətin akustik ölçmə cihazları və digərləri daxlildir. Bu cihazların köməyi ilə üzmə təhlükəsizliyi təmin olunur, axtarışlar aparılır və dənizin dibi tədqiq olunur. Hidroakustik naviqasiya cihazların iş prinsipi səs dalğalarının mayedə yayılması hadisəsinə əsaslanmışdır.

Bu hadisələrin öyrənilməsinin bir necə üsulu mövcuddur. Səsin mayedə yayılması haqqında tam təsəvvürü dalğa hidroakustikası verir. Dalğa hidroakustikası hidromexanikanın əsas qanunlarına əsaslanır. Hadisələrin həndəsi cəhətlərini öyrəndikdə prosesin təsvirinin dəqiqliyinə, səsin isə dalğalı təbiətinə məhəl qoymadığımız vaxt, həndəsi (şüalı) hidroakustika üsulu tətbiq olunur [1].

Məsələnin həlli. Səs – fiziki proses kimi, maddi elastik mühit hissəciklərinin mexaniki rəqsi hərəkətinin xüsusi halı kimi təsvir olunur. Səs mənbəyi kimi məsələn, mayedə yerləşdirilmiş mexaniki rəqsi sistem ola bilər. Rəqslərin yaranması anında sistem öz enerjisinin digər hissəciklərinə ötürəcəkdir. Sonuncu hissəciklər öz ilkin vəziyyətlərindən meyl edəcəkdir. Mühitin hissəcikləri öz aralarında elastik qüvvələr ilə bağlıdırlar. Əgər onlardan birini tarazlıq vəziyyətindən çıxarsaq, onda qonşu hissəciklə təsir göstərən qüvvələr, onu ilkin vəziyyətə qayıtmağa məcbur edəcəklər. Beləliklə hissəcik öz ilkin vəziyyəti ətrafında rəqslər edəcəkdir.

Real şəraitdə mühitin daxilində nəinki elastik qüvvələr, həmcinin daxili sürtünmə qüvvələri də təsir edir. Ona görə də, həyacanlandırıcı qüvvə yox olduqda hissəçiklərin rəqsləri tez bir zamanda sönürlər. Hissəciklərdən birinin yerinin dəyişməsi qonşu hissəciklərin yana çəkilməsinə gətirir və onlar tarazlıq vəziyyətindən cıxırlar. Bu zaman aydın olur ki, mühitin müəyyən yerində yaranmış həyacanlandırıcı qüvvə tədricən yayılacaqdır və getdikcə həyəcanlandırıcı mənbədən uzaqda olan hissəcikləri əhatə edəcəkdir [1].

Bu proses səsin mayedə yayılması adlandırılır. Həyacanlandırıcının bir hissəcikdən başqa hissəciklərə verilməsinin sürətinə səsin sürəti deyilir. Əgər periodik xarakterli həyəcanlandırıcı qüvvə təsir edirsə, səsin yayılması prosesi nəinki, zamana görə, həmcinin fəzada da periodik olur, yəni dalğa xarakteri daşıyır. Hər bir növbəti hissəcik tarazlıq vəziyyətindən yerdəyişməyə əvvəlkindən gec başladığı ücün, mühitdə bir – birini düzgün əvəz edən hissəciklərin sıxlaşması və seyrəlməsi sahələr yaranır. Sıxlaşma yarandıqda mühitin təzyiqi və sıxlığı artır və əksinə, seyrəlmələr sahələrində azalırlar.

Akustik proseslər yaranan fəza səs sahəsi adlanır.

Dəniz naviqasiya exolotlarının iş prinsipi səsin suda 1500m/san sürətlə yayılmasına əsaslanmışdır. İstismar zamanı bir cox hallarda səsin hesablanmış sürəti həqiqi sürətdən fərqlənir. Bununda nətiçəsində ölçmələr zamanı xətalar yaranır. Bu isə kicik dərinlikli rayonlarda üzərkən təhlükəyə səbəb ola bilər.

Səsin həqiqi sürətinin hesablanma sürətindən fərqlənməsi ilə əlaqədar xəta aşağıdakı şəkildə təyin olunur [3].

Exolotla dərinliyin qiymətini şkladan götürən zaman səsin suda yayılma sürətini sabit qəbul edirik. Lakin real şəraitdə dənizin müxtəlif rayonlarında səsin sürəti eyni deyildir. Ona görə də, dərinliyin ölçülməsi müəyyən xəta ilə icra olunacaqdır. Exolotun göstərişini düzəltmək ücün Δh_s - düzəlişinin qiymətini təyin edək. Ölçülən dərinlik

$$h_{olc} = \frac{c_0 t}{2}; \tag{1}$$

Həqiqi dərinlik isə

$$h_{heq} = \frac{ct}{2} \tag{2}$$

düsturu ilə təyin olunur.

Burada c - səsin həqiqi sürətidir. Onda səsin həqiqi sürətinin hesablanma sürətindən fərqlənməsi nəticəsində yaranan xəta (Δh_S) aşağıdakı düsturla təyin olunur:

$$\Delta h_S = h_{heq} - h_{olc} = \frac{ct}{2} - \frac{c_0 t}{2} = \frac{c_0 t}{2}\left(\frac{c}{c_0} - 1\right) \text{ və ya}$$

$$\Delta h_S = h_{olc}\left(\frac{c}{c_0} - 1\right) \tag{3}$$

Düstura əsasən Δh_S - düzəlişi müxtəlif işarələrə malikdir.

Məsələn: Exolotun ölçdüyü dərinliyə uyğun olan düzəlişi təyin edək. $h_{olc} = 20m$, $c = 1540m/san$ və $c_0 = 1500m/san$ olarsa, yaranan xəta

$\Delta h_S = h_{olc}\left(\frac{c}{c_0} - 1\right) = 20\left(\frac{1540}{1500} - 1\right) = 0{,}5m$ olar. Yəni, ölçülən dərinliyin 2,6%-ni təşkil edir.

Dəniz suyunun temperaturunun və duzluluğunun dəyişməsidə səsin suda sürətinin dəyişməsinə səbəb olur.

Dəniz suyunun temperaturunun 1°S artması səsin sürətinin 3,6 m/san artmasına səbəb olur [1,4].

Dəniz suyunun duzluluğunun $1^0/_{00}$ artması səsin sürətinin suda təxminən 1,2m/san artmasına səbəb olur. Dərinlik isə 10 metr artıqça səsin dənizdə sürəti 0,2 m/san artır.

Dəniz suyu üçün γ əmsalı təxminən 1,0014-dür. Suyun temperaturunun artması ilə onun sıxlığı və sıxılma əmsalı azalır və müvafiq olaraq səsin surəti də artır. Duzluğun artması ilə suyun nisbi sıxlığı artır, sıxılma əmsalı isə azalır, nəticədə səs sürəti yenə də artır. Hidrostatik təzyiqin artması isə sıxılma əmsalının azalmasına gətirir ki, nəticədə səs sürəti artır.

Araşdırma aparmaq ücün Xəzər dənizində temperatur və duzluluğun dəyişməsi nəzərə alınmışdır.

Suyun temperaturu və duzluluğu: Xəzər dənizinin temperatur rejimi cox mülayimdir və bu cəhətdən ilin bütün aylarında limanlar naviqasiya cəhətdən açıqdır.

Xəzər dənizinin şimal hissəsində orta temperatur 0°S, orta və cənub hissələrdə isə +14°S olur. Yay aylarında dəniz suyunun temperaturu orta hesabla +19°S – 27°S təşkil edir.

Suyun üst hissələrdə duzluluğu çox müxtəlifdir. Çayların mənsəblərində 0,01%-dən dənizin dayaz sulu körfəzlərində $14,0^0/_{00}$-ə qədər dəyişir. Açıq dənizin orta və cənub hissələrində üst qatlarda duzluluq 12,5-$13,0^0/_{00}$ təşkil edir. Ümumiyyətlə duzluluq şimaldan cənuba və qərbdən şərqə getdikcə artır.

Duzluluğun mövsümi dəyişməsi $2^0/_{00}$-dən artıq olmur. Yayda duzluluq qışdakından az olur [2].

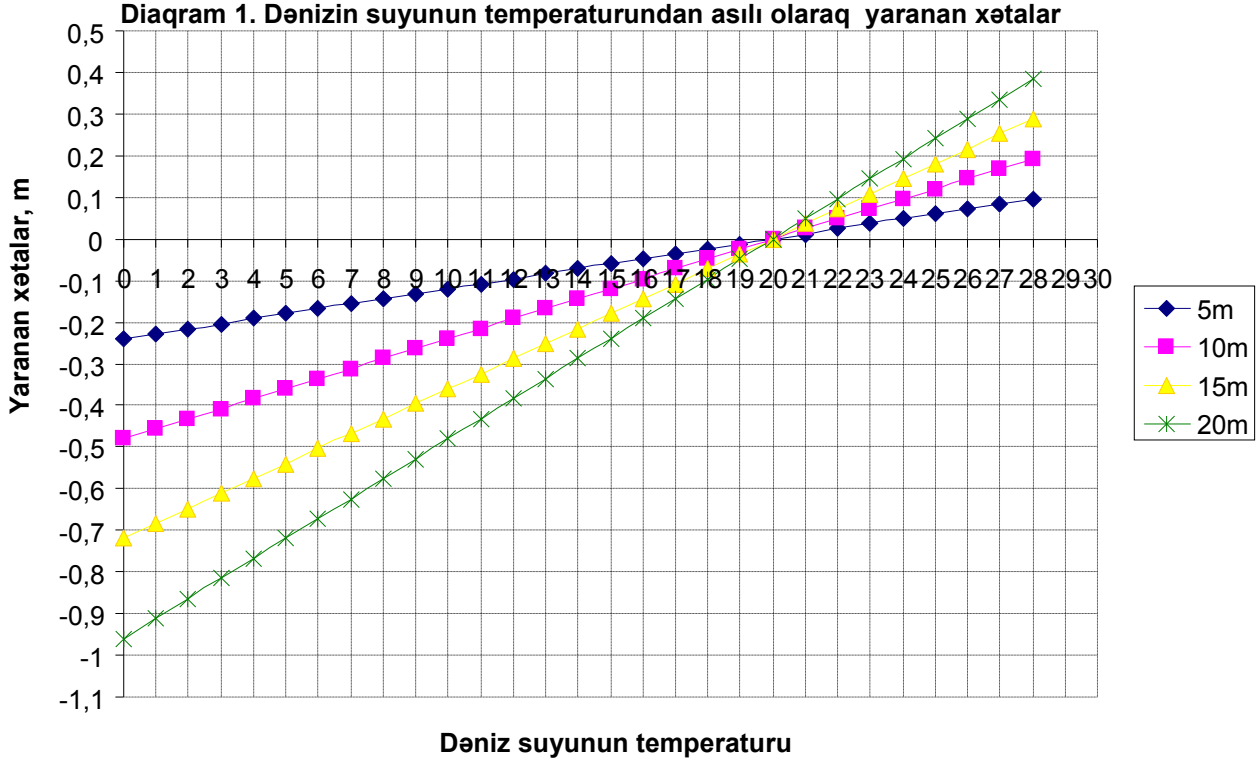
Alınmış nəticələrin analizi. Dəniz suyunun temperaturundan aslı olaraq səsin sürətinin dəyişməsini 5m, 10m, 15m və 20m dərinlikli limanlarda exolotun istismarı zamanı yaranan xətaları (3) düsturuna əsasən hesablayıb nəticələri çədvəl 1–də verilib. Diaqram 2–də dənizin suyunun temperaturundan asılı olaraq yaranan xətaların qrafikləri qurulub.

Cədvəl 1.

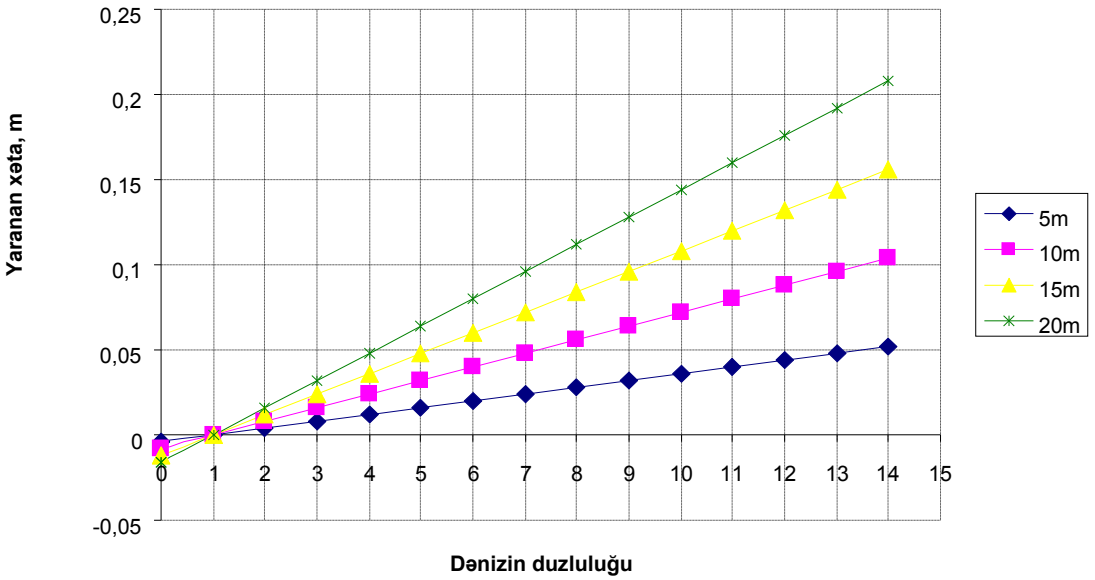
T, ^{0}S suyun temperaturu	**C, m/san səsin həqiqi sürəti**	**Sürətin dəyişməsi, m/san**	**Dərinliyin ölçülməsi zamanı yaranan xəta, Δh_S**			
			5m	**10m**	**15m**	**20m**
0	1428	-72	-0,24	-0,48	-0,72	-0,96
1	**1431,6**	**-68,4**	**-0,228**	**-0,456**	**-0,684**	**-0,912**
2	1435,2	-64,8	-0,216	-0,432	-0,648	-0,864
3	1438,8	-61,2	-0,204	-0,408	-0,612	-0,816
4	1442,4	-57,6	-0,192	-0,384	-0,576	-0,768
5	1446	-54	-0,18	-0,36	-0,54	-0,72
6	1449,6	-50,4	-0,168	-0,336	-0,504	-0,672
7	1453,2	-46,8	-0,156	-0,312	-0,468	-0,624
8	1456,8	-43,2	-0,144	-0,288	-0,432	-0,576
9	1460,4	-39,6	-0,132	-0,264	-0,396	-0,528
10	1464	-36	-0,12	-0,24	-0,36	-0,48
11	1467,6	-32,4	-0,108	-0,216	-0,324	-0,432
12	1471,2	-28,8	-0,096	-0,192	-0,288	-0,384
13	1474,8	-25,2	-0,084	-0,168	-0,252	-0,336
14	1478,4	-21,6	-0,072	-0,144	-0,216	-0,288
15	1482	-18	-0,06	-0,12	-0,18	-0,24
16	1485,6	-14,4	-0,048	-0,096	-0,144	-0,192
17	1489,2	-10,8	-0,036	-0,072	-0,108	-0,144
18	1492,8	-7,2	-0,024	-0,048	-0,072	-0,096
19	1496,4	-3,6	-0,012	-0,024	-0,036	-0,048
20	**1500**	**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
21	1503,6	3,6	0,012	0,024	0,036	0,048
22	1507,2	7,2	0,024	0,048	0,072	0,096
23	1510,8	10,8	0,036	0,072	0,108	0,144
24	1514,4	14,4	0,048	0,096	0,144	0,192
25	1518	18	0,06	0,12	0,18	0,24
26	1521,6	21,6	0,072	0,144	0,216	0,288
27	1525,2	25,2	0,084	0,168	0,252	0,336
28	1528,8	28,8	0,096	0,192	0,288	0,384

Dəniz suyunun duzluluğundan aslı olaraq səsin sürətinin dəyişməsini 5m, 10m, 15m və 20m dərinlikli limanlarda exolotun istismarı zamanı yaranan xətaları (3) düsturuna əsasən hesablayıb nəticələri cədvəl 2-də verilib. Diaqram 2–də dənizin duzluluğundan asılı olaraq yaranan xətaların qrafikləri qurulub.

Diaqram 1. Dənizin suyunun temperaturundan asılı olaraq yaranan xətalar



Diaqram 2. Dənizin duzluluğundan asılı olaraq yaranan xətalar



Cədvəl 2

Suyun duz-luluğu, ‰	C, m/san səsin həqiqi sürəti	Sürətin dəyiş-məsi, m/san	Dərinliyin ölçülməsi zamanı yaranan xəta, Δh_S			
			5 m	10 m	15m	20m
1	2	3	4	5	6	7
0,01	1498,812	-1,188	-0,00396	-0,00792	-0,01188	-0,01584
0	1498,8	-1,2	-0,004	-0,008	-0,012	-0,016
1	1500	0	0	0	0	0
2	1501,2	1,2	0,004	0,008	0,012	0,016

1	2	3	4	5	6	7
3	1502,4	2,4	0,008	0,016	0,024	0,032
4	1503,6	3,6	0,012	0,024	0,036	0,048
5	1504,8	4,8	0,016	0,032	0,048	0,064
6	1506	6	0,02	0,04	0,06	0,08
7	1507,2	7,2	0,024	0,048	0,072	0,096
8	1508,4	8,4	0,028	0,056	0,084	0,112
9	1509,6	9,6	0,032	0,064	0,096	0,128
10	1510,8	10,8	0,036	0,072	0,108	0,144
11	1512	12	0,04	0,08	0,12	0,16
12	1513,2	13,2	0,044	0,088	0,132	0,176
13	1514,4	14,4	0,048	0,096	0,144	0,192
14	1515,6	15,6	0,052	0,104	0,156	0,208

Nəticə. Məqalədə Xəzər dənizində temperatur və duzluluq rejiminin dəyişməsininin exolotlara təsiri araşdırılmışdır. Gəmi sürücüləri cədvəllərdən və tərtib olunmuş diaqramlardan istifadə edərək dənizin fiziki və kimyəvi yəni, temperatur və duzluluq dəyişkənliyinə görə ölçülən dərinliklərdə yaranan xətaların qiymətləri təyin edə bilərlər. Bu da naviqasiya cəhətdən dayaz sulu hövzələrdə üzərkən təhlükəsizliyə təsir edən əsas amillərdən biridir.

Ədəbiyyat

1. Əliyev Ç.M., Abbasov E.O. Dəniz naviqasiyasının texniki vasitələri. Dərslik. Bakı.: ADDA, 2014, 207 s.
2. Əliyev Ə.S. Gəmi sürücülüyü hidrometeorologiyası. Bakı: 2007, 338 s.
3. Морская навигационная техника. Справочник: Санкт-Петербург: "Элмор", 2012г., 220 стр.
4. Abbasov E.O., Rəhimov A.T. İstismar prosesində exolotlarda yaranan xətaların arşdırılması // ADDA-nın Elmi Əsərləri, Bakı, 2010, №1, s. 42-45.

УДК 338:656

МЕТОД ВЫБОРА ПРИОРИТЕТОВ РАЗВИТИЯ МОРСКОГО ПОРТА

Багиров Э.А., Бородулина С.А.

Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова
г. Санкт-Петербург, Россия
E-mail: etibar989@mail.ru, piter00000@mail.ru

Аннотация. *В статье описаны цели управления развитием морских портов, идентифицированы направления развития, посредством применения иерархического синтеза получены стратегические приоритеты развития морских портов путем систематизации и обработки связей системы бизнес-процессов, целей управления развитием портов и направлений развития. Выбор наивысшего приоритета приведет к оптимизации показателей, описывающих целевые ориентиры развития морского порта.*

Abstract. *The article describes the objectives of the seaports development managing and identifies the directions of development. The authors have identified strategic priorities for the seaports development by systematizing and processing the links of the business process system, the objectives of managing the ports development and development directions through the hierarchical synthesis use. The selection of the highest priority will optimize the port development targets ratios.*

Ключевые слова: *морской порт, бизнес-процессы, управление развитием, направления развития морского порта, грузооборот*

Key words: *seaport, business processes, management of development, development trends of the seaport, freight turnover*

Введение. В условиях современного развития состояние транспортных предприятий свидетельствует о том, что их деятельность сопряжена с рядом проблем, противодействие которым возникает в стратегическом либо оперативном плане функционирования. Негативные тенденции могут проявляться в разных сферах экономики, достигая порой большой глубины и сферы охвата влияния.

Основная часть. Предприятие как система функционирует в тесной связи и взаимодействии с окружающей внешней средой. К внешним факторам развития морских портов относятся следующие: факторы современной геополитики, качество взаимосвязей предприятий с контрагентами и заказчиками услуг; развитость экономики макросреды; развитие техники и технологии на уровне макроэкономики; охват рынка; наличие поставщиков ресурсов; характеристики конкуренции в отрасли.

Кроме того, морские порты (МП) подвержены влиянию факторов внутренней среды, таким как параметры менеджмента (стратегия развития, оргструктура, имидж на рынке и пр.); технологические параметры трансформации ресурсов, уровень технической оснащенности портов и технологий, уровень внутренних портовых коммуникаций и др. Кроме рассмотренных факторов также часто выделяют факторы изменения экологии, интересов человека в социуме, общего состояния мировой экономической системы и пр. При идентификации основных направлений развития портов необходимо учесть влияние вышеуказанных факторов. Влияние факторов внешней среды будет проявляться в виде факторов, которые влияют на входные параметры системы морского порта, а выход (продукт) этой системы будет воздействовать на внешнюю среду функционирования предприятия транспортной отрасли.

Приоритеты развития морских портов, позволяющие достичь наивысших заданных показателей результативности либо эффективности деятельности могут быть выявлены посредством анализа влияния организации портовой деятельности, построенной согласно процессной модели управления. Бизнес-процессы охватывают множество связей между подразделениями, передающих в определенной последовательности и очередности ключевое задание друг другу [1]. Со временем запрос превращается в результат (выход) процесса – работы или услуги [2]. При этом в качестве клиента может выступать не только внешний заказчик (например, грузовладелец и морская линия), но и другой процесс (например, выходом (результатом) вспомогательных процессов процесса ремонта в МП является технически исправное оборудование, готовое выполнять процесс перевалки грузов в порту либо обслуживания пассажиров.

Выходы бизнес-процесса проявляются в создании материальных либо информационных объектов (услуг, работ), которые являются результатами выполнения бизнес-процесса и могут быть потреблены внешним или внутренним клиентом. Вход бизнес-процессов описывается набором ресурсов, которые при выполнении работ по процессу с учетом имеющейся технологии будет преобразован в выход, который имеет ценность для клиента. Любой бизнес-процесс имеет определенную цель, проявляющуюся в виде критерия его эффективности. Цели бизнес-процессов являются целями нижнего уровня, через реализацию которых можно достичь целей верхнего уровня – в том числе целей развития предприятий. К основным целям управления развитием (ЦУР) морского порта могут быть отнесены следующие:

1. Рост эффективности перевалки грузов в МП.
2. Рост эффективности обработки груза в порту.
3. Рост клиентоориентированности (по сегменту грузовладельцев).
4. Рост клиентоориентированности (по сегменту морской линии).

5. Рост качества обслуживания (по судам, грузам) в порту.
6. Рост прибыли в краткосрочном периоде.
7. Достижение долгосрочного роста прибыли.
8. Долгосрочное успешное взаимодействие с клиентами и контрагентами.
9. Наращивание стратегического потенциала (по ресурсам, производственной базе, технологиям, пр.).
10. Повышение параметров прозрачности и гибкости внутрипортовых коммуникаций.

Разделенные по функциональному признаку на основные (ОБП), вспомогательные (ВБП), бизнес-процессы управления (БПУ) и развития (БПР) оказывают существенное влияние на показатели, ответственные достижение целей развития портов. Управляя системой бизнес-процессов и совершенствуя их протекание, морские порты могут добиться высокого уровня эффективности, достигая конечной цели развития. Оценку значимости бизнес-процессов морских портов в достижении цели их развития мы предлагаем выполнять, используя метод анализа иерархий на основе экспертных мнений (рис.1).

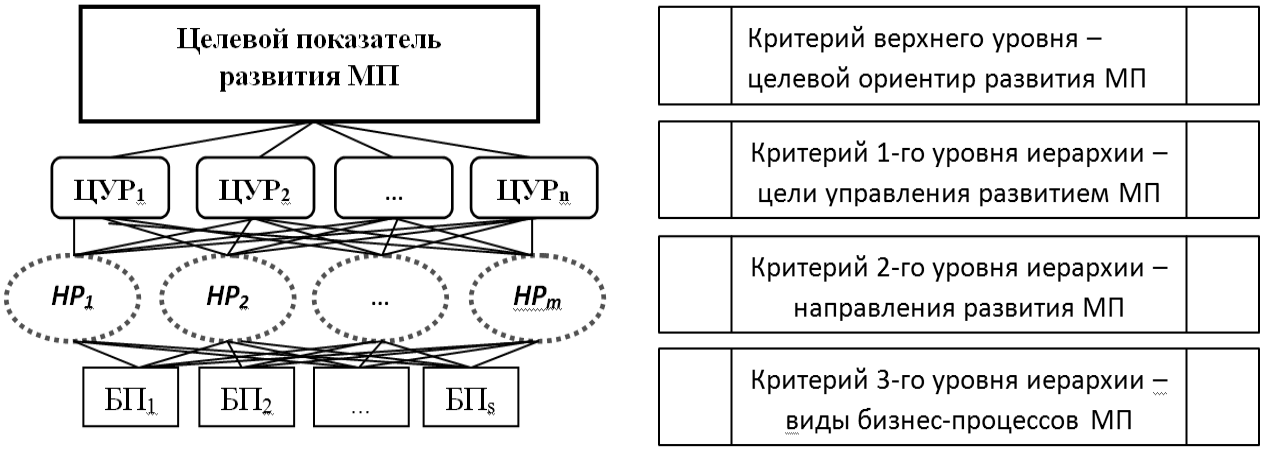


Рис. 1. *Иерархия взаимосвязей элементов развития морских портов*

Критерий верхнего уровня описывается показателем грузооборота морских портов (N). Критерии первого уровня иерархий построены в зависимости от цели управления развитием портов и подразделяются на следующие основные позиции:

1. Рост эффективности перевалочных функций и обработки грузов в морских портах (ПЭ).
2. Высокий уровень клиентоориентированности (ориентация - морская линия) (ПК).
3. Долгосрочные стабильные взаимоотношения и взаимодействие с грузовладельцами (ДВ).
4. Высокий уровень качества обслуживания в морских портах (ВК).
5. Устойчивость прироста показателя прибыли в краткосрочной и долгосрочной перспективе (УП).
6. Прирост стратегического потенциала (ресурсы, производственная база, технологии и пр.) (НП).
7. Рост уровня прозрачности и гибкость внутренней системы коммуникаций морского порта (ПГ).

Достижение морскими портами критериев первого уровня, а именно, цели развития – в итоге может приводить к приросту целевых ориентиров – показателей грузооборота морских портов. Критерии второго уровня определяются по направлениям развития морских портов:

1. Развитие инфраструктуры (оборудование, технологии, материально-технический потенциал) (И).
2. Развития ресурсного потенциала (всех видов ресурсов - трудовых, материальных,

финансовых, информационных) (Р).

3. Развитие морских портов как субъектов внешнего рынка транспортных перевозок (место во внешней среды) (СС).

4. Развитие внутренней среды (системы процессов, уровень совершенства внутрипортовых коммуникаций и др.) (ВС).

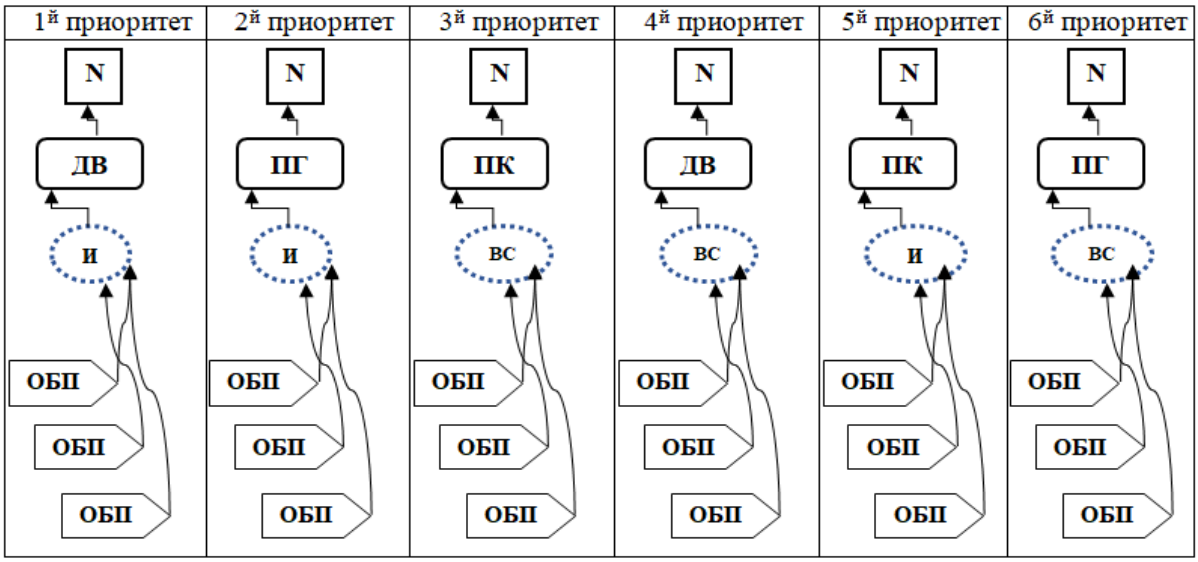


Рис. 2. *Описание наиболее значимых связей элементов и приоритетов системы развития морских портов*

Критерии второго уровня иерархии имеют разную значимость в идентификации цели развития, которая описывается на первом уровне иерархии.

Критерии третьего уровня представляют собой альтернативные варианты выполнения работ и представляют группы бизнес-процессов морских портов, выделенные согласно функционального признака (основные бизнес-процессы - ОБП, обеспечивающие - ВБП, процессы развития (БПР) и управления (БПУ). На основании данных экспертных опросов мы обработали полученные данные и получили следующие результаты исследований: более важной группой при выборе объектов управления в системе управления развитием морских портов представляется группа основных бизнес-процессов.

Нами представлены результаты обработки результатов анкетирования экспертных мнений о развитии морских портов Азербайджанской Республики. При помощи метода анализа иерархий нами выполнена обработка и получены данные, которые свидетельствуют о следующих зависимостях параметров развития морских портов. Приоритеты развития взаимосвязанных элементов системы выявлены на основе расчетов средневзвешенных оценок значимости исследуемых параметров. Имея в виду высокую значимость отдельных видов бизнес-процессов в достижении целевых показателей развития морских портов (показатели грузооборота, дохода, рентабельности портовой деятельности), отразим на рисунке 2 результат обработки экспертных оценок.

Вывод. По результатам проведенного исследования нами сделан вывод о том, что управляя группой бизнес-процессов, оказывающих первоочередное влияние на уровень развития морских портов, можно достичь наивысших показателей результативности и эффективности их функционирования.

Литература

1. Багиров Э.А., Бородулина С.А. Роль бизнес-процессов в достижении целей развития морских портов//Сборник статей Международной научно-практической конференции «Проблемы современных интеграционных процессов и пути их решения» в 2-х частях, ч.1 (25 октября 2017 г., г. Уфа) Уфа: Омега Сайнс, 2017, 224с, с.95-97
2. Бородулина С.А., Трофимова Л.С., Чебакова Е.О., Беляева Е.О. Анализ, планирование и управление в автотранспортных предприятиях (монография) Алматы: Изд-во СибАДИ-КазАДИ, 2017, 180с.

УДК 656. 61

ПОВЫШЕНИЕ СИТУАЦИОННОЙ ОСВЕДОМЛЕННОСТИ КОМАНДЫ МОСТИКА ПРИ МАНЕВРИРОВАНИИ КРУПНОТОННАЖНЫХ СУДОВ В ОСОБЫХ УСЛОВИЯХ ЗА СЧЕТ ВНЕДРЕНИЯ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ

Хекерт Е.В., Кондратьев А.И., Попов А.Н., Гень С.О.

Государственный морской университет им. адмирала Ф.Ф. Ушакова
г. Новороссийск, Россия
E-mail: an.popov.mga@gmail.com

Аннотация. *В статья рассмотрен вопрос оценки ситуационной осведомленности команды мостика крупнотоннажного морского судна с учетом перспектив внедрения в практику судоходства современных информационных технологий.*

Abstract. *The article considers the issue of the bridge team situational awareness taking into account the perspectives of modern information technologies introduction into the practice of navigation.*

Ключевые слова: *ситуационная осведомленность, дополненная реальность, морская эргатическая система, интерфейс, информационная энтропия*

Key words: *situational awareness, augmented reality, maritime ergatic system, interface, information entropy*

Введение. Научно технический прогресс в области судовождения, рост габаритов, водоизмещения и скорости судов на морском флоте выдвинул на первый план задачу безопасного и эффективного маневрирования крупнотоннажными морскими судами, особенно при плавании в сложных условиях (ограниченная видимость, плавание во льдах, мелководье и др.). Особенностью текущего момента для современного судоходства является то, что информационные системы (АИС, ЭКНИС и др.) и технологии (искусственный интеллект, дополненная реальность и др.) интенсивно проникают на флот и в портовую инфраструктуру. Необходимость решения данной задачи обусловлена высоким уровнем аварийности мирового флота, поэтому проблема «человеческого элемента» (ЧЭ) является одной из главных при рассмотрении морских человеко-машинных (эргатических) систем. По данным IMO 60-80% всех аварий связано с ЧЭ [1].

Следует отметить, что сегодня уделяется достаточно внимания вопросам комплексной автоматизации судов, технологических процессов и подготовки плавсостава морских судов. Однако простое наращивание средств автоматизации на флоте и в портовой инфраструктуре не приводит к ощутимому повышению безопасности и эффективности судоходства. Существует противоречие между традиционно сложившимся типом взаимодействия «человек-

машина» и возможностями современных информационных технологий (ИТ), позволяющих перейти к взаимодействию по типу «человек-среда». Для улучшения человеко-машинного взаимодействия необходимо разработать интеллектуальный интерфейс пользователя, посредством которого человек (судоводитель) в интерактивном и удобном (интуитивно понятном) виде будет получать информацию, прошедшую комплексную обработку, с учетом оценки и прогноза складывающейся ситуации для подготовки принятия решений.

Основная часть. Наиболее перспективным направлением транспортировки грузов, с использованием крупнотоннажных судов, для Российской Федерации (РФ) является Северный морской путь (СМП). Президент РФ поставил задачу загрузить СМП на 80 млн тонн грузов к 2024 году. Компания «Совкомфлот», как один из лидеров международного судоходства использует в своей работе самые современные технологии. Подтверждением этому может служить уникальный арктический газовоз «Совкомфлота» «Кристоф де Маржери», который преодолел СМП за рекордные 6,5 суток и прошел весь маршрут без ледокольной проводки в 2017 году. Дальнейшее экономическое освоение Арктики требует развития инфраструктуры, включая ледокольное обеспечение, изучение практики ледовых проводок, а также совершенствования мер обеспечения безопасности [2].

В исследовании рассматриваются возможности внедрения технологии дополненной реальности (ДР), как средства поддержки принятия решения в особых условиях маневрирования, с учетом практического опыта команды мостика крупнотоннажного морского судна (КМС) «Кристоф де Маржери», накопленного в процессе эксплуатации танкера-газовоза ледового класса.

Дополненная реальность (ДР) – это среда в которой информация реального мира (далее аналоговая информация) частично дополненная информацией виртуального мира (далее цифровая информация) с большим тезаурусом по сравнению с аналоговым эквивалентом. В 1997 году R. Azuma определил ДР, как систему, обладающую следующими характеристиками: совмещение реального и виртуального мира; интерактивность в режиме реального времени; представление информации в формате 3D. Тремя годами ранее P. Milgram и F. Kishino формализовали реальный и виртуальный мир, включая их производные дополненную реальность (augmented reality) и дополненную виртуальность (augmented virtuality) в виде реально-виртуального континуума (РВК) (рисунок 1).

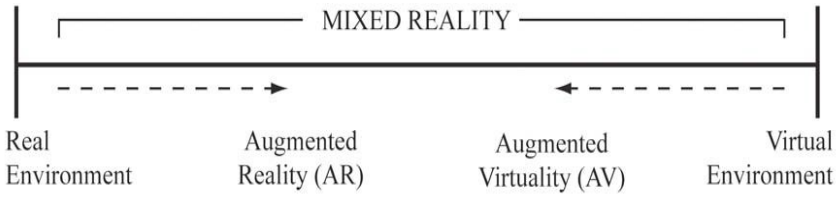


Рис. 1. *Реально-виртуальный континуум (Milgram, Kishino)*

В настоящее время когнитивные и временные возможности судоводителя используются не рационально. Это вызвано отсутствием детального исследования в предметной области с одной стороны, с другой технологические решения до сих пор не нашли практического применения в морской индустрии. Для эффективной работы команде мостика КМС необходимо повысить понимание обстановки (ситуационная осведомленность) в которой выполняются задачи по обеспечению безопасности судоходства.

На переработку информации человеком (судоводителем) влияют три группы факторов: объективные характеристики сообщений и сигналов, условия деятельности и индивидуальные характеристики человека. Следует отметить, что существует разница между восприятием аналоговой и цифровой информации человеком (судоводителем). В этой связи среда определяет соотношение аналогового и цифрового сигнала, соотношение релевантной (по-

лезной) и иррелевантной (бесполезной при решении конкретной задачи) информации. В работе предлагается исследовать качество интерфейса пользователя с учетом информационной энтропии среды принятия решений от RE (real environment/реальная среда) до AR (augmented reality/дополненная реальность), включая AV (augmented virtuality/дополненная виртуальность). В качестве критериев количественной оценки используются: время принятия решения, когнитивная нагрузка, качество ситуационной осведомленности, информационная энтропия, надежность оператора (судоводителя). Для количественной оценки влияния среды предлагается использовать модифицированный вариант РВК (рисунок 2) [3].

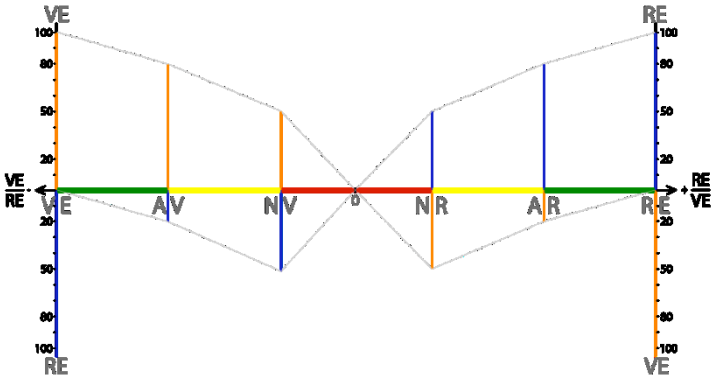


Рис. 2. *Реально-виртуальный континуум (модифицированный)*

Согласно N. Endsley в широком смысле ситуационная осведомленность (СО) – это восприятие элементов окружающей среды в определенный момент времени и точке пространства, понимание их смысла и прогнозирование их статуса в будущем. С учетом исследований D. Jones, СО может быть разбита на три уровня. Уровень 1 касается восприятия элементов в окружающей среде. Это означает, что визуальные объекты вокруг собственного судна должны быть идентифицированы. Уровень 2 связан с пониманием ситуации. Это означает, что, например, для предупреждения столкновения судоводитель должен получить представление об элементах движения цели, включая курс, скорость и позицию относительно собственного судна. Уровень 3 охватывает понимание прогноза ситуации в будущем. Предполагается, что судоводитель может быть поддержан в понимании ситуации на каждом уровне СО, за счет интерфейса в среде ДР.

Информацию, используемую судоводителем морской эргатической системы предлагается оценить по объему сведений, то есть по количеству информации, которое передается. Количественная оценка информации дается с помощью понятия энтропия (C. Shannon, 1948) [4]:

$$H = \log \bar{N} = \sum_{i=1}^{N} p_i \log p_i \ , \qquad (1)$$

где H - количество передаваемой информации;

p - вероятность события;

N - возможное количество различных (равновероятных) сообщений.

При этом целесообразность количества информации (смысловая нагрузка) можно измерить по изменению вероятности достижения цели за счет использования H. Для определения полезности информации необходимо использовать формулу А. Харкевича (1960) [5]:

$$I = \log_2 P_1 - \log_2 P_0 = \log_2 \frac{P_1}{P_0} \ , \qquad (2)$$

где P_1 - вероятность достижения цели после получения некоторой информации I;

P_0 - вероятность достижения цели до получения информации I.

Таким образом ситуационная осведомленность судоводителя может быть оценена количественно (информационная энтропия) и качественно (смысловая нагрузка).

Особые условия плавания и маневрирования накладывают дополнительные ограничения тем самым, повышая уровень неопределенности (ограниченная видимость и др.) с одной стороны, с другой стороны интерфейс по-прежнему не претерпел заметных изменений эргономической направленности. В настоящее время судоводитель на мостике вынужден постоянно отвлекаться от контроля текущей навигационной обстановки (среда), так как уточняющая информация (цифровая) сопровождает не реальный объект (аналоговая), а его информационную модель. В этой связи в работе предлагается новая парадигма пользовательского интерфейса – среда ДР.

Задача авторов разработать интерфейс пользователя, который улучшит СО судоводителя в особых условиях плавания и маневрирования КМС и дать количественную оценку информационной составляющей процесса представления и обработки данных. Согласно анализа 100 аварий на морском транспорте, выполненного национальными и международными экспертами в области безопасности на транспорте, неудовлетворительный дизайн (эргономический аспект) навигационных приборов явился причиной более 30% из них. Интерфейсы пользователя, предназначенные для интеграции с окружающей средой, по мнению авторов, могли бы значительно снизить вероятность аварий на море. Использование очков ДР (дополненной реальности) можно рассматривать, как один из методов улучшения СО за счет сокращения времени на контроль данных, находящихся за пределами зоны обязательного контроля (ЗОК). В процессе движения судна для обеспечения своевременных мер по предупреждению столкновений выделяют зоны разного, по определенному признаку, качества. ЗОК включает в себя зоны наблюдения и запрета. Дальнейшее развитие технологических решений предполагает создание многофункциональных фронтальных иллюминаторов с функцией ДР. Авторы предлагают развивать исследование в этой области, как итеративный процесс построения знаний от которого могут выиграть как пользователи, так и отечественные разработчики.

После анализа аналитической записки ПАО «Совкомфлот» по результатам экспериментального захода танкера-газовоза (СПГ- Сжиженный Природный Газ) «Кристоф де Маржери» в морской порт Сабетта 28 марта 2017 года, а также с учетом накопленного на данный момент практического опыта предлагается рассмотреть несколько сценариев использования концепции ДР.

Сценарий 1. Следование в узкости (Морской и Подходной каналы).

Морской канал является самым сложным в навигационном смысле участком плавания для КМС, заходящих в порт Сабетта из-за его значительной протяженности, относительно небольшой ширины и нахождения в зоне дрейфующих льдов. Данные ледовые условия представляются сложными даже для ледоколов и являются опасными для танкера СПГ. При этом максимальная суммарная скорость течений, вызывающих дрейф льда может достигать 2,5 узлов, что значительно повышает риск сноса и посадки его на грунт боковой бровки канала. Следует отметить, что на сегодняшний день отсутствует достаточное количество систематических наблюдений за комплексом гидрометеорологических факторов, воздействующих на судно при его проходе Морским каналом, включая изменение элементов гидрологии в связи с его строительством. «Ямал СПГ» в настоящее время формирует статистические данные по результатам зимних навигаций 2018-2019 годов. По информации лоцманов ФГУП «Росморпорт», обслуживающих порт Сабетта, характер течений в районе Подходного канала порта Сабетта практически не изучен. Плавание КМС в сложных (особых) условиях Морского и Подходного каналов на подходе к порту Сабетта требует не только наличия надежной системы контроля за его местоположением при помощи дублирующих навигационных информационных систем (НИС), но и внедрения нового пользовательского интерфейса, который позволит реализовать формат взаимодействия «человек-среда». В этой связи представляется

целесообразным и необходимым обеспечение команды мостика КМС новым инструментарием, который позволит улучшит СО за счет наличия требуемого количества полезной информации непосредственно в ЗОК судоводителя, например очки ДР (рисунок 3).



Рис. 3. *Уточняющая информация (цифровая) в ЗОК судоводителя*

Сценарий 2. Маневрирование при расхождении с судами и надводными объектами (проводка ледокола).

В настоящее время только начинается системный мониторинг ледовой обстановки и дрейфа льда в районе Обской Губы метеорологической службой «Ямал СПГ». Для обеспечения безопасного следования КМС в этом районе необходимо использовать ледокол с декабря по июнь. Ледокол создает канал во льду, по которому может следовать КМС, минимизирует потерю скорости газовоза и соответственно воздействие ледового дрейфа. Внезапная остановка ледокола чаще всего происходит в условиях сжатия или наличия торосистых включений в дрейфующем льду. К сожалению узкость морского канала не позволяет газовозу класса ARC7 использовать свои ледопроходимые качества в полной мере из-за ограниченной зоны маневрирования (по времени и пространству). Несмотря на то, что КМС «Кристоф де Маржери» может теоретически пройти любой лед в данном районе, существует вероятность смещения с линии рекомендованного маршрута под воздействием ледового дрейфа и отсутствует возможность разворота «кормой вперед» на узких участках. При этом критически важен постоянный контроль за скоростью и дистанцией судов в караване. Для улучшения СО команды мостика предлагается следующий концептуальный дизайн интерфейса, представленный на рисунке 4.

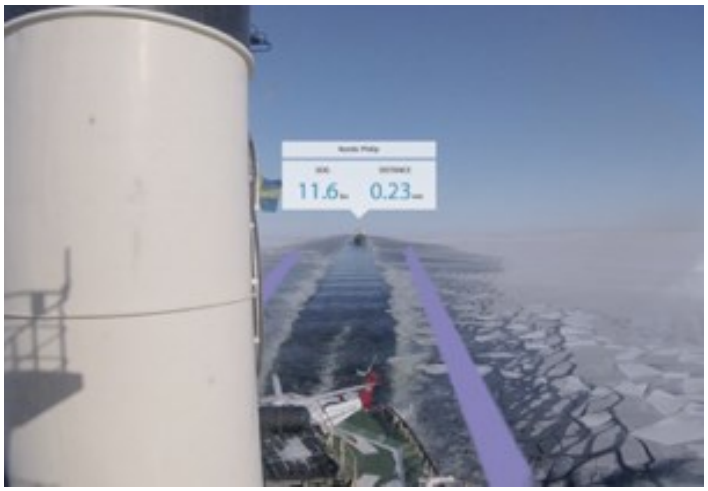


Рис. 4. *Уточняющая информация (скорость, дистанция и границы канала) в ЗОК судоводителя*

Сценарий 3. Швартовка (порт Сабетта).

В среднем длительность швартовки КМС «Кристоф де Маржери» в порту Сабетта в ледовых условиях составляет около 3-4 часов. Это часто вызвано неудовлетворительными условиями видимости, и наличием битого льда (ледовой подушки) у СПГ. В условиях плохой видимости (почти нулевой видимости у Терминала) в порту Сабетты из-за испарений при температуре ниже -25С, движение по акватории и швартовка по «приборам» с использованием символа судна на экране ЭКНИС является на данный момент единственной эффективной мерой. Однако капитану и лоцману приходится постоянно переводить взгляд на ЭКНИС и проецировать вектор смещения и масштаб судна с плоскости на «картинку» перед глазами [6]. Анализ действий и визуальная трансформация занимает время и влияет на скорость принятия решения. В целях безопасности и эффективности работы команды мостика предлагается ввести в зону обязательного контроля (ЗОК) следующую ключевую информацию в среде ДР: расстояние от судна до причала; текущий курс; скорость относительно грунта, 3D визуализацию причала, изобаты безопасных глубин (рисунок 5).

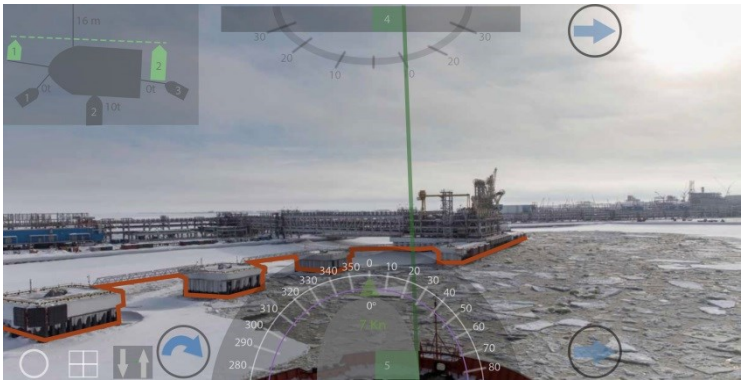


Рис. 5. *Уточняющая информация (режим швартовка) в ЗОК судоводителя*

Специально для сценария 2 разработан алгоритм быстрого прогнозирования степени опасности столкновения [7]. Разработанный алгоритм предназначен для реализации компьютером, с использованием программного обеспечения системы e-Navigation. Информация о степени опасности столкновения доступна каждую секунду, а визуализация оперативного прогнозирования представляется в формате 3D (язык программирования C#). В результате судоводитель постоянно видит перед глазами достоверную картину прогноза, что сокращает когнитивную нагрузку и время для принятия решения. Следовательно, ситуационная осведомленность (СО) команды мостика на протяжении всего времени маневрирования соответствует уровню, который значительно превышает текущие показатели (данные для принятия решения, время для принятия решения, уровень когнитивной нагрузки и др.).

Дальнейшие исследования предполагают разработку нового интерфейса пользователя (судоводитель, лоцман, оператор СУДС и другие) для визуализации предлагаемых решений на основе обработки данных, которые авторы планируют получить в результате эксперимента с очками ДР (прототипы интерфейса представлены на рисунках 3, 4 и 5) [8]

Выводы. В настоящее время отсутствуют общепринятые стандарты для интерфейсов в среде смешанной реальности. В этой связи для имплементации вышеуказанных предложений требуется совместная работа специалистов межправительственных организаций, обладающих определенными компетенциями в области морской деятельности. Поэтому для корректной работы и взаимодействия в региональном сегменте цифровой навигации, на примере Каспийского и Азово-Черноморского морских бассейнов, необходимо разработать детальные стандарты и требования к функциональной и технической совместимости аппаратуры АИС,

ЭКНИС, выпускаемой разными производителями и устанавливаемыми на морских судах, объектах СНО и в береговых службах.

Литература

1. G.E. Hagen, Implementing e – Navigation, Artech House, 2017.
2. Ольшамовский С.Б. Повышение безопасности мореплавания (научные исследования). - Новороссийск: НГМА, 1998.455с.
3. A. Popov, A.Kondratiev, I.Smirnov, The algorithm for fast forecasting of the collision danger degree with ships and surface objects in the e-navigation area, AGA 2018, 19 TH Annual General Assembly (AGA) of the International Association of Maritime Iniversities (IAMU), 17-19 October 2018, Barcelona, Spain, pp. 442-449.
4. C.E. Shannon, A mathematical theory of communication, The Bell System Technical Journal, Vol. 27, pp. 379-423, 623-656, July, October, 1948.
5. Вентцель Е.С. Теория вероятностей / Изд. 3-е, исправленное. М.: Высшая школа, 1964 г. 576 с.
6. Уперенко А.А. Интегрированные системы мостика как часть концепции e-Navigation [текст] / А.А. Уперенко, Е.В. Хекерт // Вестник государственного морского университета им. Адмирала Ф.Ф. Ушакова 2014. № 1 (6) .с. 23-25.
7. Астреин В.В., Кондратьев С.И., Хекерт Е.В. Алгоритм самоорганизации групп судов для предупреждения столкновений [текст]//Эксплуатация морского транспорта. Государственный морской университет им. Адмирала Ф.Ф. Ушакова. 2016. №2 (79). с. 45-50.
8. S. Frydenberg, J.O. Eikenes, K. Nordby, Exploring design of augmented reality systems for ship bridges in arctic waters, Conference Paper, October 2018, https://www.researchgate.-net/publication/328065246.

УДК 681.5:656.61.052

МЕТОД АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАРШРУТА СУДНА ПРИ ПЛАНИРОВАНИИ ПЕРЕХОДА

Ганношина И.М.

Киевский институт водного транспорта им. гетмана Петра Конашевича-Сагайдачного
г. Киев, Украина
E-mail: metod@donntu.org

Аннотация. *В статье рассмотрен подход к автоматизации процесса определения маршрута судна, учитывающий маневренные характеристики судна, потребности в топливе и влияние факторов навигационно-гидрографической обстановки для повышения качества планирования перехода.*

Abstract.*The approach to automating the process of determining the vessel's route, taking into account the maneuverability of the vessel, fuel requirements and the influence of factors of the navigation and hydrographic situation to improve the quality of transition planning.*

Ключевые слова: *маршрут, планирование перехода судна, дискретная модель хода судна.*

Key words: *route, planning the transfer of the vessel, discrete model of the vessel*

Постановка проблемы. Одним из решающих условий обеспечения безопасности морского судоходства является обоснованное и своевременное принятие решения об определе-

нии маршрута судна при планировании перехода и его коррекция в реальном масштабе времени. Рост интенсивности движения судов, искусственных навигационных опасностей, а также возможностей навигационных систем судов обусловили необходимость повышения требований к обоснованности и оперативности планирования перехода. Определение маршрута судна при планировании перехода является одной из задач планирования перехода и выполняется, как правило, капитаном судна. Для ее решения необходимо учитывать множество факторов навигационно-гидрографической обстановки:

– характер побережья, рельеф дна и глубины, колебания уровня воды при приливах и отливах, скорости и направления ветра и течений;

– навигационные опасности и системы их ограждения в узких проходах;

– характерные отличительные глубины и банки в районе перехода;

– опасные, запрещенные и ограниченные для плавания районы;

– районы интенсивного движения судов;

– правила плавания в проливах и каналах по маршруту перехода;

– правила и обязательные постановления, действуют в портах входа;

– краткосрочный и долгосрочный прогнозы погоды, ледовый режим и характер течений по всему району перехода и другие факторы [1-2].

Полный учет всех факторов требует значительных затрат времени и практически невозможно с точностью определения места судна, которую требуют современные международные конвенции без применения автоматизированных систем поддержки принятия решения. Кроме того, определение маршрута судна находится в тесной взаимосвязи с другими задачами планирования перехода, включающими в себя меры, косвенно влияющие на выбор маршрута судна. Для каждого из планов перехода может быть определен маршрут, который может оказаться неприемлемым по соображениям, например, времени перехода. Поэтому возникает необходимость анализа и оценки возможных вариантов планов перехода для повышения обоснованности определения маршрута судна при планировании перехода. Таким образом, автоматизация определения маршрута судна при планировании перехода для повышения обоснованности и оперативности планирования перехода является актуальной научно-технической задачей.

Анализ последних исследований и публикаций. В настоящее время на рынке существует ряд продуктов, которые предоставляют пользователям решение задачи оптимизации маршрута перехода. Эти продукты разработаны компаниями: StormGeo, Marorka, Napa, Meteo Group. Алгоритмы, применяемые в этих продуктах, реализованны с использованием методов динамического программирования, теории графов, методов вариационного исчисления, метода изохрон или простого "обхода" плохой погоды. В работах [3-4] для решения этой задачи применяются оптимизационные модели, основанные на использовании генетических алгоритмов, таких как Multi-Objective Genetic Algorithm и Multi-Objective Evolutionary Algorithm. Однако перечисленные подходы не позволяют в полной мере учесть факторы навигационно-гидрографической обстановки, автоматизировано определить маршрут судна при планировании перехода и корректировать его в реальном масштабе времени.

В работах [5-11] задача выбора кратчайшего маршрута агента, решается методами исследования операций в графах, в частности на основе известных алгоритмов Дейкстры, Белмана-Форда, Флойда, методами искусственного интеллекта на основе нейронных сетей, позволяющие рассчитывать меняющиеся со временем условия и применением генетических алгоритмов.

Однако, ключевые задачи навигации: формализация навигационной обстановки, автоматическое построение физически реализуемого маршрута судна при планировании перехода и его коррекция в реальном масштабе времени требуют новых подходов к решению.

Цель статьи – заключается в разработке метода автоматизации процесса определения маршрута судна при планировании перехода, учитывающий маневренные характеристики

судна, потребности в топливе и влияние факторов навигационно-гидрографической обстановки для повышения обоснованности и оперативности принятия решения при планировании перехода.

Изложение основного материала. Анализ математической модели хода судна показал – нахождение оптимальной траектории даже на коротком участке связано с избыточной вычислительной сложностью, что приводит к необходимости поиска более простых моделей для определения маршрута судна при планировании перехода. Поэтому предложенная методика базируется на использовании дискретной модели хода судна и разработана с использованием теории графов.

Для разработки дискретной модели хода судна представим ход судна как последовательное посещение определенных областей пространства. Разобьем пространство поиска маршрута на элементы.

При разбивке пространства следует учесть следующее:

– элемент должен быть достижим из одного или нескольких предыдущих элементов, чтобы обеспечить непрерывность маршрута хода судна;

– в процессе достижения некоторых следующих элементов судно может изменить курс,

– возможность достижения следующего элемента пространства зависит от курса судна, с которым оно вошло в выходной элемент, с учетом маневренных характеристик судна;

– поскольку возможность достижения следующего элемента пространства зависит от текущего курса судна, необходимо одновременно с частотой дискретизации пространства дискретизировать направление хода. Количество дискретных направлений хода будет тесно связано с размерами элемента и маневренными характеристиками судна;

– возможности достижения следующих элементов должны быть симметричны. Поэтому длина элемента должна быть равна ширине;

– точность решения будет расти с уменьшением элемента пространства и увеличением количества дискретных направлений хода.

На рис. 1 предложен возможный подход к разбиению пространства, учитывающий маневренные возможности судна. Предлагается выбрать восемь различных курсов судна. Из каждого элемента пространства можно будет достичь три соседних фронтальных по курсу элемента с возможным поворотом на 45 градусов. Таким образом, ширина (длина) элемента, как видно из решения треугольника ABC, равна:

$$LW = \left(1 - \frac{1}{\sqrt{2}}\right) R_V, \qquad (1)$$

где R_V – минимальный радиус разворота судна на скорости V.

На рис. 1 пунктиром изображена погрешность, которая при маневрировании может увеличиваться. Однако в силу особенностей хода судна в пространстве поиска маршрута ней можно пренебречь.

Формально пространство поиска маршрута опишем со следующими допущениями:

– считаем, что пространство внутри элемента имеет одинаковые свойства;

– считаем, свойством пространства мультипликативный штраф за прокладку маршрута судна через элемент пространства.

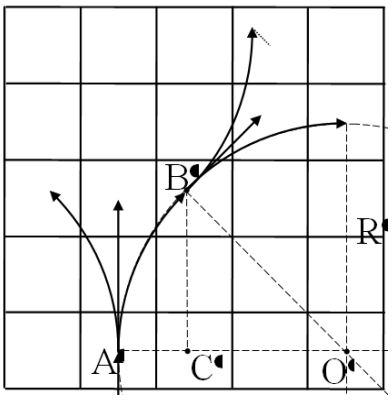


Рис. 1. *Достижения соседних фронтальных по курсу элементов и следующих за соседними элементов с возможным изменением курса*

Пространство поиска маршрута разделяется на зоны трех типов:

1. Зоны без помех, которые преодолеваются судном на крейсерской скорости (мультипликативный штраф равен 1);

2. Зоны, которые возможно пройти, но для этого скорость должна быть уменьшена. Мультипликативный штраф более 1, определяется пропорционально увеличению расхода топлива, времени и др. Устанавливается тем, кто принимает решения, позволяет учесть факторы навигационно-гидрографической обстановки. Если в пределах элемента пространства действуют несколько факторов, то их штрафы суммируются;

3. Зоны, в которых проход запрещен (мультипликативный штраф больше других штрафов на несколько порядков).

Пространство поиска пути охарактеризуем одномерным массивом G. Размер G равен количеству элементов пространства.

Опишем ход судна взвешенным ориентированным графом GR (V, E), где V - множество вершин графа, E - множество ребер графа. Каждый элемент пространства может быть посещен судном с одним из дискретных курсов. Поэтому каждому элементу пространства будет соответствовать количество вершин графа, равно количеству дискретных направлений хода. Таким образом, количество вершин графа n равно количеству элементов пространства поиска, умноженному на количество дискретных направлений хода. Из каждой вершины выходят ориентированные ребра, соединяющие ее со смежными вершинами. Они соответствуют трем следующим фронтальным по курсу элементам с возможным поворотом на 45 градусов (см. рис. 1).

Вес ребра A(j, k) равен количеству топлива $m_п$, необходимого для достижения соседнего элемента с выбранным курсом, умноженному на штраф из массива G, соответствующий элементу пространства, в который ребро входит:

$$A(j,k) = m_п \cdot G(i). \quad (2)$$

Одним из подходов к решению задачи автоматизации процесса определения маршрута судна при планировании перехода является сведение ее к задаче поиска самого короткого пути между двумя вершинами на графе, в котором минимизируется сумма весов ребер, составляющих путь. Сегодня известно большое количество алгоритмов для ее решения. Учитывая особенности графа GR (взвешенный ориентированный граф, у которого отсутствуют дуги с отрицательной весом), для нахождения кратчайшего пути был избран алгоритм Дейкстры (простота реализации при допустимом времени нахождения маршрута).

На рис. 2 представлена схема метода автоматизированного определения варианта маршрута судна при планировании перехода.

Исходные данные метода автоматизированного определения варианта маршрута судна при планировании перехода:

– навигационно-гидрографическая обстановка;

– маневренные характеристики судна.

Построение дискретной модели хода судна:

– разбиваем пространство поиска маршрута на элементы и выбираем количество дискретных направлений движения в зависимости от маневренных характеристик судна;

– ставим в соответствие каждому элементу пространства характеристику в виде мультипликативного штрафа за проход через него в зависимости от навигационно-гидрографической обстановки.

Представляем ход судна как движение по графу от вершины к вершине, вес ребра, соединяющего смежные вершины, вычисляется по формуле (2). Находим маршрут судна как кратчайший путь из одной вершины графа в другую, на основе предложенного алгоритма комбинаторной оптимизации на графах.

На практике необходимо рассчитать несколько вариантов маршрутов. Возможным подходом для расчета альтернативного маршрута судна при планировании перехода будет удвоение штрафов элементов, через которые проходит ранее рассчитанный маршрут и проведения повторного расчета.

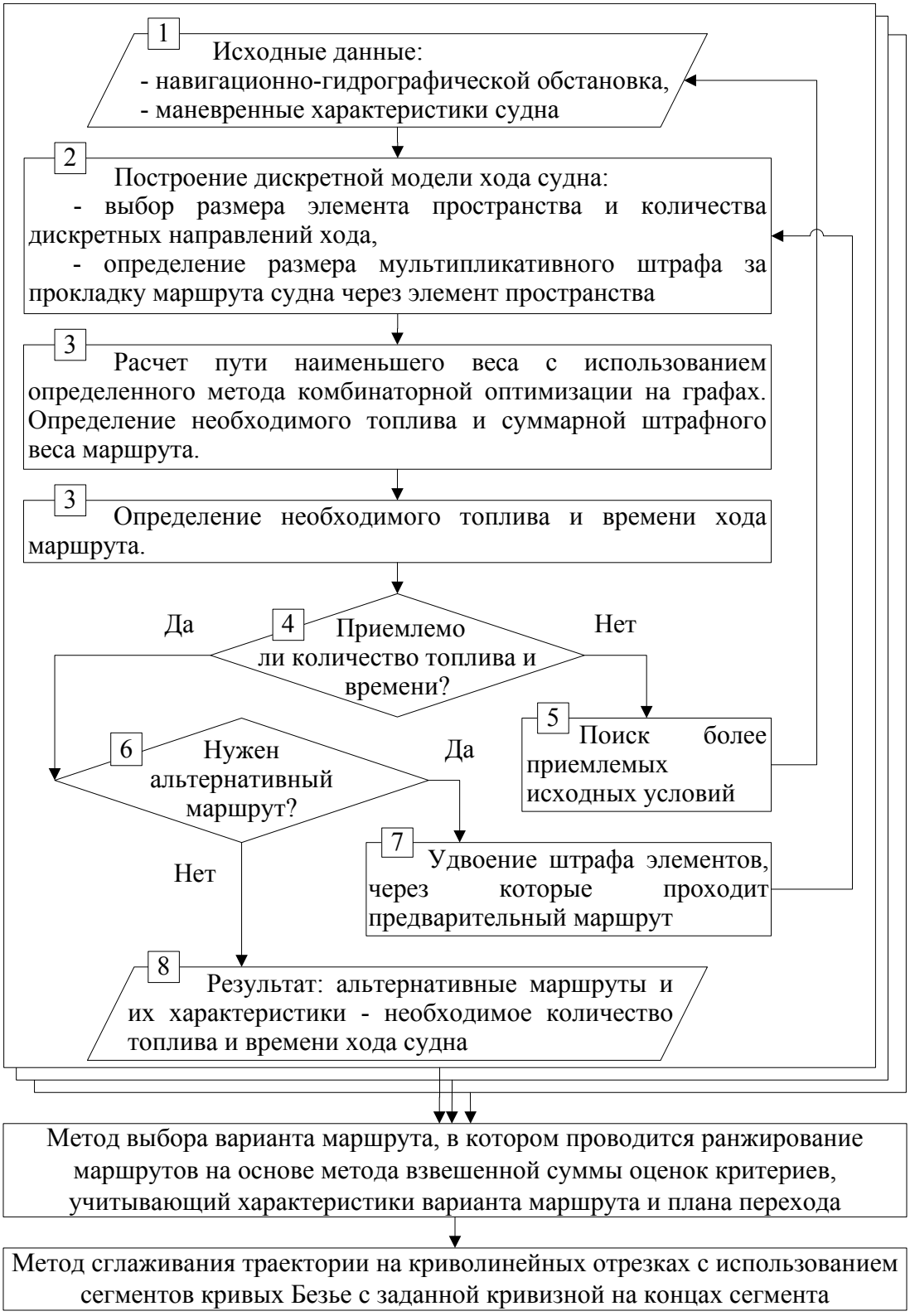


Рис. 2. *Метод определения варианта маршрута при планировании перехода судна*

Для выбора варианта маршрута используем метод выбора варианта маршрута, в котором проводится ранжирование маршрутов на основе метода взвешенной суммы оценок критериев, учитывающий характеристики варианта маршрута и плана перехода.

Для получения исполнительной траектории используем метод сглаживания траектории на криволинейных отрезках с использованием сегментов кривых Безье с заданной кривизной на концах сегмента [12].

Выводы. Анализ процесса определения маршрута судна при планировании перехода показал: полный учет всех факторов навигационно-гидрографической обстановки требует значительных затрат времени, что практически невозможно с точностью определения места судна, которую требуют современные международные конвенции, без применения автоматизированных систем поддержки принятия решения. Кроме того, определение маршрута судна находится в тесной взаимосвязи с другими задачами планирования перехода, включающими в себя меры, косвенно влияющие на выбор маршрута судна. Существующие подходы не позволяют в полной мере учесть факторы навигационно-гидрографической обстановки, автоматизировано определить маршрут судна при планировании перехода и корректировать его в реальном масштабе времени.

Впервые предложена дискретная модель хода судна, в которой ход судна рассматривается как последовательное посещение элементов пространства, свойства которых учитывают факторы навигационно-гидрографической обстановки.

Впервые предложен метод автоматизации процесса определения маршрута судна при планировании перехода, который учитывает маневренные характеристики судна, потребности в топливе и влияние факторов навигационно-гидрографической обстановки; с целью повышения обоснованности и оперативности принятия решения при планировании перехода.

Литература

1. Совершенствование теории судовождения на внутренних водных путях: автореф. дис. д-ра. техн. наук: 05.22.19. / Тихонов, В.И. Н. Новгород, 2011. 39с.
2. Формализация знаний о маневрировании судна в портовых водах на основе нечетких функций / В.А. Васьков, А.А. Мироненко // Эксплуатация морского транспорта. 2010. №2 (60).с. 39-43.
3. Modeling and Optimization Algorithms in Ship Weather Routing / Walther L., Rizvanolli A., Wendebourg M., Jahn C. // International Journal of e-Navigation and Maritime Economy. 2016. Vol. 4. p. 31–45.
4. Подготовка судоводителей с использованием программного обеспечения с функцией планирования и исполнения перехода / А.О. Климовский, В.А. Рыжов // Компьютерные инструменты в образовании. 2017. №6. с. 44-53.
5. Simple Local Path Planning Algorithm for Autonomous Mobile Robots / N. Buniyamin, W.A.J.Wan Ngah, N.Sariff, Z.Mohamad // Int. J. of Systems Applications, Eng. & Development. 2011. Issue 2. v.5. p.151-159.
6. Depth Space Approach to Human-Robot Collision Avoidance / F. Flacco, T. Kroger, A. De Luca, O. Khatib // Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation RiverCentre. – Saint Paul, Minnesota, USA, 2012. p.338-345.
7. Рекурсивный метод оптимизации логистических путей средствами MATLAB / А.А. Чертков, А.А. Вардомская, А.А. Дмитриев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. 2015. № 6 (34). с. 196-204.
8. Real-time traveler information for optimal adaptive routing in stochastic time-dependent networks / S. Gao, H. Huang // Transportation Research Part C: Emerging Technologies. 2012. Vol. 21. Is. 1. Pp. 196–213. DOI: 10.1016/j.trc.2011.09.007.
9. Path planning for the autonomous underwater vehicle / A. Kirsanov, S. Anavatti, T. Ray // International Conference on Swarm, Evolutionary, and Memetic Computing. – Springer, Cham, 2013. – Pp. 476-486. DOI: 10.1007/978-3-319-03756-1_43.

10. A survey on path planning for persistent autonomy of autonomous underwater vehicles / Z. Zeng, L. Lian, K. Sammut, F. He, Y. Tang, A. Lammas // Ocean Engineering. 2015. Vol. 110. Part A. Pp. 303-313. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2015.10.007.
11. Автоматизация выбора кратчайших маршрутов судов на основе модифицированного алгоритма Беллмана–Форда / А. А. Чертков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2017. Т. 9. № 5. с. 1113-1122. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-5-1113-1122.
12. Сегмент рациональной кривой Безье 5-й степени с заданными кривизнами на концах сегмента / Ю.И. Бадаев, И.Н. Ганношина, Л.П. Лагодина // Вчені записки Таврійського національного університету імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки. 2018. t. 29(68), № 2. с. 1-4.

УДК 629.5.072.1

МОДЕЛЬ ИДЕНТИФИКАЦИИ НАВИГАЦИОННЫХ СИТУАЦИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ В ЭРГАТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Масик И.П., Тимощук Е.Н.

Киевский институт водного транспорта имени гетмана Петра Конашевича-Сагайдачного
г. Киев, Украина
E-mail: tumoshchuk_olena@ukr.net

Аннотация. *Разработана модель определения опасности навигационных ситуаций для повышения эффективности управления судами в зонах интенсивного судоходства. Модель базируется на системах нечеткой логики. Численно определена степень опасности внешней среды к эргатической системе.*

Abstract. *A model has been developed for determining the hazard of navigation situations in order to improve the efficiency of ship management in areas of intensive navigation. The model is based on fuzzy logic systems. The degree of danger of the environment to the ergatic system is numerically determined.*

Ключевые слова: *навигационная ситуация, эргатическая система, оперативное управление судном*

Key words: *navigation situation, ergatic system, operational control of the ship*

Введение. Основной задачей при управлении движением судов в зонах интенсивного судоходства является предотвращение опасных ситуаций, в частности, недопущение их опасного сближения [1,2]. Методологической основой распознавания опасных ситуаций является оценка параметров траектории движения каждого судна [3, 4]. При идентификации опасно сближающихся судов система управления движением генерирует соответствующий сигнал и рекомендации относительно изменения траектории движения.

Безопасное движение в условиях интенсивного судоходства зависит от скоростей судов, расстояния между ними, их размеров, маневренности, характеристик траектории и т. д. При этом прогнозирование движения судна несет в себе элемент неопределенности. Такой подход позволяет судоводителю и оператору береговой системы управления движением судов принимать решения в ситуациях с разным уровнем опасности и, тем самым, снизить степень неопределенности при принятии конкретного решения.

Поэтому разработка системы оценки состояния безопасности движения судов в условиях интенсивного судоходства, обеспечивающее заблаговременное распознавание опасных ситуаций и оценку уровня их опасности, является актуальной научной задачей.

Цель статьи – разработка модели идентификации навигационных ситуаций для повышения эффективности управления судами в зонах интенсивного судоходства

Анализ последних исследований и публикаций. В работах [5, 6] не в полной мере учитываются признаки, определяющие факторы навигационно-гидрографической обстановки, используемые для определения маршрута судна в сложной обстановке и позволяющие его корректировать в ходе оперативного управления судном.

В работах [7, 8] задача выбора безопасного маршрута решается на основе нейронных сетей, позволяющими рассчитывать меняющиеся условия, и применением генетических алгоритмов. Однако формализация навигационной обстановки, оперативное управление судном в районах с интенсивным судоходством и его коррекция в реальном масштабе времени требуют разработки новых подходов к решению этой задачи.

Изложение основного материала

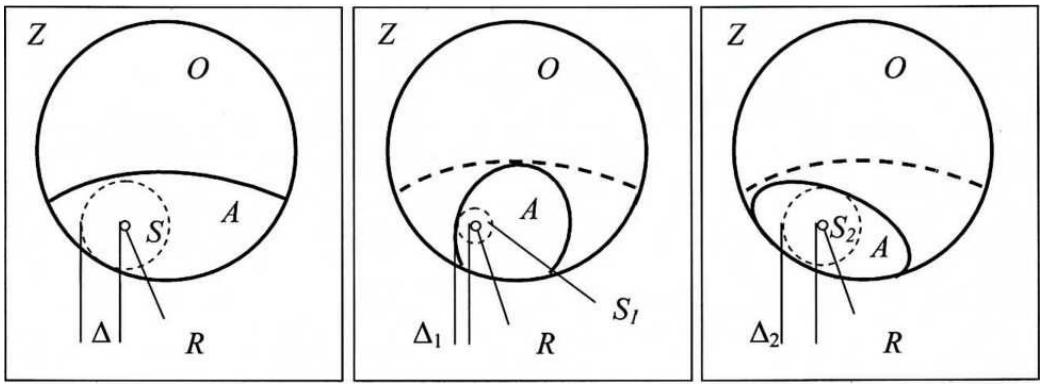
Оперативное управление в эргатической системе на основе ситуационного подхода

Процесс оперативного управления (ОУ) судном описывается большим количеством параметров. Они неоднозначно характеризуют состояние системы "внешняя среда – судно – судоводитель". Адекватная модель процесса при большом количестве входных переменных требует разработки базы знаний (БЗ) большого объема. Увеличение числа входов модели ведет к ее экспоненциальному росту БЗ [9]. Поэтому целесообразно оперировать не конкретными параметрами системы, а классами ее состояний [10].

Основой ОУ судном в условиях интенсивного судоходства является оперативный план, разработанный для возможных ситуаций. Оперативное управление водным транспортным средством (ВТС) предполагает обеспечение безопасности при отсутствии в плане некоторых специфических ситуаций, могущих привести к аварийной ситуации. То есть, ОУ имеет несколько контуров, включающих соответствующие наборы средств управления: управление по оперативному плану; его коррекция по факту; опережающее управление.

Каждый контур специфичен и по-своему влияет на эффективность управления судном.

Границей области допустимости управленческих решений относительно эксплуатации судна является множество O. Множество ситуаций безаварийной эксплуатации с соблюдением требований безопасности, надежности и качества принятых решений в пространстве ситуаций Z обозначено A (рис. 1а).



а) б) в)

Рис. 1. *Область допустимости управленческих решений при ОУ судном*

Множество управленческих решений R при непосредственном планировании образует некоторую область S. Близость избранного решения к его предельному значению характеризуется величиной Δ. Постоянное изменение текущих ситуаций изменяет область допустимых безаварийных решений A и, соответственно, зоны эффективных значений S_1. Некоторые из решений могут быть достаточно близки к пределам допустимости возможности их

принятия (рис. 1б):

$$\exists R \subset O : \Delta_1 = R_0 - R, \quad (1)$$

где R_0 – ограничение по некоторым управленческим решениям;

Δ_1 – степень близости текущего решения R к его предельному значению.

При опережающем управлении (заблаговременной корректировке) изменяется зона эффективных решений R и большая часть из них отдаляется от границ допустимых значений ($\Delta_1 < \Delta_2$) за счет прогнозирования тенденций их изменения (рис. 1в).

В общем случае процесс принятия решения связан с выбором вида управления $U(t)$. Реализация опережающего управления базируется на ситуационном подходе [11]. Если на объекте управления сложилась текущая ситуация C_t и состояние системы управления и технологические принципы управления S_t допускают использование одношагового управляющего воздействия U_k, то оно превращает текущую ситуацию в C_{t+1}:

$$S_t : C_t \xrightarrow{U_k} C_{t+1}. \quad (2)$$

Итак, ситуационное управление при оперативном управлении судном в условиях интенсивного судоходства характеризуется [12]:

– достаточно полным, но не избыточным описанием ситуаций для объекта управления в динамичном внешнем окружении для классификации этой ситуации;

– количественным и качественным описанием ситуации для ее формализации;

– объединением ситуаций в классы при использовании одношаговых решений;

– отсутствием целостной стратегии управления судном из-за непоследовательной цепочки одношаговых решений, что требует разработки специальных процедур.

Таким образом, при опережающем управлении слабоструктурированными объектами, к которым, несомненно, относятся ВТС, возможно применение ситуационного подхода.

Как показали исследования, если на судне сформирована база решений по ряду наиболее вероятных ситуаций, стрессовое состояние членов экипажа и, соответственно, аварийных ситуаций наступает на 78% реже, чем в случае отсутствия такой базы [12].

Итак, наличие базы решений позволяет эффективнее управлять судном в условиях интенсивного судоходства и снизить психологическое давление на членов экипажа при постоянном поиске наилучших вариантов управления при изменении обстановки.

Разработка модели определения опасной навигационной ситуации при взаимодействии двух эргатических систем

Смоделируем навигационную ситуацию движения судна *A* относительно судна *B* в условиях интенсивного судоходства, используя модель "судно-судно" (рис. 2) [13].

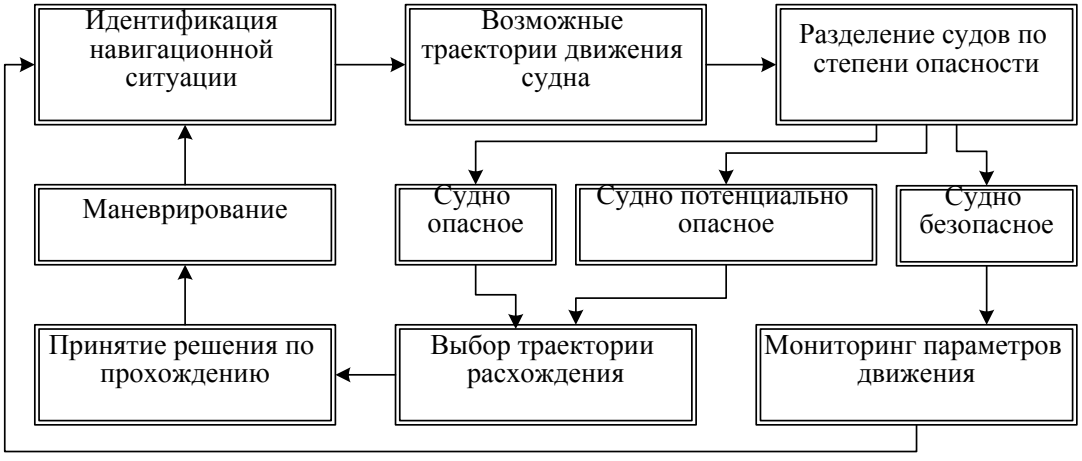


Рис. 2. *Модель идентификации навигационной ситуации*

Пусть координаты каждого судна описываются уравнениями:

$$x = x_0 + v \cdot \sin k \cdot \Delta t + \varepsilon_x; \tag{3}$$

$$y = y_0 + v \cdot \cos k \cdot \Delta t + \varepsilon_y, \tag{4}$$

где x_0, y_0 – начальные координаты судна;

x, y – текущие координаты судна;

v – скорость судна;

Δt – время движения из точки (x_0, y_0) в точку (x, y);

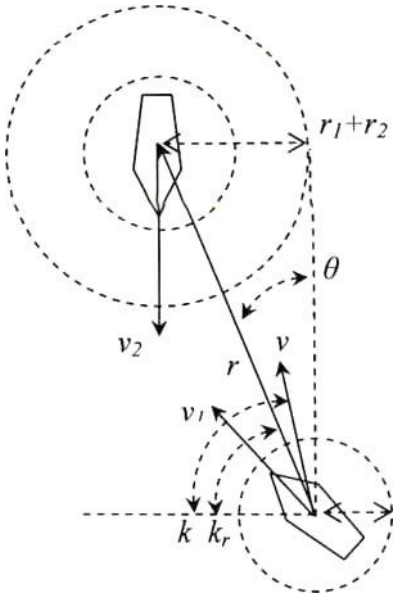


Рис. 3. *Модель относительного движения двух судов*

$\varepsilon_x, \varepsilon_y$ – случайные ошибки измерений координат суда, обусловленные наличием инструментальных ошибок измерений;

k – угол курса судна.

Рассмотрим два судна с координатами (x_1, y_1) (x_2, y_2) и скоростями v_1 и v_2 соответственно. Определим расстояние между двумя движущимися судами:

$$r_x = x_2 - x_1; \quad r_y = y_2 - y_1, \tag{5}$$

где r_x, r_y – расстояние по соответствующим координатам.

Скорость относительного движения судов v равна

$$v = \sqrt{\left(v_{x1} - v_{x2}\right)^2 + \left(v_{y1} - v_{y2}\right)^2}; \tag{6}$$

$$v_{x1} = \frac{v_1}{\sin k_1}; \quad v_{y1} = \frac{v_1}{\cos k_1}; \quad v_{x2} = \frac{v_2}{\sin k_2}; \quad v_{y2} = \frac{v_2}{\cos k_2}. \tag{7}$$

Включим в модель относительного движения судов динамику курса судна

$$w = dk/dt, \tag{8}$$

где w – скорость изменения угла курсов (рис. 3).

Тогда модель относительного движения двух судов будет выглядеть так [13]:

$$\frac{dr_x}{dt} = -v_x \cos(k + w); \qquad \frac{dr_y}{dt} = -v_y \sin(k + w); \tag{9}$$

$$\frac{d^2 v}{dt^2} = 0; \qquad \frac{dw}{dt} = 0. \tag{10}$$

Решением данной системы будет оценка вектора состояния движения двух судов

$$s = (r, v, w, t). \tag{11}$$

Потенциально опасное состоянии двух судов определяется такими критериями:

– расстояние между относительно подвижными судами меньше суммы кратчайшей допустимой дистанции и радиусов доменов этих судов:

$$r - r_1 - r_2 < D_{kr.dop}; \tag{12}$$

– величина изменения курса судна близка к скорости изменения направления движения судна:

$$|k - k_r| < \theta; \tag{13}$$

– оставшееся до максимального сближения судов время ниже допустимого:

$$0 < t < T_{dop}. \tag{14}$$

Формализация этих условий определяется конкретной трактовкой понятия "опасная ситуация". Наибольшее значение для обеспечения безопасного плавания имеет соблюдение ка-

кой-то "зоны безопасности" вокруг судна, в которую другие суда не допускаются [3]. В нашем случае используем судовой домен статичного типа с окружностью заданного радиуса: r_1 (r_2) – для первого (второго) судна.

Таким образом, для определения степени опасности ситуации навигационной ситуации необходимо оценить вектор состояния общего движения двух судов $s=(r,v,w,t)$ с учетом условий их маневрирования.

Нечеткая математическая модель определения степени опасности внешней среды к эргатической системе

Для оценки вектора s используем нечеткую логику. Условия (12) и (13) формализуют опасную ситуацию для маневрирующих и не маневрирующих судов, которые, с точки зрения безопасности общего движения, имеют принципиальные отличия. С точки зрения внешнего наблюдения, полностью достоверный прогноз траектории для маневрирующего объекта невозможен, а уровень его опасности ниже, чем для не маневрирующего [14].

Эта особенность позволяет оценивать не только траекторные свойства объектов $s=(r,v,w,t)$, но и диспетчеру при высокой интенсивности движения в акватории предоставляет судоводителю или возможность принимать решение о порядке разрешения ситуации с учетом уровня ее действительной опасности, используя нечеткую логику.

Выделим три нечетких множества: A – характеризует расстояния до объектов; B – степень маневрирования; C – время на принятие решений.

Используем для множества A сигмоидную функцию принадлежности:

$$f_A\left(r,a,D_{kr.dop}\right)=\frac{1}{1+e^{a\left(r-D_{kr.dop}\right)}}, \tag{15}$$

где a – параметр, определяющий жесткость функции принадлежности;

r – расстояние между судами;

$D_{kr.dop}$ – кратчайшее допустимое расстояние между судами.

Определим для данного множества терм $T_A=$ {"малое расстояние"}, зависящий от размеров доменов судов и скорости изменения расстояния между ними. Функция принадлежности для множества с параметрами $a=1$ и $D_{kr.dop}=4$ мили приведена на рис. 4.



Рис. 4. *Функция принадлежности множества A*

Для множества B возьмем также сигмоидную функцию принадлежности

$$f_B\left(w,a,W_i\right)=\frac{1}{1+e^{-a\left(w-W_i\right)}}, \tag{16}$$

где w – скорость изменения угла курсов;

W_i – пороговое значение, определяющее неопределенность курсов судов.

Введем для данного множества терм T_B = {"интенсивное маневрирование"}, определяемый скоростью изменения курсов встречных судов. Функция принадлежности для данного множества с параметрами $a = 1$ и $W_i = 1$ град/мин приведена на рис. 5.

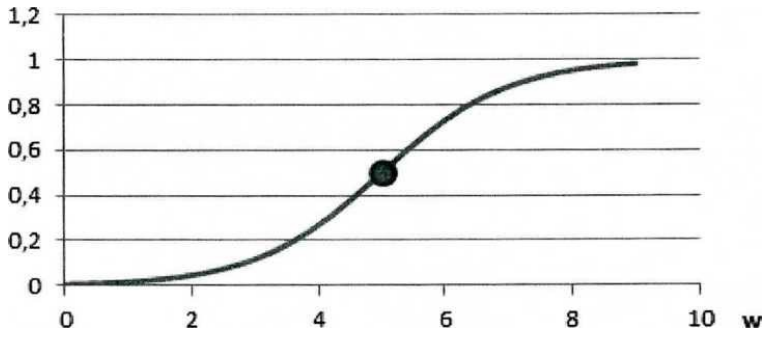


Рис. 5. *Функция принадлежности множества B*

Множество *C* представим тремя функциями принадлежности: двумя сигмоидальными и одной гауссовой:

$$f_C\left(t, a, T_{dop}\right) = \begin{cases} \dfrac{1}{1+e^{a\left(t-T_{dop}\right)}}, & if \quad t < 0,8 \cdot T_{dop}; \\ e^{\frac{a\left(t-T_{dop}\right)}{2a^2}}, & if \quad 0,8 \cdot T_{dop} \le \mathrm{t} \le 1,2 \cdot T_{dop}; \\ \dfrac{1}{1+e^{-a\left(t-T_{dop}\right)}}, & if \quad 1,2 \cdot T_{dop} < \mathrm{t}, \end{cases} \tag{17}$$

где t – время до сближения судов;

T_{dop} – допустимое время для принятия решений.

$$f_B\left(w, a, W\right)$$

Определим терм для данного множества T_C = {"мало времени", "время принятия решений", "много времени"}, определяемый временем на принятие решения. Терм "мало времени" определяет время, когда возможно принять только одно решение, которое поможет избежать столкновения. Терм "принятия решений" – время, необходимое для грамотного проведения оптимального маневра, то есть время, когда начинать маневр уже не рано, но еще есть время "исправить" результат ошибочного маневрирования, есть время на "вторую попытку"; это период, когда критической ситуации пока еще не возникло. Терм "много времени" описывает время, когда еще нет никакого смысла производить любые действия, поскольку ситуация может измениться, и это будет требовать, возможно, выполнения совсем другого маневра.

Вид функции принадлежности для данного множества с параметрами $a = 1,5$, $T_{äîï} = 10$ мин представлен на рис. 6.

Таким образом, нечеткая математическая модель определения степени опасности внешней среды к эргатической системе отличается формализацией не только траекторных свойств ВТС, определяющих их столкновение, но и возможностей лиц, принимающих решения, для разрешения ситуации с учетом ее действительной опасности. Далее машина нечеткого вывода, на вход которой подаются величины r, w и t, на выходе формирует числовое

значение $u \in [0, 4]$ – уровень опасности навигационной ситуации. Причем значение $u = 0$ соответствует наименьшему уровню опасности, $u = 4$ – наибольшему.

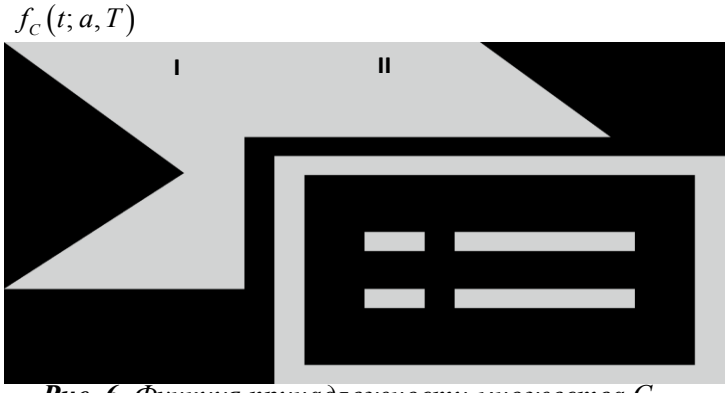


Рис. 6. *Функция принадлежности множества C*

Численное определение степени опасности внешней среды к эргатической системе

Определим степень опасности навигационной ситуации численно. Пусть в заданной акватории двигаются три судна и данные о навигационной обстановки получены от береговой информационной системы; скорость движения судов равна 5 м/с; радиус судового домена составляет $R_1 = R_2 = R_3 = 0{,}15$ мили; количество измерений N для оценки вектора s равно 20. Пусть значения параметров всех функций принадлежности $a = 1$, все другие параметры отвечают условию.

На рис. 7 изображены моделируемые траектории движения трех судов: два из которых (2 и 3) двигаются прямолинейно, третье (1) – маневрирует.

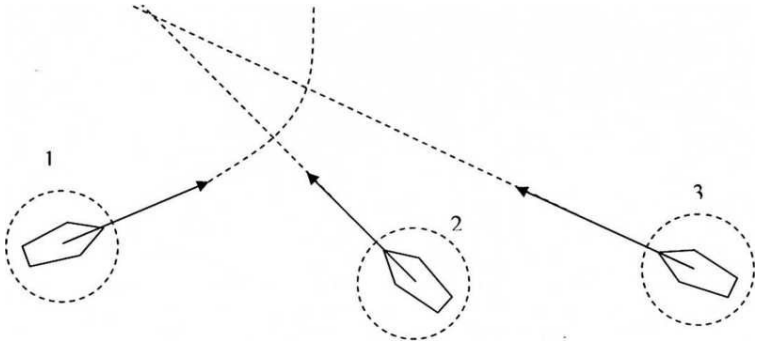


Рис. 7. *Моделирование траектории движения судов*

На рис. 8 представлены графики изменения значения величин u_A, u_B и u_C, с помощью которых определяется степень опасности навигационной ситуации. Так, из рис. 8а и рис. 8б видно, что уровень опасности для судов 1 и 2 при их сближении постоянно повышается, достигая величины $u \approx 4$.

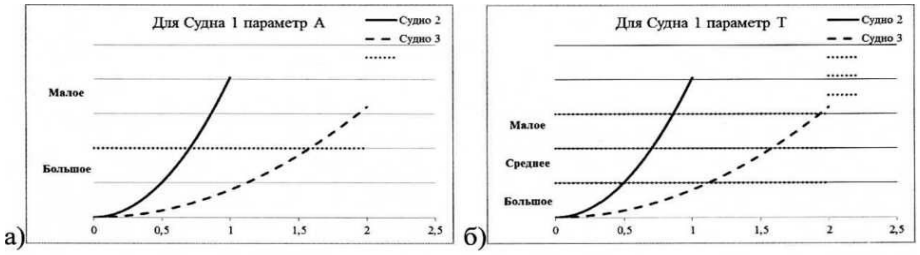


Рис. 8. *Результаты моделирования работы нечеткой системы при определении уровня опасности навигационной ситуации в соответствии с параметрами движения судов*

Выводы.

1. Эффективное оперативное управления судном в условиях интенсивного судоходства реализуем на модели ситуационного управления. Большое количество входных переменных при построении модели "внешняя среда – судно – судоводитель" требует разработки базы знаний и правил большого размера. Ее уменьшение достигается использованием не конкретных параметров системы, а классов ее состояний.

2. Разработанная модель определения навигационной ситуации при взаимодействии двух эргатических систем в зависимости от состояния судна по степени безопасности (опасности) предлагает один из вариантов управленческих воздействий: дальнейший мониторинг параметров движения судов в случае их безопасности или определение траекторий расхождения судов в случае их реальной или потенциальной опасности.

4. Стандартная модель движения судов дополнена уравнениями, характеризующими динамику изменений его основных показателей. В результате оценки вектора состояния двух судов формализованы параметры, характеризующие уровень опасности навигационной ситуации – расстояние, маневрирование, время.

5. Усовершенствована нечеткая математическая модель определения степени опасности внешней среды к эргатической системе, которая отличается от известных формализацией не только траекторных свойств водных транспортных средств, определяющих их столкновение, но и возможностей лиц, принимающих решение, для разрешения ситуации с учетом ее действительной опасности.

6. Проведенное моделирование траекторий движения судов в системе определения уровня навигационной опасности подтверждает правильность предлагаемых решений, что свидетельствует об адекватности предложенных модели и метода. Дальнейшие исследования направлены на разработку метода распознавания опасного сближения судов в акватории с интенсивным судоходством, построенного на предложенной модели.

Литература

1. Борисова Л.Ф. К вопросу построения конвергированной системы управления движением судов морского порта / Л.Ф. Борисова. Наука и образование 2009. Мат. междун. науч.-техн. конф. Мурманск, МГТУ, с. 1015-1019, 2009.
2. Таратынов В.П. Судовождение в стесненных районах [Текст] / В.П. Таратынов. М. : Транспорт, 1980, 29 с.
3. Вагущенко Л.Л. Поддержка решений по расхождению с судами / Л.Л. Вагущенко, А.Л. Вагущенко. Одесса: Феникс, 2010, 229 с.
4. Ольшамовский С.Б. Алгоритмы решения задач прогноза динамики расхождения судов на микро-ЭВМ / С.Б. Ольшамовский, В.В. Владимиров, И.В. Маричев, А.Н. Перекрестов. – Сб. трудов ЦНИИМФ. Л.: Транспорт, 1988, с. 21-39.
5. Walther L. Modeling and Optimization Algorithms in Ship Weather Routing / Walther L., Rizvanolli A., Wendebourg M., Jahn C. // International Journal of e-Navigation and Maritime Economy. 2016, Vol. 4. p. 31–45.
6. Климовский А.О. Подготовка судоводителей с использованием программного обеспечения с функцией планирования и исполнения перехода / А.О. Климовский, В.А. Рыжов // Компьютерные инструменты в образовании. 2017, № 6. с. 44-53.
7. Чертков А.А. Автоматизация выбора кратчайших маршрутов судов на основе модифицированного алгоритма Беллмана–Форда / А.А. Чертков // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. 2017. Т. 9. № 5. с. 1113-1122. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-5-1113-1122.
8. Flacco F. Depth Space Approach to Human-Robot Collision Avoidance / F. Flacco, T. Kroger, A. De Luca, O. Khatib // Proc. of IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation RiverCentre. –

Saint Paul, Minnesota, USA, 2012. P. 338-345.
9. Гриняк В.М. Распознавание опасных ситуаций системами управления движением судов / В.М. Гриняк, Б.С. Головченко, В.Н. Малько // Транспорт: наука, техника, управление. – 2011, №8, с. 42-45.
10. Гриняк В.М. Прогнозирование опасных ситуаций при управлении движением на море / В.М. Гриняк, А.С. Девятисильный // Известия РАН. Теория и системы управления. 2004, № 3, с. 127-136.
11. Егоров И.Б. Концепция зон навигационной безопасности и её применение в судовождении / И.Б. Егоров, В.А. Логиновский // Эксплуатация морского транспорта. 2012, №3, с. 13-17.
12. Зурабов Ю.Г. Судовые средства автоматизации предупреждения столкновения судов / Ю.Г. Зурабов, Р.Н. Черняев, Е.В. Якшевич, В.Я. Яловенко. М.:Транспорт. 1985, 264с.
13. Клименко В.Д. Учет человеческого фактора в судоходных компаниях [Текст]/ В.Д. Клименко, А.Е. Сазонов// Морские информационные технологии. СПб.: Изд-во «Элмор», 2002, Вып.2. с. 9-20.
14. Кондратьев А.И. Оперативный выбор безопасности маневров последнего момента в судовых навигационно-информационных системах / А.И. Кондратьев Оперативный выбор безопасности маневров последнего момента в судовых навигационно-информационных системах. Диссертация к.т.н., Новороссийск, 2002.145с.. Диссертация к.т.н., Новороссийск, 2002, 145с.

УДК 681.5:629.12

TCSE-АНАЛИЗ КАК ИНСТРУМЕНТ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ БУНКЕРОВКИ НА ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ

Тимощук Е.Н., Мельник О.В.

Киевский институт водного транспорта имени гетмана Петра Конашевича-Сагайдачного
г. Киев, Украина
E-mail: tumoshchuk_olena@ukr.net, olga-melnik81@ukr.net

Аннотация. *В статье рассмотрены надежность процесса бункеровки судов, как свойство технического объекта сохранять значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортировки. С целью проведения анализа надежности процессов бункеровки на водном транспорте определены основные факторы обеспечения надежности бункеровки (TCSE-анализ). Факторы сгруппированы по технико-технологическим, коммерческим, безопасносным и экологическим параметрам.*

Учитывая значимость групп факторов в системе, определен коэффициент общей надежности процесса бункеровки, который позволит выявить слабые места в управлении процессами бункеровки, проектировать процессы восстановления технических объектов, прогнозировать уровень выполнения контрактов и перспективные направления обновления технико-технологической базы.

Abstract. *The article discusses the reliability of the bunkering process of ships, as a property of a technical object to preserve the values of all parameters characterizing the ability to perform the required functions in given modes and conditions of use, maintenance, storage and transportation. In order to analyze the reliability of bunkering processes in water transport, the main factors to ensure the reliability of bunkering (TCSE analysis) were identified. Factors are grouped by technical and technological, commercial, safe and environmental parameters.*

Considering the importance of groups of factors in the system, the overall reliability ratio of the bunkering process was determined, which will identify weaknesses in the management of bunkering processes, design the recovery processes of technical facilities, predict the level of contract performance and promising areas for updating the technical and technological base.

Ключевые слова: *бункеровка, надежность, факторы надежности, TCSE-анализ, водный транспорт*

Key words: *bunkering, reliability, reliability factors, TCSE analysis, water transport*

Постановка проблемы. В транспортной системе Украины важное место занимает водный транспорт. Для его успешной работы большое значение имеет хорошо организованное и бесперебойное снабжение горюче-смазочными материалами - бункеровка. Процессы бункеровки судов на водном транспорте связаны с технико-технологическими, природными и экологическими условиями, в комплексном взаимодействии влияют на физическое состояние технических средств и инфраструктуры порта и судовладельцев, эффективность и своевременность портовых и перевозочных услуг, выполнения международного морского права и отдельно взятых контрактов.

Наибольшие трудности при оптимизации параметров производственно-транспортной системы возникают при оценке надежности ее функционирования и определении расходов, связанных со сбоями в работе отдельных звеньев. Поэтому оценку надежности системы бункеровки необходимо осуществлять, учитывая совокупность факторов безопасности для достаточного уровня обеспечения топливоснабжения в системе эксплуатации водного транспорта.

Анализ последних исследований и постановка проблемы. Большой научный вклад в решение проблемы совершенствования системы комплексного обслуживания флота и его бункеровки внесли М.А. Государев, В.Н. Захаров, В.П. Зачесов, Е.А. Зинь, В.Л. Зюзин, А.Г. Малышкин, В.А. Кутыркин, В.П. Маталин, А.К. Медведев, Н.С. Радюкин, Л.М.Рыжов, А.И.Телегин, В.М.Федюшин и др.

Непосредсвенно вопросами анализа рынка бункеровочных услуг посвящены работы авторов А.В. Абрамович, Ю.Ю. Гореловой, А.В. Кострова, Р.Р. Марковского, Н.И. Плявина, А.Г. Сацкого, В.А. Стариковского, К.Л. Терехова, В.І. Станкевича, А.А. Суханова, ж.б. Сепа, Дж.В. Тілла, Д. Формбі, В. Хойера, А. Хоскінса, Г.А. Черчиля та інших.

Ю.П. Кондратенко, Д.М. Подопригора исследовали автоматизацию технологического процесса бункеровки судов и рассматривали возможные подходы к решению проблемы повышения эффективности технологического процесса бункеровки судов путем повышения уровня его автоматизации.

Но недостаточно внимания уделялось исследованию надежности системы бункеровки, которая необходима для эффективного обслуживания флота. Для этого необходимо разработать метод анализа факторов надежности бункеровки, что позволит обеспечить безотказность, долговечность, ремонтопригодность, готовность и меры по обеспечению безопасности функционирования системы бункеровки.

Цель статьи. Определение основных факторов надежности в системе бункеровки. Разработка метода и схемы последовательности проведения TCSE-анализа надежности бункеровки.

Основная часть. Высокая надежность бункеровки, как один из показателей качества обслуживания судов, является жизненно необходимой в условиях конкурентной среды. Процессы бункеровки судов на водном транспорте связаны с технико-технологическими, природными и экологическими условиями, которые в своей совокупности влияют на физическое состояние технических средств и инфраструктуры порта и судовладельцев, эффективность и своевременность портовых и перевозочных услуг, выполнения международного морского права и отдельно взятых контрактов. Поэтому к основным условиям осуществления бунке-

ровки необходимо добавить еще и превентивные меры, реализуемые в совокупности факторов безопасности, что позволит управлять и прогнозировать угрозы. Технологические схемы бункеровки связаны прежде всего с техническими характеристиками и способами залива топлива на бункеровочные судна. Процесс бункеровки судов осуществляется по следующим технологическим схемам: в порту: автозаправщик - бункеровщик, автозаправщик - судно, в акватории порта: бункеровщик судно. Учет воздействий условий и схем бункеровки реализуется в системе управления процессами обеспечения надежности, является составляющей технико-технологических свойств технических средств на водном транспорте. Надежность - свойство технических объектов сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, которые характеризуют способность выполнять нужные функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортировки [1]. Под техническими объектами понимают устройства, приборы, механизмы, машины, комплексы оборудования, строительные конструкции и сооружения, технологические операции и процессы, системы связи, информационные системы, автоматизированные системы управления технологическими процессами.

Надежность является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения, может включать в себя безотказность, долговечность, ремонтопригодность и сохранность или определенные сочетания этих свойств [2] (табл. 1)

Методы теории и практики исследования надежности базируются на применении аппарата теории вероятностей и случайных процессов, математической статистики, моделирования. Анализ надежности проводят с целью [3]:

- проверки выполнимости установленных требований и (или) оценки вероятности достижения нужного уровня надежности составных частей и объекта в целом;
- проверки эффективности предложенных (реализованных) мероприятий по доработке конструкции, технологии изготовления, стратегии технического обслуживания и ремонта для повышения надежности;
- прогнозирование надежности и выбора рациональных путей обеспечения или повышения надежности.

Таблица 1.

Описание свойств надежности технических объектов

свойство	описание
безотказность	выполнение необходимых функций в определенных условиях в течение заданного интервала времени или наработки
долговечность	выполнение необходимых функций для перехода в предельное состояние при установленной системе технического обслуживания и ремонта
ремонтопригодность	способность к поддержанию и восстановлению состояния, в котором он способен выполнять нужные функции с помощью технического обслуживания и ремонта
сохранность	свойство объекта сохранять в заданных пределах значения параметров, характеризующих способность объекта выполнять нужные функции, во время и после хранения и (или) при транспортировке
готовность	свойство объекта, быть способным выполнять нужные функции, в заданных условиях в любое время или в течение заданного интервала времени при условии обеспечения необходимыми внешними ресурсами. 1. зависит от сочетания свойств и обеспечение технического обслуживания и ремонта. 2. необходимые внешние ресурсы, не относящиеся к ресурсам технического обслуживания и ремонта, не влияют на свойство готовности объекта

Методы анализа надежности используются для прогнозирования безотказности, долговечности, ремонтопригодности, готовности и мер по обеспечению безопасности объекта, а также для сравнения последствий прогнозирования с заданными требованиями [1]. ДСТУ 2861-94 устанавливает два основных подхода к анализу надежности объектов [1]:

- анализ надежности объекта по результатам мероприятий и способов по обеспечению надежности на этапах проектирования, производства и эксплуатации в соответствии с программой обеспечения надежности (УЗН)

- количественные методы анализа надежности объекта, основанные на анализе условий эксплуатации, причин и механизмов отказов, показателей надежности элементов, стратегий технического обслуживания и ремонта и т.д.

С целью проведения анализа надежности процессов бункеровки на водном транспорте определим основные факторы, влияющие на свойства. Группировка факторов осуществлена по технико-технологическим, коммерческим, экологическим, безопасным условиям (табл.2.).

Таблица 2

Факторы TCSE-анализа надежности бункеровки*

Группа факторов №п/п	Технико-технологические	Коммерческие	Факторы безопасности	Экологические
1	Схема залива топлива	Условия контрактов	Техническое состояние объектов транспорта	Сертификация
2	Проверка наливного груза	Исполнение контрактов	Уровень износа и энергоэффективности	Технологии защиты от разливов
3	Технологические карты бункеровки	Стоимость топлива и бункеровочных услуг	Контрактные условия (выполнения условий безопасности мореплавания)	Технологии обработки нефтесодержащих отходов
4	Технология обработки судна / топлива	Сертификация	Финансовое состояние участников сделки по бункеровки	Экологические сборы и разрешения
5	Схемы резервирования и транспортировки	Качество топлива	Природные условия и техногенные угрозы	Технические средства сбора разливов
6	Технология перелива	Расходы на содержание основных и оборотных средств, сопутствующие расходы	Уровень резервирования и затрат	Учет природных и техногенных условий среды
7	Технические условия бункеровки	Профессиональная подготовка персонала и оплата труда	Интенсивность чрезвычайных ситуаций (простоев, сбоев, разливов)	Расходы на экологическую безопасность
8	Обработка площадей, оборудования	Затраты на управление (портовые сборы, сертификация, экологические сборы и т.д.)	Изменения в международном и национальном праве, политические условия	Интенсивность загрязнений
9	Условия диспетчеризации	Стоимость информационной поддержки и технологий автоматизации процессов	Рейдерство, лоббирование и недобросовестная конкуренция	Масштабы загрязнений
10	Возвращение на базу, условия отстоя судна-бункеровщика	Уровень доходности и финансовое состояние	Уровень корпоративной безопасности	Последствия экологических загрязнений

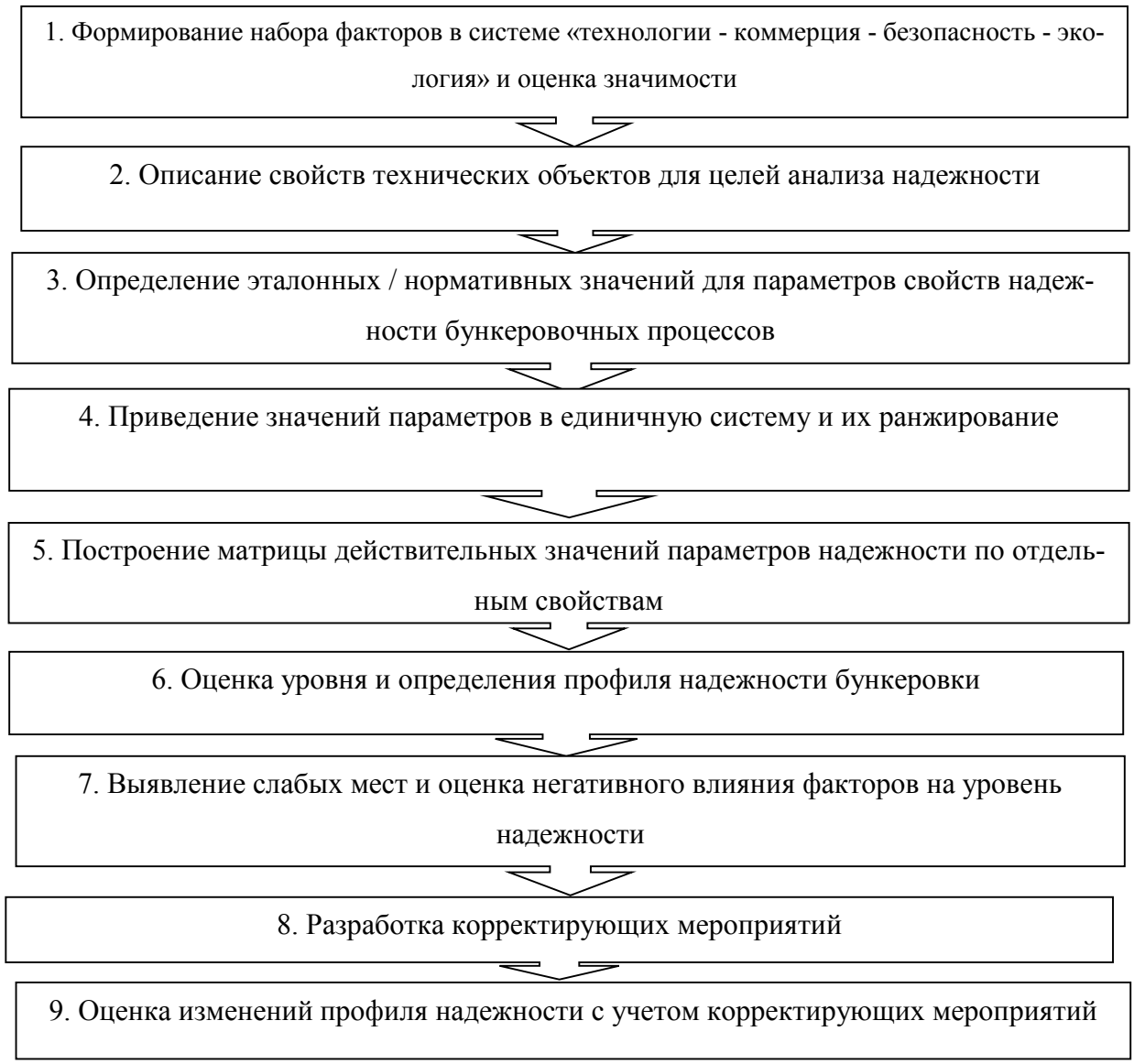
**разработано автором*

Поэтому предлагаем исследования факторов обеспечения надежности бункеровки назвать TCSE-анализом.

Описанная структуризация факторов позволяет формализовать функцию надежности:

$$f(H) = f(T,C,S,E) \quad (1)$$

Проведение TCSE-анализа описанных условий позволяет определить их значимость и их взаимосвязь в процессах обеспечения надежности бункеровки. Описание основных этапов TCSE-анализа представлены на рис.



*** разработана автором*

Рис. *Схема последовательности проведения TCSE-анализа надежности бункеровки*

После установки системы параметров по всем свойствам и исследования статистического массива информации определяем значения параметров обеспечения надежности в процессах бункеровки (табл. 3).

Приведение значений параметров для проведения TCSE-анализа надежности бункеровки в систему (1, 0) проводится с использованием отношения действительных значений по параметрам к эталонным / нормативным значениям:

$$Нп=Пр\ д/Пре, \quad (2)$$

где Нп – надежность по отдельному параметру, Пр д – действительное значение параметра надежности в исследуемом процессе бункеровки; Пре, - эталонное / нормативное значение надежности процесса бункеровки.

Таким образом, все полученные значения будут от нуля и в диапазоне сравнений. Далее производится преобразование эталонных / нормативных значений в систему от 0 до 1 с помощью ранжирования значений параметров в соответствии с профилем надежности. Профиль надежности отобразит характеристику отдельных свойств, при этом проранжированы параметры находятся в диапазоне сравнений. Определение уровня профиля надежности позволит выявить слабые места в обеспечении свойств безотказности, долговечности, ремонтопригодности, сохранности, готовности и ресурсоотдачи. Однако для выбора технологических карт и схем бункеровки необходимо проанализировать влияние системы факторов, которые во взаимодействии между собой формируют внешнюю среду функционирования технического средства и определяют его пригодность и износ. Описанные и структурированные в систему «технологии - комерция- безопасность- экология» факторы могут как положительно, так и отрицательно влиять на общий уровень надежности процесс бункеровки[4]. Поэтому целесообразно проводить оценку их влияния по параметрам свойств надежности и обобщать по группам. Формула для определения уровня надежности под воздействием отдельной группы факторов имеет вид:

$$Нф_i = \sum_{n=1}^{m} \frac{Пр_д}{Пр_е} * В_n \quad (3)$$

де В*n* - весомость п-го фактора в и-той группе факторов., п от 1 до 10 и от 1 до 4.

Таблица 3

Значения параметров обеспечения надежности в процессах бункеровки

Свойство	Параметры
1	2
1 Безотказность	1.1. Вероятность безотказной работы
	1.2. Вероятность отказа
	1.3. Частота отказов
	1.4. Интенсивность отказов
	1.5. Средняя наработка до первого отказа
2 Долговечность	2.1 Вероятность внесении изменений
3. Ремонтопридатность	3.1 Время корректировки, 3.2 Вероятность корректировки в заданное время, 3.3. Коэффициент готовности, 3.4 Параметр потока корректировок
4. Сохранность	4.1 Сохраняемость горюче-смазочных материалов
5. Готовность	5.1 Согласование технико-технологических условий
6. Ресурсоотдача	6.1 Фондорентабельность: Отношение прибыли к стоимости основных средств
	6.2 Фондоотдача: Отношение объема доходов к среднегодовой стоимости основных средств
	6.3 Своевременность
	6.4 Устойчивость: вероятность безотказной работы
	6.5 Обеспечение спроса

** разработана автором*

Учитывая отдельно весомость групп факторов в системе, находим коэффициент общей надежности процесса бункеровки:

$$Н = \sum_{i=1}^{4} Нф_i * B_i \quad (4)$$

Оценив общий коэффициент надежности процесса бункеровки на водном транспорте, можем выявить слабые места в управлении процессами бункеровки, проектировать процессы восстановления технических объектов, прогнозировать уровень удовлетворенности контрактов и перспективные направления обновления технико-технологической базы.

Выводы. Результаты выполненного исследования могут быть использованы для повышения эффективности процесса бункеровки судов на водном транспорте.

Литература

1. Василевський О.М. Нормування показників надійності технічних засобів: навчальний посібник/ О. М. Василевський, В.О. Поджаренко.Вінниця: ВНТУ, 2010, 129 с.
2. 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).
3. Плявин Н.И. Морские перевозки наливных грузов // М.А. Шаповал, Ю.В. Васильев., А.Г. Казимиров Москва.: Транспорт, 1991, 191 с.
4. Bunker Fuel: Supply, Demand and Pricing. Bunkerworld Business Exchange. [electronic resource Houston 2013, IEA Statistics. http://www.iea.org/statistics

GƏMİÇİLİK TEXNİKASI

UOT 621.43

GƏMİ DİZELLƏRİNDƏ YANACAĞIN BAŞLANĞIC PÜSKÜRMƏ TƏZYİQİNİN RİYAZİ EKSPERİMENTLƏRLƏ TƏYİN EDİLMƏSİNDƏN ALINAN İQTİSADİ SƏMƏRƏNİN HESABI

Axundov İ.S., Yadigarov T.A., İsmayılova Y.N.

Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası, Azərbaycan Dövlət İqtisad Universiteti
Az1000, Bakı şəh., Z.Əliyeva küç., 18; Az 1001, Bakı şəh., İstiqlaliyyət küç., 6
E-mail: i.akhundov@caspmarine.com, eqanai@mail.ru

Xülasə. *Məqalədə 6L20 markalı baş gəmi mühərriki motor yanacağı ilə işlədikdə yanacağın başlanğıc püskürmə təzyiqinin rasional qiymətinin riyazi eksperimentlərlə təyin edilməsindən alınan iqtisadi səmərənin hesablanması metodikasına və alınan iqtisadi səmərənin təyin edilməsinə baxılmışdır.*

Abstract. *The paper reviews the economic effect of calculating method as for determination of the rational value of start fuel injection with use of mathematical experiments on main diesel engine type of 6L20 operating on motor fuel and considered the results of engine efficiency.*

Аннотация. *В статье рассматривается методика расчета экономического эффекта в результате определения рационального значения давления начала впрыска топлива с помощью математических экспериментов при работе главного дизельного двигателя марки 6L20 на моторном топливе и определения полученной экономической эффективности.*

Açar sözlər: *motor yanacağı, yanacağın başlanğıc püskürmə təzyiqi, yanacaq verilməsinin qabaqlama bucağı, riyazi eksperimentlər, iqtisadi səmərə, istismar xərcləri, effektiv güc, Çeddok şkalası, yanacaq sərfi, əlavə xərclər*

Key words: *motor fuel, start fuel injection pressure, advanced angle of fuel injection, mathematical experiments, economical efficiency, operating cost, brake power, Ceddok scale, fuel consumption, additional expences*

Ключевые слова: *моторное топливо, давление начала впрыска топлива, угол опережения подачи топлива, математические эксперименты, экономическая эффективность, эксплуатационные расходы, эффективная мощность, шкала Чеддока, расход топлива, дополнительные расходы*

Giriş. Tədqiqatlar nəticəsində 6L20 markalı baş gəmi mühərriki standart dizel yanacağı ilə işlədikdə yanacağın başlanğıc püskürmə təzyiqinin və yanacaq verilməsinin qabaqlama bucağının uyğun olaraq *45MPa* və $9{,}8^0$ qiymətlərində həm yanma prosesinin parametrləri, həm də mühərrikin indikator və effektiv göstəriciləri qənaətbəxş olduğundan rasional qiymətlər kimi qəbul edilmişdir. Lakin, mühərrikdə motor yanacağından istifadə edildikdə riyazi eksperimentlər yolu ilə yanacağın başlanğıc püskürmə təzyiqinin və yanacaq verilməsinin qabaqlama bucağının rasional qiymətlərinin *50 MPa* və $9{,}8^0$ qəbul edilməsi müəyyən edilmişdir. Bu isə, ağır yanacağa keçdikdə yanacağın başlanğıc püskürmə təzyiqinin rasional qiymətinin dəyişməsi deməkdir. Ona görə də, tədqiqat nəticəsində alınmış bu nəticənin iqtisadi səmərəliliyi təyin edilməlidir.

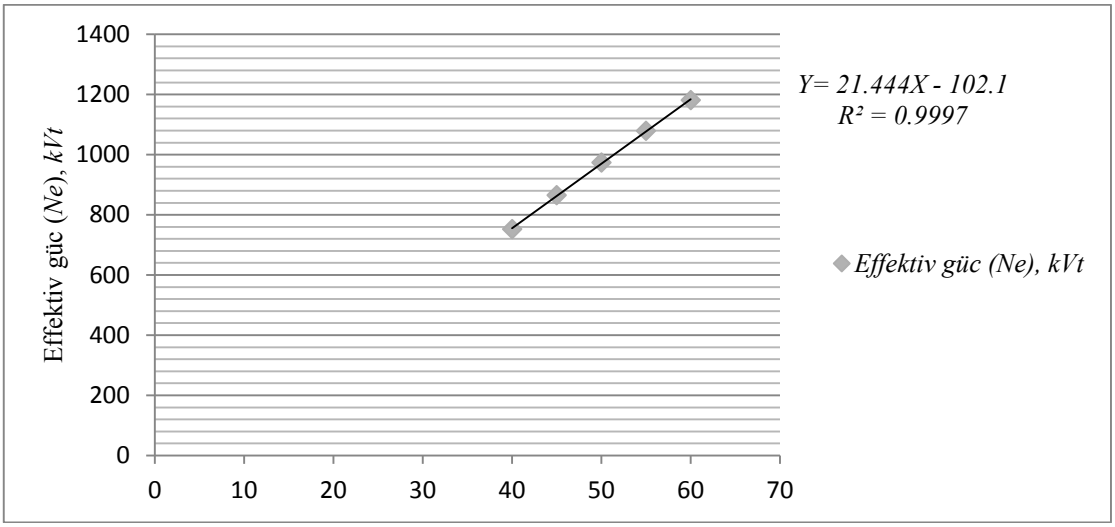
İqtisadi səmərənin hesablanmasının əsaslandırılması. Mühərrikin effektiv gücünün dəyişməsi onun istismar xərclərinə də təsir edir. 6L20 markalı baş gəmi dizeli motor yanacağı ilə işlədikdə onun effektiv gücünün forsunkanın başlanğıc püskürmə təzyiqindən asılı olaraq dəyişməsi cədvəl 1-də göstərilmişdir.

Cədvəl 1.

6L20 markalı baş gəmi mühərriki dizel və motor yanacağı ilə işlədikdə forsunkanın başlanğıc püskürmə təzyiqi, p_{fx}, *MPa* (X)	40	45	50	55	60
Effektiv güc (*Ne*), *kVt (Y)*	752,5	864,5	973,3	1078,7	1181,5

6L20 markalı baş gəmi dizeli motor yanacağı ilə işlədikdə forsunkanın başlanğıc püskürmə təzyiqi ilə effektiv güc arasında olduqca yüksək korrelyasiya əlaqəsi vardır və bu əlaqə *Y = 21,444X - 102,1* funksional asılılığı ilə ifadə olunur. EXCEL proqramında bu göstəricilər arasındakı asılılıq şəkil 1-də göstərilmişdir.

Şəkildən göründüyü kimi determinasiya əmsalı $D=\sqrt{0,9997}$ =0,9998≈ 1 – ə bərabərdir. Çeddok şkalasına əsasən 6L20 markalı baş gəmi mühərriki motor yanacağı ilə işlədikdə forsunkanın başlanğıc püskürmə təzyiqi ilə mühərrikin effektiv gücü arasında funksional asılılıq vardır.

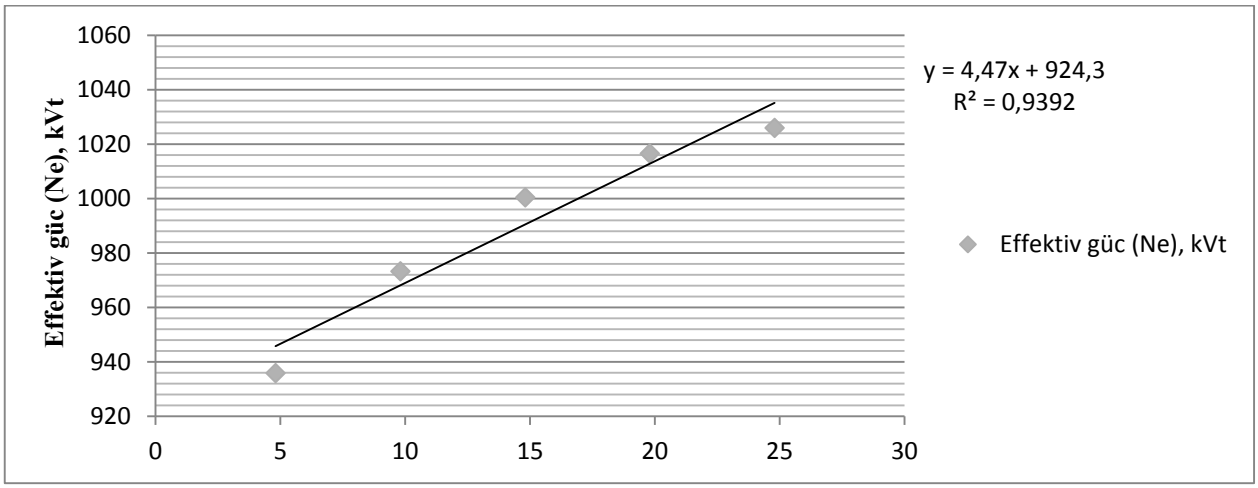


Şəkil 1. *6L20 markalı baş gəmi dizeli motor yanacağı ilə işlədikdə forsunkanın başlanğıc püskürmə təzyiqi ilə effektiv güc arasındakı asılılıq*

6L20 markalı baş gəmi dizeli motor yanacağı ilə işlədikdə yanacaq verilməsinin qabaqlama bucağı ilə effektiv güc arasındakı asılılıq şəkil 2-də göstərilmişdir. Bu şəkildən göründüyü kimi 6L20 markalı baş gəmi mühərriki motor yanacağı ilə işlədikdə yanacaq verilməsinin qabaqlama bucağı ilə effektiv güc arasında y = 4,47x + 924,3 çüt korrelyasiyanın xətti reqresiya tənliyi ilə ifadə olunan əlaqə tənliyi vardır. Yanacaq verilməsinin qabaqlama bucağı ilə effektiv güc arasında asılılıqda determinasiya əmsalı $D=\sqrt{0,9392}$=0,969-a bərabərdir. Bu əlaqə sıxlığının kəmiyyət göstəricilərinə əsasən əlaqə asılılığı gücü olduqca yüksəkdir. Qeyd etmək lazımdır ki, tədqiq olunan göstəricilər arasındakı əlaqənin sıxlığını qiymətləndirmək üçün cüt korreyasiyanın xətti əmsalı hesablanır. Bu əmsal aşağıdakı düsturla hesablanır [3,4]:

$$r_{xy} = \frac{\sum(y-\bar{y})(x-\bar{x})}{\sqrt{\sum(y-\bar{y})^2 \sum(x-\bar{x})^2}} \quad (1)$$

Əmsalın qiyməti [-1; 1] aralığında dəyişir. r_{xy}-əmsalının vahidə yaxın olması bu göstəricilər arasında sıx korrelyasiya asllılığının olduğunun göstərir. $r_{xy} = 0$ olması isə xətti asılılığın olmadığını göstərir. Əmsalın sıfra bərabər olması tədqiqat obyektləri arasında xətti asılılığın olmamasına baxmayaraq, qeyri-xətti asılılıq da ola bilər. Göstəricilər arasındakı asılılığ dərəcəsi əsasən Çeddok şkalasına görə müəyyən edilir [6, 8 səh.6]. Bu şkala cədvəl 2-də verilmişdir.



Şəkil 2. *6L20 markalı baş gəmi dizeli motor yanacağı ilə işlədikdə yanacaq verilməsinin qabaqlama bucağı*

Qeyd etmək lazımdır ki, cüt korrelyasiyanın xətti əmsalı eyni zamanda səbəb və nəticə göstəricilərinin istiqamətini də müəyyən edir. Belə ki, əgər $r_{xy} > 0$ olarsa, göstəricilər arasında düz əlaqə vardır. Yəni səbəb amilinin(x) artması ilə nəticə göstəricisinin (y) qiyməti də artır.

Cədvəl 2.

Çeddok şkalası

Əlaqə sıxlığının kəmiyyət göstəriciləri	*Əlaqə asılılığı gücünün keyfiyyət xarakteri*
0	*Əlaqə yoxdur*
0,1-0,3	*Zəif*
0,3-0,5	*Orta*
0,5-0,7	*Hiss olunan*
0,7-0,9	*Yüksək*
0,9-0,99	*Olduqca yüksək*
1	*Funksional*

Əgər, $r_{xy} < 0$ olarsa, bu halda göstəricilər arasında əks əlaqə mövcuddur. Yəni, səbəb amilinin (x) artması ilə nəticə göstəricisinin (y) qiyməti azalır. Cüt korrelyasiyanın xətti əmsalını təyin etmək üçün KORREL statistik funksiyasından istifadə edilir [3,4]:

$$\boldsymbol{r_{xy}} = \frac{\sum(\boldsymbol{y}-\bar{\boldsymbol{y}})(\boldsymbol{x}-\bar{\boldsymbol{x}})}{\sqrt{\sum(\boldsymbol{y}-\bar{\boldsymbol{y}})^2 \sum(\boldsymbol{x}-\bar{\boldsymbol{x}})^2}} = \frac{(4850{,}5-970{,}1)(250-50)}{\sqrt{15057504*40000}} = \frac{776080}{776079{,}996} = 1{,}0 \qquad (2)$$

Çeddok şkalasına görə, 6L20 markalı baş gəmi mühərriki motor yanacağı ilə işlədikdə forsunkanın başlanğıc püskürmə təzyiqi ilə mühərrikin effektiv gücü arasında funksional asılılıq vardır. Determinasiya əmsalı [0; 1] aralığında dəyişir. Əmsalın 1-ə yaxın olması əlaqənin keyfiyyətinin yüksək olmasını göstərir. Determinasiya əmsalı nəticə göstəricilərinin dəyişmə payının şərtləşdirilmiş variyasiya amili hesabına dəyişməsini, $(1- r_{xy}) = 0$ isə nəticə göstəricisinin dəyişməsinin, modelə daxil olmayan digər amillər hesabına baş verməməsini göstərir. Bu əsasda deyə bilərik ki, 6L20 markalı baş gəmi mühərriki motor yanacağı ilə işlədikdə forsunkanın başlanğıc püskürmə təzyiqi mühərrikin tam effektiv gücü hesabına dəyişmişdir.

İqtisadi səmərənin hesabı. 6L20 markalı baş gəmi mühərrikinin effektiv gücünün dəyişməsi gəminin sürətinə də təsir göstərir. Aparılmış tədqiqata əsasən gəminin hərəkət sürətinin dəyişməsini müəyyən edək.

"Gəncə" tipli gəmilərdə 6L20 markalı baş gəmi dizelinin istismarı şəraitində gəminin hərəkət sürəti (V_r^{δ}) aşağıdakı bərabərlikdən təyin edilə bilər [1 səh.196]:

$$\frac{(V_r^{\varepsilon})^3}{(V_r^{\delta})^3} = \frac{N_e}{N_e^{\delta}} \ , \tag{3}$$

burada V_r^{ε} - gəminin ilkin sürətidir, *uzel*; N_e- mühərrikin ilkin gücü, *kVt*; N_e^{δ} - mühərrikin dəyişən gücü, *kVt*.

Mühərrik motor yanacağı ilə işlədikdə forsunkanın başlanğıc püskürmə təzyiqinin rasional qiyməti *50 MPa*-ya dəyişdirildıkdə gəminin sürəti (3) ifadəsinə görə aşağıdakı kimi olar:

$$V_r^{\delta} = \sqrt[3]{\frac{N_e^{\delta} \times (V_r^{\varepsilon})^3}{N_e}} = \sqrt[3]{\frac{973{,}3 \times 10{,}5^3}{864{,}5}} \approx 10{,}923 \ uzel \ , \tag{4}$$

burada $V_r^{\varepsilon} = 10{,}5 \ uzel$ - gəminin ilkin sürətidir.

Hesablamadan göründüyü kimi gəminin hərəkət surəti 0,423 *uzel* artmışdır. Əgər "Gəncə" gəmisinin üzmə məsafəsi *L≈1064 mil* olarsa, bu halda gəminin getmə-gəlməyə sərf edilən hərəkət vaxtı ilkin $V_r^{\varepsilon} = 10{,}5 \ uzel$ sürətlə, $t_h^{\varepsilon} = \frac{1064 \times 2}{24 \times 10{,}5} = 8{,}44 \ gün$, V_r^{δ}=10,923 *uzel* sürətlə isə $t_h^{\delta} = \frac{1064 \times 2}{24 \times 10{,}923} = 8{,}1 \ gün$ olacaqdır. Aparılmış hesablamaya əsasən gəminin reys vaxtı, dayanmalara sərf edilən vaxt 7 gün təşkil etdiyindən $t_p^{\varepsilon} = 15{,}44 \ gün, t_p^{\delta} = 15{,}1 \ gün$ olacaqdır.

Gəminin illik istismar müddəti $T_i = 330 gün$ ərzində reyslərinin sayı hər iki halda aşağıdakı kimi olacaqdır:

$$m^{\varepsilon} = \frac{330}{15{,}44} = 21{,}37$$

$$m^{\delta} = \frac{330}{15{,}1} = 21{,}85$$

Alınmış hesablamaya əsasən belə nəticəyə gəlmək olar ki, "Gəncə" tipli gəmilərdə mühərrik motor yanacağına keçdikdə forsunkanın başlanğıc püskürmə təzyiqinin rasional qiyməti *50 MPa*-ya dəyişdirilərsə, istismar müddəti ərzində gəmi 0,48 *reys* çox edəcəkdir.

6L20 tipli baş gəmi dizelində yanacaq növü dəyişdirildikdə aparılan riyazi eksperimentlərin nəticələrindən aydın olur ki, forsunkanın başlanğıc püskürmə təzyiqinin rasional qiyməti dəyişdikdə "Gəncə" gəmisinin yanacaq sərfiyyatı da dəyişəcəkdir. Gəminin illik yanacaq sərfiyyatını təyin etmək üçün aşağıdakı ifadədən istifadə olunur [7, 1 səh.196-198]:

$$Q_t = \frac{g_e \times N_e \times T_x}{10^6} \ , \tag{5}$$

burada g_e - mühərrikin xüsusi effektiv yanacaq sərfi, $\frac{q}{kVt \cdot saat}$, N_e - mühərrikin effektiv gücü, *kVt*; T_x - bir ildə mühərrikin işlədiyi saatlardır:

$$T_x = t_h \cdot m \ , saat/il \tag{6}$$

Onda,

$$T_x^{\varepsilon} = 8{,}44 \times 21{,}37 = 180{,}3628 \ gün/il = 4329 \ saat/il$$

$$T_x^{\delta} = 8{,}1 \times 21{,}85 = 176{,}985 \ gün/il = 4248 \ saat/il$$

Cədvəl 4.8-ə əsasən $g_e^{\varepsilon} = 201{,}3 \frac{q}{kVt \cdot saat}$ $g_e^{\delta} = 226{,}6 \frac{q}{kVt \cdot saat}$ olduğundan, 1il ərzində forsunkanın başlanğıc püskürmə təzyiqinin *45 MPa* və *50 MPa* qiymətlərində sərf olunan yanacağın uyğun miqdarları:

$$Q_t^{\varepsilon} = \frac{226{,}6 \times 864{,}5 \times 4329}{10^6} = 848{,}03\ ton$$

$$Q_t^{\delta} = \frac{201{,}3 \times 973{,}3 \times 4248}{10^6} = 832{,}29\ ton$$

Deməli, mühərrik motor yanacağı ilə işlədikdə forsunkanın başlanğıc püskürmə təzyiqinin rasional qiyməti dəyişdirilməzsə, daha doğrusu, *45 MPa* saxlanılarsa, onda,

$\Delta Q_T = Q_t^{\varepsilon} - Q_t^{\delta} = 848{,}03 - 832{,}29 = 15{,}74\ ton$, əlavə yanacaq tələb olunacaqdır.

Bundan sonra, ümumilikdə yanacaq və sürkü materiallarına tələb olunan əlavə xərclər aşağıdakı düsurla hesablanır [2, 5]:

$$\Delta R_T = k \cdot S_T \cdot \Delta Q_T \quad manat \tag{7}$$

burada $k = (1{,}01 \div 1{,}02)$ −yağlama və sürtgü materiallarını nəzərə alan əmsal; $\Delta Q_T -$ gəminin əlavə yanacaq sərfiyyatı, *ton*; S_T - ağır yanacağın orta topdan satış qiymətidir, *manat*. Onda (7) ifadəsinə görə alarıq:

$$\Delta R_T = 1{,}02 \cdot 15{,}74 \cdot 614 = 9857{,}65\ manat.$$

Beləliklə, yanacaq və sürkü materiallarına tələb olunan əlavə xərclər *9857,65 manat* təşkil edir.

6L20 dizel mühərriki *DT* markalı ağır yanacaqla işlədikdə forsunkanın başlanğıc püskürmə təzyiqindən asılı olaraq yerinə yetirilən riyazi eksperimentlərin iqtisadi səmərliliyini aşağıdakı kimi müəyyən etmək olar.

Riyazi model olmadan eksperimentlərin aparılması üçün gəmi açıq dənizə çıxmalı və həmin sınaqlar gəminin dayanıqlı və hərəkət rejimlərində, tam gücü ilə işlədikdə, yanacağın başlanğıc püskürmə təzyiqinin uyğun olaraq *45MPa, 50MPa*, *55MPa*, *60MPa* qiymətləri və yanacaq verilməsinin qabaqlama bucağının $9{,}8^0$ və s. qiymətlərində mühərrikin effektiv göstəriciləri qənaətbəxş qiymətlər alana qədər davam etdirilməsi əlavə vaxt itkisinə və əlavə xərclərin yaranmasına səbəb olur. Belə ki, bu məqsədlə gəmi sahilə çatdıqdan sonra, ona veriləçək yanacağın tipi məlum olduqdan sonra o, yenidən sahildən uzaqlaşaraq açıq dənizdə müxtəlif rejimlərdə mühərrikin effektiv göstəriciləri qənaətbəxş qiymətlər alana qədər sınaqların davam etdirilməsinə orta hesabla, təxminən 4-5 *saat* vaxt lazım olur. Onda həmin müddət ərzində gəminin dayanıqlı və hərəkət rejimlərində 4 saatlıq istismarına çəkilən xərc, 1 gəmi saatının maya dəyəri orta hesabla 358,2 *manat* olduğundan (2015-ci ilin yekununa əsasən), *1432,8 manat* təşkil edəcəkdir. Əgər forsunkanın başlanğıc püskürmə təzyiqinin rasional qiymətinin ildə ən azı bir dəfə təyin olunduğu qəbul olunarsa. Onda, ümumi illik səmərə *1432,8 + 9857,65 = 11290,45 manat* olar. Yəni riyazi eksperimentlər hesabına gəminin istismar və sınaq xərcləri *11290,45 manat* azalmış olur.

Nəticə. Beləliklə, 6L20 tipli gəmi dizellərində yanacağın başlanğıc püskürmə təzyiqinin riyazi ekspermentlərlə təyin edilməsindən əldə edilən iqtisadi səmərənin hesabında alınan aşağıdakı nəticələri qeyd etmək olar:

- 6L20 markalı baş gəmi mühərriki motor yanacağı ilə işlədikdə forsunkanın başlanğıc püskürmə təzyiqi ilə effektiv güc arasında olduqca yüksək korrelyasiya əlaqəsi vardır və bu əlaqə *Y= 21,444X - 102,1* tənliyi ilə ifadə olunan funksional asılılığı ifadə edir;

- 6L20 markalı baş gəmi mühərriki motor yanacağı ilə işlədikdə yanacaq verilməsinin qabaqlama bucağı ilə effektiv güc arasında y = 4,47x + 924,3 çüt korrelyasiyanın xətti reqresiya tənliyi ilə ifadə olunan əlaqə tənliyi vardır;

-"Gəncə" tipli gəmilərin 6L20 markalı baş gəmi dizelinin istismarı şəraitində motor yanacağından istifadə olunduqda forsunkanın başlanğıc püskürmə təzyiqinin təklif olunmuş rasional qiyməti (50 *MPa*) tətbiq edildikdə mühərrikin effektiv gücünün artması hesabına gəminin hərəkət sürəti 0,423 *uzel* artmışdır. Bu proses qeyd olunan sınaqlar aparılan istənilən gəmidə müşahidə olunacaqdır;

- Tədqiqat nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, gəminin hərəkət sürətinin 0,423 *uzel* artması onun illik istismar müddəti ($T_i = 330 gün$) ərzində reyslərinin sayını 0,48 vahid artırır;

- Riyazi eksperimentlər hesabına gəminin istismar və sınaq xərcləri *11290,45 manat* azalmış olur ki, bu da gəminin işinin rentabelliyini artırır.

Ədəbiyyat

1. Yadigarov T.A. Azərbaycan iqtisadiyyatında dəniz nəqliyyatı: problemlər və perspektivlər. Monoqrafiya. Avrora nəşriyyatı, Bakı, 2018, 330 səh.
2. Yadigarov T.A. İqtisadi-riyazı modellərin tətbiqi ilə dəniz nəqliyyatında gəmilərin istismarının optimallaşdırılması // AMEA İqtisadiyyat İnstitutunun Elmi əsərləri, 2016, №3 s.48-54
3. Yadigarov T.A. Azərbaycanda dəniz nəqliyyat yükdaşımaların səviyyəsinin korrelyasiya-reqressiya metodu ilə təhlili // AMEA İqtisadiyyat İnstitutunun Elmi əsərləri, 2017, №4 s. 97-103
4. Ядигаров Т.А. Применение экономико-математического метода и анализ рентабельности производства в отраслях морского транспорта //Актуальные проблемы экономики и управления на транспорте. Материалы 4-й международной научно-практической конференции Владивосток: Морской гос. ун-т, 2014, с.52- 53
5. Ядигаров Т.А. Методы прогнозирования основных показателей развития транспортной системы / Актуальные проблемы экономики и управления на транспорте. Материалы 5-й международной научно-практической конференции Владивосток: Морской гос. ун-т, 2015, с.52- 54
6. Ядигаров Т.А. Анализ рентабельности производства на судоремонтных заводах с применением экономико-математического метода// Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии, Россия, №1 ч.3, 2017, с.154-157
7. Ядигаров Т.А. Повышение роли внешнеэкономических связей в морском транспорте и методы прогнозирования // Экономика и предпринимательство, Москва, № 12 (2) 2016, с. 567-571.
8. Репова М.Л. Эконометрика: метод. указания и задания к выполнению контрольной работы / М.Л. Репова. Архангельск: Арханг. гос. техн. ун-т, 2010, 32 с.

UOT 621.31

GƏMİ ELEKTRİK STANSİYASININ ASİNXRONLAŞMIŞ SİNXRON GENERATORLARININ İŞÇİ XARAKTERİSTİKALARININ TƏDQİQİ

Cəlilov T.A.

Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası
Az1000, Bakı şəh., Z.Əliyeva küç.,18
E-mail: turyancelil@gmail.com

Xülasə. *Məqalədə gəmi elektrik stansiyasının asinxronlaşmış sinxron generatorlarının işçi xarakteristikalarının tədqiqi aparılmış və bu xarakteristikaların yaxşılaşdırılması üçün təkliflər verilmişdir.*

Аннотация. *Исследованы рабочие характеристики асинхронизированного синхронного генератора СЭС и предложены методы улучшения указанных характеристик.*

Abstract. *İn this article has been investigated work of the asynchronized synchronous generators of the ship's power plant and made recommendations for improving these characteristics.*

Açar sözlər: *gəmi, elektrik stansiyası, tezlik, asinxronlaşmış sinxron generator, fırlanma tezliyi, təsirlənmə tezliyi*

Ключевые слова: *судно, электрическая станция, асинхронизированный синхронный генератор, частота вращения, частота возбуждения*

Key words: *ship, power station, asynchronized synchronous generator, rotation frequency, excite frequency*

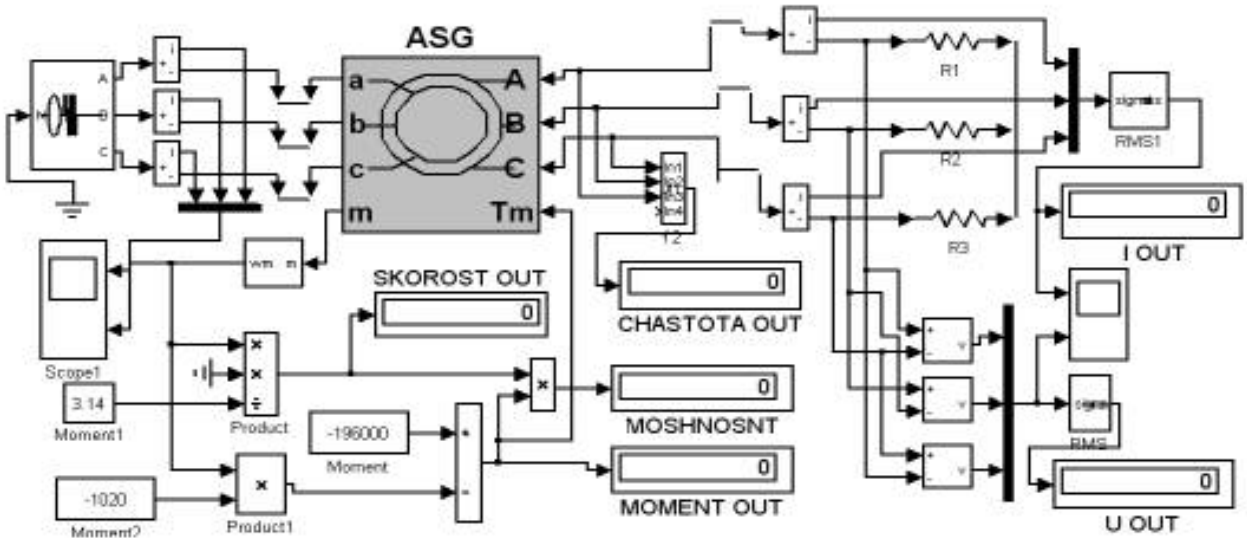
Giriş. Gəmi elektrik stansiyasının dizel generatorlarından alınan elektrik enerjisinin parametrlərinin stabilliyinin təmin olunması vacib məsələdir. Elektrik enerjisinin stabilliyi elektrik stansiyasının dəyişən yüklə işləməsi zamanı da təmin olunmalıdır [1].

Bu problemin effektiv həlli gəmi elektrik stansiyasında asinxronlaşmış sinxron generatorun tətbiqi ilə mümkündür. Asinxronlaşmış sinxron generator sinxron generatordan onunla fərqlənir ki asinxronlaşmış sinxron generator tərəfindən yaradılan maqnit sahəsi rotora nisbətən yerini dəyişir. Asinxronlaşmış sinxron generator asinxron maşınlardan onunla fərqlənirki yerini dəyişən maqnit sahəsi kənar mənbədən verilir və idarə olunur. İşin məqsədi qeyri stabil mexaniki enerji mənbəyindən stabil gərginlik və tezliyin alınmasının mümkünlüyünü tədqiq etmək üçün ASG-un sadə modelini təqdim etməkdir.

Əsas hissə. Asinxronlaşmış sinxron generatorun (ASG) fiziki modelinin tədqiqi xeyli maddi vəsait xə xeyli zəhmət tələb edir. Lakin müasir texnologiyalar, riyazi kompyuter modelərindən istifadə etməklə, heç bir material isifadə etmədən obyektin parametrlərini tədqiq etmək mümkündür. Belə kompyuter modellərindən ən effektivi Matlabdır.

Problemin modelləşdirilməsinin ən mürəkkəb işi tədqiqat obyektinin modelinin hazırlanmasıdır. Belə mürəkkəb iş Matlab Simulink proqramının kitabxanasının element və bloklarınının mövcudluğu sayəsində asan həll edilir.

Bu proqram cəbri və differensial tənliklər sisteminin həllini və tərtibini aradan qaldırır və işlənən modelin vizual idarəsini təmin edir. Matlab proqramının kitabxanası istənilən zaman asıllıqlı siqnal mənbələrinin, istənilən sayda enerji mənbələrini, istənilən ötürmə xarakterli çeviriciləri, istənilən sayda elektromexaniki çeviriciləri, virtual qurğuları, rəqəmsal növdə onun qiymətini və zamanının dəyişməsini qeyd ediciləri özündə cəmləşdirir. Yuxarıda qeyd edilənlərə əsasən bu nəticəyə gəlmək olar ki, ASG-nun tədqiqini Simulink sistemində etməklə problemi həll etmiş olarıq. Odur ki, məqalədə ASG-nun Simulink modeli tərtib olunmuş və işçi xarakteristikaları çıxarılmışdır.



Şəkil 1. *ASG-nun Simulink modeli*

Simulink kitabxanasının elemetlərindən tədqiqat sxeminin virtual modelini tərtib edək: İdarə olunan parametrlərin ölçülməsi üçün proqramı açırıq. Sxemin elementlərinin elektrik parametrlərini real gəmi elektrik stansiyasının sinxron generatorlarının parametrlərinə yaxın götürməklə daxil edirik. Hər daxil edilmiş parametrləri üçün alınmış nəticələrə əsasən asıllıq qrafiki qurulur.

Generatorun xarakteristikalarını təyin etmək üçün qurulan stendin tərkibinə ASG, təsirləndirici qida mənbəyi və yük daxildir. ASG kimi Simulink kitabxanasından faza rotorlu üç fazalı asinxron maşın modeli qəbul olunur. Təsirləndirici mənbə kimi kitabxanadan üç fazalı gərginlik mənbəyi, elektrik yükü olaraq rezistorlar seçilir. Model aşağıdakı kimi işləyir.

Rotora yönəlmiş moment verilən momentlə və fırlanma tezliyinə mütənasib momentin fərqi kimi alınır. Bu da generatorun müxtəlif elektrik yüklərində fırlanma tezliyini stabilləşdirməyə imkan verir. Üç fazalı mənbədən üç fazalı rotor dolağına yönələn gərginlik rotorda rotora nəzərən fırlanan maqnit sahəsi yaradırki bu maqnit sahəsi statorda elektrik hərəkət qüvvəsi (ehq) induksiyalayır. Statorda yaranan ehq-nin tezliyi rotora nəzərən fırlanan maqnit sahəsi və rotorun fırlanma tezliyinin cəbri cəminə mütənasib olur. Stator dolağının ehq-nin təsiri altında elektrik yüklərindən cərəyan keçir və beləliklə generatordan yükə enerji bu şəkildə ötürülür. Rotordakı maqnit axının cəbri cəmi statorda yaranan ehq-nin cəmini formalaşdırır [2].

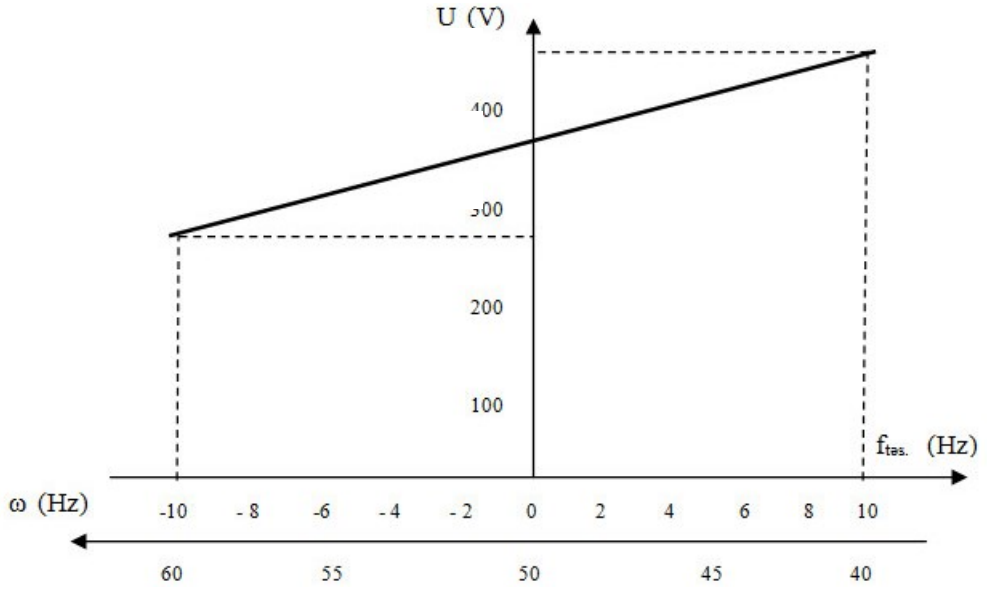
ASG-nin xüsusiyyəti ondadır ki, ehq ümumi təsirlənmə gərginliyindən çıxılaraq rotorda induksiyalanır, odur ki, təsirlənmə cərəyan bu fərqə görə keçir, yəni sinxron generatorda olduğu kimi təsirlənmə mənbəyindən keçmir. Bu xüsusiyyət onu sinxron və asinxron generatorlardan əhəmiyyətli dərəcədə fərqləndirir. Prototip kimi qəbul olunmuş sinxron dizel generatorların parametrləri gücü 200 kvt , nominal gərginliyi 380V-dur. Tədqiqat prosesi təsirlənmə tezliyinin və gərginliyinin fırlanma tezliyinin yük müqavimətinin dəyişdirilməsi ilə aparılır [3].

Yüksüz işləmə xarakteristikası.

Müəyyən edilmişdir ki, nominal nüqavimət ilə müqayisədə rezistorlardan ibarət yük müqavimətinin 2 dəfə böyük qiymətində yük cərəyanı əhəmiyyətsiz qiymətə malik olur. Fırlanma tezliyi 40÷60 Hz diapazonunda, təsirlənmə tezliyi isə ±10 Hz diapazonunda dəyişdirilir.

Təsirlənmə gərginliyi belə müəyyən edilir ki, rotorun 50 Hz fırlanma tezliyində və təsirlənmə tezliyinin sıfır halında statorda və 50 Hz tezlikli 380 V ehq induksiyalanır.

Tədqiqat prosesində təsirlənmə tezliyinin sıfır qiymətində fırlanma tezliyi sonra isə fırlanma tezliyinin 50 Hz qiymətində təsirlənmə cərəyanı dəyişdirilir. Tədqiqatın nəticəsi şəkil 2–də göstərilmişdir.



Şəkil 2. *Yüksüz iş rejimində təsirlənmə tezliyinin və təsirlənmə cərəyanının generatorun gərginliyindən asılılığı*

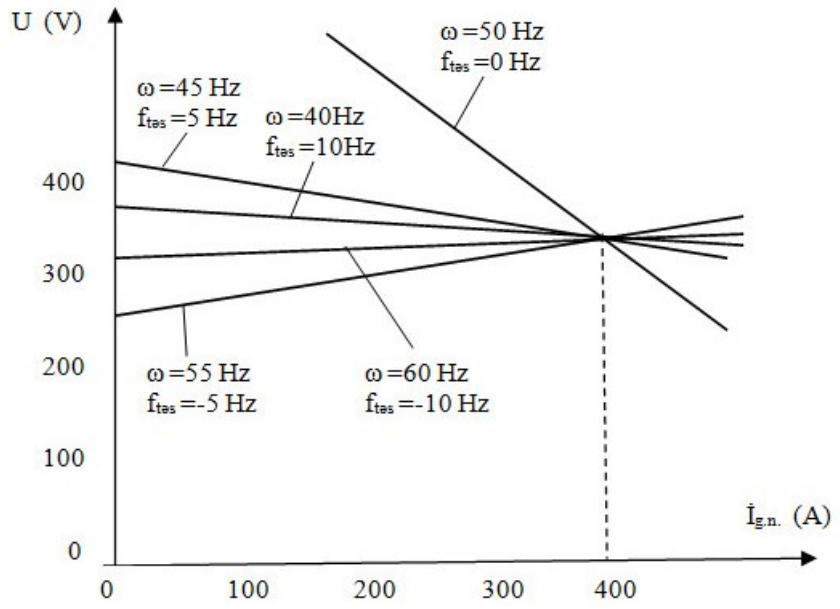
Qrafikdən görünür ki, generatorun gərginliyinin təsirlənmə və fırlanma tezliyindən asıllığı

$$\frac{dU}{df} = \frac{50V}{Hz}$$

əmsalı ilə eyni cür dəyişilir.

Beləliklə rotorun fırlanma tezliyini, rotora nəzərən təsirlənmə maqnit sahəsinin fırlanma tezliyini və ya onları birlikdə tənzim etməklə generatorun gərginliyi üçün arzu olunan qiyməti almaq olar.

Xarici xarakteristika. Məlum olduğu kimi, gəmi elektrik stansiyasının generatorları tərəfindən hasil olunan gərginlyin tezliyi üçün 50Hz müəyyən edilmişdir. Qurulan modeldə fırlanma tezliyinin dəyişilmə diapazonu 40÷60 Hz, təsirlənmə tezliyinin dəyşilmə diapazonu ±10Hz, beləliklə hasil olunan gərginlik 50Hz olur. Təsirlənmə gərginliyi belə müəyyən edilir ki, nominal yük cərəyanında və hasil olan gərginliyin tezliyinin 50Hz qiymətində hasil olunan gərginlik 380V olur. Generatorun yükü müqaviməti dəyişilə bilən rezistorlardan ibarət yük vasitəsilə dəyişilir. Generatorun xarici xarakteristikası şəkil 3-də göstərilmişdir.



Şəkil 3. *ASG-nun çıxış gərginliyinin tezliyinin 50 Hz qiymətində xarici xarakteristikası*

Qrafikdən görünür ki:

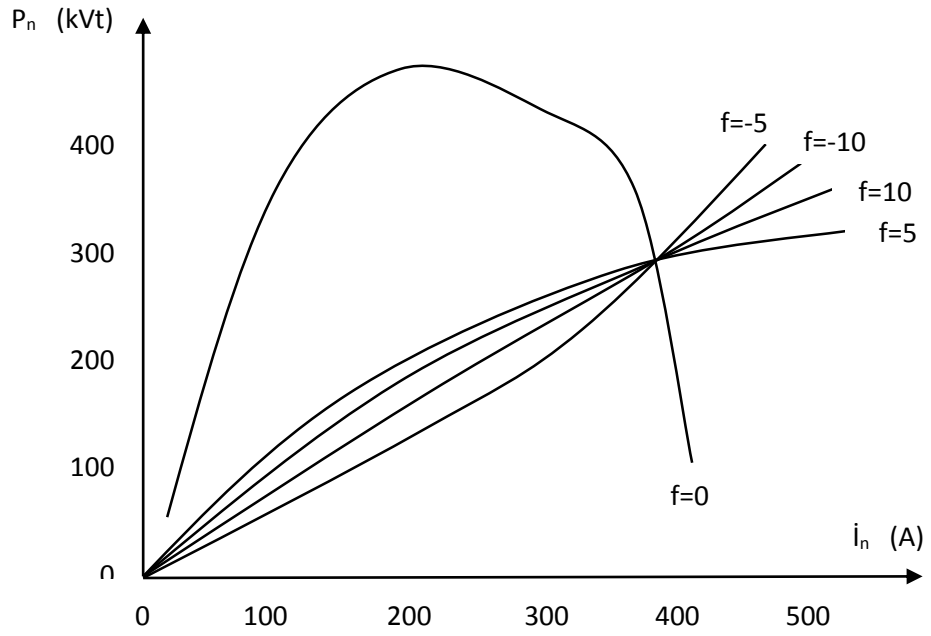
- Asinxronlaşmış rejimin xarakteristikası sinxron rejimə nisbətən çox sərtdir.
- Təsirlənmə selinin qərarlaşmış fırlanma istiqamətində yük cərəyanının artması ilə rotorun gərginliyi enir. Bu onunla izah olunur ki, rotorda yük cərəyanının induksiyaladığı ehq təsirləndirici mənbənin gərginliyidən azdır və yük cərəyanının artması ilə onlar arasında fərq yaranır. Beləliklə də təsirlənmə selinin azalması nəticəsində onun lövbərdə (statorda) induksiyaladığı ehq azalır.
- Fırlanan sahənin qarşı-qarşıya istiqamətində yük cərəyanının artması ilə rotorun gərginliyi artır. Bu onunla izah olunurki, lövbər reaksiyası təsirləndirici mənbəyin gərginliyindən böyük olur və yük cərəyanının artması ilə onlar arasındaki fərq artır. Beləliklə, təsirlənmə selinin artması nəticəsində onun lövbərdə induksiyaladığı ehq də artır.
- Sərt xarakterisktika odurki, yük cərəyanından gərginlik az asılıdır, tezlik isə çox asılıdır. Bu onunla izah olunur ki, tezliyin artması ilə təsirlənmə dövrəsinin aktiv müqavimətində gərginlik düşgüsünün qiyməti nisbətən az olur. Təsirlənmə cərəyanı təsirləndirici mənbənin gərginliyi və

lövbər reaksiyasının ehq-nin fərqindən çox asılı olur. Beləliklə lövbər reaksiyasının tam kompensasiya olunması belə baş verir.

Energetik xarakteristika. Müxtəlif təsirlənmə tezliklərində f.i.ə. və verilmiş yükdə güc müəyyən edilir. Şəkil 4-də generatorun təsirlənmə gərginliyinin sabit qiymətində təsirlənmə tezliyinin müxtəlif diapazonlarında (±10Hz) verilmiş yükün yük cərəyanından asıllığı göstərilmişdir.

Qrafikdən görünür ki:

- Sabit təsirlənməli generatorun yük cərəyanı nominal qiymətin yarısına çatdıqda hasil olunan gərginliyin kəskin azalması baş verir. Lakin təsirlənməsi dəyişilən generatorda bu hadisə baş vermir. Bu onunla izah olunur ki, dəyişən təsirlənməli generatorun yük cərəyanının maqnitsizləşmə təsiri təsirlənmə dövrəsinin ehq-nin azalmasının əksinə yönəlir, beləliklə təsirlənmə cərəyanı artır və lövbər reaksiyasının avtomatik olaraq kompensasiyası baş verir. Sabit gərginliklə təsirlənmədə lövbər reaksiyasının təsiri ilə baş verən maqnitsizləşmə kompensasiya olunmur, belə ki, yük cərəyanının artması maqnit sahəsinin azalması ilə nəticələnir.

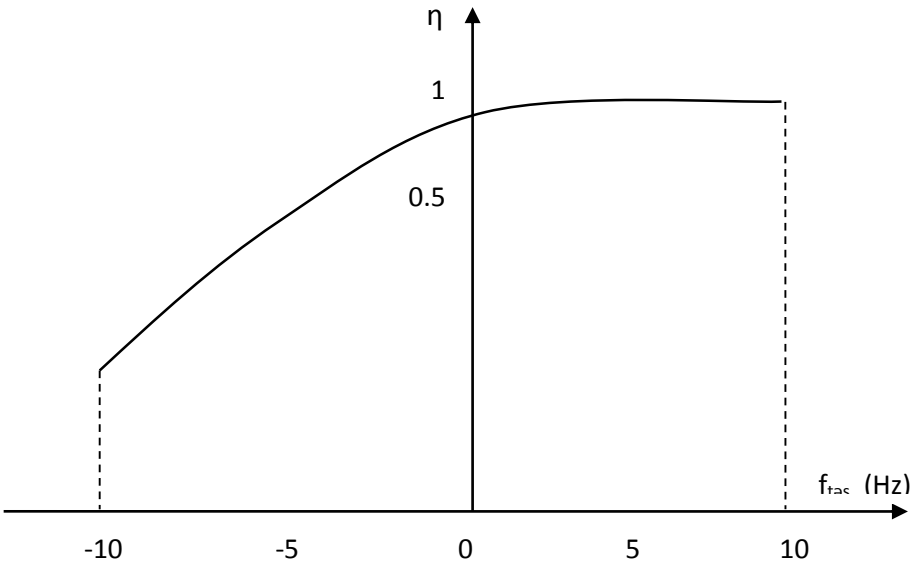


Şəkil 4. *Təsirlənmə tezliyinin müxtəlif qiymətlərində hasil olunan gücün yük cərəyanından asılılığı*

Təsirlənmə selinin fırlanma istiqaməti rotorun fırlanma istiqamətinə əks olur və bu yerdə tam kompensasiya alınır (şəkil 4–də -10Hz və -5Hz əyriləri), təsirlənmə selinin fırlanma istiqaməti rotorun fırlanma istiqamətindədirsə, lövbər reaksiyası bir qədər kompensasiyalanır (şəkil 4–də 10Hz və 5Hz əyriləri).

Təsirlənmə tezliklərinin artması ilə xarakteristikalar arasındakı fərq azalır. Belə ki, -5 Hz əyrisi ilə +5 Hz əyrisi arasındakı fərqə nisbətən -10 Hz əyrisi ilə +10 Hz əyrisi arasındakı fərq daha azdır. F.i.ə-nin dəyişməsinin generatorun təsirlənmə tezliyindən asılılıq qrafiki şəkil 5-də göstərilmişdir.

Qrafikdən görünür ki, təsirlənmə tezliyinin 0 və 0-dan böyük qiymətində f.i.ə 1-ə yaxındır. Rejimlərdə, təsirlənmə selinin fırlanma istiqaməti rotorun fırlanma istiqamətinə əks olanda tezliyin artırılması ilə f.i.ə. azalır. Bu onunla izah olunur ki, təsirlənmə mənbəyindən generatorun mexaniki hissələrinə enerji ötürülür.



Şəkil 5. *Generatorun hasil etdiyi gərginliyin tezliyinin 50Hz qiymətində onun f.i.ə.-nın təsirlənmə tezliyindən asılılıq qrafiki*

Nəticə. Gəmi elektrik stansiyasının asinxronlaşmış sinxron generatorlarının işçi xarakteristikalarının tədqiqindən aşağıdakı nəticələrə gəlmək olar:

1. Sinxron generatorun asinxronlaşdırılmış iş rejimi ənənəvi sinxron generatora nisbətən mexaniki enerjinin elektrik enerjisinə daha dəqiq, daha dayanıqlı çevrilməsini təmin edir.
2. Təsirlənmə tezliyinin artırılması ilə yük cərəyanına nisbətən hasil olunan gərginliyin stabilliyi artır.
3. Təsirlənmə tezliyini tənzim etməklə generatorun sıxaclarında alınan tezliyin qiymətini stabil saxlamaq mümkündür.

Ədəbiyyat

1. Mehdiyev H.A. Gəmilərin avtomatlaşdırılmış elektroenergetika sistemləri. Ali məktəb tələbələri üçün dərslik. Bakı: ”Nurlan”, 2006, 340 s.
2. Лёмин П.А., Пруссаков А.В., Григорьев А.В. Эксплуатация судовых систем электро-снабжения. Учебное пособие Санкт-Петербург: ГМА им. адм. С.О.Макарова, 2009г, 180с.
3. S.C. Osmanov. Elektrik maşınları. Dərslik, II hissə, Bakı:, 2010, 256 səh.

УДК 628.11

РАБОТА СИСТЕМ ОХЛАЖДЕНИЯ СУДОВЫХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК ПО ЗАМКНУТОЙ СХЕМЕ

Федоровский К.Ю., Федоровская Н.К.

Севастопольский государственный университет
г. Севастополь, ул. Университетская, 33
E-mail: fedkonst@rambler.ru, n.fedorovskaya14@mail.ru

Аннотация. *Рассмотрена возможность перевода разомкнутой системы охлаждения на работу по замкнутому контуру. Предложено использовать для этого цистерны забортной воды со струйным подводом охлаждаемой воды к судовой обшивке. Визуально исследованы режимы течения жидкости импактной струи. Определены критические числа Рейнольдса. Экспериментально определены коэффициенты теплоотдачи и обобщающие расчетные зависимости.*

Abstract. *The possibility of converting open-loop cooling systems to work on a closed -loop is considering. It has been proposed to use this purpose to seawater tank with a jet supply of cooled water to the vessel plating. The fluid flow regimes of impact jet are visually examining. The critical Reynolds numbers are determining. The heat transfer coefficients and calculated dependences are experimentally determining.*

Ключевые слова: *судовая энергетическая установка, замкнутая система охлаждения, струйный подвод, коэффициент теплоотдачи*

Key words*: ship power plant, closed-loop cooling system, jet supply, heat transfer coefficient*

Введение. Практически для всех типов судов имеются режимы работы системы охлаждения, когда нужно отказаться от приема забортной охлаждающей воды. Это может быть связано со случаями нахождения судна в сильно загрязненной акватории, в ледовой шуге и др. Потребление воды в таких условиях может привести к забиванию системы и прекращению ее работы, что естественно приведет к аварийной ситуации, вследствие прекращения работы энергетической установки.

Имеются суда, которые специально спроектированы для работы в таких условиях, а их системы охлаждения работают по замкнутому контуру. Однако, такие системы требуют использования специальных теплообменных аппаратов, конструкция которых может быть различна [1]. Для энерговооруженных судов в ряде случаев не удается применить такие аппараты, что делает неизбежным использование разомкнутых систем охлаждения. Имеются случаи, например, прохождения мелководия, когда на протяжении сравнительно небольшого промежутка времени имеется угроза попадания в систему грунта и, как следствие, забивание системы.

В таких условиях целесообразно предусмотреть возможность работы системы охлаждения по замкнутому контуру в течение некоторого промежутка времени. Это может быть сделано за счет находящейся, в судовых цистернах, воды. Эта вода забирается из цистерны, прокачивается через охлаждаемое оборудование и сбрасывается обратно в цистерну (рис.1). Нагретая в цистерне вода отдает свою теплоту через обшивку судна к забортной воде.

Однако, время такой работы ограничено и определяется временем достижения температуры воды в цистерне максимально допустимого уровня на входе в охлаждаемое энергетическое оборудование. В общем случае это определяется мощностью охлаждаемого энергетического оборудования, начальной температурой воды в цистерне, температурой забортной воды и достигаемым теплоотводом через судовую обшивку к забортной воде.

В обычных условиях интенсивность теплоотвода через судовую обшивку сравнительно мала, поскольку происходит практически в условиях свободной конвекции. Хорошо известно, что достигаемые при этом значения коэффициентов теплопередачи значительно ниже значений для вынужденной конвекции. Поэтому возникает необходимость предусмотреть дополнительные технические меры, обеспечивающие интенсивную циркуляцию воды в цистерне вдоль судовой обшивки. Это позволит продлить время работы по замкнутому контуру с использованием цистерны.

Основная часть. Поставленная цель может быть достигнута за счет применения системы струйного подвода с внутренней стороны судовой обшивки (рис. 2).

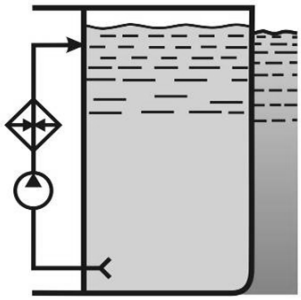


Рис. 1. *Схема использования воды в цистерне с целью охлаждения энергетического оборудования*

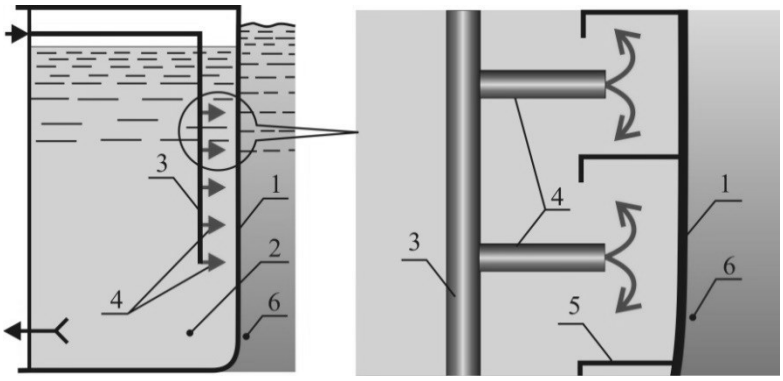


Рис. 2. *Схема струйного подвода воды в цистерне: 1 – обшивка корпуса судна; 2 – цистерна; 3 – коллектор подвода охлаждаемой воды; 4 – сопла подвода воды к обшивке судна; 5 – элементы набора корпуса судна; 6 – забортная вода*

Нагретая в СЭУ вода не просто сбрасывается в цистерну, а с помощью специального коллектора 3 распределяется вдоль обшивки корпуса 1, соприкасающейся с забортной морской водой. Коллектор снабжен системой сопел 4, на выходе которых формируются струи, натекающие на поверхность 1. После удара о поверхность струя разворачивается на 90 градусов, образуя радиально растекающуюся пристенную струю. Такие струи называются импактными. Известно, что импактные струи обеспечивают достаточно высокие значения коэффициентов теплоотдачи, а следовательно, и коэффициента теплопередачи через судовую обшивку.

Для определения расчетных зависимостей были проведены специальные экспериментальные исследования. Они включали в себя визуальные исследования происходящих процессов, а также теплотехнические исследования, с целью определения значений коэффициентов теплоотдачи на внутренней поверхности судовой обшивки.

Экспериментальная модель визуальных исследований, представляла собой прямоугольную емкость с прозрачной стенкой размером 0,25×0,25 м. Эта стенка имитировала обшивку корпуса судна. С внутренней стороны перпендикулярно к стенке в центре было установлено подводящее сопло. Имелась возможность изменять расстояние h от сопла до стенки. Емкость была полностью заполнена водой, что создавало условия формирование затопленной струи. Установка обеспечивала регулирование расхода воды через сопло. При этом достигалось максимальное значение скорости воды в сопле 1,8 м/с, что соответствовало значению числа Рейнольдса $Re_d = 2{,}4 \cdot 10^5$. Для визуализации течения в воду добавлялись тушь, серебрин и детергент. Наблюдения осуществлялись с наружной стороны прозрачной стенки, которая дополнительно подсвечивалась направленным источником света.

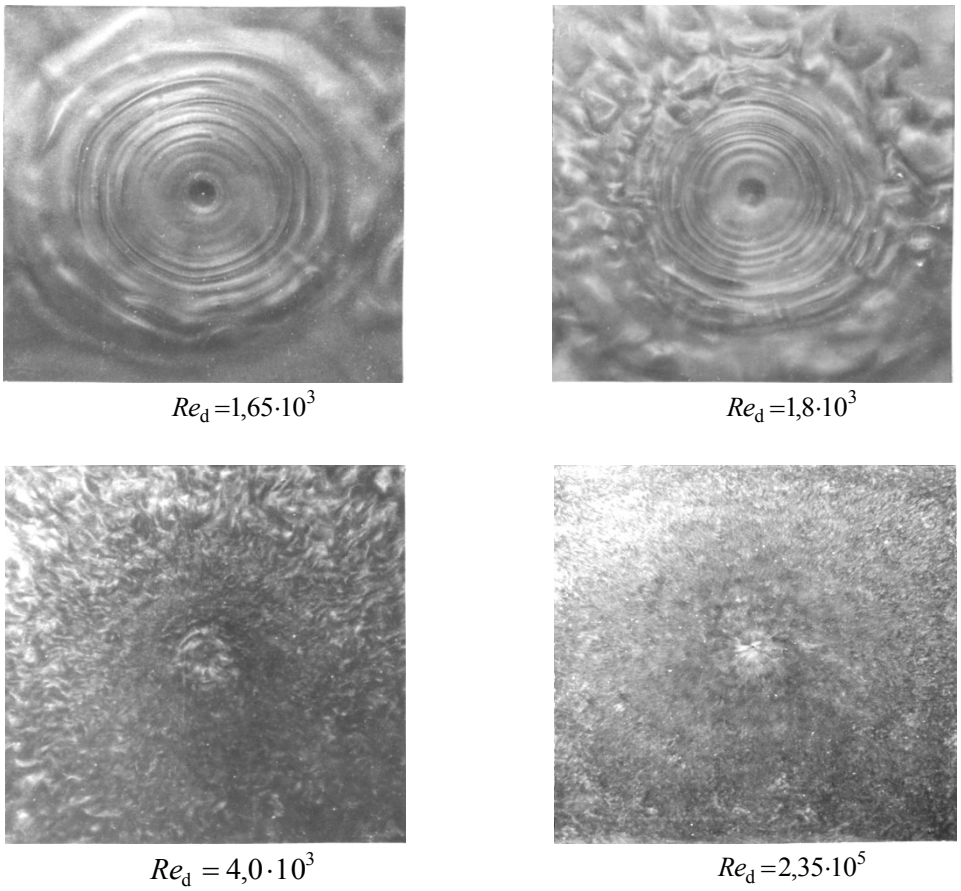
Результаты выполненных визуальных исследований при различных числах Рейнольдса показаны на рис. 3. Выходящая из сопла жидкость ударяется о поверхность и далее растекается в радиальных направлениях, образуя пристенную радиальную струю.

Наглядно видно, что по мере изменения числа Re_d соответствующим образом изменялся и характер течения жидкости вдоль поверхности. Так, при $Re_d = 1{,}65 \cdot 10^3$ наблюдается практически ламинарное течение жидкости. При этом четко видны малоподвижные кольцевые структуры, являющиеся следствием ударного взаимодействия импактной струи с поверхностью. По мере увеличения числа Рейнольдса размер кольцевых структур уменьшается и наблюдается более интенсивное их движение наружу. На наружной части колец возникают турбулентные пульсации, которые далее имеют тенденцию к затуханию. При Re_d, равном $2{,}4 \cdot 10^5$, по всей площади имеют место развитые турбулентные вихри. Их интенсивность максимальна в центральной части и снижается по мере удаления от центра.

Проведенные визуальные исследования позволили определить, что нижнее критическое число Рейнольдса лежит приблизительно в области значений $2 \cdot 10^4$, а верхнее — в области значений около $1 \cdot 10^5$.

В ходе непосредственного наблюдения за происходящими процессами в глубине, на удалении от стенки, были выявлены вторичные течения, направленные к соплу. Это объяснялось подсосом жидкости из окружающего пространства, что подтверждает существующие представления о движении жидкости в области выходной кромки сопла [2].

Теплотехнические исследования проводились на специально созданной экспериментальной установке, с размерами теплопередающей поверхности 0,5×0,5 м. Сопло подвода горячей охлаждаемой воды было направлено в центр этой поверхности. Теплопередающая поверхность охлаждалась водой, циркулирующей с другой стороны этой поверхности.



$Re_d = 1{,}65 \cdot 10^3$ $Re_d = 1{,}8 \cdot 10^3$

$Re_d = 4{,}0 \cdot 10^3$ $Re_d = 2{,}35 \cdot 10^5$

Рис. 3. *Течение пристенной струи при сопловом подводе жидкости при различных числах Рейнольдса Re_d*

Была предусмотрена возможность изменения расстояния *h* от торца сопла до поверхности. Температура теплопередающей стенки со стороны сопла измерялась семью хромель-копелевыми термопарами с диаметром термоэлектородов 0,15 мм. Измерение термо-ЭДС осуществлялось потенциометром. Так же измерялись температуры входа и выхода горячей и холодной воды.

Теплотехнические исследования проводились на соплах с внутренним диаметром *d* 18 и 38 мм. Расстояние *h* от сопла до поверхности задавалось равным 5 мм, 12 мм и 20 мм. Зависимость среднего по поверхности коэффициента теплоотдачи *α* от расхода *W* жидкости через сопло при различных диаметрах показана на рис. 4.

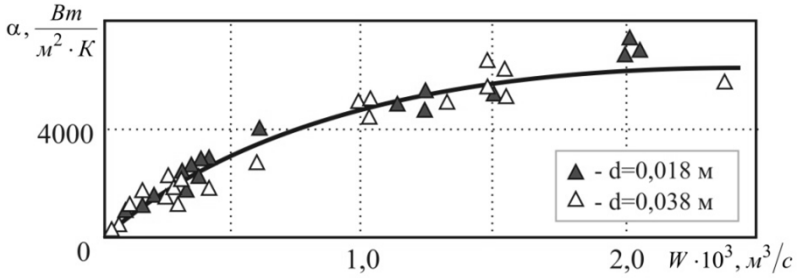


Рис. 4. *Зависимость коэффициента теплоотдачи α от расхода жидкости W, подаваемого через сопло при различных его диаметрах d при h = 0,012 м*

Увеличение *W* приводит к росту значений *α*. Однако, не выявлена связь коэффициента теплоотдачи и диаметра сопла *d*. На рис. 5 показана зависимость теплоотдачи при различных расходах *W* и расстояниях *h*. В диапазоне $h/d = 0{,}13..0{,}53$ значения *α* не зависят от *h*.

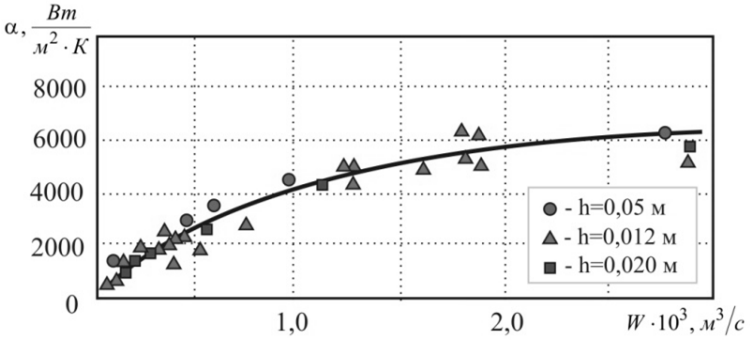


Рис. 5. *Зависимость коэффициента теплоотдачи α при сопловом подводе от расхода жидкости W при d = 0,038 м*

Ранее было показано, что в результате визуальных исследований были определены критические числа Рейнольдса, что соответствует различным режимам течения пристенной струи (рис. 3). Выполненные теплотехнические исследования позволили определить уравнения подобия, для различных режимов течения:

при $Re_d = 5 \cdot 10^3 .. 2 \cdot 10^4$

$$Nu = 5{,}7 \cdot Re_d^{0,45} Pr^{0,33} \left(\frac{Pr}{Pr_s} \right)^{0,25};$$

при $Re_d = 2 \cdot 10^4 ... 10^5$

$$Nu = 0{,}15 \cdot Re_d^{0,83} Pr^{0,33} \left(\frac{Pr}{Pr_s} \right)^{0,25};$$

при $Re_d = 10^5 .. 4 \cdot 10^5$

$$Nu = 26 \cdot Re_{\text{d}}^{0,4} Pr^{0,33} \left(\frac{Pr}{Pr_{\text{s}}} \right)^{0,25},$$

где: Nu - число Нуссельта,

Pr *и* Pr_s – соответственно число Прантдля при температуре жидкости и температуре поверхности теплопередающей стенки.

Зависимости справедливы при:

$$Pr = 2{,}54..4{,}87\ ,\ Pr/Pr_{\text{s}} = 0{,}66...0{,}96\ ,\ h/d = 0{,}13...0{,}67\ ;\ R/d = 6{,}6...13{,}9\ .$$

Однако, для многих судов, в первую очередь с большой энерговооруженностью, применение соплового подвода охлаждаемой воды не может обеспечить работу системы по замкнутому контуру неограниченное время. Речь может идти о цикличной работе такой системы, что характерно для судов технического флота [3,4]. Так, для плавкранов (рис. 6) крановый режим по длительности является преобладающим и осуществляется, как правило, в загрязненной акватории. Обычно нагрузка ЭУ при этом составляет 10% от номинальной мощности с периодическими пиками до 35%.

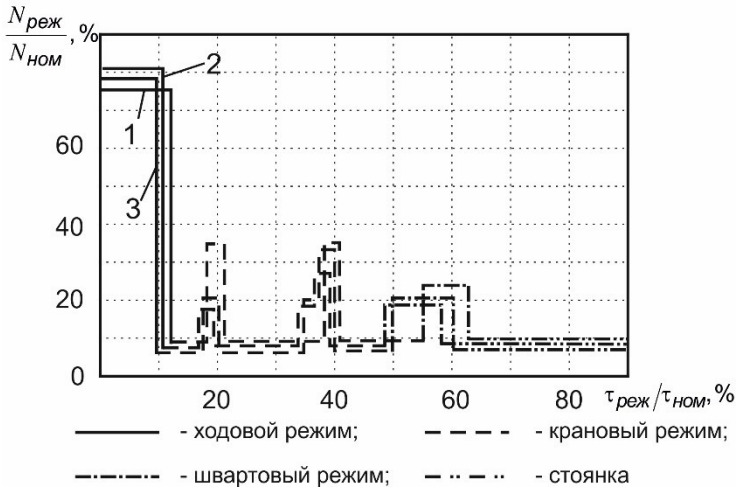


Рис. 6. *Относительная нагрузка ЭУ плавкранов:*
1 -«Черноморец»; 2 - «Витязь»; 3 -«Богатырь»

Рассмотрим возможности учета нагрузки ЭУ на примере самоходных плавкранов проекта 15201 грузоподьемностью 500 т. Дизель-генератор, обеспечивающий работу подъемных механизмов крана имеет полностью замкнутую систему охлаждения с обшивочным теплообменным аппаратом. В таком аппарате, расположенном с внутренней стороны судовой обшивки обеспечивается движение охлаждаемой пресной воды по лабиринтному каналу [1]. Средний теплоотвод системой охлаждения при крановом режиме работы составляет около 250...300 кВт и полностью обеспечивается обшивочным теплообменником. В периоды непосредственного подъема и перемещения больших грузов возникает потребность включения в работу одного главного дизель-генератора, что приводит к необходимости дополнительного теплоотвода системой примерно 900 кВт. Принимаем, что цикличность таких подключений соответствует данным рисунка 7, и разомкнутая система охлаждения переводится на работу по замкнутому контуру за счет временного подключения к заполненной водой балластной цистерне (см. рис. 2). В остальное время осуществляется круговая прокачка воды с целью охлаждения через стенки цистерны. Результаты расчетов представлены на рисунке 7.

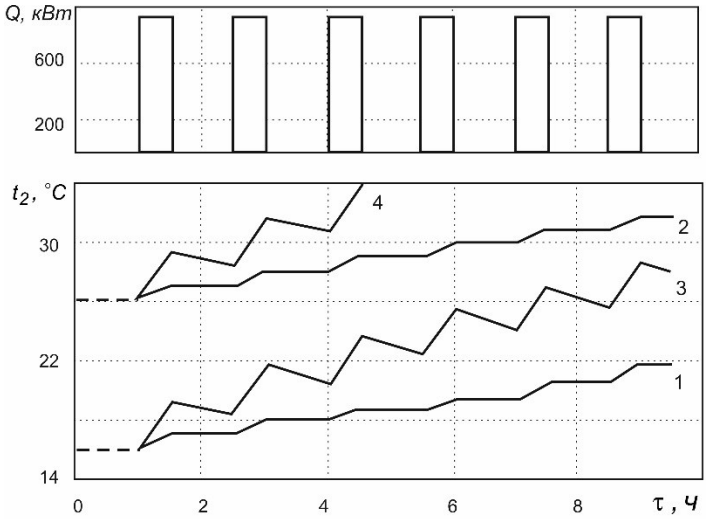


Рис. 7. *Зависимость изменения температуры воды t_2 в системе (цистерне) с течением времени τ при различных: массе воды в цистерне M_2, температуре забортной воды t_3 и начальной температуре в цистерне $t_2^н$:*
1 — M_2 = 350 т, t_3 = 15 °С, $t_2^н$ = 16 °С; 2 — M_2 = 350 т, t_3 = 25 °С, $t_2^н$ = 26°С;
3 — M_2 = 100 т, t_3 = 15 °С, $t_2^н$ = 16 °С;4 — M_2 = 100 т, t_3 = 25 °С, $t_2^н$ = 26°С

При малых M_2 наблюдается более быстрый прогрев воды в цистерне, но и более быстрое охлаждение при отключении главного дизель-генератора. Так, при M_2 = 100 т и температуре забортной воды t_3 = 25°С система сможет функционировать около 4 часов до достижения t_2= 32°С. При заполнении цистерны до M_2 = 350 т эта длительность составляет 9...10 часов. С уменьшением температуры забортной воды условия работы становятся более благоприятными, а время функционирования системы существенно возрастет. После достижения t_2 = 32°С может быть выполнен более длительный перерыв в работе или же замена воды в цистерне при выходе на чистую акваторию.

Струйная система подвода воды к судовой обшивке в районе балластных цистерн применена на самоходных плавкранах проекта 16491 грузоподъемностью 140 т (рис.8).

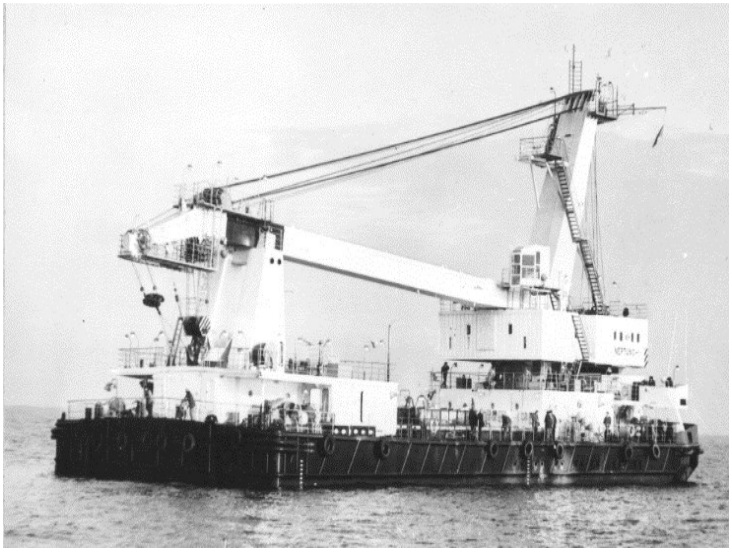


Рис. 8. *Самоходный плавкран проекта 16491*

Выводы. Таким образом, использование имеющихся на судне цистерн забортной воды и рациональная организация движения воды в этих цистернах вдоль судовой обшивки позволяет продлить время работы традиционной разомкнутой системы охлаждения по замкнутой схеме.

Литература

1. Замкнутые системы охлаждения судовых энергетических установок: монография / К.Ю. Федоровский, Н.К. Федоровская. М.: Инфра-М, 2017, 160с.
2. Исаченко В.П. Струйное охлаждение / В.П. Исаченко, В.И. Кушнырев. М.: Энергоатомиздат, 1984, 216 с.
3. Муленко А.М. Расчет состава и мощности ЭУ морских буровых платформ / А.М. Муленко, В.М. Цыпин // Судостроение. 1990, №1. с. 31–33.
4. Федоровский К.Ю. Замкнутая система охлаждения для энергетических установок судов технического флота / К.Ю. Федоровский, Д.Г. Никитин [и др.] // Судостроение. 1980, №5. с. 26–27.

УДК 377.1; УДК 62-9

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРЕНАЖЕРНОГО КОМПЛЕКСА ERS-500 TECHSIM TRANSAS MIP LTD В ПРОЦЕССЕ ОБУЧЕНИЯ СУДОВЫХ ИНЖЕНЕР-МЕХАНИКОВ

Худяков И.В., Грицук И.В., Погорлецкий Д.С., Манжелей В.С.

Херсонская Государственная Морская Академия
г. Херсон, Украина
E-mail: igor.khudiakov563@gmail.com

Аннотация. *Тренажерные системы занимают одно из приоритетных направлений в обучении безаварийной эксплуатации СЭУ. В данной статье рассматривается возможность выполнения технического диагностирования судового дизеля используя тренажерное оборудование и программное обеспечение фирмы TRANSAS - ERS 5000 TechSim в процессе обучения судовых инженер-механиков.*

Показано, что при работе на тренажере ERS 5000 TechSim, инженер-механик (курсант), применяя имеющиеся знания, получает опыт, весьма близкий к работе в реальных условиях, и одновременно осуществляет процесс на основе имеющихся теоретических знаний.

Abstract*. The training systems occupy one of the priority directions in the training of trouble-free operation of the EMS. This article discusses the possibility of performing technical diagnostics of ship diesel using simulator equipment and software from TRANSAS-ERS 5000 TechSim in the process of training shipboard mechanical engineer.*

It is shown that when working on the ERS 5000 TechSim simulator, a mechanical engineer (cadet), applying existing knowledge, gains experience very close to working in real conditions, and simultaneously carries out the process based on existing theoretical knowledge.

Ключевые слова*: Тренажерное оборудование, ERS 5000 TechSim, диагностирование судового дизеля*

Key words*: Training equipment, ERS 5000 TechSim, diagnostics of ship diesel*

Введение. Несмотря на оснащение судов новейшими энергетическими комплексами и установками, улучшения берегового обслуживания и качества подготовки экипажей аварий-

ность судов остается на высоком уровне. Основной причиной сложившейся ситуации является «человеческий фактор». В основном это касается адекватных действий судовых инженер-механиков во время нахождения в чрезвычайных и аварийных условиях эксплуатации судовой энергетической установки (СЭУ). Для предотвращения возникновения таких ситуаций, особое внимание уделяется повышению безопасности эксплуатации судов методом регулярной диагностики технических средств судна.

Любой тренажер представляет собой физическую модель, подобную реальному объекту с заданной степенью точности. Особенностью тренажера является то, что при воздействии окружающих устройств и блоков на органы чувств, оператор получает визуальную, тактильную, звуковую и другую информацию, которая и создает иллюзию управления СЭУ [1, 2].

Ученые Калифорнийского государственного университета провели исследования с целью выяснить, как различные способы подачи информации влияют на качество ее усвоения. Результаты показали, что обучаемые запоминают около 10% от того, что слышат, около 20% того, что прочитывают, и приблизительно 90% того, что они видят, слышат и делают [3].

Постановка задачи. Выполнить техническое диагностирование СЭУ используя тренажерное оборудование и программное обеспечение производства фирмы TRANSAS - ERS 5000 TechSim. Эта версия тренажера, предназначена для проведения углубленной и расширенной подготовки в условиях штатной или аварийной ситуаций [4, 5].

Анализ полученных результатов. Программное обеспечение тренажера машинного отделения ERS 5000 TechSim имитирует дистанционное управление из центрального поста управления (ЦПУ) судна с помощью так называемых «панелей виртуального оборудования» - Dedicated Hardware (DHW панели), объединенных в отдельную DHW-консоль. Эти панели имитируют оборудования и могут представлять собой отдельные сенсорные экраны или страницы на экране монитора, например, консоль «Propulsion» или виртуальная консоль «Hardware», содержащие все дисплеи для управления и мониторинга судовых систем, узлов и механизмов. Нижняя полоса экрана тренажера содержит кнопки с именами страниц. Список пунктов выбранной страницы откроется в виде всплывающего меню [6]..

Тренажер охватывает важнейшие направления обучения в полном соответствии с требованиями Международной конвенции о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты STCW с манильскими поправками от 2010. Удовлетворяет требованиям конвенций и резолюций IMO и стандартам IEC, сертифицированный норвежским классификационным обществом DNV/GL (согласно Стандарту на сертификацию морских тренажеров № 214., октябрь 2007) [4 - 6].

Тренажер машинного отделения Transas ERS 5000 TechSim имеет в своем составе 15-20 моделей судов прототипов, диагностика проводится на модели танкера LCC.

Для проведения диагностики главного двигателя (ГД) используется панель диагностики качества процесса сгорания топлива в цилиндре (вкладка Cylinder Combuction process) (рис.2) и панель снятия индикаторных диаграмм (вкладка Comparison) (рис. 3).

При нажатии на пункт меню Diag\ Cylinder Combuction process, открывается интерактивная схема ГД, это позволяет наблюдать эффекты различного качества сгорания топлива в цилиндрах. Также есть возможность влиять на процесс сгорания путем внесения онлайн-корректировок или внесения неисправностей в реальном времени.

Диаграмма содержит:

• 1 селекторный переключатель - для выбора необходимого цилиндр;

• 2 MAIN ENGINE - ME индикаторы выхлопных газов;

• 3 регулятора вращения (ползунки) - для установки указанного параметра значения для введения неисправностей;

• Цифровые индикаторы для отображения фактического ответа ME системные параметры;

4 CID кнопка - открытие панели индикаторной диаграммы во всплывающем окне [6]

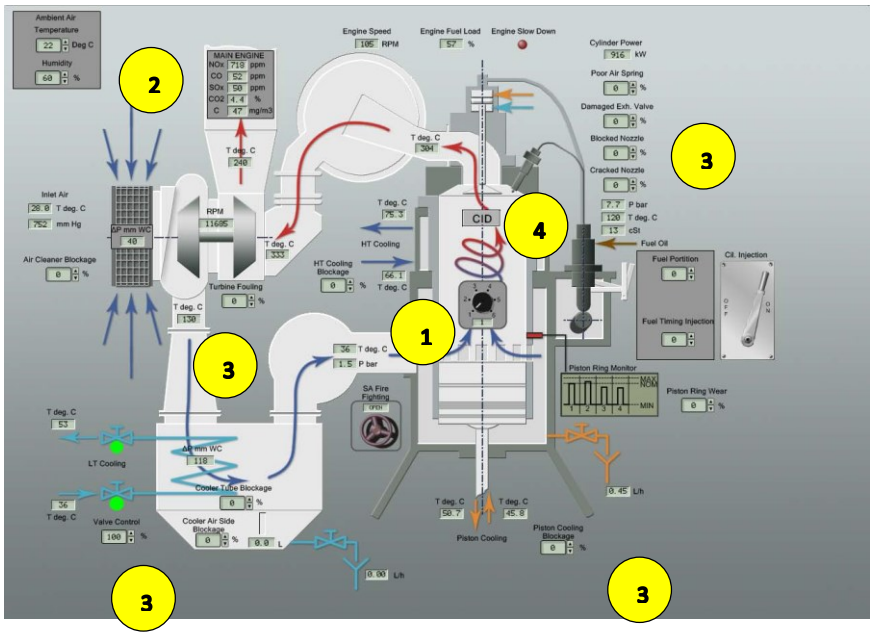


Рис. 1. *Панель диагностики качества процесса сгорания топлива в цилиндре ГД*

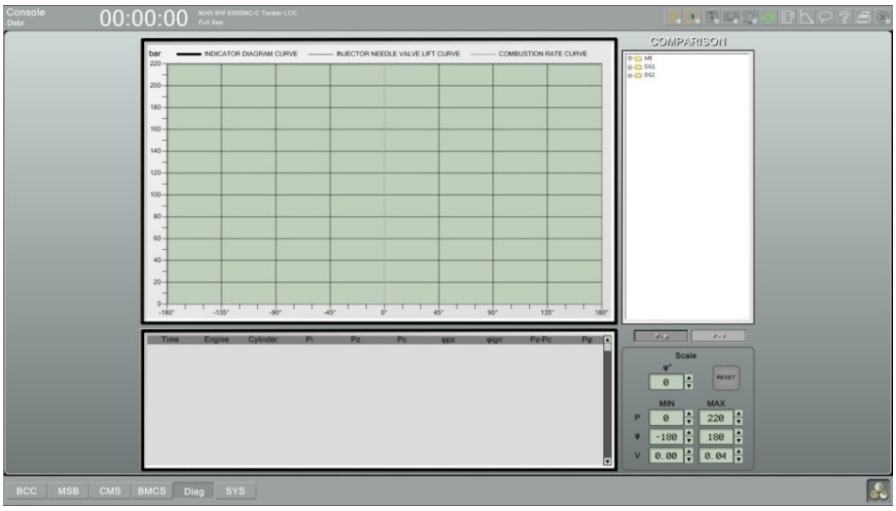


Рис. 2. *Панель индикаторных диаграмм*

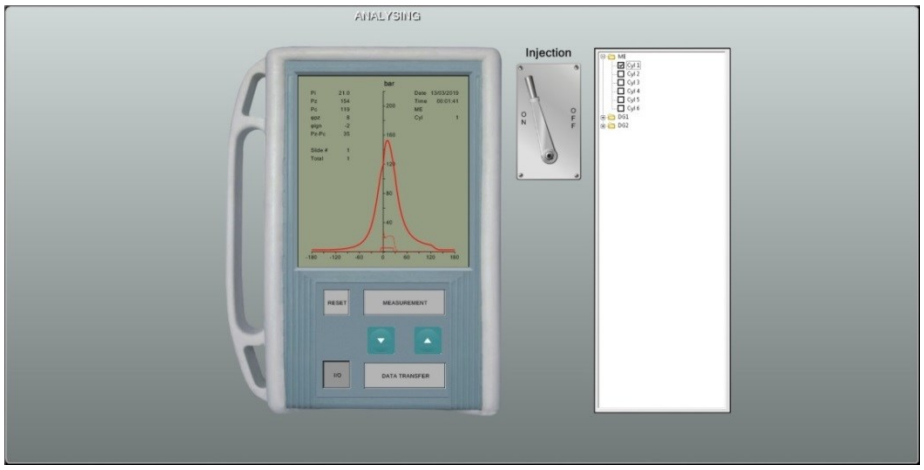


Рис. 3. *Снятие индикаторной диаграммы в цилиндре №1 без износа поршневых колец ГД*

На панели диагностики качества процесса сгорания топлива в цилиндре ГД мы имеем возможность имитировать такие неисправности, как:

- загрязнение воздушного фильтра турбины наддува воздуха;
- загрязнение газовой составляющей турбины наддува воздуха;
- загрязнение охладителя воздуха после турбины наддува;
- загрязнение со стороны системы охлаждения
- перепад температур контура охлаждения высокой температуры (HT);
- перепад температур охлаждения поршня;
- плотность воздушной пружины выхлопного клапана;
- повреждение (прогорание) выхлопного клапана;
- загрязнение или трещина распылителя форсунки;
- изменение подачи топлива;
- изменение угла опережения впрыска топлива;
- износ поршневых колец.

Учитывая то, что поврежденные или изношенные поршневые кольца трудно диагностировать в 2-х тактных двигателях по косвенным параметрам, повреждение может быть неочевидным, пока оно не станет серьезным. В данной статье описывается диагностика именно этой неисправности.

Диагностику выполняем по такому алгоритму.

Снять индикаторную диаграмму цилиндра №1, без износа поршневых колец главного двигателя, и сохранить в памяти панели диагностики. Записать параметры двигателя вкладка CMS, M/E overview;

С помощью имитатора изменения износа поршневых колец главного двигателя Piston Ring Wear на панели Cylinder Combustion Diagnosis Panel последовательно задать величину износа поршневых колец главного двигателя 20%; 40%; 60%. Последовательно при каждом значении износ поршневых колец снимать индикаторную диаграмму цилиндра №1 и параметры двигателя вкладка CMS, M/E overview и параметры качества выхлопных газов на вкладке Diag / Emission



Рис. 4. *Параметры ГД без износа поршневых колец в цилиндре №1*

По аналогии (рис. 7), задаем величину износа поршневых колец ГД 40% и 60%, снимая индикаторную диаграмму и записывая параметры двигателя для каждого положения. Индикаторные диаграммы сохраняем в памяти панели диагностики.

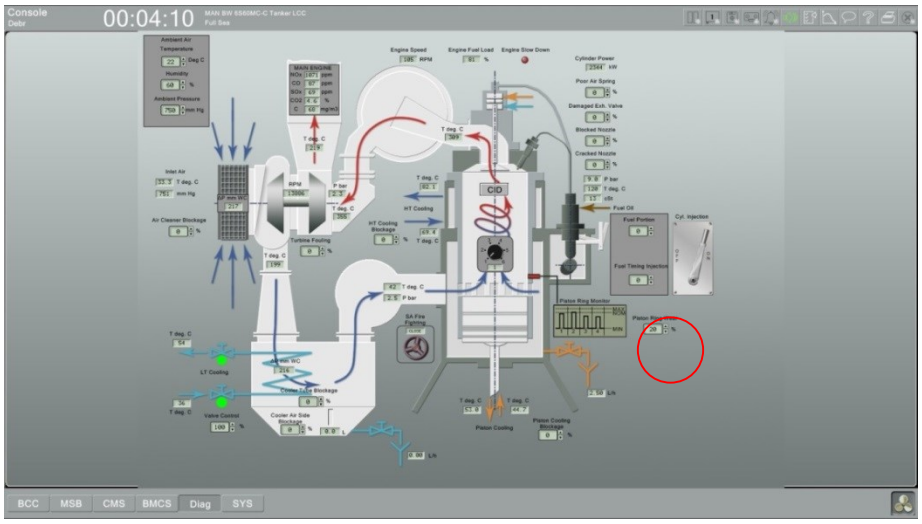


Рис. 5. *Задана величина износа поршневых колец цилиндра №1 ГД 20%*



Рис. 6. *Параметры ГД с износом поршневых колец 20%*

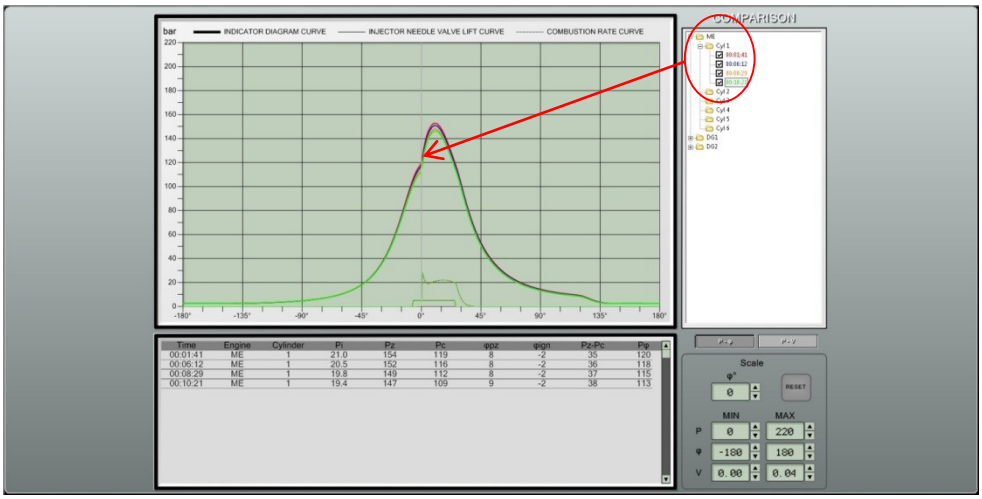


Рис. 7. *Индикаторные диаграммы различных состояний ГД*

В результате проведенного анализа изменений параметров ГД и непосредственно самих индикаторных диаграмм, в случаях различной величины износа поршневых колец, были выявлены следующие изменения, свидетельствующие об изменении состояния ГД:

• Снижение давления сжатия P_c от 119 до 109 бар, CID;
Снижение среднего индикаторного давления P_i от 21.0 до 19.4 бар
Снижение максимального давления сгорания P_z от 154 до 147 бар
• Повышение температуры возврата масла охлаждения поршня;
• Увеличение расхода смазочного масла в цилиндре.

Снятие индикаторных диаграмм производится при неизменной подаче топлива.

Выводы. Практическая подготовка судовых инженер-механиков на тренажёрах является завершающей стадией теоретического обучения. При работе на тренажере ERS 5000 TechSim, инженер-механик (курсант), применяя имеющиеся знания, получает опыт, весьма близкий к работе в реальных условиях, и одновременно идет процесс уточнения и закрепления его теоретических знаний.

Основные преимущества использования тренажера в процессе обучения:

- возможность проведения лабораторных работ фронтальным методом (все студенты одновременно выполняют одну работу), что существенно повышает эффективность этого вида обучения;
- возможность моделирования и безопасного исследования экстремальных и аварийных режимов работы оборудования;
- возможность широкого изменения условий эксперимента;
- интенсификация обучения без потери качества усвоения материала.

Литература

1. Тренажерные комплексы и тренажеры/Шукшунов В.Е. [и др.]. М.: Машиностроение, 2005, 383с.
2. Кравцов А.В. Математическое и программное обеспечение формирования окружающей обстановки тренажерных комплексов. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Тула: ТГУ, 2010, 20с.
3. Metcalf T. Listening to your clients, Life Association News, 1997, 92(7), p. 16 – 18.
4. Международная конвенция подготовки и дипломирования моряков и несения вахты 1978 г. Международный Кодекс о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты 1995 года с Манильскими поправками.
5. Модельний курс IMO 2.07 «Тренажер машинного отделения».
6. Учебное пособие: «Тренажер TechSim 5000. ERS 5000 TechSim. MAN B&W 6S60MC-C Diseel Engine – Tanker LCC (Aframax). 2014, 11.279 с.

Информационные ресурсы
http://www.imo.org
http://www.transas.com.ua
http://www.marineen

УДК 629.5.026: 66.074.33

АНАЛИЗ СПОСОБОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ НЕФТЯНЫХ НАЛИВНЫХ СУДОВ

Горбов В.М., Митенкова В.С.

Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова
г. Николаев, Украина
E-mail: viktor.gorbov@nuos.edu.ua, vera.mitenkova@gmail.com

Аннотация. *Выполнен анализ эффективности различных способов снижения эмиссии диоксида углерода на танкерах. Рассмотрено влияние использования природного газа и метанола, а также работы утилизационных турбогенераторов на индекс энергоэффективности. Проведено сравнение выбросов CO_2 с учетом расхода топлива на вспомогательные котлы и без такого учета.*

Abstract. *Efficiency of various methods of carbon dioxide emissions decreasing on tankers is analyzed. The impact of using natural gas, methanol, and waste heat turbine generators on energy efficiency index is considered. A comparison of CO_2 emissions with and without fuel consumption for auxiliary boilers is made.*

Ключевые слова: *танкеры, индекс энергетической эффективности, природный газ, метанол, утилизационные турбогенераторы, судовые вспомогательные котлы, подогрев груза, энергосберегающие технологии*

Key words: *tankers, energy efficiency index, natural gas, methanol, waste heat turbine generators, marine auxiliary boilers, cargo heating, energy efficiency technologies*

Постановка проблемы. Международная морская организация (IMO) уделяет большое внимание экологическому аспекту воздействия морского транспорта, в т.ч. на атмосферу. Судоходство является одним из значимых источников загрязнение воздуха, при этом уровень эмиссии нормируемых компонентов обычно коррелируется с количеством и качеством сжигаемого топлива [1]. Если рассматривать эмиссию парниковых газов то, согласно данным, представленным в исследованиях IMO, вклад морского транспорта в общий уровень выбросов CO_2 (основного парникового газа) в 2012 г. составил 796 млн. т, или 2,2% от общемирового уровня, в 2007 г. это значение составляло 885 млн. т и 2,8%, соответственно. Прогнозируется, что в 2050 г., по сравнению с 2012, эмиссия CO_2 увеличится на 50…250%. Такой разброс данных обусловлен, с одной стороны устойчивым ростом объема морских перевозок, а с другой – интенсивным развитием энергосберегающих технологий [2].

На долю танкеров в 2013-2015 гг. приходилось 13% всех выбросов CO_2 со стороны международного судоходства. По уровню эмиссии нефтяные наливные суда опережают только контейнеровозы и балкеры, на долю которых приходится 23% и 19% CO_2, соответственно [3]. В рамках глобальной экологической политики по снижению выбросов парниковых газов, регулируемой вначале Киотским протоколом 1992 г., а затем Парижским соглашением 2015 г., IMO дополнила Приложение VI конвенции MARPOL 73/78 ограничениями на эмиссию CO_2. Удельный уровень выбросов этого парникового газа, измеряемого в граммах на тонну перевезенного груза и милю пройденного пути, на ходовом режиме принят в качестве показателя энергетической эффективности судов на стадии проектирования (EEDI – Energy Efficiency Design Index) и эксплуатации (EEOI – Energy Efficiency Operational Indicator) [4].

Действие EEDI распространяется на пассажирские суда, сухогрузы, газовозы, танкеры, контейнеровозы, суда типа Ro-Ro, универсальные суда для перевозки генеральных грузов [4].

Структура индекса энергетической эффективности регулярно уточняется. Так, в 2009 г. действие EEDI распространялось на суда исключительно с дизель-механическими энергетическими установками, а в требованиях 2014 г. появилось дополнение о расширении действия индекса на газовозы для перевозки сжиженного природного газа (СПГ) и круизные суда с другими типами пропульсивных установок. Были введены дополнительные коэффициенты, расширена номенклатура рекомендуемых к использованию топлив (за счет метанола и этанола, в дополнение к нефтяным топливам, сжиженным природному и нефтяному газам) [5, 6].

На сегодняшний день в структуре индекса энергоэффективности не учитываются выбросы CO_2 при работе вспомогательных котлов, что в нормативных документах мотивируется широким использованием на ходовом режиме утилизационных котлов и относительно небольшим расходом топлива на вспомогательные котлы по сравнению с главными двигателями [4]. Данное допущение можно принять для всех судов, на которые распространяется действие EEDI, кроме нефтяных танкеров и танкеров-продуктовозов. Анализ состава энергетических установок современных танкеров показал, что суммарная паропроизводительность вспомогательных котлов, пар которых используется для подогрева груза, составляет 20-100 т/ч. На таких судах для общесудовых потребителей также предусматриваются утилизационные и/или вспомогательные котлы относительно небольшой паропроизводительности (в среднем 1,5-2 т/ч) [7-11].

Необходимо отметить, что для определенных типов судов характерно повышенное энергопотребление на ходовом режиме. Однако это не всегда предусматривается структурой базовой формулой расчета EEDI. В последние годы были сделаны первые шаги в этом направлении, что свидетельствует о конструктивной позиции IMO. Так, например, для СПГ-газовозов при определении потребной мощности судовой электростанции, кроме общесудовых потребителей (как и для других типов судов), учитывается еще и расход электроэнергии на установку повторного сжижения испарившегося груза [4, 5].

Таким образом, для танкеров ***актуальной*** задачей является расчет и сопоставление значений EEDI с учетом работы на ходовом режиме мощных вспомогательных котлов и без такого учета, а также оценка эффективности использования различных технологий по снижению эмиссии CO_2.

Изложение основного материала. Значение индекса энергетической эффективности определяется следующим образом [4, 5]:

$$EEDI = \frac{\left(\prod_{j=1}^{M} f_j\right)\left(\sum_{i=1}^{nME} P_{ME(i)} \cdot C_{FME(i)} \cdot SFC_{ME(i)}\right) + \left(P_{AE} \cdot C_{FAE} \cdot SFC_{AE}\,*\right)}{f_i \cdot f_c \cdot f_l \cdot Capacity \cdot V_{ref} \cdot f_w} +$$

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

**если значительная часть потребностей в электроэнергии на судне обеспечивается за счет валогенераторов, то в расчетах SFC_{AE} заменяют соответствующим значением SFC_{ME}.*

SFC – удельный эффективный расход топлива на главные (индекс *ME*) и вспомогательные двигатели (индекс *AE*), г/(кВт·ч), *Capacity* для танкеров принимается равной дедвейту, т.

Другие элементы формулы: C_F – безразмерный коэффициент корреляции между расходом топлива и образующимся при его сжигании CO_2, величина которого напрямую зависит от содержания углерода в топливе; V_{ref}, узлов – скорость судна на глубокой воде при максимально допустимой мощности двигателей; $P_{ME(i)}$, кВт, мощность главных двигателей, принимается как доля от номинальной установленной мощности каждого главного двигателя (*i*-ого) после вычета мощности, подводимой к валогенераторам ($P_{PTO(i)}$); $P_{PTI(i)}$, кВт, расчётная

мощность электродвигателей; $P_{eff(i)}$, кВт, составляет 75% от снижения мощности главных двигателей в результате использования инновационных технологий для снижения механических потерь; $P_{AEeff(i)}$, кВт, составляет 75% от снижения мощности вспомогательных двигателей в результате использования инновационных технологий для уменьшения электрических потерь; P_{AE}, кВт – суммарная мощность вспомогательных двигателей, необходимая для обеспечения всех потребителей электрической энергией на ходовом режиме; f_j – поправочный коэффициент, учитывающий специфичные конструктивные элементы судна; f_w – безразмерный коэффициент, учитывающий снижение скорости судна при изменении метеоусловий; $f_{eff(i)}$ – коэффициент, учитывающий использование на судне инновационных технологий повышения энергоэффективности; f_i – коэффициент, учитывающий необходимость ограничения мощности судна; f_c – коэффициент, учитывающий полноту валового объема грузовых помещений; f_l – коэффициент, используемый для универсальных грузовых судов, оборудованных кранами, для компенсации потерь дедвейта.

Анализ структуры и методики расчета EEDI дал возможность выделить следующие особенности для нефтяных наливных судов [4, 5]:

- под действие индекса попадают суда с дизель-механическими пропульсивными установками дедвейтом от 4000 т и выше;
- коэффициенты f_i и f_j обычно принимаются равными 1, за исключением судов ледового класса, для которых применяются отдельные соотношения в зависимости от типа, в т.ч. и для танкеров;
- при определении коэффициента f_j для танкеров обслуживания буровых платформ и танкеров с символом CSR (Common Structural Rules) в классе;
- коэффициент f_c, учитывающий полноту валового объема грузовых помещений, обычно принимается равным 1, но для танкеров-химовозов он рассчитывается по отдельным зависимостям, учитывающим общий объем перевозимого жидкого груза.

Технологии, направленные на снижение выбросов диоксида углерода можно разделить на три группы: использование топлив с меньшим содержанием углерода (спирты, газы), снижение расхода топлива путем оптимизации характеристик судна и его энергетической установки, получение энергии без дополнительного сжигания топлива (использование утилизационного потенциала, альтернативные источники энергии и т.д.). IMO в нормативных документах выделяет следующие способы снижения CO_2:

• группа (A) включает мероприятия, непосредственно влияющие на соотношение скорости и пропульсивной мощности судна. К ней относят технологии, влияющие на гидродинамику судна, которые не могут быть рассчитаны по отдельным зависимостям. Их вклад в снижение выбросов диоксида углерода можно определить только путем математического моделирования или натурных испытаний в исследовательском бассейне. Примерами являются использование специальных покрытий корпуса, снижающих трение, оптимизация формы корпуса и параметров гребных винтов, снижение гидродинамических потерь от рулевых устройств.

• к группе (B) относятся меры, направленные на снижение пропульсивной мощности судна без изменения скорости, без генерации дополнительной электрической энергии. Эта группа делится на две подгруппы: (B-1) – технологии, которые можно использовать в течение всего рейса (например, воздушная смазка корпуса) и (B-2) – технологии, которые применяются на полную мощность ограниченно по времени (например, использование энергии ветра).

• технологии группы (C) позволяют получать электрическую энергию без сжигания дополнительного количества топлива. По аналогии с группой (B) включают две подгруппы (C-1) и (C-2), к которым относят, соответственно, технологии, которые можно использовать в течение всего рейса и только в лимитированный промежуток времени. Примером мероприятий (C-1) могут быть установки утилизации теплоты с электрогенераторами, (C-2) – фотоэлектрические элементы (солнечные панели) [12].

Анализ судов новой постройки, на которые распространяется действие индекса энергети-

ческой эффективности, показал, что на них широко используются различные технологии снижения выбросов CO_2, зачастую в комплексе [7-11].

Достаточно широко применяются технологии группы (А) для снижения гидродинамического сопротивления, включающие изменение обводов корпуса и использования винтов и рулевых устройств улучшенной конструкции. Если рассматривать влияние на значение EEDI со стороны пропульсивной установки, то на судах применяются двигатели с электронной системой контроля впрыска топлива, установлены усовершенствованные прямые или редукторные передачи с меньшими потерями, валогенераторы и приводные пропульсивные электродвигатели [11].

Особый интерес вызывает применение нестандартных технологий экономии топлива на судах. Так, на автомобилевозе *Drive Green Highway* внедрена технология *Kawasaki Heavy Industries* для одновременного снижения выбросов оксидов углерода и азота, включающая систему рециркуляции выхлопных газов и использования водотопливных эмульсий. На грузовом судне *EEVA VG* главный двигатель 8DZC (Anglo Belgian Corporation) дооборудован дополнительной топливной системой для работы на биотопливе, при этом для хранения и подготовки дизельного и биодизельного топлива предусмотрены отдельные танки. Гибридная дизель-электрическая установка парома *Seaspan Swift* кроме двух газодизельных двигателей включает блок с 84 литиевыми полимерными батареями, что дает возможность аккумулировать электрическую энергию и использовать ее при необходимости с наибольшей эффективностью [11].

На современных танкерах для снижения эмиссии CO_2 используются такие альтернативные топлива с меньшим содержанием углерода, как сжиженный природный газ и метанол, на ходовом режиме предусмотривается работа утилизационных турбогенераторов (УТГ), что позволяет получать электрическую энергию без сжигания дополнительного количества топлива [8-11]. В данной статье акцентируется внимание на эффективности применения на наливных судах альтернативных топлив и технологий группы С (УТГ), согласно классификации MEPC.1/Circ. 815.

На рис. 1 представлены результаты расчета индекса энергетической эффективности для танкеров, построенных в 2012-2016 гг. [7-11]. Для судов, где используются технологии снижения выбросов CO_2, приведены значения EEDI для режимов работы на нефтяных и альтернативных топливах, с УТГ и без. На рис. 1 также представлены ограничительные кривые на разных этапах введения индекса энергоэффективности. Согласно нормативные документам ИМО Этап 0 вступил в действие в 2013 г, а Этап 3 будет введен в 2025 г. Для танкеров на каждом последующем этапе предусматривается снижение эмиссии на 10%. Ограничительные кривые для этого типа судов рассчитываются по формуле [4]:

$$EEDI = 1218{,}8 \cdot DWT^{-0{,}488}$$

Наиболее эффективным среди рассмотренных способом снижения эмиссии CO_2 является использование СПГ – на 19,6% и 20,6% для танкеров, где установлены двухтопливные двигатели, при переводе главного двигателя на работу на метанол на ходовом режиме это значение составляет 6,6%, а при использовании УТГ – 5,8%.

Из рис. 1 видно, что расчетные значения EEDI для практически всех рассмотренных танкеров соответствуют нормативным. При этом на этих судах установлены мощные вспомогательные котлы (ВК) для подогрева груза общей паропроизводительностью 18-90 т/ч (без учета ВК для общесудовых потребителей). Данные котлы работают на ходовом режиме и, естественно, вносят свой вклад в общую эмиссию CO_2 судами. Как было сказано выше, порядок учета этого вклада пока не разработан, но, по мнению авторов, оценивать его надо, прибавляя к числителю произведение часового расхода топлива на котел (G_{AB}) и коэффициент корреляции между расходом топлива и образующимся при его сжигании CO_2 (C_{FAB}). Индекс АВ указывает на ВК (auxiliary boiler). Часовой расход топлива на котел рассчитывается по стандартной формуле [13-15]:

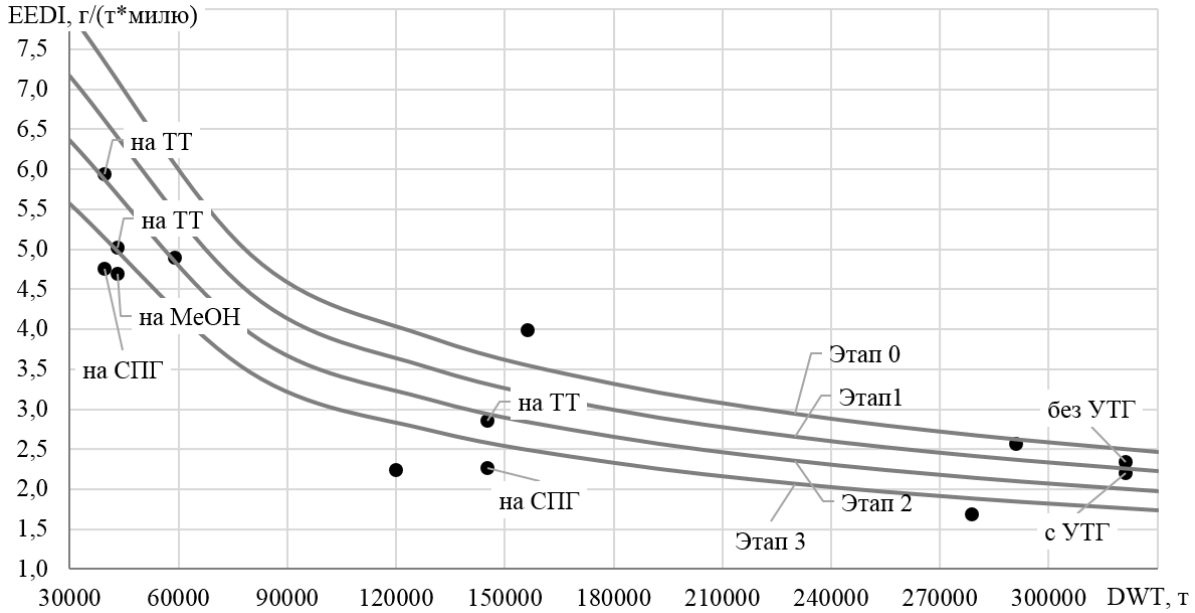


Рис. 1. *Расчетные (точки) и нормативные (кривые) значения EEDI для танкеров (ТТ – тяжелое топлив; СПГ – сжиженный природный газ; МеОН – метанол; УТГ – утилизационный турбогенератор)*

$$G_{AB} = D^{AB} \cdot \frac{h^{II} - h^{I}}{\eta_{AB} \cdot Q_i^r}$$

где D^{AB} – паропроизводительность котла, кг/ч; h^{II}, h^{I} – энтальпии пара и питательной воды, кДж/кг, соответственно; η_{AB} – КПД ВК; Q^r_i – низшая теплота сгорания топлива, на котором работает котел, кДж/кг.

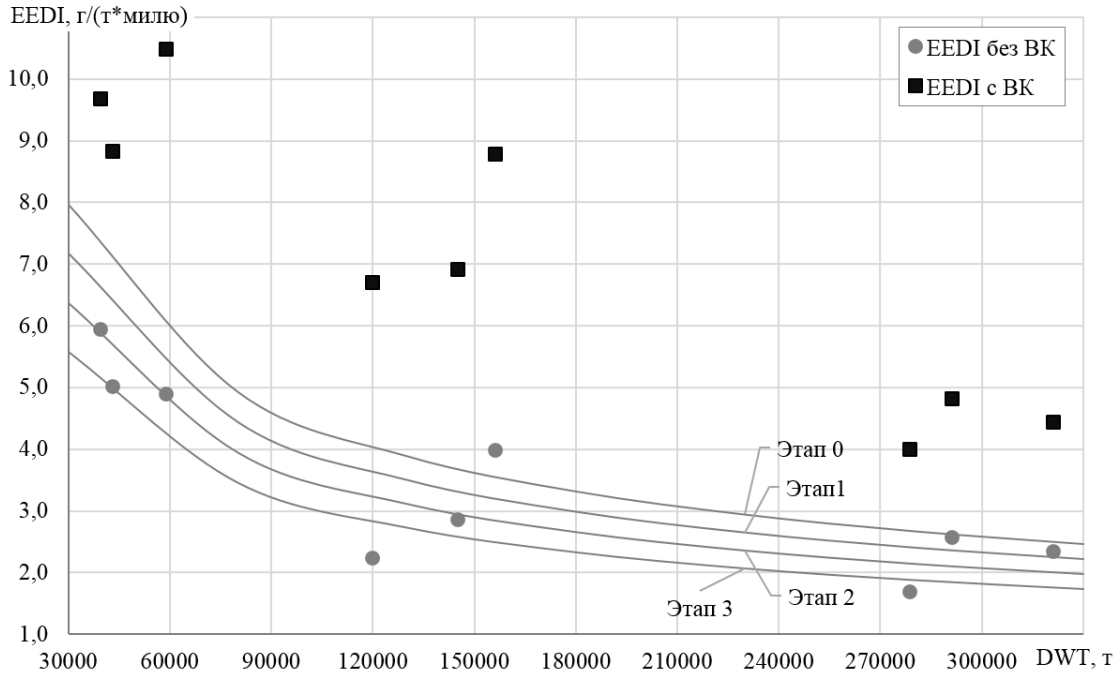


Рис. 2. *Сравнение расчетных значений EEDI для танкеров с учетом расхода топлива на вспомогательные котлы и без*

При расчетах EEDI приняты следующие допущения:

- ВК работают только на тяжелом топливе;
- не учитывается расход топлива на ВК небольшой паропроизводительности, обеспечивающие общесудовых потребителей;
- часовой расход топлива учитывается при нагрузке 50%, поскольку не указано, в каком режиме происходит подогрев груза (режим поддержки или режим разогрева, т.е. работают ли котлы в течение всего рейса или только часть ходового времени).

На рис. 2 представлены результаты расчета EEDI для танкеров без и с учетом работы вспомогательных котлов. Рассчитанные для каждого судна пары значений EEDI расположены на линии одинаковых дедвейтов. Даже с учетом режима 50% нагрузки ВК суммарные удельные выбросы CO_2 танкерами увеличиваются в 1,6-3 раза. В этом случае расчетные значения EEDI не соответствуют нормативным.

Выводы.

- на современных танкерах используется широкий спектр технологий, направленных на снижение эмиссии CO_2, в т.ч. альтернативные топлива и утилизационные турбогенераторы;
- при рассмотрении способов повышения энергетической эффективности танкеров, которые можно оценить непосредственно с учетом рекомендаций IMO, наиболее эффективным является перевод главных двигателей на работу на сжиженном природном газе в течение рейса (порядка 20% снижения удельных выбросов CO_2);
- при переводе главного двигателя на метанол или при использовании утилизационного турбогенератора выбросы CO_2 снижаются на 5-7%;
- особенностью современных танкеров по сравнению с другими типами судов, которую следует учитывать при определении EEDI, является работа на ходовом режиме мощных вспомогательных котлов, вырабатывающих пар для подогрева жидкого груза;
- предварительные расчеты эмиссии CO_2 для танкеров с учетом эксплуатации ВК на ходовом режиме показали, что в этом случае значение индекса энергетической эффективности в 1,6-3 раза выше, чем для базового варианта, для которого во внимание принимаются только работающие главные и вспомогательные двигатели;
- по мнению авторов, следует уточнить порядок расчета EEDI для танкеров и ввести в соответствующую формулу составляющие, позволяющие учитывать вклад от работы вспомогательных котлов на ходовом режиме.

Литература

1. Горбов, В. М. Суднова енергетика та Світовий океан: підручник / В. М. Горбов, І. О. Ратушняк, С. І. Трушляков, О. К. Чередниченко. Миколаїв: НУК, 2007, 596 с.
2. Third IMO GHG Study 2014. Executive Summary and Report. IMO, 2015, 295 p.
3. Olmer N. et al. Greenhouse gas emissions from global shipping, 2013–2015. Washington: ICCT, 2017, 38 p.
4. IMO (2016). Train the Trainer (TTT) Course on Energy Efficient Ship Operation. Module 2 – Ship Energy Efficiency Regulations and Related Guidelines.
5. Guidelines on the Method of Calculation of the Attained Energy Efficiency Design Index (EEDI) for New Ships. – IMO, MEPC.245(66), Annex 5, 2014.
6. Горбов, В.М. Оценка выбросов диоксида углерода судовыми дизельными установками / В. М. Горбов, В.С. Митенкова // Двигатели внутреннего сгорания. 2012, №2. с. 92–95.
7. Significant Ships of 2012. – London: RINA, 2013.
8. Significant Ships of 2013. – London: RINA, 2014.
9. Significant Ships of 2014. – London: RINA, 2015.
10. Significant Ships of 2015. – London: RINA, 2016.
11. Significant Ships of 2016. – London: RINA, 2017.

12. MEPC.1/Circ. 815: 2013 Guidance on treatment of innovative energy efficiency technologies for calculation and verification of the attained EEDI.
13. Горбов В.М. Основи суднової енергетики: збірник практичних завдань / В.М. Горбов, І.П. Єсін, В.С. Мітєнкова. Миколаїв: НУК, 2018, 244 с.
14. Енин В.И. Судовые котельные установки: учеб. для вузов. / В.И. Енин, Н.И. Денисенко, И. И. Костылев. М.: Транспорт, 1993, 216 с.
15. Корнилов Э.В. Вспомогательные и утилизационные котлы морских судов / Э.В. Корнилов, В. Н. Афанащенко, П. В. Бойко. Одесса: Фенікс, 2004, 170 с.

UOT 629.5-029:62

QAZ MÜHƏRRİKLƏRİ SİLİNDR GİLİZİ DAXİLİ SƏTHİNİN DİSKRET MÖHKƏMLƏNDİRİLMƏSİ

Məmmədov E.D., İsmayılov N.Ş., İsmayılov A.R., Ağayev İ.Y.

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

Xülasə. *Məqalədə qaz mühərrikləri işçi silindr gilizi daxili səthinin diskret möhkəmləndirmə yolu ilə yeyilməyə davamlılığının artırılması məsələləri nəzərdən keçirilir. Müəyyən olunmuşdur ki, çuqun gilizlərin diskret möhkəmləndirilmiş işçi səthləri makro və mikro çatların yaranması və inkişafına az meyllidir. Bu isə detonasiya baş verdiyi hallarda qaz mühərrikləri silindr gilizlərinin işinin etibarlılığını əhəmiyyətli dərəcədə artırır.*

Аннотация. *Рассмотрены вопросы повышения износостойкости внутренних поверхностей гильз рабочих цилиндров газомоторных двигателей методом дискретного упрочнения. Установлено, что дискретно упрочненные рабочие поверхности чугунных гильз меньше склонны к образованию и развитию макро- и микротрещин. Дискретное упрочнение также в целом способствует к повышению надежности работы газомоторного двигателя.*

Abstract. *Examines matters relating to the increase of wear resistance of domestic interior surfaces of engine working cylinders liners slip-tion method of discrete hardening. Determined that discrete surfaces cleaned uproch cast-iron cylinder liners are less prone to the education and development of macro and micro cracks. Discrete hardening also generally contributes to improving the reliability of the gas engine.*

Açar sözlər: *qaz mühərrikləri, silindr-porşen qrupu, silindr gilizi, diskret möhkəmləndirmə, yeyilməyə davamlılıq, etibarlılıq*

Ключевые слова: *износостойкость, гильзы рабочих цилиндров, газомоторные двигатели, метод дискретного упрочнения*

Key words: *wear sleeves working cylinders, gas-engine supercharged, discrete method of hardening*

Giriş. Orta sürətli qaz mühərriklərinin, eləcə də daxili yanma mühərriklərinin porşen, silindr və gilizləri, bir qayda olaraq, eyni materialdan hazırlanır. Təcrübədə bu hissələrin materialı qismində boz çuqun, bəzi hallarda isə nadir-torpaq elementləri ilə legirlənmiş yüksək davamlılığa malik xüsusi çuqun istifadə olunur [1, 2].

Silindr gilizləri istismar zamanı əhəmiyyətli mexaniki və istilik yüklənmələrinə, eləcə də korroziya, eroziya və kavitasiya aşınmalarına məruz qalır. Silindr gilizinin əsas xüsusiyyəti ondan

ibarətdir ki, onun xarici və daxili səthləri müxtəlif istismar şəraitində işləyir və buna görə də fərqli, həm də çox sərt tələblərə cavab verməlidir [2, 3].

Diskret möhkəmləndirmə prosesinin mahiyyəti ondan ibarətdir ki, detalın işçi səthinin möhkəmləndirilməsi mexaniki xüsusiyyətlərinə, həm də kimyəvi tərkibinə görə əsas materialdan əhəmiyyətli dərəcədə fərqlənən makro ərinti sahələri şəklində diskret olaraq həyata keçirilir.

Qaz mühərriklərində istifadə olunan silindr gilizlərinin etibarlılığının artırılması zərurəti mühərrik sistemlərində baş verə bilən detonasiya halının yaranmasının qarşısını almaq üçündür.

İstismar təcrübəsinin təhlili. Müxtəlif təyinatlı porşenli daxili yanma mühərriklərinin uzunmüddətli istismar təcrübəsinin təhlili [1, 2, 3, 4] göstərir ki, hər 100 haldan 80-də porşen-silindr qrupu detalları sürtünmə səthinin aşınması və elə bu səbəbdən baş verən sınmalar, habelə sürtünmə düyünündə yaranan imtinalar səbəbindən sıradan çıxır.

Azərbaycanda hazırda istismar edilən müxtəlif təyinatlı mühərriklərin əsas texniki və iqtisadi göstəriciləri əksər xarici nümünələrin səviyyəsindədir. Bununla yanaşı, mütəxəssislərin əksəriyyəti yerli mühərriklərin sadəliyini və yüksək təmirə yararlılığını qeyd edərək, onların keyfiyyətinin və resurs göstəricilərinin qeyri-stabilliyini qeyd edir.

Stasionar və orta sürətli gəmi mühərriklərinin birinci əsaslı təmirədək resursu hazırda 60000 ... 70000 saat təşkil edir, yəni orta illik işləmə müddəti 4000...5000 saatdır. Deməli, mühərrik əsaslı təmir olmadan təxminən 12 ... 15 il işləməlidir [2, 3].

Müqayisə üçün qeyd edək ki, teplovoz mühərriklərinin ilk təmirindən əvvəl istehsalçı tərəfindən müəyyən olunmuş resursu 8000-9000 saat təşkil edir və bu göstərici nəqliyyat vasitələrinin amortizasiya xidmət müddətinə və onların etibarlılıq normativlərinə demək olar ki, bərabərdir [5, 6].

Qaz mühərrikləri ilə bağlı vəziyyət daha mürəkkəbdir. Burada yanacaq təchizatı sisteminin işindəki pozuntular səbəbindən yanacaqvermə və tənzimləmə sistemində detonasiyanın baş verməsi mümkündür. Bu isə maksimal alışma təzyiqinin 1,5-2,0 dəfə artmasına səbəb ola bilər.

Şəkil 1 və 2-də ÇN25/34 mühərrikinin işçi silindri gilizinin detonasiya nəticəsində yaranmış qüsurları göstərilmişdir. Ancaq real istismar şəraitində mühərriklərin həm güc, həm də texniki-iqtisadi göstəricilərinin əhəmiyyətli dərəcədə pisləşməsi baş verir.

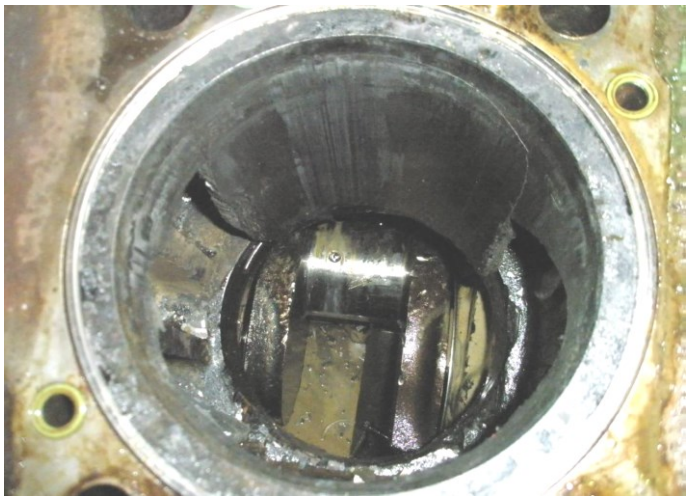


Şək. 1. *ÇN25/34 mühərriki silindr gilizində şaquli çat*



Şək. 2. *ÇN25/34 mühərriki silindr gilizinin işçi səthində cızıq*

Şəkil 3-də DIG162009U1123JC seriya nömrəli Perkins 401E-61NRC mühərriki işçi silindr gilizinin detonasiya nəticəsində yaranmış qüsurları göstərilmişdir.



Şək. 3. *Perkins 4016E – 61NRC qaz mühərriki silindr gilizinin işçi səthinin çızıq və zədələnmələri*

Detonasiya nəticəsində silindr gilizi və porşenin işçi səthlərində cızıqlardan savayı, şatunun zədələnməsindən yaranmış daha ciddi dağılmalar müşahidə olunur. Aydındır ki, qaz mühərrikinin detonasiya ilə uzun müddət işləməsinə yol verilmir, lakin bir sıra hallarda detonasiyanın qarşısını almaq heç də mümkün olmur [7].

Məsələn, qığılcım şamı sıradan çıxdıqda, imtinadan sonra dayanma və yenidən işəsalma, qaz-hava qarışığının müəyyən rejimlərdə həddindən artıq kasadlaşması, qazverici aparatın stabil rejimə çıxması kimi hallarda detonasiya hökmən yaranır.

Buna görə də, sadalanan halların qısa müddətli olma ehtimalı nəzərə alınmaqla qaz mühərrikləri silindr-porşen qrupu hissələri, xüsusilə də işçi silindr gilizinin etibarlılığını artırmaq üçün müvafiq tədbirlər işlənib hazırlanmalıdır.

Dizel mühərrikləri ilə müqayisədə qaz mühərriklərinin daha yüksək istilik gərginliyində işləməsi ilə əlaqədar olaraq, silindr – porşen qrupu detallarının sıradan çıxması ilə yanaşı, qaz mühərrikləri silindr gilizlərinin daha intensiv yeyilməsi də müşahidə olunur. Bununla əlaqədar olaraq, qaz mühərrikləri silindr gilizlərinin işinin etibarlığının yüksəldilməsi məsələsi aktuallıq kəsb edir.

İşin məqsədi və vəzifələrin qoyulması. Yuxarıda şərh olunanlar göstərir ki, detalların işçi səthlərinin yeyilməyə davamlılığının artırılması, termomexaniki gərginliklərin hissələrə təsirinin azaldılması və mümkün olduqda, sürtünmə qovsaqlarında sürtünmə əmsalının azaldılması qaz mühərriklərinin resursunun artırılması üçün çox əhəmiyyətli məsələlərdir.

Bu məsələlər hazırda iki əsas yolla həll olunur: **konstruktor və texnoloji.**

Son bir neçə ilin konstruktor işləmələri möhkəmlik xassələrinin təmin edilməsi və maşınların mexaniki etibarlığının təmin edilməsi baxımından xeyli irəli getmişdir. Buna çoxqatlı gilizlərin istifadə edilməsini misal göstərmək olar. Lakin detalların və bütövlükdə tribosistemlərin yeyilməyə davamlılığının artırılması probleminin tam həllini tapdığını deyə bilmərik.

Qeyd etmək lazımdır ki, maşınqayırma sahəsində uzun müddət ərzində hissələrin yeyilməyə davamlılığının artırılmasının **texnoloji metodları** əsasən detalların sürtünmə səthlərinin bərkliyinin artırılmasına əsaslanır.

Çoxillik təcrübə göstərir ki, bu istiqamət sürtünən hissələrin etibarlığının artırılmasına kifayət qədər böyük imkanlar yaradır. Ancaq hazırda bu istiqamətdə imkanlar az qala tamamilə tükənmişdir. Mərkəzdənqaçma tökmə pəstahların istifadə olunması da bu problemin tam həllini təmin etmir.

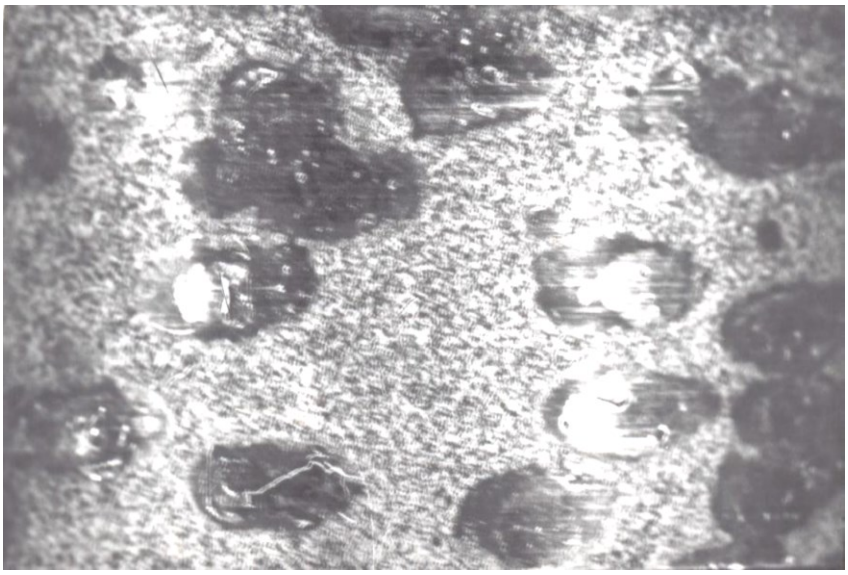
Maşınların kütləsini daim azaltmaq və iş proseslərinin intensivliyinin artırılmasına yönəlmiş daimi cəhdlər maşınların düyünlərində təzyiqin və sürüşmə sürətinin artmasına, yağlanma şəraitinin pisləşməsinə gətirib çıxarmışdır.

Bundan əlavə, mexanizmlərin səmərəliyinin durmadan artırılması tələbi bir çox hallarda ona gətirib çıxarır ki, detalların yeyilməyə dözümlüyünün artırılması əsasında işlənən ənənəvi üsullar bir sıra hallarda özünü doğrultmur.

Maşın detallarının yeyilməyə davamlılığının yüksəldilməsinin texnoloji metodlarına ehtiyacı nəzərə alaraq, yeyilməyə müqavimətin yüksəldilməsinin yeni mütərəqqi üsulları nəzərdən keçirilməlidir.

Əsas materialın təqdimatı. Maşın hissələri və tribosistemlərin ümumilikdə yeyilməyə müqaviməti və davamlılığını eyni zamanda artırmağın perspektivli üsullarından biri **diskret möhkəmləndirmə** metodudur. Bu prosesin mahiyyəti ondan ibarətdir ki, detalın işçi səthinin möhkəmləndirilməsi mexaniki xüsusiyyətləri, həm də kimyəvi tərkibinə görə əsas materialdan əhəmiyyətli dərəcədə fərqlənən makroərinti sahələri ilə diskret olaraq həyata keçirilir (şəkil 4).

Diskret möhkəmləndirilmənin boz çuqunun xarakteristikalarına təsirini müəyyən etmək məqsədilə bir sıra laboratoriya tədqiqatları aparılmışdır. Nümunələrin metalloqrafik, rentgen-struktur və mikrorentgen difraksiya tədqiqatları, habelə materialların tribotexniki xüsusiyyətləri standart metodlara uyğun olaraq həyata keçirilmişdir.

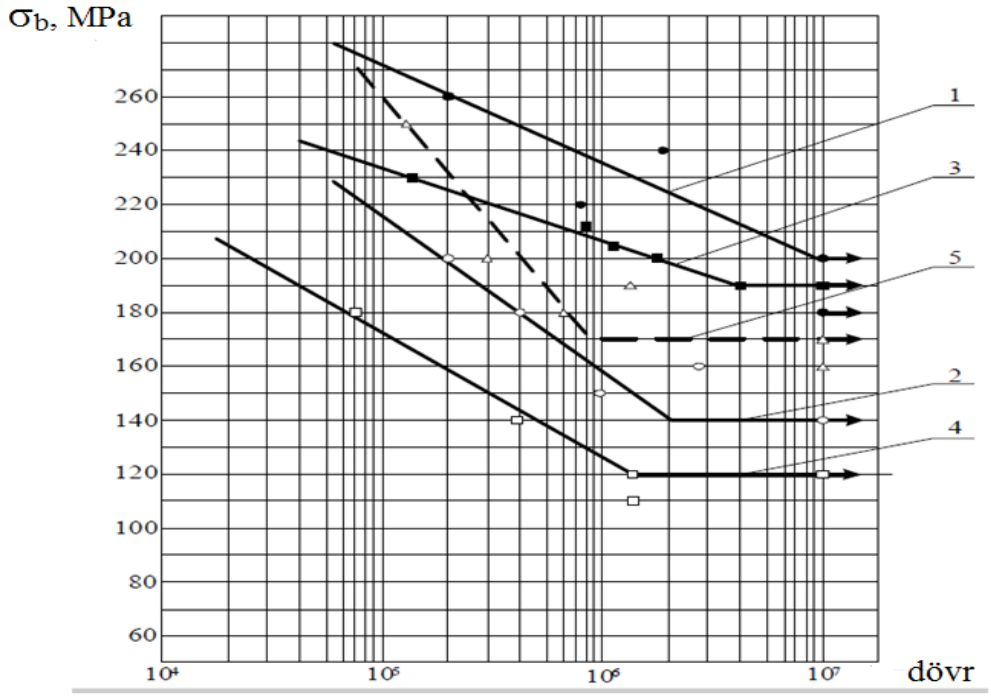


Şək. 4. *Hissənin işçi səthinin diskret möhkəmləndirilməsi*

Əldə edilən məlumatlara görə, 1-ci seriyalı çuqun nümunələri (termiki emal: normallaşdırma + yüksək temperaturlu tabəskiltmə) üçün yorulmada möhkəmlik həddi 200 MPa olduğu müəyyən edilmişdir. 2-ci seriyalı nümunələrin səthindəki nöqtəşəkilli tökmə qüsurları möhkəmlik həddini 140 MPa-dək azaldır.

1-ci seriyalı çuqun nümunələri üçün əldə edilən nəticələr əvvəllər həyata keçirilən oxşar kimyəvi tərkib və termiki emallı nümunələr üçün verilən möhkəmlik həddi xassəsinə (əyri 5, σ_1=170 MPa) uyğun gəlmişdir.

Eyni zamanda müəyyən olunmuşdur ki, diskret möhkəmləndirilmiş (3-cü seriya) nümunələr möhkəmləndirilməmiş nümunələrə nisbətən daha davamlıdır (əyri 3, σ_{-1}=190 MPa). Səthin qüsurlarının (4-cü seriya) emal edilməsi diskret möhkəmləndirilmiş nümunələrin yorulma davamlılığının azalmasına səbəb olur (əyri, 4, σ_{-1} = 120 MPa).



Şək. 5. *Yorulma həddinin dövrlər sayından asılılığı: 1 – 1-ci seriya; 2 – 2-ci seriya; 3 – 3-cü seriya; 4 – 4-cü seriya; 5 – əvvəllər aparılmış tədqiqat nəticələri*

Bundan əlavə, nümunələrin yorulma sınaqları zamanı baş verən dağılma yerləri də mühüm amildir. Belə ki, [8] işində əldə olunan tədqiqat məlumatları göstərir ki, yüksək möhkəm çuqun nümunələri yüksək tezlikli cərəyan (YTC) və lazer emalı ilə möhkəmləndirdikdə, möhkəmləndirilən qatın sərhədi materialın yorulma xarakteristikalarının azalmasına səbəb olan qalıq dartıcı gərginliklərin texnoloji konsentratları rolunu oynayır.

Diskret möhkəmləndirilmiş heç bir nümunədə yorulma möhkəmliyinə sınaqlar zamanı əsas metalla möhkəmləndirilmiş zonanın sərhədi üzrə dağılma baş verməmişdir.

Əldə edilən nəticə belə qənaətə gəlməyə əsas verir ki, diskret möhkəmləndirmə zamanı yaranan möhkəmləndirilmiş qat və əsas material arasındakı sərhəd zonası yorulma möhkəmliyini azaldan texnoloji konsentrator rolunu oynamır. Ona görə də bu metodu digər metalların da möhkəmləndirilməsi üçün tövsiyə etmək olar [9].

Nəticə. Beləliklə, sınaqdan keçirilmiş nümunələrin yorulma möhkəmliyinin öyrənilməsi nəticələri göstərir ki, diskret möhkəmləndirmə standart möhkəmləndirmə növlərinə nisbətən yorulma möhkəmliyini azaltmır. Bu nəticələr geniş miqyaslı istehsalat sınaqlarından sonra bəzi maşınqayırma, metallurgiya, gəmi təmiri və gəmiqayırma müəssisələrində tətbiq oluna bilər.

Müxtəlif seriyalı boz çuqunlardan hazırlanmış nümunələrin tribotexniki xarakteristikalarının tədqiqi göstərmişdir ki, çuqun gilizlərin diskret möhkəmləndirilməsi aşağıdakı imkanlar yaradır:

- yeyilməyə davamlılıq standart texnologiya ilə müqayisədə 8 - 10 dəfə, YTC tablandırma ilə müqayisədə 1,3 - 1,5 dəfə yüksəlir;
- normallaşdırılmış və tablandırılmış nümunələrlə müqayisədə cızılmaya davamlılıq və yükgötürmə qabiliyyəti yüksəlir;
- abraziv yeyilməyə davamlılıq yüksəlir.

Həmçinin qeyd etmək lazımdır ki, diskret möhləmləndirilmiş işçi səthlər makro və mikro çatların yaranması və inkişafına az meyllidir, bu isə detonasiya baş verdiyi hallarda qaz mühərrikləri silindr gilizlərinin işinin etibarlılığını əhəmiyyətli dərəcədə artırır.

Beləliklə, silindr gilizlərinin işçi səthlərinin diskret möhkəmləndirilməsi metodunun istifadəsi qaz mühərriklərinin işinin etibarlığını əhəmiyyətli dərəcədə yüksəltmək üçün yeni imkanlar açır.

Ədəbiyyat

1. Хебды М., Чичинадзе А.В. Теоретические основы. Справочник по триботехнике. М.: Машиностроение, 1989, 400 с.
2. Гаркунов Д.Н. Триботехника. М.: Машиностроение. 1985, 312 с.
3. Чичинадзе А.В. Основы трибологии (трение, износ, смазка). М.: Центр «Наука и техника», 1995, 284 с.
4. Чичинадзе А.В. Не стоит платить за незнание // Инженерная газета, 1994, № 28
5. Трактора серии 8100, 8200, 8300 и 8400 (серийный номер 10001). Руководство по эксплуатации.
6. John Deere Waterloo Works, OMAR 150262. Выпуск G6. Северо - Американское издание. Напечатано в США. 1981
7. Millar G.H.Diesel development in perspective // Diesel Progress of North America, 1995, 7, pp. 44-46
8. Рабинович А.Ш. и др. Методические указания по классификации и шифровке отказов тракторов. М.: ГОСНИТИ, 1976, 123с.
9. Сковородин В.Я., Тишкин Л.В. Справочная книга по надежности сельскохозяйственной техники. Л.: Лениздат, 1985, 204 с.

UOT 62.83.52

GƏMİ KÖMƏKÇİ SÜKAN QURĞUSUNUN ELEKTRİK İNTİQALININ İDARƏ SİSTEMİNİN TƏDQİQİ

Sultanov E.F., Abdullayev A.N.

Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası
Az1000, Bakı şəh., Z.Əliyeva küç., 18
E-mail: elshen_sultanov@mail.ru, abdulla8_1974@mail.ru

Xülasə. *Məqalədə böyük güclü köməkçi sükan qurğularında tətbiq edilən faza rotorlu asinxron mühərrikin rotor dövrəsinə qoşulmuş müqavimətdə işə salınması və sürətinin tənzimi zamanı böyük güc itkisi yaranması aşkar edilmiş və köməkçi sükan qurğuları üçün idarə sisteminin seçilməsinə baxılmışdır.*

Аннотация. *В статье рассмотрены вопросы возникновения потерь мощности при пуске и регулировании скорости вращения асинхронного двигателя с фазным ротором, применяемого в подруливающих устройствах большой мощности, а также аспекты выбора оптимальной системы управления грузоподъемными механизмами*

Abstract. *İn the article are noted, the questions of lass capacity during starting-up and rotation regulation speed of asynchronous motor with the phase rotor, applying in thruster with powerful and also aspects of optimal choice systems of management.*

Açar sözlər: *gəmi, köməkçi sükan qurğusu, elektrik intiqalı, asinxron mühərrik, faza rotoru*

Ключевые слова: *судно, подруливающие устройства, электропривод, асинхронный двигатель, фазный ротор*

Key words: *vessel, bow thruster, electric drive, asynchronous motor, the phase rotor*

Giriş. Müasir gəmilərin idarə olunması və manevr qabiliyyətinə verilən yüksək tələblərin əsasən gəminin aşağı sürətlərində adi gəmi sükanları tərəfindən yerinə yetirilə bilməməsi, həmin tələbləri ödəyə bilən olduqca müxtəlif forma və prinsipli əlavə qurğuların, həmçinin onları hərəkətə

gətirən mexanizmlərin qurulmasına tələbatı artırır. Belə ki, gəminin aşağı sürətlərində kursun dəyişdirilməsi, dayanmış vəziyyətdə yerində dönməsi, dar kanallarla üzmə zamanı manevr qabiliyyətinin artırılması, gəminin dönmə radiusunun qısaldılması və yanalma müddətinin azaldılması lazım gəldikdə, adi sükanların effektivliyi çox aşağı olduğundan, digər köməkçi qurğulardan istifadə edilməsi qaçılmaz haldır. Bu cür qurğulara pərli dönər sükanları, eninə təsir göstərən köməkçi sükanları, qanadlı hərəkətvericiləri, dönər qurğusu olan suqovucuları, aktiv sükanları və s. misal göstərmək olar [1].

Bu qurğular böyük güclü olduğuna görə onların işə salınması və fırlanma sürətinin tənzim edilməsi Baş Paylayıcı Şitdə böyük gərginlik düşgüsünün, işəsalma müqavimətlərində isə böyük güc itgisinin yaranmasına səbəb olur. Bunları nəzərə alaraq məqalədə köməkçi sükan qurğusunun optimal idarə üsulunun seçilməsinə baxılmışdır.

Əsas hissə. Məlum olduğu kimi böyük həcmli gəmilərin manevr etmə qabiliyyətini artırmaq üçün onlarda köməkçi sükan qurğusu tətbiq olunur. Köməkçi sükan qurğularından gəminin körpüyə yan almasında və dar kanallarda hərəkəti zamanı daha çox istifadə edilir [1, 2].

Vintin qurluşuna görə köməkçi sükan qurğuları iki cür olur:

1. Vintinin addımı tənzim olunan
2. Vintinin addımı tənzim olunmayan

Orta həcmli gəmilərdə tətbiq edilən köməkçi sükan qurğusunun elektrik mühərrikinin gücü təxminən 200÷500 kVt, tipi isə faza rotorlu və ya rotoru qısa qapanmış asinxron mühərriki olur.

Göründüyü kimi, köməkçi sükan qurğusunun elektrik mühərrikinin gücü gəmi elektrik stansiyasının gücünə yaxındır. Məsələn, bir çox gəmilərdə köməkçi sükan qurğusunun elektrik mühərrikinin gücü elektrik stansiyasının bir generatorunun gücünə bərabər və ya ondan çox olur.

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. Vintinin addımı tənzim olunan köməkçi sükan intiqallarında mühərrikin fırlanma sürətini tənzim etmək lazım gəlmir, çünki bu problem yəni gəminin bir bortundan o biri bortuna vurulan suyun miqdarının dəyişilməsi vintin pərlərini müəyyən bucaq qədər döndərməklə yerinə yetirilir. Ancaq belə qurğunun məhsuldarlığı az olduğundan və istismarının çətin olmasına görə orta və böyük həcmli gəmilər üçün əlverişli sayılmır [1, 2].

Vintinin addımı tənzim olunmayan köməkçi sükan qurğularının elektrik mühərrikinin işə salınması və onun fırlanma sürətinin tənzim edilməsi müxtəlif üsullarla yerinə yetirilir. Bunlardan ən çox tətbiq edilən aşağıdakılardır:

1. Faza rotorlu asinxron mühərrikinin rotor dövrəsinə qoşulmuş müqavimət vasitəsilə işə salınması və sürətinin tənzim edilməsi.
2. Rotoru qısa qapanmış asinxron mühərrikin tezlik çeviriciləri vasitəsilə işə salınması və sürətinin tənzim edilməsi. Adətən belə tezlik çeviricisində sabit cərəyan bəndi olmur, onlar sabit tezlikli dəyişən cərəyanı, dəyişən tezlikli cərəyana çevirirlər.

Bu üsullardan faza rotorlu asinxron mühərrikinin rotor dövrəsinə müqavimət qoşmaqla işə salma və sürətin tənzim edilməsi öz sadəliyinə görə çox yayılmışdır. Belə üsulun əsas mənfi cəhəti tənzim etmənin pilləli olmsı və tənzim müqavimətində böyük enerji itgisinin yaranmasıdır. Aşağıda "Şirvan" tipli kran gəmilərdə qurulan köməkçi sükan qurğusunun faza rotorlu asinxron mühərrikinin sürətinin tənzimi zamanı rotor dövrəsinə qoşulan müqavimətdə yaranan güc itgisi hesablanmışdır:

Məsələnin həlli.

Verilənlər:

Mühərrikin tipi: faza rotorlu asinxron mühərriki 4AKBz 355L a-4

Nominal gücü: P_n=220 kVt

Nominal cərəyanı: $İ_n$=400 A

Nominal fırlanma sürəti: n_n=1475 döv/dəq

Nominal gərginliyi: U_n=380 V

Cərəyan tezliyi: f_n=50 Hs

Güc əmsalı: cosφ=0,9

Nominal moment: $M_n = \frac{9550 \cdot P_n}{n_n} = \frac{9550 \cdot 220}{1475} = 1424{,}4 Nm$

Maksimal moment: $M_{\max} = 2{,}5 \cdot M_n = 2{,}5 \cdot 1424{,}4 = 3561 Nm$

Nominal sürüşmə: $S_n = \frac{n_0 - n_n}{n_0} = \frac{1500 - 1475}{1500} = 0{,}017$

Kritik sürüşmə: $S_{kr} = S_n(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}) = 0{,}017(2{,}5 + 2.3) = 0{,}09$

Hesabat qrafo-analitik üsulla aparıldığı üçün mühərrikin təbii mexaniki xarakteristikasını M=f(n) qururuq. Mexaniki xarakteristikasının qurulması üçün aşağıdakı düsturlardan istifadə edilir [3].

1. Momentin sürüşmədən asılılıq düsturu

$$M = \frac{2 \cdot M_{\max}}{\frac{s}{s_{kr}} + \frac{s_{kr}}{s}} \quad (1)$$

2. Fırlanma sürətinin sürüşmədən asılılıq düsturu

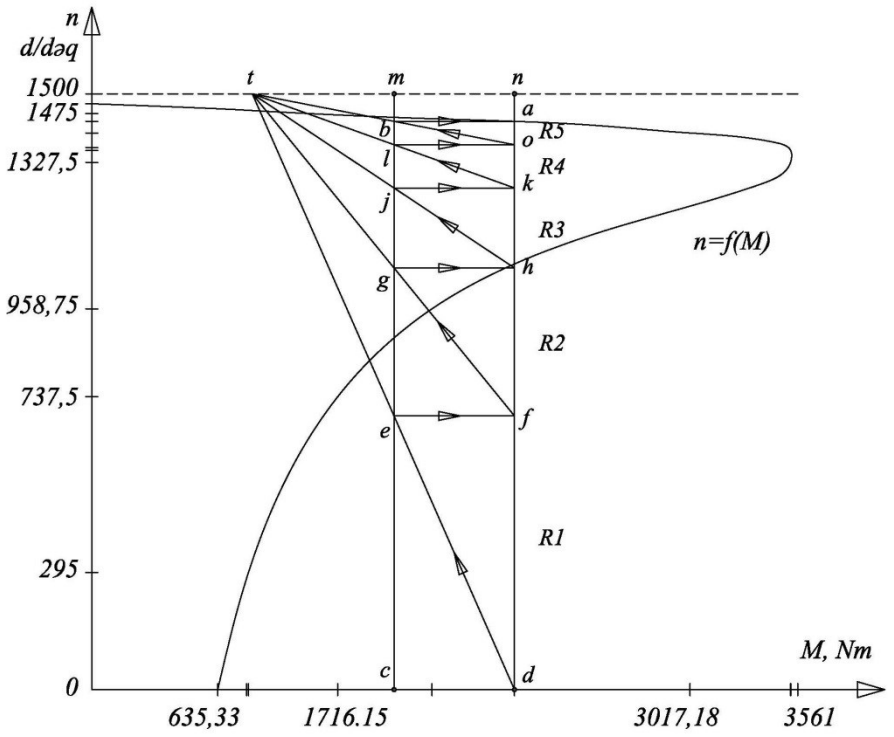
$$n = n_0(1 - s) \quad (2)$$

Bu düsturlar vasitəsilə aparılmış hesabatın nəticəsi cədvəldə göstərilmişdir

Cədvəl

S	0	0.01	0.03	0.05	0.08	0.1	0.35	0,5	0,8	1
M	0	780,93	2132,34	3017,8	3525,75	3524,75	1716,15	1240,77	790,46	635,33
n	1475	1460,25	1430,75	1401,25	1357	1327,5	958,75	737,5	295	0

Cədvəlin əsasında qurulmuş təbii mexaniki xarakteristikanın əyrisi şəkil 1-də göstərilmişdir.



Şəkil 1. *"Şirvan" tipli kran gəmilərnin köməkci sükan qurğusun elektrik mühərrikinin təbii və süni mexaniki xarakteristikaları*

Həmin mexaniki xarakteristikada mühərrikin rotor dövrəsinə qoşulmuş işəsalma (tənzim) müqavimətinin ayrı-ayrı pillələrinin və bu pillələrə müvafiq olan sürüşmələrin qrafiq üsulla alınması göstərilmişdir.

Şəkil 1-də alınmış müqavimət pillələrinin rotor dövrəsinə qoşulması şəkil 2-də göstərimişdir.

Elektrik maşınları və elektrik intiqalı kursundan məlum olduğu kimi sabit momentdə asinxron mühərrikinin sürüşməsi onun rotor dövrəsinin müqavimətinə mütənasibdir [3, 4].

Eyni zamanda həmin mənbədə qeyd olunduğu kimi asinxron mühərrikinin rotor dövrəsində yaranan güc itgisi onun sürüşməsinə mütənasibdir.

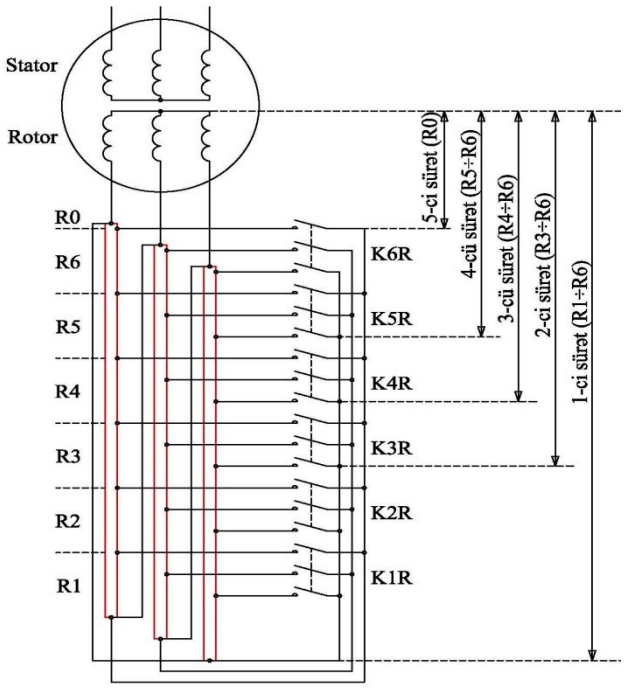
Yəni:

$$\Delta P_{rot} = 3I_2^2 R_2 = P_2 \frac{S}{1-S} \approx SP_2 \tag{3}$$

Burada P_2-mühərrikin valındakı gücdür.

Bu düstura əsasən mexaniki xarakteristikada (şəkil 1) ayrı-ayrı müqavimət pillələri üçün sürüşmənin (S) qiymətini tapıb mühərrikin rotor dövrəsində yaranan itgini təyin edə bilərik.

Fərz edək ki mühərrik təbii xarakteristikada işləyir bu vaxt 5S kontaktı açılır və R5 müqviməti rotor dövrəsinə daxil olur. Şəkil 1-dən göründüyü kimi bu süni xarakteristikada mühərrikin sürəti 1431döv/dəq olacaqdır.



Şəkil 2. *İşəsalma və tənzim müqavimətlərinin rotor dövrəsinə qoşulmasının sxemi*

Mühərrikin sürüşməsi:

$$S_1 = \frac{n_0 - n_1}{n_0} = 0{,}046$$

Bu qayda ilə 3s və 2s kontaktları açıldıqda rotor dövrəsinə əlavə tənzim müqaviməti qoşulur və mühərrikin fırlanma sürəti azalır.

$$S_2 = \frac{n_0 - n_2}{n_0} = 0{,}085$$

$$S_3 = \frac{n_0 - n_3}{n_0} = 0{,}158$$

$$S_4 = \frac{n_0 - n_4}{n_0} = 0{,}292$$

$$S_5 = \frac{n_0 - n_5}{n_0} = 0{,}54$$

Alınmış sürüşmələrin qiymətini (3)-cü düsturda yerinə yazıb ayrı-ayrı müqavimət pillələrinin rotor dolağının aktiv müaviməti ilə birlikdə yaratdığı itgini tapırıq.

$$\Delta P_{rot1} = S_1 P_n = 0{,}046 \cdot 220 = 10{,}12 kVt$$

$$\Delta P_{rot2} = S_2 P_n = 0{,}085 \cdot 220 = 18{,}7 kVt$$

$$\Delta P_{rot3} = S_3 P_n = 0{,}158 \cdot 220 = 34{,}76 kVt$$

$$\Delta P_{rot4} = S_4 P_n = 0{,}292 \cdot 220 = 64{,}24 kVt$$

$$\Delta P_{rot5} = S_5 P_n = 0{,}54 \cdot 220 = 118{,}8 kVt$$

Mühərrikin rotor dolağında yaranan itgini aşağıdakı kimi təyin etmək olar

$$\Delta P_{rot.dol} = S_n P_n = 0{,}017 \cdot 220 = 3{,}74 kVt$$

Göründüyü kimi rotor dolağında yaranan itgi müqavimət pillələrində yaranan itgidən çox-çox azdır. Müqavimətin beş pilləsində yaranan itgi aşağıdakına bərabər olacaq:

$$\Delta P_5 = \Delta P_{rot5} - \Delta P_{rot.dol} = 118{,}8 - 3{,}74 = 115{,}06 kVt$$

Bu qiyməti faizə çevirsək alarıq

$$\Delta P_5 \% = \frac{115{,}06}{220} \cdot 100 = 52{,}3\%$$

Aparılmış hesabatdan aydın görünür ki, böyük güclü yükqaldırıcı mexanizmlərdə tətbiq edilən faza rotorlu asinxron mühərrikinin rotor dövrəsinə qoşulmuş müqavimətdə işə salma və sürətin tənzimi zamanı böyük güc itgisi yaranır.

Nəticə.

1. Böyük güclü köməkçi sükan qurğularının elektrik intiqallarında tətbiq edilən faza rotorlu asinxron mühərrikinin rotor dövrəsinə qoşulmuş müqavimətdə işə salma və sürətin tənzimi zamanı böyük güc itgisi yarandığı və mühərrikin şəbəkədən aldığı elektrik gücünün çox hissəsi həmin müqavimətlərdə istiliyə çevrildiyi üçün, belə köməkçi sükan qurğularının iqtisadi cəhətdən əlverişli olmadığı aşkar edilmişdir.
2. Gələcəkdə vintinin addımı tənzim olunmayan böyük güclü köməkçi sükan qurğuları üçün elektrik intiqalı seçildikdə üstünlük idarəetmə ilə əlaqədar əlavə güc itgisi olmayan tezlik çeviricisi ilə idarə olunan rotoru qısa qapanmış asinxron mühərrikinə verilməlidir.

Ədəbiyyat

1. Sultanov E.F., Abdullayev A.N. Müasir gəmi elektrik intiqalları, dərslik, Bakı, ADDA mətbəəsi, 2018, 438 səh.
2. Москаленко В.В. Электрический привод: учебник для студентов высших учебных заведений. М.: Издательский центр «Академия», 2007, 368 стр.
3. S.C.Osmanov. “Elektrik maşınları” II- hissə, dərslik, Bakı, 2011, 256 səh.
4. Mehdiyev H.A, İsmayılov S.S. Gəmi köməkçi sükan intiqalının idarə olunmasının araşdırılması, Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyasının elmi əsərləri Bakı, “Ti-Media”, 2010 il. səh. 63-67

УДК 629.5.072.1

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ ПРИ КОНТРОЛЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ ВОДНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

[1]Тимочко А.И. , [2]Шапран Ю.Е.

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

Аннотация. *Представлена математическая модель "радиоэлектронная система – аппаратура контроля" водных транспортных средств на сетях Петри. С ее помощью получены аналитические выражения для показателей эффективности измерительного контроля параметров радиоэлектронных систем водных транспортных средств.*

Abstract. *A mathematical model of "radio-electronic system - control equipment" of water vehicles on Petri nets is presented. With its help, we obtained analytical expressions for the performance indicators of measuring control of parameters of radio electronic systems of water vehicles.*

Ключевые слова: *радиоэлектронная система, сети Петри, измерительный контроль*

Key words: *radio electronic system, Petri nets, measuring control*

Введение. В процессе эксплуатации радиоэлектронных систем (РЭС) водных транспортных средств (ВТС) необходимо измерять параметры систем, значения которых позволяют принимать решение относительно их дальнейшей эксплуатации. Для построения аппаратуры контроля технического состояния РЭС оптимальной структуры предлагается математическая модель измерительного контроля параметров. В основу математической модели "РЭС – аппаратура контроля" положена сеть Петри. Ее применение позволяет получить функциональную зависимость показателя эффективности измерительного контроля параметров при определении технического состояния РЭС ВТС с учетом метрологических характеристик используемых средств контроля.

Цель статьи – разработка математической модели измерительного контроля параметров при контроле технического состояния радиоэлектронных систем ВТС.

Анализ последних исследований и публикаций. Сети Петри разрабатывались специально для моделирования систем, содержащих взаимодействующие параллельные компоненты (блоки) [1-4]. Основная идея сетей Петри заключается в том, что моделируемые системы состоят из отдельных взаимодействующих компонентов, поведение которых можно описать независимо от других компонентов системы, за исключением точно определенных взаимодействий с иными компонентами. Каждая компонента имеет свое состояние. Состояние компоненты – это абстракция соответствующей информации, необходимой для описания ее действий. Компонента для системы "РЭС – аппаратура контроля" является определенной операцией из процесса проведения контроля технического состояния РЭС ВТС. Выполнение одной операции с необходимым результатом является основанием перехода к выполнению следующей операции. Например, наличие команды на применение РЭС по назначению определяет дальнейшее проведение ее предэксплуатационного обслуживания или контроля за счет встроенных средств измерительной техники (СИТ), при позитивном окончании которого РЭС применяется по назначению.

Изложение основного материала.

В сетях Петри условие выполнения определенной операции – это позиция, а событие, заключающееся в исполнении этой операции, – переход. Так, условием начала события, заключающегося в проведении предэксплуатационного контроля РЭС, является наличие команды на определение местонахождения судна и нахождения средства в штатном месте (т. е. РЭС применяется по назначению). Поэтому в модели "РЭС – аппаратура контроля" последние два условия отражаются в виде позиций, а события – в виде переходов. Обычно в литературе по теории сетей Петри множество позиций обозначают $D = \left\{ d_i,\ i = \overline{1,n} \right\}$, а множество переходов – $T = \left\{ t_j,\ j = \overline{1,m} \right\}$. Для временных сетей вводят переменную Z – время задержки маркера в соответствующей позиции [1-5]. Поскольку указанные обозначения общеприняты для вероятностей случайных событий и временных параметров, то в работе для описания предложенной сети Петри введем другие обозначения: D – позиция, G – переход, T – матрица часовых задержек маркера в позициях модели.

Последовательность событий в сети Петри отображается срабатываниями переходов, а выполнение какого-либо условия связано с появлением метки в соответствующей этому условию позиции. Это значит, что если в моделируемой сети "РЭС – аппаратура контроля" метка находится в определенной позиции, например, проведения предэксплуатационного контроля, то в реальной системе происходит самоконтроль РЭС. Переходы метки в модели "РЭС – аппаратура контроля" с одной позиции в другую характеризуют очередность выполнения операций при контроле технического состояния РЕС с помощью аппаратуры контроля. Соглашения о правилах срабатывания переходов являются способом выражения концепции причинно-следственных связей между условиями и событиями в модулируемой системе. Только после выполнения до-условий могут наступить соответствующие события. После того, как событие имело место, реализуются пост-условия каких-либо других событий и т. д. При этом первопричины исчезнут, например, событие – начало проведения восстановительных работ зависит от результатов проведения контроля параметров РЕС и не зависит от события – начало проведения предэксплуатационного контроля [1, 3, 4].

Структуру модели "РЭС – аппаратура контроля" для наглядности представим графом сети Петри, который моделирует взаимодействие РЭС и аппаратуру контроля (рис. 1).

Переходы $g_1^{\bullet}$ и $g_5^{\bullet}$ имеют то же физическое содержание, что и переходы g_1 и g_5 соответственно, они продублированы для удобства изображения отдельных позиций на графе. Сети Петри свойственны два состояния, не имеющие выходов (предельные состояния). Это объясняется особенностью эксплуатации РЭС ВТС как объекта, работающего в условиях агрессивной окружающей среды.

После успешного прохождения самоконтроля РЭС выполняет поставленную задачу (позиция d_1), после чего она выводится из эксплуатации. При невозможности проведения ремонта в техническом подразделении (позиция d_4) РЭС также выводится из эксплуатации на борту морского транспорта и направляется на базу или завод-изготовитель, а в некоторых случаях, выводится из эксплуатации (списывается) [6]. Поэтому модель "РЭС – аппаратура контроля" имеет два предельных состояния.

Итак, запишем математическую модель "РЭС – аппаратура контроля" в виде [179]:

$$S = \{D,\ G,\ F,\ M_0,\ T\}, \tag{1}$$

где $D = \left\{ d_i,\ i = \overline{1,14} \right\}$ – множество позиций сети Петри;

$G = \left\{ g_j, j = \overline{1,9} \right\}$ – множество переходов сети Петри;

$F = F(Q,\ R)$ – функция инциденций сети Петри;

$M_0 = M(d_6) = \{00000100000000\}$ – вектор начальной маркировки сети;

$T{:}D \to t_i = R^+$ определяет время задержки маркеров в позициях (t_i – задержка маркера в i-ой позиции, R^+ – множество неотрицательных вещественных чисел).

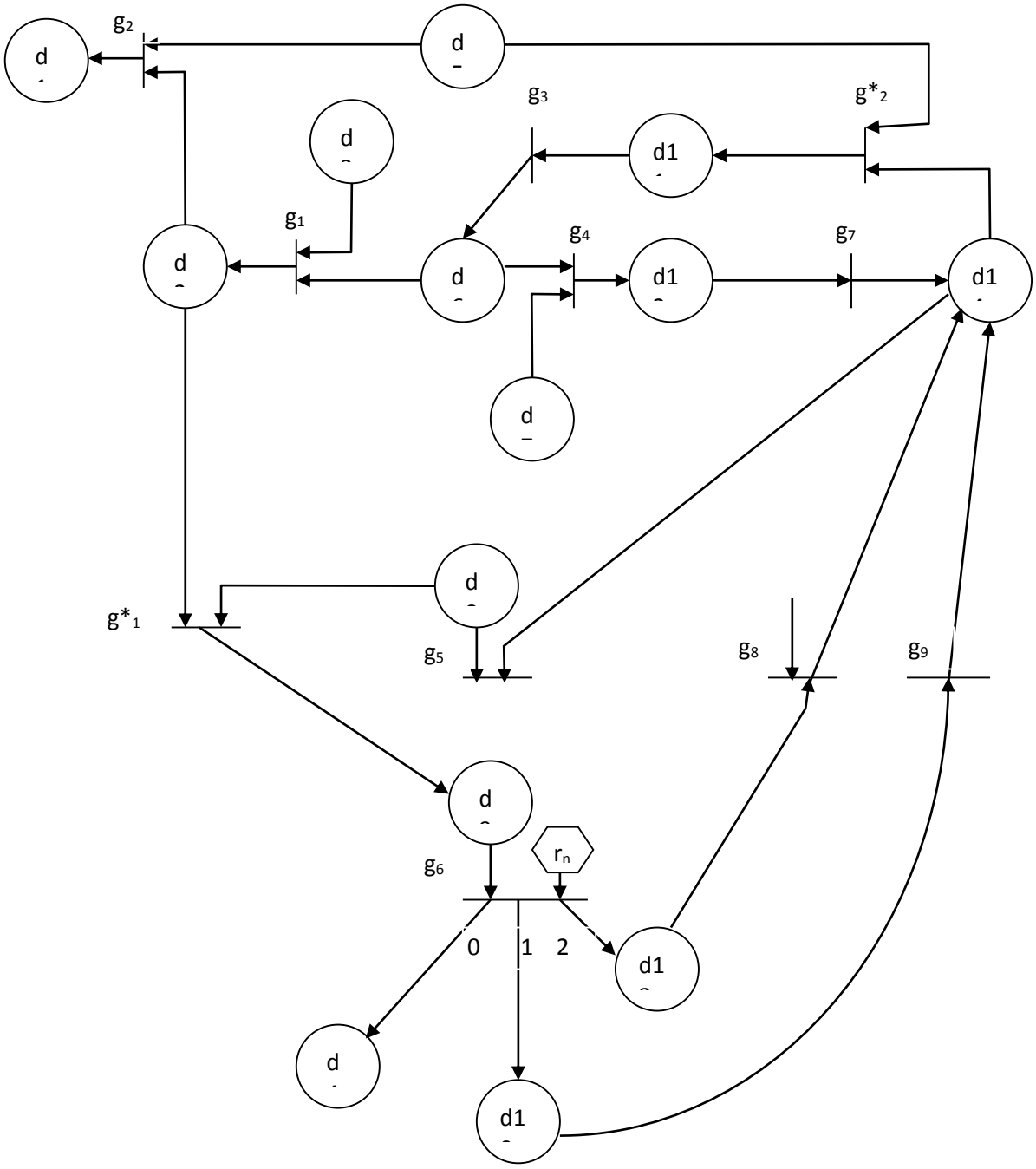


Рис. 1. *Граф сети Петри, моделирующий взаимодействие РЭС и аппаратуры контроля*

С учетом особенностей эксплуатации и проведения измерительного контроля параметров РЭС, позиции d_i, $i = \overline{1,14}$ и переходы g_j, $j = \overline{1,9}$ обозначены:

d_1 – выполнение РЭС поставленной задачи (например, определение координат);

d_2 – проведение самоконтроля РЭС (перед применением по назначению);

d_3 – поступила задача на применение РЭС по назначению;

d_4 – необходимо проведение ремонта неисправной РЭС;

d_5 – на выходе аппаратуры контроля результат "исправно";

d_6 – РЭС готова к применению по назначению (исправная, функционирует нормально);

d_7 – поступила задача на проведение измерительного контроля параметров РЭС при контроле технического состояния;

d_8 – на выходе аппаратуры контроля "неисправно";

d_9 – РЭС по результатам контроля признается неспособной к дальнейшей эксплуатации по назначению (неисправной);

d_{10} – проведение регулирования параметров РЭС, которые вышли за пределы допуска;

d_{11} – РЕС по результатам контроля признается способной к дальнейшей эксплуатации по назначению;

d_{12} – проведение операций соединения РЭС и аппаратуры контроля;

d_{13} – проведение замены неисправного блока (тракта, элемента) РЭС;

d_{14} – проведение измерительного контроля параметров РЭС при контроле технического состояния;

g_1 – начало проведения самоконтроля РЭС (перед применением по назначению);

g_2 – окончание проведения самоконтроля РЭС;

g_3 – перевод исправной РЕС после самоконтроля на функционирование по назначению;

g_4 – начало соединения РЭС и аппаратуры контроля;

g_5 – окончание определения значений параметров РЭС;

g_6 – начало возобновления неисправной РЭС;

g_7 – окончание операции соединения РЭС и аппаратуры контроля;

g_8 – окончание проведения замены неисправного блока (тракта, элемента) РЭС;

g_9 – окончание проведения регулирования параметров РЭС, которые вышли за пределы допуска [6].

Функция инциденций задается матрицами входных и исходных инциденций соответственно:

$$
\begin{aligned}
&Q(g_1)=\{d_3,\ d_6\}; && R(g_1)=\{d_2\};\\
&Q(g_2)=\{d_2,\ d_5\}; && R(g_2)=\{d_1\};\\
&Q(g_3)=\{d_4\}; && R(g_3)=\{d_6\};\\
&Q(g_4)=\{d_6,\ d_7\}; && R(g_4)=\{d_{11},d_{12}\};\\
&Q(g_5)=\{d_5, d_8,\ d_{14}\}; && R(g_5)=\{d_9\};\\
&Q(g_6)=\{d_9\}; && R(g_6)=\{d_4,\ d_{10},\ d_{13}\};\\
&Q(g_7)=\{d_{12}\}; && R(g_7)=\{d_{14}\};\\
&Q(g_8)=\{d_{13}\}; && R(g_8)=\{d_{14}\};\\
&Q(g_9)=\{d_{10}\}; && R(g_9)=\{d_{14}\}.
\end{aligned}
\qquad (2)
$$

Входная инциденция $Q(g_i)=\{d_i,\ d_j\}$ показывает, что для срабатывания перехода g_i необходимо выполнение позиций $d_i,\ d_j$, т. е. наличие у них маркера. Например, запись $Q(g_1)=\{d_3,\ d_6\}$ показывает, что для начала проведения самоконтроля (переход g_1) необхо-

димо наличие маркеров в позициях d_3 (поступила задача на применение РЭС) и d_6 (РЭС применяются по назначению). Входная инциденция $R(g_i)=\{d_i,\ d_j\}$ показывает, что после срабатывания перехода g_i будет выполняться позиция d_i, т. е. к ней перейдет маркер. Например, запись $R(g_9)=\{d_{14}\}$ показывает, что после окончания проведения регулирования (переход g_9) будет выполняться позиция d_{14}, т. е. проведение измерительного контроля параметров РЭС при контроле технического состояния.

Вектор начальной маркировки сети M_0 (наличие в соответствующем столбце маркера единицы) показывает, в какой позиции находится маркер перед началом ее функционирования (для данной модели начальное состояние – РЭС применяется по назначению, маркер находится в позиции d_6).

Множество положительных вещественных чисел R^+ матрицы $\grave{O}$ характеризует время нахождения моделируемой системы в соответствующем состоянии (позиции).

Задержки в позициях имеют следующие значения:

$$T=\{0,\ \tau_{ïê},\ 0,\ \tau_{íâ},\ 0,\ T_ï,\ 0,\ 0,\ 0,\ \tau_â,\ 0,\ 0\ ,\tau_{ç_i},\ \tau_n\},\qquad(3)$$

где $\tau_{ïê}$, $\tau_{íâ}$, $T_ï$, $\tau_â$, $\tau_{ç_i}$, τ_n – временные параметры эксплуатации РЕС.

Некоторые значения задержек в матрице равны нулю. Это объясняется тем, что выполнение условий в позициях не требует временных затрат, потому в них задержка маркера равна нулю. В позиции d_{12} время задержки маркера равно нулю, поскольку оно включено в длительность проведение контроля.

Для разрешения конфликта на переходе g_6 (после выполнения перехода необходимо определить вид восстановительных работ, т. е. направление движения маркера) введем решающую позицию – r_n. Если $r_n=0$, то маркер переходит с позиции d_9 в позицию d_4. Если $r_n=1$, то переход маркера осуществляется в позицию d_{10}, при $r_n=2$ осуществляется переход в позицию d_{13}.

Позиции d_5, d_8 учитывают влияние метрологических характеристик аппаратуры контроля (СИТ) на результат проведения измерительного контроля параметров РЭС. Наличие маркера в одной из двух перечисленных позиций характеризует пригодность (непригодность) РЭС к дальнейшему приложению.

Моделирование сетью Петри является имитационным моделированием. Поэтому для определения адекватности модели "РЭС – аппаратура контроля" проанализируем ее на ограниченность, безопасность, сохраняемость и полноту. Свойство ограниченности связано с ограниченной вместимостью реальных условий реализации событий. Из определения правил срабатывания переходов сети выходит, что для реализации события, моделируемого некоторым переходом, достаточно, чтобы каждая его входная позиция содержала некоторое конечное число маркеров, равное кратности дуги, соединяющей его с переходом. Но при работе сети некоторые ее места могут накапливать неограниченное число маркеров. Свойство ограниченности сети показывает, что число маркеров в позициях сети ограничено и не превышает некоторого установленного значения.

Одно из важнейших свойств сети Петри, которая моделирует реальное устройство, - безопасность. Например, одна и та же РЭС не может одновременно применяться по назначению и поддаваться возобновлению. Не допускается также одновременного функционирования по назначению и проведение контроля технического состояния. На примере приведенной сети видно, что при ошибочном одновременном появлении маркеров в позициях d_3 и d_7 выполняться будет только один переход – g_2 или g_4, поскольку выполнение, например, пе-

рехода g_2 приведет к потере маркера в позиции d_6 и переход g_4 будет невозможен.

Свойство сохраняемости сети показывает, что маркеры никогда не создаются и не уничтожаются. Это характеризует то, что позиции сети, моделирующие состояния реального объекта, выполняются в строгой последовательности, и модель имеет четкое завершение после выполнения цикла. Например, после выполнения подготовительных операций для проведения технического обслуживания радиолокационной станции она направляется на контроль параметров, т. е. маркер с позиции d_{12} переходит в позицию d_{14}.

Свойство полноты сети сводится к тому, чтобы из начальной маркировки можно было достичь необходимого состояния модели.

Проведем анализ моделируемой системы "РЭС – аппаратура контроля" на адекватность. Известны два метода анализа сетей Петри [1, 2, 5]:

- метод, основанный на решении матричных уравнений;
- метод, основанный на построении дерева досягаемости.

Матричный метод появился относительно недавно и пока не полностью изучен, из-за имеющихся недостатков применяется редко. Выделим две трудности матричного метода анализа сетей Петри :

- матрица, получаемая из матриц *Q* и *R*, не полностью отражает структуру сети Петри;
- отсутствует информация о последовательности в векторе запуска переходов.

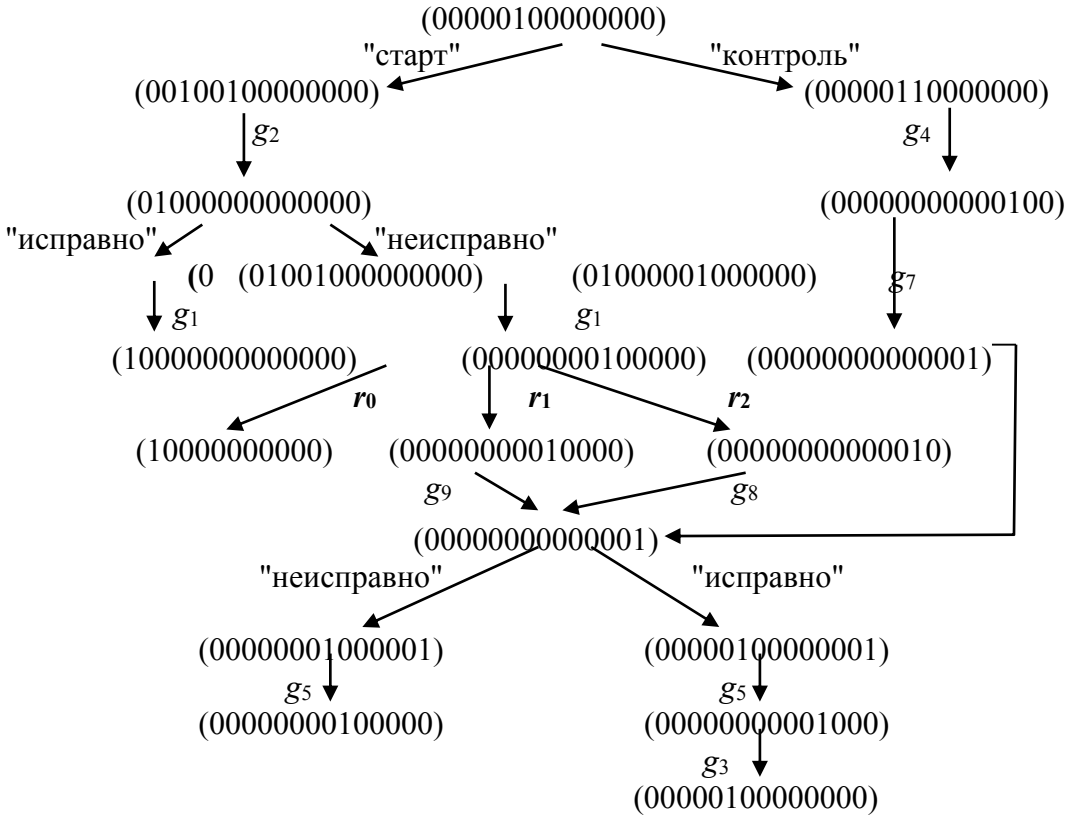


***Рис. 2**. Дерево досягаемости сети Петри*

Поэтому воспользуемся методом, основанным на построении дерева досягаемости. Дерево досягаемости является множеством возможных позиций сети Петри и отражает возможные состояния моделируемой системы. Маркировка, например $M\{0001000000000\}$, показывает, что на этом шаге работы модели маркер находится в позиции d_4, т. е. необходимо возобновление неисправной РЕС. Нули в маркировке показывают отсутствие маркера в соответствующей позиции. Для моделируемой системы "РЭС – аппаратура контроля" дерево

досягаемости представлено на рисунке 2. Из его анализа видно, что сеть безопасна (количество маркеров в каждой позиции не превышает 1), ограничена (отсутствующий символ бесконечности в дереве досягаемости) и является сохраняемой, поскольку она не теряет и не порождает маркеры, а просто передвигает их. Кроме того, она имеет свойство полноты, поскольку любая маркировка *M*, рассматриваемая в процессе моделирования, достигается из начальной маркировки *M*0. Проведенные исследования модели позволяют говорить об ее адекватности.

Отличительной чертой предложенной модели "РЭС – аппаратура контроля" от аналогичной модели, приведенной в [7], является четкое разграничение понятий метрологической и технической надежности аппаратуры контроля (СИТ), используюмой при измерительном контроле параметров РЭС. В предложенной модели "РЭС – аппаратура контроля" впервые определяется влияние метрологической надежности СИТ на эффективность измерительного контроля параметров РЭС.

В процессе эксплуатации метрологические характеристики аппаратуры контроля изменяются со временем случайным образом, что приводит к ее отказам, которые могут быть метрологическими и неметрологическими (техническими) [7-10]. Причем, если неметрологические отказы чаще можно определить визуально, например, потеря полной или частичной работоспособности аппаратуры, то метрологические отказы оказываются только после проведения проверки (калибрования) СИТ, поскольку этот тип отказов вызван выходом метрологических характеристик средств измерения за установленные допустимые пределы, что визуально определить невозможно. Как показывают исследования [7, 11] метрологические отказы СИТ происходят значительно чаще неметрологических, при этом процесс изменения (дрейфа) метрологических характеристик идет непрерывно и независимо от того, используется ли аппаратура контроля или она находится на хранении. Поэтому в модели "РЭС – аппаратура контроля" впервые учтено влияние метрологического отказа аппаратуры контроля (состояния d_5, d_8) на общий результат проведения измерительного контроля параметров РЭС. Это позволяет повысить достоверность принятия решения о пригодности РЭС к дальнейшему применения по назначению по результатам измерительного контроля ее параметров.

Выводы

1. Разработана математическая модель измерительного контроля параметров при контроле технического состояния радиоэлектронных систем водных транспортных средств во время эксплуатации, представленная математической моделью "радиоэлектронная система – аппаратура контроля". Особенностью этой модели является то, что в ней впервые учтено влияние метрологического отказа средств измерительной техники на общий результат проведения измерительного контроля параметров радиоэлектронных систем водных транспортных средств. Это позволяет повысить достоверность принятия решения о пригодности радиоэлектронных систем водных транспортных средств к дальнейшему использованию по назначению по результатам измерительного контроля их параметров. Полученная модель проверена на адекватность с помощью метода, основанного на построении дерева досягаемости.

2. Предложенная математическая модель измерительного контроля параметров при контроле технического состояния РЭС ВТС в процессе эксплуатации позволяет рассчитать показатели эффективности измерительного контроля параметров РЭС.

Литература

1. Вихров Н.М. Управление и оптимизация производственно-технологическими процессами / [Вихров Н.М., Гаскаров Д.В., Грищенков А.А., Шнуренко А.А.]; под ред. Гаскарова Д.В. С-Пб.: Изд. Энергоатомиздат, 1995. 301 с.

2. Машков О.А. Направления развития теории функционально-устойчивых сложных систем управления / Машков О.А., Усаченко Л.М. // Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту: Матеріали міжнародної наукової конференції ISDMCI`2009. Херсон: ХНТУ. 2009. Том 1. с. 79-86.
3. Мирошник И.В. Нелинейное и адаптивное управление сложными динамическими системами / Мирошник И.В., Никифоров А.Л., Фрадков А.Л. С-Пб.: Наука, 2000. 549 с.
4. Неймарк Ю.И. Простые математические модели и их роль в постижении мира / Неймарк Ю.И. // Соровский образовательный журнал. 1997. № 3. с. 139-143.
5. Sheyner O., Wing J., Lippman R., Haines J. Automated Generation and Analysis of Attak Graphs //In 2002 IEEE Symposium on Security and Privacy. Oaklend, California, 2002 http://csse.usc.edu.
6. Pavlenko M. Arithmetic model «radiotechnical facilities – control system» according to Petri net model / M. Pavlenko, Yu. Shapran, M. Stakhova // Наука і техніка Повітряних Сил Збройних Сил України. 2018. № 1. с. 66-72.
7. Метрологическое обеспечение систем передачи: Учеб. пособие для вузов / Б.П. Хромой, В.Л. Серебрин, А.Л. Синявский и др.: под ред. Б.П. Хромого. М.: Радио и связь, 1991. 392 с.
8. Измерительные информационные системы / Под общей ред. Н.А. Рубичева. М.: Дрофа, 2010. 334 с.
9. Информационно-измерительная техника и электроника/Под ред. Г.Г. Раннева. М.: Академия, 2006. 512 с.
10. Чинков В.М. Дослідження марківської моделі експлуатації військових засобів вимірювальної техніки з урахуванням проміжних контрольних перевірок / Чинков В.М., Герасимов С.В., Мельниченко О.Є. // Системи озброєння та військова техніка. 2005. Вип. 2. с. 54-57.
11. Теоретические основы испытаний и экспериментальная отработка сложных технических систем / Л.Н. Александровская, В.И. Круглов, А.Г. Кузнецов и др. М.: Логос, 2003.736 с.

GƏMİÇİLİKDƏ TƏBİƏT ELMLƏRİNİN PROBLEMLƏRİ

УДК 541(64+127):537.3

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОЧНОСТИ ПОЛИМЕРОВ

Алиева И.К., Алиев Х.М.

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

Xülasə. *Geniş temperatur oblastında (~77÷300K) daimi elektrik sahəsində polietilen və polietilentereftalat polimer plyonkalarının elektrik yaşama müddəti (τ_E) ölçülmüşdür. Elektrik sahə intensivliyinin (E) hər bir sabit qiymətində τ_E-nin temperaturdan (T) asılılığında iki bölüm müşahidə olunur: yüksək temperatur bölümündə (~200÷300K) τ_E-nin T-dən asılılığı məlum xətti asılılıqdır; aşağı temperatur bölümündə isə (~77÷200K) elektrik yaşama müddəti T-dən asılı deyil və bu bölümdə τ_E-nin qiymətinin lokal halında azalması da müşahidə edilir.*

Abstract. *There have been carried out measurements of electric durability (τ_E) for polymer films: polyethylene and polyethylene terephthalate in constant in sign field within T ~ 77÷300K. At each constant value of electric intensity there have been revealed two regions of dependences τ_E on temperature (T): at elevated temperatures (~200÷300K) the familiar linear dependence $\ell g\tau_E(1/T)$ are taken place; at low temperatures (~77÷200K) the independence o durability on T ("non –thermal region") is taken place. In "non - thermal region" the separate local decreases in durability (minima) are found.*

Аннотация. *Проведены измерения электрической долговечности (τ_E) для полимерных пленок – полиэтилена и полиэтилентерефталата в постоянном по знаку поле в области температур. При каждом постоянном значении напряженности электрического поля (E) обнаружены две области зависимости τ_E от температуры (T): при повышенных температурах (~200÷300K) имеет место известная линейная зависимость $\ell g\tau_E(1/T)$; при низких температурах (~77÷200K) – независимость долговечности от T («атермическая область»). На «атермической области» τ_E имеются отдельные локальные снижения долговечности (минимумы).*

Açar sözlər: *polimer dielektriklər, keramik dielektriklər, elektrik dağılmasının kinetikası, elektrik yaşama müddəti, elektrik dağılması, temperatur*

Key words: *polymer dielectrics, ceramic dielectrics, kinetics of electric breakdown, electric durability, temperature*

Ключевые слова: *полимерные диэлектрики, керамические диэлектрики, кинетика электрического разрушения, электрическая долговечность, электрический пробой, температура*

Введение. Проблема электрической прочности (устойчивости к пробою) диэлектриков остается важной как в научном, так и в техническом отношении. Разработка механизмов электрического разрушения для многих широко используемых на практике полимерных материалов не завершена. В частности, до сих пор значительный интерес представляет выяснение природы длительной электрической прочности или кинетики электрического разрушения полимеров. Установлено, что пробой диэлектриков выступает не как событие критического характера (т.е. происходящее при достижении некоторого предельного значения

напряженности электрического поля E), а как явление, имеющее кинетическую природу. Кинетический характер электрического разрушения диэлектриков проявляется в том, что пробой наступает не мгновенно при приложении E, а по истечении некоторого времени (τ_E), которое приобрело название «электрическая долговечность». Пробой данного диэлектрика наступает при различных значениях E, но при этом – за различное время τ_E действия E причем чем меньше E, тем больше τ_E [1,2]. В зависимости от E измеренная долговечность τ_E варьируется в широких пределах от ~1 до 10^6с и более. Наличие времени ожидания пробоя (электрической долговечности), причем достигающего большой продолжительности, означает, что при действии поля в диэлектриках идут процессы, состоящие из последовательности элементарных актов, подготавливающие диэлектрические образцы к пробою. Исследование элементарных актов в кинетике подготовки диэлектрика к пробою выступает важной задачей физики электрического разрушения диэлектриков.

Если элементарные акты электрического разрушения являются событиями случайного характера, то тогда электрическая долговечность τ_E с логарифмической точность совпадает со средним временем ожидания элементарного акта $\tau_{акт}$ [3]. Поэтому измерение и исследование зависимости электрической долговечности τ_E от напряженности электрического поля E и температуры T ведут к установлению зависимости от E и T величины $\tau_{акт}$, а из анализа зависимости $\tau_{акт}$(E, T) следует информация об элементарных актах электрического разрушения диэлектриков: их природы и механизма осуществления.

Задачей настоящей работы является рассмотрение кинетики электрического разрушения полимеров в широкой области температур, и выяснить механизмы кинетики их электрического разрушения (пробоя).

Объекты и методики измерений. Объектами исследования были взяты пленки полиэтилен (ПЭ) толщиной 40 мкм и полиэтилентерефталат (ПЭТФ) толщиной 20 мкм. Использовали прижимные электроды типа плоскость–плоскость. Перед испытанием на пробой, толщина образцов измерялась в 5–6 рабочих местах на приборе ИЗВ-2, после чего находилось среднее арифметическое значение толщины образца. При каждом измерении электрической долговечности τ_E, температура испытаний в интервале ~77–300K поддерживалась постоянной с помощью КСП-4. Во время измерения при данной температуре, образцы предварительно выдерживались при этой температуре в течение 15 минут.

Из эксперимента определялась τ_E полимеров в зависимости от E и T. Измерения проводились в постоянном электрическом поле. Напряженность электрического поля E определялась из соотношения $E = U/d$, где U – приложенное электрическое напряжение. Пробой фиксировался по импульсу тока. Отсутствие частичных разрядов контролировалось электрометрически. Вследствие характерного разброса τ_E для каждой комбинации условий: E и T производились измерения τ_E для 10–12 образцов, из которых находились среднее значение $\ell g \tau_E$.

Экспериментальные результаты и их обсуждение. На рис.1 показаны зависимости электрической долговечности τ_E от температуры T для полиэтилена (ПЭ) и полиэтилентерефталата (ПЭТФ) при постоянных значениях напряженности электрического поля.

На рис.2 представлены зависимости τ_E от T для этих же полимеров (ПЭ, ПЭТФ); каждая при определенном значении напряжения постоянного (по знаку) электрического поля E. Зависимости представлены в аррениусовской форме: $\ell g \tau_E(1/T)$, являющейся более информативной, чем форма зависимости $\tau_E(T)$, что будет видно при проведении анализа экспериментальных данных.

Как следует из рис.2, зависимости $\ell g \tau_E(1/T)$ для представленных полимеров имеют общие черты:

1) в области повышенных температур ~200÷300К зависимости близки к линейным с «крутым» наклоном и охватывают диапазон τ_E в три-четыре порядка;
2) в области пониженных температур ~77÷200К зависимости лежат в сравнительных узких коридорах $(\Delta \ell g \tau_E \approx 1)$ на горизонтальных уровнях при значениях $\ell g \tau_E \sim$ 4–5 (уровни показаны штриховыми прямыми на рис.2).

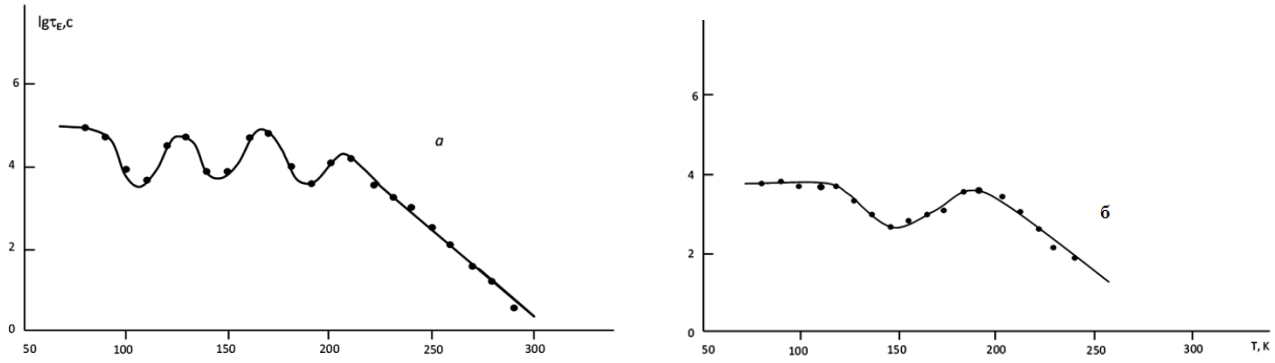


***Рис.1**. Температурная зависимость электрической долговечности полимеров:*
а – ПЭ. Напряженность поля E = 5,0·10⁸ В/м, б – ПЭТФ. Напряженность поля E = 5,8·10⁸ В/м.

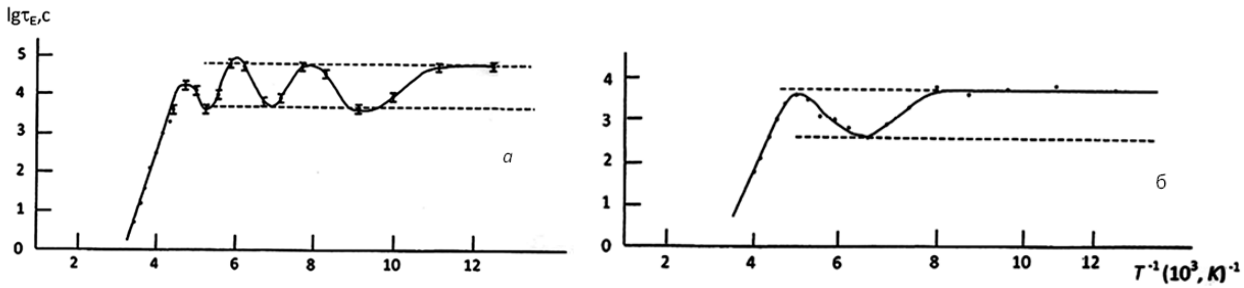


***Рис.2.** Температурная зависимость электрической долговечности полимеров в аррениусовских координатах:*
а – ПЭ. Напряженность поля E = 5,0·10⁸ В/м, б – ПЭТФ. Напряженность поля E = 5,8·10⁸ В/м.

Видно, что на горизонтальных низкотемпературных уровнях имеют место «волнообразные» отклонения, имеющие вид последовательностей нескольких «волн» (а) или одиночной «волны» (б) от «осей уровней» (штриховых прямых).

Измерения зависимости $\ell g \tau_E(1/T)$ проводились при вариации значений напряженности электрического поля. Поскольку из двух полимеров-объектов основные и наиболее детальные исследования проводились на ПЭ, то пример зависимостей $\ell g \tau_E(1/T)$ при разных значениях представляем именно для ПЭ (рис.3). Видно, что зависимости $\ell g \tau_E(1/T)$ при вариации E однотипны. Подчеркнем, что характер низкотемпературной «волнообразности» зависимостей при разных E сохраняется, что свидетельствует о реальности «волн».

При этом можно отметить, что в область низких температур происходит систематическое с ростом E смещение по температуре как «максимумов», так и «минимумов» «волн» (т.е. смещение самих «волн») в сторону более низких значений температуры. Влияние величины E на зависимость $\ell g \tau_E(1/T)$ для ПЭТФ носит аналогичный (с ПЭ) характер.

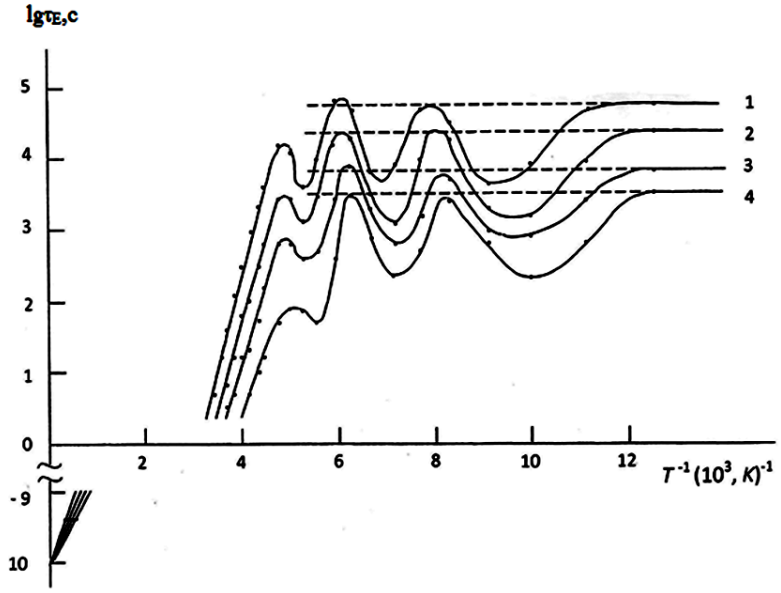


Рис. 3. *Температурная зависимость электрической долговечности ПЭ в аррениусовских координатах при разных напряженностях электрического поля:*
Напряженность поля E·10⁸, В/м = 5,0 (1), 5,3 (2), 5,6 (3) 5,8 (4).

Перед обсуждением результатов исследования кинетики электрического разрушения полимеров в широкой области температур назовем важные результаты подобного исследования неполимерных – керамических диэлектриков, выполненных ранее [4]. На рис. 4. приведены данные по зависимости $\ell g\tau_E(1/T)$ для титаносодержащей керамики ВС-1 (твердый раствор $BaTiO_3$–$CaZrO_3$ с добавками) в области температуры 220–480К. Можно видеть две области температуры:

–повышенные температуры, где зависимости имеют наклонные прямые;

–низкие температуры, где зависимости имеют вид горизонтальных прямых, что позволяет дать им название «атермическое плато».

Обращаем, прежде всего, внимание на однотипность (качественное подобие) зависимостей $\ell g\tau_E(1/T)$ для полимерного (рис.3) и керамического диэлектрика (рис.4).

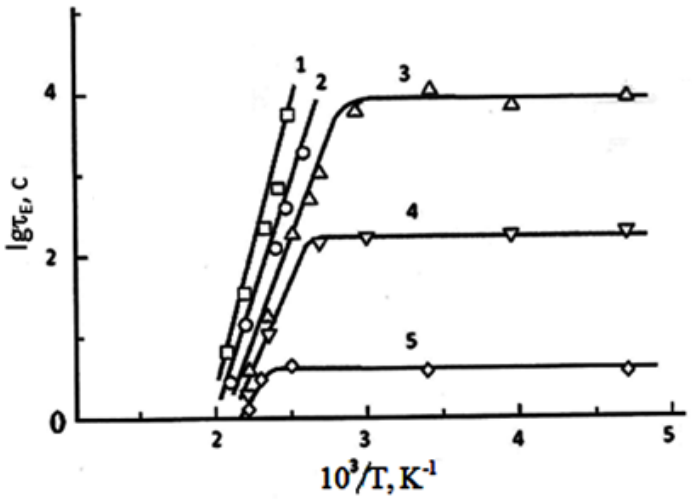


Рис.4. *Температурная зависимость электрической долговечности керамики ВС-1 в аррениусовских координатах при разных напряженностях электрического поля:*
Напряженность поля E, МВ/м = 2,7 (1), 5,7 (2), 9,0 (3) 11,0 (4), 14,2 (5).

1) В обоих случаях температурные зависимости состоят из двух частей:

а) линейное спадание $\ell g\tau_E$ с ростом Т при повышенных температурах;

б) постоянство $\ell g\tau_E$ по температуре (атермическое плато для керамического диэлектрика и «волны» на атермическом, горизонтальном уровне долговечности для полимера при низких температурах. Смотрите далее, «волны» не исключают понятие горизонтальной оси уровня (коридора) долговечности;

2) В обоих случаях долговечность уменьшается с ростом напряженности электрического поля.

3) Увеличение Е вызывает уменьшение $\ell g\tau_E$ в обоих областях.

Для керамик были сделаны важные выводы о механизме кинетики их электрического разрушения [4]: прыжковый транспорт инжектированных из электродов зарядов (электронов и дырок) из ловушки в ловушку с надбарьерными переходами при повышенных температурах и с туннельными переходами (что следовало именно из наличия атермического плато!) при низких температурах.

Процесс, контролирующий темп приближения полимеров к пробивному состоянию, складывается из элементарных актов, в которых происходит скачковое перемещение электронов в направлении действия электрического поля с преодолением в каждом акте потенциального барьера, снижаемого полем. Исходная (в отсутствии поля) высота барьера имеет для разных полимеров величину порядка ~1,5÷2,0 эВ. В ряде работ [5,6] было сделано предположение о том, что этот барьер отвечает глубине нейтральных ловушек, в которых оказываются свободные электроны внутри полимерного тела. Такими естественными ловушками выступают промежутки между отдельными цепными молекулами.

Если в полимерных кристаллах молекулы «упакованы» достаточно плотно и свободный объем мал то в аморфных полимерах т в аморфных областях кристаллизующихся полимеров (ПЭ, ПЭТФ, ПТФЭ, ПП и т.д.), в которых аморфные области занимают ~20–50% объема, ситуация иная. В аморфных областях наличие гош-конформеров приводит к более рыхлой упаковке полимерных молекул, в результате чего плотность аморфных областей на ~10–15% ниже, чем кристаллических [7]. Это означает, что между молекулами имеются «полости» нанометрового масштаба, которые могут служить ловушками для электронов. Оценки глубины таких ловушек дают значения ~1–2 эВ, т.е. близкие барьерам элементарных актов в кинетике электрического разрушения полимеров. Ширина ловушек и среднее расстояние между соседними ловушками соизмеримы с эффективным поперечным размером молекул при наличии гош-конформеров (~1 нм).

Как следствие элементарный акт с высотой барьера ~1,5–2,0 эВ можно трактовать как выброс электрона из ловушки или же как переброс электрона из одной ловушки в соседнюю при повышенных температурах, или туннельный переход электрона из одной ловушки в соседнюю при низких температурах.

Отмеченное выше сходство зависимостей $\ell g\tau_E(E,T)$ у полимеров с керамиками позволяет ожидать и в значительной степени общности механизмов кинетики их электрического разрушения. Но должны, очевидно, проявиться и некоторые способности – как результат наличия «волны» на низкотемпературном «уровне» зависимости $\ell g\tau_E(1/T)$.

Информация о механизме элементарных актов кинетики электрического разрушения следует из вида зависимости $\ell g\tau_E(1/T)$ в области повышенных температур. Линейность зависимостей $\ell g\tau_E(1/T)$ при разных Е (левая часть рис.3) и их «веерная» сходимость к значению $\ell g\tau_n$ при $1/T=0$ позволяют записать выражение для $\tau(E,T)$ в форме

$$\tau = \tau_n \, exp\left[\frac{U(E)}{kT}\right] \tag{1}$$

где k – постоянная Больцмана, U(E) – зависящий от величины напряженности электрического поля потенциальный барьер, T – абсолютная температура.

Из данных на рис.3 для ПЭ следует $\tau_n \approx 10^{-10} - 10^{-9} c$ [1].

Выражение (1) сопоставляется с известной формулой Френкеля для среднего времени ожидания флуктуаций тепловой энергии $E_{фл}$ [8]:

$$\tau_{фл} \approx \tau_0 \cdot \exp\left[\frac{E_{фл}}{kT}\right] \tag{2}$$

Здесь $\tau_0 \approx 10^{-12} \div 10^{-13} c$ период колебаний атомов в твердых телах, в том числе и полимеров (или период колебаний максимальной частоты в дебаевском спектре).

Подобие формул (1) и (2) позволяет заключить, что электрическая долговечность полимеров контролируется актами перехода через потенциальный барьер U(E), обусловленными флуктуациями энергии $E_{фл} \approx U(E)$. С учетом формулы (2) выражение (1) можно представить в виде

$$\tau \approx n \cdot \tau_0 \, exp\left[\frac{U(E)}{kT}\right] \tag{3}$$

Значение $n \approx 10^3 \div 10^4$ отвечают приблизительно среднему числу перескоков электрона из ловушки в ловушку по направлению действия поля за время формирования критического объемного заряда [3]. Подчеркнем, что в повышенной области температуры элементарные акты в кинетике электрического разрушения полимеров осуществляются надбарьерными переходами. Из наклонов зависимостей $\ell g \tau (1/T)$ на рис. 3 для ПЭ находим, что зависимость U(E) приблизительно линейна:

$$U(E) = U_0 - \alpha E \tag{4}$$

Такая же линейная зависимость U(E) для других полимеров была установлена в работах [9]. Выражение (4) показывает, что исходный (начальный) барьер снижается приложенным полем, и коэффициент α характеризует степень этого снижения.

Таким образом, существование долговечности свидетельствует о кинетическом характере электрического разрушения полимеров, а анализ зависимостей $\tau(E, T)$ позволили установить механизм этого явления при повышенных температурах (термофлуктуационное преодоление барьера).

Полученные результаты по исследованию температурные зависимости электрической долговечности полимеров показали, что кинетика электрического разрушения связана с электронами [1]. Из электродов при приложении напряжения происходит инжекция электронов внутрь диэлектрика. Электроны попадают в ловушки – потенциальные ямы, образуются как «осцилляторы», где колеблющимися частицами выступают электроны. При действии электрического поля происходят флуктуационные выходы электронов из ловушек и перескоки электронов из ловушки в ловушку вдоль электрического поля. В результате прыжкового транспорта электронов вдоль поля они накапливаются недалеко от анода с образованием локализованного объемного заряда. При достижении зарядом критической величины происходит пробой. Таким образом, элементарными актами процесса подготовки диэлектрика к пробою являются акты выхода электронов из ловушек, которому препятствует барьер выхода, снижаемый приложенным постоянным электрическим полем. Чем сильнее электрическое поле, тем барьер выхода меньше и тем меньше среднее время ожидания выхода электрона из

ловушки. В результате накопление объемного заряда происходит быстрее, а электрическая долговечность уменьшается [1, 3].

При повышенных температурах выхода электронов из ловушек происходят надбарьерно, за счет классических флуктуаций – флуктуаций энергии. При низких температурах предполагается, что электроны туннелируют сквозь барьер выхода из потенциальной ямы – ловушки, т.е. имеют место квантовые флуктуации.

Таким образом, кинетика электрического разрушения полимеров при ее исследовании в широкой области температуры наглядно демонстрирует проявление как классической флуктуационной динамики, так и квантовой флуктуационной динамики – туннельного преодоления барьеров.

Разумеется, предложенный механизм низкотемпературной кинетики электрического разрушения полимеров требует обоснованной детализации. Дальнейшее изучение механизма кинетики электрического разрушения полимеров в области низких температур представляет интерес не только для физики пробоя, но и для электротехнической науки.

Заключение. Таким образом, на основе исследования температурной зависимости электрической долговечности полимеров установлены различия в механизмах кинетики их электрического разрушения (пробоя) при повышенных и низких областях температуры. Выявлены атермичности кинетики пробоя при низких температурах и сделано заключение о туннельном механизме электронных процессов, ведущих к пробою.

Литература

1. Алиева И.К., Велиев Т.М. Кинетика механического и электрического разрушения полимеров. Баку, АГМА, 2018, 192 с.
2. Электрические свойства полимеров. /Под ред. Б.И.Сажина. Изд.3 Л.: Химия, 1986, 224 с.
3. Слуцкер А.И., Гиляров В.Л., Каров Д.Д., Поликарпов Ю.И. Механизмы элементарных актов в кинетике электрического разрушения полимерных и керамических диэлектриков. ФТТ, 2011, т. 53, №7, с 1255-1260
4. Дахия М.С., Закревский В.А., Слуцгер А.И., Механизмы, контролирующие кинетику электрического разрушения керамик в широкой области температуры. ФТТ, 1987, т.29, №12, с. 3614-3619
5. Kao K.C. New Theory of electrical discharge and breakdown in low-mobility condensed insulators. J. Appl. Phys., 1984, v.55, N3, p.752-755
6. Закревский В.А., Сударь Н.Т. Электрическое разрушение тонких полимерных пленок. //ФТТ, 2005, Т.47, №5, с.931-936
7. Марихин В.А, Мясникова В.П. Надмолекулярная структура полимеров. Л.: Химия, 1977, 240 с.
8. Френкель Я.И. Кинетическая теория жидкостей. М.: Наука, 1975, 460 с.
9. Закревский В.А., Поздняков О.Ф., Сударь Н.Т. Электрическая прочность сверхтонких полимерных пленок. //Материаловедение, 2001, №7 с.2–6

УДК 546.711-681,86

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ GaSb, ЛЕГИРОВАННОГО Mn и Sm и ЭВТЕКТИК $Mn_{0,6}Ga_{0,4}Sb$

***Алиев С.А., *Иманова А.Я., **Алиев С.С.**

**Азербайджанская Государственная Морская Академия*
***Азербайджанский Государственный Архитектурно–Строительный Университет*
Аз1000, г. Баку.,ул. З.Алиевой, 18
E-mail: sabir.eliyev.1950@mail.ru

Аннотация. *В данной статье приведены результаты исследования влияния добавок Mn и Sm на электрические свойства GaSb и возможности получения кристаллов на основе GaSb с ориентированными включениями марганецсодержащей фазы.*

Abstract. *This paper presents the results of studying the effect of Mn and Sm additives on the electrical properties of GaSb and the possibility of obtaining crystals based on GaSb with oriented inclusions of the manganese-containing phase.*

Xülasə. *Məqalədə Mn və Sm qatqılarının GaSb birləşməsinin elektrik xassələrinə təsiri öyrənilib və GaSb əsasında yönümlü manqan tutumlu faza qoşulmuş kristalların sintezinin mümkünlüyü araşdırılıb.*

Ключевые слова: *полупроводник, эвтектика, микротвердость, анизотропия, сплав*
Açar sözlər: *yarımkeçirici, evtektika, mikrobərklik, anizotrop, ərinti*
Key words: *semiconductor, eutectic, mikrohardnes, anisotropy, alloy*

Введение. В последние годы интенсивно изучают полупроводники типа $A^{III}B^{V}$ с легирующими добавками переходных элементов и ориентированными включениями их фаз. Эффективное использование в технике известных направленно-выстроенных эвтектических сплавов InSb–NiSb и InAs– NiAs оправдывает поиск других подобно им кристаллизующихся эвтектик на базе соединений $A^{III}B^{V}$. В [1,2] сообщается о получении кристаллов GaSb с ориентированными металлическими фазами на основе переходных элементов. Однако сведения о возможности направленного выстраивания фаз на основе Mn и Sm в матрице GaSb и о влиянии легирующих добавок этих элементов на физические свойства GaSb в литературе отсутствуют.

Основная часть. Образцы готовили сплавлением исходных компонентов полупроводниковой чистоты, взятых в стехиометрическом соотношении, в стекло- графитовых тиглях, помещенных в эвакуированные кварцевые ампулы, с применением вибрационного перемешивания. Продолжительное нагревание при давлении $\sim 10^{-4}$мм рт. ст. обеспечивало удаление адсорбированного кварцем и растворенного в металлах кислорода, который способствует образованию силикатов, что в свою очередь приводит к взаимодействию материала контейнера со слитком. После синтеза расплав кристаллизовали по вертикальному методу Бриджмена.

Микроструктуру изучали при помощи микроскопа МИМ-8 (травитель СР-4). Микротвердость измеряли на приборе ПМТ-3. Рентгенографические исследования измельченных в порошок образцов проводили на аппарате ДРОН-1, термический анализ на пирометре НТР-62М. Гальваномагнитные свойства и термоэлектродвижущую силу измеряли по методике [3].

Установлено, что в системе $Mn_xGa_{1-x}Sb$ при $x = 0{,}6$ и $t = 645 \pm 2^0$C образуется эвтектика, составными частями которой являются твердые растворы на основе GaSb и MnSb. При

соответствующих условиях кристаллизации по вертикальному методу Бриджмена достигается направленная равномерная ориентация этих фаз в виде волокон во всем объеме образца.

При исследовании гальваномагнитных свойств эвтектического сплава $Mn_{0,6}Ga_{0,4}Sb$, подвергнутого направленной кристаллизации, наблюдали проявления существенной анизотропии. Например, электропроводность в продольном направлении волокон равна $3550\ ом^{-1} \cdot см^{-1}$, а в поперечном направлении $1850\ ом^{-1} \cdot см^{-1}$. Сплав $Mn_{0,6}Ga_{0,4}Sb$ проявляет ферромагнитные свойства. На рис. 1 показана зависимость приведенной э.д.с. Холла ($E_x d/I$) от напряженности внешнего магнитного поля для сплава $Mn_{0,6}Ga_{0,4}Sb$ и соединений GaSb и MnSb. Видно, что для GaSb как для обычного парамагнитного материала наблюдается линейная зависимость ($E_x d/I$) от H, а для сплава $Mn_{0,6}Ga_{0,4}Sb$, так же как и для ферромагнитного соединения MnSb, эта зависимость сильно отличается от линейной.

В сплавах типа $A^{III}B^{V}$ с добавками переходных элементов происходит легирование матричного материала. Это приводит к существенному изменению его свойства, которые в основном определяют характеристики приборов. Поэтому изучение влияния легирующих добавок переходных элементов на физические свойства сплавов $A^{III}B^{V}$ представляет особый интерес. Были изготовлены и изучены образцы GaSb, легированные Mn и Sm (от 0,01 до 1 ат.%). Измерения проводили на монокристаллических или крупноблочных образцах.

На рис. 2 приведена зависимость холловской концентрации носителей тока от концентрации атомов Mn или Sm в расплаве и нанесены данные, ранее полученные нами при исследовании GaSb, легированного Zn [4]. Отметим, что как Zn, так и Mn и Sm создают в GaSb дырочную проводимость. Из рис. 2 видно, что при легировании GaSb Zn холловская концентрация дырок монотонно увеличивается с увеличением концентрации Zn, а при легировании GaSb Mn и Sm экспериментальные значения концентрации носителей тока значительно ниже концентрации примесных атомов. Интересно отметить, что в этом случае расхождение больше при малой концентрации легирующих атомов, а в случае Zn – при высокой концентрации.

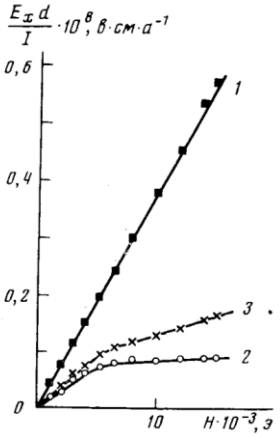


Рис. 1. *Зависимость приведенной э.д.с. Холла от напряженности внешнего магнитного поля для образцов GaSb (1), MnSb (2) и $Mn_{0,6}Ga_{0,4}Sb$ (3)*

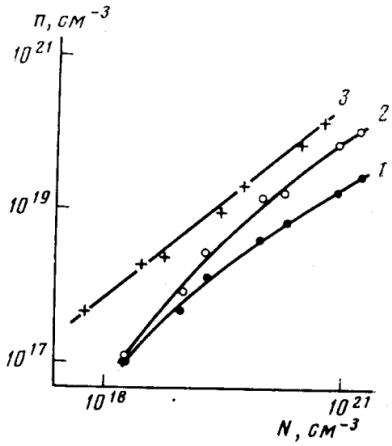


Рис. 2. *Зависимость холловской концентрации носителей тока от концентрации атомов Mn (1), Sm (2) или Zn (3) в расплаве GaSb*

На рис. 3 показано изменение электропроводности, холловской подвижности носителей тока и термо-э.д.с. в зависимости от холловской концентрации носителей тока. Зависимости α и $R_x\sigma$ от n носят одинаковый характер при легировании Mn и Sm и отличаются от такового при легировании Zn. Представляет интерес объяснить эти особенности с точки зрения электронной структуры атомов компонентов соединения и легирующих элементов. GaSb принадлежит к структурному типу сфалерита. Тетраэдрическое распределение связей обеспечивается образованием sp^4 – конфигурации. Изолированные атомы Ga имеют конфигурацию

валентных электронов $4s^2 4p^1$, которая в процессе конденсации стремится приобрести за счет s →p перехода энергетически более устойчивую конфигурацию sp^2. Последняя далее стабилизируется до sp^3 за счет привлечении электрона (акцепторная способность) от атома Sb имеют конфигурацию валентных электронов $5s^2 5p^3$, которая при образовании GaSb претерпевает изменение по схеме $s^2p^3 \rightarrow sp^4 \rightarrow sp^3 + e$. Однако в отличие от атомов Ga у атомов Zn в изолированном состоянии атомов Ga атомами Zn в решетке GaSb внешние электроны атомов Zn за счет s → p- перехода образуют sp-конфигурацию. Таким образом, в основном состоянии атомы Zn обладают двумя свободными p-орбитами (p_y^0, p_z^0), которые могут принимать участие в ковалентной связи (при sp^3 – гибридизации). За счет одной из них увеличивается концентрация акцепторов, что приводит к монотонному возрастанию концентрации дырок с увеличением концентрации атомов Zn (см. рис. 2).

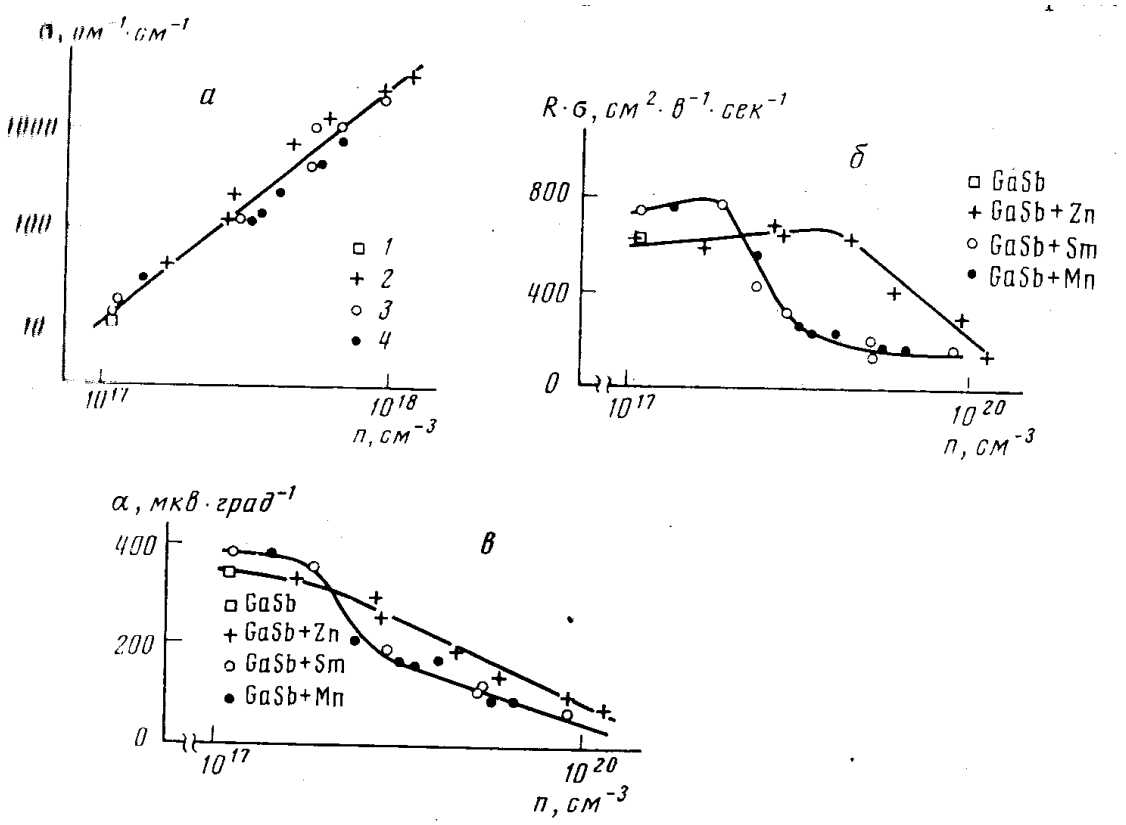


Рис. 3. *Зависимость σ (а), $R_X\sigma$ (б) и α (в) от концентрации носителей тока в чистом GaSb (1) и легированном Zn (2), Sm (3) и Mn (3)*

При легировании GaSb Mn и Sm примесные атомы замещают атомы Ga. Тетраэдрическое поле матрицы вызывает изменение электронной конфигурации атомов $Mn(d^{4,5}(dsp)^{2,5}$ и образование sp^2-состояний. С привлечением электронов от атомов Sb последняя конфигурация стабилизируется до sp^3 и тем самым создаются условия для замещения атомов Ga атомами Mn. Таким образом, акцепторная способность атомов Mn в GaSb слабее, чем атомов Zn, за счет привлечения электрона из недостроенного внутреннего 3d–слоя. Поэтому концентрации дырок сильно отличается от концентрации атомов Mn.

Поведение атомов Sm в GaSb, по-видимому, также можно объяснить аналогичным рассуждением при учете особенности электронной структуры Sm и f – f–обменного взаимодействия с 4f-электронами атомов Sm.

Выводы. При исследовании влияния легирующих добавок Mn, Sm и Zn на электрические свойства GaSb обнаружена индивидуальность в поведении этих примесей, которая объ-

ясняется особенностями электронной структуры атомов легирующих элементов и компонентов GaSb.

Получена направленно-выстроенная волокнистая композиция металл-полупроводник в эвтектическом составе $Mn_{0,6}Ga_{0,4}Sb$, которая проявляет ферромагнитные свойства и анизотропию электрических свойств.

Литература

1. А.Н.Баранов, А.Н.Дахно, Б.Е.Джуртанов, Т.С.Лагунова, М.А.Синовская, Ю.П.Яковлева. ФТП, 1990, т.24, №98, с. 125-129.
2. Т.И.Воронина, Б.Е. Джуртанов, Т.С. Лагунова, Ю.П. Яковлев. ФТП, 1994, т.28, №6, с.98-105.
3. Т.И.Воронина, Б.Е.Джуртанов, Т.С.Лагунова, М.А.Синовская, В.В.Шерстнев, Ю.П.Яковлев. ФТП, 1997, т.32, №8, с.182-185.
4. М.А.Ахметоглы (Афраилов), И.А.Андреев, Е.В.Куницина, М.П.Михайлова, Ю.П.Яковлев. ФТП, 2007, т.41, №2, с.216-220.

UOT: 591.9

MƏSAFƏDƏN ÖLÇMƏ METODU İLƏ ÇİRKLƏNMİŞ SU HÖVZƏLƏRİNİN ƏSAS KEYFİYYƏT GÖSTƏRİCİLƏRİNİN TƏYİNİ

Əliyeva Y.N.

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti
Az1000, Bakı şəh., Azadlıq pr., 16/21
E-mail: yegane.aliyeva.1969@mail.ru

Xülasə. *Hal-hazırda dayaz su hövzələrində evtrofikasiya hadisəsi məsafədən zondlama vasitələri ilə geniş tədqiq edilir. Dayaz su hövzələrinin əsas keyfiyyət göstəricilərinin modelləşdirilməsi antropogen çirklənməyə məruz qalmış su hövzələrinin peyk zondlanması nəticələrinin kalibrlənməsi və validasiyasını aparmağa imkan verir. Məqalədə məsafədən zondlama verilənlərinin doğruluğunu yoxlamaq məqsədilə natura ekspedisiya ölçmələrinin nəticələrinin tətbiqi məsələsi ifadə edilmiş və həll olunmuşdur.*

Abstract*. The phenomenon of eutrophycation in shallow water basins is widely studied at present time using methods of remote sensing. The modeling of major qualitative parameters of shallow water basins allows to carry out calibration and validation of results of satellite remote sensing of lakes suffered the anthropogenic pollution. In the article the task on utilization of field measurements results by purposes to check up the authenticity of remote sensing data.*

Аннотация. *Явление эвтрофикации неглубоководных водоемов, в настоящее время широко исследуется средствами дистанционного зондирования. Моделирование основных качественных показателей неглубоководных водоемов позволяет проводить калибровку и валидацию результатов спутникового зондирования водоемов, подверженных антропогенному загрязнению. В статье сформулирована и решена задача применения результатов натурных экспедиционных измерений в целях проверки достоверности данных дистанционного зондирования.*

Açar sözlər: *xlorofil, ölçmələr, optimallaşdırma, reqressiya, fosfor, spektroradiometr*

Ключевые: *хлорофилл, измерения, оптимизация, регрессия, фосфор, спектрорадиометр*

Key words: *chlorophyll, measurements, optimization, regression, phosphorus, spectro-radiometer*

Giriş. Yaxşı məlumdur ki, su hovuzlarının evtrofikasiyası fitoplanktonların biokütləsinin artması ilə sıx əlaqədardır [1]. Bu halda məsafədən zondlama vasitələri antropogen təsirə məruz qalmış dayaz su hövzələrinin əsas keyfiyyət göstəricilərinin kəmiyyətcə qiymətləndirilməsini və modelləşdirilməsini həyata keçirtməyə imkan verir.

[2] işində qeyd edildiyi kimi hal-hazırda peyk məsafədən zondlama metodları su hovuzlarının çirklənməsinin asılı vəziyyətdə olan çöküntülər və bulanıqlıq, xlorofilin konsentrasiyası, rəngli üzvi həll olunmuş maddələr kimi göstəricilərinin tədqiq edilməsi üçün aktiv istifadə edilir. [3]-ə uyğun olaraq asılı vəziyyətdə olan bərk hissəciklərin konsentrasiyasının ölçülməsi üçün MSS, TM, SPOT kimi peyk spektroradiometrlərinin verilənləri, həmçinin bort kolorimetrlərinin və infraqırmızı spektroradiometrlərin verilənləri geniş istifadə olunur.

[4,5] işlərinə uyğun olaraq rəngli üzvi suda həll olunmuş maddələr (yosunlar, xlorofil və digər piqmentlərdən ibarət olan birhüceyrəli orqanizmlər) hüceyrələrdən səpələnmiş şüalanmanın qeyd edilməsi metodları ilə ölçülə bilər. Əsasən a, b və c xlorofilindən ibarət olan fitoplanktonun piqmentləri - xlorofilin konsentrasiyası məsafədən zondlama metodları ilə, o cümlədən Günəş şüalarının təsiri altında a xlorofilinin fluoressent şüalanmasının ölçülməsi yolu ilə təyin edilə bilər [6].

Məsələnin qoyuluşu. Tədqiqatların məqsədi çirklənmiş göllərdə fosforun ümumi miqdarı üzrə kalibrləmə ilə xlorofilin miqdarının yeni məsafədən ölçmə metodunun işlənilməsidir. Tədqiqat obyekti çirklənmiş göllərdir. Tədqiqatın predmeti xlorofilin konsentrasiyasının məsafədən ölçmə metodudur. Bu məqalədə biz Chl-in konsentrasiyasının müxtəlif müəlliflər tərəfindən təklif edilmiş iki ölçmə metodunu analiz edib bu metodların informasiya optimallaşdırılmasını həyata keçirəcəyik və bu metodların tətbiqinin optimal rejimləri bazasında əvvəlki metodlardan yeni keyfiyyətlə fərqlənən Chl-in yeni ölçmə metodunun sintez edilmə imkanını göstərək.

Məsələnin həll olunma metodu. Əvvəlcə [7]-də təklif edilən göllərdə xlorofilin birinci ölçmə metoduna baxaq. [7]-də təklif edilən metoda uyğun olaraq göllərdə xlorofilin konsentrasiyasını LANDSAT-da yerləşdirilmiş spektroradiometrin B_1 və B_2 kanalları vasitəsilə ölçmək mümkündür.

[7]-ə uyğun olaraq ikinci kanalın (göy kanalın) birinciyə (yaşıla) nisbəti göl sularında a xlorofilinin konsentrasiyasının çöl ölçmə nəticələri ilə yaxşı korrelyasiya olunur (şəkil 1).

Qısa şəkildə yuxarıda göstərilən metodun informasiya optimallaşdırılması imkanına baxaq. Şəkil 1-də verilən reqressiya xətlərinin xarakterindən görünür ki, aşağıdakı məhdudlaşdırıcı nisbət alınır

$$\int_{x_{1\min}}^{x_{1\max}} y_1(x)dx_1 = C_1 \tag{1}$$

burada $$C_1 = const; x_1 = \frac{B_2}{B_1}$$

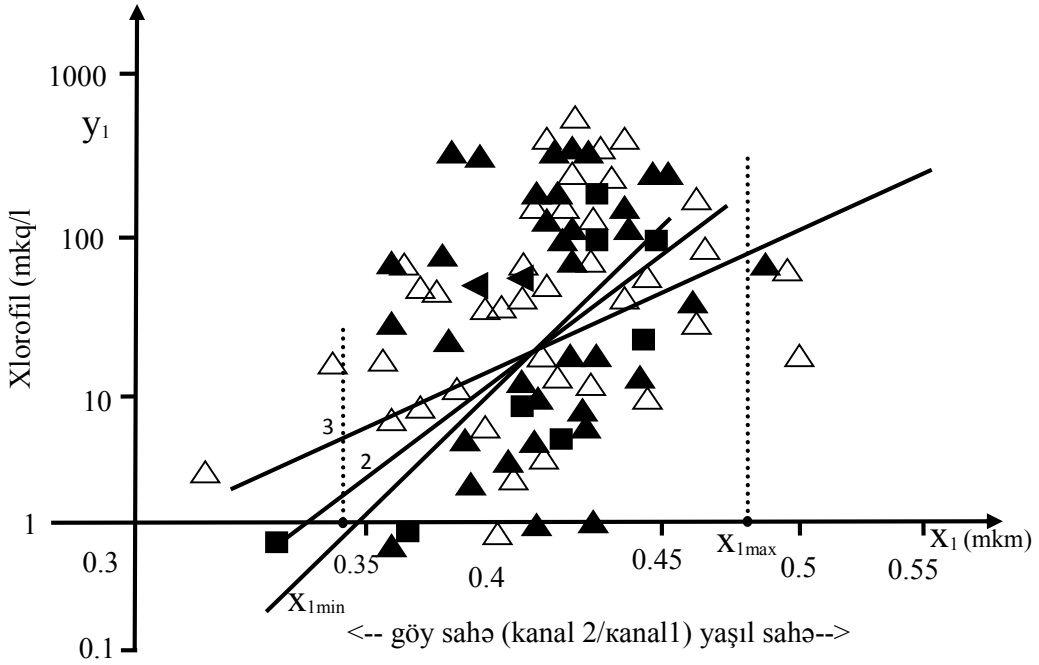
İnformasiya optimallaşdırılmasının aparılması üçün fərz edək ki, çöl şəraitində Chl_a-in bir seriya ölçmələri aparılır. Bu zaman aparılan ölçmələrin N sayı ilə x_1 kəmiyyəti arasında xətti asılılıq mövcuddur, N ilə Chl_a–in konsentrasiyası arasında isə optimal görünüşünün müəyyənləşməsi lazım olan müəyyən funksional asılılıq mövcuddur.

Yuxarıda deyilənləri nəzərə alaraq, həmçinin Şennon informasiya miqdarı şəklində optimallaşdırma kriteriyasını diqqətə alaraq optimallaşdırma məsələsini riyazi şəkildə aşağıdakı kimi ifadə edək: optimallaşdırma kriteriyasının

$$M_1 = \int_{x_{1\min}}^{x_{1\min}} x_1 \cdot \log_2\left[chl_{af}(x_1)\right]dx_1 \tag{2}$$

funksionalı şəklində maksimal qiymətə çatdığı $y_1(x_1)$ optimal funksiyanı hesablamaq lazımdır, burada f indeksi çöl ölçmələrinin aparıldığını göstərir. (1) и (2) ifadələrini nəzərə alaraq optimallaşdırılacaq tam variasiya funksionalını tərtib edək

$$M_1 = \int_{x_{1\min}}^{x_{1\max}} x_1 \cdot \log_2\left[chl_{af}(x_1)\right]dx_1 + \gamma \cdot \int_{x_{1\min}}^{x_{1\max}} chl_{af}(x_1)dx_1 \qquad (3)$$



Şəkil 1. *Chl_a–in çöl ölçmələri və Landsatda yerləşdirilmiş spektroradiometr vasitəsilə aparılan bort ölçmələrinin nəticələrinin B_2 kanalının siqnalının B_1-ə nisbəti şəklində skateroqramı və reqressiya xətləri. Rəqəmlərlə aşağıdakılar göstərilmişdir: 1-eyni bir gündə götürülən verilənlər arasında; 2-2 günlük intervalla götürülən verilənlərlə; 3- 10 günlük intervalla götürülən verilənlərlə reqressiya xətti*

Qeyd edək ki, yuxarıda göstərilən optimallaşdırma məsələsinin Eyler metodu üzrə həllində aşağıdakı ifadə alınmışdır

$$\log_2\left[chl_{af}(x_1)\right] = \frac{2C_1 \cdot x_1}{\Delta x_1^2} \qquad (4)$$

burada $\Delta x_1 = x_{1\max} - x_{1\min}$

[8] işində təklif edilən göl sularında Chl a-in ikinci ölçmə metoduna baxaq. [8]-də təklif edilən metod aşağıdakından ibarətdir:

1. Spektrofotometr vasitəsilə (DR 2800-HACH°C modeli) suda fosforun ümumi miqdarı TP təyin edilir.

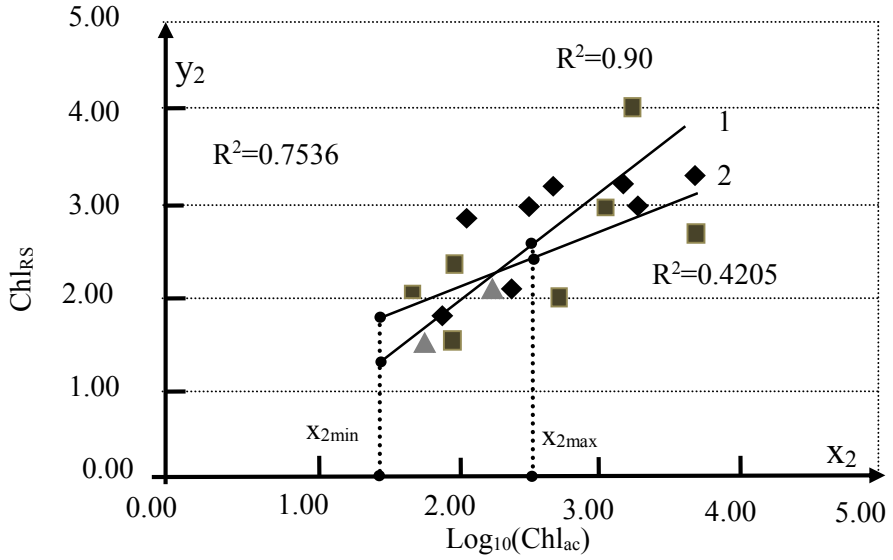
2. (5) və (6) ifadələrindən istifadə edərək Chl a_c -in konsentrasiyası hesablanır.

$$\log_{10}(chl_{ac}) = 1{,}449 \cdot \log_{10}(TP) - 1{,}136 \qquad (5)$$

$$\log_{10}(chl_{ac}) = 1{,}583 \cdot \log_{10}(TP) - 1{,}134 \qquad (6)$$

Chl_{ac}-in hesabat nəticəsi Chl_{ac} qiymətinin yerüstü validasiya qiyməti kimi qəbul edilir, burada c indeksi bort ölçmələrinin nəticəsini göstərir.

3. Chl_{RS} peyk ölçmələri nəticələrinin hesablanmış $\log_{10}(Chl_{ac})$ kəmiyyətlərindən asılılığının skateroqramı və reqressiya xətləri tərtib edilir. Müvafiq qrafiklər şəkil 2-də göstərilmişdir.



Şəkil 2. *Chl_{RS}-in hesablanmış $log_{10}(Chl_{ac})$ kəmiyyətlərindən asılılığının skateoqramı və reqressiya xətləri. Rəqəmlərlə aşağıdakılar göstərilmişdir: 1-(5) düsturu üzrə; 2- (6) düsturu üzrə hesablanmış nəticələr nəzərə alınmaqla*

Birinci metoda tətbiq edilənə oxşar olaraq bu metodun informasiya optimallaşdırılmasını aparaq.

Şəkil 2-də verilən 1 və 2 xətlərinin xarakterindən göründüyü kimi aşağıdakı məhdudlaşdırıcı şərt mövcuddur

$$\int_{x_{2\min}}^{x_{2\max}} y_2(x_2)dx_2 = C_2 \tag{7}$$

burada: $C_2 = const; x_2 = \log_{10}(chl_{ac}); y_2 = chl_{RS}$

(2) ifadəsinə analoji olaraq bu halda optimallaşdırma kriteriyası aşağıdakı şəklə malik olur:

$$M_2 = \int_{x_{2\,min}}^{x_{2\,max}} x_2 \cdot log_2[chl_{RS}(x_2)]dx_2 \tag{8}$$

(7) və (8) ifadələrini nəzərə alaraq aşağıdakı şəkildə tam variasiya funksionalı tərtib edilir.

$$M_4 = \int_{x_{2\,min}}^{x_{2\,max}} x_2 \cdot log_2[chl_{RS}(x_2)]dx_2 + \int_{x_{2\,min}}^{x_{2\,max}} y_2(x_2)dx_2 \tag{9}$$

Eyler metodu üzrə ikinci optimallaşdırma məsələsinin həllində aşağıdakı ifadə alınır

$$\log_2[chl_{RS}(x_2)] = \frac{2C_2 \cdot x_2}{\Delta x_2^2} \tag{10}$$

burada: $\Delta x_2 = x_{2max} - x_{2min}$

Təklif edilən Chl_a–in yeni təyin edilmə metodunun sintezi üçün alınmış (4) və (10) ifadələrinin birgə analizini aparmaq kifayətdir. Ölçmələrin identik şəraitdə aparılması şərtində çöl kalibrləmə $\log_2\lfloor chl_{af}(x_1)\rfloor$ ölçmələrinin nəticəsinin $\log_2[chl_{RS}(x_2)]$ peyk ölçmə nəticələri ilə yaxşı uyğunlaşmasını fərz etmək ağlabatandır, yəni aşağıdakı bərabərlik alınacaqdır:

$$chl_{af}(x_1) = chl_{RS}(x_2) \tag{11}$$

Bu halda (4), (10) və (11) ifadələrinə əsasən aşağıdakını alarıq

$$\frac{2C_2 \cdot x_2}{\Delta x_2^2} = \frac{2C_2 \cdot x_2}{\Delta x_2^2} \tag{12}$$

və ya

$$\frac{C_1 \cdot B_2}{B_1 \cdot \Delta(B_2 / B_1)^2} = \frac{C_2 \cdot \log_{10}(chl_{ac})}{\Delta \log_{10}(chl_{ac})^2} \tag{13}$$

(13) ifadəsindən son olaraq təklif edilən metodika üzrə kalibrləmə prosedurunu aparmağa imkan verən axtarılan ifadəni alırıq:

$$\frac{B_2}{B_1} = \frac{\Delta\left(\frac{B_2}{B_1}\right) \cdot C_2 \cdot \log_{10}(chl_{ac})}{C_1 \cdot \Delta \log_{10}(chl_{ac})^2} \tag{14}$$

(14)

Nəticə. Beləliklə, (14) ifadəsindən göründüyü kimi B_2/B_1 nisbətinin qiymətləndirilməsindən alınan Chl_a-in ölçmə nəticəsi $\Delta\left(\frac{B_2}{B_1}\right)^2; C_2, C_1; \Delta \log_{10}(chl_{ac})$ qiymətləri barədə verilənlər olduqda (5), (6) və (14) tənliklərindən istifadə etməklə TP-ın ölçmə nəticələri üzrə kalibrlənə bilər.

Yekunda qeyd edək ki, iki kanallı ölçmə nəticələrinin kalibrlənməsi və validasiyası məqsədilə spektrofotometrin köməyilə suda fosforun ümumi miqdarının ölçmə nəticələrindən istifadə edilməsindən ibarət olan [7] işində baxılan metodun təklif edilən modifikasiyası məlum metodu sadələşdirməyə imkan verir, belə ki, suda xlorofilin çoxdalğalı spektrofotometrik ölçülməsinin aparılma zəruriyyəti fosforun ümumi miqdarının birdalğalı spektrometrik ölçülməsi ilə əvəz olunur.

Ədəbiyyat

1. Doumont H., El-Shabrawy G. Lake Borullus of the Nile Delta: A Short History and uncertain future/ Royal Swedish Academy of Science Ambio. 2007, 36 (8): pp.677-682
2. Dewidar Kh., Khedr A. Remote Sensing of Water Quality for Burullus Lake, Egypt, Geocarto International, 2005, 20(3): pp.43-49
3. Liu Y., Islam M., Gao J. Quantification of shallow water quality parameters by means of remote sensing. Progress in Physical Geography, 2003, 27(1): pp.24-43
4. Quibell G. The effect of suspended sediment on reflectance from freshwater algae. International Journal of Remote Sensing, 1991, 12: pp.177-82
5. Quibell G. Estimating chlorophyll concentrations using upwelling radiance from different freshwater algae genera. International Journal of Remote Sensing, 1992, 13: pp.2611-21
6. Fischer J., Kronfeld U. Influence of oceanic properties. International Journal of Remote Sensing, 1990, 11(12): pp.2125-2147
7. Turner D. Remote sending of chlorophyll a concentrations to support the Deschutes Basin lake and reservoir TMDLs. Report to EPA for 104b3 grant, component 4. Oregon Department of Environmental Quality. June 2010.
8. Farag H., El-Gamal A. Assessment of the Eutrophic Status of Lake Burullus (Egypt) using Remote Sensing. International Journal of Environmental Science and Engineering (IJESE). Prairie View A&M University, Texas, USA. Vol.2: pp.61-74 http://www.pvamu.edu/texged (время обращения 18.12.2015).

UOT 539.375

BOYUNA SÜRÜŞMƏ ZAMANI EYNİ İSTİQAMƏTLİ ORTOTROP LİFLƏRLƏ MÖHKƏMLİYİ ARTIRILMIŞ KOMPOZİTDƏ ÇATLARIN YARANMASI

Mehtiyev R.K., Mehdiyev Ə.K.

Azərbaycan Texniki Universiteti, Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti
Az1073, Bakı şəh., H.Cavid pr., 25; Az1000, Bakı şəh., Azadlıq pr., 16/21
E-mail: rafailme@aztu.edu.az

Xülasə. *Ortotrop elastiki ünsürlərin qarşılıqlı təsiri haqqında mexaniki dağılma məsələsinə baxılmışdır, onların səthi izotrop müstəvidə absis və ordinat oxlarının kollinear sahilləri arasında əlaqə ilə dağılmadan qabaq düzxətli zonaların və bircinsli örtüklə bərabər örtülmüşdür. Çatəmələgəlmə zonasına baxışa əsaslanaraq dövri strukturlu kompozitlərdə çatların yaranması modeli təklif olunur. Qəbul olunmuşdur ki, çatəmələgəlmə zonası ayrı-ayrı struktur elementləri arasında qismən pozulmuş əlaqələrilə materiala malik yekun uzunluqlu qatı ifadə edir. Qabaqcadan dağılma zonasının sahilləri arasında əlaqənin olması (materialın hissəcikləri arasındakı zəiflədilmiş zonalar) əlaqənin iştirakı ilə yaranmış ilişmə qüvvələrinin qabaqcadan dağılma zonasının səthinə qoyuluşu modelləşdirilir. Çatın yaranmasının baş verdiyi kompozitdə həddi tarazlığın analizi materialın əlaqələrinin böhran hərəkəti meyarı əsasında yerinə yetirilir.*

Аннотация. *Рассматривается задача механики разрушения о взаимодействии ортотропных упругих включений, поверхность которых равномерно покрыта однородной пленкой и прямолинейных зон предразрушения со связями между берегами коллинеарных осей абсцисс и ординат в изотропной плоскости. Предложена модель зарождения трещин в композитах с периодической структурой, основанная на рассмотрении зоны трещинообразования. Принято, что зона трещинообразования представляет собой слой конечной длины, содержащей материал с частично нарушенными связями между отдельными структурными элементами. Наличие связей между берегами зоны предразрушения (зоны ослабленных межчастичных связей материала) моделируется приложением к поверхности зоны предразрушения сил сцепления, вызванных присутствием связей. Анализ предельного равновесия в композите, при котором происходит появление трещины, выполняется на основе критерия критического сдвига связей материала.*

Abstract. *The problem of fracture mechanics of the interaction of orthotropic elastic inclusions whose surface is uniformly covered with a uniform film, and linear zones predestruction with links between the shores of the collinear axes of abscissa and ordinate in the isotropic plane. A model for the nucleation of cracks in composites with periodic structure, based on consideration of fracture zone. It is assumed that the fracture zone is a layer of finite length, containing material with a partially broken links between the individual structural elements. The links between the shores of the prefracture zone (Zone weakened interparticle bonding material) is modeled by application to the surface area predestruction adhesion forces caused by the presence of bonds. Analysis of the composite limit equilibrium at which the occurrence of a crack, is performed based on a critical shear ties material criterion.*

Açar sözlər: *izotrop mühiti, dairəvi deşiklərin dövri sistemi, sərt əlavə etmələr, son zonalarda çatların sahilləri arasında əlaqələr, birləşmənin gücləri, boyuna sürüşmə*

Ключевые слова: *изотропная среда, периодическая система круговых отверстий, жесткие включения, трещины со связями между берегами в концевых зонах, силы сцепления, продольный сдвиг*

Key words: *isotropic medium, periodic system of circular holes, rigid inclu-sions, bridged cracks, cohesive forces, longitudinal shear*

Məsələnin qoyuluşu. Dəmir əsaslı elastiki müstəvili kompozit material λ radiuslu $(\lambda < 1)$ iki periodik dairəvi dəliklərlə zəiflədilmiş, lifli ortotrop materiala doldurulmuş, absis və ordinat oxuna paralel düz xətli çatlarla zəiflədilmiş və mərkəzi nöqtələri

$$P_{mn} = m\omega_1 + n\omega_2 \quad (mn = 0; \pm 1; \pm 2,...,),$$

$$\omega_1 = 2;\ \omega_2 = \omega_1 h e^{i\alpha};\ h \geq 0;\ Jm\omega_2 \geq 0$$

Belə uzununa sürüşmə məsələlərində materialda yaranan gərgin–deformasiya vəziyyəti *f(z)* kompleks dəyişənli analitik (*z=x+iy*) funkusiyası ilə müəyyən olynyr. Qəbul edirik ki, ikiperiodik çatlarların səthləri xarici qüvvənin təsirindən azaddır. Qeyd edək ki, dairəvi dəliklər elastiki ortotrop materialla doldurulmuş səthləri bərabər qalınlıqlı eyni cinsli materialla örtülmüş və absis oxuna paralel düzxətli çatlara malikdir. Verilmiş matrisa $\tau_y = \tau_y^{\infty}$, $\tau_x = 0$ gərginliyə malikdir (sürüşmə sonsuzluqda qəbul olunur).

Xarici qüvvənin təsiri nəticəsində cisimdə dağılma zonasının səthində uyğun olaraq $q_y(x)$ və $q_x(y)$ sürüşmə gərginlikləri yaranır. Bu gərginliklər əvvəlcədən məlum deyil və dağılma mexanikası məsələlərində məsələnin həlli prosesində müəyyən edilir.

Gərginliyi və yerdəyişməni *w* analtik funksiya vasitəsi ilə ifadə etmək olar [1].

$$\tau_{xz} = \mu\frac{\partial W}{\partial x};\ \tau_{yz} = \mu\frac{\partial W}{\partial y};\ W = \frac{1}{\mu}\operatorname{Re} f(z);\ \tau_{xz} - i\tau_{yz} = f'(z) = F(z);\ \tau_{tz} + i\tau_{nz} = \overline{f'(z)}e^{-i\alpha}.$$

μ-materialı xarakterizə edən sabitdir; $i = \sqrt{-1}$.

Qoyulmuş məsələ üçün sərhəd şərtləri aşağıdakı kimi yazılır [1,2]

$$\left(1+\frac{\mu_b}{\mu_t}\right)f_b(\tau_1)+\left(1-\frac{\mu_b}{\mu_t}\right)\overline{f_b(\tau_1)}=2f_t(\tau_1);\ \left(1+\frac{\mu_t}{\mu_s}\right)f_t(\tau)+\left(1-\frac{\mu_t}{\mu_s}\right)\overline{f_t(\tau)}=2f_s(\tau); \tag{1}$$

$$f_s'(t)-\overline{f_s'(t)}=f_x(t),\quad f_s'(t)-\overline{f_s'(t)}=f_y(t_1)\quad f_b'(t)-\overline{f_b'(t)}=0; \tag{2}$$

$$\tau_{xy}=\frac{12}{h^3}zH_{xy},\quad D=\frac{h^3}{12}\frac{E}{1-\nu^2}$$

burada $\tau=\lambda e^{i\theta}+m\omega_1+n\omega_2$; $\tau_1=(\lambda-h)e^{i\theta}+m\omega_1+n\omega_2$; $mn=0;\pm1;\pm2,...,$ t_1 və t – uyğun olaraq absis və ordinat oxlarına kollinear olan catların səthi boyunca dəyişir, *h*–örtüyün qalınlığı, θ–polyar bucaq, *t, b,* və *s* indeksləri uyğun olaraq örtüyü, lifli armaturu və əsas materialı xarakterizə edir.

– $f_x(t) = 2iq_y(t)$ – absis oxuna kollinear olan dağılma zonasının səthi;

– $f_y(t_1) = 2iq_x(t_1)$ – ordinat oxuna kollinear olan dağılma zonasının səthi;

Baxılan məsələdə əsas münasibətlər matrisada dağılma zonasının ətrfında sürüşmə ilə qüvvə arasında əlaqəni müəyyənləşdirməkdir. Bu münasibəti ümumiliyi itirmədən aşağıdakı düstur şəki lində təqdim edəilir

$$w^+(x,0) - w^-(x,0) = C\left(x, q_y(x)\right)q_y(x); \tag{3}$$

$$w^+(0,y) - w^-(0,y) = C\left(y, q_x(y)\right)q_x(y), \tag{4}$$

hardakı $C\left(x, q_y(x)\right)$ və $C\left(y, q_x(y)\right)$ funksiyaları əlaqələrin effektivliyinin asanlıqla dəyişmələrini təşkil edirlər;$(w^+ - w^-)$ - dağılma zonasının ətrafında (yerdəyişmə) sürüşmədir.

Məsələnin həlli. Məsələnin həllini aşağıdakı şəkildə axtarılır [2, 3].

$$f_s(z) = f_1(z) + f_2(z) + f_3(z); \tag{5}$$

$$f_b(z)=\sum_{k=0}^{\infty}a_{2k}\frac{z^{2k+1}}{2k+1};\ f_t(z)=\sum_{k=-\infty}^{\infty}b_{2k}z^{2k+1};\quad f_1^{//}(z)=F_1(z)=\tau_y^{\infty}+\sum_{k=0}^{\infty}\alpha_{2k+2}\frac{\lambda^{2k+2}\rho^{(2k)}(z)}{(2k+1)!};\tag{6}$$

$$F_2(z)=\frac{1}{i\omega}\int_{L_1}g(t)ctg\frac{\pi}{\omega}(t-z)dt;\quad F_3(z)=\frac{1}{i\omega}\int_{L_2}g_1(t_1)ctg\frac{\pi}{\omega}(it_1-z)dt_1,\tag{7}$$

(9) ifadəsindəki inteqralların sərhədləri $L_1=\{[-l,\ -a]+[a,\ l]\};\ L_2=\{[-r,\ -b]+[b,\ r]\};$ kimi təyin olunur. $\rho(z)=\left(\frac{\pi}{\omega}\right)^2\frac{1}{\sin^2\frac{\pi z}{\omega}}-\frac{1}{3}\left(\frac{\pi}{\omega}\right)^2$; $g(t),\ g_1(t_1)$ – axtarılan funksiyalar olub, dağılma zonasının ətrafında sürüşməni xarakterizə edir.

(6) – (9) əsas ifadələrə məsələnin fiziki mənasından gələn əlavə şərtlər edilir:

$$\int_{-l}^{-a}g(t)dt=0;\qquad\int_{a}^{l}g(t)dt=0;\qquad\int_{-r}^{-b}g_1(t_1)dt_1=0;\qquad\int_{b}^{r}g_1(t_1)dt_1=0,\tag{8}$$

$g(x),\ g_1(x)$ naməlum funksiyaları və $a_{2k},\ b_{2k},$ əmsallarını (1)–(3) sərhəd şərtlərindən təyin etmək olar. Naməlum kmiyyətlərin tənliklərini tərtib etmək üçün (2) sərhəd şərtini dəyişdirəcəyik

$$\left(1+\frac{\mu_t}{\mu_s}\right)f_t(\tau)+\left(1-\frac{\mu_t}{\mu_s}\right)\overline{f_t(\tau)}=2\left[f_1(\tau)+f_2(\tau)+f_3(\tau)\right].\tag{9}$$

Mürəkkəb riyazi cevrilmələrdən sonra, sonsuz xətti cəbri tənliklər sistemi alırıq

$$b_{2k}=\left(1+\frac{\mu_b}{\mu_t}\right)a_{2k}\frac{\lambda_3^{2k+1}}{2(2k+1)\lambda^{2k+1}};\quad b_{-2k-2}=\left(1+\frac{\mu_b}{\mu_t}\right)\overline{a_{2k}}\frac{(\lambda-h)^{4k+2}\lambda_3^{-2k-1}}{2(2k+1)\lambda^{-2k-1}}\tag{10}$$

$$\frac{\lambda_3 a_0}{4\lambda}(g_1+f^2h_1)=\tau_y^{\infty}+c_0+\sum_{k=1}^{\infty}\alpha_{2k+1}\lambda^{2k+2}r_{0,k};\quad\frac{\lambda_3\overline{a_0}}{4}[h_2f^2+g_2]=-\alpha_2;$$

$$\frac{\lambda_3^{2k+1}a_{2k}}{4\lambda^{2k+1}}(g_1+f^{4k+2}h_1)=\alpha_2\lambda^2r_{0,1}+\sum_{p=1}^{\infty}\alpha_{2p+1}\lambda^{2p+2}r_{p,k}+\frac{c_{2k}}{\lambda^{2k}};$$

$$\frac{\lambda_3^{2k+1}\overline{a_{2k}}\lambda^{2k}}{4\lambda^{2k+1}}(g_2+f^{4k+2}h_2)=-\alpha_{2k+2},$$

harda ki,

$$g_1=\left(1+\frac{\mu_b}{\mu_t}\right)\left(1+\frac{\mu_t}{\mu_s}\right);\ g_2=\left(1+\frac{\mu_b}{\mu_t}\right)\left(1-\frac{\mu_t}{\mu_s}\right);\ h_1=\left(1-\frac{\mu_t}{\mu_s}\right)\left(1-\frac{\mu_b}{\mu_t}\right);\ h_2=\left(1+\frac{\mu_t}{\mu_s}\right)\left(1-\frac{\mu_b}{\mu_t}\right);$$

$$r_{p,k}=\frac{(2p+2k+1)!\,g_{p+k+1}^{*}}{(2p)!\,(2k+1)!\,2^{2p+2k+1}};\ f=\frac{\lambda-h}{\lambda};\ c_{2k}=c_{2k}^{/}+c_{2k}^{//};$$

(6)–(9) funksiyalarını dağılma zonasının sərhəd şərtlərinə ödətsək, onda $g(x)$ və $g_1(y)$ funksiyalarına nəzərən iki sinqulyar inteqraql tənliklər sistemi alınır [6].

$$\frac{1}{\pi}\int_{L_1}g(t)ctg\frac{\pi}{\omega}(t-x)dt-\mathrm{Im}[F_*(x)]=q_x(x)\quad L_1\text{ üzrə};\tag{11}$$

$$\frac{1}{\pi}\int_L g_1(t_1)cth\frac{\pi}{\omega}(t_1 - y)dt_1 - \mathrm{Im}[F_{**}(y)] = q_y(y) \quad L_2 \text{ üzrə;} \tag{12}$$

$$F_*(x) = F_1(x) + F_3(x); \qquad F_{**}(y) = F_1(y) + F_2(y).$$

(12) sonsuz cəbri tənliklər sistemi ilə (13)–(14) sinqulyar inteqral tənlikləri və (4)–(5) ifadələri ilə birlikdə məsələnin əsas dağılma mexanizmini ifadə edir. Bundan əlavə $g(x)$ və $g_1(y)$ funksi-yalarını, həmçinin a_{2k}, b_{2k}, α_{2k} əmsallarını təyin etməyə imkan verir.

(12) cəbri tənliklər sistemi və (13)–(14) sinqulyar intrqrqal tənlikləri əlaqəlidirlə və birlikdə həll etmək olar. $f_s(z)$, $f_b(z)$ və $f_t(z)$ kompleks potensial funksiyaları təyin etdikdən sonra, baxılan müstəvidə gərgin–deformasiya vəziyyətini təyin etmək olar.

$ctg\frac{\pi}{\omega}(z)$ və $cth\frac{\pi}{\omega}(z)$ – funksiyaların ayrılışından istifadə edərək

$$g(x) = -g(-x),\ g_1(y) = -g_1(y$$

$$\sum_{k=1}^{n} a_{m,k}p_k^0 - \frac{1}{2}Im[F_*(\eta_m)] = q_y(\eta_m)(m = 1,2,\dots,M-1); \tag{13}$$

$$\sum_{v=1}^{n} a_{m,v}^* R_v^0 - \frac{1}{2}Im[F_{**}(\eta_m)] = q_x(\eta_m); \tag{14}$$

harda kı,

$$a_{m,k} = \frac{1}{2M}\left[\frac{1}{sin\theta_m}ctg\frac{\theta_m + (-1)^{|m-k|}\theta_k}{2} + B(\eta_m,\tau_k)\right];$$

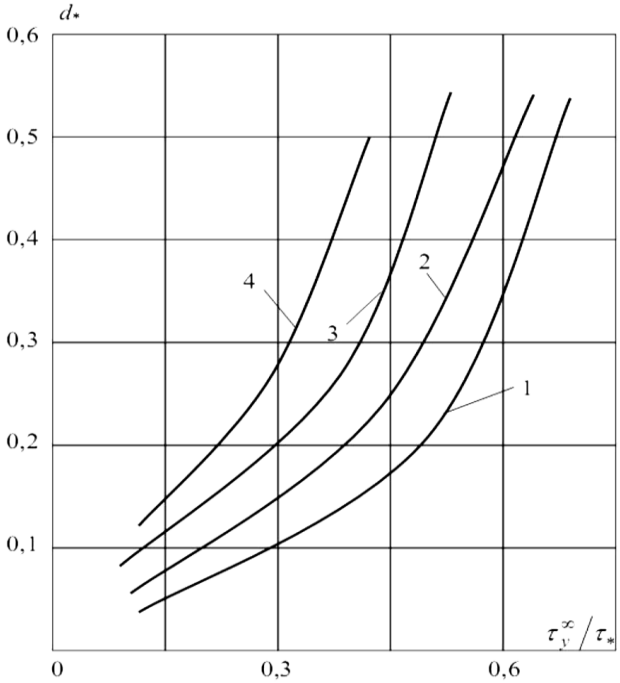
$$a_{m,v}^* = \frac{1}{2M}\left[\frac{1}{sin\theta_m}ctg\frac{\theta_m + (-1)^{|m-v|}\theta_k}{2} + B_*((\eta_m,\tau_v))\right]$$

(15) – (16) sisteminə əlavə şərt kimi (10) şərtini diskret formada əıavə etmək zəruridir.

$$\sum_{k=1}^{m}\frac{p_k^0}{\sqrt{\frac{1}{2}(1-\lambda_1^2)(\tau_k+1)+\lambda_1^2}} = 0. \tag{15}$$

(15) – (17) sistemi (12) sonsuz cəbri tənliklər sistemi ilə əlaqəlidir [7].

$$\frac{d}{dx}\left[C(x,q_y(x))q_y(x)\right] = \frac{2}{\mu_s}g(x); \qquad \frac{d}{dy}[C(y,q_x(y))q_x(y)] = \frac{2}{\mu_s}g_1(y).$$



Şəkil. *$d_* = (b_* - b)/\lambda$ çatın son zonasının nisbi uzunluğunun ölçüsüz τ_y^∞/τ_* xarici yükləmənin qiymətindən, müxtəlif radiuslu dəliklərin qiyməti üçün λ = 0, 2 ÷ 0, 5 (əyri 1 – 4) asılılığı.*

Xarici qüvvənin təsiri nəticəsində cisimdə dağılma zonasının səthində uyğun olaraq $q_y(x)$ və $q_x(y)$ sürüşmə gərginlikləri yaranır. Bu gərginliklər əvvəlcədən məlum deyil və dağılma mexanikası məsələlərində məsələnin həlli prosesində müəyyən edilir.

Baxılan cisimdə çatın inkişafı baş verən halda tarazlıq–vəziyyətini təyin etmək üçün, (1) şərtindən istifadə olunur. Alınmış həldən istifadə edərək, xarici yüklənmə həddini müəyyən edən şərtlər aşağıdakı şəkildə olacaqlar [8, 9]:

$$C\left(a, q_y(a)\right) - q_y(a) = \delta_{IIIc}, \quad C\left(b, q_y(b)\right) - q_y(b) = \delta_{IIIc}. \tag{16}$$

Ədədi hesablamalarla, çatların bir–birinə əks sahələrində son uzanmaların ölçüləri və yerdəyişmələri, τ_y^{∞} yükləmə parametrindən aslılığı tapılmışdır. Şəkildə $d_* = (b_* - b)/\lambda$, çatın son zonasının nisbi uzunluğunun, ölçüsüz τ_y^{∞}/τ_* xarici yükləmənin qiymətindən müxtəlif radiuslu dəliklər üçün λ = 0, 2 ÷ 0, 5 (əyri 1 – 4) asılılığının qrafikləri təsəvvür edilmişdir.

Ədəbiyyat

1. Болотин В.В. Механика зарождения и начального развития усталостных трещин / В.В. Болотин // ФХММ.1986, Т. 22, №1.с. 18–23.
2. Мирсалимов В.М. К решению задачи механики контактного разрушения о зарождении и развитии трещины со связями между берегами во втулке фрикционной пары / В.М. Мирсалимов// ПММ, 2007,Т. 71, вып. 1. с.132–151.
3. Гасанов Ф.Ф. Трещинообразование в перфорированном теле при продольном сдвиге / Ф.Ф. Гасанов // Механика машин, механизмов и материалов. 2013. № 2. с. 46-51.
4. Искендеров Р.А. Зарождение трещины при поперечном изгибе изотропной пластины, ослабленной периодической системой круговых отверстий / Р.А. Искендеров // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. 2013. №3,с. 18-28.
5. Мирсалимов В.М. Разрушение упругих и упругопластических тел с трещинами / В.М. Мирсалимов. Баку: Элм, 1984,124 с.
6. Ван Фо Фы Г.А. Теория армированных материалов с покрытиями / Г.А. Ван Фо Фы. Киев: Наук, думка, 1971, 236 с.
7. Каландия А.И. Математические методы двумерной упругости/А.И. Каландия.М.: Наука, 1973, 304 с.
8. Панасюк В. В. Механика квазихрупкого разрушения материалов / В.В. Панасюк.- Киев: Наук, думка, 1991, 416 с.
9. The special issue: Cohesive models // Eng. Fract. Mech. 2003, V. 70, № 14, pp. 1741–1987.

УДК 624.042.4:629.5

ИССЛЕДОВАНИЕ ПО ВЫБОРУ И РАСПОЛОЖЕНИЮ КЛАСТЕРА МОРСКИХ ВЕТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК НА КАСПИИ

Рашковский А.С., Ухо В.С., Нейман В.М., Гасанзаде Д.Ф.

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

Аннотация. *В статье приведен обзор энергетического потенциала и применения различных видов энергии в Азербайджане. Описан выбор основания для морской ветроэнергетической установки из условий периодичности ветровых нагрузок, глубины и волнения моря. Показано рекомендуемое место размещения кластера ветроэнергетических установок на Каспии в районе Баку.*

Abstract. *The article provides an overview of the energy potential and using the different types of energy in Azerbaijan. The choice of the basis for the offshore wind power turbine is described from the conditions of wind loads periodicity, depth and sea waves. The recommended location of the offshore wind power turbine cluster in the Caspian Sea in the Baku area is shown.*

Ключевые слова: *Азербайджан, энергетический потенциал, основание морской ветроэнергетической установки, размещение кластера ВЭУ на Каспии*

Key words: *Azerbaijan, energy potential, offshore wind power turbine, cluster of wind turbines in the Caspian Sea*

Введение. В настоящее время мировое сообщество живет в эпоху прогрессирующего энергетического кризиса – роста энергопотребления и исчерпания традиционных источников энергии. Вместе с тем в результате интенсивного использования невозобновляемых источников энергии для отопления, работы транспортных средств, строительно-дорожных машин, сельскохозяйственных агрегатов и различного бытового оборудования, образуется огромное количество загрязняющих веществ – оксидов углерода, серы и азота. Все это способствует повышению температуры земной и водной поверхности, вызывает загрязнение окружающей среды, выпадение кислотных дождей, а также стимулирует интенсивное таяние льдов, повышение уровня океанов, затопление огромных территорий суши, зарождение циклонов и ураганов, охватывающих целые континенты. Эти явления ведут к широкомасштабному разрушению сельскохозяйственных угодий, исчезновению лесов и животного мира, повышенному размножению вредных насекомых, возрастанию частоты засух, лесных пожаров, проливных дождей, наводнений и т.п.

Поэтому актуальной является разработка альтернативных решений использования энергии нетрадиционных источников и, в частности, энергии ветра, которая рассматривается специалистами как один из наиболее перспективных источников энергии, способный заменить традиционные источники. На рис. 1 показаны основные источники энергии, используемые в мире [1, 2].

Международное энергетическое агентство прогнозирует, что в отсутствии активных мер в области энергосбережения мировая потребность в энергии к 2030 г. вырастет на 60%. В то же время поставки ископаемого топлива сокращаются. По сравнению с ископаемыми ресурсами ветер – мощный естественный источник энергии, который постоянно доступен практически в любой стране мира и не зависит от колебаний цен на топливо.

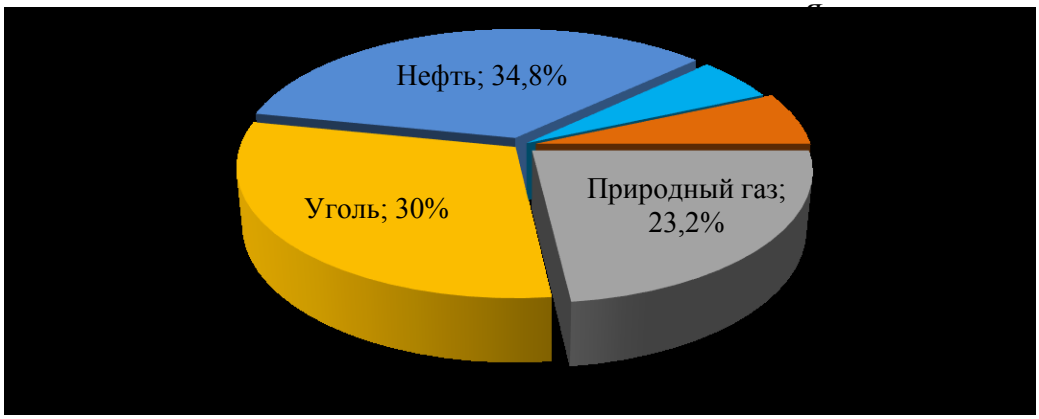


Рис. 1. *Основные источники энергии, используемые в мире*

Стимулом для развития ветровой энергетики стала необходимость принятия срочных мер по сокращению выбросов $C0_2$ в среднем на 5,2 % в год и предотвращению дальнейшего изменения климата. Другие экологические проблемы, связанные с использованием ископаемых ресурсов для выработки энергии, возникают при геологоразведочных работах, разработках месторождений ископаемого топлива, разливах нефти, радиационном воздействии. Использование возобновляемых источников энергии, в том числе энергии ветра, позволяет избежать этих рисков и угроз. При удачном расположении ветроэнергетические станции могут конкурировать по экономическим показателям с ТЭС на угле и газе.

Современные ветроэнергетические установки (ВЭУ) собираются из модулей и легко возводятся. Ветровые станции могут быть различной мощности – от одного до нескольких сотен мегаватт. Ветровая энергетика стала крупным бизнесом. Реагируя на спрос, основные производители ветровых турбин открывают производства с многомиллионными оборотами по всему миру. Специалисты считают, что к 2030 году технически возможно добиться, чтобы 100 % мировой энергии добывалось из возобновляемых источников (рис. 2).

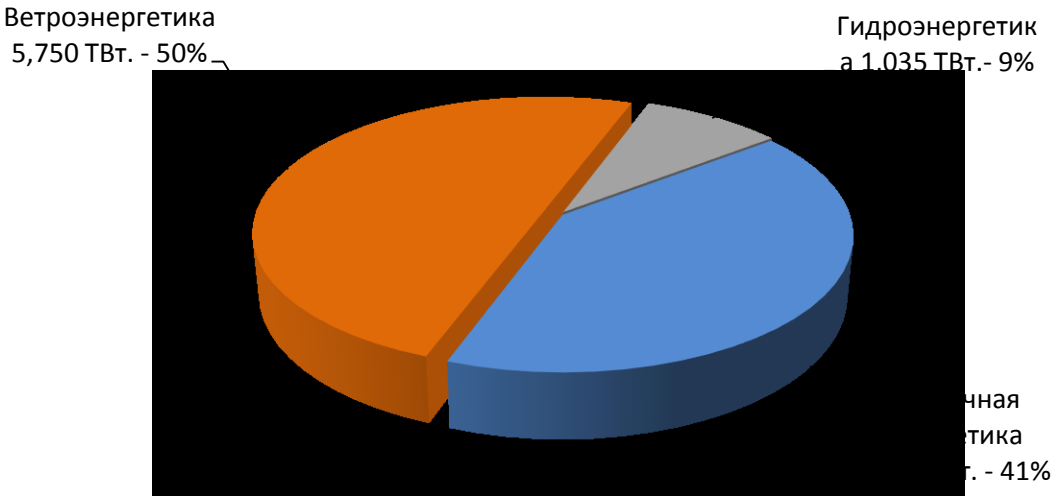


Рис.2. *Предполагаемая выработка в мире чистой энергии к 2030 году*

Основное содержание. В настоящее время энергетическая система Азербайджана включает три главные теплоэнергетические отрасли – угольную, нефтегазовую и электроэнергетику (рис. 3). Другие энергетические отрасли имеют незначительную долю или пока

находятся в зачаточном состоянии. Это ядерная энергия и возобновляемая энергия (ветровая, солнечная, геотермальная).

В основном, развитие ветровой энергетики происходит на суше. Однако сокращение свободного пространства и стремление к высокой производительности за счет более благоприятного ветрового режима в прибрежных акваториях способствуют продвижению ветропарков в море. В результате появляются новые требования к ветроэнергетическим установкам, в том числе: более прочные фундаменты, протяженные подводные кабели, более крупные турбины. Наиболее экономичны оффшорные ВЭУ незначительно удаленные от берега и ограниченные глубиной моря до 25-30 метров [2–4].

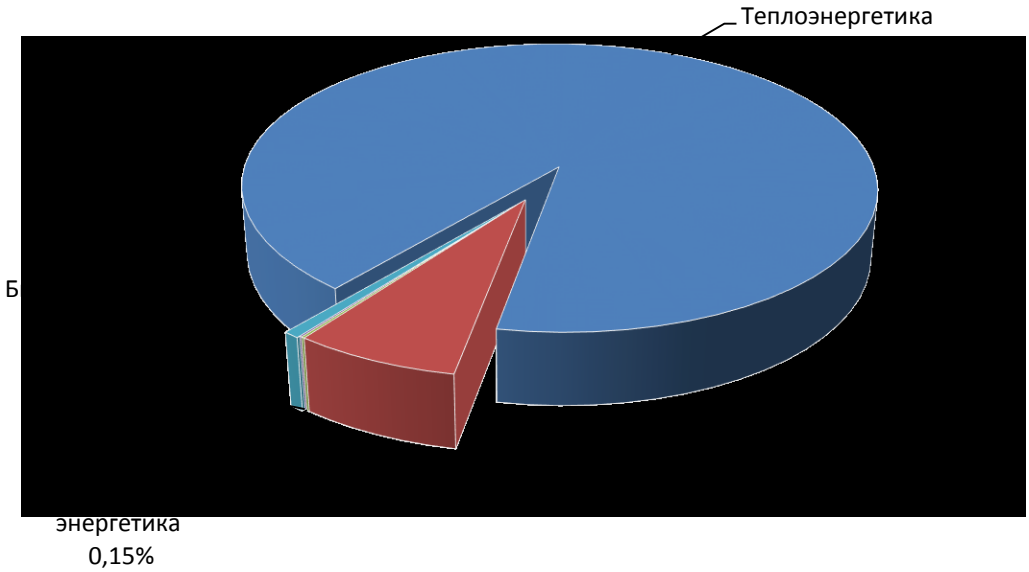


Рис 3. *Потребление различных видов энергии в Азербайджане в 2017 г*

Ветровые электростанции, как и другие альтернативные источники энергии, имеют ряд преимуществ перед традиционными источниками. Так, традиционные энергетические системы ТЭС, ТЭЦ, АЭС используют исчерпаемые невозобновляемые природные ресурсы: уголь, нефть, газ, урановую руду. Альтернативная энергетика использует неисчерпаемые природные ресурсы, в данном случае - энергию ветра.

Однако, ветровые электростанции все же оказывают воздействие на окружающую среду, хотя это не химическое и не тепловое загрязнение. К воздействиям ВЭУ обычно относят: шумовое загрязнение, визуальное воздействие и воздействие на животных, занятие земель, помехи телесигналам.

В связи с быстро распространяющимся размещением ВЭУ в морской зоне особое внимание в таких случаях придается фундаменту сооружения. В отличии от наземного расположения ВЭУ, в морских условиях действуют дополнительные внешние нагрузки природного происхождения: волновые, нагрузки от течения и др., величины которых в различных режимах эксплуатации ВЭУ могут быть соизмеримы или даже превышать величину основной нагрузки – ветровой (на выступающую над водой часть фундамента и колонну). Помимо этого, расположение фундамента в агрессивной морской среде приводит к повышенным требованиям к долговечности конструкции и стойкости при воздействии всех внешних нагрузок. Все перечисленные выше факторы отводят фундаменту первое место во всей конструкции ветроустановки, а расчеты его на прочность и стойкость являются первоочередными при проектировании морской ВЭУ [3, 5–8].

Конструкции наиболее распространенных фундаментов морских ВЭУ в зависимости от их способа монтажа, структурных особенностей и материала изготовления разделяются на

следующие типы (рис.4): моносвайные, трехопорные, ферменного типа, гравитационные и плавучие [6]. Каждый из этих фундаментов имеет свои особенности изготовления, транспортировки и монтажа, в большей мере определяемые условиями глубины акватории в зоне установки морской ВЭУ.

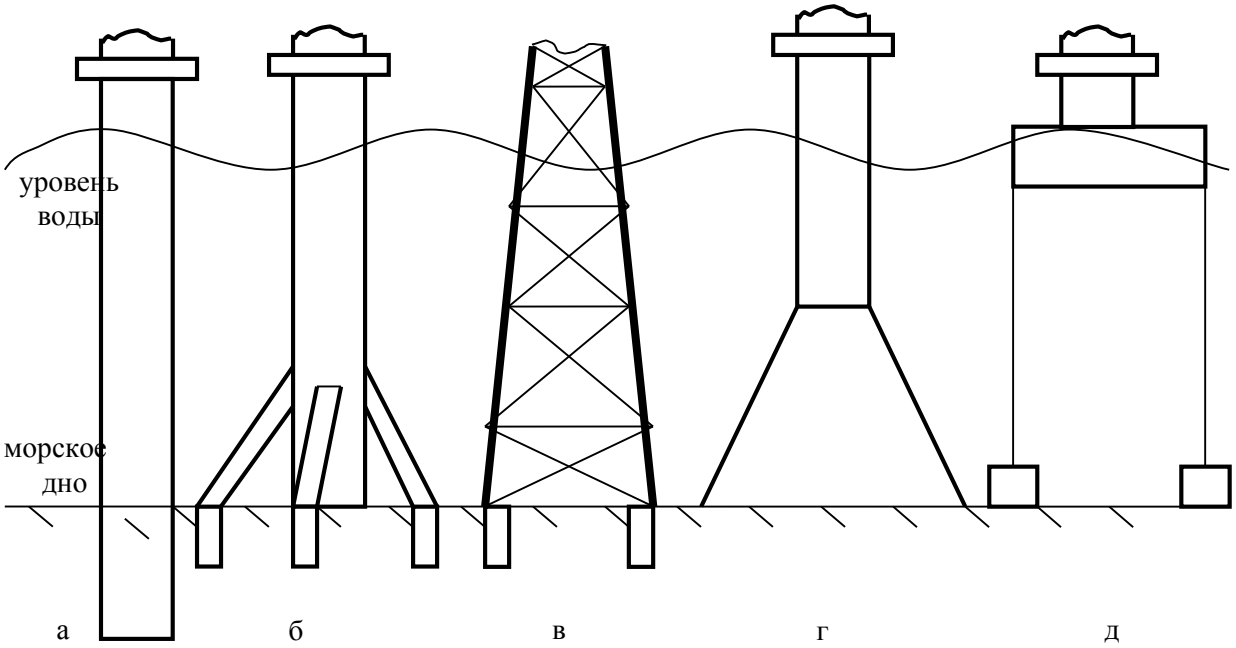


Рис. 4. *Схема современных типов фундаментов морских ВЭУ: а – моносвайный; б – трехопорный; в– ферменного типа; г – гравитационный; д – плавучий.*

Моносвайный фундамент – самый простой тип основания, состоящий из забитой в морской грунт одной или нескольких свай, соединенных с башней с помощью переходной секции. Составные элементы такого фундамента представляют собой стальные цилиндрические трубы. Технология монтажа основания заключается в забивании в грунт сваи с последующим креплением к ней переходной секции. Такой тип фундамента применяется при глубине установки ВЭУ до 25 метров.

Трехопорный фундамент состоит из трех трубчатых стальных ног, служащих раскосами для центральной переходной секции, соединяемой с колонной ВЭУ. Также в этой конструкции могут использоваться дополнительные вертикальные или наклонные раскосы. Такой тип фундамента применяется при глубине установки ВЭУ от 20 до 50 метров.

Фундамент ферменного типа состоит из пересекающихся связей, образующих ферменную конструкцию основания. В местах опирания фундамента о морское дно забиваются сваи, для обеспечения устойчивости всей конструкции. Такой тип фундамента применяется при глубине установки ВЭУ от 20 до 40 метров.

Фундамент гравитационного типа, в отличие от свайных фундаментов, спроектирован с целью уменьшения подъемной силы между днищем основания ВЭУ и морским дном. Такой тип фундамента представляет собой железобетонный пустотелый блок обтекаемой формы. Для увеличения держащей силы, середина такого основания засыпается песком, железной рудой либо гравием. Работы по монтажу такого фундамента сводятся к транспортировке предварительно изготовленного основания, опусканию его на морское дно и засыпанию балластом, что полностью исключает дорогостоящие свайные операции и монтаж подводных переходных секций. Такой тип фундамента применяется при глубине установки ВЭУ до 30 м, но при необходимости возможно увеличение глубины установки до 50 м, что требует дополнительных расчетов на стойкость и скольжение по морскому дну.

Плавучее основание представляет собой находящуюся на поверхности воды плавучую платформу, удерживаемую на месте позиционирования системой якорей. Для дополнительной устойчивости опора может иметь подводный стабилизационный элемент в виде поплавка. Такие типы оснований легко транспортируются на место установки, кроме того, применяя плавучее основание, возможно учитывать сезонность ветров и передвигать ВЭУ по акватории. Чаще всего такие основания применяют на глубоководье, где нет возможности устанавливать другие типы фундаментов.

При выборе месторасположения ветряной электростанции главным критерием является среднегодовая скорость ветра. Чем выше этот показатель, тем эффективнее будет работать ветроэнергетическая установка, и тем самым стабильнее будет передача электроэнергии потребителю. Вдоль побережья глубина моря достигает нескольких десятков метров, и при этом территория ничем не занята. Кроме этого, в море среднегодовая скорость ветра выше, чем на суше, что позволяет вырабатывать больше электроэнергии. Поэтому в море расположено больше всего оффшорных ветропарков. Оффшорную ВЭУ можно расположить в море вблизи крупного промышленного центра, снизив тем самым стоимость передачи электроэнергии по сетям.

К преимуществам ветроэнергетических установок следует отнести:

- низкую себестоимость – ветроэнергетика может конкурировать с ядерной, угольной и газовой энергетикой;
- нулевую стоимость топливной составляющей, поскольку источник энергии неисчерпаем и присутствует в неограниченных количествах;
- экологически приемлемую энергетику, т.к. производство энергии не сопровождается выбросами в воздух двуокиси углерода;
- отсутствие рисков, связанных с нестабильностью цен на ископаемое топливо;
- надежность поставок – ветроэнергетика позволяет избежать зависимости от импорта энергоресурсов;
- модульный дизайн и быстрый монтаж;
- электроснабжение по объемам сравнимо с традиционными способами получения электроэнергии;

Оффшорная ветроэнергетика не мешает ведению сельского хозяйства и промышленной деятельности вблизи ветростанций.

Но, несмотря на преимущества, у оффшорной ветроэнергетики есть огромный минус – строительство оффшорных ветропарков обходится дороже, чем наземных, поэтому окупается оно лишь в том случае, если ветропарк вырабатывает достаточное количество электроэнергии. Морские условия усложняют монтаж, пуско-наладочные работы, обслуживание и ремонт ВЭУ, что делает это основной проблемой. В зимних условиях, ветряные электростанции могут быть недоступны для обслуживания в течение нескольких дней при штормовых условиях и плохой видимости. Для оффшорных ВЭУ необходимо решать вопросы, связанные с помехой для транспортного судоходства и рыболовства.

Азербайджан – страна с большой протяженностью побережья Каспийского моря. Ветровой режим в районе Баку обусловлен потоками муссонных ветров: летом с моря на сушу, зимой с резкой сменой направления на противоположное – с суши на море. На побережье направление и скорость муссонов нередко изменяются под влиянием местных географических условий, бризов и шквалов. В течение года наиболее стабильными являются ветры со скоростями от 2…3 до 6…7 м/с (рис. 5). Это наблюдается в районе островов Пираллахи и Жилой, где глубина моря не превышает 30 м.

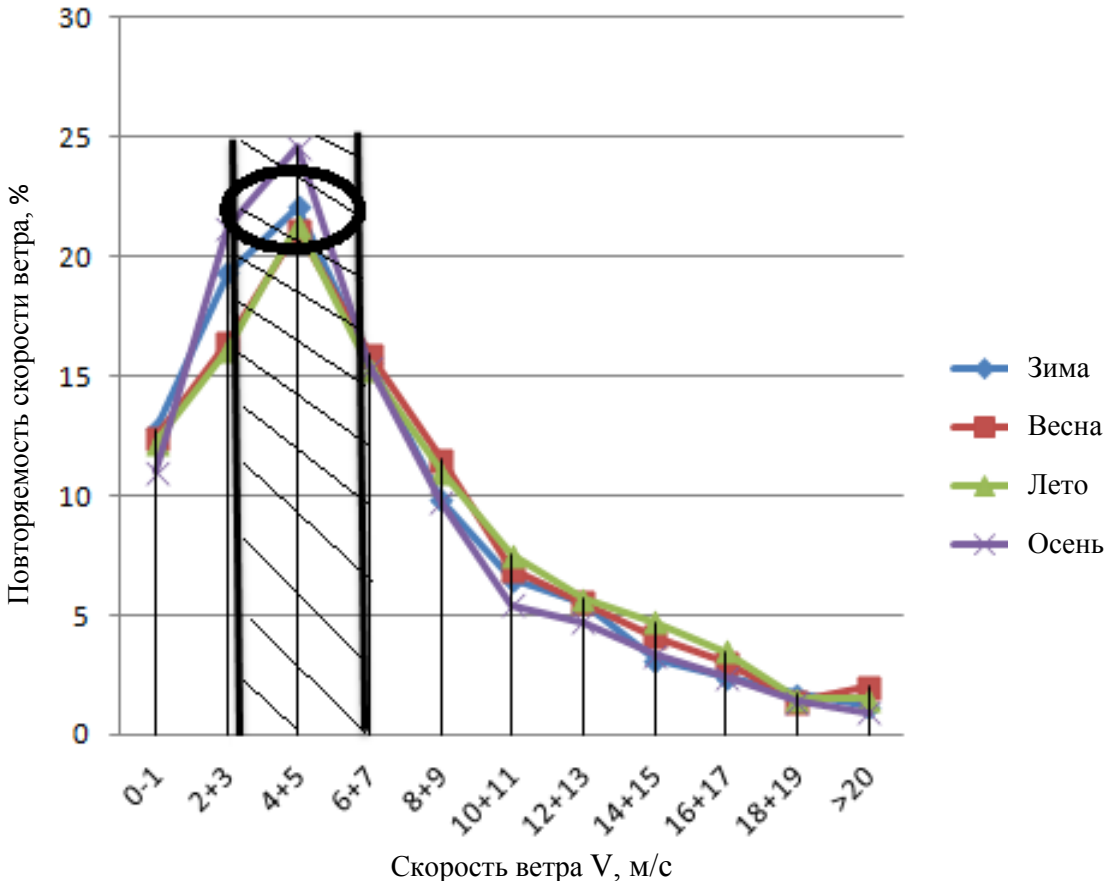


Рис. 5. *Повторяемость скорости ветра в зависимости от времени года в районе Баку*

Для таких глубин наиболее экономичными являются фундаменты ВЭУ ферменного типа. На рис. 6 показано предлагаемое место размещения кластера ВЭУ на Каспии в районе Баку. Фундаменты ферменного типа устанавливают на дне моря, а на них размещают платформы с колоннами и ветротурбинами. Такое расположение кластера морских ветроэнергетических установок между островами Пираллахи и Жилой обеспечит наиболее эффективное использование энергии ветра и не усложнит судоходство в этом районе.



Рис. 6. *Предлагаемое место расположения кластера ВЭУ на Каспии в районе Баку*

Выводы. Показано потребление различных видов энергии в Азербайджане и обоснована необходимость максимального использования ветроэнергетики взамен применяющихся невозобновляемых источников энергии. Описаны различные типы фундаментов для оффшорных ВЭУ. Приведены повторяемость скорости ветра в зависимости от времени годы в районе Баку и предлагаемое место расположения кластера моских ветроэнергетических установок на Каспии.

Литература

1. Ухо В.С. Современное состояние ВЭУ и проблема изготовления колонн для них [Текст]. / В.С. Ухо // Інновації в суднобудуванні та океанотехніці: матеріали Першої міжнар. наук.-техн. конф., присвяченої 90-річчю НУК. Миколаїв: НУК, 2010. с. 43–52.
2. Peire K. Gravity base foundations for the Thornton bank offshore wind farm [Tekst]. / K. Peire, H. Nonneman, E. Bosschem // Terra et Aqua. June, 2009. № 115. P. 19–29.
3. Симаков Г.В. Морские гидротехнические сооружения на континентальном шельфе [Текст]. / Г.В. Симаков, К.Н. Шхинек, В.А. Смелов. Судостроение, 1989. 328 с.
4. Ветер и волны в океанах и морях. [Текст]. // Регистр СССР. М.: Транспорт, 1974. 360 с.
5. СНиП 2.06.04-82. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов) [Текст]. Взамен СНиП II-57-75: Введ. 01.01.84. М.: Изд-во стандартов, 2003. 83 с.
6. Ухо В. С. Анализ и расчет внешних нагрузок на основание морской ВЭУ. [Текст]. / В. С. Ухо, А. С. Рашковский // Сб. науч. тр. СевНТУ. Севастополь, 2013. № 1. с. 28–39.
7. DNV-OS-J101. DESIGN OF OFFSHORE WIND TURBINE STRUCTURES [Tekst]. // October 2007. Det Norske Veritas. 142 p.
8. Ухо В.С. Расчет фундамента гравитационного типа морской ветроэнергетической установки на стойкость и сдвиг по грунту. [Текст]. / В.С. Ухо, А.С. Рашковский // Рыбное хазяйство Украины. Керчь: КМТИ, 2013. с. 18–30.

UOT: 336.1; 336.22

REGİONAL İQTİSADİYYATIN İNKİŞAFI MƏSƏLƏLƏRİ

Abbaszadə M.T.

AMEA İqtisadiyyat İnstitutu
Az1143, Bakı ş., H.Cavid pr., 115
E-mail: zeynalovamexriban@mail.ru

Xülasə. *Məqalədə regional iqtisadiyyatın davamlı inkişafı məsələləri araşdırılmışdır. Son illər regionların sosial-iqtiadi inkişafına dair dövlət proqramlarının uğurla həyata keçirilməsi Azərbaycanın qeyri-neft sektorunda mühüm nəticələrin əldə olunmasına gətirib çıxarmışdır. Regional inkişaf sahəsində əldə olunmuş uğurlu nəticələr deməyə əsas verir ki, respublikamız qlobal böhrandan irəli gələn çətinliklərə baxmayaraq davamlı inkişaf edir. Dünya bazarında neftin qiymətlərinin aşağı düşməsi ölkəmizdə mühüm iqtisadi layihələrin başa çatdırılmasına təsir göstərməmişdir. Ümumiyyətlə, təcrübə göstərir ki, regional inkişafı təmin etmədən ölkənin dayanıqlı inkişafına nail olmaq qeyri-mümkündür. Ona görə ki, regional inkişaf ölkənin ümumi sosial-iqtisadi inkişaf siyasətinin mühüm tərkib hissələrindən biridir və bütövlükdə həmin siyasətin yerinə yetirilməsinə xidmət edir.*

Məqalədə eyni zamanda mövcud problemlər müəyyənləşdirilmiş, onların aradan qaldırılması istiqamətində təklif və tövsiyələr verilmişdir.

Аннотация. *В статье рассмотрены вопросы устойчивого развития региональной экономики. Успешная реализация в последние годы государственных программ по социально-экономическому развитию регионов привела к достижению важных результатов в ненефтяном секторе Азербайджана. Достигнутые в области регионального развития результаты говорят о том, что наша республика, несмотря на трудности, вытекающие из глобального кризиса, постоянно развивается. Снижение цен на нефть на мировом рынке не повлияли на завершение важных экономических проектов в нашей стране. В целом, опыт показывает, что без обеспечения регионального развития невозможно добиться устойчивого развития страны. Поэтому региональное развитие является одной из важных составляющих общей политики социально-экономического развития страны и служит выполнению этой политики в целом.*

В статье также определены существующие проблемы, даны рекомендации по их устранению.

Abstract . *The article examines the issues of sustainable development of the regional economy. The successful implementation of state programs on socio-economic development of regions in recent years has led to significant results in the non-oil sector of Azerbaijan. The results achieved in the field of regional development give grounds to say that our republic is developing steadily despite the difficulties arising from the global crisis. The fall in oil prices on the world market and the completion of important economic projects in our country have not affected. In general, experience shows that it is impossible to achieve sustainable development of the country without ensuring regional development. Therefore, regional development is an important component of the country's overall socio-economic development policy and serves the implementation of this policy as a whole.*

At the same time, the existing problems were identified in the article, suggestions and recommendations for their elimination were given.

Açar sözlər*: davamlı iqtisadiyyat, iqtisadi inteqrasiya, milli iqtisadiyyat, makroiqtisadiyyat, dövlət siyasəti, inteqrasiya, investisiya, reallaşma.*

Ключевые слова: *устойчивая экономика, экономическая интеграция, национальная экономика, макроэкономика, государственная политика, интеграция, инвестиции, реализация*

Key words: *stable economy, economic integration, national economy, macro-economy, state policy, integration, investment, implementation*

Giriş. Müasir dövrdə regional inkişaf Azərbaycan dövlətinin daxili iqtisadi siyasətinin əsas prioritetini təşkil edir. Təbii ki, ayrı-ayrı regionları inkişaf etdirmədən, regionların mövcud təbii-iqtisadi resurs potensialını tam və səmərəli şəkildə təsərrüfat dövriyyəsinə cəlb etmədən ümumilikdə milli iqtisadiyyatın dinamik, davamlı və uzunmüddətli inkişafına nail olmaq qeyri-mümkündür. Bu baxımdan da regional inkişaf istiqamətində müvafiq təhlillərin aparılması, regionun potensial imkanlarının aşkara çıxarılması və bu imkanların reallaşdırılması istiqamətində elmi cəhətdən əsaslandırılmış təklif və tövsiyələrin işlənib hazırlanması olduqca mühüm əhəmiyyət kəsb edir [1].

Dünyada maliyyə böhranının davam etdiyi və risklərin artdığı bir şəraitdə makroiqtisadi sabitliyin qorunub saxlanılması Azərbaycan dövlətinin iqtisadi siyasətinin qlobal miqyasda cərəyan edən neqativ təsirlərə müqavimət gücünü nümayiş etdirir. Bir çox dövlətlərdən fərqli olaraq ölkəmizdə infrastruktur layihələrinin icrası davam etdirilir, vətəndaşların sosial mənafeyinə xidmət edən kompleks tədbirlər sistemi həyata keçirilir. Bütün bunların da əsasında məhz insan amili, vətəndaşa layiqli xidmət məramı dayanır.

Regionların sosial-iqtiadi inkişafına dair dövlət proqramlarının uğurla həyata keçirilməsi Azərbaycanın qeyri-neft sektorunda mühüm nəticələrin əldə olunmasına gətirib çıxarıb. Regionların inkişafına xidmət edən kompleks tədbirlərin davamlı səciyyə daşıması tamamilə təbiidir: inkişaf etmiş dövlətlərin təcrübəsi də sübut edir ki, iqtisadiyatın sabit tempini qorumaq üçün regional inkişafda tarazlığın, tarixi məşğulluq ənənələrinin saxlanılması vacib şərtlərdəndir.

Məsələnin qoyuluşu. Regional inkişaf sahəsində əldə olunmuş uğurlu nəticələr deməyə əsas verir ki, respublikamız qlobal böhrandan irəli gələn çətinliklərə baxmayaraq davamlı inkişaf edir. Dünya bazarında neftin qiymətlərinin, büdcədə nəzərdə tutulmuş həddən aşağı düşməsi və mühüm layihələrin başa çatdırılmasına təsir göstərməmişdir. Bütün bunlar isə ölkədə həyata keçirilən çoxşaxəli dövlət siyasətinin əsasında insan və şəxsiyyət amilinin dayandığını bir daha təsdiqləyir.

Son illər bazar iqtisadiyyatı şəraitində regional iqtisadiyyatın rolu daha da artmışdır. Demək olar ki, quruculuq proseslərində yaranan bütün problemlər bu və ya digər regional faktorların təsiri ilə sıx əlaqədardır.

Regionun əsas şərtlərindən biri ölkənin inzibati ərazi bölgüsü ilə bağlı idarəetmədir. İdarəetmə müəyyən dərəcədə regionun tamlılığına əsaslanır. Belə ki, inzibati ərazi orqanlarının ümumi təsərrüfatın bütün elementlərini – maddi istehsalat, təbii sərvətlər potensialı infrastruktur, əmək ehtiyatları, habelə müəyyən məkan və zaman davamlılığına malik əlaqələr müxtəlifliyini (ticarət, maliyyə, sosial, ekoloji) koordinasiyasını təmin etməlidir.

Struktur – funksional təhlilə əsaslanaraq bir elmi kateqoriya kimi iqtisadi rayon anlayışının ümumi və spesifik əlamətləri əks etdirən tərifini vermək olar: iqtisadi rayon – səmərəli ixtisaslaşma, maddi və mənəvi nemətlərin təkrat istehsalının regional nisbətinin təkmilləşdirilməsi, ictimai istehsal elementlərinin nisbətləri və rayondaxili yerləşməsi ilə bağlı bir sıra fərdi avtonom problemlərin həlli əsasında xalq təsərrüfatının səmərəliliyinin yüksəldilməsi istiqamətində planlı təşkil edilən və ictimai əmək bölgüsü prosesi nəticəsində meydana gələn inteqral ərazi altsistemidir.

İqtisadi rayonun təkcə inkişaf şəraitinin eyniliyi yox, eyni zamanda rayon kompleksinin inkişaf şəraitinin daxili diferensiyası, hər bir rayonda daxili alt sistemlərinin olması xasdır. Ümumiyyətlə, iqtisadi rayona müxtəlif altsistemlərdən ibarət bir sistem kimi baxmaq olar [2].

İqtisadi rayonun yaranması – iqtisadi rayonların dinamik təsərrüfat ərazisi sistemi kimi formalaşması və inkişafının obyektiv prosesidir. İqtisadi rayonun yaranması iqtisadi qanunauyğunluqları, iqtisadi rayonların formalaşması və inkişafının obyektiv və subyektiv amillərinin fəaliyyət göstərdiyi sferadır. İqtisadi rayonlaşma – ölkənin xalq təsərrüfatının və ya regionun tarixən formalaşan ümumi və lokal şərtlər əsasında öz ictimai tamlığı ilə fərqlənən nisbi müstəqil sistemlərə bölünmüşdür. İqtisadi rayonlaşma iqtisadi rayonologiyanın öyrəndiyi qanunauyğunluqların tətbiqi sistemidir. Müasir dövrdə iqtisadi rayonlaşma xalq təsərrüfatının və rayonların daha effektli planlaşdırılmasına və xalq təsərrüfatının idarə edilməsinə daha yaxşı imkan verdiyi üçün ölkənin məhsuldar qüvvələrinin artımının əsas alətinə çevrilmişdir. Öz növbəsində, iqtisadi rayon əmələgəlmənin bir neçə şərti var: tarixi, sosial-iqtisadi və təbii şərait. Tarixi şərait qrupunda ümumi və şəxsi, zəruri və kafi şərtlər fərqləndirilməlidir. Ümumi zəruri şərait elə şəraitdir ki, onsuz iqtisadi rayon formalaşa bilməz. İqtisadi rayon əmələ gəlmənin amilləri-iqtisadi rayonun sistemli obyekt kimi formalaşması və inkişafının daxili mənbəyi, hərəkətverici qüvvəsidir. Rayon əmələ gəlmənin amillərini iqtisadi rayon əmələ gəlmənin əsas struktur elementləri ilə qarışdırmaq olmaz (ərazi, əhali, istehsalın maddi elementləri). Amillər iqtisadi rayon əmələgəlmənin mahiyyətini müəyyən edərək rayonun formalaşması və inkişafına təkan verir. Bu amillərə aşağıdakılar aiddir [3]:

- Iqtisadi rayon əmələ gəlmənin təbii əsaslarının genişlənməsini əks etdirən aminlər. Belə ki, iqtiasdi rayon coğrafi mühitin cəmiyyət tərəfindən mənimsənilməsi nəticəsində yaranır və inkişaf edir;

- Məhsuldar qüvvələrin inkişaf səviyyəsinin və yerləşməsinin xarakterini əks etdirən amillər (ərazi texniki iqtisadi kompleksi və nəqliyyat şəbəkəsinin birləşməsi, istehsalın kombinələşməsi və ixtisaslaşmasının inkişafı, əmək resurslarının ixtisas səviyyəsinin yüksəldilməsi və s.);

- Ictimai ərazi təşkilini əks etdirən amillər – buraya əmək bölgüsü, kooperasiyasının inkişafı və s. daxildir;

- Bütövlükdə cəmiyyətin və iqtisadiyyat idarə edilməsini əks etdirən amillər.

Hal-hazırda dünyada qloballaşma proseslərinin sürətləndiyi və maliyyə böhranının dərinləşdiyi bir zamanda Azərbaycan Respublikasının da milli iqtisadi inkişaf istiqamətlərini azad sahibkarlıq, sahibkarlığın müxtəlif formalarının sürətli inkişafı, çoxşaxəli kapital qoyuluşları, eləcə də geniş beynəlxalq inteqrasiya təşkil edir. Eyni zamanda milli iqtisadiyyatın hərtərəfli yüksəlişi baxımından respublikanın ayrı-ayrı regionlarının sosial-iqtisadi inkişafının müasir tələblər səviyyəsində qurulması ən vacib problemlərdən hesab edilir. Regional iqtisadi inkişaf özlüyündə prioritet sahələrin, daxili problemlərin elmi əsaslarla təşkil olunması və kompleks inkişafını özündə əks etdirir. Təbii ki, bu kompleks inkişafda regionun resurs təminatı, insan amili, sənaye potensialı və ərzaq təhlükəsizliyi və s. problemlər həyata keçirilən işlərin əsas məzmununu müəyyən edir.

Ümumiyyətlə, təcrübə göstərir ki, regional inkişafı təmin etmədən ölkənin dayanıqlı inkişafına nail olmaq qeyri-mümkündür. Ona görə ki, regional inkişaf ölkənin ümumi sosial-iqtisadi inkişaf siyasətinin mühüm tərkib hissələrindən biridir və bütövlükdə həmin siyasətin yerinə yetirilməsinə xidmət edir. Lakin sosial-iqtisadi inkişaf siyasətinin pul-kredit, sosial, ekoloji, aqrar siyasət və s. kimi digər tərkib hissələrindən fərqli olaraq regional inkişaf siyasəti bir çox özünəməxsus xüsusiyyətlərə malikdir. Bu siyasətin kompleks xarakter daşıması və bütövlükdə ölkənin sosial-iqtisadi inkişafını region miqyasında əks etdirməsi onun əsas xüsusiyyətlərindən biridir. Ümumiyyətlə, ölkənin sosial-iqtisadi inkişaf siyasəti necədirsə, regional inkişaf siyasəti də ona analoji olaraq həyata keçirilir. Başqa sözlə desək, ölkə miqyasında qarşıya qoyulan məsələlər, region miqyasında da qarşıya qoyulur və yerinə yetirilir. Nəzərə alsaq ki, hər bir region təsərrüfatı sahələri, müəssisə və təşkilatlar, dövlət və yerli özünüidarəetmə orqanları arasında, eləcə də bu qurumların öz daxilində müxtəlif mənafe və münasibətlərin cəmləndiyi bir ərazidir, onda regional siyasətin hazırlanması və həyata keçirilməsinin, eləcə də regional inkişafın təmin edilməsinin zəruriliyi və çətinliyi məlum olar. Bu səbəbdən də sosial-iqtisadi inkişaf siyasətinin digər istiqamətlərinə nisbətən regional sosial-iqtisadi inkişafın təmin edilməsi çox mürəkkəbdir. Çünki regional inkişaf siyasətinin həyata keçirilməsinə, həm çoxlu sayda ölkə miqyaslı amillər, həm də hər bir regionun konkret şəraitindən və iqtisadi potensialından irəli gələn amillər təsir edir. Bu baxımdan, ölkənin ümumi sosial-iqtisadi inkişaf siyasətinin müvəffəqiyyəti, regional inkişaf siyasətinin müvəffəqiyyətindən, eləcə də regional inkişafın müvəffəqiyyəti həyata keçirilən ərazi struktur siyasətindən çox asılıdır [4].

Alınmış nəticələrin analizi. Regional inkişaf istiqamətində aparılan tədbirlərə ölkəmizdə XX əsrin 50-ci illərində başlasa da, bu istiqamətdə görülən işlər 1993-cü ildən etibarən xüsusilə sürətlənmişdir. Bu ondan irəli gəlir ki, SSRİ dövründə Azərbaycan Respublikası keçmiş ittifaqın bir regionu hesab edilirdi və o zaman regional inkişaf dedikdə, əsas etibarı ilə bütövlükdə respublikanın inkişafı nəzərdə tutulurdu. Bu səbəbdən də, ayrı-ayrı rayon və ya iqtisadi rayonların inkişafına, müasir dövrə nisbətən, məhdud çərçivədə yanaşılırdı. Buna baxmayaraq, 1970-1980-ci illər ərzində respublikamızın aqrar, sənaye, sosial və s. infrastruktur sahələrində yenidənqurma işləri aparılmış, ölkə iqtisadiyyatında yeni dönüş mərhələsi başlanmış və məhsuldar qüvvələrin inkişafı əsasında yeni kəmiyyət və keyfiyyət dəyişiklikləri yaranmışdır. Qeyd olunan illər ərzində Azərbaycan Respublikasının iqtisadi rayonlarının təkmilləşdirilməsi, təbii və əmək ehtiyatlarından səmərəli istifadə edilməsi və məhsuldar qüvvələrin sürətli inkişafının təmin edilməsi istiqamətində geniş əhatəli elmi araşdırmalar aparılmışdır ki, bunun nəticəsində də əldə edilmiş nailiyyətlər özünü açıq büruzə verirdi [5].

Azərbaycan Respublikası müstəqillik əldə etdikdən sonra ölkənin iqtisadi inkişafı istiqamətində aparılan işlər daha da sürətlənmiş və tarazlı regional inkişafın təmin edilməsi prioritet məsələlərdən birinə çevrilmişdir. 1995-ci ildən başlayaraq həyata keçirilmiş genişmiqyaslı iqtisadi islahatlar regionların sosial-iqtisadi problemlərinin həllinə əlverişli zəmin yaratmışdır. Regionların hərtərəfli inkişafının təmin olunmasında, özəl sektorun, xüsusilə iqtisadi inkişafın əsasını təşkil edən

sahibkarlığın yerlərdə tam bərqərar olmasında, yoxsulluq səviyyəsinin azaldılmasında və onun tədricən aradan qaldırılmasında makroiqtisadi sabitliyin təmin olunması mühüm rol oynayır.

Lakin müvafiq Dövlət Proqramında qəbul edilmiş rayonlaşma təsnifatı ölkənin regionlarının mövcud potensialından daha səmərəli istifadə etməklə ayrı-ayrı rayonlarda iqtisadiyyatın sahələr üzrə ixtisaslaşma dərəcəsini və onun strukturunun təkmilləşdirilməsini nəzərdə tutur. Araşdırmalardan aydın olur ki, iqtisadi, coğrafi və tarixi baxımdan regionları (iqtisadi rayonları) fərqləndirən əsas amillər aşağıdakılardır: 1. İqtisadi–coğrafi mövqe; 2.Təbii şərait və ehtiyatlar; 3. Əhalinin məskunlaşma səviyyəsi; 4. Tarixi inkişaf xüsusiyyətləri.

Ümumiyyətlə, regionların sosial-iqtisadi inkişafını şərtləndirən yuxarıdakı amillərlə yanaşı, onların arasında fərqin yaranmasında və iqtisadi zonaların çoxunun zəif inkişaf etməsində aşağıdakıların da xüsusi rolu olmuşdur [6]:

- Məhsuldar qüvvələrin regionlar arasında qeyri-mütənasib paylanması nəticəsində onların sosial-iqtisadi inkişaf səviyyəsində kəskin fərqlərin yaranması;
- Ermənistanın Azərbaycana qarşı apardığı işğalçı müharibə nəticəsində torpaqların 20%-nin zəbt olunması, həmin rayonlarda mövcud iqtisadi potensialın talan edilməsi, istehsal-texniki və infrastruktur obyektlərinin dağıdılması;
- Ölkədə aparılan torpaq və aqrar islahatlar nəticəsində rayonlarda yaşayan əhalinin çox hissəsinin torpaq və digər daşınmaz əmlak sahibinə çevrilməsinə baxmayaraq onlarda ilkin kapitalın, eyni zamanda, aqrar sektorun inkişafını təmin edən şəraitin, o cümlədən texnikanın, servisin, məsləhət xidmətinin, infrastrukturunun, emal müəssisələrinin və s.-nin kifayət qədər olmaması və bunun nəticəsində də əldə olunmuş imkanlardan səmərəli istifadə edilməsinin məhdudlaşdırılması.
- Dövlətin regional siyasəti – regional aspektdə ölkənin iqtisadi, sosial və siyasi inkişafının idarə edilməsi, yəni hökümət ilə regionlar arasında, həmçinin regionların öz aralarındakı münasibətlərlə bağlı olan fəaliyyət dairəsidir. Regional siyasət ölkənin milli sosial-iqtisadi inkişaf strategiyasının tərkib hissəsini təşkil edir. Azərbaycan Respublikası üçün regional siyasət, xüsusilə vacib əhəmiyyət kəsb edir. Belə ki, Azərbaycan Respublikasının ərazisindəki təbii-coğrafi, sosial-demoqrafik, iqtisadi və digər xüsusiyyətlərdəki fərqliliyi nəzərə alaraq regionlara unifikasiyalı (ümumiləşmiş) yanaşma mümkün deyil. Belə fərqlilik və sosial şəraitdə həddən ziyadə regional ziddiyyətlər isə ümumilikdə dövlətin mövcudluğuna təhlükədir. Beləliklə, regional siyasət ölkə daxilində qeyri-bərabərliyi zəiflətməli, ölkənin bütövlüyünü və vahidliyini qorumalıdır.

Nəticə. Bunları nəzərə alaraq regional siyasətin əsas məqsədlərinin aydınlaşdırılması məqsədəuyğun olardı. Regional siyasətin məqsədləri bir qayda olaraq uzunmüddətli xüsusiyyətə malikdir. Bu məqsədlərin formalaşması uzaq keçmişə təsadüf etsə də yeni şəraiti nəzərə alaraq transformasiya olunur, prioritetlərini dəyişir və onların həlli üçün müasir yanaşma tələb edir. Qeyd olunanlara əsasən müasir regional inkişafa dair strateji məqsədləri aşağıdakı kimi təsnifləşdirmək olar:

- Infrastrukturun modernləşməsi, iqtisadi vəziyyətin sağlamlaşdırılması və mülk sahələrin konversiyası yolu ilə köhnə sənayeli regionların və böyük şəhərlərin aqromeliorasiyalarının iqtisadi rekonstruksiyası;
- Aqrosənaye regionlarının depressiv vəziyyətdən çıxarılması;
- Kiçik şəhər və kəndlərin dirçəldilməsi, kənd yerlərində həyat mühitinin yenidən qurulması və fəal iqtisadi mühitin formalaşdırılması, yerli sosial və istehsal infrastrukturunun inkişaf etdirilməsi, istifadədən kənarda qalmış kənd təsərrüfatı və digər torpaq sahələrindən səmərəli istifadə edilməsi;
- Kəskin təbii şəraitə malik və əsasən xammal ehtiyatları üzrə ixtisaslaşmış regionlarda sosial-iqtisadi vəziyyətin sabitləşdirilməsi;
- Ayrı-ayrı regionların potensial imkanlarının müəyyən edilməsi və regionlarda iqtisadi fəallığının artırılması üçün əlverişli şəraitin yaradılması;
- Regionlarda ekoloji standartlara əməl olunmaqla müxtəlif mənbələrdən investisiyalar çəlb etməklə və əsasən xammal ehtiyatlarından səmərəli istifadəni təmin edən istehsalın inkişaf prioritetlərinə uyğun ərazi-istehsal komplekslərinin və istehsal şəbəkələrinin yaradılması işinin davam etdirilməsi [7];

- əlverişli şəraitə malik olan regionlarda ixrac yönümlü və idxalı əvəz edə biləcək istehsal sahələrinin inkişafının stimullaşdırılması;

- elmi nailiyyətlərin, yeni texnika və texnologiyaların regionların davamlı inkişafında daha geniş tətbiqinə nail olunması, eləcə də bu məqsədlə azad iqtisadi zonaların yaradılması və müəyyən güzəştlərin təklif edilməsi;

- stimullaşdırıcı tədbirlərin köməyi ilə, ekoloji tarazlığı qorumaqla, regionlarda sosial-iqtisadi artımın sürətləndirilməsi;

-sərhəd regionlarının mövcud şəraitini, eləcə də təbii-iqtisadi potensialını nəzərə alaraq yenidən ixtisaslaşdırma istiqamətlərinin nəzərdən keçirilməsi;

- Regional tərəqqini və regional iqtisadiyyatın səmərəliliyini təmin edən və stimullaşdıran regionlararası və regional infrastruktur sistemlərinin (nəqliyyat, rabitə, informatika) inkişaf etdirilməsi;

- Ayrı-ayrı regionlarda əhalinin həyat səviyyəsi və keyfiyyətinin aşağı düşməsinin qarşısının alınması, yeni həyat standartlarının tətbiq edilməsi üçün münbit şəraitin yaradılması [10].

Beləliklə, regional siyasətin prioritetləri yeni regionların mənimsənilməsindən, mövcud regionların depressiv vəziyyətinin stabilləşdirilməsi və aradan qaldırılmasına, böyük şəhərlərdəki artımın məhdudlaşdırılmasından kiçik şəhərlərin və kəndlərin dirçəldilməsinə doğru mövqeyini dəyişmişdir [8].

Məlumdur ki, yeni iqtisadi münasibətlərin formalaşdırılmasını ölkədə yaranmış yeni ictimai-siyasi quruluş və müstəqil milli iqtisadiyyatın məntiqi inkişafı tələb edir. Belə ki, SSRİ dövründə həyata keçirilən iqtisadi islahatlar və ümumittifaq iqtisadi mexanizminin formalaşdırılması ilə istehsal, idarəetmə və planlaşdırma həyata keçirilirdi. Mərkəzləşdirilmiş inzibati planlaşdırma isə sosial-iqtisadi həyatın bütün mərhələlərində, mülkiyyət, idarəetmə, istehsal, mübadilə, maliyyə-kredit, qiymət və s. istiqamətlərdə dövlət inhisarının formalaşdırılmasına xidmət edirdi. Bazar münasibətləri şəraitində isə, aparıcı mövqe özəl sektora malikdir və dövlət inhisarçılığı qeyri-mümkündür [9].

Ədəbiyyat

1. Kuzık B.H., Kuşlin B.I., Yakovets Y.V. Proqnozlaşdırma, strateji planlaşdırma və milli proqramlaşdırma. Dərslik (tamamlanmış və əlavə edilmiş 2-ci nəşr, rus dilindən tərcümə). Bakı: İqtisad Universiteti, 2011, 541 s.
2. Qafarov Ş. S. Müasir iqtisadi sistem və qlobqllaşma. Bakı: 2012, 632 s
3. Nuriyev Ə. X. Azərbaycanda iqtisadi inkişaf və modernləşmə siya-sətinin konseptual əsasları. Bakı: Avropa, 2013, 417 s.
4. Гортни. Дж. Создание необходимой среды для обеспечения максимальных темпов устойчивого экономического роста / Дж. Гортни // Пути экономического роста: международный опыт. М.: Деловой экспресс, 2014. с. 43-65.
5. Государственное регулирование рыночной экономики / Под ред. В.И. Кушлина. М.: РАГС, 2015. 834 с.
6. Ершов, М.В. Экономический рост: новые проблемы и новые риски / М. В. Ершов // Вопросы экономики. 2016. № 12. с. 20-37.
7. Игнатова, Т.В. Институциональные концепции экономического роста и их модернизации / Т.П. Черкасова, Т.В. Игнатова // Государственное и муниципальное управление (Ученые записки СКАГС). 2017. № 2. с. 57-67.
8. Куранов, Г. Факторы экономического роста: оценки и прогноз / Г. Куранов, О. Засов // Экономист. 2013. № 1. с. 10-18.
9. Курнышева, И. Тенденции и перспективы экономического роста / И. Курнышева // Экономист. 2017. - № 10. - С. 13-20.
10. Скиба, А. Экономическое развитие как результат обновления / А. Скиба // Экономист. 2017. № 10. с. 50-56.

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: 27.05.19. Çapa imzalanıb: 13.06.19.
Format 60x84 1/8. F.ç.v.19,8 Sifariş №10.
Kağız əla növ. Tiraj 100 nüsxə. Qiyməti müqavilə ilə

Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyasının mətbəəsi