“AZƏRBAYCAN XƏZƏR DƏNİZ GƏMİÇİLİYİ” QSC
“AZƏRBAYCAN DÖVLƏT DƏNİZ AKADEMİYASI” PHŞ

ISSN 2220-1025

AZƏRBAYCAN DÖVLƏT DƏNİZ AKADEMİYASININ

ELMİ ƏSƏRLƏRİ

PROCEEDINGS OF

AZERBAIJAN STATE MARINE ACADEMY

№2

BAKI-2024

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

Redaksiya heyəti

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

t.e.d., prof. A.S. Vaskov
Uşakov adına Dövlət Dəniz Universiteti (Rusiya)

t.e.d., prof. S.Q. Çulkin
adm. Makarov adına Dövlət Dəniz və Çay Donanması Universiteti (Rusiya)

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

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

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

t.e.d., prof. N.Ş.İsmayılov
(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; t.ü.f.d., dos. İ.A.Xankişiyev*

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 elmlərinin problemləri: *t.e.d., prof. V.P.Buşlanov (Rusiya); t.e.d., prof. V.H.Həsənov; r.ü.f.d., dos. B.K. Ağarzayev.*

****

Redaksiya:
E-mail: elvina.abdullayeva@asco.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" PHŞ, 2024

MÜNDƏRİCAT

GƏMİQAYIRMA VƏ GƏMİ TƏMİRİ TEXNOLOGİYASI

Абдуллаев О.М. Выбор главных размерений судов обеспечения подводно-технических работ с использованием метода базы данных……..... 7
Амирханов И.Ф., Керимли А.М. Системный анализ и математическая модель разработки кораблей береговой обороны для Каспийского моря..... 19
Həsənli R.K. Ovuntular üfürməklə maye çuqunun kükürdsüzləşdirilməsi və fosforsuzlaşdırılması proseslərinin kinetikası..... 25
Xankişiyev İ.A., Həmzəyev X.Q., Paşazadə S.Q. Gəmi gövdəsinin 3D çapında material, çap texnologiyası və çap üsulunun seçilməsi..... 38
Мурсалзаде Э.Г., Садыгов М.В. Основные характеристики судов обеспечения платформ с использованием базы данных однотипных судов..... 43
Mənsimov K.M., Kəlbiyev F.M., Babayev L.V. Gəmi üst tikililərində cari yüklərin tədqiqat metodları..... 54
Оруджов Ф.С., Ханкишиев И.А., Исмаилов Н.Ш. Оценка реологических коэффициентов при проектировании технологии газостатического прессования…….. 63
Rəsulov N.M., Məmmədov Ə.S., Ələkbərov M.Z. Sistemli analiz əsasında surətköçürmə ilə dişpardaqlama səmərəliliyinin dolayı yolla yüksəldilməsi..... 70

GƏMİÇİLİK VƏ SU NƏQLİYYATININ İSTİSMARI

Hasanov V.H., Sadigov V.B. The role of innovative technologies in modernity of sea transportation…… 77
Əliyev R.L. Dəniz nəqliyyatı sektorunda karbon ticarəti perspektivləri: davamlılıq və emissiya azaltma strategiyasının tədqiqi……..... 82
Гулиев Н.Н., Рустамов З.А. Анализ принципа работы гидроакустических систем контроля позиции на современных судах, оснащенных системой динамического позиционирования (DP)…… ……..... 93

GƏMİÇİLİK TEXNİKASI

Əhmədova R.H., Muxtarova G.S., Həsənov V.H. Gəmi nəqliyyatında hidrogenin alternativ yanacaq kimi istifadə imkanlarının tədqiqi..... 100
Həsənov Y.N., Rəhimov B.R. Mühərrik yağlarının mühərrikin uzunömürlüyünə və gəmi emissiyalarına təsiri..... 105
Hasanov Y.N., Demyanov A.A., Nabiyeva E., Rəhmanov M., Rahimov B.R. Supplementary comparison of kinematic viscosity of the liquids …… 111
İsmayılov A.Ş., Kərimov E.N. Dizel mühərrikində sıxma dərəcəsini avtomatik dəyişən porşenin hidravlik sisteminin optimal ölçülərinin seçilməsi..... 117
İsmayılov A.Ş., İsmayılov M.H. Daxili yanma mühərriklərinin xaric qazlarının tərkibindəki zəhərli maddələr və onların ətraf mühitə təsiri..... 125
Lazimov T.M., Sultanov E.F. On the research activities of the department of electroautomatics of the Azerbaijan State Marine Academy…… 134
Sultanov E.F., Dostiyev F.İ. "Maestro Niyazi" (Layihə 19610) tipli quru yük gəmisinin avtomatik yanalma bucurqadının elektrik intiqalının gücünün hesablanması..... 141
Səlimova A.K., İsmayılov S.S. Sinxronlaşdırılmış asinxron elektrik intiqalı..... 147

GƏMİÇİLİKDƏ TƏBİƏT ELMLƏRİNİN PROBLEMLƏRİ

Абдуллаева С.А. Вопросы управления эффективностью эксплуатации объектов энергетики..... 153
Cabbarov T.Q., Cəfərli İ.Ə. Azərbaycanın qara metallurgiya sənayesində ekoloji vəziyyət və perspektivləri 162
Həsənov V.H., İmanov E.İ., Süleymanov T.A., Həsənova L.A. Yaşıl enerji texnologiyalarının analizi..... 167
Hüseynova S.E. Perlit süxurunun və köpdürülmüş perlitin öyrənilməsi..... 173
İsmayılova S.M. Sənaye təhlükəsizliyi, iş mühitindəki təhlükələr və ekoloji təhlükəsizlik.. 178
Məmmədova K.A., Məmmədov N.İ. Süni intellekt və maşın öyrənməsi əsasında böyük dil modellərinin tədqiqi..... 184
Rüstəmov Ə.R., Həsənov V.H., Həsənov A.Q., Əzizullayev M.Q., Məlikov F.Ə., Həşimov R.İ. Pilotsuz uçuş aparatlarının telemetriya sistemlərinin araşdırılması..... 192

CONTENT

SHIPBUILDING AND SHIP REPAIR TECHNOLOGY

Abdullayev O.M. Select of the main dimension of subsea construction vessel with use of the method of the database..... 7
Amirkhanov I.F., Karimli A.M. The system analysis and mathematical model of the development the littoral combat ship for the Caspian sea..... 19
Hasanli R.K. Kinetics of the processes of desulfurization and dephosphorization of liquid iron by blowing abrasives..... 25
Khankishiyev I.A., Hamzayev X.G., Pashazade S.G. Selection of material, printing technology and printing method in 3D printing of ship hull..... 38
Mursalzada E.H., Sadigov M.V. The main characteristics of the vessels providing platforms using the database are onetype of vessels..... 43
Mansimov K.M., Kalbiyev F.M., Babayev L.V. Methods of research of current loads on ship superstructures..... 54
Rasulov N.M., Mammadov A.S., Alakbarov M.Z. Increasing of the efficiency of gear grinding with copying by indirect methods based on systematic analysis..... 63
Orujov F.S., Khankishiyev I.A., Ismayilov N.Sh. Determınatıon of rheologıcal coefficıents ın desıgnıng hot ısostatıc pressıng (HIP) technology..... 70

SHIPPING AND EXPLOITATION OF WATER TRANSPORT

Hasanov V.H., Sadigov V.B. The role of innovative technologies in modernity of sea transportation..... 77
Aliyev R.L. Perspectives on carbon trading in the maritime transport sector: a study on sustainability and emission reduction strategies..... 82
Guliev N.N., Rustamov Z.A. Analysis of the operating principle of hydroacoustic position control systems on modern vessels equipped with a dynamic positioning (DP) system..... 93

SHIPPING TECHNIQUE

Ahmadova R.H., Mukhtarova G.S., Hasanov V.H. Study of the possibilities of using hydrogen as an alternative fuel in ship transport..... 100
Hasanov Y.N., Rahimov B.R., The effect of engine oils on engine longevity and ship emissions..... 105
Hasanov Y.N., Demyanov A.A., Nabiyeva E., Rəhmanov M., Rahimov B.R. Supplementary comparison of kinematic viscosity of the liquids..... 111
Ismayilov A.Sh., Kerimov E.N. Selectıon of optımal dımensıons of hydraulıc system of automatıc changeable pıston ın dıesel engıne..... 117
Ismayilov A.Sh., Ismayilov M.H. Internal combustion engines toxic substances in the content of exhaust gases and their impact on the environment..... 125
Lazimov T.M., Sultanov E.F. On the research activities of the department of electroautomatics of the Azerbaijan State Marine Academy..... 134
Sultanov E.F., Dostiyev F.İ. Calculation of the power of the electrical drive of the automatic mooring winch of the “Maestro Niyazi” type dry cargo ship (Project 19610) 141
Salimova A.K., Ismayilov S.S. Synchronized asynchronous electric transmission..... 147

NATURAL SCIENCE PROBLEMS IN NAVIGATION

Abdullaeva S.A. Management issues of efficiency of operation of energy facilities …….. 153
Jabbarov T.G., Jafarli I.A. Ecological situation and prospects in the ferrous metallurgy industry of Azerbaijan..... 162
Hasanov V.H., Imanov E.I., Suleymanov T.A., Hasanova L.A. Analysis of green energy technologies..... 167
Huseynova S.E. Study of perlite rock and expanded perlite……. 173
İsmayılova S.M. Industrial safety, working environmental hazards and ecological safety 178
Mammadova K.A., Mammadov N.I. Research of large language models based on artificial intelligence and machine learning..... 184
Rustamov A.R., Hasanov V.H., Hasanov A.Q., Azizullayev M.Q., Malikov F.A., Hashimov R.I. Investigation of telemetry systems of unmanned aerial vehicles..... 192

GƏMİQAYIRMA VƏ GƏMİ TƏMİRİ TEXNOLOGİYASI

УДК 629.5

ВЫБОР ГЛАВНЫХ РАЗМЕРЕНИЙ СУДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОДВОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ РАБОТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА БАЗЫ ДАННЫХ

Абдуллаев О.М.

«ASCO Инжиниринг»
г. Баку. ул. Зия Юсифзаде, 48
E-mail: oyrad-abdullayev@asco.az

Аннотация. *В работе рассмотрена целевая функция, отражающая формирование перспективных параметров судов обеспечения подводно-технических работ. Проведена систематизация и посредством зависимостей, оценено влияние водолазного комплекса, аппаратных средств и технологического оборудования на формирование главных размерений судов обеспечения подводно-технических работ. С учетом проектных ограничений, полученные анализом эксплуатации и основных характеристик судов обеспечения подводно-технических работ на базе данных близких по назначению судов. Предложена целевая функция скорости судна и с использованием базы данных близких по назначению судов, составлены зависимости отражающие влияние главных размерений на скорость судна и нагрузки масс по разделам от водоизмещения. Используя модели формирования главных размерений, разработан алгоритм расчета главных размерений и номограмма определения главных размерений судна на ранних этапах проектирования.*

Xülasə. *Tədqiqat işində sualtı texniki təminat gəmilərinin perspektiv parametrlərini təsvir edən məqsəd funksiyaları təqdim edilmişdir. Dalğıc kompleksinin, aparat vasitələrinin və texnologi avadanlıqlarının sualtı texniki təminat gəmilərinin əsas ölçülərinin formalaşması sistemləşdirilmişdir. Verilənlər bazasının məlumatları əsasında oxşar gəmilərinin istismarı araşdırılaraq, sualtı texniki təminat gəmilərinin layihələndirilmə məhdudiyyətləri nəzərə alınmışdır. Verilənlər bazasından istifadə edərək gəminin sürətinin məqsəd funksiyası gəminin sürətinə təsir göstərən əsas ölçüləri və gəminin çəki yükünün su basımından asılılığı müəyyən olunmuşdur. Gəminin əsas ölçülərinin formalaşdıran modellərdən istifadə edərək, əsas ölçülərin hesablama alqoritmi və onları təyin etmək üçün nomoqram tərtib edilmişdir.*

Abstract. *In the paper the criterion function that reflects the formation of perspective parameters of vessels for supporting underwater technical work is considered.*

Systematization was carried out and through dependencies the influence of the diving complex, hardware and technical equipment on the formation of the main dimensions of the vessels supporting undervator technical work was assessed ou the basis of data from vessels similak in purpose.

A target function of the vessels speed has been proposed and using a database on the purpose of vessels, depencies have been compiled reflecting the influence of the main dimensions on the vessels speed and mass loads in sections on displacement.

Using models for the formation of the main dimensions, an algorithm for calculating the main dimensions, and nomogram for determining the main dimensions of a vessel at the early stages of design have been developed

Ключевые слова: *подводно-технические работы, судно обеспечения, телеуправляемый подводный аппарат, обитаемый подводный аппарат, технологическое оборудование*

Açar sözlər: *sualtı texniki işlər, təchizat gəmisi, məsafədən idarə olunan sualtı nəqliyyat aparatı, heyətli sualtı aparat, texnoloji avadanlıq*

Key words: *subsea operation, supply vessel, remote operated vehicle, manned submersible vehicle, diving equipment, technology equipment*

Введение. Объектом исследования является методы и средства совершенствования проектирования судов обеспечения подводно-технических работ (СОПТР), с использованием базы данных близких по назначению судов. В результате проведенных исследований [1-4], сформирована структурная схема рисунке 1. и разработана математическая модель (формула 1[5]) и (2, 4[4]), формирования облика проектируемого судна выраженная целевой функцией (3):

$$A = A\ (W, M, R, P), \tag{1}$$

где W – множество, элементы которого, а также их объединения являются факторами внешней среды, действующими на проектируемую систему;

M – множество, включающее компоненты и их объединения, образующие систему;

R – множество, которое представляет соответствия между компонентами проектируемой системы, а также между системой с ее составляющими и внешней средой;

P – множество, включающее свойство системы, определяемое свойствами элементов множеств W, M, R.

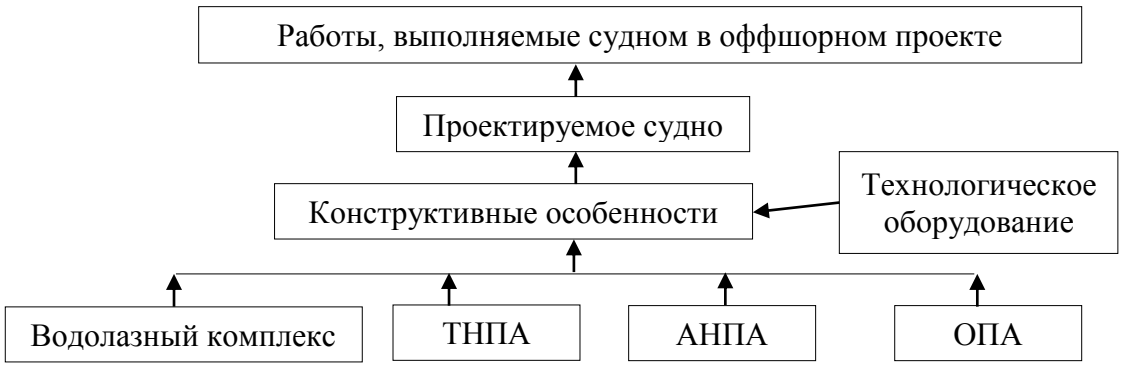


Рис.1. *Структурная схема формирования облика проектируемого судна [5]*

На рис. 1 обозначены:

ТНПА – телеуправляемый необитаемый подводный аппарат;

АНПА – автономный необитаемый подводный аппарат;

ОПА – обитаемый подводный аппарат.

$$P = f\ (C_{вод.}, C_{ТНПА}, C_{АНПА}, C_{MS}, C_{Т.О.}), \tag{2}$$

где P – конструктивные особенности проектируемого судна;

$C_{вод.}$ – функция водолазного комплекса, устанавливаемого на судно;

$C_{ТНПА}$ – функция телеуправляемого необитаемого подводного аппарата, устанавливаемого на судно;

$C_{АНПА}$ – функция автономного необитаемого подводного аппарата, устанавливаемого на судно;

$C_{ОПА}$ – функция обитаемого подводного аппарата, устанавливаемого на судно;

$C_{Т.О.}$ – функция мобильного технологического оборудования, устанавливаемого на судно.

$$A = f\ (P, U_{Т.О.}), \tag{3}$$

$$U_{T.O.} = f(U_{T.У.}, U_{К.У.}, U_{В.К.}, U_{А.С.}), \quad (4)$$

где $U_{T.O.}$ – условные характеристики технологического оборудования;
$U_{T.У.}$ – условные характеристики трубоукладочного оборудования;
$U_{К.У.}$ – условные характеристики кабелеукладочного оборудования;
$U_{В.К.}$ – условные характеристики водолазного комплекса;
$U_{А.С.}$ – условные характеристики аппаратных средств (ТНПА/АНПА).

Новизна исследования заключается в совершенствовании системно-оптимизированного метода проектирования с использованием базы данных близких по назначению судов, с учетом эксплуатационных условий технологических и водолазных комплексов и аппаратных средств, обеспечивающих подводно-технические работы.

Практическая ценность исследования обусловлена прикладной направленностью и актуальностью разработок. Сложная и многогранная задача проектирования СОПТР решена системным подходом, что способствует повышению качества на ранних этапах проектирования и обеспечивает конкурентоспособность судов.

Оценка влияния технологического оборудования на главные размерения СОПТР. Крановое оборудование. Грузоподъемность и глубина погружения гака грузового крана, влияют на главные размерения проектируемого судна, в основном посредством ширины судна [6, с.12]. При этом не надо забывать о возможном совместном использовании на СОПТР, водолазного комплекса, аппаратных средств и технологического оборудования (ТО) совместно с грузовым краном. Этот факт ставит необходимость учета влияния грузовых кранов, водолазных комплексов и аппаратных средств, на ширину СОПТР при разработке главных размерений. Зависимости ширины судна от грузоподъемности и глубины погружения гака крана отраженны на графике 1а и 1б.

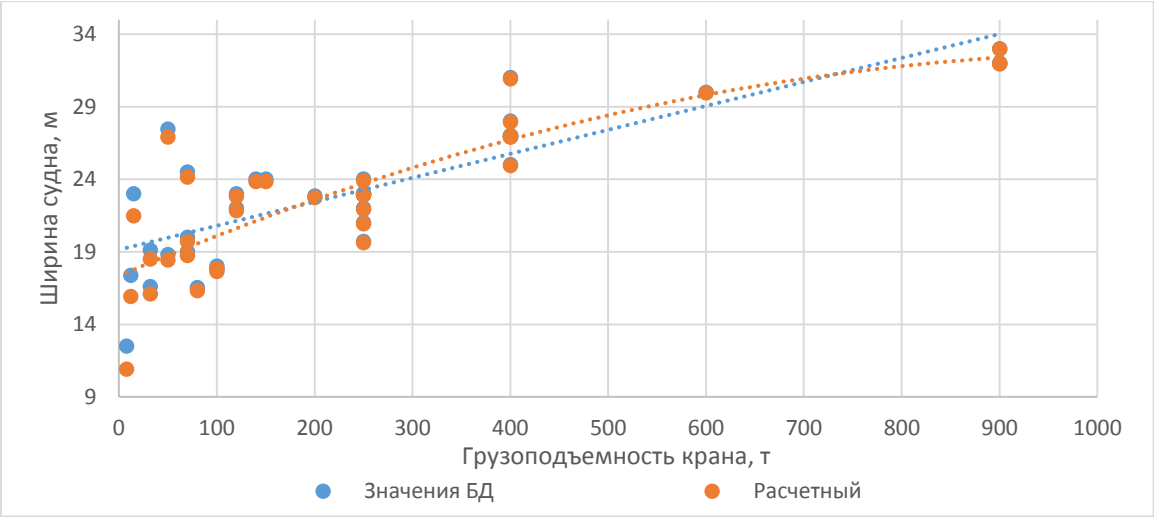


График 1а. *Зависимость грузоподъемности крана от ширины судна*

Водолазный комплекс и аппаратные средства. Для качественной и безопасной эксплуатации водолазного комплекса и аппаратных средств на СОПТР, на ранних этапах проектирования, необходим оптимальный подбор главных размерений [6, с.13-17]. Ширина судна принимается основным фактором, посредством которого параметры водолазного комплекса и аппаратных средств влияют на мореходные качества судна. На графиках 2а. и 2б., отражены зависимости базы данных близких по назначению судов, глубины погружения водолазов с шириной судна и грузоподъемностью крана. На графиках 3а. и 3б., отражены зависимости глубины погружения ТНПА/АНПА с шириной судна и грузоподъемностью крана. На графиках

4а. и 4б., отражены зависимости ширины судна и глубины погружения ОПА, водоизмещением судна носителя.

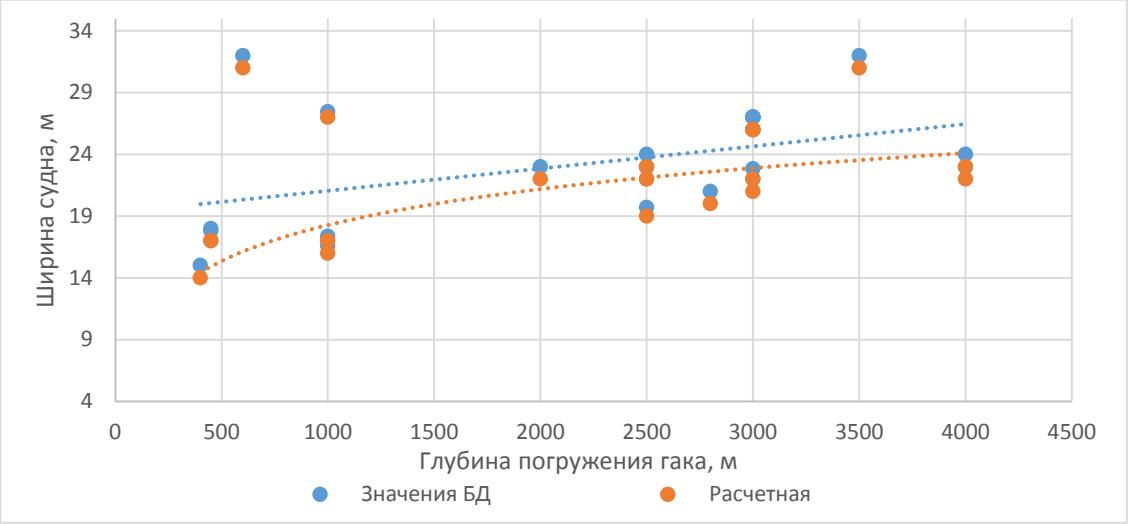


***График 1б**. Зависимость глубины погружения гака от ширины судна*

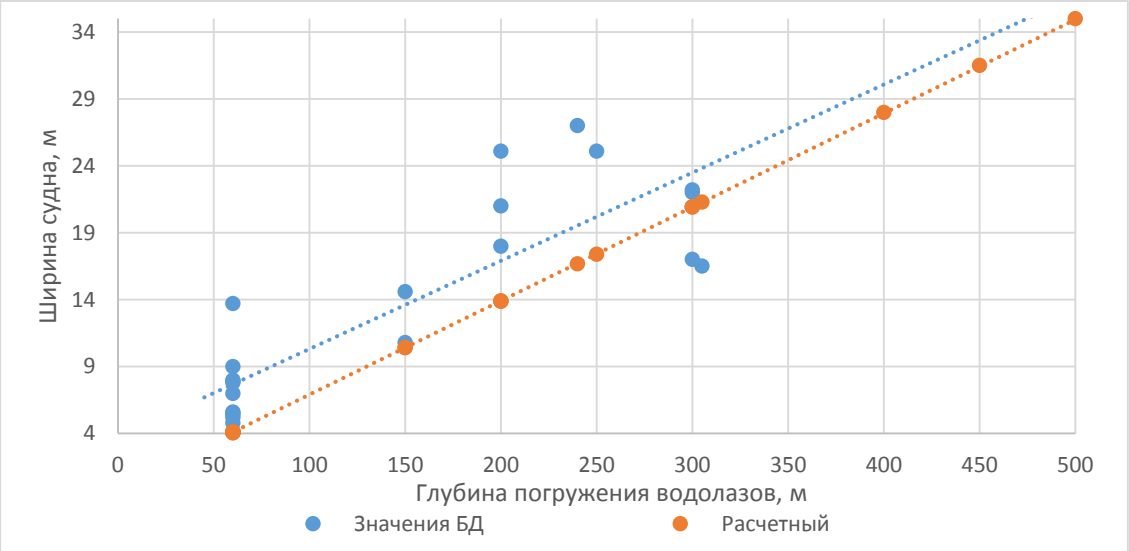


***График 2а.** Зависимость глубины погружения волазов и ширины корпуса*

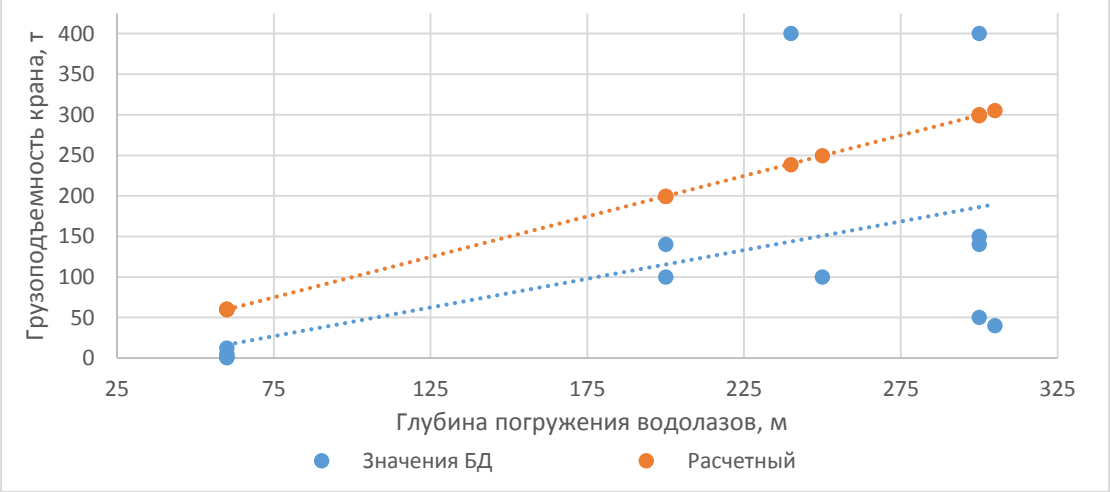


***График 2б.** Зависимость грузоподъемности крана и глубины погружения водолазов*

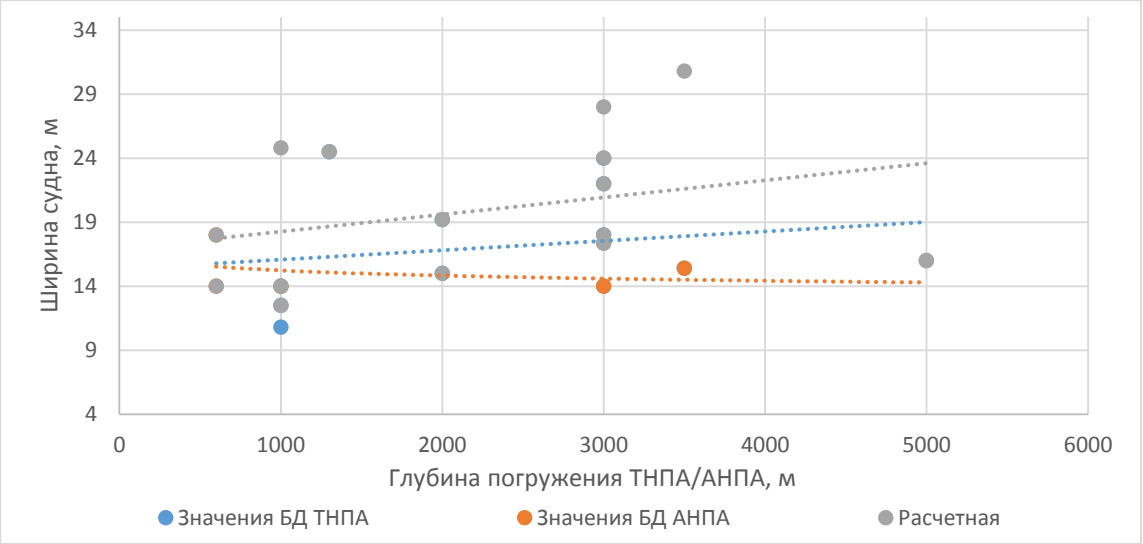


График 3а. *Зависимость глубины погружения ТНПА/АНПА от ширины судна*

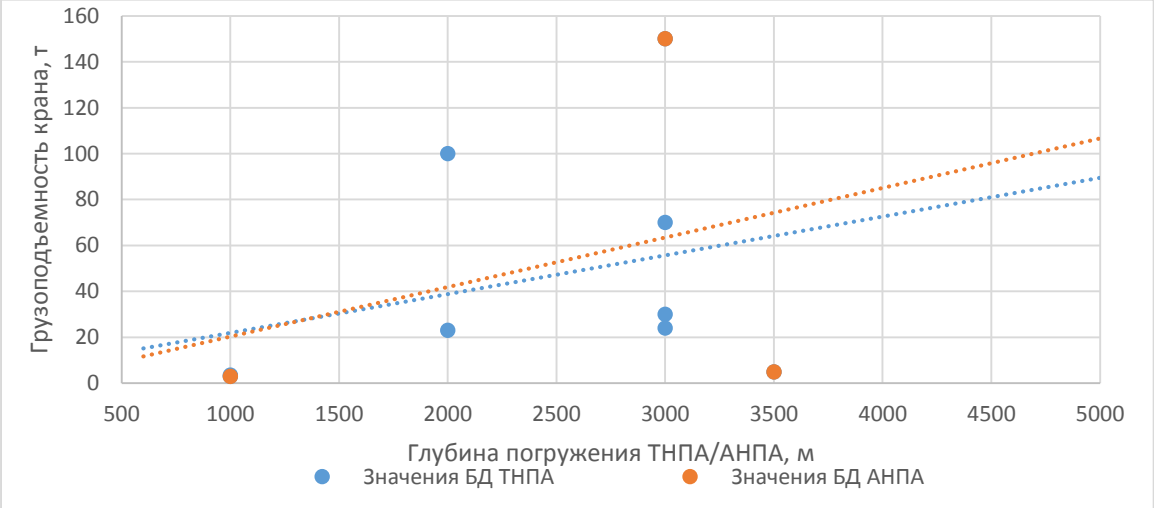


График 3б. *Зависимость глубины погружения ТНПА/АНПА от грузоподъемности крана*

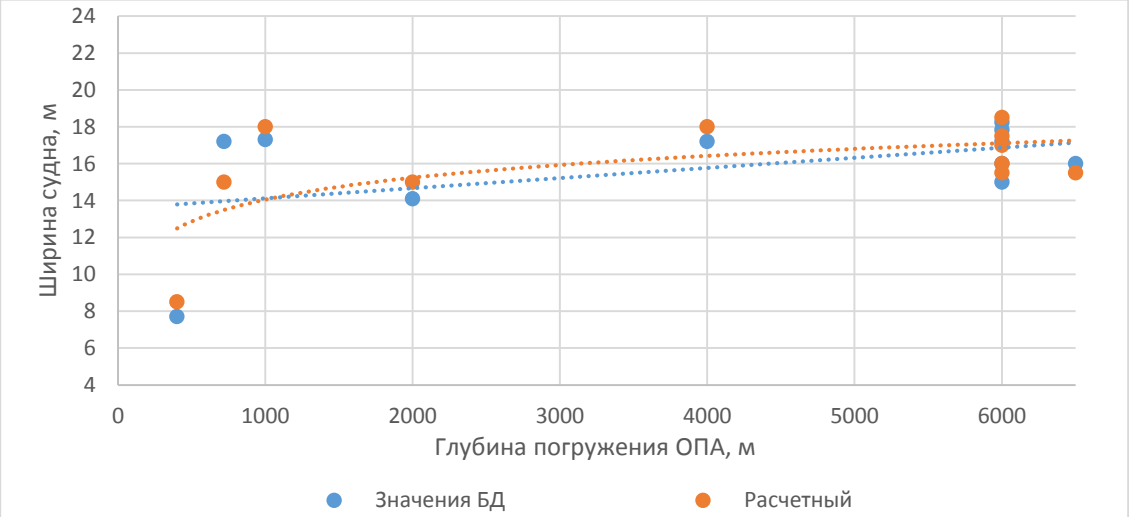


График 4а. *Зависимость глубины погружения ОПА от ширины судна*

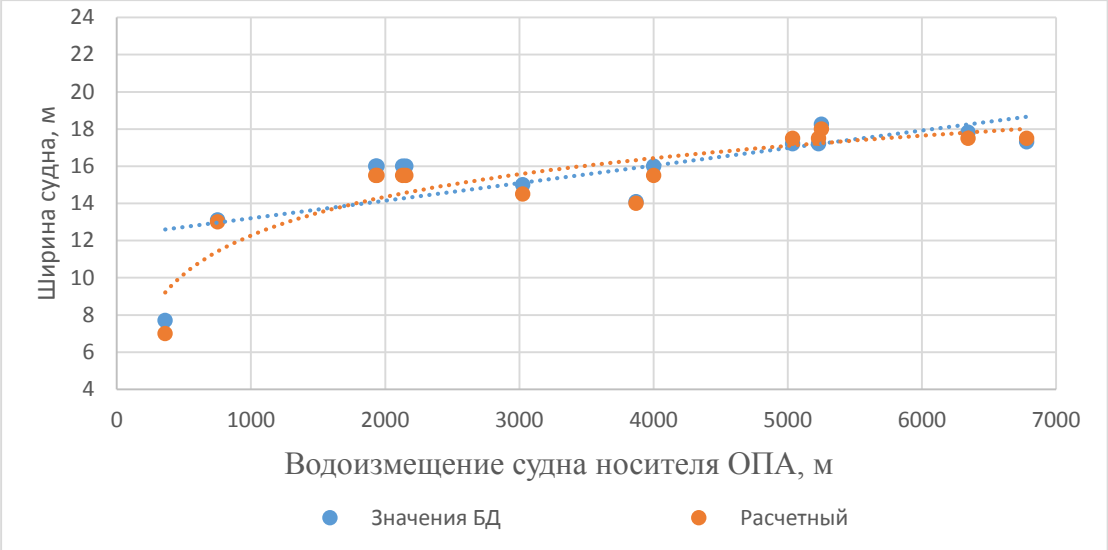


График 4б. *Зависимость водоизмещения судна носителя ОПА от ширины судна*

Мобильное технологическое оборудование. Учитывая, что мобильное технологическое оборудование в основном устанавливается на грузовой палубе, для их качественной и безопасной эксплуатации, необходим оптимальный подбор главных размерений судна с учетом необходимой площади грузовой палубы на ранних этапах проектирования [6, с.17-18]. На графиках 5а. и 5б., отражены зависимости площади грузовой палубы и ширины судна, длины судна. В графике отражены соотношения базы данных близких по назначению судов.

Оценка влияния на размеры и технические характеристики судна. На рисунке 2., отражена структурная схема влияния технологических средств на главные размерения СОПТР, что отражает систематизацию связи размеров и рабочих параметров ТО, аппаратных средства и комплексов с главными размерениями судна [6, с.18-19].

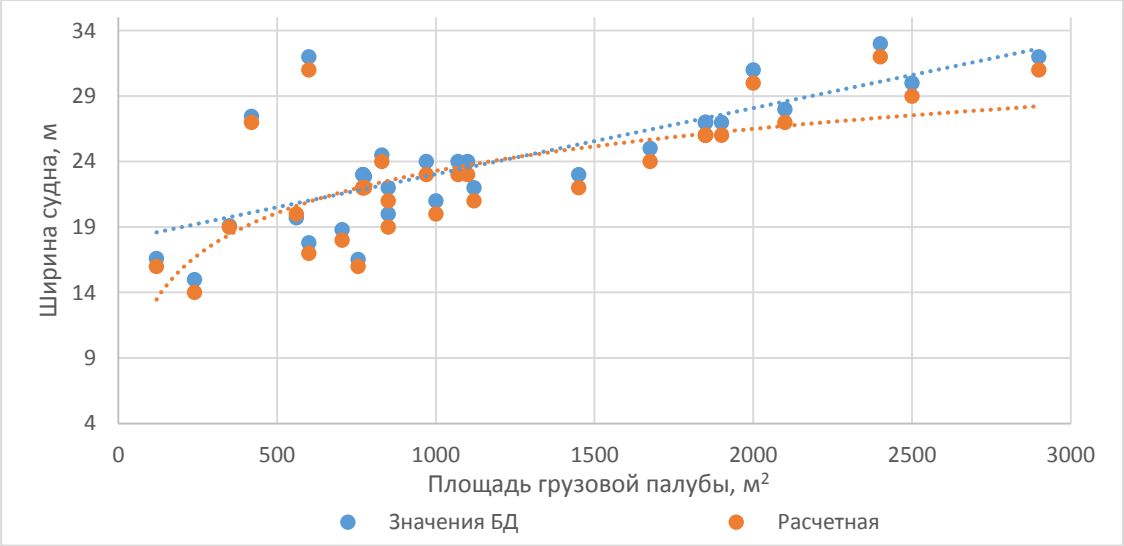


График 5а. *Зависимость площади грузовой палубы от ширины судна*

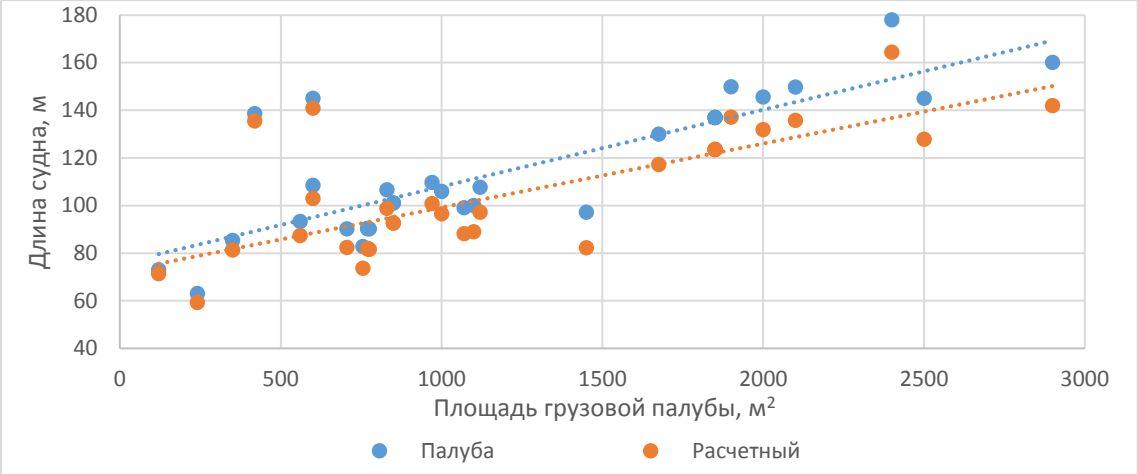


График 5б. *Зависимость площади грузовой палубы от длины судна*

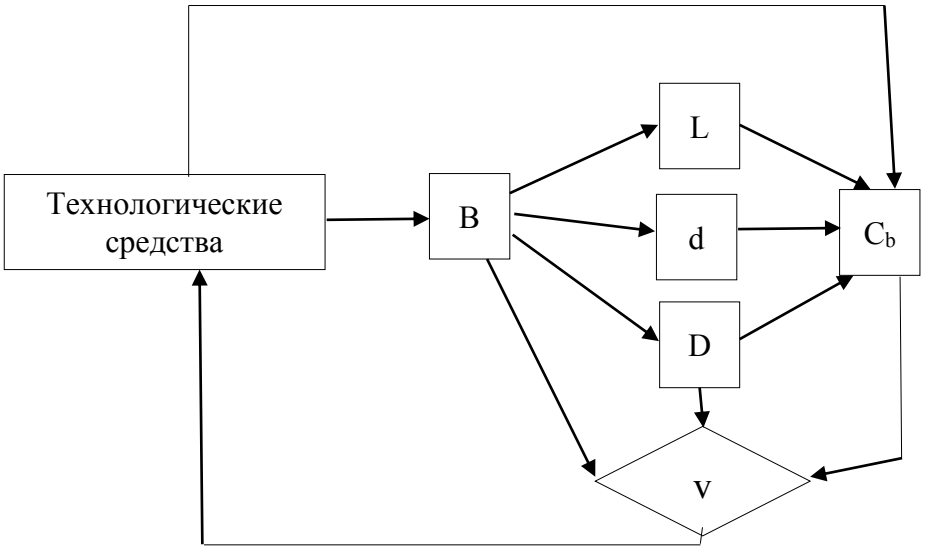


Рис. 2. *Структурная схема зависимости главных размерений от устанавливаемых технологических средств*

Здесь: L – длина судна (формируется из соотношения L/B);
B – ширина судна;
d – осадка (формируется из соотношения B/T);
D – водоизмещение (формируется из соотношения B/D);
v – скорость судна;
C_b – коэффициент общей полноты судна.

Рассматривая графики 1а/б., 2а/б., 3а/б., 4а/б., 5а/б., можно отследить в основном идентичную закономерность зависимостей. Таким образом, ширина судна может формироваться универсальным выражением, для каждого измеряемого параметра в отдельности (5):

$$B_i = b * S - {}^{B}/_{S}, \tag{5}$$

где B_i – ширина судна, связанная измеряемым параметром;
S – измеряемые параметры ($P_{ГП}, Г_{ПГ}, Г_{ПВ}, Г_{П(АС)}, Г_{П(MS)}, S_{ГП}$);
$P_{ГП}$ – грузоподъемность крана;
$P_{ПГ}$ – глубина погружения гака грузового крана;

$P_{ПВ}$ – глубина погружения водолаза;
$P_{П(АС)}$ – глубина погружения аппаратных средств (ТНПА или АНПА);
$P_{П(MS)}$ – глубина погружения обитаемого аппарата;
$S_{ГП}$ – площадь грузовой палубы;
b – коэффициент корреляции учитывающая закономерность рассматриваемых соотношений, определяемая по формуле (7);
$B/_S$ – соотношения ширины судна и измеряемых параметров, определяемая по формуле (6).

$$B/_S = \sum_{i=1}^{n} \overline{B}_i - b * \sum_{i=1}^{n} S_i, \quad (6)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^{n}(S-\overline{S_i})(B-\overline{B_i})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(S-\overline{S_i})^2 \sum_{i=1}^{n}(B-\overline{B_i})^2}}, \quad (7)$$

Анализ проектных ограничений эксплуатации и основных характеристик СОПТР. Анализ базы данных близких по назначению судов, показал влияние проектных ограничений эксплуатации, главных размерений и весовой нагрузки на скорость судна. Рассматриваемые задачи выражены целевой функцией (формула 8 [7]).

$$v = \mathrm{R}f(\Delta, \mathrm{L}, \mathrm{B}, \mathrm{T}), \quad (8)$$

где v –скорость судна;
L, B, T –главные размерения проектируемого судна;
R – идентифицированные риски проектируемого судна;
Δ – водоизмещение.

Используя базы данных близких по назначению судов разработаны зависимости ширины и осадки судна на скорость, сравнены с расчетными значениями и описаны в графиках 6 и 7. Установлены закономерности изменения весовой нагрузки по разделам и водоизмещения судна (график 8) и получено математическое выражение, описывающее эти закономерности (формула 9).

$$M_i = \Delta - M_i/_{\Delta}, \quad (9)$$

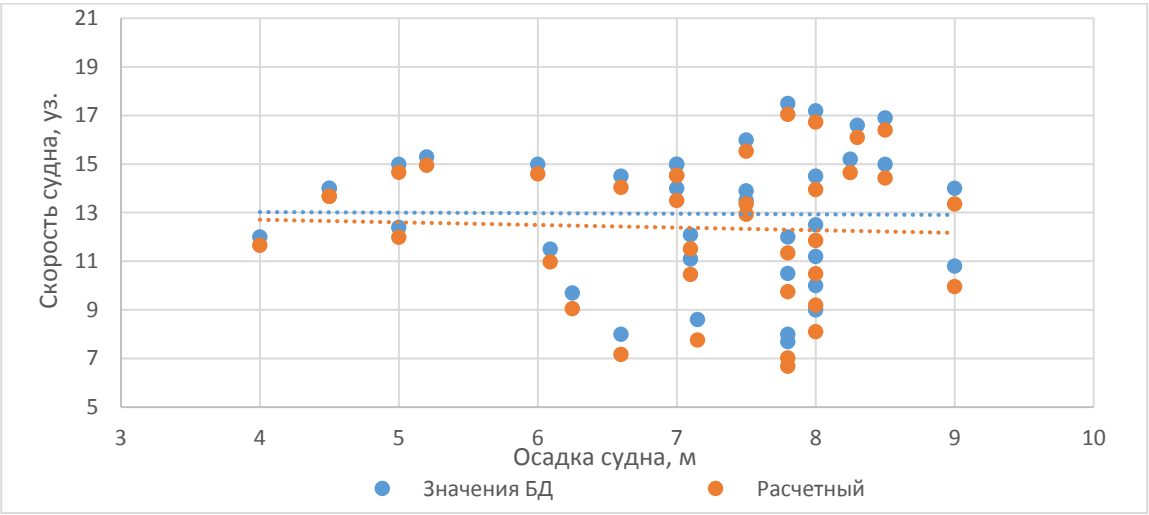


График 6. *Зависимость осадки от скорости судна*

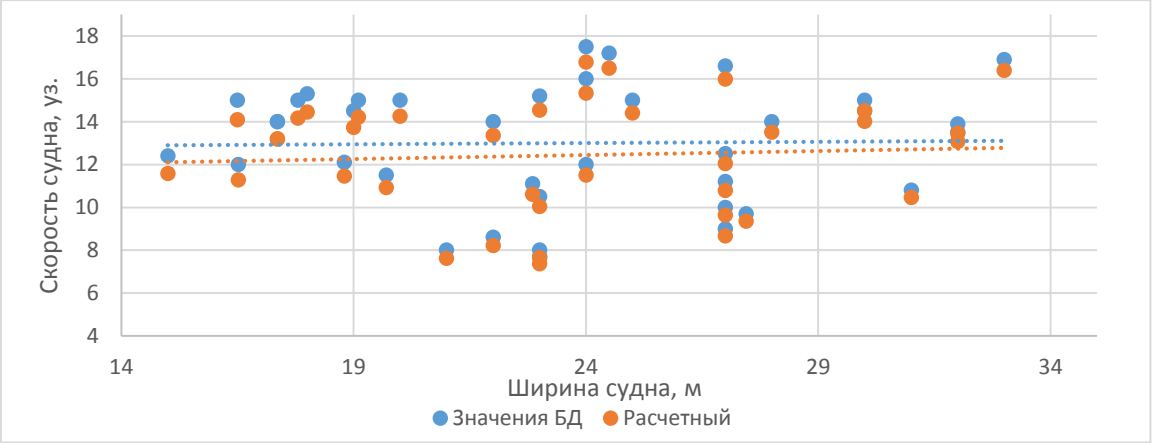


График 7. *Зависимость ширины от скорости судна*

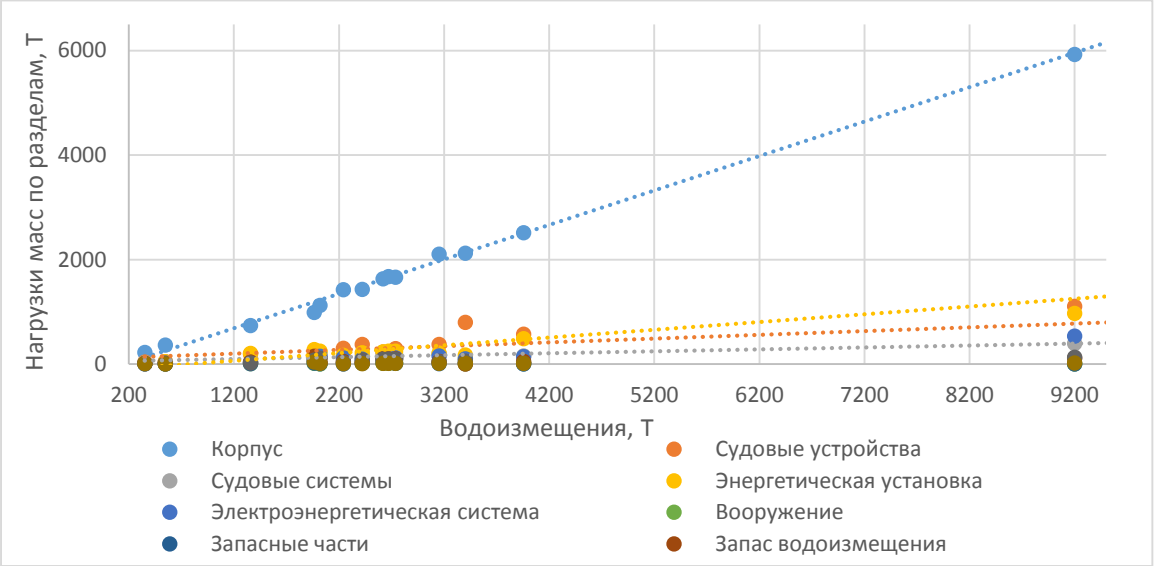


График 8. *Зависимость нагрузки масс по разделам от водоизмещения специализированных судов*

где M_i – значения нагрузки масс по разделам ($m_К$, $m_{С.У.}$, $m_С$, $m_{У.Э}$, $m_Э$, $m_В$, $m_З$, $m_{З.В.}$, $m_{Ж.Г}$, $m_{снаб.}$);

$m_К$ – масса корпуса;

$m_{С.У.}$ – масса судовых устройств;

$m_С$ – масса судовых систем;

$m_{У.Э}$ – масса энергетической установки;

$m_Э$ – масса электрических систем;

$m_В$ – масса технологического оборудования;

$m_З$ – масса запасных частей;

$m_{З.В.}$ – масса запаса водоизмещения;

$m_{Ж.Г}$ – масса постоянных жидких грузов;

$m_{Снаб.}$ – масса снабжения и имущество;

Δ – водоизмещения.

Алгоритм проектирования и реализация метода выбора главных размерений СОПТР. Используя математические модели и зависимости [6, 7] разработан алгоритм расчета

главных размерений СОПТР (см. рис. 3) [8, 9]. Используя алгоритм, разработана номограмма [10] (см. график 9) для выбора главных размерений СОПТР с использованием данных грузового крана, водолазного комплекса, аппаратных средств и потребной площади грузовой палубы.

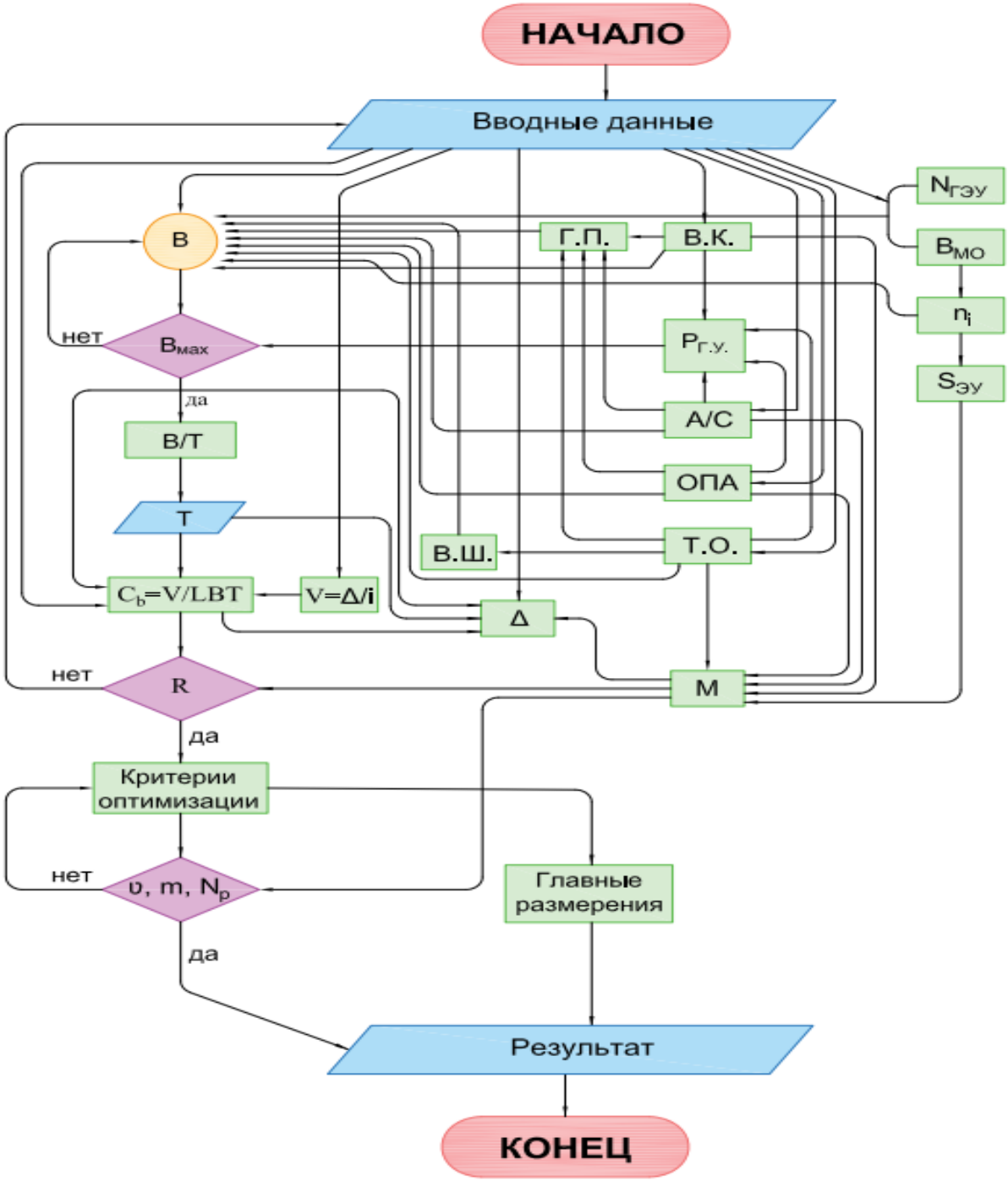


Рис. 3. *Алгоритм расчета главных размерений СОПТР [9]*

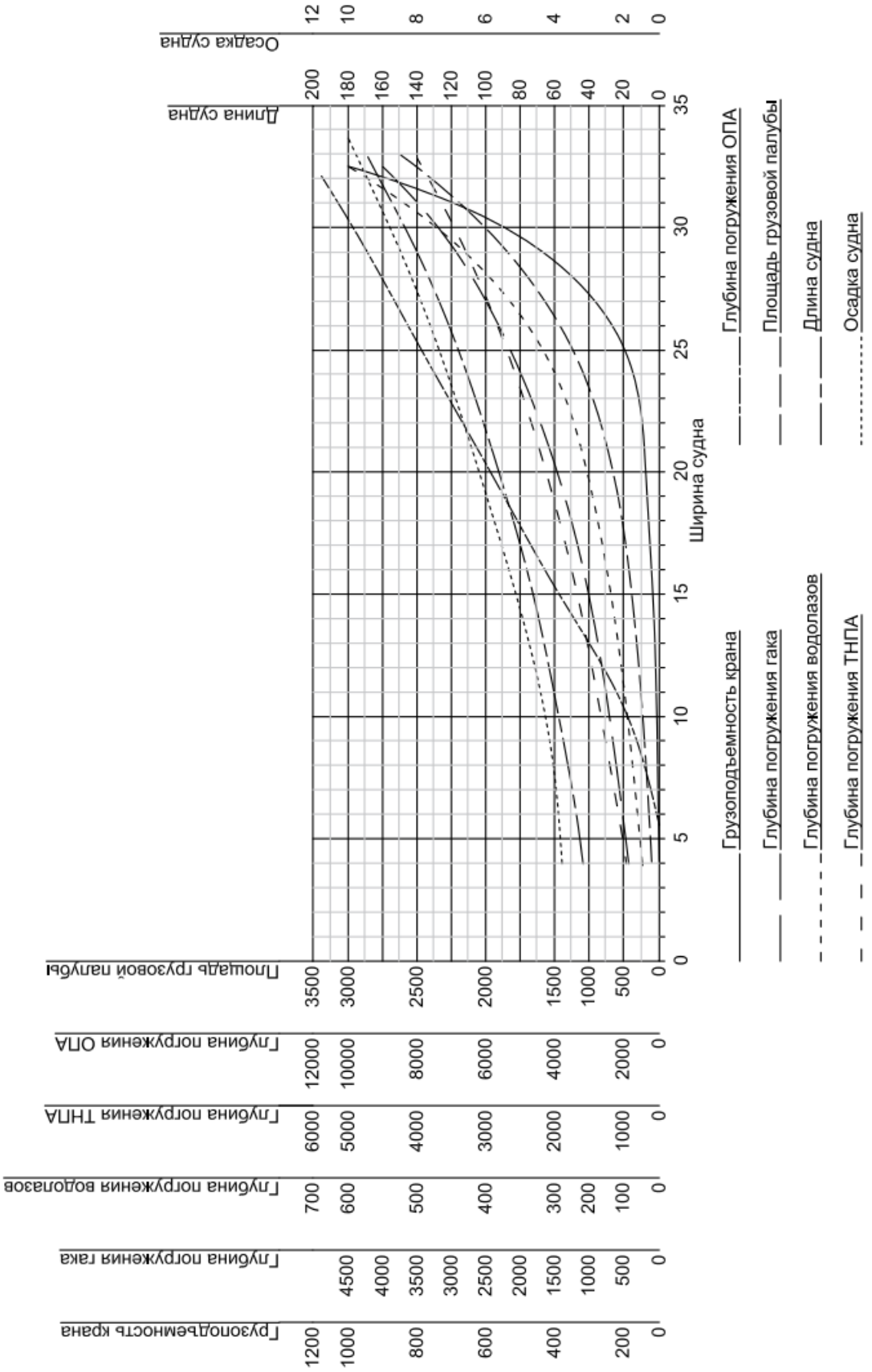


График 9. *Номограмма выбора главных размерений СОПТР*

Выводы. Разработаны зависимости, оценивающие влияние кранового оборудования, водолазного комплекса, аппаратных средств и технологического оборудования на главные размерения СОПТР. Произведен анализ проектных ограничений технологических комплексов и аппаратных средств при разработке СОПТР на ранних этапах проектирования.

По результатам исследования разработаны и предложены алгоритм расчета и номограмма выбора главных размерений СОПТР. Результаты исследования могут применены при разработке технических заданий и ранних этапов проектирования СОПТР.

Литература

1. Баширов Р.Д. Системный анализ и критерии оптимизации технологического оборудования многоцелевого судна с краном грузоподъемностью 300т / О.М.Абдуллаев // Морской вестник, - Санкт Петербург: - 2015. №2, - с. 20.
2. Баширов Р.Д. Системный анализ и обобщенные критерии оптимизации многоцелевого кранового судна грузоподъемностью крана 300т / О.М.Абдуллаев, Р.А.Керимли // Proceedings of Azerbaijan State Marine Academy, - Баку: - 2015. №2, - с.13 – 16.
3. Абдуллаев О.М. Оптимизация характеристик технологического оборудования многоцелевого кранового судна грузоподъемностью крана 300т // - Астрахань: Вестник Астраханского Государственного Технического Университета. Серия: Морская Техника и технология, - 2016. №1, - с. 7 – 11.
4. Абдуллаев О.М., Садыгов В.Б. Перспективы совершенствования научных основ проектирования судов обеспечения подводно-технических работ // XVII International scientific-technical conferece on “Water Transport Problems”, - Баку: - 05 – 06 май – 2022. – с.10 – 12.
5. Гайкович А.И. Теория проектирования водоизмещающих кораблей и судов [в 2 томах]: / А.И.Гайкович. – Санкт-Петербург. – МОРИНТЕХ, - 1-2том. – 2014. – 872с.
6. Абдуллаев О.М. Анализ функций судна обеспечения подводно-технических работ с учетом технологического оборудования и оценка влияния на размеры и технические характеристики судна // - Баку: Proceedings of Azerbaijan State Marine Academy, - 2023. №1(37), - с.11 – 21.
7. Egorov A.G. Risk-based analysis of operational design restrictions and main design characteristics of subsea construction VESSELS / O.M.Abdullayev // Вестник Одесского Национального Университета – Одесса: - 2023. №1(68), - с.7 – 26.
8. Абдуллаев О.М. Метод формирования элементов алгоритма проектирования судна обеспечения подводно-технических работ с использованием базы данных однотипных судов // - Санкт Петербург: Вестник Государственного Университета Морского и Речного Флота им. С.О. Макарова, - 2023. Том15, №4, – с. 680 – 691.
9. Лебедева М.П. Алгоритм проектирования судов обеспечения подводно-технических работ методом базы данных / О.М.Абдуллаев // Научные проблемы водного транспорта. Волжский Государственный Университет Водного Транспорта, - Нижний Новгород: - 2023. №76(3) – с. 32 – 49.
10. Bashirov R.D., Abdullayev O.M. Classification of subsea construction vessels and evaluation of study effectiveness // 2nd international scientific-practical conference “Machine Building and Energy: New Concepts and Technologies”, - Baku 2024. Vol. 148. – pp. 217 – 223.

Məqalə qəbul olunub: 29.10.24
Tövsiyə edib: dos. Xankişiyev İ.A.

УДК 629.5

СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАЗРАБОТКИ КОРАБЛЕЙ БЕРЕГОВОЙ ОБОРОНЫ ДЛЯ КАСПИЙСКОГО МОРЯ

Амирханов И.Ф., Керимли А.М.

«ASCO Инжиниринг»
г. Баку, ул. Зия Юсифзаде, 48
E-mail: Ilqar.Amirxanov@asco.az

Аннотация. *Оборона территориальных вод – охватывает широкий спектр тактических задач, возлагаемых на боевые корабли и катера с использованием морского вооружения и специальной техники. Для оперативного выполнения поставленных задач, требуются корабли способные по своим тактико-техническим характеристикам качественно выполнять поставленные задачи. Учитывая особенности Каспийского бассейна, наиболее подходящими для этих целей являются «Корабли Береговой Обороны». Для совершенствования разработки методики проектирования, в настоящей работе систематизированы формирование корабля, принимаемого как система и сформированы математические модели функциональных возможностей «Кораблей Береговой Обороны». Сформированы структурные схемы и целевые функции определения главных размерений, учитывая состав потребного вооружения и функций корабля, связывая с вооружением возможных террористических сил и устанавливаемыми видами вооружения, и перспективными видами вооружения приграничных государств. Предложены направления исследований проектирования «Кораблей Береговой Обороны» на ранних этапах проектирования.*

Xülasə. *Ərazi sularının müdafizəsi – döyüş gəmilərinə silah və xüsusi texnikadan istifadə etməklə geniş ceşidli taktiki tapşırıqları özündə əks etdirir. Qoyulan tapşırıqları operativ yerinə yetirmək üçün tələb olunan taktiki-texniki imkanlara malik gəmilər tələb olunur. Xəzər dənizinin xüsusiyyətini nəzərə alaraq, "Sahil Mühafizə Gəmilər"-indən istifadə olunması daha məqsədəuyğun hesab olunur. SMG-nin layihələndirilmə metodlarının təklmilləşdirilməsi məqsədilə, aparılan tədqiqatlarda sistem şəkilində təsvir edilən gəminin formalaşması sistemləşdirilmiş və tədqiq olunan gəminin funksional imkanlarının modelləşdirilməsi aparılmışdır. Mümkün terrorçu güvvələrin silahlanma imkanları, sərhədyanı ölkələrin gəmilərində quraşdırılan və quraşdırıla biləcək silah növlərinə əsaslanaraq, layihələndirilmənin ilkin mərhələlərində gəminin əsas ölçülərinin müəyyənləşdirilməsi üçün struktur sxemləri və məqsəd funksiyaları təqdim olunmuşdur. SMG layihələndirilməsinin ilkin mərhələlərinin tədqiqat istiqamətləri təklif olunmuşdur.*

Abstract. *Defense of territorial waters covers a wide range of the tactical tasks assigned to the battle ships and battle boats with use of sea arms and the special equipment. For expeditious performance of objectives, the ships capable on the tactical-technical characteristics qualitatively are required to carry out objectives. Considering features of the Caspian Sea, "the Littoral Combat Ship" are the most suitable for these purposes. For improvement of development of a technique of design, in the real work are systematized formation of the Ship system and mathematical models of functionality of "the Littoral Combat Ship" are created, block diagrams and criterion functions of definition of the main dimension are created considering structure of required arms and functions of the ship, connecting besides the possibility terrorist forces arms, established types of arms and types of arms of the border states. The directions of researches of design of "the Littoral Combat Ship" at initial design stages are created.*

Açar sözlər: *sahil mühafizə gəmiləri, döyüş tapşırığı, silah tərkibi, sistem analizi, informasiya sistemi*

Key words: *littoral combat ships, fighting task, the gun set, systems analysis, information systems*

Ключевые слова: *корабли береговой обороны, боевая задача, состав вооружения, системный анализ, информационная система*

Актуальность темы. Корабли береговой обороны играют ключевую роль в обеспечении безопасности и стабильности на Каспийском море, которое является важным стратегическим регионом для нескольких государств. Актуальность этих судов обусловлена множеством факторов, включая геополитическую напряженность, необходимость защиты морских границ и охрану природных ресурсов. Каспийское море, будучи внутренним водоемом, имеет ограниченный доступ к мировому океану, что делает его особенно уязвимым для потенциальных угроз, как со стороны соседних стран, так и внутренних конфликтов.

Современные вызовы, такие как пиратство, контрабанда и экологические угрозы, требуют от стран Каспийского региона активизации мер по охране своих вод. Корабли береговой обороны, обладая высокой маневренностью и возможностями для выполнения различных задач, могут эффективно противостоять этим вызовам. Они способны не только защищать морские границы, но и участвовать в поисково-спасательных операциях, обеспечивать контроль за экологической ситуацией и защищать стратегически важные объекты, такие как нефтяные платформы и газовые месторождения.

Кроме того, развитие технологий и модернизация флота позволяют кораблям береговой обороны выполнять задачи с высокой степенью эффективности. В условиях растущей конкуренции за ресурсы и влияние в Каспийском регионе, наличие современного и боеспособного флота становится не просто необходимостью, а залогом национальной безопасности стран, имеющих выход к этому морю. Таким образом, актуальность кораблей береговой обороны для Каспийского моря продолжает возрастать, подчеркивая необходимость стратегического подхода к вопросам безопасности и сотрудничества между прикаспийскими государствами.



Рис. 1. *Корабль береговой обороны класса «International» (Littoral Combat Ship "International")*

Объектом исследования является методы и средства проектирования «Корабля Береговой Обороны» (КБО), с использованием базы данных близких по назначению и использующих аналогичные системы вооружения кораблей. Учитывая особенности Каспийского моря и специфику предполагаемых боевых задач, предлагается наиболее приемлемый тип корабля, пример которого показан на рис. 1. Это корабль береговой обороны класса «International» (Littoral Combat Ship «International»). Принимая разрабатываемый корабль как систему, для проведения перспективных исследований по теме, предложены структурная схема (рис.2) и целевая функция (2) системы «Корабль». Рассмотрены формирование главных размерений проектируемого корабля, учитывая параметры применяемых видов вооружения, что отражено в структурной схеме (рис. 3) и целевой функции (4).

Формирование системы корабля. Проектирование «КБО», как элемента в общей системе обороны территориальных вод, является сложной и многогранной задачей. Решение таких задач возможно принимая проектируемый корабль в качестве системы [1, 2, 3, 4]. Функцией (1), укрупненно описывается роль состава вооружения в системе «Корабль». Из функции видно, что важным фактором, формирующим главные характеристики разрабатываемого корабля, является состав вооружения, формируемый исходя из данных возможных вооружений террористических сил, состава вооружения кораблей приграничных стран и средств взаимодействия с собственными береговыми средствами. При этом предполагается учитывать перспективы развития морского вооружения приграничных стран и возможные террористические угрозы.

$$A=A_B,\ A_{б.с.},\ A_П\, f\,(S_B), \tag{1}$$

где A – система «Корабль»;

A_B – состав вооружения кораблей приграничных стран;

$A_{б.с.}$ – средства взаимодействия с береговыми средствами;

$A_П$ – состав и перспективы развития флотов приграничных стран;

S_B – состав вооружения проектируемого корабля.

Формирование системы «Корабль», отражен в структурной схеме (рис. 2), где показано, как система «Корабль», формируется такими элементами как состав и перспективы развития возможных террористических сил, флотов и вооружения приграничных стран. Рассматривая вышеупомянутые факторы, принимаются во внимание так же ограничения по мореходным качествам, конструктивные ограничения корабля и элемент взаимодействия с береговыми средствами. Главными выходными факторами структурной схемы (рис.2), является формирование главных размерений, параметры энергетической установки и мореходные качества разрабатываемого корабля. Описанные в структурной схеме элементы формирования главных размерений по предполагаемым боевым задачам отдельно отражен в структурной схеме (рис.3), математическая модель формирования системы «Корабль» описан целевой функцией (2):

$$A = L_M,\ L_K\, f\,(R,\ R_{Э.У.},\ R_{М.К.}), \tag{2}$$

где L_M – Ограничения по мореходным качествам;

L_K – Конструктивные ограничения;

R – Главные размерения;

$R_{Э.У.}$ – Энергетическая установка корабля;

$R_{М.К.}$ – Мореходные качества корабля.

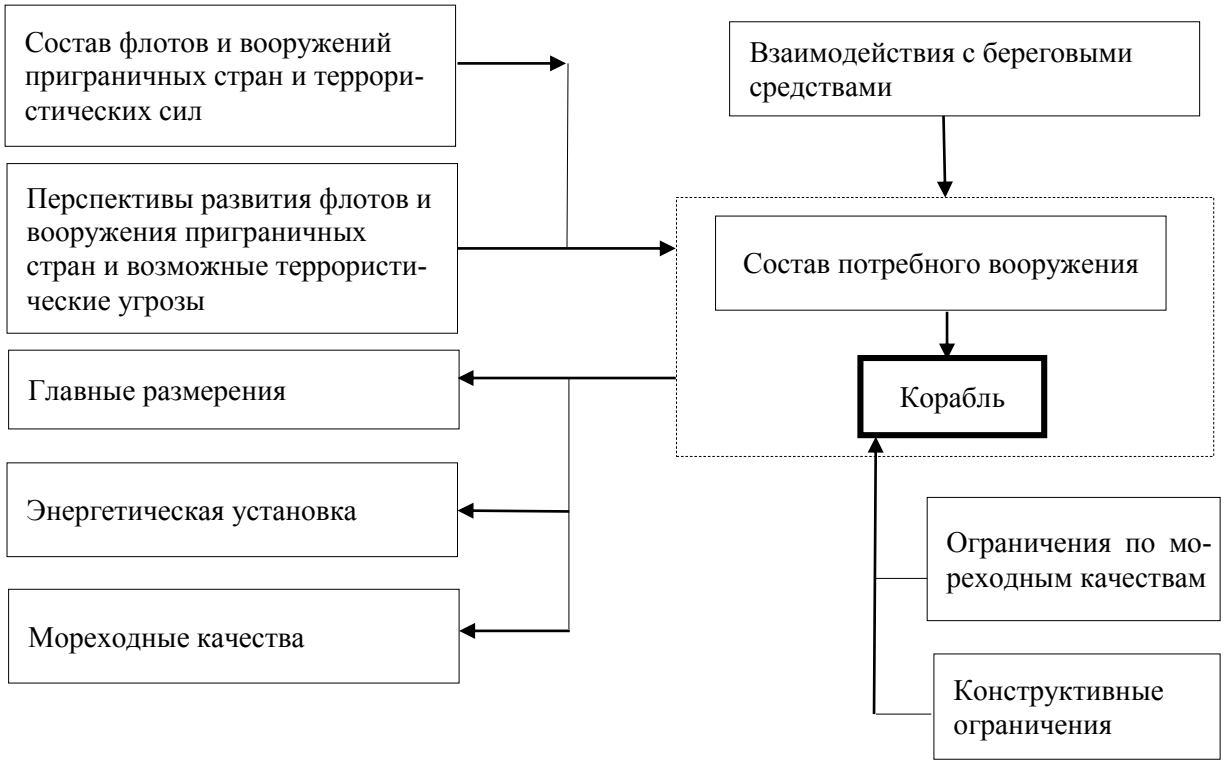


Рис. 2. *Структурная схема формирования системы «корабль»*

Формирование главных размерений. Основным фактором при формировании главных размерений перспективного корабля, выделяется описываемая функцией (3) состав его вооружения:

$$A_{Б.З.} = S_B\, f\,(R), \tag{3}$$

где $A_{Б.З.}$ – элемент системы «Боевые задачи».

На ранних стадиях проектирования корабля, выбор состава вооружения производится с учетом предполагаемых боевых задач. В структурной схеме (рис. 3), схематически отражена последовательность формирования и уточнения главных размерений корабля. Имея выбранный состав вооружения необходимого для выполнения предполагаемых на перспективном корабле боевых задач, используя схему (рис. 2) и целевую функцию (2), предлагается формировать главные размерения перспективного корабля с использованием базы данных близких по назначению и оснащенных аналогичным вооружением кораблей.

Методика использования метода базы данных [5, 6, 7] в основном аналогична проектированию гражданских специализированных судов. Формирования и уточнение главных размерений корабля, отраженных в структурной схеме (рис. 3), описывается целевой функцией (4):

$$R = A_B,\, L_M,\, L_K\, f\,(R_{Э.У.},\, R_{М.К.},\, S_B) \tag{4}$$

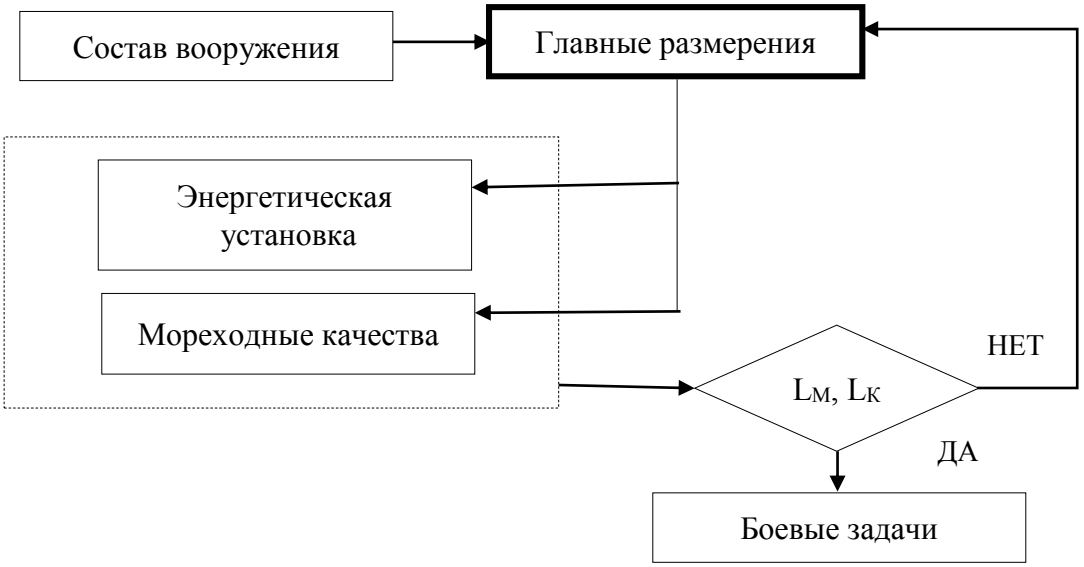


Рис. 3. *Структурная схема формирования главных размерений по потребным боевым задачам корабля*

При этом, имея предварительные значения главных размерений корабля, с использованием базы данных близких по назначению и оснащенных аналогичным вооружением кораблей, определяются мощность энергетической установки и мореходные качества корабля, описываемые целевыми функциями (5) и (6):

$$R_{Э.У.} = v\ f(L/B, B/d, \Delta), \tag{5}$$

где v – скорость корабля;

L/B – соотношения длины и ширины;

B/d – соотношения ширины и осадки;

Δ - водоизмещение корабля.

$$R_{М.К.} = v, C_Р\ f(m, P)\ , \tag{6}$$

где $C_Р$ – коэффициент общей полноты;

m – поперечная метацентрическая высота;

P – суммарная мощность главных двигателей.

Результаты главных размерений перспективного корабля уточняются конструктивными ограничениям и ограничениями по мореходным качествам, проведя оптимизацию главных размерений с принятыми критериями оптимизации. Остальные элементы системы «Корабль» (7), описанные А.И. Гайковичем [2 стр.35], предлагается связать с подсистемами главные размерения, энергетическая установка и мореходные качества посредством подсистемы вооружения и описывается функцией (8):

$$\Sigma R_П = (R_К, R_Э, R_Д, R_М, R_Н, R_С,)\ , \tag{7}$$

где $R_К$ – подсистема корпус и надстройка;

$R_Э$ – подсистема экипаж;

$R_Д$ – подсистема движение;

$R_М$ – подсистема маневрирование;

$R_Н$ – подсистема навигация, связь, сигнализация;

$R_С$ – подсистема стабилизация.

$$\sum A_П = S_В \, f(R, R_{Э.У.}, R_{М.К.}) \quad (8)$$

В качестве научной новизны, выделяется совершенствования системного метода проектирования корабля с использованием базы данных близких по назначению кораблей, оснащенных аналогичным вооружением.

Практической значимостью настоящего исследования является использование предложенных структурных схем и целевых функций при формировании главных размерений КБО, проведении анализа мореходных качеств и вооружения КБО.

Основным результатом является возможность формирование облика перспективного корабля используя формирования главных размерений, анализа мореходных качеств и вооружения на базе структурных схем и целевых функций.

Выводы. Таким образом, предложенные структурные схемы и целевые функции, отражают формирование главных размерений корабля береговой обороны посредством формирования собственного вооружения, с учетом террористических угроз, состава и перспективы развития флотов приграничных стран.

Предложенная структурная схема и целевая функция формирования главных размерений корабля береговой обороны предполагает использования метода базы данных, близких по назначению и оснащенных аналогичным вооружением кораблей.

Литература

1. Гайкович А.И. Основы теории проектирования сложных технических систем: / А.И.Гайкович. Санкт-Петербург: МОРКНИГА. 2001. – 432с.
2. Гайкович А.И. Теория проектирования водоизмещающих кораблей и судов [в 2 томах]: / А.И.Гайкович. – Санкт-Петербург. – МОРИНТЕХ, - 1том. – 2014. – 872с.
3. Гайкович А.И. Теория проектирования водоизмещающих кораблей и судов [в 2 томах]: / А.И.Гайкович. – Санкт-Петербург. – МОРИНТЕХ, - 2том. – 2014. – 872с.
4. Thomas C. Gillmer. Modern ship design / T.C. Gillmer – Annapolis: US Naval Institute – 1977 – p.376.
5. Абдуллаев О.М. Анализ функций судна обеспечения подводно-технических работ с учетом технологического оборудования и оценка влияния на размеры и технические характеристики судна // - Баку: Proceedings of Azerbaijan State Marine Academy, - 2023. №1(37), - с.11 – 21.
6. Абдуллаев О.М. Метод формирования элементов алгоритма проектирования судна обеспечения подводно-технических работ с использованием базы данных однотипных судов // - Санкт Петербург: Вестник Государственного Университета Морского и Речного Флота им. С.О. Макарова, - 2023. Том15, №4 – с.680 – 691.
7. Лебедева М.П. Алгоритм проектирования судов обеспечения подводно-технических работ методом базы данных / О.М.Абдуллаев // Научные проблемы водного транспорта. Волжский Государственный Университет Водного Транспорта, - Нижний Новгород: - 2023. №76(3) – с.32 – 49.

Məqalə qəbul olunub: 29.10.24
Tövsiyə edib: dos. Xankişiyev İ.A.

UOT 621.742

OVUNTULAR ÜFÜRMƏKLƏ MAYE ÇUQUNUN KÜKÜRDSÜZLƏŞDİRİLMƏSİ VƏ FOSFORSUZLAŞDIRILMASI PROSESLƏRİNİN KİNETİKASI

Həsənli R.K.

Azərbaycan Texniki Universiteti
AZ1073, Bakı şəh., Hüseyn Cavid pros., 25
E-mail: ramiz.hesenli@aztu.edu.az

Xülasə. *Gəmiqayırmada istifadə olunan kürəvi qrafitli çuqundan (KQÇ-dən) hazırlanmış mürəkkəb konstruksiyalı hissələrə yüksək tələblər qoyulur. Bu hissələrin materialı yüksək möhkəmlik, bərklik, yaxşı mexaniki emal olunma qabiliyyəti, aşağı sürtünmə əmsalı, yeyilməyə və korroziyaya dözümlülük, aqressiv mühitlərdə işləmə qabiliyyəti kimi kompleks xassələrə malik olmalıdır. Mövcud metallurji emal üsulları ilə çuqunun sadalanan xassələr kompleksinə nail olunması mümkünsüz sayılır. Ona görə də, KQÇ-nin saflaşdırılması prosesində injeksion metallurgiyanın imkanlarından istifadə olunması gündəmdə olan aktual məsələdir.*

Аннотация. *К сложным конструктивным деталям из чугуна с шаровидным графитом (ЧШГ), применяемым в судостроении, предъявляются высокие требования. Материал этих деталей должен обладать комплексными свойствами, такими как высокая прочность, твердость, хорошая обрабатываемость, низкий коэффициент трения, стойкость к коррозии, способность работать в агрессивных средах. Достижение комплекса перечисленных свойств чугуна существующими методами металлургической обработки считается невозможным. Поэтому использование возможностей инжекционной металлургии в процессе рафинирование ЧШГ является актуальным вопросом на повестке дня.*

Abstract. *High demands are placed on complex structural parts made of ductile iron (DIG) used in shipbuilding. The material of these parts should have complex properties such as high strength, hardness, good machinability, low friction coefficient, resistance to corrosion and corrosion, ability to work in aggressive environments. It is considered impossible to achieve the set of listed properties of cast iron with existing metallurgical processing methods. Therefore, using the capabilities of injection metallurgy in the process of purifying ferrous metals is an urgent issue on the agenda.*

Açar sözlər: *gəmiqayırma, kürəvi qrafitli çuqun, injeksion metallurgiya, saflaşdırma, kükürdsüzləşdirmə, fosforsuzlaşdırma*

Ключевые слова: *судостроение, чугун с шаровидным графитом, инжекционная металлургия, рафинирование, десульфуризация, дефосфорация*

Key words: *shipbuilding, ductile iron, injection metallurgy, refining, desulfurization, dephosphorization*

Giriş. Hazırda məlum informasiyalar maye metala müxtəlif ovuntuyabənzər materialların daxil edilmə metodlarının imkanlarının miqyasının qiymətləndirilməsində əhəmiyyətli dəyişikliklərin olmasına dəlalət edir [1]. Müxtəlif ovuntuyabənzər reagentlərin maye metalın dərinliyinə verilmə texnikasının səviyyəsi çuqunun ilkin kükürdsüzləşdirilməsinin və fosforsuzlaşdırılmasının müvəffəqiyyətlə aparılmasını təmin edir. Saflaşdırılmış KQÇ-nin istifadəsi nəinki sobadankənar emal texnologiyasını, ümumilikdə əritmə texnologiyasını, həm də onun texniki-iqtisadi göstəricilərini dəyişməyə imkan verir [2].

Maye çuqunun soda, əhəng, əhəng daşı və digər kalsium təşkiledici materiallarla, habelə magneziumla emalı çoxdan məlumdur. Maye metalla bu materialların kontaktının təşkili metodları

(ovuntu şəklində, maye şəkildə, ərintilər, kimyəvi birləşmələr şəklində və s.), habelə, onların fiziki xassələri müxtəlifdir [3].

Lakin injeksion metallurgiya sahəsində aparılan araşdırmalar çuqun metallurgiyasından yan keçərək, yalnız polad və əlvan metal ərintilər metallurgiyasını əhatə edir [4]. Bu, onunla izah olunur ki, çuqun detalların təyinatı polad detallara nisbətən fərqlidir. Belə ki, çuqunlar əsasən sürtünməyə və yeyilməyə dözümlülüyü ilə səciyyələnir [5]. Bu izahı KQÇ-lərə aid etmək heç də həmişə özünü doğrultmur. Çünki yuxarıda qeyd edildiyi kimi, neft-mədən avadanlığı hissələri olduqca aqressiv mühitdə işlədiyindən, onlara çox sərt tələblər qoyulur. Bu tələblərin ödənilməsu üçün çuqunun əritmə, həm də saflaşdırma proseslərinə innovativ yanaşmalar tələb olunur.

Ovuntular üfürməklə maye çuqunun kükürdsüzləşdirilməsi prosesinin kinetikası. Tərəfimizdən aparılmış tədqiqatlar maye KQÇ-nın üfürülməsi üçün $CaCO_3$ əsasında ovuntunun səmərəli olmasını təsdiqləyir. Belə ki, bu halda sobalarda əhəngdaşının yandırılması zamanı onun parçalanmasına sərf olunan elektrik enerjisinin miqdarı azalır. Bundan başqa, $CaCO_3$ zərrəciklərinin termiki dissosiasiyası metala daxil olan yerdə çox xırda CaO zərrəciklərinin yaranmasına kömək edir, yəni

$$CaCO_3=CaO+CO_2.$$

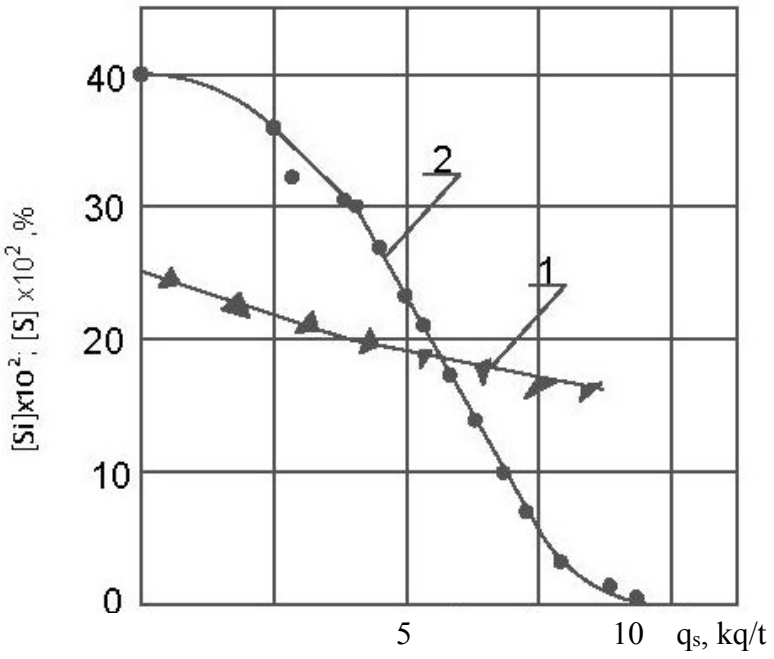
Dissosiasiyanın digər məhsulu CO_2 çuqunun karbonu ilə qarşılıqlı təsirə girir

$$CO_2+C=2CO,$$

bu isə reaksiya zonasında axının turbulentliyini və metalın həcmində sirkulyasiyanı xeyli artırır. Bu halda dissosiasiyada itirilən istilik CO_2 qazı ilə çuqunun silisiumunun oksidləşmə prosesində aparılan istiliklə kompensasiya olunur, yəni

$$[Si]+CO_2=SiO_2+C+Q.$$

Bu halda çuqunda silisiumun bir qədər azalması KQÇ-nin istehsalında müsbət hal sayıla bilər. Şəkil 1-də sulfidsizləşmə və silisiumsuzlaşdırma üçün çuquna üfürülən qarışığın sərfinin təsirini səciyyələndirən məlumatlar verilmişdir [1].



Şəkil 1. *$CaCO_3$ əsasında qarışığın sərfindən (q_s) çuqunda silisiumun (1) və kükürdün (2) miqdarının asılılığı*

Qarışığın tərkibi aşağıdakı kimi olmuşdur, %: 70$CaCO_3$, 22CaO, 5C, 3CaF_2; daşıyıcı qaz - azot; furmanın yüklənmə dərinliyi 1,8 m. Üfürmə 60 tonluq mikser tipli çalovda həyata keçirilirmişdir, üfürmə müddəti 15 dəqiqə olmuşdur.

Çuqunun $CaCO_3$ əsaslı qarışıqla üfürülməsi zamanı kükürdün son miqdarı ~0,0012% (CaO əsasında flüs istifadə olunduqda isə 0,0021%) təşkil edir. Çuqunun 0,035-dən 0,015%-dək kükürdsüzləşdirmə əməliyyatının nisbi qiyməti CaC_2, CaO və $CaCO_3$ əsaslı qarışıqlar üçün uyğun olaraq 3,2:1,5:1,0 nisbətlərdə baş verir.

Lakin çuqunun kükürdsüzləşdirilməsi üçün CaC_2 kifayət qədər geniş (əksər hallarda $CaCO_3$-la qarışıqda) istifadə olunur. Bu halda kükürdsüzləşdirici qarışıqların istifadə səmərəliliyi bir çox amillərdən, o cümlədən qarışğın daxil edilməsi üçün furmanın konstruksiyasından asılıdır.

Məlum olur ki, ⊥ - şəkilli furma istifadə edildikdə, az miqdarda reagent istifadə olunur (təxminən hər bir 0,007% kənarlaşdırılmış kükürdə 0,032 kq/t). Kükürdün başlanğıc miqdarı (emaladək) nə qədər yüksəkdirsə, 0,001% kükürdün kənarsızlaşdırılması üçün lazım olan reagentin sərfi bir o qədər aşağıdır.

Digər səmərəli metod kimi qranullaşdırılmış əsasi posalı magnezium qranullarının qarışığının kükürdsüzləşdirici qismində istifadəsi sayıla bilər. Bu halda daşıyıcı qaz kimi arqon daha əlverişlidir. Üfürülən qazın verilmə sürəti 100-200 m/s təşkil edir. Bu texnologiya ≤ 2mm fraksiyalı ovuntu üfürməyə imkanı verir. İki axının qarışması furmanın kəsiyi yanında baş verir. Bu proses çuqunda <0,005% kükürd almağa imkan verir.

Cədvəl 1-də çuqun emalında alınmış təcrübi məlumatlar verilmişdir. Qarışıq şaquli furma vasitəsilə 80-90 kq/dəq sərflə, 10-20 dəq müddətdə üfürülmüşdür. Daşıyıcı qaz kimi arqon və azot istifadə edilmişdir (azot istifadə edildikdə metalda azotun miqdarı 0,01-dən 0,0125%-dək artır). Ovuntunun üfürülməsi zamanı qarışdırma şəraitinin yaxşılaşdırılması üçün qarışığın tərkibində $CaCO_3$-ın payı tədricən artırılmışdır.

Cədvəl 1

CaC_2-$CaCO_3$ qarışığının üfürülməsinin çuqunun kükürdsüzləşməsinə təsiri

Qarışıqda CaC_2:$CaCO_3$ nisbəti	Əritmələrin sayı	Bütün qarışıqlar, kq	CaC_2, kq	0,020% kükürdlə əritmələrin miqdarı
85:15	70	415	280	85
80:20	240	416	284	70
70:30	280	389	220	40
80:40	26	400	195	10

Lakin $CaCO_3$-ın sərfinin artırılması ilə prosesin getmə şəraitinin yaxşılaşdırılması müşahidə olunmur, bu halda metal və posanın xeyli sıçraması baş verir. Daşıyıcı qazın nisbətən böyük olmayan sərfində (87,5 kq/m^3) ovuntunun sərfi 24-34 kq/dəq (təmiz CaC_2-də) təşkil etmişdir.

İstifadə olunan qarışıqların qiyməti barədə müqayisəli məlumatların alınması üçün CaO-Mg qarışığı yoxlanılmışdır. Müəyyən olunmuşdur ki, komponentlərin 60:40 nisbətində CaC_2-$CaCO_3$ qarışığı ilə emalda qiyməti 100% qəbul etsək, onda komponentlərin nisbətləri 70:30; 80:20; 85:15 və 90:10 olan qarışıqlarla emalda qiymətlər uyğun olaraq 106, 111, 115, 231% təşkil edəcəkdir.

Ən aşağı qiymətə birinci qarışıqla emal malik olur. Lakin kənarlaşdırılmış kükürdün miqdarına görə bu qarışıq (CaC_2: $CaCO_3$=60:40) ən az effektlidir. CaO–Mg qarışıqla emal yüksək qiymətə malik olsa da, çuqunun kükürdsüzləşməsinin yüksək dərəcəsini təmin edir (məsələn, 0,07-dən 0,02%S-dək). Ona görə də, CaO–Mg qarışığının istifadəsi iqtisadi cəhətdən məqbuldur. Beləliklə, müxtəlif qarışıqlarla emalı müqayisə etdikdə, həm də onların istifadə səmərəliliyini nəzərə almaq lazımdır.

Çalovda kükürdsüzləşmənin aparılmasında müxtəlif şəraitlərdə alınmış nəticələr əhəmiyyətli fərqlənə bilər. Onlar bir sıra amillərdən asılıdır: çalovun konstruksiyasından (açıq və ya mikser tipli),

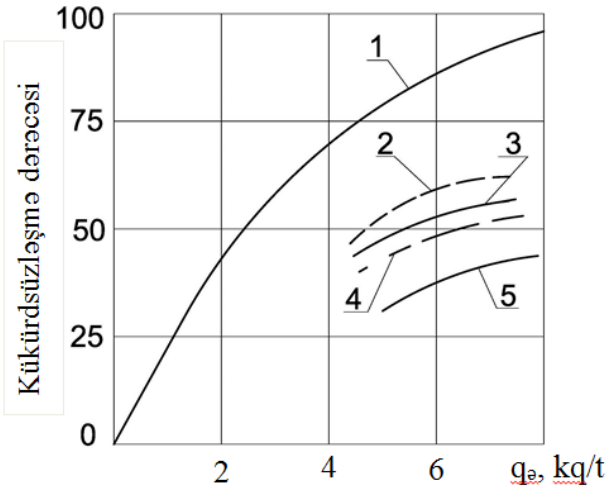
əhəngin miqdarından, çalova düşən soba posasının miqdarından, çuqunun temperaturundan, çuqunda silisiumun miqdarından və s.

Bizim nəticələr göstərir ki, çuqunun 6 tonluq çalovda email zamanı metalın kükürdsüzləşməsinin daha yüksək dərəcəsinə əhəngdən savayı, aliminiumun da daxil edilməsi ilə nail olunur.

Texnologiyanın işlənməsində onu nəzərə alırıq ki, tərkibində əhəmiyyətli miqdarda silisium olan çuquna əhəng daxil edildikdə, kükürdsüzləşmə reaksiyası aşağıdakı kimi təqdim oluna bilər:

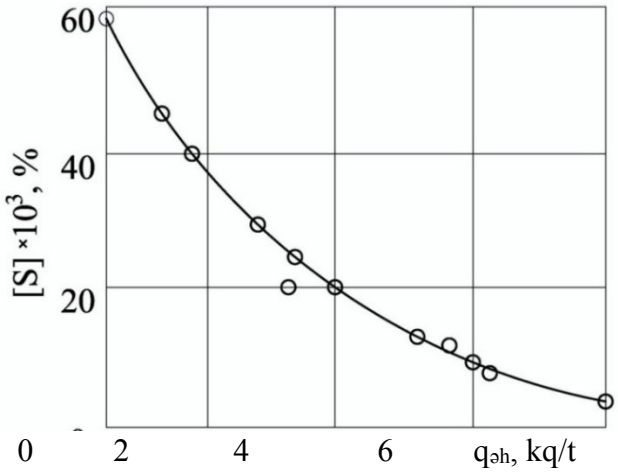
$$2CaO + 2[S] + [Si]=2CaS + SiO_2 . \quad (1)$$

SiO_2 üfürülən əhəng hissəciklərinin ətrafında əhəngin səmərəli istifadəsinə mane olan kalsium-silikat qatı yaranır. Bu silikat qatı qarşısını almaq üçün kalsium-karbid, maqnezium, aliminium və titanın əlavələri yoxlanılmışdır. Ən yaxşı nəticələr maye çuquna alminium daxil edildikdən sonra əhəng üfürüldükdə alınmışdır (şəkil 2).



Şəkil 2. *Çalova qarışqların üfürülməsində maye çuqunun kükürdsüzləşmə dərəcəsinin əhəngin sərifindən asılılığı:* 1 – CaO+Al; 2 – CaO+Ti; 3 – CaO+Mg; 4 – CaO+CaC_2; 5 – *Ca daxil edilmişdir*

Şəkil 3-də əhəng ovuntusunun üfürülmə prosesində metalda kükürdün konsentrasiyasının dəyişməsi göstərilmişdir. Bu zaman metala ilkin olaraq zəruri miqdarda aliminium daxil edilmişdir.



Şəkil 3. *Çuquna alüminium əlavə edildikdən sonra kükürdün miqdarının daxil edilən əhəngin miqdarından ($q_{əh}$) asılılığı*

Əgər atmosferin təsiri altında təkrar oksidləşmənin qarşısını almaq məqsədilə çalovu qapaqla örtsək, bu şəraitdə kükürdsüzləşmə prosesi aşağıdakı reaksiya üzrə gedir:

$$3CaO + 3[S] + 2[Al] = 3CaS + Al_2O_3. \quad (2)$$

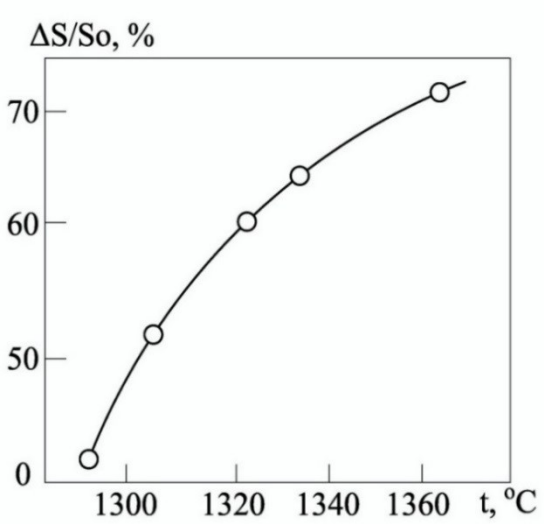
Bu halda əhəngin keyfiyyəti və maye çuqunla birlikdə çalovda qalan posanın miqdarı (posada SiO_2-nin miqdarı çox ola bilər) böyük əhəmiyyət kəsb edir.

Apardığımız təcrübələr göstərir ki, posanın tərkibində təxminən 40% CaO, 15% Al_2O_3 və 45% SiO_2 olduqda, çuqunda kükürdün miqdarını 0,05-dən 0,01%-dək azaltmaq üçün aşağıdakı miqdarda əhəng vermək lazım gəlir:

çalovda posanın miqdarı (emalın başlanğıcınadək), kq/t – - 2,6 10;
əhəng üfürülərkən daxil edilən miqdar, kq/t – 5,5 7,5 8,0

Çalovda "qalıq" posanın miqdarı >10kq/t olduqda çuqunda <0,01% kükürd almaq çətindir. Aşağı keyfiyyətli əhəng istifadə etdikdə kükürdsüzləşmə dərəcəsi az qala iki dəfə aşağı düşür (çalovda posanın miqdarı ~4kq/t təşkil etmişdir).

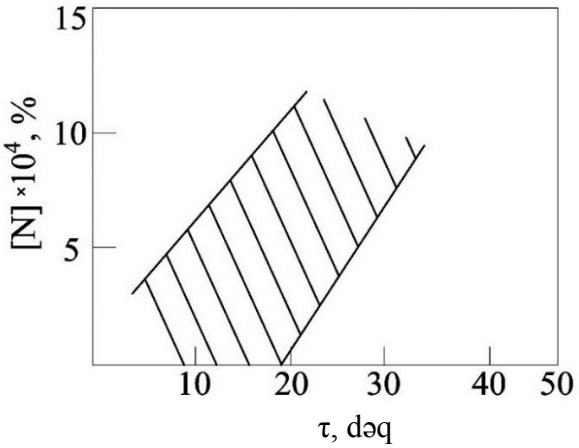
Kükürdsüzləşmənin səmərəliliyi üçün çuqunun temperaturu da böyük əhəmiyyət kəsb edir (şəkil 4). Zavod şəraitində əhəngin üfürülməsinədək alminiumun mənimsənilməsi təxminən 80%-ə bərabər olmuşdur. Bu halda çox təmiz (~0,3% SiO_2, ~0,02% S) əhəng istifadə edilmişdir. Əhəng tikələrinin ölçüləri orta hesabla ~0,3 mm təşkil etmişdir.



Şəkil 4. *Temperaturdan asılı olaraq çuqunun kükürdsüzləşmə dərəcəsinin dəyişməsi: kükürdün başlanğıc miqdarı 0,06%, üfürülən əhəngin miqdarı 5kq/t*

Üfürmə zamanı maye metalın sıçrantılarını azaltmaq üçün üfürücü furmanı maye metala 30° bucaq altında daxil edirik. Əhəng üfürülərkən azotun sərfi ~7,2 m^3/dəq təşkil etmişdir. Bu halda çuqunda azotun miqdarının azacıq artması müşahidə olunur (şəkil 5).

Çuquntökmə prosesinin əsas xüsusiyyətlərindən biri çalovda çuqunun emal müddətinin 40 dəqiqədən çox olmamasını tələb etməsidir. Bu tələbi təmin etmək üçün injeksiya qurğusu daşıyıcı qaz-azot olduqda iki pnevmoüfürücü ilə təchiz olu- nur. Çuqunun injeksion emalı qutardıqdan sonra metaldan nümunə götürülür və laboratoriyaya göndərilir. Analizin nəticələri alındıqdan sonra çalov çuquntökmə sahəsinə nəql edilir. Çuqunun emalı üçün başlanğıcda əhəng və maqneziumun 10:1-ə nisbətində qarışıq istifadə edilmişdir. Belə qarışıq nisbətən kiçik məsrəflərlə kükürdsüzləşmənin kafi səviyyəsini təmin edir (kükürdün miqdarı 0,008%-dək aşağı düşür).



Şəkil 5. *Çuqunda azotun miqdarının əhəng ovuntusunun üfürülmə müddətindən asılılığı*

Lakin emal prosesində metalın əhəmiyyətli qüsuru – posanın çalova yapışması müşahidə olunmuşdur. Bunun qarşısını almaq üçün qarışıqda əhəngin payı və əhəngin maqneziuma nisbətini 10:1-dən 3,5:1-dək azaldılmışdır. Nəticədə əhəng – maqnezium qarışığı ilə üfürmə əvəzinə yeni tərkib – duz qatı ilə örtülmüş maqnezium qranulları ilə üfürmə texnologiyası təklif olunmuşdur.

Yeni texnologiya tərkibində daha az miqdar kükürd olan yüksək keyfiyyətli KQÇ-nin alınmasını təmin edir. Bu tədbir, həmçinin çuqunun tərkibində silisiumun da miqdarını azaltmağa imkan verir. Kükürdsüzləşdirici tərkibibin sərfi isə çuqunda kükürdün ilkin miqdarı ilə müəyyən olunur. Yeni texnologiyanın tətbiqi tərkibində <0,01% kükürd olan yüksək keyfiyyətli çuqunun istehsalını genişləndirməyə imkan verir. Hesab olunur ki, maqnezium qranulları daxil edildikdə çuqunun kükürdsüzləşmə prosesi aşağıdakı reaksiya üzrə gedir:

$$[Mg] + [S] = (MgS).$$

Duzlu örtüklərin rolu isə maye çuqunu saxlama, nəqletmə və metala maqnezium verilərkən piroeffekt səbəbindən təhlükəsizliyin təmin olunmasından ibarətdir. Qranullarda maqneziumun miqdarı 90±2% təşkil edir.

Qranulların ölçüləri 0,3-3,3 mm arasında dəyişir. Belə ovuntu yüksək reaksiya qabiliyyətini təmin edir, hikroskopik deyil, nəqledici pnevmosistemin tələblərinə uyğundur. Duz qatı ilə örtülmüş maqneziumun qranullarının üfürülməsi zamanı reaksiyanın çox sürətlə getməsi səbəbindən sıçrantıların yaranması mümkündür. Sıçrantıları ləğv etmək üçün furmanı $15\text{-}25^0$ şaquli bucaq altında yükləməklə üfürmə texnologiyası işlənmişdir. Bu tədbir çalovu 95%-dək doldurmaq və 15 kq/dəq-dək sərflə üfürməni aparmağa imkan verir.

Yeni texnologiya ilə çuqunun emalına çəkilən xərclər təxminən əhəng və maqnezium ovuntusunun 3,5:1 nisbətində üfürülməsinə analoji olmuşdur. Yeni texnologiyanın mənimsənilməsi zamanı posa-metal sərhəddində intensiv qarışma getdiyindən çalovun qapağının dayanıqlığının azalması müşahidə olunmuşdur. Bu problem çalovun qapağının hörgüsü üçün tərkibində 85% Al_2O_3 olan odadavamlı qarışığın vasitəsi ilə həll edilmişdir. Çalovun hörgüsü üçün tərkibində 70% Al_2O_3 olan kərpic istifadə edilmişdir.

Beləliklə, kürəvi qrafitli çuqunun kükürdsüzləşdirilməsində rasional texnologiyanın seçilməsi üçün metala maqnezium, kalsium-karbid, əhəng və əhəngdaşı qarışığının verilməsinin texnoloji parametrlərini, habelə istehsalatın konkret şəraitini (çalovların tipi, çuqunda silisiumun miqdarı, maye metalın temperaturu, əhəngin keyfiyyəti, injeksion emaldan əvvəl posanın kənarsızlaşdırılması, üfürmə prosesində yaranan posanın tam çəkilməsi və s.) nəzərə almaq lazımdır. Bununla yanaşı, apardığımız çoxsaylı təcrübələrdən görünür ki, hazırda sadalanan emal variantlarından hansının optimal olması barədə ümumi qəbul olunmuş nöqteyi-nəzər yoxdur.

Axtarışlarımız çərçivəsində tərkibində ovuntuyabənzər maqnezium və NTM olan məftilin çuqunun injeksion emalı üçün daxil edilmə üsulu tədqiq olunmuşdur. NTM məftil polad və ya mis qabıqdan ibarət olur, bu qabıq daxil edilən qarışığı sıx şəkildə əhatə edir. Bu metod tökmə sexlərində, adətən çuqunun modifisirləşdirilməsi üçün istifadə olunur. Halbuki bu üsul maye boz çuqunun kükürdsüzləşdirilməsi üçün də istifadə oluna bilər.

Bizim tədqiqatlar göstərir ki, tərkibində maqnezium olan məftillə çu-qunun emalında kükürdün konsentrasiyası maqneziumun 0,03% qalıq miqdarında 0,015-dən 0,007%-dək, Mg-un 0,018 qalıq miqdarında 0,018-dən 0,012%-dək azalır. Çuqunun emalı üçün məftil çalova, ya da bilavasitə çalovun novçasından axan şırnağa verilə bilər.

Tərəfimizdən çuqunun emalı üçün diametri 5,0 mm (tərkibində 8-9 q/m maqnezium olan 71-78 q/m kütləli) məftildən istifadə olunmuşdur. Bəzi hallarda məftildə həm də mişmetal (1,8 və 2,3 q/m) olur. Bu üsul icrasının sadəliyi, ətraf mühitə tullantıların azlığı, materialların kiçik sərfi ilə yaxşı nəticələrin alınmasına imkan verir. Əməli şəraitlərdə bu və ya digər emal metodunun seçilməsi stabil və etibarlı nəticələrin alınmasını təmin etməlidir. Bu baxımdan müəyyən üstünlüklərə maqnezium qranullarının daxil edilmə təcrübəsi malikdir.

Beləliklə, yüksək keyfiyyətli KQÇ almaq üçün təklif etdiyimiz kükürdsüzləşdirmə üsullarından heç birinə universal üsul kimi baxmaq olmaz. Adətən, metalın böyük kütləsinin üfürülməsi müxtəlif reagentlərlə – arqon və ya azot daşıyıcıdan istifadə etməklə aparılır.

Reagentlərin qidalandırıcı bunkerlərdən odadavamlı hörgü ilə üzlənmiş xüsusi üfürücü furmalara nəqli üçün müxtəlif konstruksiyalı pnevmatik qurğular işlənmiş və hazırda istifadə olunur, onlar stabil nəticələr almağa imkan verir. Hər bir konstruksiya xüsusi üstünlüklərə və çatışmazlıqlara malikdir.

Müəyyən olunmuşdur ki, kükürdün 0,01%-dən az zəmanətli miqdarı ilə yüksək keyfiyyətli boz çuqunu, xüsusilə şixtə qismində metal qırıntıları istifadə etdikdə, ancaq induksiya sobalarında əritməklə əldə etmək olar. Çuqunun injeksion kükürdsüzləşməsini dupleks proses - vaqranka və elektrik sobalarında əritmək, sonra isə çalovlarda aparmaq da əlverişli ola bilər. Bu halda vaqrankaların məhsuldarlığı artır, çuqunun maya dəyəri, yanacaq və əhəngin sərfi azalır.

Təcrübə göstərir ki, çuqunəritmə sexlərində, bilavasitə çalovda üfürməklə yükləyici kranların təsir zonasını artırmaq, daha uzun və bahalı furmalar və çalovlar əvəzinə, daha güclü injeksiya sistemini istifadə etmək olar. Çuqunu vaqrankadan buraxdıqda üfürmə zamanı reagentlərin sərfini azaltmaq üçün çalova posanın düşməsinin qarşısını almaq lazımdır. Adətən, üfürmə zamanı təsirsiz qaz və reagentlərlə mayenin soyuması ucbatından çuqunun temperaturu 5^0C-dən aşağı düşmür.

Kükürdsüzləşdirici reagent kimi daha çox əhəng daşı və maqnezium əsaslı materiallar istifadə olunur. Üfürmənin aşağıdakı iki üsulundan birini təklif etmək olar:

1) müəyyən nisbətlərlə reagentlərin ilkin qarışdırılması və qarışığın bir bunkerdən götürülməsi;

2) ilkin qarışdırma aparmadan hər bir reagentin ayrıca bunkerdən götürülməsi.

Maqnezium əsasında materialları ya maqnezium qranullarının duzla örtülmüş, ya da duz örtüklü qranullaşdırılmış maqneziumun və CaO-nin qarışığı vəziyyətində istifadə etmək daha səmərəlidir.

Beləliklə, maqnezium əsasında reagentləri üfürmədən əvvəl metalda kükürdün ilkin aşağı, kalsium əsasında reagentləri isə yüksək konsentrasiyalarında istifadə etmək məqsədəuyğundur. Çuqunun çalovda eyni vaxtda üfürülməsi üçün injeksiya qurğusu bir və ya bir neçə furmalarla ilə təchiz oluna bilər. Temperaturun ölçülməsi üçün injeksion qurğular mexanikləşdirilmiş termocütlər, ya da üfürmə müddətində kimyəvi tərkibə nəzarət üçün xüsusi tərtibatla təchiz oluna bilər.

Əgər bir tərkib və ya ilkin hazırlanmış qarışıq istifadə olunarsa, onda reagentlər üçün bir bunker istifadə etmək kifayətdir. Çoxkomponentli qarışıqlar üçün iki bunker tələb olunur. İnjeksion qurğusunda üfürmədən sonra maye çuqunla doldurulmuş çalovu tökmə sexinə verirlər, burada isə tökülmədən əvvəl posanın diqqətlə təmizlənməsi həyata keçirilir.

Bu əməliyyatı çalovu posa xəndəyi üzərində xüsusi qurğunun köməyilə aparırlar. Sözügedən injeksion qurğular böyük olmayan məsrəflərlə minimal miqdarda kükürdə malik yüksəkkeyfiyyətli KQÇ almağa imkan verir.

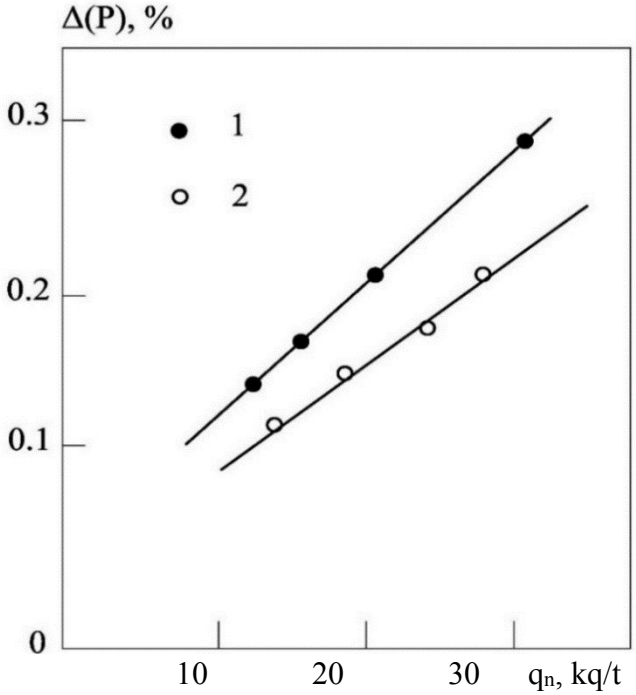
Ovuntular üfürməklə maye çuqunun fosforsuzlaşdırılması prosesinin kinetikası. Çoxsaylı tədqiqatçılar tərəfindən maye çuqundan fosforun kənarlaşdırılması üçün müxtəlif reagentlərin (daha çox CaO və Na_2CO_3) istifadə imkanları öyrənilmişdir. Laboratoriya və istehsalat şəraitində tərəfimizdən aparılmış tədqiqatlar göstərir ki, injeksion emalda tamamilə müsbət nəticələr reagentlər kimi Na_2CO_3 , həm də CaO istifadə etdikdə almaq mümkündür.

Qeyd edə bilərik ki, bütün emal dövründə kükürdsüzləşmə sürəti sabitinin yüksək qiymətlərinin saxlanılması üçün, özü də Na_2CO_3-lə üfürdükdə $(CO_3)^{2-}$ ionlarının, CaO-nu istifadə etdikdə isə $(Fe)^{2+}$ ionlarının kütləköçürməsi limitləşdirici reaksiyanın mərhələsidir.

Beləliklə, reaksiyanın sürətini hər iki halda posa (üfürülən flüsün hissəciyi) – metal fazalararası ayırma səthində oksigenin çatdırılmasını təmin edən komponentlər limitləşdirir. Fosforun konsentrasiyasının azalması ilə getdikcə elə an yaranır ki, reaksiya metalda fosforun kütləköçürməsilə limitləşdirilir. Laboratoriya şəraitində (metala oksigen axınında oksigen-CaO ovuntusu üfürülür) çuquna daxil edilmiş CaO maye halda emal temperaturlarında olan $CaOFe(Mn)OP_2O_5$ tipli birləşmə və ya $2CaO.SiO_2$ –$3CaO.P_2O_5$ tipli ərintidən ibarət olur. Bu şəraitdə həmçinin $7CaO.2SiO_2.P_2O_5$ və $5CaO.SiO_2.P_2O_5$ tipli fazaların yaranması da mümkündür.

Sonuncu birləşmələr çuqunun emal temperaturlarında bərk vəziyyətdə olur. Maye ərintidə karbonun müəyyən miqdarında sadalanan birləşmələr əsasən oksigen verilən furmanın təsir zonasında formalaşır. Bu zonadan aralandıqca, karbonun oksidləşmə reaksiyası üstünlük təşkil edir. Müəyyən edilmişdir ki, termodinamiki qiymətləndirməyə uyğun olaraq, CaO hesabına oksigen furmaları ətrafında, ifrat oksidləşmə zonasında fosforun miqdarı 0,001%-dək azaldıla bilər. Fərz etmək olar ki, oksigen axınında CaO ovuntusunun hissəciklərindən kalsium-ferrit xırdadispers hissəcikləri formalaşır. Onlar maye çuqun boyunca qalxaraq, onu fosforsuzlaşdırır.

Müəyyən edilmişdir ki, $3CaO.P_2O_5$ birləşməsinin yaranması əməli olaraq yalnız silisiumun çox kiçik miqdarında mümkündür. Şəkil 6-da çuqunun çalovda Na_2CO_3 ovuntusu, habelə azot şırnağında əhəngin, çöl şpatının və dəmir filizinin qarışığı ilə emalı zamanı alınmış nəticələr verilmişdir.



Şəkil 6. *Müxtəlif reagentlərin istifadəsilə çuqunun fosforsuzlaşdırılması (<0,05% Si, çuqunun temperaturu 1200÷1400 ^{0}C): 1 – soda Na_2CO_3; 2 – 50%$(CaO + CaF_2)$ + 50%Fe_2O_3 qarışığı*

Bu nəticələr soda ilə emalın üstünlüklərini göstərir. Kükürdsüzləşdirmə məqsədilə çuqunun soda ilə emalı çoxdan məlumdur. Fosforsuzlaşdırma məqsədilə çuqunun soda ilə injeksion emal üsülları da daha geniş tətbiq oluna bilər.

Tərəfimizdən aşağıdakı əməliyyatları özündə əks etdirən texnologiya işlənmişdir:

1) manqan və ya dəmir filizi ilə emal etməklə elektrik sobasından buraxılma mərhəsində çuqunun silisiumsuzlaşdırılması;

2) üyüdülmiş posa ovuntusu ilə mikser tipli çalovda üfürməklə çuqunun silisiumsuzlaşdırılması;

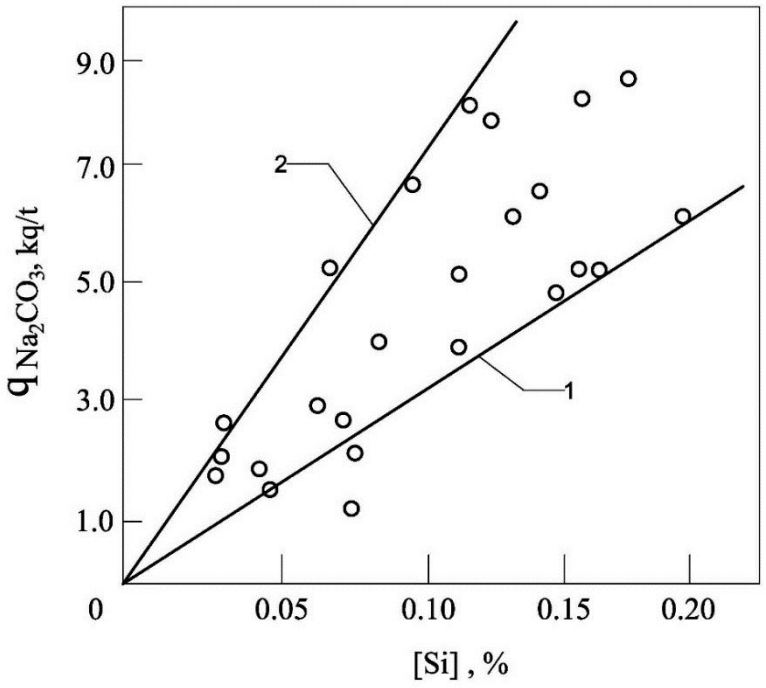
3) vakuum qurğusunun köməyilə (VSC metodu) yaranan posanın kənarlaşdırılması;

4) soda ovuntusunun üfürülməsilə mikser tipli çalovda çuqunun fosforsuzlaşdırılması;

5) yaranan posanın VSC metodu ilə çəkilməsi və onun bərpa qurğusuna nəql etdirilməsi (natriumun utilləşdirilməsi);

6) fosforsuzlaşdırılmış çuqunun induksiya sobasına verilməsi.

İlkin təqiqatlar göstərir ki, silisiumun oksidləşməsi üstünlük təşkil etdiyindən, tərkibində silisium olan çuqunun soda ilə üfürülməsində fosforun miqdarı az olur. Deməli, soda kükürdsüzləşdirici, həm də silisiumlaşdırıcı qismində çıxış edə bilər (şəkil 7).



Şəkil 7. *Silisiumun oksidləşmə reaksiyasının getməsi üçün lazım olan sodanın miqdarından fosforsuzlaşdırma emalının başlanğıcınadək çuqunda silisiumun miqdarının asılılığı: 1,2 -yə uyğun olaraq (1) və (2) tənliklərinə görə*

Müəyyən olunmuşdur ki, sodanın çuquna verilən birinci payları, hər şeydən əvvəl silisiumun oksidləşməsinə sərf olunur. Silisiumun kənarlaşdırılması üçün sodanın sərfi kifayət qədər böyük ola bilər.

Fərz edirik ki, sodanın sərfindən asılı olaraq, silisiumsuzlaşdırma reaksiyaları aşağıdakı şəkildə yazıla bilər:

$$[Si]+Na_2CO_3=Na_2O.SiO_2+C; \quad (3)$$

$$[Si]+2Na_2CO_3=2Na_2O.SiO_2+2CO. \quad (4)$$

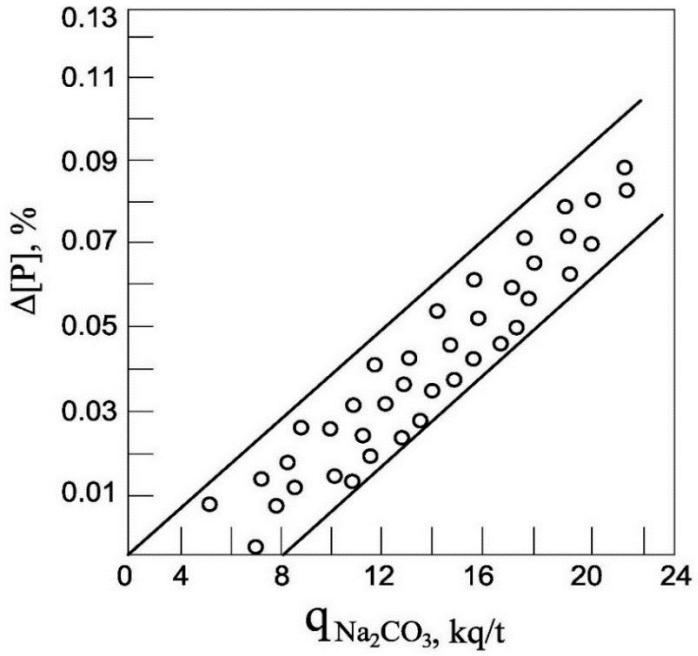
İlkin silisiumsuzlaşdırılmış çuqunun injeksion emalı zamanı kənarlaşdırılmış fosforun miqdarı Δ[P] sodanın sərfi artdıqca artır (şəkil 8). Eyni zamanda fosforun miqdarı azaldıqca kükürdün miqdarı da azalır, manqan və vanadiumun miqdarı isə cüzi dəyişir. Metal və posa arasında fosforun paylanma əmsalı $(P_2O_5)/[P]$ əhəmiyyətli dərəcədə $(Na_2O)/(SiO_2)$ nisbətindən asılıdır. Həm də $(Na_2O)/(SiO_2)>3$ qiymətində fosforun paylanma əmsalı $(P_2O_5)/[P]$ >1000-dək yüksəlir.

Fosforsuzlaşdırma reaksiyası istiliyin ayrılması ilə gedir. Fosforun $(P_2O_5)/[P]$ paylanma əmsalının yüksək qiymətlərini almaq üçün çuqunun emalı prosesində temperaturun 1250°C-dən yuxarı olması arzu olunmur.

Soda ilə emalda çuqunda olan fosforun kənarlaşma reaksiyası aşağıdakı şəkildə yazıla bilər:

$$\Delta[P]+5Na_2CO_3=5Na_2O.P_2O_5+5C. \quad (5)$$

Bu reaksiyanın getməsi nəticəsində karbonun müəyyən miqdarı posa nümunələrində tapıla bilər. Ölçmələr göstərmişdir ki, kənarlaşdırılmış fosforun miqdarından asılı olmayaraq, karbonun ümumi miqdarı 2,2÷2,5% həddində dəyişir. Oksigen üfür-mədən əritmədə posada karbonun miqdarı >0,5% təşkil edir.



Şəkil 8. *Maye ərintiyə üfürülən sodanın sərfindən (q_{Na2CO3}) çuqunda fosforun ΔP miqdarının asılılığı*

Posada karbonun miqdarına FeO-nun miqdarı əhəmiyyətli dərəcədə təsir edir. Oksigen verilmədən əritmələrdə FeO-nun posada miqdarı 0,5%-i aşmır, oksigen daxil etdikdə isə onun miqdarı 0,5-0,75%-dək artır. Çuqunun soda ilə üfürülməsində fosforsuzlaşma reaksiyası ilə eyni zamanda karbonun müəyyən miqdarı da oksidləşir.

Oksidləşmə qazşəkilli oksigenin və ya mühitin oksigeninin təsiri altında, habelə soda ilə qarşılıqlı təsir nəticəsində aşağıdakı reaksiyalarla gedə bilər:

$$(Na_2O) + [C] = 2Na_{(q)} + CO; \quad (6)$$

$$(Na_2CO_3) +3[C] = 2Na_{(q)} + 3CO. \quad (7)$$

Tərəfimizdən çuqunun soda ilə üfürülməsi prosesində buxarlanma və bu prosesi müşayət edən tozəmələgəlmə tədqiq olunmuşdur. Müəyyən olunmuşdur ki, çuqunun fosforsuzlaşma prosesində ayrılan tozun hissəcikləri aşağıdakı xüsusiyyətlərə malikdir:

Hissəciklərin ölçüləri, mkm:

sodanın	<74	74-149	>149
tozun	<6	6-20	20-50

Miqdarı, %:

sodanın	20-30	30-60	20-35
tozun	35	36	35

Sodanın tərkibi aşağıdakı kimidir, %: Na_2CO_3 – 95-99; C – 1,0-1,1; P_2O_5 –0,2-0,3; S –0,1-0,3.

Tozun tərkibi, %: Na_2CO_3 –82-89; C –5,3-9,2; P_2O_5 – 0,25-0,40; S – 0,36-0,43; ∑Fe –4,0-11,6; FeO – 0,26-0,33.

Buxarlanan natrium karbon-oksidi və qaz fazasının oksigenilə aşağıdakı reaksiya üzrə qarşılıqlı təsirdə olur:

$$2Na + CO_2 + 1/2\ O_2 = Na_2\,CO_3, \qquad \Delta G^o = -208690+95{,}08T \tag{8}$$

Bu reaksiyanın getməsi nəticəsində ayrılan qazların temperaturu yüksəlir. Apardığımız hesablamalar göstərir ki, kənarlaşdırılan aşqarların əsas kütləsi posada olur. Qaz fazasına 5%-dən çox olmayan fosfor və kükürd keçir. KQC-nin təmizliyinə tələblərin artırılmasında ilkin çuqunun tərkibi daha böyük əhəmiyyət kəsb edir.

KQÇ-nin tələb olunan fosforsuzlaşdırılma dərəcəsinin təmin edilməsi çuqunun saflaşdırılması sahəsində naliyyətləri nəzərə almaqla, yeni texnologiyaların işlənməsini tələb edir. Bu texnologiyaların vacib tərkib hissəsi maye çuqunun ovuntuyabənzər materiallarla üfürməklə emal edilməsidir.

Tərəfimizdən boz çuqunun injeksion emalının yeni texnologiyası təklif olunur. Bu texnologiya metalın saflaşdırma prosesini 2 mərhələyə bölür:

1. Silisiumsuzlaşdırma - sobadan maye çuqunu buraxma prosesində onun oksidləşdirici qarışıqla emalını nəzərdə tutur. Belə emal nəticəsində silisium əməli olaraq tam oksidləşir və posaya keçir.

2. Mikser tipli çalovda fosforsuzlaşdırma - maye çuqunu CaO, CaF_2 və $CaCl_2$-dən ibarət ovuntuların qarışığı ilə üfürməni nəzərdə tutur. Belə injeksion texnologiyanın əsas parametrləri aşağıdakılar ola bilər:

– çalovun tutumu;
– ovuntunu üfürmək üçün furmanın odadavamlı qabığa malik olması;
– daşıyıcı qazın azot olması, onun sərfi 3-5 m^3/dəq-dir;
– ovuntu hissəciklərinin ölçüsü, ~1 mm;
– ovuntunun verilmə intensivliyi, ~600kq/saat;
– emalın müddəti 25 dəqiqə.

Sözügedən emalda yaranan posanı çəkmək, silisiumsuzlaşdırma prosesində yaranan posa ilə qarışdırmaq və qranullaşdırmaq lazımdır. Silisiumsuzlaşdırılmış və tərkibində fosforu azalmış çuqunun induksiya sobasında əridilməsini davam etdirmək lazımdır.

Beləliklə, yüksəkkeyfiyyətli KQÇ almaq üçün əritməni dupleks və ya induksiya sobasında, injeksion və sobadankənar emalı isə mikser tipli çalovlarda aparmaq tövsiyə olunur. Mikser tipli çalovların konstruksiyası emal prosesində istiliyin minimal itirilməsini təmin edir.

Açıq tipli çalovlarda ərintiyə soda ovuntusu üfürdükdə, metalın səthində yaranan barbotaj istiliyin itirilməsini əhəmiyyətli dərəcədə artırır. Adi çaynikvari çalovlarda metala soda ovuntusunun üfürülməsi zamanı temperaturun daha çox azalması müşayət edilir. Bu məsələləri aydınlaşdırmaq üçün üç variantda təcrübələr aparılmışdır: 1. “Sürətli metod”- bu halda sodanı üfürmür, çuqunun

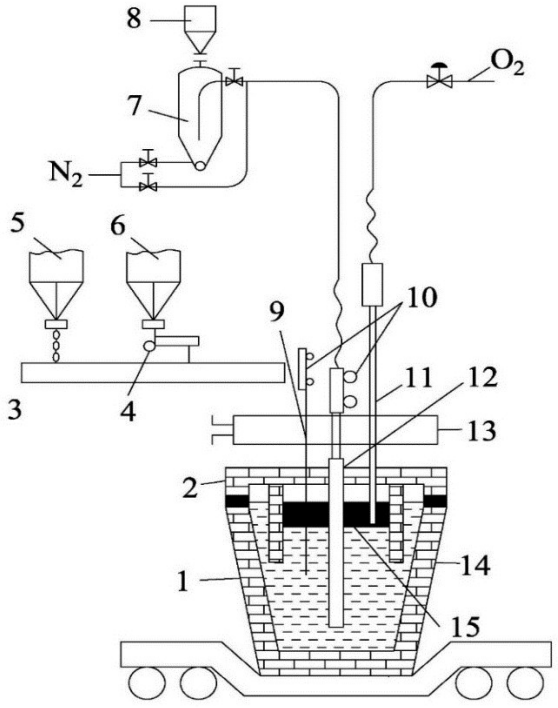
səthinə yuxarıdan tökürük. 2. Sodanı metalın dərinliyinə üfürürük. 3. Sodanı xüsusi qapalı çalova daxil edirik.

Sobadankənar emal qurğusunun sxemi şəkil 9-da verilmişdir. Bütün ərintilər iki qrupa bölünmüşdür: A – >0,67 kq/(t.dəq) intensivliklə sodanın verilməsi; B – < 0.67kq/(t.dəq) intensivliklə sodanın verilməsi.

Şəkil 9-dan görünür ki, sodanın müxtəlif verilmə üsullarında əritmələr seriyası arasında fərq o qədər də hiss olunmur. Lakin onlar üfürmə metodunun xeyrinə dəlalət edir.

Qeyd edə bilərik ki, "sürətli metod" emal müddətini 15-20 dəqiqə azaltmağa imkan verir. Bu halda odadavamlı materialların xidmət şəraiti yaxşılaşır, sərfi isə azalır. Daha yaxşı nəticələr aktiv posa ilə təmasda olan çalovun üzlüyünü qoruyan xüsusi konstruksiyalı qapaq istifadə etdikdə alınır. Qapağın istifadə edilməsi, fosforsuzlaşdırma və kükürdsüzləşmənin eyni dərəcələrinə nail olduqda, istiliyin verilməsini azaltmağa imkan verir. Sodanın daxiledilmə intensivliyini həll edərək, üstünlüyü birinci varianta veririk. Bu, əsasən, emal müddətinin azalması hesabına baş verir. Ovuntunun daha intensiv verilməsində, həm də, kükürdün daha aşağı konsentrasiyalarının alınması təmin olunur (ovuntunun intensiv verilməsində 0,02-0,009%- in əksinə 0,004%).

Çuqunda silisiumun ilkin azaldılma əməliyyatı sonradan aşağıdakı məsələləri həll etməyə imkan verir: 1) fosforsuzlaşdırma və kükürdsüzləşdirmə üçün daxil edilən reagentləri səmərəli istifadə etmək; 2) induksiya sobasında əritmənin aparılmasını posanın minimal miqdarında təşkil etmək.



Şəkil 9. Çuqunun soda ilə injeksion emalı üçün qurğunun sxemi:
1 - çuqun çalovu; 2 - qapaq; 3 - konveyer; 4 - qidanlandırcı; 5 - soda üçün bunker; 6 - dəmir oksidi (pas) üçün bunker; 7 - pnevmoüfürücü; 8 - yükləyici bunker; 9 - temperaturu ölçmək üçün qurğu; 10 - furmaları qaldırmaq üçün qurğu; 11 - oksigeni daxil etmək üçün furma; 12 - ovuntunu üfürmək üçün furma; 13 - toztutucu zont; 14 - metal; 15 – posa

Aparılmış müşahidələr və təqdiqatlar nəticəsində KQÇ-nin k nmeyfiyyətinin yüksəldilməsində injeksion metallurgiyanın rolu müəyyən edilimişdir. Maye çuqunun müxtəlif tərkibli və ölçülü ovuntularla üfürülmə texnologiyaları müqayisəli şəkildə qiymətləndirilmişdir. Sənaye şəraitində

maye çuqunun ovuntularla injeksion emalının çalovda aparılması daha məqsədəuyğun hesab olunmuşdur.

KQÇ-nin sobadankənar emalında alüminium əsaslı ovuntuların istifadə olunması injeksion metallurgiyanın imkanlarını artırır və maye çuqunun daha dərin saflaşdırılmasına şərait yaradır. Bu məqsədlə üfürülən ovuntu qarışıqlarının tərkibinin seçilməsi, üfiqi yerləşdirilmiş furmaların tətbiqi, çalovun üzlüyü və posanını tərkibi, əlverişli legirləmə əməliyyatının çalovda ferroərinti ovuntuları ilə aparılması yüksəkkeyfiyyətli çuqun istehsalında injeksion metallurgiyanın konseptual istiqamətləri hesab oluna bilər.

KQÇ-nin keyfiyyətinin daha da artırılması üçün maye metalın müxtəlif ovuntularla üfürülmə prosesi tədqiq olunmuşdur. Bu məqsədlə soda, əhəng, əhəng daşı, maqnezium və digər kalsium tərkibli birləşmələrin ovuntularının maye çuqunun kükürdsüzləşmə prosesinə təsiri öyrənilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, maye çuqunun tərkibində kükürdün 0,035-dən 0,015%-dək azaldılması CaC_2, CaC və $CaCO_3$ əsaslı qarışıqların, uyğun olaraq, 3,2:1,5:1,0 nisbətlərində təmin olunur. Bu halda kükürdsüzləşmə səmərəliliyi, həm də, qarışığın maye çuquna daxil edilməsi üçün furmanın konstruktiv tipindən aslıdır: ⊥ - şəkilli furma daha səmərəli hesab olunmuşdur.

Kükürdsüzləşmə səmərəliliyini qiymətləndirmək üçün $CaC_2 – CaCO_3$ ovuntu qarışığı ilə yanaşı CaO – Mg qarışığı da yoxlanılmışdır. Komponentlərin 60:40 nisbətində $CaC_2 – CaCO_3$ qarışığı ilə emalı 100% qəbul etsək, onda CaO – Mg qarışığının 70:30, 80:20, 85:15 və 90:10 nisbətlərində, uyğun olaraq, kükürdsüzləşmə səmərəliliyi 106:111:115:231% olur. CaO – Mg qarışığı bahalı olsa da, çuqunun kükürdsüzləşməsinin yüksək səmərəliliyini təmin edir.

Müəyyən edilmişdir ki, çuqunun yüksək dərəcədə kükürdsüzləşməsinə əhəngdən savayı alüminium ovuntusunun daxil edilməsi də müsbət təsir göstərir. Bu halda açıq çalovda emala nisbətən qapalı çalovda emal daha yüksək nəticələr verir. Üfürmədə əhəngin sərfinin artırılması çuqunun kükürdsüzləşmə dərəcəsini xeyli artırır, lakin posada əhəngin miqdarı çoxalır.

Maye çuqunun temperaturdan asılı olaraq kükürdsüzləşmə dərəcəsi, həmçinin, üfürmə müddətindən asılı olaraq çuqunda azotun miqdarı öyrənilmişdir. Temperatur artdıqca kükürdsüzləşmə dərəcəsi böyüsə də, üfürmə müddəti artdıqca maye metalda azotun miqdarı yüksəlir.

Əhəng-maqnezium qarışığı əvəzinə duz qatı ilə örtülmüş maqnezium ovuntusu ilə üfürmə prosesi işlənmişdir. Bu halda çuqunda çox az miqdarda kükürdün qalması təmin edilmişdir. Çuqunun tərkibində 0,03%-dən az miqdarda kükürdün alınması üçün duzla örtülmüş maqnezium ovuntusunun sərf norması müəyyən olunmuşdur.

Çuqunun sobadankənar emalı üçün maqnezium tərkibli məftil istifadə olunmuşdur. Burada iki yanaşma – məftilin çalova və ya maye metal şırnağına verilməsi müqayisə edilmiş və hər iki yanaşma səmərəli sayılmışdır. Beləliklə, üfürmənin iki əlverişli üsulu təklif olunmuşdur:

– reagentlərin müəyyən nisbətlərdə ilkin qarışdırılması və qarışığın bir bunkerdən götürülməsi;

– öncədən qarışdırmadan hər bir reagentin ayrıca bunkerdən götürülməsi.

Nəticələr. Beləliklə, ovuntu materialları üfürməklə KQÇ-nin fosforsuzlaşma prosesi tədqiq olunmuşdur. Bunun üçün emal dövründə prosesin termodinamiki parametrləri müəyyən edilmişdir. Fosforsuzlaşdırma üçün ovuntu qarışıqları kimi Na_2CO_3, $CaCO_3$, CaF_2 və Fe_2O_3 yoxlanılmış və sodanın daha səmərəli olması təsdiqlənmişdir. Müxtəlif reagentlərdən istifadə etməklə maye çuqunun fosforsuzlaşdırılması kinetikasının qrafiki təsviri qurulmuşdur. Soda ilə çuqunun silisiumsuzlaşdırma reaksiyaları yazılmışdır.

Maye ərintiyə üfürülən sodanın sərfindən çuqunda fosforun miqdarının asılılıq qrafiki qurulmuş, fosfor və soda arasında gedən reaksiyalar yazılmışdır. Fosforsuzlaşdırma prosesinə çuqunda aşqarların mənfi təsiri aşkarlanmış və fosforun paylanma əmsalının çuqunun temperaturundan asılılıq qrafikləri qurulmuşdur. Çuqunun fosforsuzlaşdırılması prosesində ayrılan toz hissəciklərinin xüsusiyyətləri təyin olunmuşdur. Buxarlanan natriumun karbon-oksidi və qaz fazasının oksigenilə qarşılıqlı təsir reaksiyası yazılmışdır.

KQÇ-nin keyfiyyətinin artırılması üçün silisiumun miqdarının rasional hədləri müəyyən olunmuşdur. Bu məqsədlə çuqunun dəmir-oksidlə emalında silisium və karbonun oksidləşmə reaksiyaları yazılmışdır. Karbonun oksidləşmə reaksiyası üçün təzyiqin termodinamiki ifadəsi alınmışdır. Kənarlaşdırılmış silisiumun dəmir-oksidi ovuntusunun sərfindən asılılıq qrafikləri qurulmuşdur. Ovuntularla üfürmə zamanı yaranan posada fosforun paylanma əmsalı və posada natriumun qalıq miqdarının asılılıq qrafikləri qurulmuşdur.

Ədəbiyyat

1. Смирнов Н.А. Рафинирование стали вдуванием порошкообразных материалов / Н.А. Смирнов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2015. - Т.15, №3. – С.33-42
2. Пивцаев В.В., Дьяченко В.И., Проскурин Е.А. Десулфурация стали с использованием инжекционной установки «VELKO» // Литье и металлургия, 2008, №1, (45). С.15-22
3. Богушевский В.С., Каленчук М.В. Оптимизация процесса десулфурации металла в конвертерном цехе с использованием различных реагентов // Литье и металлургия, 2017, №3 (88), с. 5-10
4. Корнеев С.В. Применение инжекционных технологии в металлургическом производстве // Литье и металлургия, 2011, №2 (60), с. 152-159
5. Плохих П.А., Плохих А.П., Рассказова Ю.В. Рафинирование чугуна жидкими содосодержащими шлаками // Вістник Приазовского Державного Техничного Университету, Вып.11, 2011, с.58-65

Məqalə qəbul olunub: 29.10.24
Tövsiyə edib: dos. Xankişiyev İ.A.

UOT 621.762.08.11

GƏMİ GÖVDƏSİNİN 3D ÇAPINDA MATERİAL, ÇAP TEXNOLOGİYASI VƏ ÇAP ÜSULUNUN SEÇİLMƏSİ

Xankişiyev İ.A., Həmzəyev X.Q., Paşazadə S.Q.

"Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası"PHŞ
AZ1000, Bakı şəh., Z. Əliyeva küç., 18
E-mail: pasazade.selim@gmail.com, hamzayev1989@gmail.com

Xülasə. *Gəmiqayırma mühafizəkar sənayedir və hazırda son dərəcə çətin bir dövr yaşayır. Bu vəziyyət, müəssisələrin formalaşmamış layihələrə və texnologiyalara kifayət qədər böyük maliyyə sərmayələri qoymasına mane olur. 3D çap texnologiyalarının və istifadə olunan materialların növlərinin müxtəlifliyinə baxmayaraq, AT 3D modeldən istifadə edərək lay-lay fiziki obyekt təbəqəsinin avtomatik yaradılmasının əsas prinsipinə əsaslanır. Buna görə də, gəmiqayırmada AT-nin istifadəsinə dair problemli məsələləri və maneələri həll etmək üçün, ilk növbədə, gəmiqayırma xüsusiyyətlərini nəzərə alaraq, plastik üzərində çap nümunəsindən istifadə edərək, ən sadə və nisbətən ucuz AT texnologiyalarını hazırlamaq lazımdır. Tədqiqatın məqsədi kiçik gəmi gövdəsi nümunəsini ələ alaraq əlavə üsullardan istifadə etməklə dəniz avadanlıqlarının istehsalında gəmiqayırma sənayesinə texnoloji dəstək verməkdir.*

Abstract. *It is known that, shipbuilding is a conservative industry and is currently going through an extremely challenging period. This situation prevents enterprises from making significant financial investments in untested projects and technologies. Despite the variety of 3D printing technologies and types of materials used, additive manufacturing (AM) relies on the fundamental*

principle of automatic layer-by-layer creation of a physical object using a 3D model. Therefore, to address problematic issues and obstacles to the use of AM in shipbuilding, first of alnecessary to develop the simplest and relatively low-cost AM technologies, using plastic as an example, taking into account the specific characteristics of shipbuilding. The purpose of the research is to provide technological support to the shipbuilding industry in the production of marine equipment by using additive methods, focusing on a small ship hull model.

Аннотация. *Как известно, судостроение - это консервативная отрасль, которая в настоящее время переживает чрезвычайно сложный период. Эта ситуация мешает предприятиям делать значительные финансовые инвестиции в неиспытанные проекты и технологии. Несмотря на разнообразие технологий 3D-печати и типов используемых материалов, аддитивное производство (AM) основывается на основном принципе автоматического создания физического объекта послойно с использованием 3D-модели. Поэтому для решения проблемных вопросов и препятствий использования AM в судостроении необходимо, прежде всего, разрабатывать самые простые и относительно недорогие технологии AM с использованием в качестве примера пластика, учитывая особенности судостроения. Цель исследования — оказать технологическую поддержку судостроительной отрасли в производстве морского оборудования с использованием аддитивных методов, сосредоточив внимание на модели корпуса небольшого судна.*

Açar sözlər: *additiv texnologiya, 3D çap, gəmiqayırma, gəmi, gəmi gövdəsi, gəmiqayırma materialı*

Key words: *additive technology, 3D printing, shipbuilding, ship, ship hull, shipbuilding material*

Ключевые слова: *аддитивные технологии, 3D-печать, судостроение, корабль, корпус судна, судостроительный материал*

Giriş. Həm 3D çapda, həm də gəmiqayırma sənayesində istifadə oluna bilən polimer kompozit materiallara aşağıdakı plastik növlərini aid etmək olar:

- ABS,
- stirol butadine kopolimer (SBS),
- yüksək möhkəmlikli polistirol (HIPS),
- polietilen tereftalat glikol (PETG),
- polikarbonat (PC),
- PLA,
- ağac əsaslı polimer (LAYWOO-D3),
- fotopolimer qatranlar.

Bu materiallarla çap etmək üçün aşağıdakı üsullardan istifadə etmək olar:

- lazer stereolitografiya (stereolithography, SLA),
- FDM,
- laminasiya üsulu.

Əsas hissə. Additiv gəmiqayırma üçün istifadə oluna bilən materialların təhlili əsasında aşağıdakı qısa xülasəni vermək olar:

1. ***ABS*** - üçqat polimerdir. Akrilonitril və stirolun polibutadienin polimerləşməsi yolu ilə alınır.
   Üstünlükləri: Termoplastik, sərt, asan emal olunan, yüksək zərbə möhkəmliyinə malik plastikdir; aşağı temperaturda davamlıdır və səthi keçirməzdir; spirtlərə, mineral, bitki və heyvan yağlarına, konsentrə fosfor və xlorid turşularına, qələvi və turşu sulu məhlullarına davamlıdır.
   Çatışmazlıqları: ABS-dən çap olunmuş məhsullar xəstə səthə malikdir; material hissəciklərinin bir-biri ilə və printerin iş səthi ilə yapışması riski yüksəkdir; böyük ölçülü obyekt yaradarkən soyuma zamanı deformasiya ehtimalı yüksəkdir [1, 2].

2. ***SBS*** – stiren-butadiyen əsasında olan termoplastik sopolimerdir.
   Üstünlükləri: plastiklik; yüksək temperaturlara və su mühitinə davamlılıq; minimum dərəcədə nəm udma qabiliyyəti.
   Çatışmazlıqları: materialın şəffaflığı (işıq keçirmə qabiliyyəti 93%); ABS ilə müqayisədə daha az elastiklik modulu [3, 4].
3. ***HIPS*** – yüksək möhkəmlikli polistiren və polibutadienin polistirena əlavə olunması ilə alınan termoplastik polimerdir.
   Üstünlükləri: hamar təbəqələr; istilik müqaviməti.
   Çatışmazlıqları: soyuduqca çəkilmə və modeldə deformasiya; aşağı möhkəmlik [5, 6].
4. ***PETG*** – polimerləşmə zamanı ikinci qlikol quyruğunun əlavə olunması ilə alınan təkmilləşdirilmiş kopolieter polietilen qlikol tereftalat – plastiklik qatranıdır.
   Üstünlükləri: təbəqələrin möhkəm yapışması; az deformasiyaya uğrama; yüksək istilik müqaviməti; möhkəmlik və davamlılıq; elastiklik.
   Çatışmazlıqları: çap zamanı artıq sapların qalması; ultrabənövşəyi şüaların təsirinə məruz qalır; mexaniki cızılmaya məruz qalır; asetonda həll olmur [7, 8].
5. ***PLA*** – müxtəlif bərpa olunan biomassadan (şəkər çuğunduru, qarğıdalı silosu) əldə edilən termoplastik poliesterdir. Naxış şəklində təklif olunur.
   Üstünlükləri: daha detallı və tam hazır obyektlər əldə etmək imkanı; məmulatlar hamar səthə malikdir; telin aşağı ərimə temperaturu sayəsində enerji xərclərinin əhəmiyyətli qənaəti; toksik deyil; detalların əla sürüşmə qabiliyyəti [9, 10].
   Çatışmazlıqları: bəzi mənbələrə görə [11-16], təbii atmosfer mühitində çürümə səbəbindən modellərin uzunömürlü olmaması.
6. ***PC*** – kömür turşusu və iki atomlu fenollar əsasında olan xətti poliesterdir, sintetik polimerlər sinfinə aiddir.

Üstünlükləri: istilik və atmosferə davamlılıq; çox yüksək zərbə özlülüyü, yük altında sürüşməyə qarşı yüksək davamlılıq; geniş temperatur və tezlik intervalında stabil elektrik xüsusiyyətləri, geniş temperatur intervalında plastiklik; əksər turşulara və yüksək temperaturda oksidləşdirici mühitlərə davamlılıq; aşağı nəmlik udma, suda, benzində və yağlarda şişmənin olmaması.

Çatışmazlıqları: suda uzun müddət qaynadıldıqda kövrəklik yaranır; xlorlu karbohidrogenlərdə, efirlərdə və ketonlarda həll olunur; kaustik qələvi və ammonyakın təsiri ilə məhv olur; PC istehsalı ekoloji baxımdan təhlükəsiz deyil; yüksək higroskopiklik [17, 18].

7. ***LAYWOO-D3*** – tərkibində 40% emal edilmiş ağac və 60% bağlayıcı polimer olan kompozitdir.
   Üstünlükləri: yüksək istilik müqaviməti, yaxşı yapışma xüsusiyyətləri, çap zamanı deformasiya olmur.
   Çatışmazlıqları: yüksək qiymət [19].
8. ***Fotopolimer qatranlar*** – ultrabənövşəyi işıq və ya lazer şüası vasitəsilə aqreqat vəziyyətini dəyişdirmə qabiliyyətinə malik işığa həssas qatranlardan ibarət ayrıca sinifdir.

Üstünlükləri: geniş fiziki-mexaniki xüsusiyyətlər diapazonu; səthin əlavə işlənməsinə ehtiyac olmur; yüksək çap dəqiqliyi (0.025 mm-ə qədər).

Çatışmazlıqları: böyük ölçülü avadanlıq; çapın mürəkkəbliyi; materialların bahalığı [20].

Bu materialları çap etmək üçün aşağıdakı üsullardan istifadə edilə bilər:

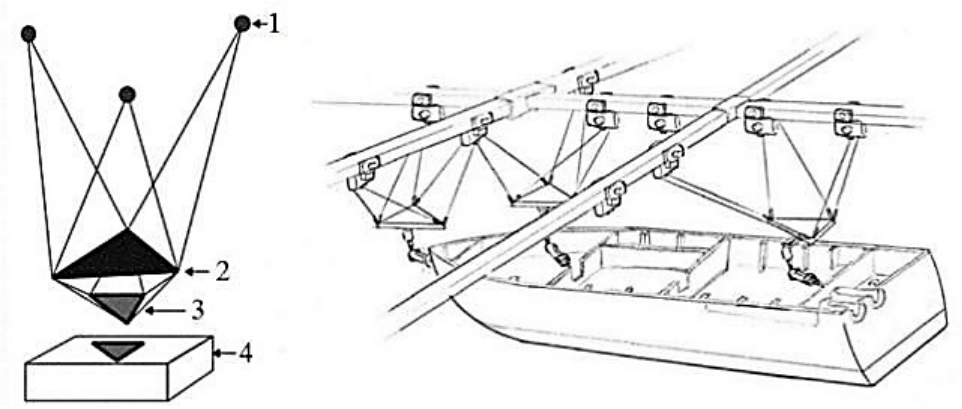
1. FDM – çap başlığı (ekstruziya) əridilmiş materialı (adətən tel şəklində) istənilən istiqamətə sərbəst hərəkət edərək üç koordinat oxu boyunca çıxarır. Tel çap başlığına daxil olur, burada əridilir və nozzle vasitəsilə çıxarılır.
   Üstünlükləri: texnologiyanın sadəliyi, nisbətən ucuzluğu və çapın müxtəlif tətbiqlərə uyğunluğu.
   Çatışmazlıqları: çapın aşağı dəqiqliyi (orta hesabla 0.1 mm) və dəstək strukturlarının istifadəsi zərurəti.

2. **SLA** – fiziki obyektin qat-qat maye polimer qatranından qurulması, bu qatran lazer şüası vasitəsilə bərkiyir.
   Üstünlükləri: nazik divarlı modellər və mürəkkəb prototiplər yaratmaq imkanı, detalların yüksək dəqiqliyi (qat qalınlığı 0.025 mm-ə qədər), müxtəlif fotopolimerlərdən istifadə imkanı, yüksək çap sürəti.
   Çatışmazlıqları: materialların və printerlərin bahalığı, asılan strukturlar üçün dəstək strukturlarının istifadəsi zərurəti.
3. ***Laminasiya*** – təbəqələr arasında yapışqan qatının olması ilə təbəqələrin üst-üstə yapışdırılmasıdır. Material təbəqələri (artıq yapışqan qatına malik olan), platforma üzərində isti presləmə ilə sıxılır.

Üstünlükləri: ucuz materiallar, əldə edilən modellərin yüksək möhkəmliyi.

Çatışmazlıqları: mürəkkəb obyektlərin (məsələn, boşluqların) yaradılmasının mümkünsüzlüyü, aşağı çap dəqiqliyi [21].

Tamamilə 3D-çap edilmiş bir gəmi gövdəsinin (müxtəlif daxili detallar daxil olmaqla, məsələn, bölmələr və tutumlar) additiv metodlarla hazırlanması üçün patent mövcuddur [22]. Bu halda, çap selektiv lazer sinterlənməsi (SLS-selctive laser sintering), birbaşa metal lazer sinterlənməsi (DMLS – direct metal laser sintering), lazerlə metal çökdürməsi (LMD – laser metal deposition), elektron şüalı əritmə (EBM – electron beam melting) və SLM texnologiyaları vasitəsilə müxtəlif metallarla həyata keçirilə bilər. Bu prosesdə cihaz Gyu-Styuart platforması əsasında işləyir. Bu, adətən hidravlik domkratlar və ya elektrik mühərrikləri ilə işləyən altı prizmatik icraedici mexanizmə malik paralel robot növüdür. Çap başlıqları X, Y, Z oxları üzrə xətti hərəkətlər və üç növ bucaqlı dönmə ilə altı dərəcəli sərbəstliyə malik şəkildə hərəkət etdirilə bilər.



Dəqiq mövqe təmin edən Gyu-Styuart manipulyatoru (solda) və cihazın çap başlıqları konsepsiyası (sağda): 1 – bağlama nöqtələri, 2 – iş platforması, 3 – alət platforması, 4 – çap edilən obyekt

İxtiraçıların təxmini hesablamalarına əsasən, iki çap başlığından istifadə edərək, fasiləsiz işləməklə çap prosesi 81 gün çəkməlidir. Çap başlığının hər biri saatda 10 kq sürətlə çap edərək, təxminən 65 ton kütləsi olan və 3D-çap elementlərinin 60%-ni təşkil etdiyi bir gəmi hazırlana bilərdi. Patent sahibləri, 45 futluq (təxminən 13.7 m) bir gəminin 3D-çapı üçün 18 aylıq pilot proqram hazırlayır. Lakin ixtiranın müəllifləri qeyd edir ki, bu cihazla 3D-çap edilmiş metal məhsulların fiziki xüsusiyyətlərinin proqnozlaşdırılması hələ də ilkin mərhələdədir.

Bizim vəziyyətimizdə çap prosesi blok şəklində aparılacaq, yəni ayrıca elementlər şəklində çap edilərək sonradan bir-birinə yapışdırılacaq. Silindrik formalı hissələrin yapışdırılması üçün bəzi texnoloji komplekslər [23-25] məlumatlarına əsasən qəbul edilmişdir.

Nəticə. 1. Material olaraq ABS, SBS, PLA, HIPS və PETG seçilmişdir, çünki onlar gəmiqayırmada istifadə edilə biləcək xüsusiyyətlərə, yaxşı yapışma xüsusiyyətlərinə və aşağı çəkilmə parametrlərinə malikdir.

1. Çap metodu olaraq, istehsal texnologiyasının sadəliyi, ucuzluğu və avadanlıqların geniş yayılması səbəbindən FDM–modelləşdirmə metodu seçiləcəkdir.
2. Gəmi gövdəsinin hazırlanması texnologiyasının əsasını blok tikinti metodu təşkil edir – gövdənin tikinti elementlərinə (bloklara) bölünməsi, hər bir blokun çap edilməsi və sonradan bir-birinə yapışdırılması.

*Bu iş Azərbaycan Elm Fondunun maliyyə dəstəyi ilə yerinə yetirilmişdir – **Qrant № AEF-MGC-2024-2(50)-16/01/1-M-01***

Ədəbiyyat

1. Ziemian, C. Anisotropic mechanical properties of ABS parts fabricated by fused deposition modeling / C. Ziemian, M. Sharma, S. Ziemian // Mechanical Engineering. – 2012. –№4. – p. 159-180.
2. Odian, G. Principles of Polymerization (4th Edition) / G. Odian. – Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2004. – 848 p.
3. Airey, G.D. Styrene butadiene styrene polymer modification of road bitumens / G.D. Airey // Journal of Materials Science. – 2004. – № 39 (3). – p. 951-959.
4. Whiteoak, C.D. Shell Bitumen Handbook / C.D. Whiteoak. – Surrey, UK: Shell Bitumen, 1990. – 336 p.
5. Thermal decomposition of flame-retarded high-impact polystyrene / E. Jakab, Md. A. Uddin, T. Bhaskar, Y. Sakata // Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. – 2003. – № 68-69. P. 83-89.
6. Plastics Additives Handbook / [R. Gächter]; H. Müller (Eds.). – Munich: Hanser Publishers, 1990. – 1248 p.
7. Dupaix, R.B. Finite strain behavior of poly(ethylene terephthalate) (PET) and poly(ethylene terephthalate)-glycol (PETG) / R.B. Dupaix, M.C. Boyce // Polymer. –2005. –№46. – p.4827-4838.
8. Strain-induced crystallization in uniaxially drawn PETG plates / M. Kattan, E. Dargent, J. Ledru, J. Grenet //Journal of Applied and Polymer Science. –2001. –Vol. 81. –№14. –p.3405-3412.
9. Bax, B. Impact and tensile properties of PLA/Cordenka and PLA/flax composites / B. Bax, J. Müssing // Composites Sciences and Technology. – 2008. – Vol. 66, №7-8. – p. 1601- 1607.
10. Polylactic Acid Technology. Natural Fibres, Biopolymers and Biocomposites / [D.E. Henton et al.]; A.K. Mohanty, M. Misra M, L.T. Drzal (Eds.). – Boca Raton: CRC Press, 2005. – 896 p.
11. Исследование механических свойств, морфологии и биоразлагаемости композиций полилактида с полисахаридами / С.Е. Роговина, К.В. Алексанян, А.Я. Горенберг [и др.]. // Химия растительного сырья. – 2015. – № 1. – с. 29-39.
12. Thermal Properties and Morphology of Biodegradable PLA/Starch Compatibilized Blends / W.Y. Jang, B.Y. Shin, T.J. Lee, R. Narayan [et al.]. // Journal of Industrial and Engineering Chemistry. – 2007. – Vol. 13 (3). – p. 457-464
13. Snook, J.B. Biodegradability of polylactide film in simulated composting environments: M. S. thesis / J.B. Snook. – Michigan State University, Lansing, MI, USA, 1994. – 130 p.
14. Farah, S. Physical and mechanical properties of PLA, and their functions in widespread applications – A comprehensive review / S. Farah, D.G. Anderson, R. Langer // Advanced Drug Delivery Reviews. – 2016. – Vol. 107. – p. 367–392.
15. Muller, R. Biopolymers. General Aspects and Special Applications. Biodegradability of polymers: regulations and methods for testing / R. Muller, A. Steinbchel (ed.). // Wiley Publishers. – 2008. – Vol. 10. – ch. 12. – p. 366-388.
16. Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites. Polylactic Acid Technology / Henton D.E., Gruber P., Lunt J. [et al.]. // Taylor & Francis, F.L. Boca Raton. – 2005. – P. 527–577.
17. Справочник по современным судостроительным материалам / Сост. В.Р. Абрамович, Д.В. Алешин, И.М. Альшиц [и др.]. – Л.: Судостроение, 1979. – 584 с.

18. Поликарбонаты (ПК): характеристика, способы получения, технология переработки, области применения. Текст: электронный // Plastinfo. – URL: http://plastinfo.ru/information-/articles/44/ (дата обращения: 1.02.2020).
19. LAYWOO-D3 - материал для 3D принтеров позволяющий печатать древесину. Текст: электронный // Бытовые 3D-принтеры. – URL: http://3dpr.ru/laywoo-d3-material-dlya- 3d-printerov-pozvolyayuschij-pechatat-drevesinu (дата обращения: 1.02.2020).
20. Фотополимерные смолы. Текст: электронный // Бытовые 3D-принтеры. – URL: http://3dpr.ru/fotopolimernye-smoly (дата обращения: 1.02.2020).
21. Принцип работы 3D-принтеров. Текст: электронный // Бытовые 3D-принтеры. – URL: http://3dpr.ru/printsip-raboty-3d-printera (дата обращения: 1.02.2020).
22. Патент US 20170232549A1. Method for Shipbuilding Using 3D Printers / Lacaze A.D., Murphy K. Publ. 17.08.2017.
23. Игнатов, А.В. Разработка и исследование оригинальной технологии сборки регулируемых цилиндрических клеевых соединений / А.В. Игнатов, М.Э. Винокурова // V Международный Балтийский морской форум: материалы форума. – Калининград: Калининградский государственный технический университет, 2017. – с. 196-205.
24. Игнатов, А.В. Оптимизация проектирования и сборки клеевых соединений в современном машиностроении / А.В. Игнатов, Е.С. Постникова // Главный механик. –2014. –№6. – с.24-29.
25. Безменов, В.С. Методы дозирования клеевых составов в сборочных производствах / В.С. Безменов, А.В. Игнатов // Клеи. Герметики. Технологии. – 2013. –№ 3. – с.32-39.

Məqalə qəbul olunub: 29.10.24
Tövsiyə edib: t.e.d., prof. İsmayılov N.Ş.

УДК 629.5

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУДОВ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПЛАТФОРМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БАЗЫ ДАННЫХ ОДНОТИПНЫХ СУДОВ

Мурсалзаде Э.Г., Садыгов М.В.

«ASCO Инжиниринг»
г. Баку. ул. Зия Юсифзаде, 48
E-mail: elmar.mursalzada@asco.az

Xülasə. *Tədqiqat işində platformaları təchiz edən perspektiv gəmilər üçün əsas parametrlərin formalaşması prinsipləri şərh olunur. Əsas ölçülərin formalaşması üçün müvafiq asılılıqlardan istifadə edərək sistemli təhlil aparılmışdır. Təchizat gəmilərinin istismarı zamanı risklərin təhlili və əldə edilən dizayn məhdudiyyətləri və verilənlər bazasının məlumatlarından istifadə edərək platforma təchizat gəmilərinin əsas xüsusiyyətləri təyin olunmuşdur. Gəminin təxmin edilən enini təyin etmək üçün funksiya təklif edilmiş və təyinatına görə oxşar gəmilərin məlumat bazasından istifadə edərək əsas ölçülərin və bölmələrdəki kütlə yüklərinin subasımına təsirini əks etdirən asılılıqlar tərtib edilmişdir.*

Abstract. *İn the article reflects the formation of prospective parameters of platform support vessels. A system analysis was carried out and through dependencies on the formation of the main dimensions of platform support vessels. At the same time, design limitations were taken into account, obtained by risk analysis during the operation of platform support vessels and the main characteristics of platform support vessels using a database of similar vessels. A function is proposed for determining the estimated width of a vessel and using a database of similar vessels, dependencies are*

compiled reflecting the influence of the main dimensions and mass loads on sections from displacement.

Аннотация. *В работе рассматрены формирования перспективных параметров судов обеспечения платформ. Проведен системный анализ посредством зависимостей формирование главных размерений судов обеспечения платформ. При этом учитывались проектные ограничения, полученные анализом рисков при эксплуатации судов обеспечения платформ и основных характеристик судов используя базу данных близких по назначению судов. Предложена функция для определение расчетную ширину судна и с использованием базы данных близких по назначению судов, составлены зависимости отражающая влияние главных размерений и нагрузки масс по разделам на водоизмещения.*

Açar sözlər: *platforma təchizatı gəmisi, üzmə keyfiyyətləri, gəmilərin istismarı, risklərin təhlili, kütlə yükləri*

Key words: *platform supply vessel, seaworthiness, risk analysis, mass loads*

Ключевые слова: *судно снабжения платформ, мореходные качества, анализ рисков, нагрузки масс*

Введение. Объектом исследования является методы и средства совершенствования проектирования судов обеспечения платформ, с использованием базы данных близких по назначению судов. В результате проведенных исследований [1-8], смоделирована методология систематического выбора конфигурации корпуса, формы корпуса и оценки весовой нагрузки на корпус на ранних стадиях проектирования, а также на основе базы данных судов, разработан алгоритм расчета габаритных и конструктивных размеров судов обеспечения платформ с учетом выбранных критериев оптимизации.

Одним из основных факторов влияющий на мореходные качества судна, является ширина судна. Ниже приведены графики, в которых показано соотношения длину, осадки, высоты борта, скорость, водоизмещение, площадь грузовой палубы, грузоподъемности, высота надводного борта и площадь вертикальной шахты с шириной судна. Рассмотрены более 20 судов обеспечения платформ (Platform Supply Vessel).

На рис. 1, рассматриваемые нами суда имеют ширину 10-30 м и длину 30-150 м. Соотношение длины судна на ширины влияет главным образом на скоростные качества судна, на его маневренность и остойчивость.

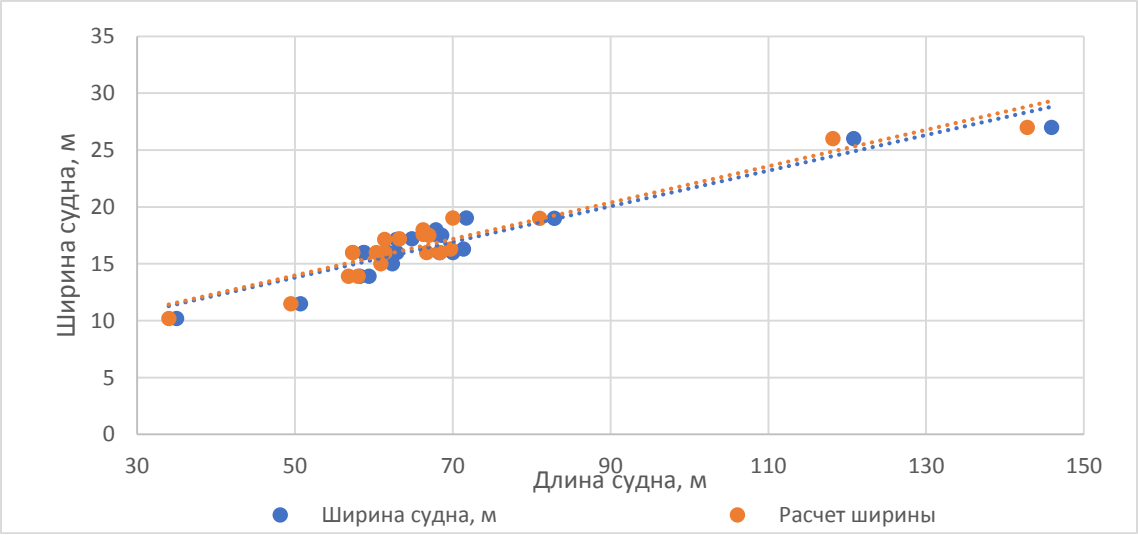


Рис. 1. *Соотношение длины судна на ширину судна*

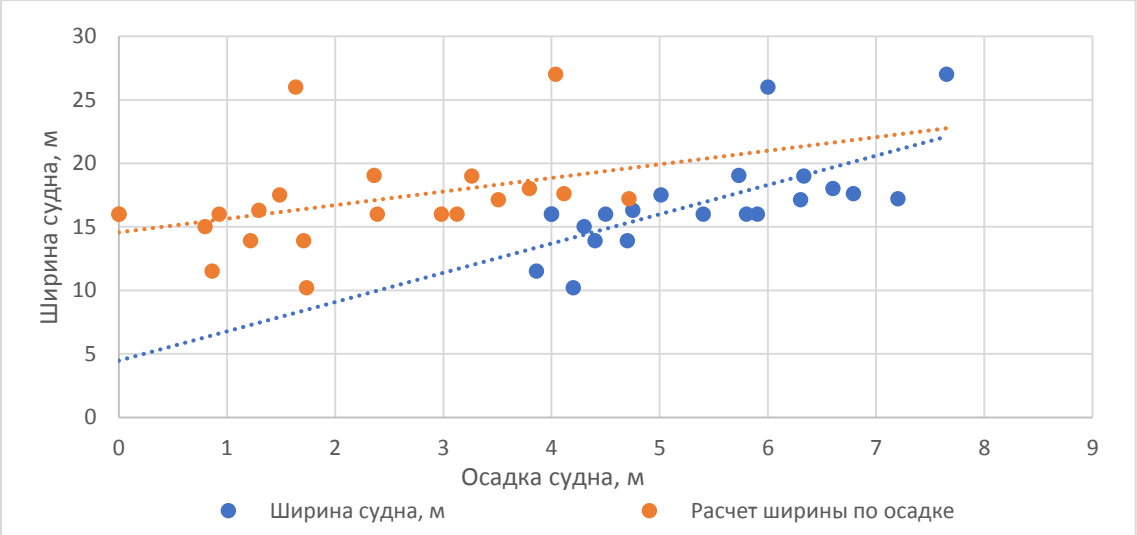


Рис. 2. *Соотношение осадки судна на ширину судна*

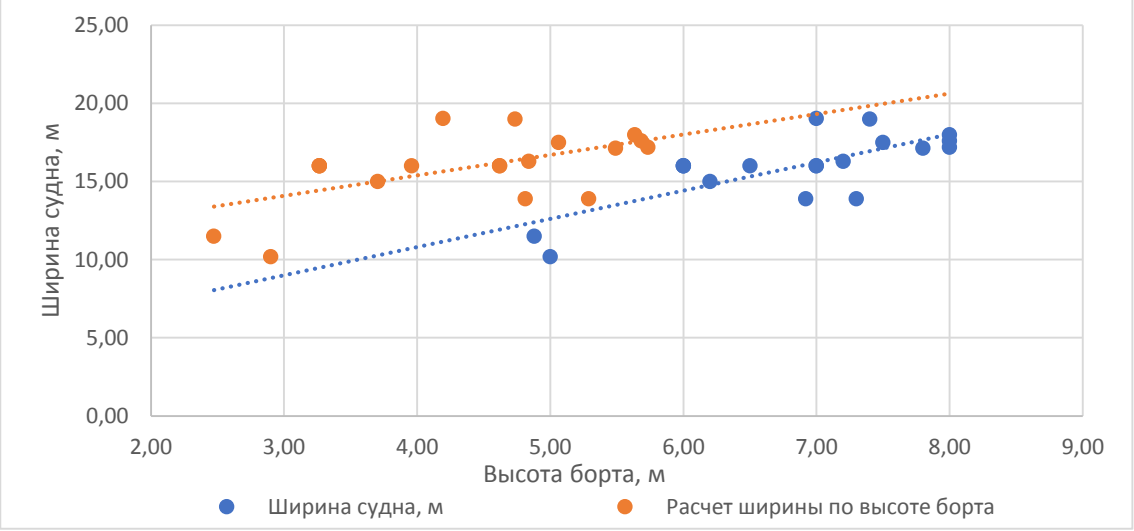


Рис. 3. *Соотношение высоты борта на ширину судна*

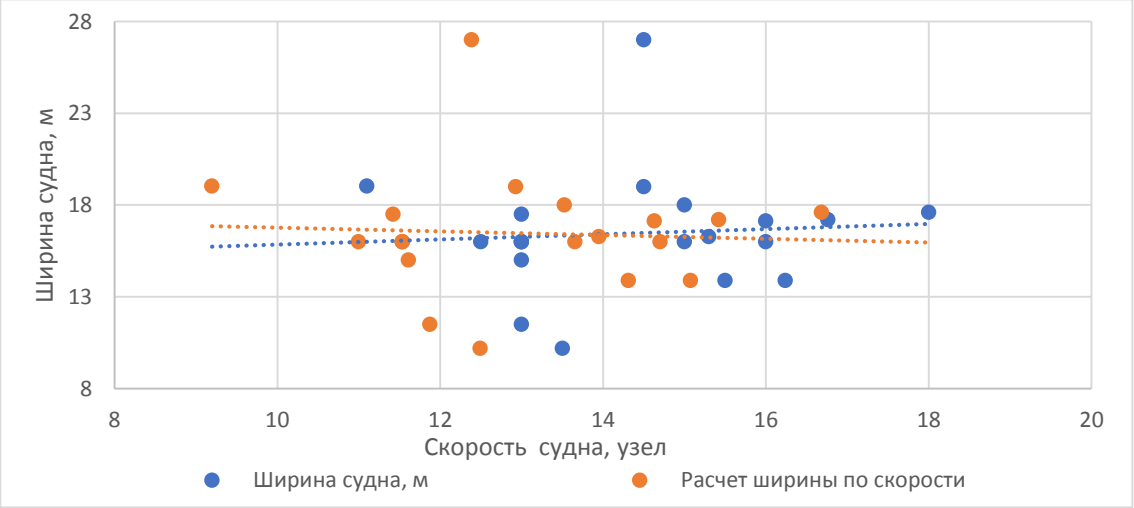


Рис. 4. *Соотношение скорости судна на ширину судна*

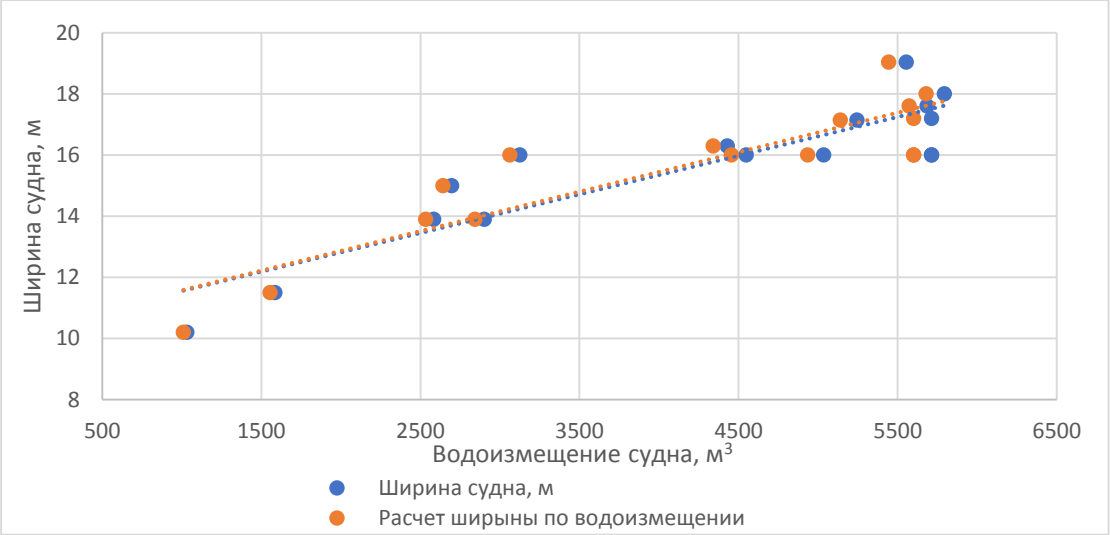


Рис. 5. *Соотношение водоизмещение на ширину судна*

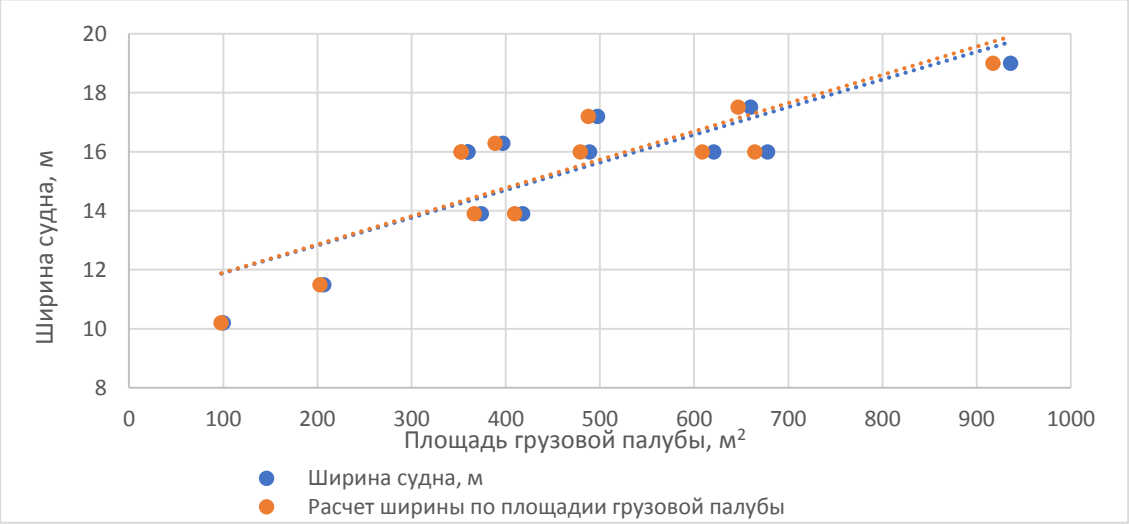


Рис. 6. *Соотношение площади грузовой палубы на ширину корпуса*

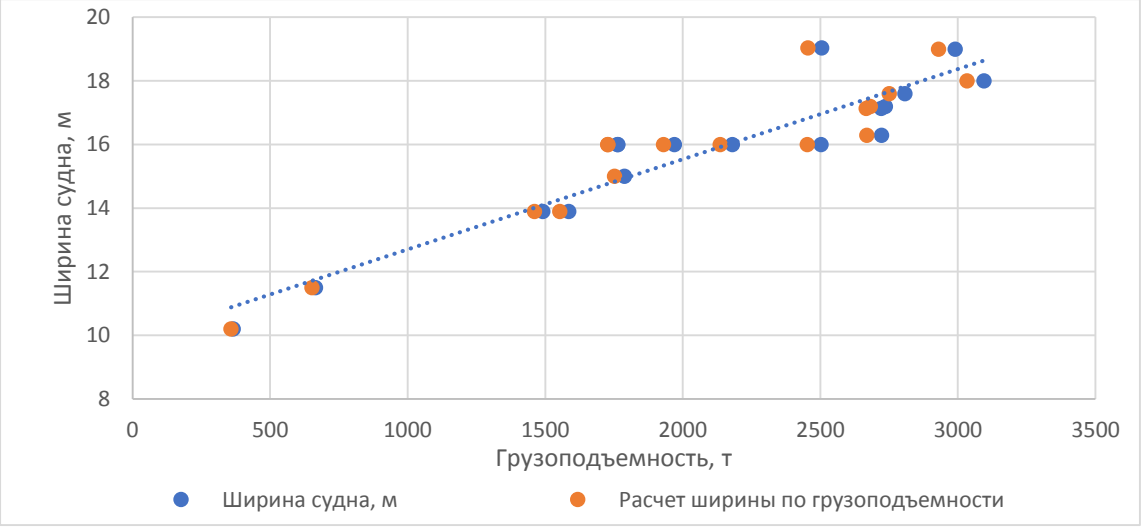


Рис. 7. *Соотношение грузоподъемности на ширину судна*

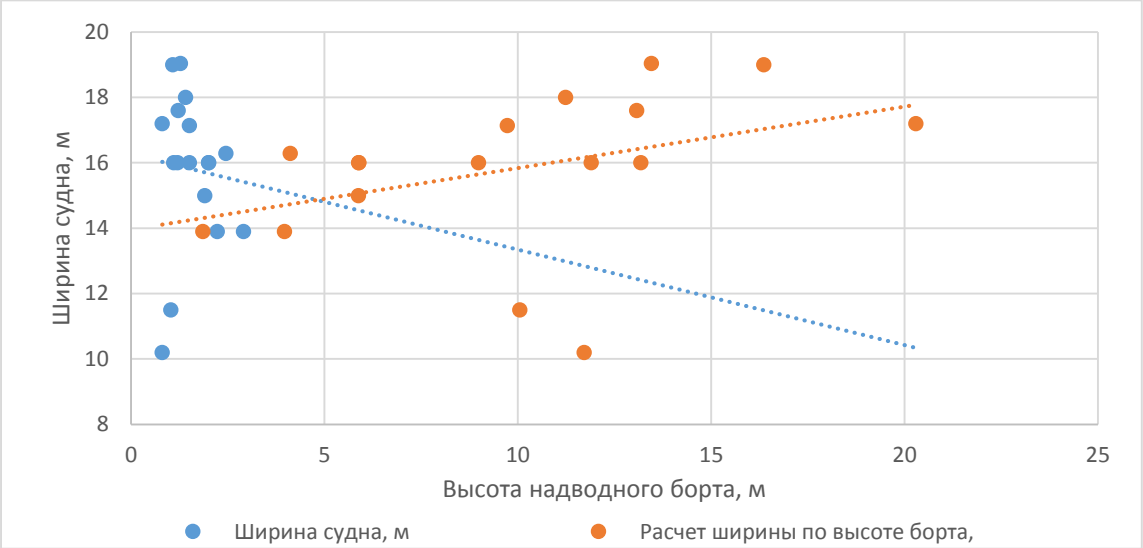


Рис. 8. *Соотношение высоты надводного борта на ширину судна*

Анализируя графики, представленные на рис. 1-8, можно выявить в целом одинаковую закономерность зависимостей [1]. Таким образом, расчетную ширину судна можно определить с помощью универсальной формулы (1) для каждого измеряемого параметра отдельно:

$$B_{\text{р}} = b * S - {}^{B}/_{S} \tag{1}$$

где $B_{\text{р}}$ – расчетная ширина судна; S – измеряемые параметры (длина, осадка, высота борта, скорость, водоизмещение, площадь грузовой палубы, грузоподъемность, высота надводного борта и площадь вертикальной шахты);

b – коэффициент корреляции учитывающая закономерность рассматриваемых соотношений, определяемая по формуле (2);

${}^{B}/_{S}$ – соотношение ширины судна и измеряемых параметров, определяемое по формуле (3);

$$ {}^{B}/_{S} = \sum_{i=1}^{n} \overline{B}_i - b * \sum_{i=1}^{n} S_i \tag{2}$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^{n}(S-\overline{S_i})(B-\overline{B_i})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(S-\overline{S_i})^2 \sum_{i=1}^{n}(B-\overline{B_i})^2}} \tag{3}$$

Интенсивное использование большого количества дорогостоящего технического оборудования, аппаратуры и других комплексов на одном судне повышает степень предполагаемого эксплуатационного риска судна. В целях предупреждения аварий ниже анализируются некоторые риски, возникающие при эксплуатации судов обеспечения платформ.

При рассмотрении рисков, связанных с проектированием судов обеспечение платформ, выявляются риски, дается их описание, источники, анализ рисков и системы действийпо их предотвращению. Для предупреждения рисков, связанных с формированием весовой нагрузки, необходимо:

- на ранних стадиях проектирования основательно выбрать прогнозируемые значения разделов весовой нагрузки, опираясь на данные прототипа судна или статистические данные по однотипным судам;

- на ранних стадиях проектирования прогнозировать необходимое значение запаса водоизмещения;

- на всех этапах создания судна производить строгий контроль за формированием разделов весовой нагрузки.

Для предупреждения рисков, связанных с формированием главных размерений судна, необходимо:

- на ранних стадиях проектирования отнестись внимательно к расчетам размеров, важным для перспективного судна;
- внимательно отнестись к выбору близкого прототипа или статистических данных однотипных судов;
- при выборе главных размерений судна учитывать наиболее неблагоприятные условия работы технологических оборудований и комплексов.

Для предупреждения рисков, связанных с расчетом скорости, необходимо:

- на всех этапах проектирования и постройки судна внимательно следить за изменением условий, учитываемых при расчете скорости, исследовании в опытном бассейне и при CFD-моделировании корпуса;
- на этапе проектирования связывать теоретические расчеты мореходных качеств судна с расчетом скорости судна.

В результате анализа идентифицированных рисков видно, что все рассмотренные риски взаимосвязаны. Предупреждение идентифицированных рисков должно производиться на всех этапах проектирования и строительства перспективного судна.

Закономерности изменения весовой нагрузки судов. Получив значения весовой нагрузки из базы данных аналогичных судов, находящихся в эксплуатации, можно с достаточной вероятностью определить точную оценку нагрузки масс для каждого статьи на начальном этапе проектирования. На рис. 9 показан график отношения порожнего объема к массе груза для отдельных судов. Для построения графиков использовалась база данных аналогичных судов.

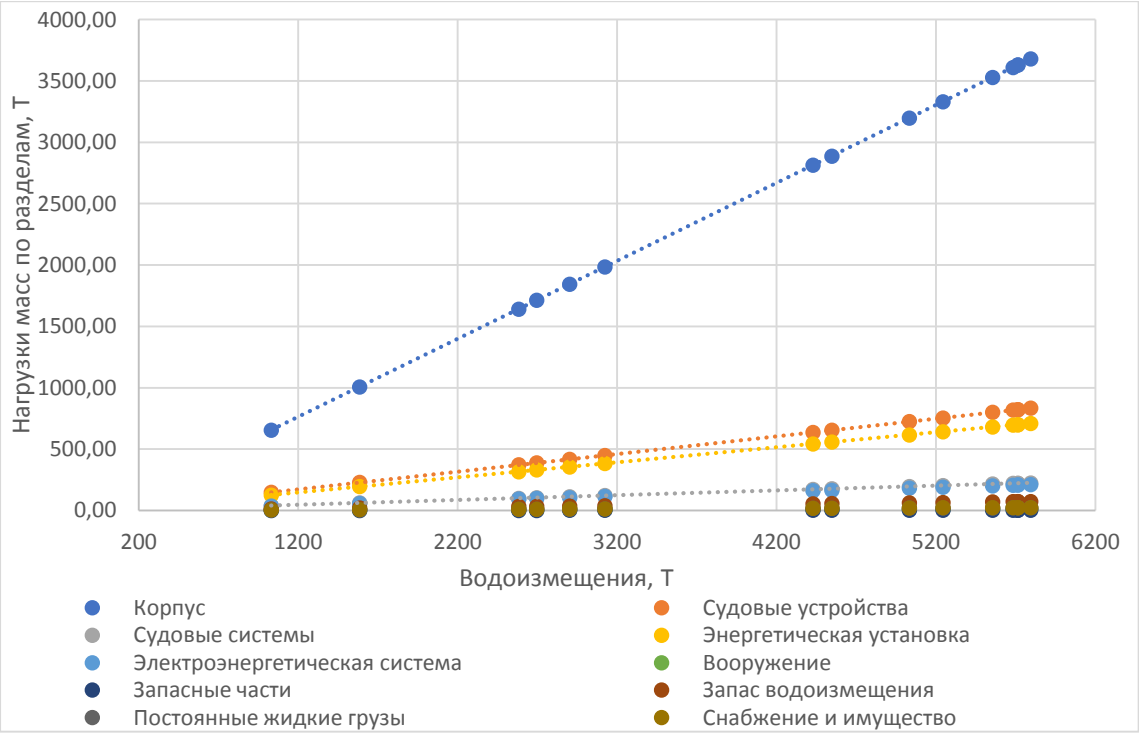


Рис. 9. *Соотношения массы нагрузки масс по статьям и водоизмещения специализированных судов*

Как видно из графика на рис. 9 существует определенная закономерность в изменении весовой нагрузки судна за счет статьям нагрузок масс. Определить значения отдельных массовых нагрузок по уравнению (4) можно, используя базу данных аналогичных судов, имеющих водоизмещение проектного судна и отраженных на приведенном графике.

$$M_i = b * \Delta - {M_i}/{\Delta} \tag{4}$$

где

M_i – значения нагрузки масс по статьям ($m_{\text{К}}$, $m_{\text{С.У.}}$, $m_{\text{С}}$, $m_{\text{У.Э}}$, $m_{\text{Э}}$, $m_{\text{В}}$, $m_{\text{З}}$, $m_{\text{З.В.}}$, $m_{\text{Ж.Г}}$, $m_{\text{снаб.}}$);

$m_{\text{К}}$ – масса корпуса;

$m_{\text{С.У.}}$ – масса судовых устройств;

$m_{\text{С}}$ – масса судовых систем;

$m_{\text{У.Э}}$ – масса энергетической установки;

$m_{\text{Э}}$ – масса электрических систем;

$m_{\text{В}}$ – масса вооружения;

$m_{\text{З}}$ – масса запасные части;

$m_{\text{З.В.}}$ – масса запаса водоизмещения;

$m_{\text{Ж.Г}}$ – масса постоянных жидких грузов;

$m_{\text{Снаб.}}$ – масса снабжения и имущество;

Δ – водоизмещения;

b – коэффициент корреляции учитывающая закономерность рассматриваемых соотношений, определяемая по формуле (5);

$\text{M}_i/_{\Delta}$ – соотношения статьи нагрузки масс и водоизмещения, определяемая по формуле (6).

$$M_i/_{\Delta} = \sum_{i=1}^{n} M_i - b * \sum_{i=1}^{n} \Delta_i \tag{5}$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^{n}(\Delta - \overline{\Delta_i})(M - \overline{M_i})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(\Delta - \overline{\Delta_i})^2 \sum_{i=1}^{n}(M - \overline{M_i})^2}} \tag{6}$$

Прогнозируемые нагрузки масс также могут быть определены в процентах по базе данных аналогичных массовых нагрузок для подобных судов от водоизмещения. Такой метод описан Ашиком В.В. [8] для различных классов судов (пассажирские суда, грузовые суда, лесовозы, контейнеровозы, балкеры, нефтеналивные танкеры, рыболовные суда и буксиры). В отличие от судов, описанных в исследовании [8], в табл. 1 представлены процентные соотношения массовой нагрузки с использованием базы данных судов аналогичного назначения.

В табл. 1 приведены значения максимального и минимального процента веса судна порожнем и характерный состав нагрузки масс по разделам для судов обеспечения.

Таким образом, нагрузку масс отдельных статей водоизмещения используя характерный состав в процентном отношении можно определить по формуле 2.3.4:

$$M_i = \frac{\Delta \times m_i}{100} \tag{7}$$

Где m_i – процентное значение соответствующей характерной статьи нагрузки масс.

Таблица 1

Характерный состав нагрузки масс

№	Разделы нагрузок	Нагрузки в %	
		max	min
01	Корпус	66.8	50.47
02	Судовые устройства	23.45	3.46
03	Системы	10.36	3.8
04	Установка энергетическая	17.55	5.18
05	Электроэнергетическая система	7.51	2.34
06	Вооружение	0.77	0.03
07	Запасные части	1.06	0.03
11	Запас водоизмещения	7.64	0.02
12	Постоянные жидкие грузы	5.42	0.38
13	Снабжение, имущество	2.7	0.25

На рисунках 10-19 приведены графики, показывающие разницу в процентах между нагрузок масс по разделам и расчетными минимальными и максимальными характеристическими составами нагрузок масс, рассчитанными с помощью уравнения (7).

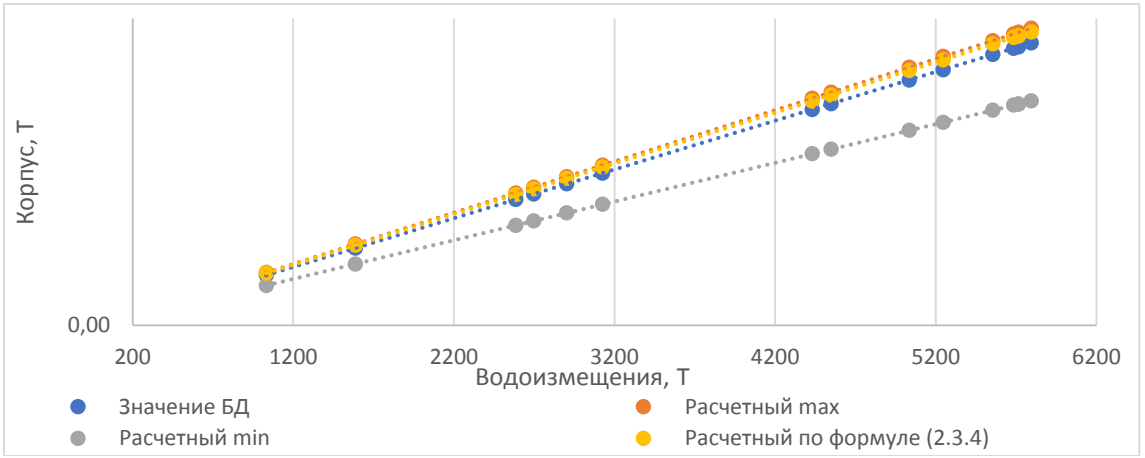


Рис. 10. *Разница расчетного и статистического соотношения массы корпуса и водоизмещения специализированных судов*

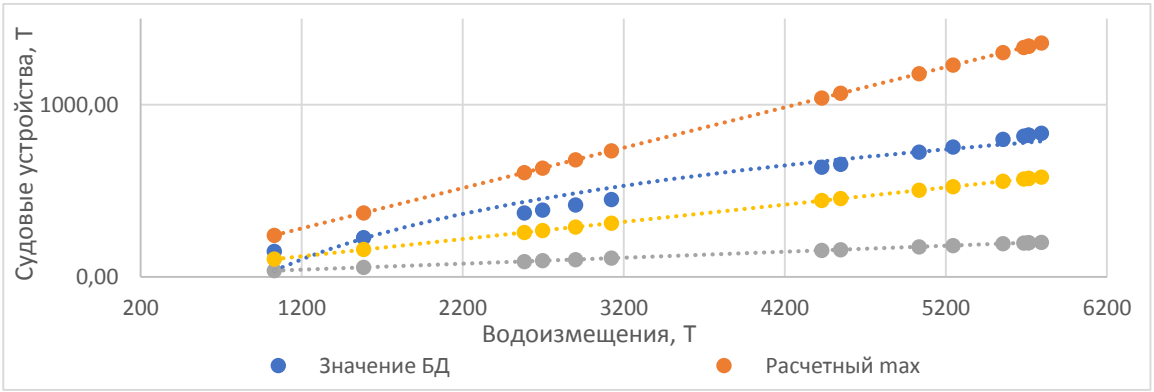


Рис. 11. *Разница расчетного и статистического соотношения массы судовых устройств и водоизмещения специализированных судов*

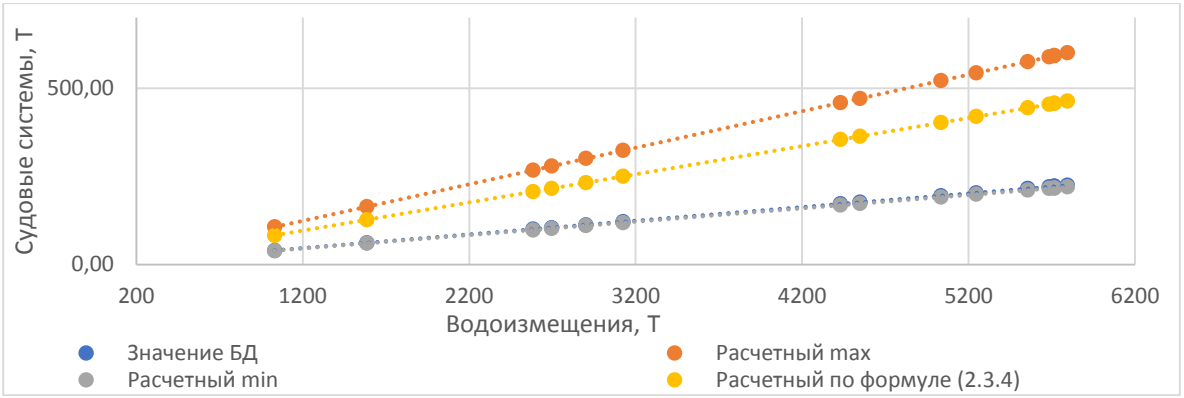


Рис. 12. *Разница расчетного и статистического соотношения массы судовых систем и водоизмещения специализированных судов*

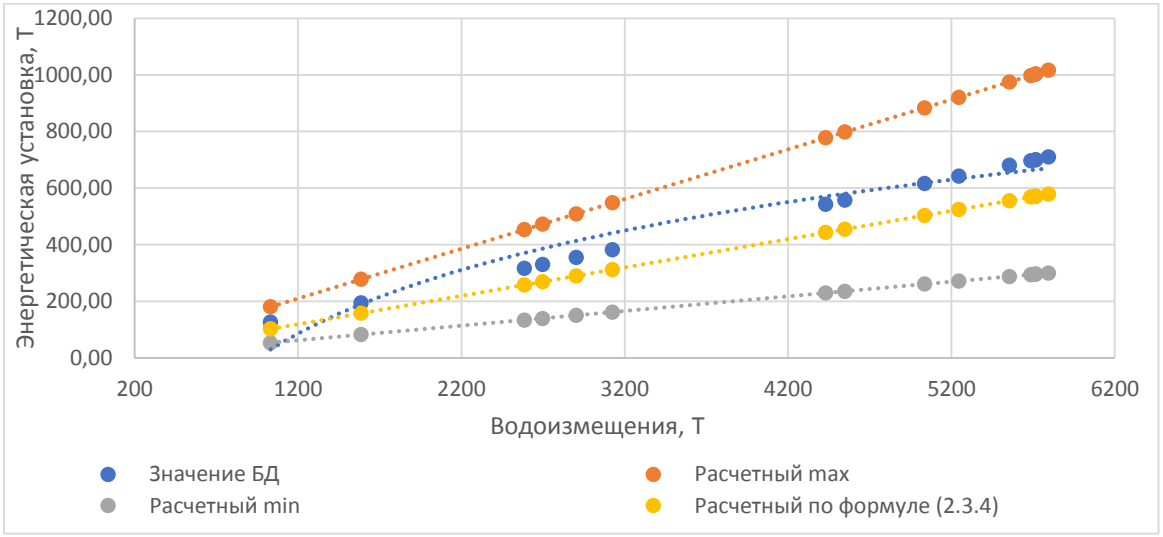


Рис. 13. *Разница расчетного и статистического соотношения массы судовой энергетической установки и водоизмещения специализированных судов*

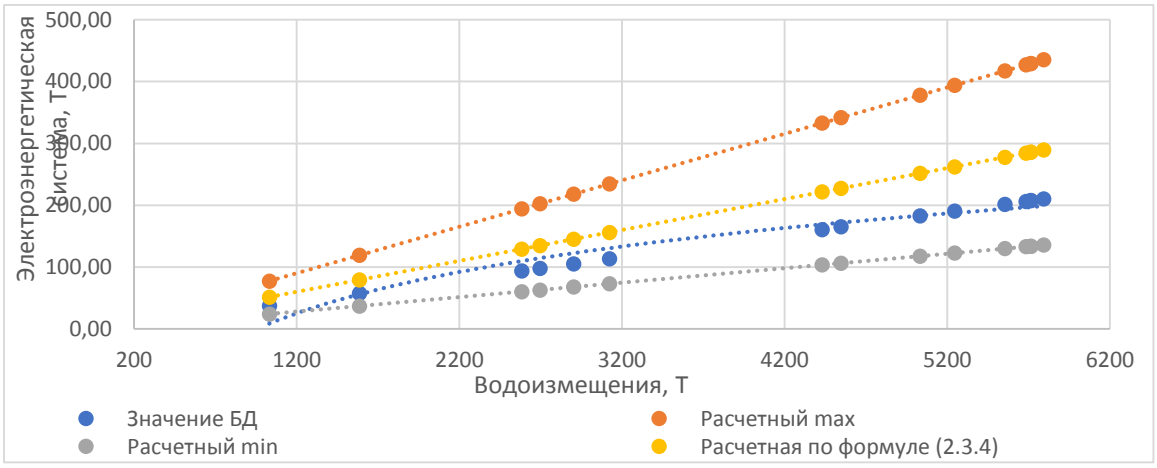


Рис. 14. *Разница расчетного и статистического соотношения массы судовой электроэнергетической системы и водоизмещения специализированных судов*

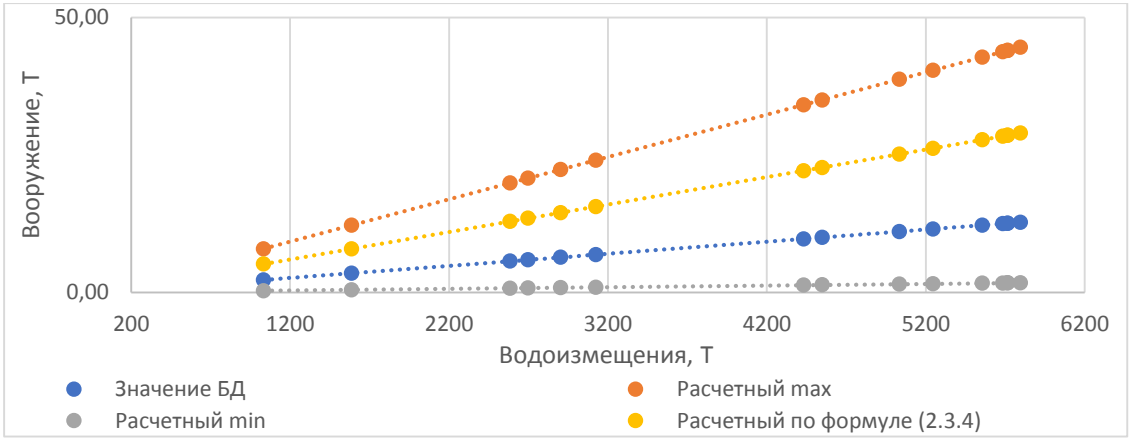


Рис.15. *Разница расчетного и статистического соотношения массы вооружения и водоизмещения специализированных судов*

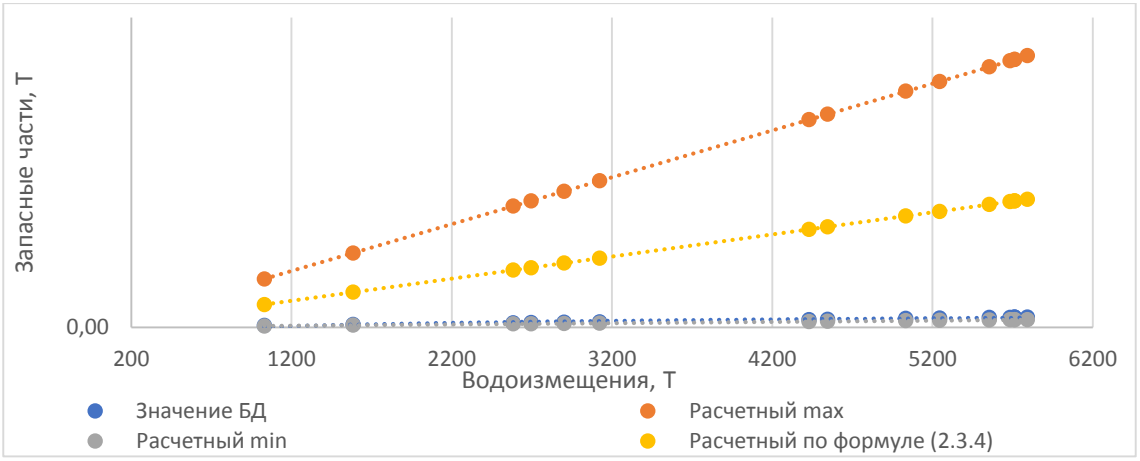


Рис. 16. *Разница расчетного и статистического соотношения массы запасных частей и водоизмещения специализированных судов*

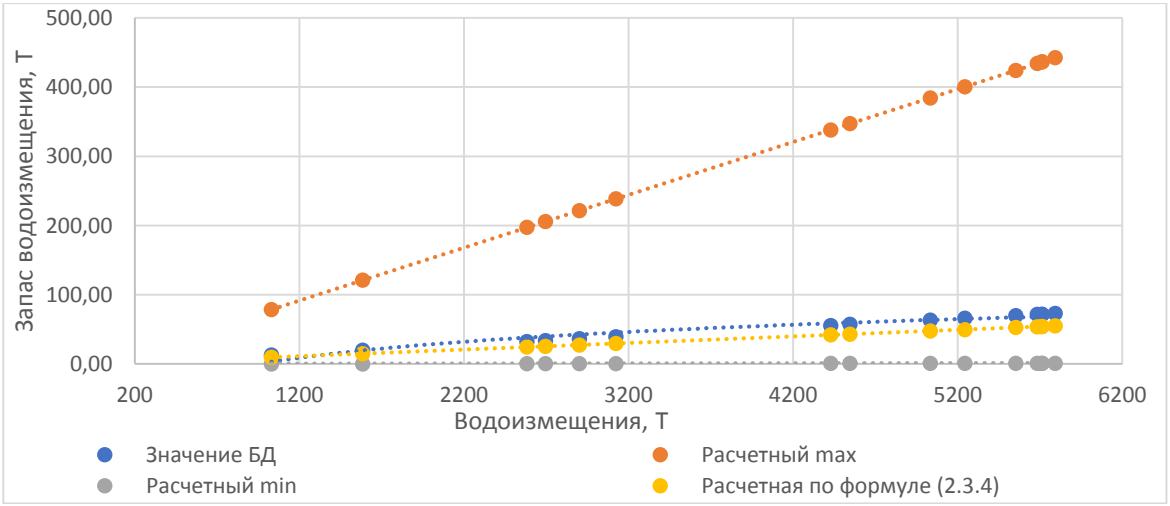


Рис. 17. *Разница расчетного и статистического соотношения массы запаса водоизмещения и водоизмещения специализированных судов*

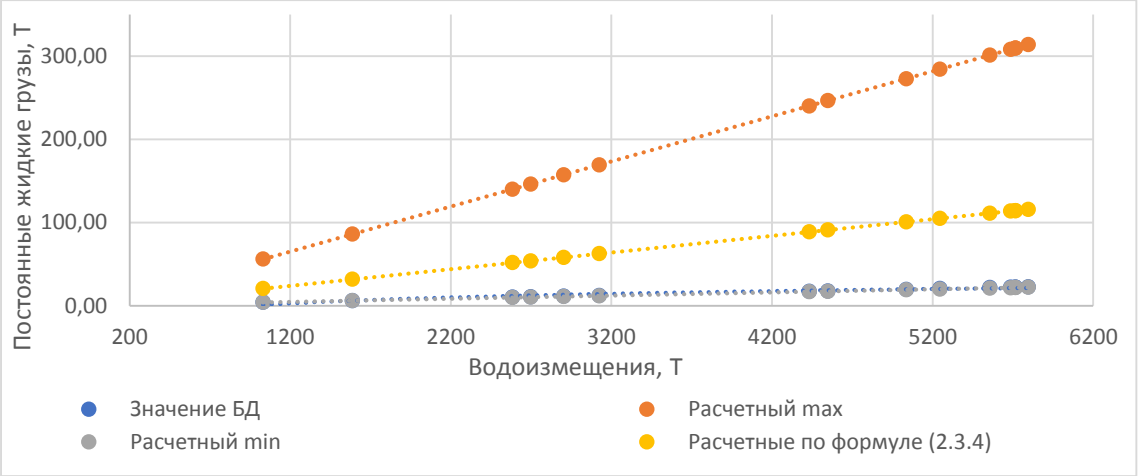


Рис. 18. *Разница расчетного и статистического соотношения массы постоянных жидких грузов и водоизмещения специализированных судов*

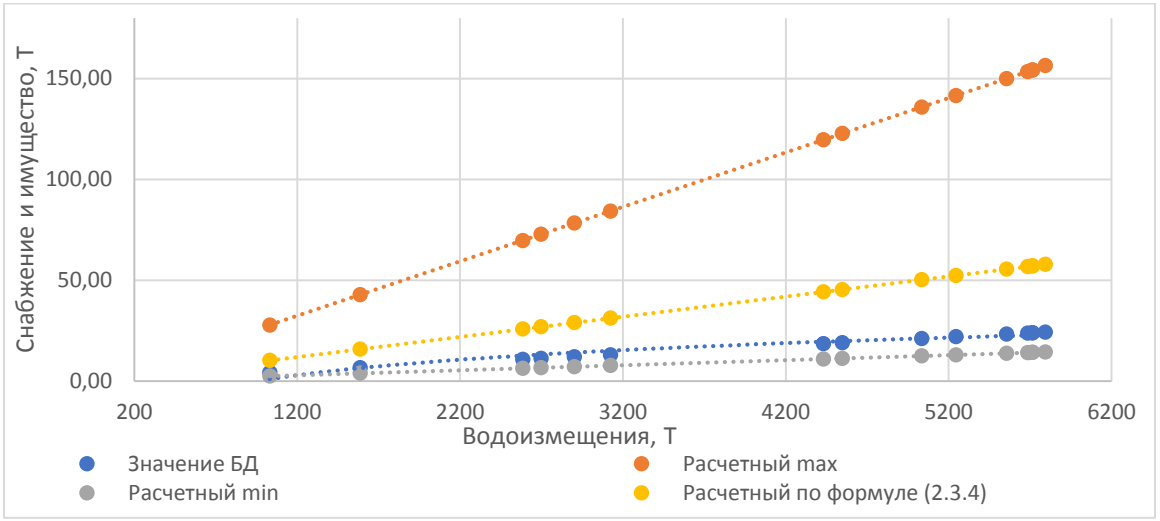


Рис. 19. *Разница расчетного и статистического соотношения массы снабжения и имущества и водоизмещения специализированных судов*

Заключение. Таким образом, представлена методология системного выбора конфигурации корпуса, формы корпуса и оценки весовой нагрузки на корпус на ранних стадиях проектирования. На основе базы данных судов, близких к поставленной цели, разработан алгоритм расчета габаритных и конструктивных размеров судов обеспечения платформ с учетом выбранных критериев оптимизации.

На основании приведенных выше результатов разработки предполагается, что на будущих этапах исследований принципы выбора главных размерений и оценки мореходных качеств проектируемых судов обеспечения платформ будут усовершенствованы на начальном этапе проектирования с использованием базы данных судов близкого назначения.

Литература

1. Абдуллаев О.М. Анализ функций судна обеспечения подводно-технических работ с учетом технологического оборудования и оценка влияния на размеры и технические характеристики судна // - Баку: Proceedings of Azerbaijan State Marine Academy, - 2023. №1(37), - с.11 – 21.

2. Абдуллаев О.М., Садыгов В.Б. Перспективы совершенствования научных основ проектирования судов обеспечения подводно-технических работ // XVII International scientific-technical conferece on “WATER TRANSPORT PROBLEMS”, - Баку: - 05 – 06 май – 2022. – с.10 – 12.
3. Egorov A.G. Risk-based analysis of operational design restrictions and main design characteristics of subsea construction VESSELS / O.M.Abdullayev // Вестник Одесского Национального Университета – Одесса: - 2023. №1(68), - с.7 – 26.
4. Абдуллаев О.М. Метод формирования элементов алгоритма проектирования судна обеспечения подводно-технических работ с использованием базы данных однотипных судов // - Санкт Петербург: Вестник Государственного Университета Морского и Речного Флота им. С.О. Макарова, - 2023. Том15, №4 – с.680 – 691.
5. Лебедева М.П. Алгоритм проектирования судов обеспечения подводно-технических работ методом базы данных / О.М.Абдуллаев // Научные проблемы водного транспорта. Волжский Государственный Университет Водного Транспорта, - Нижний Новгород: - 2023. №76(3) – с.32 – 49.
6. Egorov A.G. About design of subsea construction vessels of new generation // XIV international scientific-technical conference “Innovation in Shipbuilding & Ocean technical”, - Nikolayev: - 20-21.09.2023. – с.10 – 11.
7. Bashirov R.D. Classification of subsea construction vessels and evaluation of study effectiveness // 2nd international scientific-practical conference “Machine Building and Energy: New Concepts and Technologies”, (принято на публикацию). Баку, АзТу, 2024
8. Ашик В.В. Проектирование судов: / В.В.Ашик. – Л.: Судостроение, 1985, 320с.

Məqalə qəbul olunub: 29.10.24
Tövsiyə edib: dos. Xankişiyev İ.A.

UOT 621.752

GƏMİ ÜST TİKİLİLƏRİNDƏ CARİ YÜKLƏRİN TƏDQİQAT METODLARI

Mənsimov K.M., Kəlbiyev F.M., Babayev L.V.

“Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası” PHŞ
AZ1000, Bakı şəh., Z.Əliyeva küç., 18
E-mail: farqan kalbiyev@asco.az

Xülasə. *Gəminin üst tikililərinə təsir edən cari yüklərin təhlili göstərir ki, ağırlıq qüvvəsi, külək təzyiqinin qeyri-inersial xarakterli aerodinamik qüvvəsi və əyilmə nəticəsində ətalət qüvvələri dalğalı dənizlərdə gövdənin orbital hərəkəti ilə birləşərək üst tikilinin strukturunda, xüsusən də metal gövdə ilə birləşmələrdə əsas gərginlik mənbəyi kimi çıxış edir.*

Kontakt qəlibləmə texnologiyasından istifadə edərək üst tikililərin istehsalı üçün polimer kompozit materialların əsas komponentləri seçilmiş və şüşə liflər möhkəmlik, əlçatanlıq və qiymət baxımından gücləndirici element kimi istifadə olunmuşdur. Standartlara və Registirin tələblərinə uyğun olaraq polimer kompozit material nümunələrinin sınaqdan keçirilməsi üsulları gəmilərin üst tikililəri üçün tətbiq olunan materialların möhkəmliyi və yorğunluğunu qiymətləndirmək üçün əsaslandırılmışdır.

Abstract. *The analysis of the current loads falling on the superstructure of the ship shows that the force of gravity, the non-inertial aerodynamic force of the wind pressure and the yaw speed increase.*

For the production of superstructures using contact installation technology, the main components of polymer materials are selected, and glass fibers can be used as a strong composite, accessibility and cost-enhancing element. In accordance with the standards and the requirements of the Register, the methods of testing the materials intended for the composition of superstructures are based on the polymerization of the strength and fatigue of the materials applied.

Аннотация. *Анализ текущих нагрузок надстройки корабля показывает, что сила тяжести, неинерционная аэродинамическая сила давления ветра и силы инерции за счет изгиба в сочетании с орбитальным движением корпуса в условиях волнения на море действуют как основной источник напряжений в конструкции надстройки, особенно в местах соединений с металлическим корпусом.*

Для изготовления надстроек по технологии контактного формования были выбраны основные компоненты полимерных композиционных материалов, а в качестве армирующих элементов использованы стекловолокна с точки зрения прочности, доступности и стоимости. Согласно стандартам и требованиям Регистра установлены методы испытаний образцов полимерных композиционных материалов для оценки прочности и усталости материалов, применяемых для надстроек судов.

Açar sözlər: *gəmi, gövdə, üst tikili, kompozit materiallar, tədqiqat metodları*

Key words: *ship, hull, superstructure, composite materials, research methods*

Ключевые слова: *судно, корпус, надстройка, композитные материалы, методы исследования*

Giriş. Hazırda polimer kompozit materiallardan müxtəlif sənaye sahələrində, o cümlədən gəmiqayırmada geniş istifadə olunur. Bu vəziyyət əsasən polimer kompozit materialların üstün xüsusiyyətləri ilə izah olunur. Bu materiallar aşağı xüsusi çəkiyə malik olduqları üçün gəmilərin çəkisini azaldır, bu da yanacaq sərfiyyatını əhəmiyyətli dərəcədə azaltmağa imkan verir. Eyni zamanda gəminin ağırlıq mərkəzi aşağı düşür və nəticədə gəminin dayanıqlığı artır. Gəmi üst tikililərinin korroziyaya qarşı mühafizəsinə daha az vəsait sərf edilir.

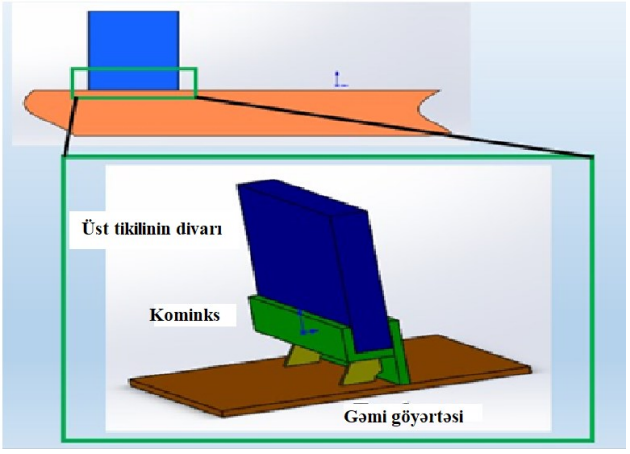
Gəminin üst tikililərinin istehsalı üçün polimer kompozit materiallardan istifadə etdikdə bu materialın əsas metal gövdənin xüsusiyyətləri ilə uyğunlaşması tələb olunur. Ona görə də seçiləcək polimer kompozit materialların mexaniki xüsusiyyətləri haqqında dəqiq məlumatlara malik olmaq lazımdır. Üst tikililərin istismarı zamanı onların yüklənməsi şərtləri, o cümlədən istehsal zamanı materialların konstruktiv komponentləri gəminin işinə əhəmiyyətli təsir göstərir.

Polimer kompozit materialların möhkəmlik xüsusiyyətləri ilə bağlı məsələlərin öyrənilməsinə və onların əsasında məhsulların istehsalı texnologiyasının əsaslandırılmasına Bataeva A.A., Bataeva V.A., Fregera G.E., Lyubina J., Andreeva A.V., Kerbera M.L., Vinogradova V.M., Bazhenova S.L, Vasiliev V.V., Protasov V.D., V.V. Bolotinin və s. əsərləri həsr edilmişdir.

Gəmi konstruksiyalarının, o cümlədən gəmi üst tikililərinin istehsalı üçün polimer kompozit materiallardan istifadə problemlərinin aydınlaşdırılmasına V.A.Blagov, M.E. Frantsev, I.M.Alshits, V.L. Aleksandrov, M.K.Glozman, Matlaza A.P., Polyakova V.I. , Mançenko M.M., Maslicha E.A., Fedonyuka N.N., Boyd S.W., Cao J., Grenestedt J.L., Blake J.I.R., Shenoi R.A., Kapadia A., və s. alimlərin əsərlərində baxılmışdır.

Tədqiqat obyektinin modeli. Gəminin üst tikililərinə təsir edən əməliyyat yükləri gəminin ümumi əyilməsində iştirak dərəcəsindən asılı olaraq müəyyən edilir. Bu halda, gəmi üst quruluşlarının aşağı divarları həddən artıq yüklənmiş zonadır və ona görə də digər hissələrə nisbətən daha böyük qalınlıqla hazırlanır.

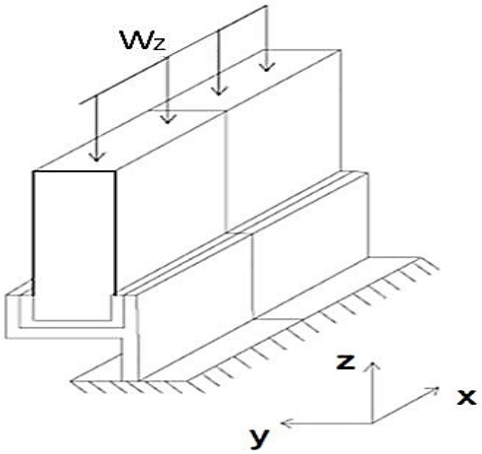
Həmçinin, gəminin əsas gövdəsinə bərkidilməsi nəticəsində aşağı hissədə gərginlik konsentrasiyası yaranır, buna görə də üst tikililərə təsir edən yüklərin təhlili gəminin əsas gövdəsinə bağlı olan, kominksdən istifadə etməklə aşağı hissələrə ötürülür. Təsir göstərən yüklərin təhlili üçün tədqiqat obyektinin modeli qurulmalıdır (şəkil 1).



Şəkil 1. *Təsir göstərən yüklərin təhlili üçün tədqiqat obyektinin modeli*

Üst tikilinin ağırlıq qüvvəsi. Üst tikilinin ağırlıq qüvvəsi daimi təsir göstərdiyi üçün üst tikilinin gövdə ilə birləşmələrində polimer kompozit materialların statik dayanıqlığına təsir edən əsas amil hesab olunur.

Gəminin qalxması şəraitində W üst tikilinin cazibə qüvvəsi X, Y və Z oxu boyunca komponentlərə malikdir, burada statistik xarakter daşıyan sıxılma qüvvəsi W_Z və Z oxu boyunca şaquli olaraq aşağıya doğru yönəldilir (şəkil 2) və bu hər növ yük üçün daim təsir göstərir. Bu qüvvə nəticəsində üst tikili və gövdə arasındakı əlavə sıxılma gərginliyi yaranır.



Şəkil 2. *Üst tikilinin birləşmə nöqtəsində ağırlıq qüvvəsinin təsiri*

Bort və kildə yüklənmə zamanı sıxıcı yük W_Z ilə yanaşı, müvafiq olaraq W_Y və W_X komponentləri də əmələ gəlir. Yırğalanma hərəkəti üçün üst quruluşun cazibə qüvvəsinin komponentləri aşağıdakılardır:

$$W_Y = W \cdot \sin\theta \ , \quad (1)$$

$$W_{Z1} = W \cdot \cos\theta \ . \quad (2)$$

burada θ kren bucağıdır. Eyni qayda ilə kil yırğalanması zamanı ağırlıq qüvvəsi üçün bu ifadələri tərtib etmək olar:

$$W_X = W \cdot \sin\varphi \ , \quad (3)$$

$$W_{Z2} = W \cdot \cos\varphi \ . \quad (4)$$

burada φ – different bucağıdır.

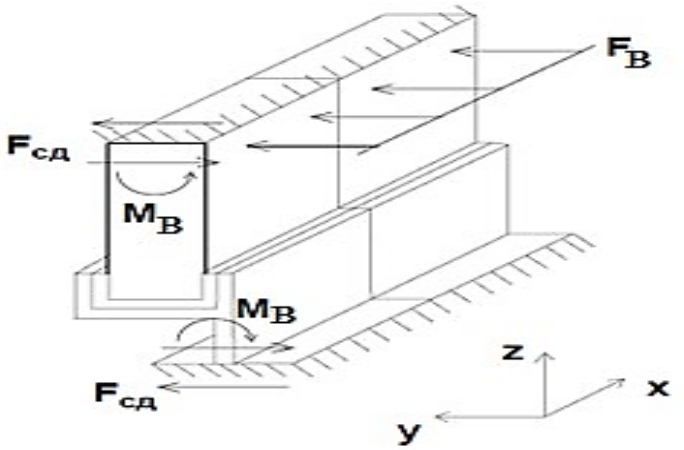
Qeyd etmək lazımdır ki, W_Y və W_X birləşmə zonasında yana əyilmənin yaranmasına gətirib çıxarır ki, bu da öz növbəsində üst tikilinin aşağı kəmərində polimer kompozit materialların dayanıqlığının itirilməsinə gətirib çıxarır, lakin ona əlavə edilmiş hissənin olması, üst tikilinin divarları gövdə ilə asimmetrik əlaqə vəziyyətində belə bu hərəkətin qarşısını alır.

Külək təzyiqindən aerodinamik qüvvələr. Küləkdə gövdənin səthinə təsir edən F_B aerodinamik qüvvələr küləyin axınının sürəti və istiqaməti, həmçinin gövdənin səthinin sahəsi və arxitekturasından asılıdır (şəkil 3).

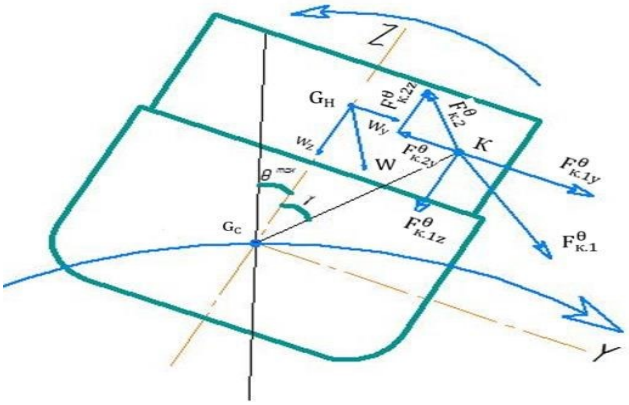
F_B aerodinamik qüvvəsi və onun M_B momenti inersial F_{B1} və yüksək sürətli (qeyri-inersial) F_{B2} komponentləri ilə müəyyən edilir. Küləyin sürətinin dəyişkənliyinə və onun hərəkət istiqamətinə görə ətalət yükünün eninə komponentinin üfüqi proyeksiyasını hesablamaq üçün sadələşdirilmiş düsturdan istifadə etmək olar:

$$F_{BI} = (\lambda_a + \rho_в \cdot V_H)(u \cdot \sin a_в - a_в \cdot u \cdot \cos a_в) \,. \qquad (5)$$

burada λa – gəminin səth hissəsinin müvafiq hərəkət istiqamətlərində əlavə edilmiş hava kütləsi; $\rho_в$ – havanın sıxlığı; V_N – gəminin suüstü hissəsinin həcmi; u – gəmiyə nəzərən havanın sürəti; $a_в$ – sürət vektoru u ilə gəminin uzununa oxu arasındakı bucaqdır.



Şəkil 3. *Aerodinamik qüvvələrin əlaqə nöqtəsinə təsiri*



Şəkil 4. *Gəminin yırğalanması zamanı dinamik hərəkətindən yaranan inersial qüvvələr*

Külək qüvvəsinə məruz qalmanın ilk dövründə yaranan inersial aerodinamik yüklər üst tikili ilə gövdə arasındakı əlaqəyə bir qədər təsir edir. Buna görə, küləyin gücünün ikinci təsir dövrünü praktiki olaraq nəzərə almaq və təhlil etmək lazımdır. Bu müddət ərzində qeyri-inersial xarakterli aerodinamik yük səth hissəsinə təsir edir. Həmin qüvvə aşağıdakı düsturla müəyyən edilir:

$$F_{B2} = P_v \cdot S_H . \quad (6)$$

burada P_v – kvadrat metrə düşən küləyin xüsusi təzyiqi, Pa; S_H - üst tikilinin DM və ya midel-şpanqout müstəvisinə proyeksiya sahəsidir. Gəminin yırğalanması zamanı onun dinamik hərəkətindən yaranan inersial qüvvələr şəkil 4-də göstərilmişdir.

Komponentlərin seçilməsi və polimer materialların hazırlanma texnologiyası. Şüşə liflərə əsaslanan PKM-ın mexaniki sınaqlarını aparmaq üçün dörd qrup nümunə (A, B, C, D) hazırlanmışdır: A – emulsiya şüşə markası (EMS-600) və "Yarkopol-110" TU 2226-131-05011907-2004 termoreaktiv qatranı əsasında nümunələr; B – emulsiya şüşəsi (EMS-600), qatlanan şüşə parça EWR 580 və Yarkopol-110 termoreaktiv qatranı əsasında nümunələr. C – emulsiya şüşəsi markası (EMS-600) və Crystic VE 679 PA markalı termoreaktiv vinil efir qatranı əsasında nümunələr. D – emulsiya şüşə markası (EMS-600) və ED-20 tipli termoreaktiv epoksid qatranı əsasında nümunələr (QOST 10587-84).

EMC-600 markalı şüşə və EWR 580 markalı qatlanan şüşə parçanın xüsusiyyətləri cədvəl 1-də verilmişdir.

Cədvəl 1

EMC-600 markalı şüşə və EWR 580 qatlanan şüşə parça markasının xüsusiyyətləri

Xarakteristikası	EMC- 600	EWR 580
Səthin çəkisi, q/m^2	600 ± 7,5	576 ± 28.8
Sürtkü yağının tərkibi, %	3,5 ± 1,1	0,6 ± 0,2 %
Nəmlik, %	≤ 0,2	≤0,15
Əriş üzrə qırılma yükü, N	≥160	2800
Arğac üzrə qırılma yükü, N	≥160	2800

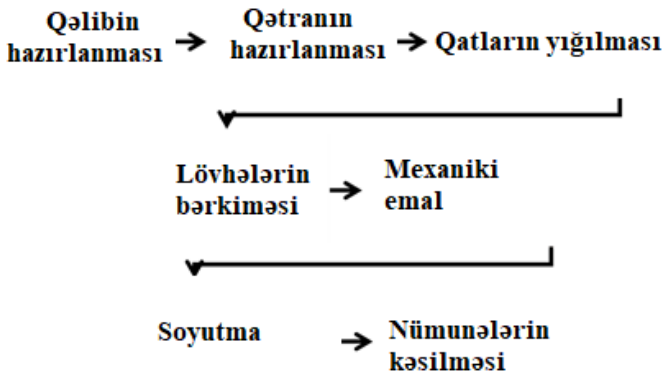
ED-20 markalı termoreaktiv epoksid qatranı epixlorohidrin və difenilpropan əsasında həll olunan və əriyən reaktiv oliqomerik məhsuldur. ED-20 qatranının əsas xüsusiyyətləri cədvəl 2-də verilmişdir.

Cədvəl 2

ED-20 qatranının fiziki-mexaniki xarakteristikaları

Xarakteristikası	Qiyməti
Xarici görünüşü	Özlü, şəffaf
Epoksid qruplarının kütlə payı, %	20-22,5
Xlor ionunun kütlə payı, %	0,001
Sabunlaşmış xlorun kütlə payı, %	0,3
Hidroksil qruplarının kütlə payı, %	1,7
Uçucu maddələrin kütlə payı, %	0,2
Dinamik özlülük, Pa*san. (25±0,1)°C-də	13-20
Jeleləşmə müddəti, saat	8
Dartılmada möhkəmlik həddi, MPa	40-80
Əyilmədə möhkəmlik həddi, MPa	80-140
Sıxılmada möhkəmlik həddi, MPa	100-150

Nümunələrin bütün qrupları 600×600 mm ölçüləri olan kvadrat formalı lövhələrdən kəsilmiş və QOST 33345-2015 və 33346-2015-ə uyğun olaraq kontakt qəlibləmə texnologiyasından istifadə etməklə hazırlanmışdır (şəkil 5).



Şəkil 5. *Kontakt qəlibləmə texnologiyasından istifadə etməklə PKM lövhələrinin istehsal sxemi*

Polimer kompozit materialların möhkəmlik xüsusiyyətlərinin öyrənilməsi metodları. Qənaətbəxş nəticələr əldə etmək üçün təcrübələr apararkən aşağıdakı amillər nəzərə alınmalıdır: material, yükləmə növü, nümunə forması, sınaq maşını, sınaq şərtləri və metodları. Cədvəl 3-də polimer kompozit materialların fiziki və mexaniki xüsusiyyətlərini öyrənmək üçün təcrübələrin planı təqdim olunmuşdur.

Cədvəl 3

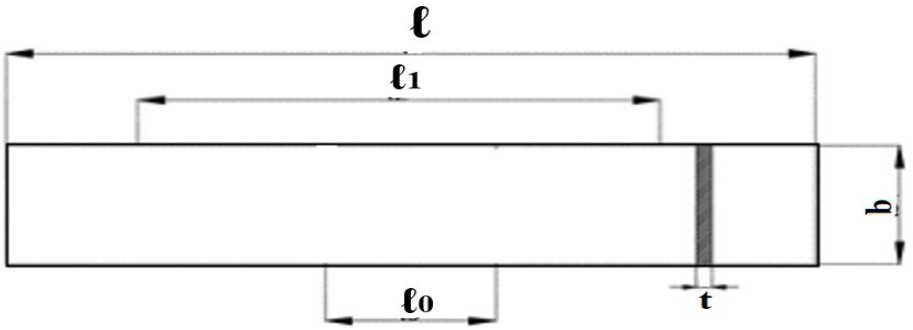
Polimer kompozit materialların fiziki-mexaniki xassələrini öyrənmək üçün təcrübələrin planı

№	Faktor	Materiallar	Test növü	QOST
1	Möhkəmləndirici elementlərin diaqramı	EMC-600 markalı şüşəparça EWR 580 markalı poliefir qatranı "Yarkopol-110"	Uzatma	11262-2017
			Sıxılma	4651-2014
			Əyilmə	4648-2014
2	Yapışdırıcının növü (qatran)	EMC-600 markalı şüşəparça poliefir qatranı "Yarkopol-110", epoksid qatranı "ED-20" , vinilefir qatranı "Crystic VE 679 PA"	Uzatma	11262-2017
			Sıxılma	4651-2014
			Əyilmə	4648-2014
3	Möhkəmləndirici elementlərin təbəqələrinin sayı	EMC-600 markalı şüşəparça, poliefir qatranı "Yarkopol-110"	Uzatma	11262-2017

Polimer kompozit materialların mexaniki sınaqlarının aparılması aşağıdakı əməliyyatları əhatə edir: xarici qüsurları olmayan nümunələrin seçilməsi; nümunələrin həndəsi parametrlərinin ölçülməsi; sertifikatlaşdırılmış sınaq maşınlarında təcrübələrin aparılması və nəhayət nəticələrin statistik emalı. Gərginlik, sıxılma və əyilmədə polimer kompozit materialların mexaniki sınaqları 25.600 seriyalı standartlarda göstərilmişdir.

Nümunələr üç nöqtədə (ortada və kənarlar boyunca) ölçüldü və orta qiymət MK 25-1 QOST 6507-90 mikrometri və ŞTs-1-125-01 QOST166-89 kalibrindən istifadə edərək qeyd edilmişdir. Polimer kompozit materialların mexaniki xüsusiyyətlərinin öyrənilməsi Dəniz Akademiyasının materialşünaslıq laboratoriyasında aparılmışdır.

Polimer materialların dartılma sınaqları. Şüşə lifləri əsasında PKM-dan hazırlanmış nümunələrin mexaniki dartılma sınağı iki növ nümunənin - düz və ikitərəfli lövhələrin istifadəsini təklif edən QOST 11262-2017-yə uyğun olaraq aparılır. Ən sadə formalı nümunələrdən - cədvəl 6 və şəkil 6-da verilmiş əsas ölçülərə malik nümunələrdən istifadə etmək qərara alınmışdır.



Şəkil 6. *Dartma sınaqları üçün nümunələrin forması*

Cədvəl 4

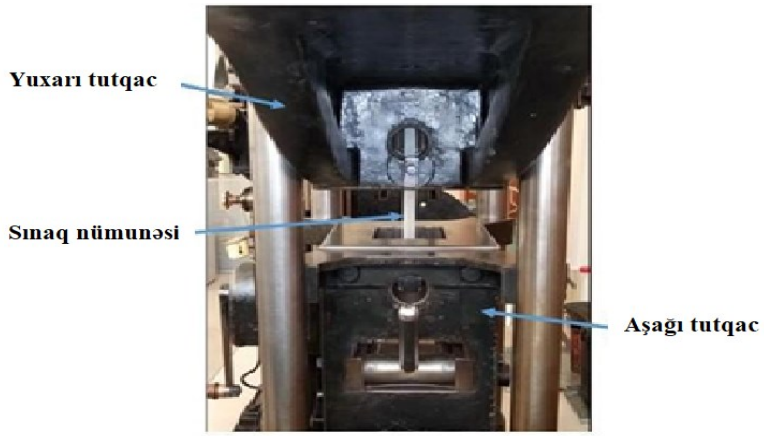
Dartma sınaqları üçün PKM nümunələrinin əsas ölçüləri

Parametr	Qiymət, mm
Ümumi uzunluq ℓ, az olmamalı	250
Nümunədəki sıxacların kənarlarının mövqeyini müəyyən edən işarələr arasındakı məsafə, ℓ_1	170±5
Effektiv uzunluq, ℓ_0	50±1
Nümunənin eni, b	25±1

Hazırlanmış nümunələrin və 50 SZBDA 223 tipli AMSLER sınaq maşınının ümumi görünüşü ümumi görünüşü şəkil 7-də verilmişdir.



Şəkil 7 (a). *50 SZBDA 223 tipli AMSLER sınaq maşınının ümumi görünüşü*



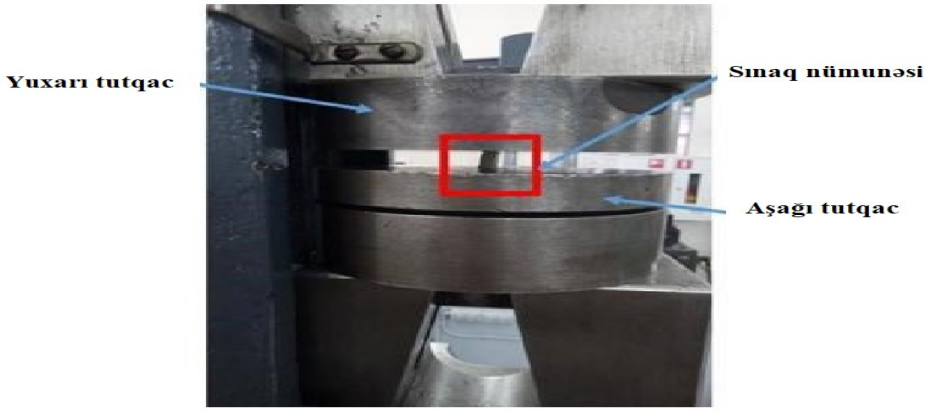
Şəkil 7 (b). *"AMSLER" hidravlik universal maşınında PKM nümunəsinin dartılma sınağı*

Sınaqlar zamanı nümunənin tab gətirdiyi yük nasazlıq anına qədər ölçülür, bu zaman nasazlıq yükü F_{max} qeydə alınır və gərilmə gücü $\sigma_в$ aşağıdakı düsturla müəyyən edilir:

$$\sigma_B = \frac{F_{max}}{A}, \tag{7}$$

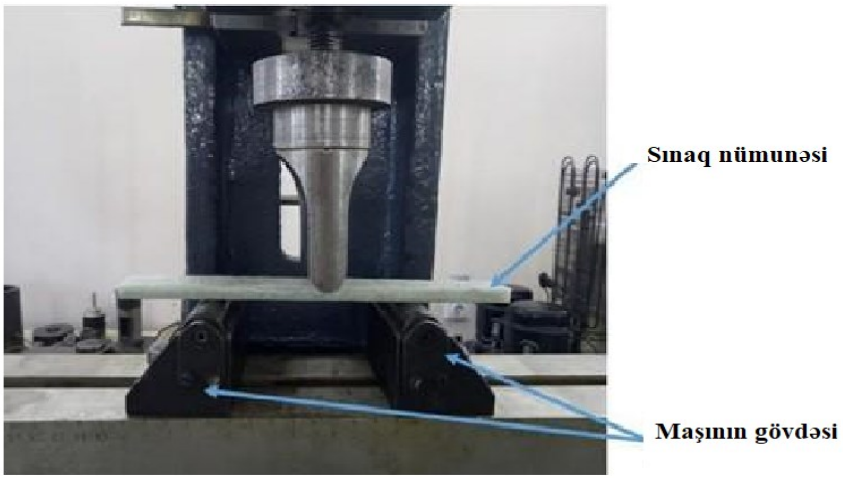
burada F_{max} – qırılma yükü, N; $A = b \cdot t$ – nümunənin en kəsik sahəsidir, mm^2.

Polimer materialların sıxılma sınaqları. İstehsal olunan PKM nümunələrinin sıxılma sınağı R-5 tipli universal sınaq maşınında aparılmışdır. Nümunələrin sıxılma sınağı aşağıdakı kimi aparılır. Nümunə dayaq platformaları arasında elə yerləşdirilir ki, onun mərkəzi şaquli oxu dayaq platformalarının səthlərinin mərkəzi oxu ilə üst-üstə düşsün və nümunənin uclarının dayaq platformalarının səthlərinə paralel olmasını təmin etmək lazımdır. Test nümunələri şəkil 8-də göstərilmişdir.



Şəkil 8. *R-5 maşınında PKM nümunələrinin sıxılma sınağı*

Polimer materialların əyilmə sınaqları. Sınaqlar zamanı uzunluğu 200 mm və eni 20 mm olan küncləri yuvarlaqlaşdırmadan düzbucaqlı nümunələrdən istifadə edilmişdir. Təcrübələri həyata keçirməzdən əvvəl sınaq maşını iki dayağın hərəkət edə biləcəyi travers və sınaq nümunəsində yük yaradan bir uc ilə təchiz edilmişdir. Bu nümunənin dayaqlar üzərində sərbəst uzanan yuxarı səthi yükləmə ucu ilə təmasda olur və dağılana qədər dayaqlar arasında ortadan yüklənir (şəkil 9).



Şəkil 9. *R-5 maşınında əyilmə üçün PKM nümunələrinin sınaqdan keçirilməsi*

Əyilmə zamanı PKM nümunələrinin dartılma qüvvəsi aşağıdakı düsturla müəyyən edilir:

$$\sigma_v^i = \frac{3F_{max}^i \cdot L_{мо}}{2 \cdot b \cdot t^2} \tag{8}$$

burada F_{max}^i – əyilmə üçün nümunələri sınaqdan keçirərkən qırılma yükü, N;

L_{mo} – dayaqlar arasındakı məsafə, mm;

b – nümunənin eni, mm;

t – nümunənin qalınlığı, mm.

Nəticə. Beləliklə, gəminin üst tikililərinə düşən cari yüklərin təhlili göstərir ki, ağırlıq qüvvəsi, külək təzyiqinin qeyri-inersial xarakterli aerodinamik qüvvəsi və əyilmə nəticəsində ətalət qüvvələri dalğalı dənizlərdə gövdənin orbital hərəkəti ilə birləşərək üst tikilinin strukturunda, xüsusən də metal gövdə ilə birləşmələrdə əsas gərginlik mənbəyi kimi çıxış edir. Kontakt qəlibləmə texnologiyasından istifadə edərək üst tikililərin istehsalı üçün polimer kompozit materialların əsas komponentləri seçilmiş və şüşə liflər möhkəmlik, əlçatanlıq və qiymət baxımından gücləndirici element kimi istifadə olunmuşdur. Standartlara və Registirin tələblərinə uyğun olaraq polimer kompozit material nümunələrinin sınaqdan keçirilməsi üsulları gəmilərin üst tikililəri üçün tətbiq olunan materialların möhkəmliyi və yorğunluğunu qiymətləndirmək üçün əsaslandırılmışdır.

Ədəbiyyat

1. Правила классификации и постройки морских судов Часть II. Корпус. – СПб: Российский морской регистр судоходства. – 2019. –280 с.
2. Александров В.Л., Глозман М.К., Матлаз А.П., Поляков В.И. Проектирование конструкций надстроек транспортных судов: Учеб. пособие.СПБ.: Изд. центр СПБГМТУ, 1997. – 63 с.
3. Shenoi R. A. Composite materials in maritime structures, Volume 1: Fundamental Aspects [Текст]/ R. A. Shenoi, J. F. Wellicome. – New York: shipbuilding,2010, – 338 c.
4. Конкин А. А. Свойства и области применения композиционных материалов на основе углеродных волокон. / А. А. Конкин, В. Я. Варшавский // Химические волокна. 1982. - №1. - с. 4 - 9.

5. Трясунов. В.С. Полимерные композиционные материалы на основе винилэфирных смол и вакуумная технология изготовления на их основе современных судовых корпусных конструкций: дис.…канд. техн.наук:05.16.09/Трясунов Владимир Сергеевич. СПБ., 2018. - 165с.
6. Углеродные волокна / Под ред. Симамуры, пер. с яп. под ред. Э. С. Зеленского. – М.: Мир, 1987. –304 с.
7. Горюнова. В.Н. Рынок углеродного волокна /В.Н. Горюнова// композиционный мир. – 2014. – № 1. – с. 28-30.
8. Железина Г.Ф. Конструкционные органопластики / Г.Ф. Железина, Н.Н. Матвеева, Г.П. Машинская //Авиационные материалы технологии. Выпуск: Полимерные композиционные материалы. – 2002. – с. 58-63.
9. Кутейников М.А. Разработка новых правил по конструкции и прочности морских судов из полимерных композиционных материалов/М.А. Кутейников, С.М. Кордонец, Н.Н. Федонюк//Научно-технический сборник российского морского регистра судоходства. – 2017. – № 46-47. –с. 64-71.
10. Правила классификации и постройки морских судов. Часть XVI. Конструкция и прочность корпусов судов из полимерных композиционных материалов. – СПб: Российский морской регистр судоходства. – 2019. –151 с.

Məqalə qəbul olunub: 29.10.24
Tövsiyə edib: dos. Xankişiyev İ.A.

УДК 621.436

ОЦЕНКА РЕОЛОГИЧЕСКИХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ТЕХНОЛОГИИ ГАЗОСТАТИЧЕСКОГО ПРЕССОВАНИЯ

Оруджов Ф.С., Ханкишиев И.А., Исмаилов Н.Ш.

ПЮЛ«Азербайджанская Государственная Морская Академия»
AZ1000, г. Баку, ул. З.Алиевой, 18
E;-mail: isaq_x@mail.ru

Аннотация. *Рассмотрена методика оценки реологических коэффициентов при проектировании технологических процессов горячего изостатического прессования (ГИП) порошковых материалов. Предложена упрощенная модель технологических режимов горячего изостатического прессования, которая структурно включает взаимодействие математических моделей верхнего и нижнего уровней. Указано, что при применении модели верхнего уровня для получения адекватного математического описания необходимо как можно более точно знать реологические коэффициенты, определяющие кинетику уплотнения. Определено, что решение этой задачи возможно методом конечных элементов для изделий сложной конфигурации.*

Установлено, что для преодоления трудностей, связанных с применением модели верхнего уровня необходимо использовать нижний уровень моделирования, включающий упрощенную и одномерную модели. При этом в условиях всестороннего сжатия тензоры напряжений, деформаций и скоростей деформаций являются шаровыми тензорами.

Указано, что модель верхнего уровня можно использовать в диалоговом режиме, позволяющем задав исходные данные процесса, получить полную информацию о его ходе и результатах, а в случае необходимости – скорректировать свои действия.

Установлено, что применение моделей нижнего уровня с аппаратом оптимизации позволяет серьезно сужать область поиска технологических решений, тем самым получить наиболее достоверные и ускоренные информации.

Xülasə. *Ovuntu materiallarının qaynar izostatik preslənməsi (QİP) texnoloji proseslərinin layihələndirilməsi zamanı reoloji əmsalların təyini metodologiyasına baxılmışdır. Qaynar izostatik presləmənin texnoloji rejimlərinin sadələşdirilmiş modeli təklif olunur ki, bu da strukturca yuxarı və aşağı səviyyələrin riyazi modellərinin qarşılıqlı təsirini ehtiva edir.*

Göstərilir ki, yüksək səviyyəli modeldən istifadə edərkən adekvat riyazi təsviri əldə etmək üçün sıxılma kinetikasını müəyyən edən reoloji əmsalları mümkün qədər dəqiq bilmək lazımdır. Müəyyən edilmişdir ki, bu məsələnin həlli mürəkkəb konfiqurasiyalı məhsullar üçün sonlu elementlər metodundan istifadə etməklə mümkündür.

Müəyyən edilmişdir ki, yuxarı səviyyəli modeldən istifadə ilə bağlı çətinlikləri aradan qaldırmaq üçün sadələşdirilmiş və birölçülü modellər də daxil olmaqla daha aşağı səviyyəli modelləşdirmədən istifadə etmək lazımdır. Bundan əlavə, hərtərəfli sıxılma şəraitində gərginlik, deformasiya və deformasiya dərəcəsi tenzorları sferik tenzorlardır.

Göstərilir ki, yuxarı səviyyəli model interaktiv rejimdə istifadə edilə bilər ki, bu da prosesin ilkin məlumatlarını təyin etməklə onun gedişi və nəticələri haqqında tam məlumat əldə etməyə və lazım olduqda hərəkətləri tənzimləməyə imkan verir.

Müəyyən edilmişdir ki, optimallaşdırma aparatı ilə aşağı səviyyəli modellərin istifadəsi texnoloji həllərin axtarış sahəsini ciddi şəkildə daraltmağa və bununla da ən etibarlı və sürətləndirilmiş məlumat əldə etməyə imkan verir.

Abstract. *The article analyzes a method for determining rheological coefficients in designing hot isostatic pressing (HIP) technological processes for powder materials. A simplified model of hot isostatic pressing technological modes is proposed, which structurally includes the interaction of upper and lower level mathematical models.*

It is indicated that when using the upper level model to obtain an adequate mathematical description, it is necessary to know the rheological coefficients that determine the compaction kinetics as accurately as possible. It is determined that this problem can be solved using the finite element method for products of complex configuration. It has been established that in order to overcome the difficulties associated with the use of the upper-level model, it is necessary to use the lower-level modeling, including simplified and one-dimensional models. In this case, under conditions of all-round compression, the stress, strain and strain rate tensors are spherical tensors.

It has been indicated that the upper-level model can be used in a dialog mode, which allows, by specifying the initial data of the process, to obtain complete information on its progress and results, and, if necessary, to correct your actions.

It has been established that the use of lower-level models with the optimization apparatus allows you to significantly narrow the search area for technological solutions, thereby obtaining the most reliable and accelerated information.

Ключевые слова: *методика, реологические коэффициенты, технологические режимы, горячего изостатического прессования, порошковые материалы, математические модели*

Açar sözlər: *metodologiya, reoloji əmsallar, texnoloji rejimlər, qaynar izostatik presləmə, ovuntu materialları, riyazi modellər*

Key words: *methodology, rheological coefficients, technological modes, hot isostatic pressing, powder materials, mathematical models*

Введение. Ранее было отмечено [1], что при проектировании технологических процессов и режимов горячего изостатического прессования (ГИП) порошковых материалов, наряду с решением системы уравнений, описывающие влияние на процесс уплотнения таких факторов, как неравномерное распределение температуры, форма, материал капсулы и т.д. (модель

«верхнего» уровня), необходимо использовать упрощенные модели «нижнего» уровня, так как полученные на основе таких моделей результаты, качественно отражая ряд закономерностей процесса, позволяют решать некоторые вспомогательные задачи [2].

Рассмотрим кратко основные упрощения и алгоритмы решения задач. Прежде всего отметим, что в обеих рассматриваемых далее моделях влиянием капсулы будем пренебрегать. В условиях всестороннего сжатия тензоры напряжений, деформаций и скоростей деформаций являются шаровыми тензорами.

Граничные условия по давлению и температуре задаются параметрами цикла [3]:

$$P_e = P_e(t) \text{ и } \theta_e = \theta_e(t).$$

Указанная упрощенная модель описывает уплотнение сжимаемой среды в «точке» при указанных условиях. Кроме того, температура является функцией только времени. Полная система уравнений преобразуется следующим образом [4]:

$$\sigma_0 = -P_e(t) \tag{1}$$

уравнение равновесия (σ_0 – среднее напряжение):

$$D = D_0 \exp\left(\int_0^t -3\xi_0 d\tau\right) \tag{2}$$

уравнение неразрывности (D - относительная плотность):

$$\xi = \sigma_0 / R \tag{3}$$

определяющее соотношение (ξ_0 – средняя скорость деформации; R-коэффициент объемной вязкости) [5]:

$$\theta_e = \theta_e(t) \tag{4}$$

уравнение теплопроводности (θ – температура).

Представим поверхность нагрузки в форме

$$\sigma_0 = f_2^*(1 + C_1 \xi_0^{D_1})\sigma_S, \tag{5}$$

где f_2^* – функция пористости по [114] выражаемая, например, как

$$f_2^* = D^A / B(1-D)^C, \tag{6}$$

σ_S – сопротивление деформации материала в комнатном состоянии, при заданной постановке зависящее только от температуры [6]:

$$\sigma_S = \sigma_{S_0} \cdot e^{-R\theta} \tag{7}$$

С учетом (5) и (7) уравнение (1) примет вид

$$P_e(t) = \sigma_{S_0} \cdot f_2^* \cdot (1 + C_1 \xi_0^{D_1}) \cdot e^{-R\theta}. \tag{8}$$

Отметим, что соотношение (5) учитывает уплотнение и за счет скорости, с которой оно происходит. Т.е. даже в этой простейшей модели учитывается объемная вязкость среды, что и позволяет с использованием уравнений (3) - (5), (7) построить кинетическую кривую уплотнения $D = D(t)$ на основании уравнение (8).

Для функционирования упрощенной модели необходимо задать коэффициенты, характеризующие реологические свойства среды A_1. B_1, C_1, C_1, D_1, R. Эти коэффициенты в дальнейшем будут использованы в модели верхнего уровня. Для их определения нами предлагается следующий способ.

В работе [7] описана методика расчета уплотнения в процессе ГИП по результатам экспериментов на дилатометре по деформации отдельной частицы между двумя параллельными пластинами при постоянной нагрузке f. Допущение о том, что материал из зоны деформаций распределяется равномерно по свободной поверхности, тем самым как бы увеличивая радиус частиц (с R_0 до R), и плотность, дало возможность установить через степень усадки h и радиус зоны контактах связь между прилагаемым внешним давлением $P_e(t)$ и получаемой относительной плотностью $D(t)$:

$$D = D_0 + 2\frac{h}{R_0}\left(1+\frac{h}{R_0}\right), \tag{9}$$

$$P_e = \frac{(f/\pi x^2)\cdot D^2\cdot(D-D_0)}{1-D_0}, \tag{10}$$

где
$$x = \left\{2\left[h+(R-R_0)\right]R-\left[h+(R-R_0)\right]^2\right\}^{1/2}, \tag{11}$$

$$R = \left\{\left[\frac{2}{3}R_0^3+\frac{1}{3}(R_0-h)^3\right]\Big/(R_0-h)\right\}^{1/2} \tag{12}$$

Таким образом, на диаметре сжимается зависимость $h = h(t)$ при постоянных f и θ. Используя соотношения (9) - (12) и исходные значения K_0 и D_0, можно построить искомую кинетическую кривую $D = D(t)$ при известных внешних параметрах $\theta_e = const$ и $P_e(t)$. Ввиду того, что f во время опыта постоянна, а x возрастает, зависимость $P_e(t)$ изменяется незначительно и в связи с увеличением D также имеет тенденцию к росту [8].

Методика оценки реологических коэффициентов. Следующий шагом является подбор указанных реологических коэффициентов таким образом, чтобы расчетная зависимость $D = D(t)$, полученная с помощью упрощенной модели, как можно лучше совпала с экспериментальной при известных $P_e = P_e(t)$ и $\theta_e = \theta_e(t)$. Коэффициенты подбираются с использованием методов идентификации [9].

Эффект линейной усадки исследовали на прецизионном дилатометре модели L 75/20 фирмы «Линсейз» (Германия) применительно к стружковым порошкам стали **X12.** Нагрузку на образец устанавливали при помощи винтовой передачи, поджимающей калиброванную пружину.

Выход и поддержание температуры на заданном уровне (печь сопротивления с нагревателем из карбида кремния) осуществляли с погрешностью не более 1 град. Деформацию образца-порошка регистрировали при максимальном увеличении в 100.000раз. Во время испытания давление в камере составляло $6{,}6\cdot10^{-3}$МПа. Использовали стружковые порошки диаметром 200мкм, которые подвергали нагрузке силой 0,6; 0,8 и 1 Н при температурах 900,1000 и 1100^0С и времени выдержки до 60 мин.

Процесс усадки исследовали с помощью оснастки в виде стержней диаметром 6 и длиной 15мм, между торцевыми поверхностями которых помещался порошок. Стержни были вырезаны из крутка кварца марки КУ-2. Учитывали собственный ход дилатометра, тепловое расширение порошка и другие факторы, влияющие на точности получаемых данных.

Обсуждения результатов. Первичная информация в виде кривых $h = h(t)$ при указанных нагрузках представлена на рис. 1. При 900^0C усадка была незначительной. Полученные результаты пересчитывали по описанной выше методике зависимости $D = D(t)$ (рис. 2) и использовали при упрошенной модели. Таким образом, в итоге найдены необходимые для модели «верхнего» уровня значения реологических коэффициентов.

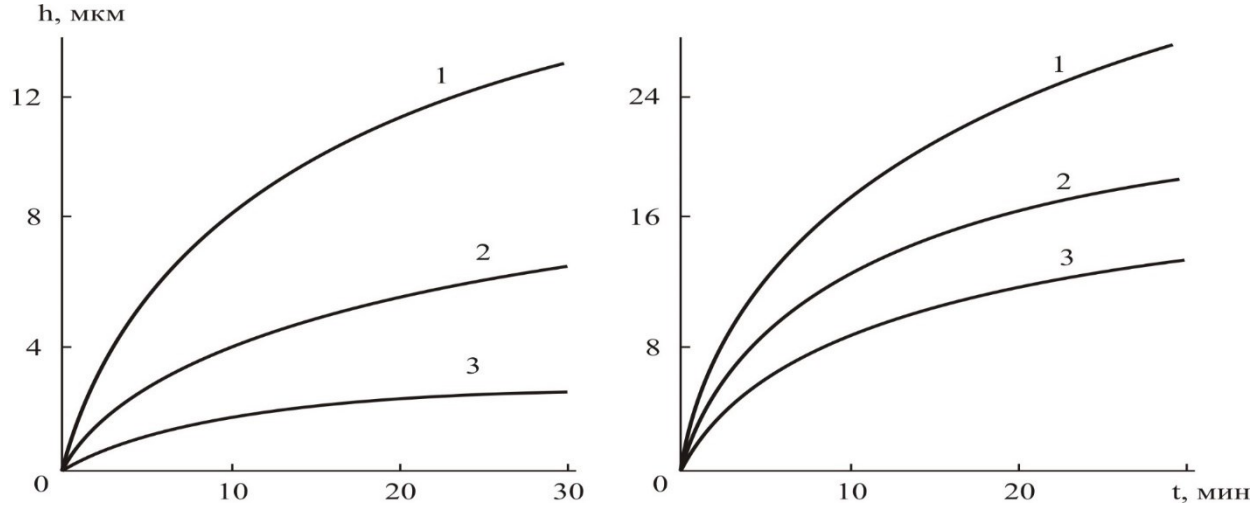


Рис. 1. Усадка стружкового порошка стали Х12 при нагрузке *1(1), 0,8(2) и 0,6Н(3), здесь и на рис. 2: $\theta_n = 1000$ (а), 1100^0C(б*

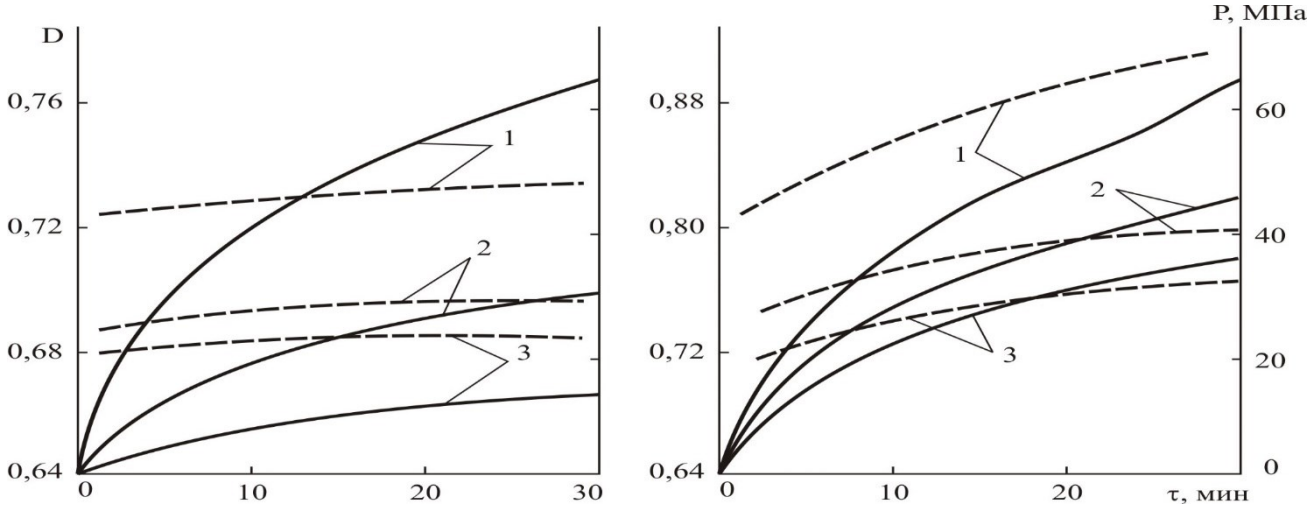


Рис. 2. Кривая уплотнения при ГИП, рассчитанная по усадке гранул сплава ЭП741НП: *f=1, 0,8 (2) и 0,6Н (3), пунктир-соответствующее давление прессования*

Таким образом, в одномерной модели реализован подробно изложенный в работах [8-10] дискретный подход, которые позволяет учитывать вклад различных механизмов уплотнения. В нашей постановке алгоритм поиска решения системы уравнений выглядит следующим образом.

Рассматривается Лагранжева координата *x*, на очередном временном шаге методом конечных элементов интегрируется уравнение теплопроводности. Граничные условия 1 рода для этого уравнения можно получить из задания цикла по температуре процесса ГИП в виде

$$\theta^* = \theta_i^* N_i(t),$$

где N_i - Лагранжева полином первого порядка; θ_i^* – температура в рассматриваемой момент времени.

Получив данные о распределении температуры по одномерному очагу деформации, интегрируем кинетическое уравнение уплотнения, в которое входят распределения температуры, плотности и величина внешнего давления из цикла прессования в виде

$$P^* = P_i^* N_i(t)$$

где P_i^* – давление в рассматриваемый момент времени.

Пути решения этого уравнения, кроме распределения плотности, можно также рассчитать величину вектора скорости в узловых точках и их новые Лагранжева координаты. Указанный процесс, который повторяется на следующих шагах по времени до момента окончания цикла, позволяет построить искомые зависимости

$$D = D(x,t) \text{ и } \theta = \theta(x,t).$$

Расчеты по данной модели, реализованной в виде компютерной программы, не требуют больших затрат времени. Следовательно, модель на первом этапе может быть включена в систему оптимизации в целях существенного сужения области поиска решения на заключительном этапе проектирования технологии ГИП. Подробно взаимодействие моделей нижнего и верхнего уровней рассматривается ниже.

Основной частью системы проектирования технологических параметров процесса ГИП является его математическое описание, которое представлено наиболее полной и точной моделью «верхнего» уровня и более упрошенными моделями «нижнего» уровня.

Очевидно, систему проектирования целесообразно разрабатывать, ориентируюсь на вычислительную технику, которая, с одной стороны, получила широкое распространение на предприятиях и в проектных организациях, а с другой - обладает достаточно широкими функциональными возможностями и ресурсами.

В рамках предлагаемой системы модель «верхнего» уровня используется в диалоговом режиме, который позволяет, задав исходные данные процессе ГИП, получить полную информацию о его ходе и результатах, а в случае необходимости - скорректировать свои действия. Область варьирования параметров процесса ГИП очень обширна.

В некоторых случаях ее сужение, основываясь на свои знания о процессе, может осуществить эксперт, но во многих ситуациях этого сделать невозможно. Например, при необходимости достичь заданной, но не максимально возможной плотности. Использование моделей «нижнего» уровня с применением аппарата оптимизации позволяет значительно уменьшить область поиска приемлемых технологических решений.

Заключение. Таким образом, предложена упрощенная модель технологических режимов горячего изостатического прессования порошковых материалов, которая предусматривает учет дискретного и континуального направлений в математическом моделировании: Такое представление системы проектирования технологических процессов структурно включает взаимодействие математических моделей верхнего и нижнего уровней.

При применении модели верхнего уровня для получения адекватного математического описания необходимо как можно более точно знать реологические коэффициенты, определяющие кинетику уплотнения. Решение этой задачи возможно методом конечных элементов для изделий сложной конфигурации.

Для преодоления трудностей, связанных с применением модели верхнего уровня необходимо применить нижний уровень моделирования, включающий упрощенную и одномерную модели. При этом в условиях всестороннего сжатия тензоры напряжений, деформаций и скоростей деформаций являются шаровыми тензорами.

В рамках предлагаемой системы модель верхнего уровня можно использовать в диалоговом режиме, позволяющем задав исходные данные процесса, получить полную информацию о его ходе и результатах, а в случае необходимости - скорректировать свои действия.

Применение моделей нижнего уровня с применением аппарата оптимизации позволяет серьезно сужать область поиска технологических решений, тем самым получить наиболее достоверные и ускоренные информации.

Данная работа выполнена при финансовой поддержке Фонда Науки Азербайджана – ***Грант № AEF-MGC-2024-2(50)-16/01/1-M-01***

Литература

1. Выдрин В.Н., Смолин А.П., Крайнов В.И. и др. Установка для исследования сопротивления деформации металлов и сплавов при прокатке // Сталь, 1990, №2, с.85-87
2. Друянов Б.А. Прикладная теория пластичности пористых тел. М.: Машиностроение, 1999,168с.
3. Зенкевич О., Мерган К. Конечные элементы и аппроксимация. М.: Мир, 1986, 318с.
4. Лаптев А.М. Расчет процессов уплотнения пористых материалов на основе теории ползучести // Технология легких сплавов, 1992, №7, с.16-20
5. Распыление быстрорежущей стали водой // А.Ф. Санин, Д.М.Карикос, В.И.Калиниченко, В.А.Доморацкий // Порошковая металлургия.-1983; №12, с.1-3
6. Скороход В.В., Штерн М.Б., Мартынова И.Ф. Теория нелинейно-вязкого и пластического поведения пористых материалов // Порошковая металлургия, 1997, №8, с.23-30
7. Abonaf M., J.L.Chenot, G.Raisson, P.Bauduin //I bid, p.191-212/. Finite element Simulation of hot isostatic pressing of metal powder
8. Zienriewiez O.C. The fimite element method. London:Me Grw. Hill, 1997, 787p.
9. Microstructural development and densitication during hipping of ceramics and metals/W.A.Kaysser, M.Aslan, E.Arztet al//Powd. Met., 1998,31, №1, p.63-69
10. Shima S., Oyane M. Plastisity theory for parous metals//Int. J.Mech,Sci, 1986, 18, №6, p.285-291

Məqalə qəbul olunub: 29.10.24
Tövsiyə edib: t.e.d., prof. Məmmədov A.T.

UOT 621.9

SİSTEMLİ ANALİZ ƏSASINDA SURƏTKÖÇÜRMƏ İLƏ DİŞPARDAQLAMA SƏMƏRƏLİLİYİNİN DOLAYI YOLLA YÜKSƏLDİLMƏSİ

Rəsulov N.M., Məmmədov Ə.S., Ələkbərov M.Z.

Azərbaycan Texniki Universiteti
AZ 1073, Bakı şəh., H.Cavid pr., 25
E-mail: mursal.alakbarov@mail.ru

Xülasə. *Fasonlu yastı səthlərin yüksək istismar keyfiyyətini təmin etməsi üçün onlar surətköçürmə ilə pardaqlanırlar. Dişin işçi profilinin surətköçürmə ilə pardaqlanma səmərəliliyinin yüksəldilməsi dişli çarx və dişli çarx ötürmələrindən istifadənin yüksək əlverişliliyini təmin edir. Məqalədə fasonlu diş profillərini surətköçürmə ilə pardaqlama əməliyyatının sistemli analizi aparılmiş və onun səmərəliliyinin yüksəldilməsi məsələsinə baxılmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, diş profillərini surətköçürmə ilə pardaqlama səmərəliliyini yüksəltmə istiqamətlərindən biri onun dolayı yolla idarə edilməsidir. Dişpardaqlama ilə funksional əlaqədə olan aralıq, alt sistemlər araşdırılır, onlarda pardaqlama səmərəliliyini yüksəltməyə zəmin yaradan amillər, əlaqələr təyin edilir və onların idarə olunma mənbə və mexanizmləri göstərilir. İşlənmiş metodikadan istifadə etməklə, dişpardaqlamaaltı emal payının qiymətinin formalaşma əsasları və onun istehsalatda sınağının nəticəsi təqdim olunur.*

Abstract. *In order to ensure high operational quality of shaped flat surfaces, they are grinded using copying methods. Increasing the efficiency of grinding the working profile of a tooth through copying ensures the high reliability of gear and gearwheel transmissions. The article presents a systematic analysis of the grinding operation of shaped tooth profiles using copying and examines ways to increase its efficiency. It has been determined that one of the directions for increasing the efficiency of tooth profile grinding through copying is its indirect control. The intermediate and subsystem components that are functionally related to tooth grinding are investigated, and factors and relationships that contribute to increasing grinding efficiency are identified, along with their control sources and mechanisms. Using the developed methodology, the foundation for forming the cost of the tooth grinding allowance and the results of its industrial testing are presented.*

Аннотация*. Для обеспечения высокого эксплуатационного качества фасонных плоских поверхностей их шлифуют методом копирования. Повышение эффективности шлифовки рабочего профиля зуба путем копирования обеспечивает высокую эффективность использования зубчатых колес и передач. В статье приведено результаты системного анализа операции шлифования рабочих профилей зубьев копированием и рассмотрен вопрос повышения ее эффективности. Определено, что одним из направлений повышения эффективности шлифовки профилей зубов копированием является его управление косвенными путями. Анализированы промежуточные подсистемы, функционально связанные с зубошлифовкой, определены в них факторы и связи, создающие основу повышения эффективности шлифовки, и показаны источники и механизмы их управления. С использованием разработанной методики представлены основы формирования величины припуска для шлифования зубьев и результат ее апробации на производстве.*

Açar sözlər: *fasonlu, yastı profil, dişpardaqlama, surətköçürmə, sistem analizi, emal payı, səmərəlilik*

Key words: *shaped flat profile, gear grinding, copying, system analysis, allowance, efficiency*

Ключевые слова: *фасонный, плоский профиль, зубошлифование, копирование, системный анализ, припуск, эффективность, косвенный, повышение*

Giriş. Dişli çarxlar və dişli çarx ötürmələri çox geniş çeşidli təyinata və yüksək dəqiqliyə malikdirlər. Onlar yüksək istismar göstəriciləri, stabil çıxış parametrləri təmin edirlər, yüksək etibarlılığa malikdirlər və onların f.i.ə yüksəkdir. Buna görə də onlardan texniki və texnoloji təyinatlı avadanlıq, qurğu və s-də, o cümlədən gəmiçilik texnikasında, gəmiqayırmada geniş istifadə olunur [1-5].

Cəmiyyətin fasiləsiz inkişafı istifadə olunan texniki vastələr, onların texniki və texnoloji səviyyələrinin müvafiq inkişafını tələb edir. O, cümlədən dişli çarxların istehsal keyfiyyətlərinin, iş resurslarının yüksəldilməsi, texnoloji maya dəyərinin azaldılması məsələləri öz daimi aktuallığını saxlayır. Bu konteksdə, yüksək nəticələr almaq üçün yalnız surətköçürmə ilə dişpardaqlama əməliyyatının idarə olunması və onun texnoloji imkanlarından istifadə edilməsi məhdudiyyət təşkil edir [6-8]. Ona görə də, surətköçürmə ilə dişpardaqlama (SKDP) səmərəliliyinin yüksəldilməsində onunla əlaqədə olan, onu önləyən əməliyyatların dişpardaqlama prosesinin nəticələrinə irsi keçmə ilə təsiri diqqətdən kənarda qalmamalıdır. Beləliklə, onların idarə edilməsi də dişpardaqlama səmərəliliyinin təmin edilməsinin tərkib hissələrindən olmalıdır. Bunun üçün dişpardaqlama sistem kimi qəbul edilməli, onunla funksional əlaqədə olan alt sistemlər təyin edilməli, araşdırılmalı, müvafiq istiqamətdə idarə olunmalı və verilmiş şərait üçün ən əlverişli texniki və texnoloji tədbirlər işlənilməlidir.

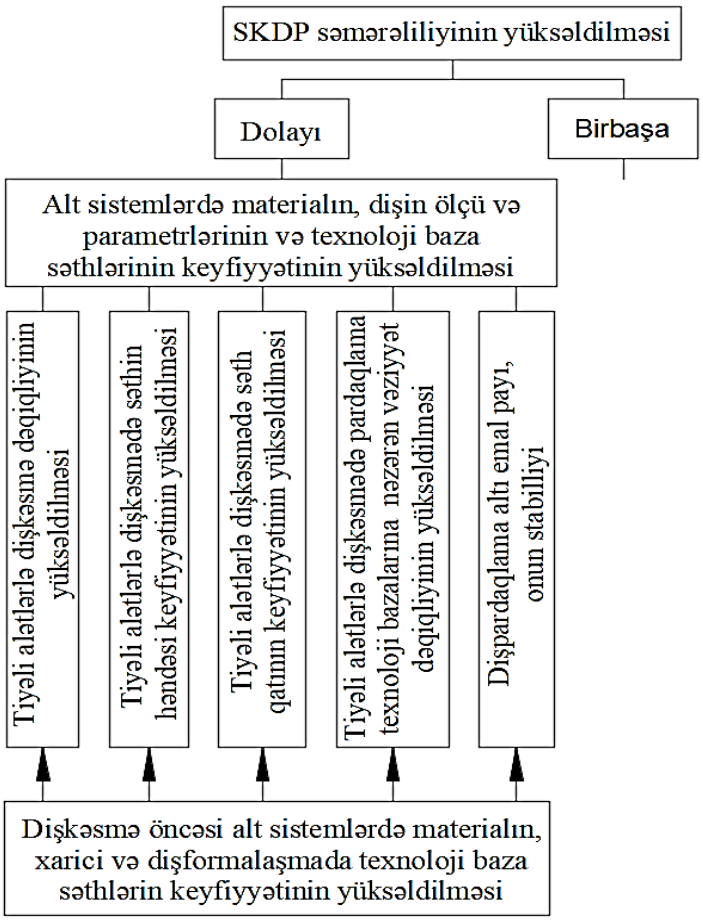
Dişpardaqlamanın sistem analizi əsasında, nəinki əməliyyatın özünə məxsus, həm də, onu önləyən əməliyyatlara məxsus mütərəqqi, innovativ tədbirlərin aşkar edilməsi, üsul və vasitələrin işlənməsi ən əlverişli idarə etmə mexanizmini təşkil edir [9-10].

Problemin qoyuluşu. Dişli çarxların hazırlanmasında dişlərin surətköçürmə ilə pardaqlanması bir sıra texnoloji və köməkçi əməliyyatlardan sonra yerinə yetirilir: pəstahalma, termiki emal, fırlanma səthlərinin torna emalı, dişkəsmə və s. Müxtəlif səthlərin emalının müxtəlif mərhələlərdə aparılmasına baxmayaraq, səthin son əməliyyatdakı emalı və onun çıxış parametrləri ilə ön mərhələdəki əməliyyatlar və çıxış parametrləri arasında müəyyən xarakterli əlaqələr təsirdə olur [6, 8, 11, 12]. Ümumilikdə, mərhələlər arasında olan biri-biri ilə əlaqəli konustruktiv, texnoloji, statiki, kinematiki, dinamiki və s. əlaqələr, elementlər və onlarda baş verən çevrilmələr mürəkkəb sistem təşkil edir [6, 11-14]. Dişlərin surətköçürmə ilə pardaqlanması onun üst sistemini, onu önləyən və onunla əlaqədə olan başqa tərkib hissələri alt sistemləri təşkil edirlər. Başqa sözlə, dişpardaqlamadan çıxış parametrləri üçün alınan nəticələr sistemin tərkib hissələrində baş verən çevrilmələrlə bağlı olur. Beləliklə, dişpardaqlama səmərəliliyinin təmin edilməsi ilə bağlı məsələlər bu əməliyyata sistemli yanaşma ilə həll edilməlidir.

İşin məqsədi surətköçürmə ilə dişpardaqlamanın sistem analizi əsasında əməliyyatın səmərəliliyinin dolayı üsullarla yüksəldilmə istiqamətlərini müəyyən etmək və onlardan birini sınaqdan keçirməkdir.

Məsələnin həlli metodikası. SKDP texnoloji sisteminin bütövlülük və emerjentlilik xassələrinin gözlənilməsi ilə onun dekompozisiyası aparılmış və sistemin iyerarxiya sxemi tərtib edilmişdir. Sistemin konstruktivlilik, tərkib elementlərinin yönümlülük və qarşılıqlı əlaqə, texnolojilik və məqsədyönümlülük əlamətlərindən istifadə etməkə SKDP səmərəliliyini yüksəltmənin isiqamətləri və həlledici məsələləri seçilmişdir.

Müəyyən edilmişdir ki, SKDP səmərəliliyinin yüksəldilməsi birbaşa, dolayı, həm də eyni zamanda hər iki tədbirlərlə həyata keçirilə bilər (şəkil). SKDP səmərəliliyinin dolayı yüksəldilməsinin mahiyyətini pardaqlanacaq dişli çarx-pəstahda ön yarımsistemlərdə əldə olunan və eyni zamanda üst sistemdə alınacaq nəticələrə pozitiv təsir edəcək texnoloji nəticələr, keyfiyyətin yüksəldilməsi və s., həmçinin, texnoloji proseslərin uyğun çıxış parametrləri arasında irsi keçmə prinsipinin cari diş pardaqlamaya təsiri təşkil edir.



Surətköçürmə ilə dişpardaqlama səmərəliliyinin dolayı yolla yüksəldilməsi istiqamətləri

Dişpardaqlama səmərəliliyinin yüksəldilməsi (DPSY) dolayı yolla material və pəstahalma, fırlanma səthlərinin torna emalı və tiyəli alətlərlə dişkəsmə dəqiqliyinin və diş səthlərinin keyfiyyətlərinin yüksəldilməsi ilə də həyata keçirilə bilər. Belə ki, məsələn, materialın quruluşunun stabilliyinin (xüsusi ilə termiki emaldan sonra) təmin edilməsi pardaqlama zamanı abraziv alətin işinin stabilliyinin təmininə zəmin yaradır, onun yeyilməsinin kəsmə yolundan asılılığı stabil xarakter daşıyır və pardaqlama prosesinin idarə olunma səmərəliliyi yüksəlir.

Tiyəli alətlərlə dişkəsmə keyfiyyətinin yüksəldilməsi isə dişlərin pardaqlanma əməliyyatını yüngülləşdirir, onun cəldliyinin və beləliklə də, səmərəliliyinin yüksəldilməsinə zəmin yaradır. Hesab edirik ki, dişpardaqlama üçün saxlanılan emal payı dişkəsmə əməliyyatında formalaşdırıldığından, onun idarə olunması ilə dişpardaqlama səmərəliliyinin yüksəldilməsi də dolayı üsula aiddir (Şəkil).

Həmçinin, sistemli analizlə müəyyən edilir ki, pardaqlama əməliyyatında emal keyfiyyətinə təsir edən bazalaşdırma xətaları da irsi keçmə kimi çıxış parametrləri ilə səbəb və nəticə əlaqələrində olur. Odur ki, bazalaşdırma xətaları üçün də düzəliş-ötürmə əmsalı anlayışından istifadə olunmalıdır. Çünki, altsistemdə, məsələn torna əməliyyatında alınmış səthlərin biroxluluq xətası bazalaşdırma sxemindən asılı olaraq pardaqlanan səthə ötürmə əmsalı ilə ötürülür. Altsistemlərdə formalaşan bu cür texnoloji əlaqələrin idarə edilməsi ilə üst sistemlərdə əldə olunan səthlərin forma və qarşılıqlı vəziyyət keyfiyyətlərinin təmini ilə bağlı səmərəlilik əldə edilir.

Mövcud ədəbiyyatlarda [8, 12, 15, 16] öncədən emal olunmuş səthlərin cari əməliyyatda və ya gedişdə keyfiyyət parametrlərinin dəyişməsi irsilik prinsipi ilə əlaqələndirilir və düzəliş əmsalı ilə qiymətləndirilir. Odur ki, bu halda üst sistem olan DPSY-də onun alt sistemlərinin idarə edilməsi, onlardakı çevrilmələr vasitəsi ilə üst sistemin səmərəliliyinin yüksəldilməsi sistemli araşdırılmalı,

səmərəliliyin birbaşa yüksəldilməsi imkanları ilə müqayisə edilməli, qiymətləndirilməli və nəticə qəbul edilməlidir.

Qeyd etməliyik ki, alt sistemləri idarə etməklə (köməkçi, səthi formalaşdırma ilə bağlı olmayan tədbirlərlə) məhsuldarlığın artırılması, avtomatlaşdırma və s. kimi tədbirlər DPSY-nə aid edilə bilməz. Çünki, əgər belə tədbirlər dişpardaqlama ilə bağlı səthin formalaşdırılması ilə nəticələnirsə, onda onların nəticəsi formalaşan səthin göstəricilərində əks edilmiş olur.

Dişpardaqlama üst sisteminin səmərəliliyinin dolayı tədbirlərlə yüksəldilməsi $S(\uparrow)$ iyerarxiya üzrə formalaşma ardıcıllığı üzrə, alt sistemlərdə görülmüş konstruktiv və texnoloji tədbirləri əhatə edir. Bu halda:

$$S(\uparrow) => f(M_i, F_i, \text{Ö}_i, L_i, Y_i, \dots) = \begin{cases} < M_1, F_1, \text{Ö}_1, L_1, Y_1, .. > \\ < M_2, F_2, \text{Ö}_2, L_2, Y_2 \dots > \\ < M_3, F_3, \text{Ö}_3, L_3, Y_3, \dots > \\ < M_4, F_4, \text{Ö}_4, L_4, Y_4, \dots > \end{cases} \quad (1)$$

ilə ifadə oluna bilər. Burada, $M_1, F_1, \text{Ö}_1, L_1, Y_1, \dots$ üst sistemdə, dişpardaqlamada uyğun olaraq material, forma, ölçü, köməkçi hərəkətlər, yerləşdirmə və s.,

$M_2, F_2, \text{Ö}_2, L_2, Y_2, \dots$- dişpardaqlama üst sistemi ilə dişkəsmə alt sistemi arasındakı alt sistemlərdə uyğun olaraq material, forma, ölçü, köməkçi hərəkətlər, yerləşdirmə və s.,

$M_3, F_3, \text{Ö}_3, L_3, Y_3, \dots -$ dişkəsmə alt sistemidə uyğun olaraq material, forma, ölçü, köməkçi hərəkətlər, yerləşdirmə və s.,

$M_4, F_4, \text{Ö}_4, L_4, Y_4, \dots$ - dişkəsmə alt sistemini önləyən alt sistemlərdə uyğun olaraq material, forma, ölçü, köməkçi hərəkətlər, yerləşdirmə və s., idarə edilməsi ilə səmərəliliyin yüksəldilməsidir.

Beləliklə, (1) ifadəsində "matris"in ilk sırası DPSY-nin birbaşa, sonrakı sıralar isə onun dolayı yollarla yüksəldilməsi tədbirlərini ifadə edir. Qeyd etmək lazımdır ki, tələb olunan hallarda (1) ifadəsində hər bir alt sistem ayrılıqda təmsil edilə bilər.

SKDP üzrə aparılmış tədqiqat işlərinin və prosesin sistem analizinin nəticəsi olaraq DPSY-nin dolayı istiqaməti kimi, burada pardaqlamaaltı minimum və maksimum emal paylarının maşınqayırmada qəbul edilmiş həm nəzəri və həm də təcrübi əsaslara söykənən qiymətlərinin təmin edilməsi qəbul edilir.

Məsələnin həlli. Dişpardaqlama üçün təklif edilən emal payı ifadələrində biri-birini təkrarlayan parametrlərdən (məsələn, profili məhdudlandıran ümumi normalın uzunluğu, profilin vəziyyət müsaidəsi və s.) istifadə edilir, fəza xətası (məsələn, dişin isiqamət sapması) minimum emal payının cəbri toplananı kimi qəbul edilmişdir [17]. Əslində isə o, təsadüfi paylandığından emal payının həndəsi toplananı kimi qəbul edilməlidir. Nəticədə, emal payının minimumu böyüdülmüş qiymətlər alır və s.

Silindrik dişli çarxların dişlərinin pardaqlanması üçün emal payının təşkiledicilərinin riyazi modelləri maşınqayırmada qəbul edilmiş metodikaya əsaslanaraq və pardaqlanacaq səthlərdə ön keçiddə-dişkəsmədə formalaşmış forma və yerləşdirmə xətalarını, pardaqlanacaq dişlərdə emal bölgəsində formalaşan yerləşdirmə xətalarını və onların emal payına təsir mexanizmlərini [8, 17, 18] nəzərə almaqla çıxarılmışdır [19]. Bunun üçün, dişli çarxların standart parametr dəstləri, onların mexaniki emal payı ilə əlaqələri baxımından dörd qrupa bölünərək, araşdırılmışdır:

1. Emal payı ilə ümumiləşdirilmiş əlaqələri olan parametrlər. Onlar dişli çarxlarda, dişlərdə bir neçə elementar xətaların ümumiləşdirilmiş formada əlaqəsini kəmiyyətcə ifadə edirlər. Məsələn, dişli çarxın ən böyük kinematik xətası, dişli çarxın bir dövründə ölçülmüş mərkəzlərarası məsafənin dəyişməsi, dişli çarxın tsiklik xətaları və sairə, bu qəbildəndir. Emal payının təyin edilməsi üçün onlardan istifadə edilməsi, məqsədəuyğun hesab edilmir. Çünki, bu halda belə xətaların tərkibindəki

təşkiledicilərdən bəzilərinin minimum emal paylarının düsturunda təkrar istifadəsi ehtimalı yaranır. Bu məqsəd üçün onların ilkin komponentləri daha səmərəli və daha dəqiq nəticələr verəcəkdir.

2. Hər bir diş üçün dişkəsmə və dişpardaqlamaya xas olan, emal payı ilə əlaqəsi olan təkrarlanan, bir-birini tamamlayan, əsasən müstəqil və təsadüfi xətalar-parametrlər. Məsələn, addımın sapması, *k* saylı dişlərin addımlarının toplu xətası, addımın toplu xətası, dişin qalınlığı, ümumi normalın uzunluğunun sapması, başlanğıc konturun sürüşməsi, dişin profilinin xətası və s. Onları eyni tipli, mexaniki emal payına təsir mexanizmi eyni olan, təkrar olunan xətalar qurpuna daxil etmək olar. Bu növ təkrar olunan xətaların içərisindən ən əhəmiyyətlisi-mexaniki emal payına təsiri nisbətən böyük olanı seçilərək, təsir mexanizmi nəzərə alınmaqla emal payının təyinində istifadə edilməlidir. Xətalar dəstində dişin qalınlığı, təqribən addımın yarısına bərabərdir. Hər bir addım həddində dişin addım xətası dişin qalınlıq xətasının iki mislinə bərabər olmalıdır, normalın uzunluğu profil müsaidəsi ilə məhdudlanır və s.

3. Emal payının formalaşması ilə birbaşa əlaqəli, əsasən təkrarlanmayan fərdi parametrlər. Onlar əsasən, dişkəsmə və dişpardaqlama əməliyyatlarının təşkili zamanı yaranan xətalardır. Eyni zamanda funksiya-emal payı ilə arqument arasındakı əlaqə çevrə boyunca müntəzəm dəyişən bir xarakter daşıyır. Belə xətaların başlıca mənbəi pəstahın yerləşdirilməsi və texnoloji sistemin sazlanması zamanı (məsələn, dişin istiqamət xətaları, dişli çarxların yerləşdirilməsində biroxluluq xətaları və dişpardaqlama zamanı dişlərin mövqelərini sazlama xətaları və s.) yaranan xətalardır. Bu parametrlərə həmçinin, dişli çənbərin radial vurması və dişin istiqamət xətalar daxildir. Onlar müstəqil xarakter daşıyan elementar, digər parametrlər ilə təkrarlanmayan, emal payının təşkiledicileri olan elementar komponentlərdir və buna görə də diş pardaqlama üçün emal payının təyin edilməsində onların istifadə edilməsi zəruridir. Üçüncü qrup xətalar müstəqil xarakter daşıyan, elementar, digərləri ilə təkrarlanmayan xətalardır. Odur ki, onlar emal payının təyinində birbaşa iştirak etməlidirlər.

4. Emal payı ilə birbaşa əlaqəsi olmayan parametrlər. Onlar dişli ilişmənin keyfiyyətini səciyyələndirən parametrlərdir. Məsələn, təmas ləkəsinin sahəsi, təmas xəttinin uzunluğu və s. Dördüncü qrupa daxil olan xətalarin formalaşması, əsasən dişli profillərin parametrlırindən deyil, ilişən dişlərin qarşılıqlı vəziyyətindən asılıdır. Onların formalaşmasına ilişmə ilə bağlı, lakin dişli çarxa aid olmayan xətalar da təsir edirlər. Məsələn, reduktorun gövdəsində əsas yuvaların oxlarının biroxluluqdan sapması, mərkəzlərarası məsafənin sapması və s. Odur ki, onlar emal payının təyinində istifadə edilə bilməzlər.

Məlumdur ki, sürətköçürmə ilə dişpardaqlamada texnolaji sistem hər hansı iki qonşu dişin üzbəüz profillərinin pardaqlanması üçün sazlanır. Sonrakı dişlərin pardaqlanması isə hər dəfə pəstahı-dişli çarxı bir dişə uyğun bucaq qədər döndərməklə aparılır [6-8]. Buna görə hesab edirik ki, (və standartlara uyğun olaraq) addımın toplu xətası emal payının formalaşmasında vacib rol oynayır və digər, oxşar parametrləri əhatə edir. Odur ki, mexaniki emal payının maksimum qiymətinin təyinində dişli çarxın addımlarının toplu xətası nəzərə alınmalıdır. Bu xəta həmçinin, dolayı yolla bölgü çevrəsinin diametrinin xətasını ifadə edir və analoji xətalardan ən böyük qiymət alanıdır.

Başlanğıc konturun sürüşməsi dişli çəmbərin radial vurması və profil xətaları göstəriciləri ilə eyni tiplidir. Hesab edirik ki, emal payının təyini dusturunda son iki göstərici nəzərə alınmalıdır, çünki, onlar kəmiyyətcə üstünlük təşkil edirlər.

Ümumi normalın uzunluğu dişin profili ilə hüdudlanır. Profilin vəziyyəti isə müsaidə ilə məhdudlaşır. Buna görə də dişin profil xətasının nəzərə alınması ümumi normalın uzunluğunun emal payının düstura daxil edilməsini istisna edir. Onun nəzərə alınması emal payının minimum qiymətinin süni surətdə böyüdülməsi ilə nəticələnər, dişpardaqlama səmərəliliyi təmin edilməz.

Dişkəsmə və dişpardaqlamadan sonra dişlərin keyfiyyət paramerlərinin formalaşma özəllikləri və həmçinin standart üzrə dişlərin keyfiyyətinə qoyulan tələbləri nəzərə almaqla dişpardaqlamaaltı emal payının minimum və maksimum qiymətlərini təyin etmək üçün analitik ifadələr çıxarılmışdır [19].

Pardaqlamaaltı emal payı üçün işlənmiş və təklif edilən ifadələrdən [19] istifadə etməklə dişkəsmədən 7-ci dəqiqlik dərəcəsində alınmış dişlər üşün pardaqlama emal payı hesablanmışdır: $2Z_{mini} = 0{,}28\ mm$; $2Z_{maxi} = 0{,}31\ mm$;

Sumqayıt texnologiyalar parkında aparılmış təcrübələrdə $2Z_{mini} = 0{,}28\ mm$; $2Z_{maxi} = 0{,}31\ mm$; qəbul edilmiş, tədqiqatlar zamanı pardaqlanma keyfiyyətinin təmin olunduğu müəyyən edilmişdir. Beləliklə, dişpardaqlamaaltı emal payı müəssisədə qəbul edilənə nisbətən 16,7 % az qəbul edilmişdir. Pardaqlama ilə çıxarılan material qatının azalması DPSY-ni təmin edir.

Nəticə. 1. Dişli çarxlarda dişlərin surətköçürmə ilə pardaqlanmasının sistem analizi ilə onun səmərəliliyinin dolayı yollarla yüksəldilməsi metodikası işlənilmiş, səmərəliliyin yüksəldilməsinin dolayı yolları, sistemin formalaşmasının iyerarxiyasını və quruluşunu əks etdirən səmərəliliyin artırılması mənbələri müəyyən edilmiş və ümumiləşdirilmiş formada (1) ifadəsi ilə təqdim edilmişdir.

2. Dişkəsmədən alınan dişlərin çoxsaylı parametrləri, onların formalaşma mexanizmləri ilə dişpardaqlama zamanı çıxarılan material qatı və dişlərin parametrləri arasındakı əlaqələrin sistemli analizi aparılmış, emal payının təşkiledicilərinin riyazi modellərinə daxil edilən parametrlər dəqiqləşdirilmiş, müəssisədə qəbul edilənə nisbətən 16,7% az qəbul edilmiş emal payı sınaqdan keçirilmiş, tələb olunan dəqiqlik və nəticədə, dolayı yolla DPSY təmin edilmişdir.

Ədəbiyyat

1. Abdullayev A.H., Məmmədov R.K., Güməyev M.H. Maşın detalları və konstruksiya etmənin əsasları. Bakı-Elm, 2001, - 450 s.
2. Rikard Hjelm, Linus Everlid, Ellen Bergseth, Florian Reinle, Boris Brodmann, Minghui Tu, Lucas Bard, Jens Wahlström. A multi-perspective method for gear efficiency and contact analysis. Results in Engineering Vol. 20, December 2023, 101582. https://doi.org/10.1016/j.rineng.-2023.101582
3. ISO 1328-2:2020: Cylindrical gears — ISO system of flank tolerance classification. Part 2: Definitions and allowable values of double flank radial composite deviations.
4. ISO 1328-1-2017: Cylindrical gears. ISO system. Flank tolerance classification. Part 1. Definitions and allowable values of deviations relevant to flanks of gear teeth.
5. Rəsulov N.M., Qarşılıqlı əvəzolunmanın əsasları. Ali texniki məktəblər üçün dərslik. Bakı, AzTU, 2015. 382 s. http://web2.anl.az:81/el/Kitab/2016/2015-1861
6. DeGarmo's, Materials and Processes in Manufacturing, (2019). 13th Edition, J. T. Black, Ronald A. Kohser, Edition Wiley, ISBN: 978-1-119-49282-5, May 2019, 896. Materials and Processes in Manufacting May-2019
7. Технология производства и методы повышения качества зубчатых колес и передач // Под общ. ред. В.Е. Старжинского и М.М. Кане. – СПб: Профессия, 2007, – 832 с.
8. Справочник технолога машиностроителя. В 2-х Т/ Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова и др., Москва: Машиностроение, 2003. -912 с., 944 с.
9. Alan Dennis, Barbara Haley Wixom, Roberta M. Roth, Systems Analysis and Design, John Wiley & Sons, 2014 M11 11 - 448 p. https://books.google.az/books/about/Systems_Analysis_and_-Design.html?id=PxZ6oAEACAAJ&redir_esc=y
10. Mahbubur Rahman Syed, Sharifun Nessa Syed, Handbook of Research on Modern Systems Analysis and Design Technologies and Applications, DOI: 10.4018/978-1-59904-887-1, 2009, 698 p. https://www.igi-global.com/book/handbook-research-modern-systems-analysis/490
11. N.M. Rasulov, U.M. Nadirov, M. Z. Alakbarov. Improvıng the efficıency of grındıng teeth by copyıng wıth the control of dynamıc technologıcal connectıons. / SOCAR Proceedings. Special Issue 1 (2022) 029-035. DOI: 10.5510/OGP2022SI100697. https://proceedings.socar.az/en/journal/85

12. Suslov A.G., Dalsky A.M. Scientific foundations of mechanical engineering technology, M.: Mashinostroenie, 2002. - 684 p. ISBN: 5-217-03108-5. (in Russian). https://b.eruditor.link/file/-895202/
13. Rasulov, N.M., Nadirov, U.M., Alekberov, M.Z. Generalized Assessment of Machined Surfaces Quality. Russ. Engin. Res. 40, 822-825 (2020). https://link.springer.com/article/10.3103/-S1068798X20100202
14. Rasulov, N.M., Alekberov, M.Z., Nadirov, U.M. More Efficient Copy Grinding of Complex Surface. Russ. Engin. Res. 41, 829-831 (2021). https://link.springer.com/article/10.3103/-S1068798X21090227
15. V.I. Averchenkov, A.S. Vasiliev, M.L. Heifetz. Technological heredity at quality formation of parts manufactured. «Science intensive technologies in mechanical engineering», No10, 2018. No. 10 (88), p. 27-32, DOI: 10.30987/article_5bb4b1fa81a7f8.26650961. (in Russian). https://naukaru.ru/ru/nauka/article/23024/view
16. Safarov D.T., Kondrashov A.G. Reduction of errors in the profile of the teeth of gears in the processes of gear milling with worm cutters. Fundamental and Applied Problems of Engineering and Technology. No. 3 (347) 2021, p. 63-72. D.T. Safarov/(in Russian). DOI: 10.33979/2073-7408-2021-347-3-63-72 D. T. Safarov/DOI: 10.33979/2073-7408-2021-347-3-63-72
17. Калашников П.А. Определение оптимальной величины припуска под зубошлифование. Инженерный журнал. Справочник №10, М.: Машиностроение, 2006, с. 7-10
18. Lishchenko N.V. Optimization of profile gear grinding on a CNC machine and an allowance measurement system / N.V. Lishchenko, V.P. Larshin, V.V. Nezhebovsky // High technologies in mechanical engineering: zb. Sci. fuck off. - Kharkiv, NTU "KhPI", 2016. - Vip.1 (26). - P. 50 - 61 (in Russian). https://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/25662
19. Rəsulov N.M., Ələkbərov M.Z. Silindrik dişli çarxların dişlərinin pardaqlanması üçün emal payının təşkiledicilərinin riyazi modelləri, Maşınşünaslıq, 2020, İSSN 2227-6912, № 1, s. 47-52. https://msj.aztu.edu.az/

Məqalə qəbul olunub: 29.10.24
Tövsiyə edib: dos. Xankişiyev İ.A.

GƏMİÇİLİK VƏ SU NƏQLİYYATININ İSTİSMARI

ORCID 0000-0003-2186-6877

THE ROLE OF INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN MODERNITY OF SEA TRANSPORTATION

Hasanov V.H., Sadigov V.B.

"Azerbaijan State Marine Academy"LEPL
AZ1000, Baku, Z.Aliyeva str., 18
E-mail: vgasanov2002@yahoo.com

Xülasə. *Dəniz nəqliyyatının mövcud problemlərinin sistemli analizi onun innovativ inkişaf istiqamətlərini müəyyən etməyə imkan vermişdir. Gəmilərin ətraf mühitə atdığı kükürd tərkibli birləşmələrin utilizasiyası üzrə müxtəlif metodlar sınaqdan keçirilmişdir. Gəmilərdə külək, dalğa və günəş enerjisi kimi bərpa olunan enerji mənbələrinin tətbiq imkanları öyrənilmişdir. Bu, dəniz nəqliyyatının iqtisadi səmərəliliyini artırmağa, mazut istehlakını azaltmağa və yanacağın yandırılmasından yaranan tullantıların atmosferə atılmasını minimuma endirməyə kömək edir. Yanacaq sərfiyyatını azaltmaq üçün texniki-konstruktiv həllər təklif edilmişdir: gəminin burun hissəsinin sferik forması, gəminin çəkisinin azaldılması, "hava sürtkü yağı" metodunun tətbiqi və korpusun suya batan hissəsinə nanoörtüklərin çəkilməsi.*

Abstract. *The systematic analysis of existing problems of maritime transport made it possible to determine the contours of its innovative development. Possible methods of recovery of sulfur compounds from ships to the environment were checked. The possibilities of using the energy of wind, waves and sun on ships have been explored that, this will increase economic efficiency and reduce the consumption of fuel oil in shipping, reduce emissions into the atmosphere from fuel combustion. Design and technical solutions save fuel: the forward spherical part of the ship, reducing the mass of the ship, using the "air lubrication" method, applying a nanocoating to the sinking part of the hull.*

Аннотация. *Систематический анализ существующих проблем морского транспорта позволил определить контуры его инновационного развития. Были испытаны различные методы утилизации и снижения содержания сернистых соединений, выбрасываемых судами в окружающую среду. Исследованы возможности использования возобновляемых источников энергии, таких как энергия ветра, волн и солнца, на судах. Эти подходы направлены на повышение экономической эффективности судоходства, снижение расхода мазута и уменьшение выбросов в атмосферу, возникающих при сжигании топлива. Предложены конструктивно-технические решения для экономии топлива, включая использование сферической носовой части судна, уменьшение его массы, применение метода «воздушной смазки» и нанесение нанопокрытий на погруженные части корпуса.*

Açar sözlər: *hava sürtkü yağı, gəmi energetikası, gəmi dalğa mühəndisliyi, günəş mühəndisliyi*
Key words: *air lubrication, ship power energy, ship hydrowave power, solar energy*
Ключевые слова: *воздушная смазка, судовая энергетика, гидроволновая энергия, солнечная энергия*

Introduction. The world ocean covers part of the earth's surface and acts as an significiant artery. This shipping transports most of the goods to all countries in the world.

62% of the world cargo turnover is carried out by sea. Most of the maritime transport (90%) is engaged in international transportation of goods [1].

At present, the delivery of goods by sea has a number of advantages:

• transportation is cheaper than other modes of transport. The use of special ships, the application of the latest achievements in the organization of loading and unloading operations in ports can reduce the share of transportation costs in the final price of cargo to 2%.

• there are practically no restrictions on the dimensions of the cargo (which often makes it difficult to deliver by rail) and the carrying capacity of maritime transport. Even if the parameters of the ports do not allow the ship to approach the shore, modern marine loading technologies are used.

• uniform shipbuilding standards make it possible to speed up the process of loading / unloading.

• Sufficiently high security is provided for the delivery of goods.

Considering that maritime transport, which is relevant in the context of the globalization of the economy, is used as one of the most economical ways of transporting goods over long distances, it is advisable to track the directions of its development. V.E. Leonov et al. explain the causes of environmental pollution and offer technical ways to protect the environment from harmful emissions during the operation of ships. Shurlyak V.K. drew attention to the use of alternative forms of energy. Nastasenko V.A. analyzes the advantages and disadvantages of ship hydroelectric power plants, the conditions and features of their use, as well as also proves the feasibility of pendulum hydraulic wave generator systems. Attention is also paid to the characteristics of the use of wind energy [2]. But the authors, as a rule, do not make efforts to systematize the urgent problems of maritime transport and identify patterns of innovative development of maritime transport. For this reason, it is necessary to constantly increase the level of professional knowledge and the number of seafarers in order to keep up with the technical innovations used on ships.

Therefore, it is necessary to analyze the current problems of maritime transport and establish trends in its innovative development, which will allow maritime officials, as well as educational institutions and enterprises to successfully adapt to the coming changes.

Main body. The rapid technological development, the globalization of the markets and the emergence of international transnational corporations require a constant improvement of all business processes. It is an innovative development that will ensure a strong competitive position for maritime transport compared to other modes of transport.

Innovative development means a process of quantitative and qualitative changes based on the constant search and implementation of new ways and directions for realizing the potential of shipping companies to gain a competitive advantage in a market economy [3].

Innovative development is classified by the creation of new priorities: the intellectualization of production activities, the use of high technologies, environmental friendliness, etc.

Maritime transportation remains one of the most efficient and economical ways of intercontinental transportation of various cargoes. At the same time, the difficulties of the external environment determine the direction of the innovative development of maritime transport. Let's look at the basics.

The navy is a major source of air and ocean pollution. This is because ships are equipped with powerful engines that consume high sulfur fuel and are not equipped with emission control systems like automobiles or power plants.

Ecologists in the European Union are concerned about ever-increasing emissions of sulphur, nitrogen and carbon monoxide from marine power plants (MPP) and the greenhouse effect that causes air pollution and climate change. It should be noted that when new ships are built, energy efficiency is measured by the carbon design factor, which is calculated as the amount of carbon emissions per tonne-kilometer of cargo. In this context, the requirements of the International Maritime Organization have been tightened by establishing emission control zones (SECA) that strictly regulate the emission of pollutants.

These include the quality parameters of marine fuel used in the North and Baltic Seas, as well as in the English Channel. From 1 January 2015, the maximum sulfur content in marine fuel in EU

ports must not exceed 0.1%. Similar rules applied in the US (200 miles off the coast of North America) in the summer of 2012. In the near future, experts foresee the adoption of a similar law for the Mediterranean. Therefore, the priority for the development of innovative entrepreneurship in the maritime sector is environmental and economic.

In particular, the following strategic alternatives are possible to reduce emissions of sulfur compounds to the environment:

1) MPP is easy to convert to low sulfur shingle diesel fuel with controlled emissions (SECA), less investment requires, however, its high efficiency is compatible with it, it may sometimes burn in the right taste and nutmeg oil will not be enough;

2) Continuous operation of the ship on low-sulphur diesel fuel (MGO). The advantage of this alternative is that the MPP does not need to change when entering the emission control zone. Conflict - high performance properties, low combustion viscosity - dry friction limit.

We should mention that, as the amount of sulfur compounds in balck oil or diesel oil decreases, its price increases sharply. Since 70 % of shipping main capital is spent for fuel, the economic performance of ship's voyage operation sharply decreased;

3) The development of diesel fuel to run on liquefied natural gas (LNG) also reduces NOx emissions (which can be beneficial for new ships) and requires large investments. The price of liquefied natural gas (LNG) today is 1.5 times lower than the price of diesel fuel. The use of liquefied natural gas (LNG) as a marine fuel is part of the EU development strategy for the Baltic region.

Among the problems of using liquefied natural gas (LNG) as marine fuel are:

the need for cryogenic storage (liquefied gas is stored at a temperature of 163° C), lack of proper training of ship's crew, increase in the number of places compared to conventional bunkers (for container ships, 3% is lost when turning the ship into a bunker), lack of necessary infrastructure for liquefied natural gas supply, availability of gas liquefaction facilities, ie small terminals, distribution networks, storage facilities, liquefied natural gas (LNG) fillers, etc.

4) Bringing high sulfur fuel to the required parameters, it is convenient to install hydrotreatment systems on ships, the transition is not required, but the cost of such operations will significantly increase the cost of marine fuel;

5) Installation of systems using scrubbers to clean exhaust gases from sulfur and nitrogen dioxide Possibility of using high-sulfur heavy fuel in any area, ease of ship operation; the return on investment depends on the difference in price between light and heavy fuels, as well as high capital and operating costs. It should be noted that the consumption of depleted fuel resources is constantly increasing, so their production is constantly decreasing, becoming an increasingly complex and time-consuming process [4].

The use of alternative fuels will increase the efficiency of the economy, reduce the dependence of maritime transport on oil and reduce harmful emissions into the atmosphere from the combustion of marine fuel [5-12].

In connection with the above, the following directions are possible for the innovative development of maritime transport:

1) The use of wind energy on the ship. In particular, the use of sails allows you to receive air currents and facilitate the movement of the ship.

Now the focus is on the use of wind energy ships in the world. Beluga SkySails, the world's first computer-controlled cargo ship to use a flying sail to save fuel, sailed at an altitude of hundreds of meters. According to the calculations of the designers, when the engine is running at full load and with a lower load, the fuel consumption on board decreases by 10-14%, which means 20% savings up to 1-1.5% harmful emissions

In addition, the flying sail has the same operating principle as previous sail systems, the transient principle, however, it allows the use of the ship's deck for the carriage of goods, does not interfere with the conduct of cargo operations. Leading shipbuilding companies in Japan, the US, Sweden and

other countries now have the concept of environmentally friendly ships that can operate efficiently and do not harm the environment. One such development is the NYK Super Eco Ship 2030 concept, which is scheduled to be built in 2030.

It will be an ecologically clean ship with its innovative design and advanced technologies based on the use of alternative energy sources [13, 14].

Overall, we consider the NYK Super Eco Ship 2030 to be a unique and extremely important concept. Because it contains many innovative solutions: reducing the weight of the body, optimizing its shape, increasing the efficiency of the propulsion system, using solar and wind energy, using renewable energy sources can reduce carbon dioxide emissions by 69%, which makes it real. green and environmentally friendly. turns into a clean ship.

In particular, the sails of this ship are located on the hull of the ship, they open and fold depending on the weather. For example, eight sails of 500 m2 each provide a drive power of 2.5 MW [14];

2) Wave energy use. Between the main hull and the side masts, it has 12 horizontally movable fins that use wave energy while the ship is underway or at anchor. However, these blades can act as engines - in this case the power plants are powered by the ship's electrical grid. So the ship moves like a fish between the dances of the fins.

According to experts, in the summer the wave height in the Baltic will be 1 m, and the efficiency of the well-known paddle and float-type hydroelectric power plants will be 0.35, it can only be used in addition to the main ship internal combustion engines. In addition, placing the fins on the outside prevents the ship from sinking in shallow water, as well as being damaged by high waves;

3) Use of alternative renewable energy sources. Solar panels are manufactured to cover most of the hull that may have been removed when unloaded in port. Their total area can be 31,000 m2. The power generated per 1 m2 [14, 15] is between 250 and 1400 W, depending on the bathing area and the weather. The average power of the entire device is in the range of 1-2 MW. The collected solar energy is stored in powerful lithium batteries and can be used at any time. These batteries are part of the ship's power system, which includes the source and consumers of electricity.

Along this, constructive and technical decisions will allow to the fuel economy.

Spherical shape of the front of the ship to fuel will help to economize to the fuel. The point is that, such shape of the bow part is more aerodynamic than the standard hull shape of modern ships.

Thus, the city of St. Petersburg can save up to 800 tons of fuel per year and this will reduce CO2 emissions by about 2500 tons [1]. Engineers expect the greatest savings in the North Sea, where strong winds always blow. The reduction in the mass of the ship is ensured by the use of new, stronger steels, lighter materials, such as various alloys and composites (the mass of ships can be reduced to 3000 tons);new design solutions in the form of a closed body (up to 5000 tons); simplification of machine equipment due to replacement with fuel cells (up to 3000 tons) [13].

The decrease in friction resistance can be due to the application of progressive coatings on the underwater part of the hull, as well as the use of the “air lubrication” method.

At long-term berths, the underwater part of the ship's hull in ports is covered with various mollusks and algae. This leads to an increase in frictional resistance of up to 15%, which leads to a thermal and energy load on the engines, as well as higher fuel consumption. To prevent overgrowth of the body by living organisms, new types of dyes are being developed that contain substances that inhibit the growth of organisms [4].

Nanocoatings are made from superhydrophobic lotus leaves to reduce abrasion resistance. Such a surface will repel water molecules, reducing the friction of the body [16, 17].

Mitsubishi has developed a new Mitsubishi Air Lubrication System (MALS) air lubrication technology. MALS reduces friction by forming a layer of fine bubbles, allowing air to enter the bottom of the ship, allowing the ship to glide underwater with less friction between the hull and seawater [18].

Developed 'air lubrication' technology reduces emissions by 10%, allowing larger ships to run more economically, and a new hull design allows the diesel engine to be electronically controlled, reducing emissions by up to 35% in a new twin engine and double shaft motion system.

"Mitsubishi" has completed the preliminary design of the MALS-14000CS, a large bulk carrier with a large hull and a small wreck, this is a system that creates low water pressure, allows air to flow from the bottom of the tank, and does not require much power to operate the air pump. In addition, the wide hull of the ship easily traps air bubbles, preventing them from slipping.

Fuel cells convert the chemical energy of the fuel into electrical energy, bypassing the inefficient combustion processes associated with high losses. This electrochemical structure produces electricity directly as a result of highly efficient "cold" combustion of fuel (hydrogen, methanol, liquefied gas, etc.). Since the ambient temperature can be converted into work, efficiency of engines determined by the temperature of the chemical reaction (f.i.a.) can exceed 100% [13].

Along this, there is no confiliction with restrictions on the efficiency of heat engines (f.i.a.), because fuel elements doesnt work in closed circuit and reagents doent return to the initial condition. During chemical reaction in the fuel element, electricity is converted into heat not by reagents, but by their internal energy and possibly a certain amount of heat from the environment. Only water vapor is released into the air, this doesnt harm to the enviroinment.

Conclusion. Thus, the monitoring of innovation development trends discussed above for maritime transport will allow to adapt with innovations demanded in labor market for present and future sailors. For example: it is necessary to know the work principles of electromechanics solar panels, work will increase with bridge crane and lithium-ion batteries: ship will have the electric action of working with fuel cells and thus, it can operate them. Mechanics has also service skills of wind, hydraulic and solar energy systems of the ship.

Reference

1. Morskoj transport. wikipedia.org. Retrieved from https://ru.wikipedia.org/wiki/.
2. Nastasenko V.O., Blah I.V. Sychasnyi stan sudnovoi gidrohvylovoi energetyky ta yogo analiz // Naukovyy visnyk Khersonskoyi derzhavnoyi morskoyi akademiyi. -2015, 1 (12), -p. 56-65.
3. Blah I.V. Nastasenko V.O. Analysis of current vitro systems. Now informatsiunity and innovative technologies in transport. Mizhnarodna nauk. -praktych. konf. Kherson. Vyd-vo KDMA, Ukraina, -2014, p. 228-230.
4. Stovba T.A. Innovation development as a new domestic industrial religion // Tavriyskyy naukovyy visnyk, -2007, 48, -p. 184-197.
5. Hasanov V.G., Abdullaeva A.P., Gasanova L.A. Supply of hot water vessels with the use of solar energy // "Actual scientific research in the modern world" ISCIENCE.IN.UA, Pereyaslav, Ukraine, -2021, issue. 1 (69), h. 1, pp.117-123.
6. Hasanov VG, Ibragimli EN Regulation of the effects of the construction of partitions on thermal processes of pipes of ship heat exchangers // - Baku: Scientific works of ADDA, -2021. № 1, -s.114-117.
7. Hasanov V.H., Hasanova L.A., Imanova A.Y. Hot water supply of ships using alternative energy sources // - Baku: Scientific works of ADDA, -2021. № 1, -p.183-187.
8. Hasanov V.H., Kalbiyev F.M., Bayramova FI, Hajibalazade C.R. Methods of production of casting devices with innovative technologies in the shipping industry // - Baku: Scientific works of ADDA, -2021. № 2, -p.177-181.
9. Hasanov V.H., Guliyeva R.A., Mukhtarova G.S. Purchase of high quality diesel fuel // - Baku: Scientific works of ADDA, -2021. № 2, -p.181-186.

10. Hasanov V.G., Ibragimli E.N. Study of optimal conditions for the operation of tubular heat exchangers // Materials of the I International Scientific-Practical Conference "Problems of sustainable development of the seabed", - Kherson, Ukraine: - November 3, 5, -20. 211-214.
11. Salamov O.M., Hasanov V.H., Omarov A.S., Salamov A.A. Prospects for the use of renewable energy sources in Azerbaijan // ADDA, Materials of the international scientific-technical conference "Innovative development prospects of technical and natural sciences", - Baku: -25 - November 26, -2021, -p.44-55.
12. Hasanov V.G., Ibragimli E.N. Optimal mode of application of silicate coating on the surface of the heat exchanger tube // ADDA, Materials of the international scientific-technical conference "Prospects for innovative development of technical and natural sciences", - Baku: - November 25 - 26, -2021, -p.130-133.
13. www.youtube.com. Retrieved from https://www.youtube.com/watch? v = f7lpb-lvBE0.
14. www.nyk.com.Retrievedfromttp://www.nyk.com/english/release/31/NE_090422.html.
15. www.ecomarinepower.com.Retrievedfromhttp://www.ecomarinepower.com/en/products/ 99-marine-solar-panels.
16. Babik V.V. Stoba T.A. Modern directions of development of maritime transport IV Vseukr. studentska naukova konf. Kherson. Vyd-vo KDMA. -2014, p.24-28.
17. inhabitat.com. Retrieved fromhttp://inhabitat.com/new-mitsubishi-technology-makes-ships-more - # ixzz3E9K9J44s/efficient-by-blowing-tiny-air-bubbles/
18. Vrokhobin I.I. Study of the accident rate and the severity of the loss of the lotsman security in the areas of constrained law// Sudovozhdenie, Odessa, -2009, 17, p. 28-36.

Məqalə qəbul olunub: 02.12.24
Tövsiyə edib: t.e.d., prof. Rüstəmov Z.Ə.

UOT 629.5: 656.6

DƏNİZ NƏQLIYYATI SEKTORUNDA KARBON TİCARƏTİ PERSPEKTİVLƏRİ: DAVAMLILIQ VƏ EMİSSİYA AZALTMA STRATEGIYASININ TƏDQİQİ

Əliyev R.L.

"Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası"PHŞ
AZ1000, Bakı şəh., Z. Əliyeva küç.,18
Email: rovshan.aliyev.84@list.ru

Xülasə. *Avropa İttifaqı (Aİ), dəniz nəqliyyatını Emissiya Ticarəti Sisteminə daxil etməyi təsdiqləyərək dənizçilik sektorunda davamlı inkişafı təşviq etməyi hədəfləyir. Bu yeni siyasət karbon emissiyalarının azaldılması istiqamətində mühüm addım olmaqla yanaşı, xüsusilə əməliyyat xərcləri baxımından dənizçilik şirkətləri üçün bir sıra çətinliklər də yaradır. Bu işdə, yeni siyasət çərçivəsində dənizçilik şirkətlərinin optimal strategiyalar hazırlamasına kömək etmək məqsədilə, həm Aİ-ni, həm də Aİ-dən kənar bölgələri əhatə edəcək şəkildə, üzmə sürəti və marşrutdakı gəmi sayı üçün optimal həllər müəyyən etməyə yönəlmiş yeni texnikalar təklif olunur. Bundan əlavə, bu optimal qərarların tətbiq olunan rüsumlar, yanacaq qiymətləri və gəmilərin həftəlik əməliyyat xərclərindəki dəyişikliklərə necə uyğunlaşdırıla biləcəyi göstərilir.*

Аннотация. *Европейский Союз (ЕС), утвердив включение морского транспорта в Систему торговли выбросами (ETS), стремится содействовать устойчивому развитию в судоходном секторе. Эта новая политика является важным шагом на пути к сокращению углеродных выбросов, однако она также создает ряд трудностей для судоходных компаний, особенно с точки зрения эксплуатационных затрат. В данном исследовании предлагаются новые*

методы, направленные на определение оптимальных решений для скорости судов и количества судов на маршрутах как в пределах ЕС, так и за его пределами, чтобы помочь судоходным компаниям разработать оптимальные стратегии в рамках новой политики.

Abstract. *The European Union (EU) has recently approved the inclusion of shipping in its Emissions Trading System, aiming to foster sustainable development within the shipping industry. While this new policy represents a significant step towards reducing carbon emissions, it also poses challenges for shipping companies, particularly in terms of operation costs. To assist shipping companies in devising optimal strategies under the new policy, this study proposes new techniques to determine the optimal solutions for sailing speed and the number of ships on the route, covering both EU and non-EU areas. Additionally, we demonstrate how to adjust these optimal decisions in response to changes in charged fees, fuel prices, and weekly operational costs of ships. This research offers innovative insights into the optimal decision-making process for shipping companies under the new EU policy and serves as a valuable decision-making tool to minimize total costs.*

Açar sözlər: *dəniz nəqliyyatı, yaşıl dənizçilik, üzmə sürəti, emissiya ticarəti sistemi, CO2.*

Key words: *maritime transport; green shipping; sailing speed; emissions trading system, CO2.*

Ключевые слова: *морской транспорт, зелёное судоходство, скорость движения судна, CO2.*

Giriş. Dəniz nəqliyyatı beynəlxalq ticarətin əsas daşıyıcısı kimi getdikcə daha çox tanınmaqdadır [1,2]. Lakin son illərdə dənizçilik sektoru artan karbon emissiyalarına yönəlmiş tənqidlərə məruz qalmışdır. Bu tənqidlər sektorun fosil yanacaqların yandırılmasına olan asılılığı nəticəsində yaranan yüksək miqdarda karbon qazı (CO2) emissiyalarından qaynaqlanır və bu, qlobal istiləşmə və iqlim dəyişikliyini daha da ağırlaşdırır. Dördüncü Beynəlxalq Dənizçilik Təşkilatının (IMO) istixana qazları (GHG) üzrə araşdırması bu problemə dair mühüm məlumatlar təqdim edir [3]. Araşdırma göstərir ki, 2012-ci ildə dəniz nəqliyyatından yaranan ümumi CO2 emissiyaları 962 milyon ton olduğu halda, 2018-ci ildə bu rəqəm 1056 milyon tona çatmış və 2012-2018 dövründə qlobal antropogen CO2 emissiyalarının təxminən 3%-ni təşkil etmişdir. Bu çətin vəziyyətdə bir çox ölkə və beynəlxalq təşkilat dənizçilik sektorunun davamlı inkişafını təşviq etmək üçün karbon emissiyalarının azaldılmasına yönəlmiş siyasətlər hazırlamışdır. Çin Xalq Respublikasının "ikili karbon hədəfləri" (karbon zirvəsi və karbon neytrallığı) və Avropa İttifaqının "Fit for 55" planı bu sahədəki təşəbbüslər arasında xüsusi yer tutur. Bu siyasətlər, 2030-cu ilə qədər emissiyaların ən az 40% azaldılması və 2050-ci ilə qədər ümumi illik istixana qazı emissiyalarının ən az 50% azaldılması hədəflərinə çatmağı nəzərdə tutur. Bundan əlavə, bu siyasətlərin əsas məqsədi sıfır və ya sıfıra yaxın istixana qazı emissiya profili olan qabaqcıl texnologiyaların, yanacaqların və alternativ enerji mənbələrinin geniş tətbiqini və mənimsənilməsini təşviq etməkdir [4].

2023-cü il aprelin 18-də Aİ Parlamenti dəniz nəqliyyatının Emissiya Ticarəti Sisteminə (ETS) daxil edilməsini təsdiqlədi. Bu qərar, gəmilərdən qaynaqlanan karbon emissiyalarının tənzimlənməsi və dənizçilik sektorunda davamlılığın təşviqi baxımından mühüm bir addımı təmsil edir. Xüsusilə, 2026-cı ildən etibarən dənizçilik şirkətləri Aİ daxilindəki səfərlər üçün emissiyaların 100%-i, Aİ-yə giriş və ya çıxış edən səfərlər üçün isə emissiyaların 50%-i üçün icazə almalı olacaqlar. Bu qərar, gəmi emissiyalarının azaldılması və davamlılığın artırılması istiqamətində əhəmiyyətli bir addımı ifadə edir. Məsələn, bir konteyner daşıyan gəminin marşrutu Şanxay (SHA) limanından başlayaraq Sinqapur (SIN) limanı, Rotterdam (RTM) limanı, Hamburq (HH) limanı və yenidən SIN limanından keçərək SHA limanına dönən bir marşrutu əhatə edir (şəkil 1-də bunun təsviri verilmişdir):

$$\text{SHA} \rightarrow \text{SIN} \rightarrow \text{RTM} \rightarrow \text{HH} \rightarrow \text{SIN} \rightarrow \text{SHA}. \quad (1)$$

Şəkil 1-də təsvir edildiyi kimi qeyd edilmiş emissiyalar RTM limanı ilə HH limanı arasındakı səfərlərdə 100%, SIN limanı ilə RTM limanı arasındakı və HH limanı ilə SIN limanı arasındakı səfərlərdə 50%, digər bütün marşrutlarda isə 0% səviyyəsində qiymətləndirilmişdir. Bu siyasət, daha çox emissiyanın daha yüksək xərclərə səbəb olacağı üçün, nəqliyyat şirkətlərini Aİ bölgəsi daxilində emissiyaları azaltmağa yönəlmiş metodlar düşünməyə təşviq etməyi hədəfləyir.



Şəkil 1. *Bir nəqliyyat marşurutu nümunəsi*

Bu məqalədə, nəqliyyat şirkətlərinin xərclərini minimuma endirərkən Aİ-nin yeni emissiya siyasətinə uyğunlaşmalarını hədəfləyən optimal qərar qəbuletmə proseslərini asanlaşdıracaq riyazi modellər təklif edilir. Bildiyimiz qədərilə, tədqiqatım Aİ tərəfindən yaxın zamanda qüvvəyə minmiş bu siyasəti nəzərə alan öncül bir iş xarakteri daşıyır. Xüsusilə, məqaləm aşağıdakı tədqiqat suallarına cavab verir:

1. Aİ-nin yeni emissiya siyasəti çərçivəsində, nəqliyyat şirkətinin ümumi xərclərini minimuma endirən Aİ və Aİ-dən kənar bölgələrdəki optimal üzmə sürətləri hansılardır?
2. Aİ-nin emissiya azaltma tələblərinə uyğun olaraq ümumi xərclərin ən aşağı səviyyəyə enməsini təmin edəcək nəqliyyat marşrutunda təchiz olunmalı olan optimal gəmi sayı nə qədərdir?
3. Emissiya haqlarındakı dəyişikliklər, yanacaq qiymətləri və gəmilərin həftəlik əməliyyat xərcləri ilə birlikdə, Aİ və Aİ-dən kənar bölgələrdəki optimal üzmə sürətləri və nəqliyyat marşrutunda təchiz olunmalı olan optimal gəmi sayı necə dəyişir?

Tədqiqat işində bu üç suala cavab vermək üçün əvvəlcə qeyri-xətti optimallaşdırma modeli təklif edilir. Bu model öz kompleksliyi və həlli ilə bağlı çətinliklər yaradır. Modelin struktur xüsusiyyətlərindən yararlanaraq, onun miqyasını əhəmiyyətli dərəcədə azaltmağa imkan verən iki fərziyyə təqdim edilir. Daha sonra qərar dəyişənlərini diskretləşdirərək qeyri-xətti optimallaşdırma modelini tam ədədi proqramlaşdırma (Integer Programming, IP) modelinə çevrilir. Bu IP modeli mövcud optimallaşdırma həll edicilərindən istifadə etməklə həll edilə bilər. Sonda, parametrlərdəki dəyişikliklərlə bağlı modelin performansını qiymətləndirmək üçün eksperimentlər və həssaslıq analizi aparılır.

Karbon emissiyalarının azaldılmasına yönəlmiş siyasətlərin məzmunu, əsasən karbon emissiya icazəsi və vergisi üzərində cəmlənmişdir. Dənizçilik sektorunda sərhəd və ticarət (C&T) sisteminin tətbiqi müxtəlif maraqlı tərəflərin böyük diqqətini cəlb etmişdir. Bu sistem sabit emissiya hədəfi müəyyən edir və bunu bazarın elastikliyi ilə birləşdirir. Sistem çərçivəsində hər bir iştirakçıya müəyyən bir karbon emissiya icazəsi (CEA) təyin edilir. Dəniz nəqliyyatında karbon emissiyalarını effektiv şəkildə məhdudlaşdırmaq məqsədilə Çin tədqiqatçıları Zhu və həmkarları [5], C&T mexanizmi altında dənizçilik şirkətlərinin CEA strategiyalarını və fəaliyyətini araşdırmışdır. Tədqiqat nəticələri, maraqlı tərəflər üçün karbon emissiyalarını azaltmağa yönəlmiş strategiyaların

hazırlanmasında dəyərli bir bələdçi rolunu oynayır. Bu strategiyalar arasında optimal karbon qiymətinin müəyyən edilməsi və ümumi karbon emissiya hədəflərinin müəyyənləşdirilməsi yer alır. Bundan əlavə, Enerji Səmərəliliyi Dizayn İndeksinə (EEDI) və EEDI xarici gəmilərə əsaslanan karbon icazəsi təyinatı incələnmişdir. Çin alimləri Chang və Huang, EEDI təlimatlarına uyğun olan və ya onlara əməl etməyən gəmilər üçün karbon icazəsi və xərclər fərqini müqayisə etmişdir. Tədqiqat göstərmişdir ki, karbon vergisinin emissiyaların azaldılması üzərində əhəmiyyətli təsiri var. Əvvəlki akademik araşdırmalara əsaslanaraq, karbon vergisinin effektivliyi onun əhatə dairəsinin genişliyindən, sadəliyindən və gələcək karbon qiymətləri ilə bağlı qeyri-müəyyənliyin azalmasından asılıdır. Bundan başqa, mövcud idarəetmə çərçivəsi ilə tənzimləyici uyğunluq və "çirkləndirən ödəyir prinsipi"nə riayət karbon emissiyalarını azaltmaq üçün daha uyğun bir vasitə kimi onun mövqeyini gücləndirir [6]. Alman alimləri Heine və Gäde öz tədqiqatlarında beynəlxalq dənizçilik emissiyalarına tətbiq edilən yük əsaslı bir vergi ilə yerli dənizçilik emissiyalarına aid yanacaq vergisini birləşdirən müasir hibrid mexanizm təqdim etmişdir. Bu yanaşma, enerji cəhətdən səmərəli gəmilər işlədən gəmi sahiblərini mükafatlandıraraq mövcud olan gəmi səmərəliliyi meyarının yaradılmasını nəzərdə tutur. Beləliklə, bu hibrid vergi rejimi qlobal konsensusun əldə olunmasını asanlaşdırır.

Bundan əlavə, tonnaj vergisi ilə ənənəvi mənfəət vergisi rejimlərinin müqayisəsi kimi təşviq əsaslı karbon vergisi siyasətləri, dənizçilik sektorunda yaşıl çevrilmə və investisiyaların təşviqində katalizator rolunu oynayır. Məsələn, mövcud tonnaj vergisi rejimləri beynəlxalq dənizçilik fəaliyyətlərini böyük ölçüdə subsidiyalaşdırır. Karbon emissiyalarının azaldılması isə dənizçilik sektorunun orta müddətli gündəmində əhəmiyyətli yer tutmağa davam edir və gəmiçilik sənayesindəki kritik investisiyalara və strateji müzakirələrə dərindən təsir edir. Bu günə qədər dənizçilik sektorunu karbon emissiyalarından azad etmək üçün "yavaş üzmə" və enerji səmərəliliyini artıran tədbirlər [7] kimi bir çox seçim müzakirə olunmuşdur.

Regional səviyyədə Avropa İttifaqı (Aİ), dəniz nəqliyyatında karbon emissiyalarını azaltmaq məqsədilə effektiv tədbirləri tətbiq etməkdə lider mövqedədir. 18 Aprel 2023-cü il tarixində Aİ-nin qanunverici orqanları, dəniz nəqliyyatını Emissiya Ticarəti Sisteminə (ETS) daxil etməklə mühüm bir razılaşmaya nail olmuşdur. Aİ-nin yekun təsdiqi gözlənilən halda, 2024-cü ildən etibarən Aİ daxilində yük və ya sərnişin daşımaları həyata keçirən, 5000 brutto tonnaj (GT) üzərində olan kommersiya gəmilərinin CO2 emissiyaları üçün emissiya icazələrini əldə etməsi və təqdim etməsi məcburi olacaqdır. Bundan əlavə, 2034-cü ilə qədər bu gəmilərin istifadə etdiyi yanacaq qarışıqlarının ən azı 2%-i müəyyən edilmiş bərpa olunan yanacaqlardan ibarət olmalıdır. Bu yenilik, dənizçilik sektoru üzərində artan uyğunlaşma xərcləri yaradacaqdır. Bununla yanaşı, Aİ-yə üzv dövlətlərin bərpa olunan enerjidən istifadəni təşviq etmək öhdəlikləri çərçivəsində, Avropa Komissiyası, yenidən təchiz edilmiş konteyner gəmilərində bərpa olunan yanacaqların tətbiqini stimullaşdırmağı hədəfləyən *Inducement Prize* (Təşviq Mükafatı) proqramını işə salmışdır [8].

Dənizçilik sektorunda karbon emissiyalarının azaldılması tendensiyası, yaşıl və davamlı inkişaf təcrübələrinin geniş şəkildə tanınması və təşviqi ilə sürət qazanır. Ölkələr, regionlar və beynəlxalq təşkilatlar dənizçilik şirkətlərinin fəaliyyətlərini tənzimləmək və karbon emissiyalarını azaltmağa yönəlmiş tədbirləri təşviq etmək üçün siyasətlər formalaşdırır. Ətraf mühitə olan bu artan diqqət, iqlim dəyişikliyi ilə mübarizəyə və dənizçilik sektoru üçün daha davamlı bir gələcəyin təmin edilməsinə yönəlmiş qlobal öhdəliyi əks etdirir. Karbon emisyonlarını azaltma məqsədilə tətbiq olunan siyasətlər, denizcilikdə optimal qərarların alınmasında dərin təsirə malikdir. Gəmi əməliyyatlarının idarə olunması əvvəlki tədqiqatların əsas diqqət mövzusu olmuşdur və bu tədqiqatlar adətən gəmi marşrutu, gəmi paylanması və gəmi sürəti kimi məsələlərə fokuslanır. Gəmi marşrutu ilə bağlı olaraq, Çin alimləri Lin və Tsai, gündəlik xətti daşıma əməliyyatlarında gəmi marşrutu və yüklərin təyin edilməsi problemini araşdırmış və Lagrangian yüngülləşdirmə texnikasını təqdim etmişdir. Digər Çin alimləri Lin və Chang [22] isə marşrut seçimi və yük təyin etmə qərarlarını optimallaşdırmaq üçün Lagrangian faktorunu daxil edən bir dekompozisiya alqoritması istifadə

etmişlər. Dai və digər Çindən olan tədqiqatçılar, Asiya-Avropa marşrutunda karbon dioksid emissiya vergiləri baxımından dənizçilik şəbəkəsinin optimallaşdırılmasını dərindən analiz etmişlər. Gəmi paylanması məsələsinə gəldikdə, Alman alimi Zhen və digər tədqiqatçılar [24], gəmilərin yük paylanmasının təsadüfi xarakterini nəzərə alaraq strateji gəmi paylanmasını asanlaşdırmaq üçün qeyri-xətti qarışıq-tamsayılı proqramlaşdırma modeli inkişaf etdirmişlər. Çinli Gu və digər tədqiqatçılar, ənənəvi yaşıl gəmi paylanması çərçivəsində dənizçilik karbon ticarət mexanizmini araşdırmış və qısa müddətli karbon dioksid emissiyalarını azaltmadakı məhdud təsirini kəşf etmişlər. Gəmi sürətinin optimallaşdırılması da diqqət mərkəzində olmuşdur. Məsələn, Çin tədqiqatçıları Wang və Xu, müxtəlif karbon emissiyası vergiləndirmə rejimlərini nəzərə alaraq dəniz səyahətləri zamanı gəmi sürətinin optimallaşdırılması problemini incələmişlər. Digər Çinli Sheng və digər tədqiqatçılar, emissiya nəzarət sahələrindən (məsələn, AB bölgəsi) keçərkən optimal gəmi sürəti və ölçüsünü tapmaq üçün qarışıq-tamsayılı proqramlaşdırma modeli qurmuşlar. Bundan əlavə, bir çox tədqiqatlar müxtəlif faktorların qarşılıqlı təsirini nəzərə alaraq bütöv qərar qəbuletmə yanaşmalarını izləyib. Çinli Wang və digər tədqiqatçılar, gəmi marşrutlarını və qarşılıqlı yüklərin paylanması sxemlərini eyni vaxtda optimallaşdırmağa yönəlmiş mürəkkəb bir riyazi proqramlaşdırma modeli inkişaf etdirmişlər. Bu model, ekvivalent qarışıq-tamsayılı xətti proqramlaşdırma vasitəsilə effektiv hesablama analizinin aparılmasına imkan verir. Koza [9], Özcan və Eliiyi kimi Türk tədqiqatçılar isə xətti yükdaşıma sahəsində, tranzit müddəti və konteyner həcmi kimi mühüm amillərin yanında yük paylanma strategiyalarını da nəzərə alaraq xidmət cədvəlinin optimallaşdırılması üçün müxtəlif alqoritmalar inkişaf etdirmişlər. Yunan alimləri Giovannini və Psaraftis [10] isə xətt daşımacılığı şirkətlərinin ortalama günlük mənfəətini maksimuma çatdırmaq məqsədilə gəmi sürəti, paylanmış gəmi sayı və xidmət tezliyi kimi müxtəlif faktorların optimallaşdırılmasını həyata keçirmişlər ki, bu da sektorda qərar qəbuletmə proseslərinə bütöv bir yanaşma göstərir.

Tədqiqatın nəzəri və praktiki töhfələri aşağıda xülasə edilmişdir:

1. **Nəzəri töhfələr:** Bu tədqiqat mövcud ədəbiyyatda yeni təklif olunan AB siyasəti çərçivəsində gediş sürəti və gəmi sayının optimal qərarlarına diqqət yetirilməyən bir araşdırma boşluğunu doldurur. Təklif olunan yanaşma dənizçilik şirkətinin optimal qərarlarını müəyyən etmək üçün qeyri-xətti optimallaşdırma modelini əhatə edir. Yeni AB siyasətinin optimallaşdırma problemi altındakı unikal strukturundan istifadə edərək iki təklif sübut olunur. Bundan əlavə, qeyri-xətti model həll edilə bilən IP modelinə çevrilir. Təcrübələr və həssaslıq analizləri vasitəsilə spesifik həllər əldə edilir və müxtəlif parametrlərin təsirləri yoxlanılır.
2. **Praktiki töhfələr:** Bu tədqiqat dənizçilik şirkətlərinə xərclərini minimallaşdırmaq və yeni AB emissiya siyasətinə uyğunlaşmaq üçün optimal strategiyalar barədə dəyərli məlumatlar təqdim edir. Nəticələr dənizçilik sektorunun davamlı inkişafı və ekoloji qaydalara uyğunlaşması üçün praktiki çıxarışlar verir. Təklif olunan riyazi model yeni AB emissiya siyasəti ilə qarşılaşan dənizçilik şirkətləri üçün qərarvermə vasitəsi kimi xidmət göstərə bilər.

Təklif 1 və rəqəmsallaşdırma ilə orijinal optimallaşdırma modeli minimum sayda qərar dəyişəni ilə bir Tamədədli Proqramlama (IP) modelinə çevrilmişdir. Bu model, CPLEX və ya Gurobi kimi hazır optimallaşdırma həll ediciləri vasitəsilə həll edilə bilər. Burada, eksperiment üçün seçilən konteyner nəqliyyat marşrutları və c, μ, β, γ və Q kimi parametrlərin praktikada necə təyin edildiyi izah edilir. Eksperimentlər 2.60 GHz tezlikli Intel Core i7 prosessor və 16 GB RAM-ə malik bir noutbukda həyata keçirilmişdir. [M3] modeli Python API vasitəsilə Gurobi Optimizer 10.0.2 istifadə edilərək həll edilmişdir.

Bu tədqiqatda istifadə edilən əsas simvollar cədvəl 1-də ümumiləşdirilmişdir.

Cədvəl 1

Simvollar

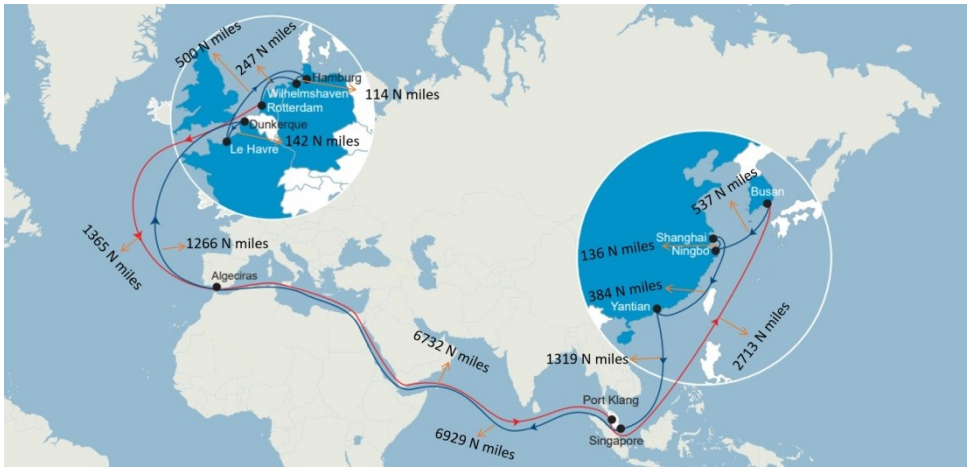
Dəstələr (Sets)	
I	Səfər planı üzərindəki çağrış limanlarının dəsti
I^0	Emissiyalara görə 0 ödəniş edilən səfər planındakı hissələrin dəsti
I^1	Emissiyalara görə 50% ödəniş edilən səfər planındakı hissələrin dəsti
I^2	Emissiyalara görə 100% ödəniş edilən səfər planındakı hissələrin dəsti
c	Hər bir gəmi üçün həftəlik sabit xərc
μ	Yanacaq qiyməti (hər tona görə)
β	Karbon emissiya haqqı (hər tona görə)
γ	Yanacaq istehlakı və emissiyaları çevirmə əmsalı
Q	Gəmi yanalması zamanı hər bir saata düşən emissiya

Asiyadan Şimali Avropaya iki marşrut seçərək Model [M3]'ün performansı sınaqdan keçirilmişdir. Bu iki marşrut Asiya ilə Avropa arasındakı əlaqəni gücləndirməkdə mühüm rol oynayır. Xüsusilə, bu marşrutlardakı bəzi limanlar, məsələn, Sinqapur və Rotterdam kimi, beynəlxalq yük daşımaları sahəsində böyük əhəmiyyətə malikdir. Bundan əlavə, marşrutların müxtəlif seqmentlərindəki məsafələr haqqında ətraflı məlumat toplamaq üçün bəzi rəsmi veb-saytlardan istifadə edilmişdir. Detallar cədvəl 2-də təqdim edilmişdir və AB limanlarının adları qalın hərflərlə vurğulanmışdır. Bu iki marşrutun məsafələri (dəniz mili ilə), müvafiq olaraq şəkil 2 və şəkil 3-də göstərilmişdir.

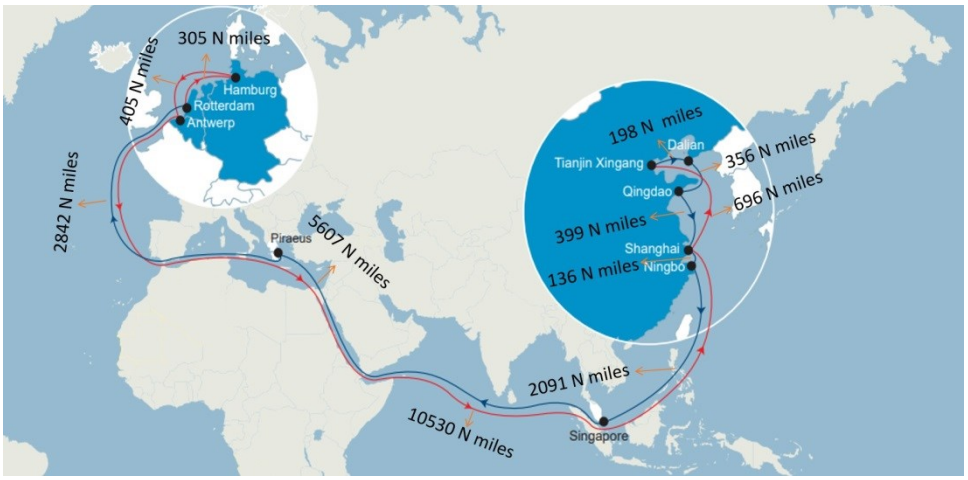
Cədvəl 2

Gəmi Marşrutlarının Xülasəsi

Səfər No	**Şəhərlər arası marşrutlar**
1	Busan → Ningbo → Şanghay → Yantian → Singapur → **Algeciras** → **Dunkirk** → **Le Havre** → **Hamburg** → **Wilhelmshaven** → **Rotterdam** → Port Klang → Busan
2	Tianjin → Dalian → Qingdao → Şanghay → Ningbo → Singapur → **Piraeus** → **Rotterdam** → **Hamburg** → **Antwerp** → Şanghay → Tianjin



Şəkil 2. *Gəmi marşurutu 1*



Şəkil 2. *Gəmi marşurutu 2*

İlk öncə əsas nəticələri çəkmək üçün parametrlərin dəyərlərini müəyyən etdik və bu parametrlərin təsirlərini araşdırmaq üçün həssaslıq analizi aparıldı [11]:

1. **Sabit xərc (*c*):** istinadına əsaslanaraq, 5000 TEU (iyirmi futa ekvivalent vahid) konteyner gəmisinin həftəlik sabit xərci 180.000 ABŞ dolları olaraq müəyyən edilmişdir.
2. **Yanacaq qiyməti (*μ*):** istinadına əsasən, yanacaq qiyməti ton başına orta hesabla 600 ABŞ dolları olaraq qəbul edilmişdir.
3. **Emissiya haqqının əks olunması (*β*):** EU ETS icazə qiymətləri 17 Aprel tarixində Ice Exchange məlumatlarına görə ton başına 102 ABŞ dolları olaraq bağlanmışdır.
4. **Yanacaq istehlakı və emissiya çevrilmə əmsalı *(γ)*:** [12] istinadına əsasən, *3.15* olaraq qəbul edilmişdir.
5. *f(v3):* istinadına görə, $f(v3)=0.00043 \times v3 f(v3) = 0.00043 \times v3$ olaraq müəyyən edilmişdir.
6. **Limanda və ya lövbərdə qalma müddəti:** Busan — 1.1 gün, Ningbo — 1.5 gün, Şanxay — 1.0 gün, Yantian — 0.6 gün, Sinqapur — 1.0 gün, Əlcəzair — 0.7 gün, Dunkerque — 1.6 gün, Le Havre — 0.8 gün, Hamburq — 1.4 gün, Vilhelmshaven — 1.1 gün, Rotterdam — 1.3 gün, Tianjin — 1.2 gün, Dalian — 1.5 gün, Qingdao — 1.5 gün, Antverpen — 1.3 gün.
7. **Lövbərdə emissiya (*Q*):** Lövbər zamanı hər saat üçün 2 ton emissiya ($Q = 2$) olaraq müəyyən edilmişdir.
8. **Maksimum və minimum sürət:** Maksimum sürət $v_{max}=18 v_{max} = 18$ *knot*, minimum sürət $v_{min}=10 v_{min} = 10$ *knot* olaraq qəbul edilmişdir.

Cədvəl 2-dəki marşrutlardan istifadə edərək rəqəmsal təcrübələr aparılıb və nəticələri Cədvəl 3-də təqdim edilib. Göründüyü kimi, Aİ bölgəsindəki marşrutlar I^2, Aİ bölgəsinə daxil olan və ya çıxan marşrutlar I^1, qalan marşrutlar isə I^0 ilə təmsil olunur. [M3] modelinin məqsəd funksiyasının optimal dəyəri "OD" olaraq qeyd edilmişdir. Cədvəl 2-yə əsasən, Marşrut 1, Marşrut 2 ilə müqayisədə daha çox gəmi ilə təchiz olunmuşdur; bu isə daha uzun bir marşrutun həftəlik xidmət tezliyini təmin etmək üçün daha çox gəmi tələb etdiyini göstərir (Marşrut 1-in ümumi məsafəsi 22.258 dəniz mili, Marşrut 2-nin ümumi məsafəsi isə 23.565 dəniz milidir). Gəmi sürətinin ən yüksək olduğu yerlər Aİ xaricindəki marşrutlar, sonra isə Aİ və Aİ xaricindəki bölgələri birləşdirən marşrutlardır; ən aşağı sürət isə Aİ bölgəsindəki marşrutlarda müşahidə olunur. Bu da Təklif 2-ni təsdiqləyir. Məsələn, Marşrut 1-də Aİ daxilindəki marşrutlarda gəmi sürəti 11.6 düyün olduğu halda, Aİ və Aİ xaricindəki bölgələri birləşdirən marşrutlarda bu sürət 12.1 düyünə yüksəlir və Aİ xaricindəki marşrutlarda isə sürət 13.0 düyünlə zirvəyə çatır. Həqiqətən, sürətlərin dəyişməsi, xərcləri minimallaşdırmaq məqsədilə emissiyaların effektiv şəkildə idarə olunmasının göstəricisidir. Gəmilər sürətlərini artırdıqca daha çox emissiya istehsal edir və bu da daha yüksək ödənişlə nəticələnir. Emissiyalar əsasında tətbiq olunan ödəniş siyasəti, dənizçilik şirkətlərini daha ekoloji təmiz tədbirlərə yönəltməyi

və sürətlərini optimallaşdıraraq karbon izlərini azaltmalarını təşviq etməyi hədəfləyir. Emissiyalarla uyğunlaşdırılmış ödəniş siyasəti ilə davamlı tədbirlərin tətbiqini təşviq etmək mümkündür. Növbəti addımda, Marşrut 2-ni aşağıdakı həssaslıq analizi üçün bir hesab nümunəsi kimi istifadə edəcəyik.

Cədvəl 2

Əsas nəticələr

Səfər No	Səfər mərhələləri dəsti	Səfər mərhələləri	Ümumi mesafe (Dəniz mili)	Səfər sürəti (düyün)	Gəmi sayı	Dəyəri (ABDDoları)
1	I^0	Busan→ Ningbo→Şangay→ Yantian→ Singapur; Port Klang→Busan	3901	13.0	13	3,924,499.1
	I^1	Singapur→ Algeciras; Rotterdam→ Port Klang	15,020	12.1		
	I^2	lgeciras→Dunkerque→Le Havre→Hamburg→ Wilhelmshaven→Rotterdam	2269	11.6		
2	I^0	Tianjin→ Dalian→ Qingdao→ Şangay→ Ningbo→ Singapur	3876	12.8	14	4,166,763.3
	I^1	Singapur→ Pire; Anvers→ Şangay	16,137	12.0		
	I^2	Pire→Rotterdam→ Hamburg→Anvers	3552	11.1		

Karbon emissiyalarına dair narahatlıqlar artdıqca, emissiyalarla bağlı tətbiq olunan ödənişlər, daha çox ölkənin karbon emissiyaları ilə mübarizəyə üstünlük verməsi ilə dəyişikliklərə məruz qala bilər. Bundan əlavə, əsas analizdə, vahid yanacaq qiyməti və gəmi başına həftəlik sabit xərclər kimi bəzi kritik parametrlərin deterministik olduğu fərz edilir. Lakin bu parametrlər, əslində, adətən dəyişkənlik göstərir. Buna görə də, real dünya ssenarilərində bu parametrlərin dinamik təbiətini nəzərə alaraq, əməliyyat qərarlarına təsirlərini araşdırmaq üçün həssaslıq analizləri aparılır.

Bu tədqiqat, ilk növbədə emissiya haqqının (β) əməliyyat qərarlarına təsirini araşdırır. Son dövrlərdə karbon emissiyaları problemlərinə və dayanıqlı inkişaf məsələlərinə verilən əhəmiyyətin artması ilə emissiya haqqı karbon emissiyalarını nəzarət altında saxlamaq üçün mühüm bir vasitəyə çevrilmiş və dənizçilik şirkətlərinin qərarlarına ciddi təsir göstərmişdir. Bu, β dəyərinin əslində dəyişkən ola biləcəyi mənasını verir. Buna görə də, β üçün həssaslıq analizi tələb olunur. Bu təcrübədə emissiya haqqının hər ton üçün 80 ilə 170 ABŞ dolları arasında dəyişdiyi fərz edilmişdir. Mövcud tendensiyalar nəzərə alınaraq, AB regionunda karbon emissiyalarının nəzarətinə dair daha sərt siyasətlərin tətbiq olunacağı və nəticədə AB regionunda fəaliyyət göstərən dənizçilik şirkətlərinə daha yüksək emissiya haqqının tətbiq olunacağı proqnozlaşdırılır. Hesablama nəticələri cədvəl 3-də ümumiləşdirilmişdir. Bu cədvəldə emissiya haqqının artması ilə ümumi ödəniş yükünün də eyni zamanda artdığını və nəticədə hədəf dəyərinin yuxarıya doğru meyl etdiyini görə bilərik. Bundan əlavə, emissiya haqqı artdıqca daha çox gəmi tələb olunur, lakin səfər sürəti və yanacaq istehlakı azalır. Bunun səbəbi, gəmilərin daha sürətli hərəkət etdiyi halda daha çox yanacaq sərf etməsi, bunun isə daha çox emissiyaya və nəticədə daha yüksək xərclərə yol açmasıdır. Buna görə də, dənizçilik şirkətləri emissiyaları azaltmaq məqsədilə səfər sürətini aşağı salırlar.

Deterministik fərziyyə çərçivəsində, əsas analiz yanacağın vahid qiymətini (μ) 600 USD/ton kimi müəyyən edir. Lakin real həyatda müşahidə olunan dəyişkənliyi nəzərə almaq üçün bu həssaslıq analizi μ üçün 570 ilə 700 USD/ton arasında bir qiymət diapazonunu əhatə edir. Bu diapazon, sentyabr 2020 ilə iyul 2023 arasındakı dövrdə qeydə alınmış minimum və maksimum yanacaq

qiymətlərinə (müvafiq olaraq 579,00 və 690,50 USD/ton) əsaslanır [13]. Bu analizdən əldə edilən nəticələr ümumiləşdirilmiş şəkildə cədvəl 5-də təqdim olunmuşdur.

Cədvəl 3

Emissiya Haqqının Əməliyyat Qərarlarına Təsiri

β (ABD/ton)	Səfər mər-hələləri dəsti	Səfər sürəti (düyün)	Yanacaq istehlakı (ton)	Gəmi sayı	Dəyəri (ABDDoları)
80	I^0	12,8	0,90	14	4,101,154.6
	I^1	11,9	0,72		
	I^2	11,5	0,65		
90	I^0	12,8	0,90	14	4,131,128.5
	I^1	12,0	0,74		
	I^2	11,1	0,59		
100	I^0	12,8	0,90	14	4,160,824.1
	I^1	12,0	0,74		
	I^2	11,1	0,59		
110	I^0	12,8	0,90	14	4,190,519.8
	I^1	12,0	0,74		
	I^2	11,1	0,59		
120	I^0	13,3	1,01	14	4,220,180.5
	I^1	11,9	0,72		
	I^2	11,1	0,59		
130	I^0	13,3	1,01	14	4,249,612.9
	I^1	11,9	0,72		
	I^2	11,1	0,59		
140	I^0	13,3	1,01	14	4,279,045.4
	I^1	11,9	0,72		
	I^2	11,1	0,59		
150	I^0	12,1	0,76	15	4,305,595.6
	I^1	11,1	0,59		
	I^2	10,2	0,46		
160	I^0	12,1	0,76	15	4,331,828.7
	I^1	11,0	0,57		
	I^2	10,2	0,46		
170	I^0	12,1	0,76	15	4,358,061.8
	I^1	11,0	0,57		
	I^2	10,2	0,46		
180	I^0	12,1	0,76	15	4,384,294.9
	I^1	11,0	0,57		
	I^2	10,2	0,46		

Cədvəl 4-ə baxıldıqda, yanacaq qiyməti ilə hədəf dəyər arasında birbaşa əlaqənin olduğu açıq-aydın görünür; yanacaq qiymətinin artması, ümumi yanacaq xərclərinin yüksəlməsi səbəbilə hədəf dəyərin də artmasına səbəb olur. Bundan əlavə, yanacaq qiyməti artdıqca daha çox gəmi tələbi yaranır və bununla əlaqəli olaraq hərəkət sürəti azalır. Bu vəziyyət, yanacaq istehlakı ilə hərəkət sürəti arasındakı kub əlaqədən irəli gəlir. Artan yanacaq qiymətləri, daşımacılıq şirkətlərini yanacaq istehlakını azaltma metodlarını araşdırmağa təşviq edir və bu, hərəkət sürətinin azalmasına gətirib çıxarır. Həmçinin, əgər yanacağın vahid qiyməti həddindən artıq yüksək səviyyəyə çatsa, nəqliyyat şirkətləri, gəmiləri daha aşağı sürətlə idarə edərkən həftəlik xidmət tezliyi tələbatını qarşılamaq üçün daha çox gəmi istifadə etməyə üstünlük verə bilər.

Cədvəl 4

Yanacaq qiymətinin əməliyyat qərarlarına təsiri

μ (ABŞ/ton)	Səfər mərhələləri dəsti	Səfər sürəti (düyün)	Gəmi sayı	Dəyəri (ABŞ Doları)
570	I^0	12,8	14	4,099,569.9
	I^1	12,0		
	I^2	11,1		
580	I^0	12,8	14	4,121,967.7
	I^1	12,0		
	I^2	11,1		
590	I^0	12,8	14	4,144,365.5
	I^1	12,0		
	I^2	11,1		
600	I^0	12,8	14	4,166,763.3
	I^1	12,0		
	I^2	11,1		
610	I^0	12,8	14	4,189,161.1
	I^1	12,0		
	I^2	11,1		
620	I^0	12,8	14	4,211,558.85
	I^1	12,0		
	I^2	11,1		
630	I^0	12,8	14	4,233,956.7
	I^1	12,0		
	I^2	11,1		
640	I^0	12,8	14	4,256,354.4
	I^1	12,0		
	I^2	11,1		
650	I^0	12,8	14	4,278,752.2
	I^1	12,0		
	I^2	11,1		
660	I^0	12,1	15	4,300,885.9
	I^1	10,9		
	I^2	10,6		
670	I^0	12,1	15	4,321,062.5
	I^1	10,9		
	I^2	10,6		
680	I^0	12,1	15	4,341,239.1
	I^1	10,9		
	I^2	10,6		
690	I^0	12,1	15	4,361,415.6
	I^1	10,9		
	I^2	10,6		
700	I^0	12,1	15	4,381,592.2
	I^1	10,9		
	I^2	10,6		

Bu tədqiqatda gəmi başına həftəlik sabit xərclərin əməliyyat qərarlarına təsiri araşdırılır. Gəmi başına həftəlik sabit xərclərin müəyyən edilmiş dəyəri, mənbəsində istifadə edilən quruluşa uyğun

olaraq 180.000 USD olaraq təyin edilmişdir. Lakin epidemiyalar və ya digər gözlənilməz halların təsiri [14] kimi müxtəlif amillər səbəbindən c dəyərinin əhəmiyyətli dərəcədə dəyişə biləcəyi və ya texnoloji inkişaflar nəticəsində ciddi şəkildə azalacağı nəzərə alınmalıdır. Bu baxımdan, c dəyəri üçün diapazon 60.000 ilə 300.000 USD arasında müəyyən edilmişdir.

Nəticə. Bu tədqiqat Avropa İttifaqı tərəfindən yaxın zamanda təklif edilən və 2026-cı ildən etibarən AB daxilində səfərlər üçün emissiyaların 100%-nin, AB-yə və AB-dən həyata keçirilən səfərlər üçün isə 50%-nin alınmasını məcburi edən siyasətin işığında, gəmi sürətləri və dəniz yollarında gəmi sayları ilə bağlı dənizçilik şirkətlərinin optimal strategiyalarını araşdırır. İlk növbədə, qeyri-xətti bir optimallaşdırma modeli inkişaf etdirilir və daha sonra iki təklif irəli sürülərək qərar dəyişənləri diskrətləşdirilir, bu isə modeli effektiv bir tam ədədi proqramlama (IP) modelinə çevirir. Bu transformasiya, təsirli həll metodlarından istifadəni asanlaşdırır. Aparılan geniş təcrübələr vasitəsilə təklif olunan modelin və həll texnikalarının effektivliyi nümayiş etdirilir. Bundan əlavə, emissiya haqqının, yanacaq qiymətinin və gəmilərin həftəlik əməliyyat xərclərinin dəyişməsinin optimal qərarlara necə təsir etdiyini dərindən analiz edirik. Ümumilikdə, emissiya haqqı, yanacaq qiyməti və həftəlik əməliyyat xərcləri artdıqca ümumi xərclərin yüksəldiyi müşahidə olunur. Xüsusilə, emissiya haqqı və ya yanacaq qiyməti artdıqda, dənizçilik şirkətlərinin yanacaq istehlakını azaltmaq üçün sürətlərini aşağı saldığı, eyni zamanda həftəlik xidmət tezliyi tələblərinə uyğunlaşmaq üçün marşrutlarda gəmi sayını artırdığı görülür. Digər tərəfdən, həftəlik əməliyyat xərcləri artdıqda, ümumi xərcləri azaltmaq məqsədilə daha az gəmi vəzifələndirilir. Ümumiyyətlə, bu tədqiqat dənizçilik şirkətlərinin AB-nin innovativ siyasət mühitinə proaktiv bir cavab olaraq necə strateji və məlumatlı qərarlar ala biləcəyini anlamağa mühüm töhfə verir.

Ədəbiyyat

1. Wang, S.; Yin, J.; Khan, R.U. Dynamic Safety Assessment and Enhancement of Port Operational Infrastructure Systems during the COVID-19 Era. *J. Mar. Sci. Eng.* 2023, *11*, 1008. [CrossRef]
2. Wu, Y.; Huang, Y.; Wang, H.; Zhen, L. Joint planning of fleet deployment, ship refueling, and speed optimization for dual-fuel ships considering methane slip. *J. Mar. Sci. Eng.* 2022, *10*, 1690. [CrossRef]
3. IMO. Fourth IMO Greenhouse Gas Study. 2020. Available online: https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/Pages/Fourth-IMO-Greenhouse-Gas-Study2020.aspx (accessed on 5 August 2023).
4. IMO. 2023 IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships. 2023. Available online: https://www.imo.org/en/OurWo rk/Environment/Pages/2023-IMO-Strategy-on-Reduction-of-GHG-Emissions-from-Ships.aspx (accessed on 5 August 2023).
5. Zhu, M.; Shen, S.; Shi, W. Carbon emission allowance allocation based on a bi-level multi-objective model in maritime shipping. *Ocean. Coast. Manag.* 2023, *241*, 106665. [CrossRef]
6. Gu, Y.; Wallace, S.W.; Wang, X. Can an Emission Trading Scheme really reduce CO_2 emissions in the short term? Evidence from a maritime fleet composition and deployment model. *Transp. Res. Part D Transp. Environ.* 2019, *74*, 318–338. [CrossRef]
7. Adland, R.; Cariou, P.; Jia, H.; Wolff, F.C. The energy efficiency effects of periodic ship hull cleaning. *J. Clean. Prod.* 2018, *178*, 1–13.[CrossRef]
8. Panoutsou, C.; Germer, S.; Karka, P.; Papadokostantakis, S.; Kroyan, Y.; Wojcieszyk, M.; Maniatis, K.; Marchand, P.; Landalv, I. Advanced biofuels to decarbonise European transport by 2030: Markets, challenges, and policies that impact their successful market uptake. *Energy Strategy Rev.* 2021, *34*, 100633. [CrossRef]
9. Koza, D.F. Liner shipping service scheduling and cargo allocation. *Eur. J. Oper. Res.* 2019, *275*, 897–915. [CrossRef]

10. Giovannini, M.; Psaraftis, H.N. The profit maximizing liner shipping problem with flexible frequencies: Logistical and environ- mental considerations. *Flex. Serv. Manuf. J.* 2019, *31*, 567–597. [CrossRef]
11. Wu, Y.; Huang, Y.; Wang, H.; Zhen, L.; Shao, W. Green Technology Adoption and Fleet Deployment for New and Aged Ships Considering Maritime Decarbonization. *J. Mar. Sci. Eng.* 2022, *11*, 36. [CrossRef]
12. Offshore Energy. 2023. Available online: https://www.offshore-energy.biz/marine-benchmark-2020-global-shipping-co2-emissi ons-down-1/ (accessed on 28 July 2023).
13. ShipBunker. 2023. Available online: https://shipandbunker.com/prices (accessed on 28 July 2023).
14. Drewry. COVID-19 Drives up Ship Operating Costs. 2020. Available online: https://www.drewry.co.uk/news/news/covid-19- drives-up-ship-operating-costs (accessed on 30 July 2023).

Məqalə qəbul olunub: 02.12. 24
Tövsiyə edib: dos. Abbasov E.O.

УДК 656.6.052

АНАЛИЗ ПРИНЦИПА РАБОТЫ ГИДРОАКУСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ПОЗИЦИИ НА СОВРЕМЕННЫХ СУДАХ, ОСНАЩЕННЫХ СИСТЕМОЙ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ (DP)

Гулиев Н.Н., Рустамов З.А.

ПЮЛ"Азербайджанская Государственная Морская Академия"
AZ1000, г. Баку, ул. З. Алиевой, 18
E-mail: namiq.1993@gmail.com

Аннотация. *В статье анализируются гидроакустические системы контроля позиции судов (СКПС), оснащённых системами динамического позиционирования (DP). Рассматривается надежность гидроакустических СКПС, которые напрямую взаимосвязаны со способностью удерживать позицию и курс судна при заданных условиях окружающей среды и эксплуатации. К судам, оснащённым системой DP, имеются строгие требования относительно параметров СКПС из-за преимуществ, которые они имеют для определённых видов операций. Эти операции, включающие в себя техническое обслуживание нефтегазовых месторождений, переброска экипажа нефтяных платформ, а также для операций по удержанию судна во время строительства подводных объектов и т д. В статье рассматриваются различные модели гидроакустических СКПС HPR (hydroacustic position reference system), которые установлены на многофункциональных судах нефтегазовой промышленности, в том числе судна "Ханкенди", занимающегося поддержкой строительства подводных объектов нефтегазовой промышленности Азербайджана.*

Xülasə. *Məqalədə dinamik mövqesaxlama (DP) sistemləri ilə təchiz olunmuş gəmilər üçün hidroakustik mövqeyə istinad sistemləri (MİS) təhlil edilir. Hidroakustik MİS-nin etibarlılığı, verilmiş ətraf mühit və istismar şəraitində gəminin mövqeyini və istiqamətini saxlamaq qabiliyyəti ilə birbaşa əlaqəsi nəzərdən keçirilmişdir. DP ilə təchiz edilmiş gəmilər müəyyən əməliyyat növləri üçün üstünlüklərə malik olduqları üçün MİS-nin parametrləri ilə bağlı ciddi tələblərə malikdirlər. Bu əməliyyatlara neft və qaz yataqlarına texniki qulluq, neft platformalarının heyətinin yer dəyişməsi, sualtı qurğuların tikintisi zamanı gəmilərin mövqedə saxlanması əməliyyatları və s. daxildir. Məqalədə neft-qaz sənayesinin çoxfunksiyalı gəmilərində, o cümlədən Azərbaycanın neft-qaz*

sənayesində sualtı qurğuların tikintisində iştirak edən "Xankəndi" gəmisində quraşdırılan HPR (hidroakustik mövqe istinad sistemi) hidroakustik mövqe saxlama sisteminin müxtəlif modellərindən bəhs edilir.

Abstract. *The article analyses hydro acoustic position reference systems (PRS) for vessels equipped with dynamic positioning (DP) systems. The reliability of hydro acoustic PRS, which are directly related to the ability to maintain a vessel's position and heading under given environmental and operational conditions, is considered. DP-equipped vessels have stringent requirements regarding the parameters of the PRS due to of the advantages they have for certain types of operations. These operations include maintenance of oil and gas fields, oil platform crew transfer, and for vessel operations during construction of subsea facilities etc. The article reviews various models of hydroacoustic HPR (hydroacoustic position reference system) installed on multipurpose oil and gas vessels, including the Khankendi, which is engaged in supporting the construction of subsea facilities for the oil and gas industry in Azerbaijan.*

Ключевые слова: *динамического позиционирование, гидроакустические системы, надежность, контроль позиции*

Açar sözlər: *dinamik mövqesaxlama, hidroakustik sistemlər, istinad sistemləri, etibarlıq*

Key words: *dynamic positioning, hydro acoustic system, reliability, control pasition*

Введение. Первые гидроакустические системы позиционирования были разработаны в 1950-60-х годах для поддержки различных исследовательских проектов и мероприятий в США. Гидроакустические СКПС широко используются на судах, оснащенных системой DP. Увеличение числа судов DP, работающих в непосредственной близости от нефтегазовых платформ и разработка все больших глубин — это основные два фактора, стимулирующих разработку гидроакустических систем позиционирования. Сегодня надежные гидроакустические СКПС широко используются в морской индустрии для проведения операций с высокой степенью риска в сложных метеорологических условиях, с диапазоном глубин до 7000 м.

Основная часть. Система DP — это управляющий компьютер, который подает на движители и подруливающие устройства точные сигналы мощности, необходимые для удержания позиции/курса судна или его перемещения контролируемым образом из одной позиции в другое, в любых погодных условиях. DP не может функционировать без ввода данных от СКПС, которую также называют референс системой и часто работает с различными (метод и принцип действия) референс системами в интегрированном решении. Каждая СКПС имеет свои преимущества и недостатки. Они часто классифицируются в зависимости от того, насколько они стабильны в точности, отклонении и скорости обновления позиционирования. [1]. На судах DP обычно используются пять типов СКПС (рис.1), гидроакустическая система (HPR), механическая система (Taut Wire), спутниковая система DGPS, лазерная системы (Fanbeam, CyScan и т д.) и микроволновые системы (Radius, Radascan и т д.).

Сейчас доступно множество систем определения местоположения, но когда судно находится вдалеке от каких-либо надводных объектов в открытом океане далеко от берега, то только спутниковая глобальная система позиционирования DGPS (differential global positioning system), которая имеет дифференциальную коррекцию глобальных навигационных спутниковых систем и гидроакустическая система определения местоположения HPR (hydroacoustic position reference) на основе транспондера на морском дне могут дать надежные данные.

Большинство вспомогательных судов всех типов регулярно работают в непосредственной близости от стационарных конструкций платформ. Главной и непосредственной опасностью является контакт с конструкцией нефтегазовых платформ. Близкое присутствие большой стационарной конструкции будет иметь пагубные последствия для DGPS. Спутниковые сигналы могут блокироваться конструкцией, что приведет к снижению доступности спутников.

Будут более высокие уровни многолучевого приема, вызванные отражением спутниковых сигналов от конструкции. Оба этих упомянутых эффекта приводят к ухудшению производительности DGPS. Кроме того, сигнал дифференциальной коррекции может быть потерян из-за тени от конструкции платформы. Все это сводится к простой истине: DGPS нельзя считать надежной СКПС в непосредственной близости от конструкций платформы [2].



Рис. 1. *Различные типы СКПС (референс системы) используемые на судах DP*

HPR измеряют дальности и направления на транспондеры, установленные на подводных аппаратах и объектах, или получают акустические сигналы дальности от транспондеров, установленных на морском дне (рис. 2). Эти установки удерживаются в неподвижном состоянии с помощью груза с буйками (или другой формы фиксированного каркаса морского дна).

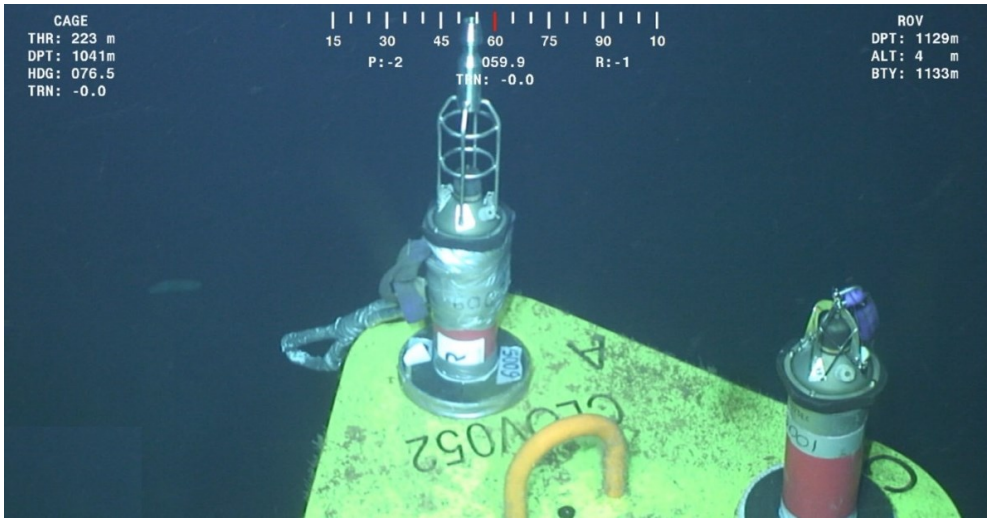


Рис 2. *Транспондер на морском дне*
(источник: скриншот с многофункционального судна "Ханкенди", имеющегося на борту 2 ROV рабочего класса. 08.06.2024)

Различают следующие типы HPR:

1) HPR с ультракороткой базисной линией (USBL)
2) HPR с короткой базисной линией (SBL)
3) HPR с длинной базисной линией (LBL).

Некоторые типы систем, с ультракороткой базисной линией USBL (ultra-short baseline) и с короткой базисной линией SBL (short baseline), обеспечивают позиционирование относительно судна или транспортного средства, в то время как с длинной базисной линией LBL (long baseline) системы позволяют разработать либо относительную, либо абсолютную систему позиционирования. Существует множество других сценариев, включая установку маяков на дистанционно управляемых аппаратах (ROV), автономных подводных аппаратах (AUV) и других типах подводных аппаратов. Эти системы были разработаны специально для решения задач, связанных с работой на большой глубине с достаточной точностью и надежностью системы [3].

Принципы ультракороткой базисной линии (USBL) используются в большинстве гидроакустических СКПС в DP. В системе USBL один транспондер укладывается на морское дно. Этот транспондер питается от батареи и запрограммирован на ответ на излучения на определенных кодированных частотах. Судно оснащено трансдьюсером, обычно расположенным в нижней части блока HPR, выступающей на 4–5 м ниже уровня киля судна (рис.3). Гидроакустические излучения генерируются в блоке приемопередатчика и передаются с трансдьюсером, перемещаясь в воде.



***Рис. 3**. Компоненты приемопередатчика HPR*

Они обнаруживаются транспондером, который отвечает через известный фиксированный интервал времени. Ответ принимается трансдьюсером и передается на блок управления для обработки. [4] Измеренный временной интервал определяет наклонную дальность до транспондера. Другая часть требуемых данных – направление сигнала; датчик чувствителен к направлению, способен определять точное трехмерное направление пути ответа. Этот принцип позволяет получать данные из акустической связи между судовым трансдьюсером и одним транспондером, размещенным на морском дне (рис. 4). Точность измерения позиции является переменным фактором, но в целом системы USBL обычно обеспечивают погрешность около 1% - 2% от глубины. Поскольку измерительная система привязана к судну, измеренные

данные должны быть скорректированы с учетом позиции судна, т. е. нужно учитывать вертикальную, килевую и бортовую качку с помощью MRU (Motion Reference Unit). MRU – это датчик, который позволяет DP системе измерять углы отклонения судна от своего вертикального положения. Любые погрешности в гирокомпасе или MRU будут напрямую переноситься в сумму ошибок системы HPR. Тем не менее, на глубине воды до 250 м методы USBL незаменимый СКПС для судов, оснащенных системой DP.

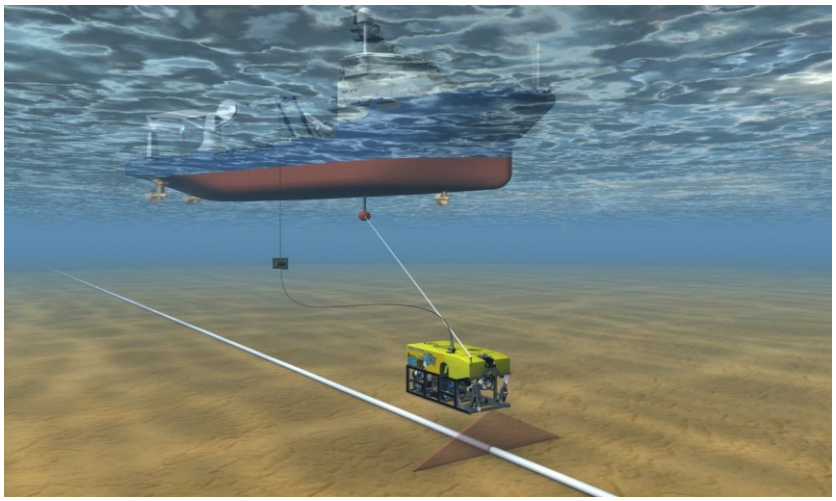


Рис. 4. *HPR с ультракороткой базисной линией (USBL)*

HPR с принципом работы, основанном на SBL, имеют несколько (от двух и более) расположенных друг от друга трансдьюсеров, расположенных в нижней части суднаносителя. Некоторые суда имеют до восьми отверстий в корпусе для трансдьюсеров. [5] SBL системы в подавляющем большинстве случаев размещаются на корпусах специализированных судов нефтегазовой промышленности. То есть размеры базовых линий сопоставимы с размерами судна. Для работы такой системы обычно преобразователи развертываются через специальные проемы в корпусе и, как правило, разнесены на расстояние от 10 до 50 м, в зависимости от формы судна, на котором они установлены Система SBL (рис. 5). использует относительные наблюдения за дальностью и направлением для транспондеров относительно ROV и т.п.

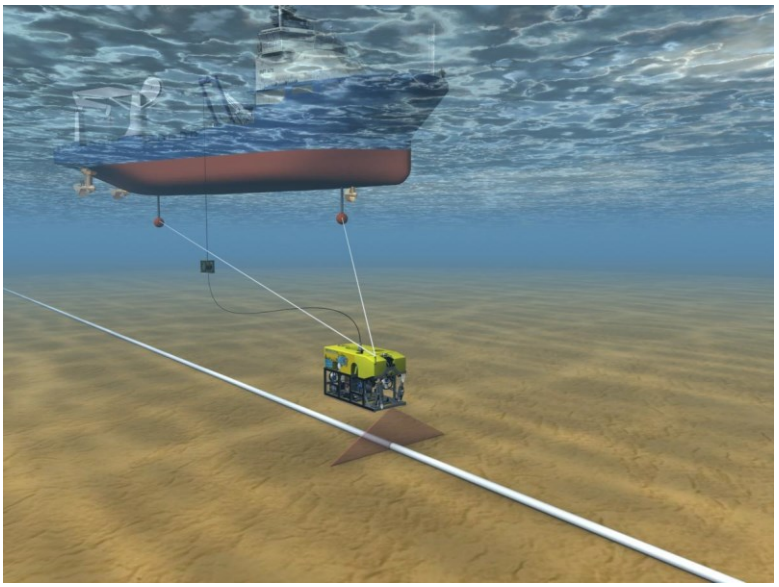


Рис. 5. *HPR с короткой базисной линией (SBL)*

Любой диапазон и пеленг, полученные от системы SBL, также имеет погрешности, и в этой системе также требуется откорректировать данные с помощью MRU. В настоящее время точность USBL систем достаточно высока, а удобство применения выглядит гораздо более выгодным чем для SBL, что привело вытеснению SBL систем из широкого применения, и к задачам, решаемым SBL системами относятся сейчас лишь такие, где имеют место специфические условия, не позволяющие применять USBL системы.

Системы LBL (*long* baseline systems) получили свое название от расстояния между транспондерами на морском дне, которое может достигать нескольких километров. Транспондеры размещаются на морском дне, затем настраиваются на передачу сигналов к трансдьюсеру. Гидроакустические системы LBL обеспечивают наиболее точную позицию подводных объектов. Три или более транспондеров, расположенных в заранее известных позициях на морском дне, обрабатываются сигналами трансдьюсера, установленным на судне, буровой установке или другом надводном объекте [6]. С помощью геометрических и математических преобразований блок обработки определяет абсолютные координаты транспондеров. При перемещении подводного объекта на мониторе выводиться траектория движения в реальном масштабе времени. Достоинства таких систем высокая точность определения координат (субметровая точность), отсутствие влияния на точность системы степени волнения моря и типа судна-носителя, практически неограниченная глубина использования. Основные недостатки — это громоздкость системы, необходимость точной выставки транспондеров на морском дне, а также их подъем по окончанию работ (рис. 6). Основное применение таких систем - длительные работы по обследованию каких-либо подводных объектов, строительство и эксплуатация нефтедобывающих платформ, прокладка трубопроводов.

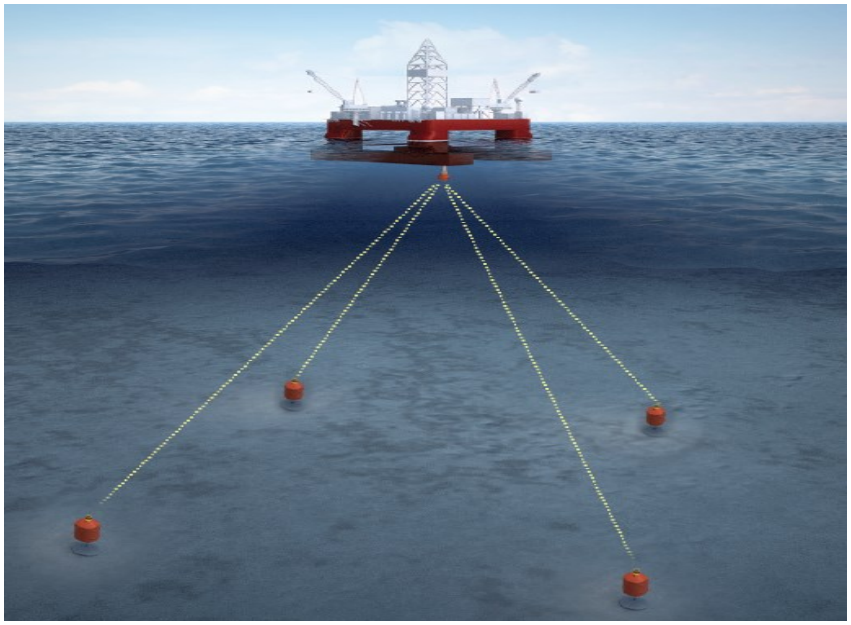


Рис. 6. *HPR с длинной базисной линией (LBL)*

В данное время в нефтегазовой промышленности из-за увеличения глубины исследуемых объектов, требуется повышенные к точности позиционирования. Погрешность определения местоположения будет возрастать с увеличением дальности до транспондера. Точность зависит от некоторых практических и физических факторов, но при нормальных условиях динамического позиционирования судна, этот предел обычно находится в пределах нескольких

дециметров [7]. Наилучшим применением систем HPR для целей системы DP является комбинация систем SSBL и LBL. В этой системе будет используется бортовой многоэлементный датчик. Система может работать как системой SSBL так и системой LBL одновременно. В качестве примера, судно может позиционироваться относительно морского дна с помощью системы LBL, когда транспондер SSBL расположен относительно судна, а позиции отображаются относительно массива транспондеров LBL на морском дне. Комбинированная система также будет использовать измеренные углы вместе с измеренными диапазонами при позиционировании LBL позиционирования.

Заключение: Таким образом, комбинированные измерения дают надежную систему с повышенной точностью. Эту систему естественно требует современная нефтегазовая промышленность с увеличением глубин производства и конструкций подводных объектов, где точная и стабильная позиционирование будет иметь большее значение. Другими особенности такой комбинированной системы являются:

- автоматическая калибровка LBL;
- возможность привязки сотен транспондеров;
- компенсация ошибок при изгибе лучей в реальном времени;
- калибровка и позиционирование по глобальным координатам;
- гибкие альтернативные варианты резервирования данных;
- множество различных каналов транспондеров.
- Удобство работы в одном интерфейсе.

Система применима как для относительного позиционирования, так и в автономных навигационных системах, которые могут быть интегрированы с наземными навигационными системами для абсолютного географического позиционирования. Высокая точность и надежность системы обеспечивает надежную привязку к системам DP.

Литература

1. Шостак В. П. Динамическое позиционирование плавучих объектов // Чикаго: Мегатрон, - 2010. - 130 с.
2. D. J. Bray. DP Operator's Handbook. 3rd edition // - Nautical Institute publication (UK). 2020, - p. 142.
3. Keedwell S. Advancing the art of subsea inspection // Offshore (Tulsa). 2011. V. 71. N. 4. pp. 102–103.
4. IMCA S 0017. Guidance on vessel USBL systems for use in offshore survey, positioning and DP operations // - The International Marine Contractors Association (rev. 1.1). – London: - 2024. - p.19.
5. IMCA S 0019. Guidance on subsea metrology // The International Marine Contractors Association (rev. 1.1). – London: - 2024. - p. 56.
6. IMCA R 004. The safe and efficient operation of remotely operated vehicles // - The International Marine Contractors Association (rev. 6). - London: - 2024. - p. 44.
7. IMCA S 013. Deep water acoustic positioning // The International Marine Contractors Association (rev. 1.1).- London: - 2024. - p. 74.

Məqalə qəbul olunub: 02.12.24
Tövsiyə edib: t.ü.f.d., dos. Abbasov E.O.

GƏMİÇİLİK TEXNİKASI

ORCID 0000-0003-0386-7438

GƏMİ NƏQLİYYATINDA HİDROGENİN ALTERNATİV YANACAQ KİMİ İSTİFADƏ İMKANLARININ TƏDQİQİ

[1,2]Əhmədova R.H., [1]Muxtarova G.S., [2]Həsənov V.H.

[1]Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi
Akademik Y.H.Məmmədəliyev adına Neft-Kimya Prosesləri İnstitutu
AZ1025, Bakı şəh., Xocalı pr., 30
[2] "Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası" PHŞ
AZ1000, Bakı şəh., Z.Əliyeva küç.,18
E-mail: rena_ax@rambler.ru

Xülasə. *Təqdim olunan məqalədə alternativ yanacaq növlərinə keçidin səbəbləri izah edilmiş, gəmilərdə tətbiq oluna biləcək belə növ yanacaq qismində hidrogenin bir sıra xassələri göstərilmiş və xassələrdəki bir çox parametrlər digər yanacaqlarda mövcud oxşar göstəricilərlə müqayisədə təhlil edilmişdir. İşdə hidrogenin alternativ yanacaq kimi sənayedə, o cümlədən gəmi nəqliyyatında tətbiqinin üstünlükləri və çatışmazlıqları göstərilmişdir.*

Аннотация. *В представленной статье объяснены причины перехода на альтернативные виды топлива, показан ряд свойств водорода как такого вида топлива, которое может использоваться на судах, а также проанализированы многие параметры свойств в сравнении с аналогичными показателями, которые доступны в других видах топлива. При этом были показаны преимущества и недостатки использования водорода в качестве альтернативного топлива.*

Abstract. *The presented article explains the reasons for the transition to alternative fuels, shows a number of properties of hydrogen as a fuel that can be applied in ships, and analyzes many parameters in the properties in comparison with similar indicators available in other fuels. At the same time, the advantages and disadvantages of using hydrogen as an alternative fuel are shown.*

Açar sözlər: *hidrogen, gəmi yanacağı, gəmi qazoylu, ağır yanacaqlar, təzyiq, temperatur*

Ключевые слова: *водород, судовое топливо, судовой газойль, тяжелое топливо, давление, температура*

Key words: *hydrogen, marine fuel, marine gasoil, heavy fuel oil, pressure, temperature*

Giriş. Hal-hazırda dünya alimləri qarşısında duran ən mühüm məsələlərdən biri havaya verilən metan emissiyasını azaltmaqdan ibarətdir. Məqsəd, 2020-ci il ilə müqayisədə 2030-cu ilə qədər metan emissiyasının 30% azaldılması nəzərdə tutulur. Belə ki, metanın havada miqdarının artması ciddi iqlim dəyişikliklərinə səbəb olur. İqlim dəyişikliyi ilə mübarizədə fəal mövqe tutan Azərbaycanın Qlobal Metan Öhdəliyi təşəbbüsünə qoşulması "yaşıl enerji" sahəsində etibarlı tərəfdaş kimi dünyada öz mövqeyini daha da möhkəmləndirir. Azərbaycan dövləti beynəlxalq birliyin məsul üzvü kimi qlobal iqlim siyasəti ilə bağlı dövlətlərin qarşılıqlı fəaliyyətinə daim mühüm dəstək verir və "yaşıl" məqsədlərə nail olmaq üçün səyləri təşviq edir. Öz öhdəliklərinə sadiqliyi, Azərbaycan Prezidentinin elan etdiyi "Yaşıl Dünya Naminə Həmrəylik" təşəbbüsü çərçivəsində uğurlu fəaliyyəti və yeni təşəbbüsləri sayəsində Azərbaycan dünyada qlobal iqlimə böyük töhfə verən ölkə kimi tanınır. Məhz BMT-nin İqlim Dəyişikliyi üzrə Çərçivə Konvensiyasının (COP29) Tərəflər Konfransının 29-cu sessiyasına ev sahibliyi etməsinin ölkəmizə həvalə olunması bu fəaliyyətə verilən beynəlxalq qiymətin bariz təzahürüdür.

Beləliklə, havaya verilən zəhərli qazların miqdarının azaldılması məqsədilə hər bir sahədə alternativ enerji və yanacaqlara keçidlə əlaqədar gəmi nəqliyyatında da bu sahədə işlər aparılır [1-8].

Nəzəri hissə. Son onilliklərdə gəmilərin sayının artması, həmçinin ekoloji problemlərin ciddi durumu ilə əlaqədar gəmidə istifadə olunan daha ucuz, enerji baximdan effektiv və ekoloji daha təmiz yanacaqlara olan tələbat da artır. Ağır yanacaqların yandırılması nəticəsində ətraf mühitə daha çox zərərli maddələrin atılması və tüstülüyünün artması baş verir ki, bu da ətraf mühitin çirklənməsinə səbəb olur. Gəmi mühərriklərində ağır yanacaqlardan (AY) istifadə iqtisadi cəhətdən əlverişli olsa da, mühərrikin ekoloji, energetik və resurs göstəricilərinin pisləşməsi, o cümlədən ətraf mühitin çirklənməsi nöqteyi-nəzərindən məqsədəuyğun deyildir. Ona görə də gəmilərdə ağır yanacaqlarla, əsasən də mühərrik yanacaqları ilə distillat dizel yanacağının qarışığından istifadə olunmasına daha çox üstünlük verilir. Lakin bu zaman elə bir optimal tərkibli qarışıq seçilməlidir ki, onun qiyməti yüksək olmasın, həm də bu qarışıq tətbiq edildikdə mühərrikin göstəriciləri distillat dizel yanacağında olan göstəricilərə yaxın olsun. Dünyada neft ehtiyatlarının azalması və xam neftin qiymətinin getdikcə artması dizel mühərriklərində istifadə etmək üçün yeni növ alternativ yanacaq mənbələrinin tapılması məsələsini zəruri edir [9,10].

Beynəlxalq Dəniz Təşkilatı (İMO – İnternational Maritime Organization) hər il ciddi qaydalar təyin etməklə gəmi sahiblərini alternativ enerji mənbələrindən istifadəyə dəvət edir. Bu sahədə tədqiqat aparan alimlər tərəfindən bəzi alternativ yanacaq növləri təklif edilmişdir. Bunlara mayeləşdirilmiş təbii qaz (MTQ), metanol, ammonyak və hidrogeni nümunə göstərmək olar.

Qeyd olunan yanacaq növləri sırasında gəmilərdə alternativ yanacaq kimi istifadəsi müzakirə olunan variantlardan biri də hidrogendir (mayeləşdirilmiş və ya qaz halında H_2). Müəyyən edilmişdir ki, hidrogenin tətbiqi ilə qaz turbinlərinin istilik effekti dizel yanacaqları ilə müqayisədə 1% aşağı olur. Eyni zamanda hidrogendən elektrik enerjisinin alınmasında yalnız su formalaşır ki, bu da ətraf aləmə heç bir ziyanverici təsir göstərmir. Bundan əlavə, bərpa olunan enerji mənbələrindən alınan hidrogenin tətbiqi ilə tullantıların tərkibində parnik qazları sıfır miqdardadır, yəni yoxdur. Ona görə də, daxili yanma mühərriklərində və yanacaq elementlərində aşağıkarbonlu və az emissiyalı variant olaraq hidrogen nəzərdən keçirilir və təklif edilir [10-12].

Bir qədər hidrogenin kimyasına nəzər yetirək. Hidrogenə təbiətdə əsasən su və ya metan birləşmələrinin tərkibində rast gəlinir. Təmiz halda almaq üçün elementi bu birləşmələrdən ayırmaq lazımdır. Standart şəraitlərdə hidrogen rəngsiz, iysiz, dadsız, zəhərli olmayan, nisbətən inert, geniş diapazonda alışmaya malik asan alışan qazdır. Hidrogen əsasən təbii qaz və ya kömürün çevrilməsi, eyni zamanda elektroliz prosesləri vasitəsilə alınır. Beləliklə, təbii qazdan hidrogenin ayrılması 3 məlum üsulun istifadəsi ilə mümkündür: (1) buxarla riforminq, burada su oksidləşdirici və hidrogen mənbəyi qismində istifadə edilir; (2) qismən oksidləşmə, bu zaman havanın oksigeni katalizator iştirakında istifadə edilir; (3) avtotermiki riforminq, bu üsul əvvəlki üsulların kombinasiyasından ibarətdir. Hər bir üsulda sintez-qaz (karbon oksidi və hidrogen) əmələ gəlir, hansı ki, sonradan suyun qaza birbaşa konversiyası reaksiyası vasitəsilə hidrogen və CO_2-yə çevrilir. Qalıq yanacaqdan hidrogenin alınması zamanı karbon tullantılarının intensivliyini azaltmaq üçün bərpa olunan biokütlədən istifadə etməklə də qazlaşdırma üsulu ilə sintez-qaz istehsal etmək mümkündür [13-15].

İstehsal olunan hidrogen sənayedə adətən ya kimyəvi istehsal proseslərində yaxud da sənaye xammalı qismində istifadə edilir. Son illərdə elektrik enerjisinin alınması üçün yanacaq elementləri və yandırılma texnologiyalarının köməkliyi ilə hidrogenin real potensialı sənayedə təsdiq etmişdir.

Bəs nə üçün gəmilərdə alternativ yanacaq kimi hidrogenin tətbiqi müzakirə olunur? Bu məsələnin üstünlükləri və çatışmazlıqları nədən ibarətdir? Hidrogen digər növ gəmi yanacaqları ilə müqayisədə vahid kütlədə daha yüksək enerji tutumu — 120.2 MC/kq ilə xarakterizə olunur (cədvəl 1.). Kütlə enerjisinin qiymətinə görə hidrogen gəmi qazoylunun uyğun qiymətindən 2,8, spirtlərinkindən isə 5-6 dəfə çoxdur. Beləcə hidrogen yanacağı mühərrikin effektivliyini artıra və həmçinin yanacağın xüsusi məsrəflərini azaltmağa kömək edə bilər. Lakin qeyd edilməlidir ki, kiçik həcmi enerji sıxlığına görə maye hidrogen üçün həcminə görə gəmi qazoyluna (GQ) nisbətən 4 dəfə

daha çox və ya sıxılmış təbii qaza (STQ) nəzərən 2 dəfə daha çox (daşınan enerjinin ekvivalent miqdarı üçün) yer tələb oluna bilər. Bütün növ gəmi yanacaqları üçün gəminin bakı ilə valın çıxış gücü arasındakı effektivliyin itirilməsinin hesablanması ilə yanacağın əlavə həcmi tələb oluna bilər. Hidrogen daha aşağı temperaturda -253°C (-423,4 °F) sıxıldığından maye hidrogenin saxlanması üçün tələb olunan həcm daha çox ola bilər (kriogen saxlanma üçün lazımi materiallar təbəqəsi və ya vakuum izolyasiyası, eyni zamanda digər struktur həllər nəzərə alınarsa) [15,16].

Cədvəl 1

Digər gəmi yanacaqları ilə müqayisədə hidrogenin xassələri

	Vahid	Hidrogen	GQ	AY	Metan (MTQ)	Etan	Propan	Butan	DME	Metanol	Etanol	Ammonyak
Qaynama temperaturu	ºC	-253	180-360	180-360	-161	-89	-43	-1	-25	65	78	-33
Sıxlıq	kq/m^3	70.8	900	991	430	570	500	600	670	790	790	696
Aşağı istiliktörətmə qabiliyyəti	MC/ kq	120.2	42.7	40.2	48	47.8	46.3	45.7	28.7	19.9	26.8	22.5
Özünə alovlanma temperaturu	ºC	585	250	250	537	515	470	365	350	450	420	630
Alışma temperaturu	ºC	-	>60	>60	-188	-135	-104	-60	-41	11	16	132
Enerji sıxlığı Maye (H_2 qaz 700 bar)	MC/L	8.51 (4.8)	38.4	39.8	20.6	27.2	23.2	27.4	19.2	15.7	21.2	15.7

Cədvəl 1-in təhlilindən eyni zamanda onu da qeyd etmək olar ki, əgər həcmi enerji sıxlığına nəzər salsaq, hidrogen üçün bu göstərici onun saxlanma formasından asılı olaraq dəyişir, məsələn, maye hidrogen 8.5 MC/L həcmi enerji sıxlığına malikdir, bu AY və GQ üçün olan göstəricilərdən (uyğun olaraq 39.8 və 38.4 MC/L) demək olar ki, 4 dəfə azdır. Həmçinin, 700 bar təzyiqdə sıxılmış hidrogenin həcmi enerji sıxlığı 4.8 MC/L-dir, bu göstərici AY üçün olan rəqəmdən 8 dəfə kiçikdir. Ona görə, ümumilikdə, saxlanma formasından asılı olmayaraq (istər maye, istərsə də sıxılmış halda) hidrogen AY ilə müqayisədə daha aşağı həcmi enerji sıxlığına malikdir.

Gəmilərdə yanacaq qismində tətbiqi ilə əlaqədar mühüm həll olunması tələb olunan məsələlərdən biri hidrogenin saxlanılmasıdır. Bir çox hallarda o, H_2 qazı halında rezervuarlarda 350-dən 700-dək bar təzyiq altında saxlanılır. Qazın sıxlığını artırmaq məqsədilə atmosfer təzyiqi ilə yüksək təzyiq arasındakı təzyiq altında olan izolə edilmiş konteynerdən istifadə etmək olar, bu zaman konteynerin materialı və müqaviməti nəzərə alınmalıdır. Hidrogen kiçik molekul ölçüsünə və aşağı sıxlığa malik olduğundan bu materiallardan asan yayıla bilər. Bundan əlavə, keçiriciliyi minimumlaşdırmaq və hidrogen itkisini azaltmaq məqsədilə hidrogen uyğun materiallardan hazırlanmış qablarda saxlanılmalıdır. Hidrogenin saxlanması üçün bir neçə sistem mövcuddur ki, bu sistemlər vaxt keçdikcə enerji itkisi olmadan onun praktiki olaraq uzunmüddətli saxlanmasını təmin edirlər. Burada əsas problem vahid həcmə düşən aşağı sıxlığın olmasındadır. Bu səbəbdən həcmi sıxlığın artırılması üçün bir sıra metodlardan istifadə edilir, məsələn, sıxılma, mayeləşdirmə və ya hidrogenin digər kimyəvi materialların səthinə və ya daxilinə yeridilməsi. Saxlanma üsulları iki əsas

qrupa bölünür: hidrogen şəklində və ya hidrogenin digər birləşmələrə daxil edilməsi ilə. Hidrogen qazabənzər və ya maye halda bərk maddələrin və ya hidrogen saxlayan kimyəvi birləşmələrin (sintetik metan, metanol, ammonyak və s.) səthində və daxilində saxlanıla bilər. Qazabənzər halda hidrogenin saxlanması üçün yüksək təzyiqdə (350-700 bar) konteyner tələb olunduğu halda, maye halda saxlanması üçün donma temperaturu göstəricisi tələb olunur, belə ki, atmosfer təzyiqində hidrogenin qaynama temperaturu -252,8ºC-dir [13-17].

Gələcəkdə sıxılmış və ya maye halda hidrogenin saxlanmasına dair tələblər gəminin tipindən asılı olacaq və uyğun olaraq yüksək təzyiq yaxud aşağı temperatur şəraitində rezervuarlarda saxlanılması üçün lazımi qurğuların istifadəsini müəyyən edəcək. Cədvəl 2-də hidrogenin gəmi yanacağı olaraq istifadəsinin bəzi nisbi üstünlükləri və çatışmazlıqları verilmişdir [17].

Cədvəl 2

Gəmi yanacağı kimi hidrogenin istifadəsinin üstünlükləri və çatışmazlıqları

Üstünlüklər	Çatışmazlıqlar
➢ Karbon və kükürddən azad ➢ Elektrik enerjisi və bio-bərpa olunan proseslərdən bərpaedici üsullarla istehsal oluna bilər ➢ Maye və ya qaz şəklində saxlanıla və nəql oluna bilər ➢ Quruda artıq təyin olunmuş iqtisadi məhsuldur ➢ Qazabənzər, bərk hissəciklər və istilikxana qazlarının tullantısından azad emissiya ➢ Yüksək axıcılıq, maye hidrogen temperaturlarında belə asan yayılır.	➢ Dəniz nəqliyyatı təcrübəsinin olmaması ➢ Mümkün yüksək yanacaq xərcləri ➢ Bərpa edilə bilən hidrogenin əldə edilməsinin aşağı səviyyədə olması ➢ Yanacaq infrastrukturuna və bunkerə lazım olan investisiya ➢ Yeni enerji istehsal sistemləri üçün tələb olunan texnoloji yeniliklər ➢ Qapalı məkanlarda yüksək partlayış riski ➢ Aşağı kriogen temperatur problemləri (saxlama, idarəetmə, sızmalar və s.) ➢ Material ilə bağlı çətinliklər (keçiricilik, hidrogen kövrəklik və s.)

Hidrogenin gəmilərdə yanacaq qismində istifadəsinin əsas mülahizələrindən bəziləri aşağıda qeyd olunur:

- təhlükəsizlik və istifadənin idarəetmə planı;
- avadanlığın nasazlığı və fövqəladə hallar prosedurları;
- işçi heyətinə təhlükəsiz davranışın öyrədilməsi;
- yanacağın asan əldə olunması.

Nəticə. Hidrogenin gəmi yanacağı qismində istifadəsi ilə bağlı olan müxtəlif problemlər onun gəmilərdə geniş istifadəsi üçün iqtisadi mümkün olanadək həll edilməlidir. Hidrogenin gəmi mühərrikləri üçün yanacaq kimi istifadəsinin nəzəri və texnoloji əsaslarının işlənib-hazırlanması bu istiqamətdə görülən işlərin ilk mərhələlərindədir. Lakin ABŞ-da və bəzi Avropa ölkələrində artıq hidrogenlə təchiz edilmiş kiçik sərnişin bərələri istifadəyə verilmişdir.

Hidrogen kimi karbondan azad və emissiyasız yanacaqlar daşınma zamanı emissiyaları azaltmaq və ya aradan qaldırmaq və İMO-nun 2050-ci il məqsədlərinə nail olmaq üçün böyük potensiala malikdir.

Ədəbiyyat

1. Гасанов В. Г., Абдуллаева А.Р., Гасанова Л.А. Снабжение судов горячей водой с использованием солнечной энергии // «Актуальные научные исследования в современном мире» ISCIENCE.IN.UA, вып. 1(69), ч. 1, с.117-123, 2021, Переяслав, Ukraina

2. Həsənov V.H., Salamov O.M., ÖmərovA.S., Salamov Ə.A. Azərbaycanda bərpaolunan enerji mənbələrindən istifadənin perspektivləri / ADDA, "Texniki və təbiət elmlərinin innovativ inkişaf perspektivləri" beynəlxalq elmi-texniki konfransının materialları (25-26 noyabr 2021), Bakı, s. 44-55
3. Həsənov V. H., Ömərov A.S. İbrahimli E.N. İnnovativ texnologiyaların dəniz nəqliyyatının müasirliyində rolu // ADDA-nın Elmi əsərləri, № 1, 2022, səh.122-127
4. Abbasov V.M., Mukhtarova G.S., Jafarova K.P., etc. Catalytic processing methods of heavy oil residues together with shale oils // Processes of petrochemistry and oil refining, Vol. 25, №2, 2024, pp. 507-514
5. Abbasov V.M., Muxtarova G.S., Əlizadə A.E. Yanar şistlərin emalı metodları və əsas istifadə istiqamətləri // Azərbaycan Neft Təsərrüfatı, 2019, 7, s.60-63
6. Аббасов В. М., Мухтарова Г.С., Ализаде А. Э. и др. Использование горючих сланцев в процессе гидрокрекинга тяжелых нефтяных остатков // Технологии нефти и газа, № 3, 2020, с. 13-16
7. Əhmədova R.H., Muxtarova G.S. Dimetil efirinin (DME) alternativ dizel yanacağı kimi tətbiqinin əhəmiyyəti / "Su nəqliyyatının problemləri" XVIII beynəlxalq elmi-texniki konfrans, 2023, Bakı, Azərbaycan, s.194-197
8. Novruzlu Z., Ahmadova R.H. Hydrogen as marine fuel / Ümummilli lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 101 illiyinə həsr olunmuş "Dəniz nəqliyyatının inkişaf perspektivləri" mövzusunda tələbə, magistr və gənc tədqiqatçıların elmi-texniki konfransı, 4-5 aprel, 2024, Bakı, Azərbaycan, s. 153-154
9. Nikolaidis P., Poullikkas A. A comparative overview of hydrogen production processes // Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2017, v.67, p.597–611
10. Capdevila J.T. Hydrogen as a maritime fuel and design of a zero emissions propulsive system // Thesis to obtain the bachelor's degree, 2022, 93 p.
11. Alkaner S., Zhou P. A comparative study on life cycle analysis of molten carbon fuel cells and diesel engines for marine application // Journal of power sources, 2006, v.158(1), p. 188- 199.
12. Gohary M.M., Seddiek I.S. Utilization of alternative marine fuels for gas turbine power plant onboard ships // International Journal of Naval Architecture and Ocean Engineering, 2013, 5(1), p. 21-32
13. Xing H., Stuart C., Spense S. et al. Alternative fuel options for low carbon maritime transportation: pathways to 2050 // Journal of Cleaner Production, 2021, 297.
14. Guilbert D., Vitale G. Hydrogen as a Clean and Sustainable Energy Vector for Global Transition from Fossil-Based to Zero-Carbon // Clean Technologies, 2021, 3(4), 881-909.
15. Moraiti P. L. Hydrogen as a marine fuel. Master's thesis. University of Piraeus, 2022.
16. Sattler G. Fuel cells going on-board // Journal of power sources, 2000, v. 86(1-2), p. 61-67
17. Vogler, F., Sattler, G. Hydrogen-fueled marine transportation // In Compendium of Hydrogen Energy, 2016, pp. 35-65

Məqalə qəbul olunub: 07.11.24
Tövsiyə edib: t.e.d., prof. Qafarov A.M.

UOT 621.075

MÜHƏRRİK YAĞLARININ MÜHƏRRİKİN UZUNÖMÜRLÜLÜYÜNƏ VƏ GƏMİ EMİSSİYALARINA TƏSİRİ

Həsənov Y.N., Rəhimov B.R.

«Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası» PHŞ
AZ1000, Bakı şəh., Z.Əliyeva küç., 18
E-mail: yusif_nadiroglu@mail.ru, ibrahimov24a@mail.ru

Xülasə. *Enerji və nəqliyyat sektorlarında ənənəvi yanacaq yağlarının istifadəsi qlobal istixana qazları (GHG) emissiyalarına əsas töhfə verən amillərdən biridir və beynəlxalq dəniz nəqliyyatı bu emissiyaların 2.89%-ni təşkil edir. Qlobal dəniz daşımalarında yüklərin vaxtında və təhlükəsiz çatdırılması vacibdir və bunun təmin edilməsində gəminin etibarlı işləməsi əsas rol oynayır. Gəminin işinə təsir edən əsas amillərdən biri mühərrikin texniki göstəriciləridir, xüsusilə də mühərrik yağlarının keyfiyyəti və idarə olunması. Mühərrik yağları sürtünməni azaltmaq, aşınmanın qarşısını almaq və daxili yanma mühərriklərində temperaturu tənzimləmək üçün vacibdir ki, bu da sistemlərin uzunömürlülüyünə və effektivliyinə birbaşa təsir edir.*

Metanol, LNG və bioyanacaq kimi alternativ təmiz enerji mənbələrinin tətbiqi vacib olsa da, mövcud yanacaq sistemlərinin optimallaşdırılması və səmərəli yağlanması dəniz nəqliyyatının ekoloji təsirini azaltmaq üçün eyni dərəcədə əhəmiyyətli bir addımdır. Bu məqalə, yağlama yağlarının və onların idarə olunmasının daxili yanma mühərriklərinin işini yaxşılaşdırmaqda, yanacaq sərfiyyatını azaltmaqda və nəticə olaraq GHG emissiyalarının azalmasına töhfə verməkdəki rolunu araşdırır. Yağların viskozluğu və onun temperaturdan asılı davranışı kimi əsas xüsusiyyətlərini qiymətləndirən yağ analizi vacib bir nəzarət üsulu kimi vurğulanır. Optimal yağlanmanı qoruyub saxlamaq və yağın keyfiyyətini azaltmamaqla mühərriklər daha böyük effektivlik, azalmış aşınma və aşağı emissiyalar əldə edə bilər. Nəticələr göstərir ki, düzgün yağ idarəçiliyi həm iqtisadi, həm də ekoloji faydaların əldə edilməsində mühüm rol oynayır.

Abstract. *The use of conventional fuel oil in the power and transport sectors is a major contributor to global greenhouse gas (GHG) emissions, with international maritime transport accounting for 2.89% of these emissions. Timely and safe delivery of cargo is essential to global maritime transport, and reliable ship operations play a key role in ensuring this. One of the major factors affecting a ship's performance is engine performance, particularly the quality and handling of engine oils. Engine oils are important for reducing friction, preventing wear, and regulating temperatures in internal combustion engines, which directly impacts the longevity and efficiency of the systems.*

While the introduction of alternative clean energy sources such as methanol, LNG and biofuels is important, optimising existing fuel systems and efficient lubrication is an equally important step to reduce the environmental impact of marine transport. This article shows the role of lubricating oils and their management in improving the performance of internal combustion engines, reducing fuel consumption and thus helping to reduce greenhouse gas emissions. Oil analysis, which evaluates key oil properties such as viscosity and its behaviour with temperature, is considered an important monitoring technique. By maintaining optimum lubrication and not degrading the oil, engines can achieve greater efficiency, reduced wear and emissions. The results show that proper oil management plays an important role in achieving both economic and environmental benefits.

Аннотация. *Использование обычного мазута в энергетическом и транспортном секторах является одним из основных источников глобальных выбросов парниковых газов (ПГ), при этом на международный морской транспорт приходится 2,89% этих выбросов.*

Своевременная и безопасная доставка грузов имеет важное значение для глобальных морских перевозок, и надежная эксплуатация судов играет ключевую роль в обеспечении этого. Одним из основных факторов, влияющих на ходовые качества корабля, являются технические характеристики двигателя, особенно качество и обращение с моторными маслами. Моторные масла важны для снижения трения, предотвращения износа и регулирования температуры в двигателях внутреннего сгорания, что напрямую влияет на долговечность и эффективность систем.

Хотя внедрение альтернативных экологически чистых источников энергии, таких как метанол, СПГ и биотопливо, важно, оптимизация существующих топливных систем и эффективной смазки является не менее важным шагом для снижения воздействия морского транспорта на окружающую среду. В этой статье рассматривается роль смазочных масел и управления ими в повышении производительности двигателей внутреннего сгорания, снижении расхода топлива и, следовательно, содействии снижению выбросов парниковых газов. Анализ масла, который оценивает основные свойства масел, такие как вязкость и ее поведение в зависимости от температуры, считается важным методом контроля. Поддерживая оптимальную смазку и не ухудшая качество масла, двигатели могут достичь большей эффективности, снижения износа и выбросов. Результаты показывают, что правильное управление нефтью играет важную роль в достижении как экономических, так и экологических выгод.

Açar sözlər: *yağ, sürtünmə, keyfiyyət, analiz, gəmi, sınaq, nümunə, özlülük*
Key words: *oil, friction, quality, analysis, vessel, test, sample, viscosity*
Ключевые слова: *масло, трение, качество, анализ, сосуд, испытание, образец, вязкость*

Giriş. Enerji və nəqliyyat sektorlarında yanacaq yağlarının istifadəsi qlobal istixana qazları (GHG) emissiyalarına əhəmiyyətli bir töhfə verir. İstixana effekti atmosferdəki istixana qazlarının infraqırmızı radiasiyanın kosmosa yayılmasının qarşısını alması nəticəsində yaranır. Bu istixana qazlarına karbon qazı (CO2), metan (CH4), azot oksidi (N2O) və florlaşdırılmış qazlar daxildir. Beynəlxalq Dəniz Təşkilatına (IMO) görə, nəqliyyat sektorunda yol nəqliyyatı istixana qazlarının əsas mənbələrindən biridir. IMO-nun dördüncü GHG araşdırmasında beynəlxalq dəniz daşımalarının qlobal istixana qazı (GHG) emissiyalarına töhfəsi 2.89% səviyyəsində proqnozlaşdırılmışdır [1]. Bu ənənəvi yanacaqların metanol, LNG və bioyanacaq kimi alternativ təmiz enerji mənbələri ilə əvəz edilməsi, hava çirklənməsinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir edən dəniz daşımalarının fosil yanacaqlarına əsaslanması səbəbindən dünya miqyasında vacib məsələ kimi qəbul edilir [2].

Bununla belə, daha təmiz yanacaqlara keçidlə yanaşı, mövcud yanacaq sistemlərinin səmərəliliyinin artırılması ekoloji təsirin azaldılmasına doğru vacib addım olaraq qalır. Gözardı edilən metodlardan biri də daxili yanma mühərriklərinin yağlama və yağ idarəçiliyi vasitəsilə effektivliyinin və ömrünün artırılmasıdır. Yağlama yağı yan-yana hərəkət edən hissələr arasında birbaşa təmasın qarşısını alır, sürtünmə nəticəsində yaranan istilik və aşınmanı azaldır, bununla da yanacaq səmərəliliyini artırır, enerji sərfiyyatını azaldır və mühərrikin ömrünü uzadır.

Yağ analizi, yağların çirklənməsini və keyfiyyətinin azalmasını araşdıraraq maşınların vəziyyəti və iş qabiliyyəti haqqında məlumat verən geniş yayılmış bir monitorinq üsuludur [3]. Yağların viskozluğu və onun temperaturdan asılı davranışı kimi əsas xüsusiyyətlər mühərriklərin davamlılığına və səmərəliliyinə əhəmiyyətli təsir göstərir. Yüksək viskozite indeksinə malik yağlar müxtəlif temperaturlarda yağlama xüsusiyyətlərini daha yaxşı saxlayır, bu da aşınma və həddindən artıq istilik yaranması riskini azaldır. Yağın keyfiyyəti zaman keçdikcə yanacaq yanması, mühərrik aşınması və toz və digər hissəciklər kimi xarici çirkləndiricilərin yığılması nəticəsində azalır. Bu keyfiyyət azalması mühərrikin səmərəliliyini azaldır və emissiyaları artırır, xüsusən də yüksək viskozitəli yanacaq istifadə edildikdə.

Daxili yanma mühərriklərinin davamlılığı və etibarlılığına təsir edən yağların ən vacib fiziki və kimyəvi göstəriciləri viskozluq, viskozite indeksi, qələvilik sayı, donma temperaturu, alovlanma temperaturu və buxarlanma qabiliyyəti, termo-oksidativ sabitlik, mexaniki əlavələrin və suyun mövcudluğudur. Viskozluq yağın ən vacib xüsusiyyətidir, o, mayenin layları arasındakı daxili sürtünmə miqdarını, yəni onun axmağa müqavimətini təyin edir. Viskozluq yağlamanın effektivliyini, təmas səthləri arasında film qatının əmələ gəlməsini, bununla da birbaşa təmasın, aşınmanın və təmas zonalarında temperaturun artmasının qarşısını almağı müəyyən edir. Viskozite indeksi yağların viskozluq-temperatur asılılığını xarakterizə edən empirik ölçüsüz bir göstəricidir.

Yüksək viskozite indeksinə malik yağlar (100 və daha çox) temperaturun artması ilə nisbətən az viskozluq azalması ilə xarakterizə olunur, aşağı viskozite indeksinə malik yağlar isə temperaturun artması ilə əhəmiyyətli dərəcədə viskozluq azalması ilə xarakterizə olunur. Yağın yaşlanması iki istiqamətdə gedir: əlavələr işlənir və aşınır, çirkləndiricilər yığılır. Yağın çirklənməsi yanacağın natamam yanması, mühərrik hissələrinin aşınma məhsulları, toz və digər bərk hissəciklər səbəbindən baş verir. Yağın intensiv çirklənməsi əsasən yüksək viskozitəli yanacağın yanması prosesində baş verir. Çünki yüksək viskozitəli yanacaqda ağır molekullu asfaltlar olur, onlar çox yavaş yanır və yanma zamanı yapışqan maddələr əmələ gətirir.

Bu məqalənin məqsədi yağ analizinin və yağlamanın mühərrik performansını yaxşılaşdırmaqda, yanacaq sərfiyyatını azaltmaqda və nəticə olaraq dəniz sənayesində GHG emissiyalarının azalmasına töhfə verməkdə oynadığı vacib rolu araşdırmaqdır. Effektiv yağlama yalnız mühərrik ömrünü uzatmaqla və əməliyyat xərclərini azaltmaqla qalmır, həm də yanacaq sərfiyyatını azaldır ki, bu da öz növbəsində GHG emissiyalarını birbaşa azaldır. Yağlama yağlarının fiziki və kimyəvi xüsusiyyətlərini və onların zamanla keyfiyyətinin azalmasını araşdıraraq bu tədqiqat düzgün yağ idarəçiliyinin həm iqtisadi, həm də ekoloji faydalar əldə etməkdə vacibliyini vurğulayır.

Sirkulyasiya yağlama sistemindən mühərrik yağlarının nümunə götürülməsi

Numunə götürmə, mühərrik performansının və yağ vəziyyətinin izlənməsi üçün mühüm rol oynayır. Düzgün numunə götürmə, mühərrik yağı özlülüyü, çirklənmə səviyyələri və deqradasiya kimi əsas parametrlərin dəqiq təhlilini təmin edir ki, bu da mühərrikin yağlanmasını optimallaşdırmaq və istixana qazı (GHG) emissiyalarını azaltmaq üçün vacibdir. Yağın real vəziyyətini əks etdirmək üçün numunələr filtrasiya cihazlarından əvvəl, dövriyyə sistemindən götürülməlidir. Numunə götürmə intervalları, yağın istismar saatlarına əsasən müəyyən edilir və vaxt keçdikcə dəyişiklikləri izləmək üçün müntəzəm olmalıdır.

Müxtəlif mühərrik komponentlərindən bir neçə yağ numunəsi götürülərkən, çarpaz çirklənmədən qaçınmaq üçün ehtiyatlı olunmalıdır. Hər bir numunə, götürüldüyü xüsusi yeri təmsil etməsi üçün düzgün etiketlənməli və möhürlənməlidir. Filtrlərdən keçməzdən əvvəl dövriyyə sistemindən birbaşa numunə götürmək, filtrlərdən keçərkən çıxarıla biləcək aşınma metalları və ya əsas çirkləndiricilərdən təsirlənmədən, mühərrik boyunca axan yağın vəziyyətini əks etdirən bir numunə təmin edir.

Özlülük tənliyinin araşdırılması. Özlülük sürtkü yağının əsas xüsusiyyətidir və tez-tez empirik düsturlarla təsvir edilir və ya əsas maye dinamikasından əldə edilir. Temperatur t (°C) artdıqca, maye hissəciklərinin enerjisi və maye təbəqələrinin sürəti artır, hissəciklərin təmas müddətini azaldaraq mayelərin özlülüyünün azalmasına səbəb olur [4]. Daha qısa qarşılıqlı təsir müddəti daxili sürtünmə müqavimətinin azalmasına bərabərdir. Dinamik viskozite üçün bu dəyişiklik aşağıdakı formula ilə verilən Arrenius–Guzman əlaqəsi ilə təsvir edilir [5]:

$$\eta_t = A \cdot e^{-\frac{\Delta E}{R_C T}} \quad (1)$$

Burada A kütlə və molyar həcmdən asılıdır və verilmiş maye üçün xarakterik olan bir sabitdir; ΔE isə viskoz axının aktivləşmə enerjisidir; RC=8.31446261815324 J$\cdot mol^{-1} \cdot K^{-1}$ isə Klapeyron qaz sabitidir və T (K) mütləq temperaturdur (T=t+273.15). Nyutonun özlülük qanunu:

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \tag{2}$$

Burada τ = kəsmə gərginliyi (vahid sahəyə düşən qüvvə, adətən paskallarda); μ = dinamik özlülük (pa·s or N·s / m^2); $\frac{du}{dy}$ = axın istiqamətinə perpendikulyar sürət qradiyentidir (1/s).

SGS TURKEY
https://sofia.sgs.com

TÜRKAK
Test TS EN ISO/IEC 17025 AB-0812-T

GN GROUP CORPORATION
Oğuz ATAC
Kosuyolu Mh. Cenap Sahabettin Sk
No:56 Kadıkoy

34718 ISTANBUL
Turkey

AB-0812-T
24C02959
02/07/2024

Analytical report : 24C02959

Internet Login : GNDENIZ

Customer Name : GN GROUP CORPORATION

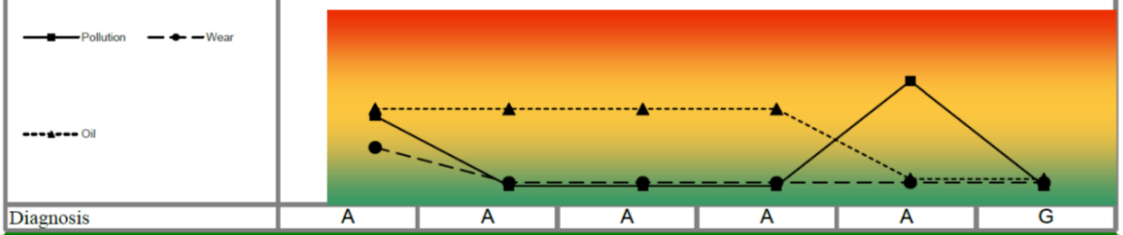
EQUIPMENT
Registration Nr. : 01074375
Component : 2A14
Equipment Desc. : MV LADY DARYA
Component Desc.: EMG. D.Generator
Fleet Nr :
Ref. ID :
Serial Nr :

SAMPLE
Sample Nr : 24C02959
Date Sample taken : 21/06/2024
Received date : 24/06/2024
Date of Analysis : 02/07/2024
Lubricant in Use : SHELL RIMULA R4 X 15W40
Equipment (hours) : 0
Lubricant (hours) : 0 Top-up (Gallon) : 0

CONTACTS:

Technician: Dilara Simsek	Administration: yasemin_ozdemir Phone :	Commercial: TURKEY Phone :

Sample Number	TU471069	TU474663	TU467687	TU474764	24A44370	**24C02951**
Date Sample taken	25/02/2022	23/08/2022	31/05/2023	28/06/2023	15/02/2024	**21/06/2024**
Equipment life (hours)	0	0	0	0	0	**0**
Lubricant life (hours)	0	0	0	0	0	**0**
Top-up (Gallon)	0	0	0	0	0	**0**



Diagnosis	A	A	A	A	A	G

Diagnosis GREEN 26/06/2024

The analysis results show satisfactory contamination and wear levels. The measured characteristics of the fluid are satisfactory.

Analysed by : SGS OCM Turkey
Murat YAVUZ
Laboratory Manager

Diagnosed by : SGS OCM Turkey
Dilara Simsek
Diagnostic Specialist

Nazik təbəqənin yağlanması üçün Reynolds tənliyi. Reynolds tənliyi Navier-Stokes tənliklərindən götürülüb və hidrodinamik yağlamanın (səthlər arasında nazik təbəqə ilə yağlanması) öyrənilməsində əsasdır:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(h^3 \frac{\partial p}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(h^3 \frac{\partial p}{\partial y}\right) = 6\,\mu \frac{\partial h}{\partial t} \tag{3}$$

Burada p = yağlayıcı yağın təzyiqi (Pa); h = yağlanan səthin özlülüyü (m); μ = yağlayıcının özlülüyü (Pa· s); T = zaman; x , y = səth müstəvisində koordinatlardır.

Analytical report : 24C02959

AB-0812-T
24C02959
02/07/2024

RESULTS						
Sequential number	6	7	8	9	10	**0**
Sample Number	TU468980	TU471067	TU474664	TU467689	24A44377	**24C02959**
Test suite	MEOA+SITU	MEOA	MEOA	MEOA	MEOA	**MEOA**
Date Sample taken	05/09/2021	25/02/2022	23/08/2022	31/05/2023	15/02/2024	**21/06/2024**
Date of Analysis	16/09/2021	04/03/2022	29/08/2022	02/06/2023	19/02/2024	**02/07/2024**
Diagnosis Date	20/09/2021	06/03/2022	31/08/2022	06/06/2023	21/02/2024	**02/07/2024**
Equipment life (hours)	0	0	0	0	0	**0**
Lubricant life (hours)	0	0	0	0	0	**0**
Top-up (Gallon)	0	0	0	0	0	**0**
Condition, VISUAL*						
Appearance	CLEAR	CLOUDY	CLEAR	CLOUDY	CLOUDY	**CLEAR**
Viscosity @100°C , ASTM D7279						
Viscosity 100°C mm²/s	13.37	IMP	15.4	13.8	12.1	**12.7**
Oil Analyser, ASTM E2412						
Diesel %	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	**18.00**
Gasoline %	0.00	0.00	0.21	0.00	0.00	**0.00**
Glycol %	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	**0.00**
Nitration A/cm	3.90	4.69	1.87	7.79	12.93	**4.09**
Oxidation A/cm	14.52	5.15	0.63	7.79	16.08	**2.10**
Soot 1980 A/cm	10.90	10.55	0.00	17.17	20.54	**9.52**
Water %	0.00	0.23	0.06	0.00	0.11	**0.10**
TBN, ASTM D2896						
TBN mg KOH/g	11.2	10.7	10.0	11.2	9.6	**12.3**
Spectrometry (ICP), ASTM D5185						
Barium mg/kg	0	0	0	0	0.42	**0**
Calcium mg/kg	4570.21	4253.90	4459.25	3959.86	3540	**3834**
Magnesium mg/kg	35.11	36.62	16.82	10.43	17.0	**33.0**
Molybdenum mg/kg	44.56	44.23	49.14	48.33	45	**44**
Phosphorus mg/kg	1097.68	1108.98	1206.29	1089.70	974	**1062**
Zinc mg/kg	1383.09	1233.93	1339.80	1280.51	1128	**1189**
Boron mg/kg	381.32	395.27	466.20	433.27	340	**405**
Silicium mg/kg	10.45	10.81	11.61	11.13	9.0	**8.0**
Sodium mg/kg	3.49	2.40	2.01	11.67	4.7	**2.2**
Aluminium mg/kg	0	0.05	0.34	1.90	0	**0**
Chromium mg/kg	0	0	0	0	0.9	**0**
Copper mg/kg	2.51	4.04	0	0.46	3.4	**10**
Iron mg/kg	1.41	1.47	0.16	9.50	15	**2.1**
Lead mg/kg	0	0.71	0	0	0.4	**0.9**
Nickel mg/kg	0.56	0	0	0.98	0.9	**0.4**
Silver mg/kg	0	0.18	0	0.18	0	**0**
Tin mg/kg	0	0.00	0	0	0.0	**0.0**
Titanium mg/kg	0	0	0	0	0	**0**
Vanadium mg/kg	0	0	0	0	0	**0**
Flash Point, ASTM D6450						
Flash point °C					193	**159**
End of Analytical Results						

Nümunələrin götürülməsi aşağıdakı intervalda aparılmalıdır:

- dəyişmə müddəti 2000 saatdan az olan yağlar hər 200 saatdan bir;
- dəyişmə müddəti 2000 saatdan 4000 saata qədər olan yağlar hər 500 saatdan bir;
- dəyişmə müddəti 4000 saatdan 10000 saata qədər olan yağlar hər 1500 saatdan bir;
- limana gəlməzdən 1 - 2 sutka əvvəl.

İSO x standartının tələbinə əsasən mühərrik yağlarıın nümunələrinin götürülməsi aşağıdakı ardıcıllıqla tənzimlənir. İstilik texnikası laboratoriyası üçün yağdan nümunələrin götürülməsi dizellərin qəzası zamanı, yağ basqısı olduqda, köhnəlmənin və ya korroziyanın çoxalması aşkar edildikdə, həyata keçirilir. Nümunə götürmə birbaşa sirkulyasiya boru kəmərindən təmizləyici vasitədən qabaq gəmi laboratoriyasının bu məqsəd üçün nəzərdə tutulmuş nümunə götürən cihazla həyata keçirilir. Bu məqsədlə tutumu 0,5 litr olan şüşə butulkalardan da istifadə etmək olar. Nümunə üçün qablar hərtərəfli yuyulmalı və qurudulmalıdır. Götürülən nümunənin həcmi ən azı 400 ml olmalıdır. Nümunə götürməzdən əvvəl, nümunə kranı silinir və kranda və ona gedən boruda qalan yağdan iki dəfə çox yağ boşaldılır.

Götürülən nümunələr olan tara mantar ilə möhürlənir və məlumat kartı ilə təchiz edilir. Məlumat kartında aşagıdakılar göstərilir: gəminin adı; mühərrikin markası və nömrəsi; nümunənin

götürüldüyü yer; yağın markası; yağın sistemə doldurulduğu andan etibarən işləmə müddəti; separasiyanın dövriliyi və işləmə müddəti; nümunənin götürüldüyü vaxt; nümunəni götürən şəxsin soyadı və vəzifəsi.

Nəticə. GN GROUP şirkətinə məxsus MV LADY DARYA adlı 5000 DWT, 2400 kw, 4 taktlı MAK 8M25 növlü mühərrikdə istifadə olunan SHELL RİMULA R4 X 15W40 markalı yağlarından nümunə götürülmüş və laboratoriyada sınağı aparılmışdır. Aşağıdakı cədvəllərdə sınaq nəticələri əks olunmuşdur və bir də bu mühərrikdə göstərilən yağların istifadəsinə yararlı olmasına zəmin yaradılmışdır. Bu sınaq hesabatında göstərilən nəticələr, başqa cür göstərilmədiyi təqdirdə, xüsusi olaraq qəbul edilmiş nümunə(lər)ə istinad edir. Bütün testlər ən son metodlardan istifadə etməklə həyata keçirilmişdir. Aşağıdakı nəticələrin müəyyən edilməsində dəqiqlik parametrləri tətbiq edilir. Analitik nəticələrin istifadəçiləri, kommersiya və ya tənzimləyici ilə uyğunluğu müəyyən edərkən, bu kontekstdə ASTM D3244, IP 367 və ISO 4259-un tam müddəalarını qeyd etməlidirlər. Neft sınaqlarının defolt etibarlılıq səviyyəsi 95% etibarlılıq səviyyəsində müəyyən edilmişdir.

Burada müəyyən edilmiş məsuliyyət məhdudiyyətləri, təzminat və yurisdiksiya məsələlərinə diqqət yetirilir. Bu sənədin hər hansı sahibinə tövsiyə olunur ki, buradakı məlumat yalnız müdaxilə zamanı və əgər varsa, müştərinin göstərişləri çərçivəsində şirkətin təqdim etdiyi sənəddə əks etdirməlidir. Şirkətin yeganə məsuliyyəti onun müştərisi qarşısındadır və bu sənəd əməliyyatın tərəflərini əməliyyat sənədləri üzrə bütün hüquq və öhdəliklərini həyata keçirməkdən azad etmir. Bu sənədin məzmununun və ya görünüşünün hər hansı icazəsiz dəyişdirilməsi, saxtalaşdırılması qanunsuzdur və qanun pozuntusuna yol verənlər qanunun ən yüksək həddi ilə təqib oluna bilərlər. Nümunələr 1 ay saxlanılır. Bu sənəd yalnız bütövlükdə etibarlıdır və sizin diqqətiniz bu hesabatın 1-ci səhifəsindəki Qaydalar və Şərtlərə cəlb olunur. Bu hesabat laboratoriyanın yazılı razılığı olmadan tam həcmdə istisna olmaqla təkrar nəşr edilə bilməz.

Ədəbiyyat

[1] IMO, 2020. Fourth IMO Greenhouse Gas Study. https://www.imo.org/en/ourwork/Environment/Pages/Fourth-IMO-Greenhouse-Gas-Study 2020.aspx#:~:text=%E2%80%93%20The%20share%20of%20shipping%20e missions,2012%20to%202.89%25%20in%202018
[2] IMO, 2018a. Initial IMO Strategy on Reduction of GHG Emissions from Ships
[3] Kaleli, H., & Yildirim, E. (2008). Determination of oil drain period in naval ship diesel engine. Tribol. Ind, 30, 21-30. https://www.tribology.rs/journals/2008/2008-3-4/4.pdf.
[4] Chybowski, L., Szczepanek, M., & Gawdzińska, K. (2024). Arrhenius Equation for Calculating Viscosity in Assessing the Dilution Level of Lubricating Oil with Diesel Oil—A Case Study of SAE 30 and SAE 40 Grade Marine Lubricating Oils. Energies, 17(2), 444.
[5] Chybowski, L., Szczepanek, M., Ćwirko, K., & Marosek, K. (2024). Analytical method for determining the viscosity index of engine lubricating oils. Energies, 17(19), 4908. https://doi.org/10.3390/en17194908
[6] Azerbaijan State Maritime Academy, Tecnology of using fuel, water and oil on the ship, Baku, 2021
[7] Azerbaijan State Maritime Academy, Construction of ship internal combustion engines, Baku, 2021
[8] International Vocabulary of Basic and General Terms in Metrology (VIM), ISO, 2004

Məqalə qəbul olunub: 07.11.24
Tövsiyə edib: dos. İsmayılov A.Ş.

UOT 621.075

SUPPLEMENTARY COMPARISON OF KINEMATIC VISCOSITY OF THE LIQUIDS

[1]Hasanov Y.N., [2]Demyanov A.A., [3]Nabiyeva E., [1]Rəhmanov M., [1]Rahimov B.R.

[1] "Azerbaijan State Marine Academy" LEPL
AZ1000, Baku, Z.Aliyeva str, 18
[2]D. I. Mendeleyev Institute for Metrology (VNIIM)
Russia, St.Petersburg, Moskovsky pr., 19
[3] Azerbaijan Metrology Institute
AZ1029, Baku, Kondalan street, Elchin Isagzadeh settlement, 7th
E-mail: yusif_nadiroglu@mail.ru, A.A.Demyanov@vniim.ru, Emmanabieva@gmail.com

Abstract. *This report outlines the COOMET Supplementary Comparison of liquid kinematic viscosity standards conducted by two National Metrology Institutes (NMIs) under the decision of the 16th Meeting of COOMET TC 1.6 "Mass and Related Quantities" in 2011. The comparison, piloted by VNIIM, aimed to confirm the calibration and measurement capabilities (CMC) of the participating NMIs. Newtonian liquids with nominal kinematic viscosities of 20 mm²/s, 100 mm²/s, and 1000 mm²/s at 20°C were measured using Ubbelohde viscometers. Each liquid sample was tested 10 times per viscometer, and kinematic viscosity was calculated using standard formulas incorporating parameters like calibration constant, temperature gradient, and flow time. The relative standard uncertainty of the reference values ranges from 0,096 % at 20 mm²/s to 0,4 % at 1000 mm²/s and 20°C. Relative expanded uncertainties were evaluated, with reference values and uncertainties established by VNIIM. The consistency of results was verified and confirming the agreement of participants' data with stated uncertainties. This comparison reaffirms the NMIs' CMCs and aligns with COOMET guidelines.*

Xülasə. *Bu hesabat 2011-ci ildə COOMET TC 1.6 "Kütləvi və əlaqəli miqdarlar" 16-cı iclasının qərarına əsasən iki Milli Metrologiya İnstitutu (NMI) tərəfindən həyata keçirilən maye kinematik özlülük standartlarının COOMET Əlavə Müqayisəsini təsvir edir. VNIIM tərəfindən sınaqdan keçirilmiş müqayisənin məqsədi iştirakçının kalibrləmə və ölçmə imkanlarını (CMC) təsdiqləyin NMI-lər. 20°C-də nominal kinematik özlülükləri 20 mm²/s, 100 mm²/s və 1000 mm²/s olan Nyuton mayeləri Ubbelohde viskozimetrləri ilə ölçüldü. Hər bir maye nümunəsi hər bir viskozimetr üçün 10 dəfə sınaqdan keçirilmiş və kinematik özlülük kalibrləmə sabiti, temperatur qradiyenti və axın vaxtı kimi parametrləri özündə birləşdirən standart düsturlardan istifadə etməklə hesablanmışdır. İstinad qiymətlərinin nisbi standart qeyri-müəyyənliyi 20 mm²/s-də 0,096%-dən 1000 mm²/s-də və 20°C-də 0,4%-ə qədər dəyişir. Nisbi genişləndirilmiş qeyri-müəyyənliklər VNIIM tərəfindən müəyyən edilmiş istinad dəyərləri və qeyri-müəyyənliklərlə qiymətləndirilmişdir. Nəticələrin uyğunluğu yoxlanılmış və iştirakçıların məlumatlarının bildirilmiş qeyri-müəyyənliklərlə uyğunluğu təsdiq edilmişdir. Bu müqayisə NMI-lərin CMC-lərini bir daha təsdiqləyir və COOMET təlimatlarına uyğun gəlir.*

Аннотация. *В настоящем отчете описывается Дополнительное сличение стандартов кинематической вязкости жидкостей КООМЕТ, проведенное двумя национальными метрологическими институтами (НМИ) в соответствии с решением 16-го заседания ТК 1.6 КООМЕТ «Масса и связанные с ней величины» в 2011 году. Целью сличения, пилотируемого ВНИИМ, было подтверждение калибровочных и измерительных возможностей (ККИ) участвующих НМИ. Ньютоновские жидкости с номинальной кинематической вязкостью 20 мм²/с, 100 мм²/с и 1000 мм²/с при 20 °С были измерены с помощью вискозиметров Уббелоде. Каждый образец жидкости был испытан 10 раз на вискозиметре, а кинематическая вязкость была*

рассчитана с использованием стандартных формул, включающих такие параметры, как калибровочная константа, температурный градиент и время истечения. Относительная стандартная неопределенность опорных значений составляет от 0,096 % при 20 мм²/с до 0,4 % при 1000 мм²/с и 20 °C. Относительные расширенные неопределенности были оценены с опорными значениями и неопределенностями, установленными ВНИИМ. Согласованность результатов была проверена и подтвердила согласие данных участников с заявленными неопределенностями. Это сравнение подтверждает СМС НМИ и согласуется с руководящими принципами КООМЕТ.

Key words: *kinematic viscosity, liquid viscosity standards, degree of equivalence, viscosity measurement, supplementary comparison, metrology, comparison study*

Açar sözlər: *kinematik özlülük, maye özlülük standartları, ekvivalentlik dərəcəsi, özlülüyün ölçülməsi, əlavə müqayisə, metrologiya, müqayisə tədqiqatı*

Ключевые слова: *кинематическая вязкость, стандарты вязкости жидкости, степень эквивалентности, измерение вязкости, дополнительное сравнение, метрология, сравнительное исследование*

1. Introduction. This comparison was conducted by decision of the 16th Meeting of COOMET TC 1.6 "Mass and related quantities", held in St. Petersburg .The pilot laboratory was VNIIM. Each NMI presented the results of measurements with corresponding uncertainties anduncertainty budget. The aim of the present comparison was to confirm the calibration and measurement capabilities (CMC) of the participating NMIs.

2. Organization of comparisons. The comparison schedule and additional information are given in tables 1 and 2, respectively.

Table 1

Comparison schedule

Line N	Event
1.	Decision to carry out the comparison taken at the 16th Meeting of COOMET TK 1.6
2.	Preparation of the first draft of Technical Protocol
3.	Approval of the Protocol at the 17th Meeting of COOMET TK 1.6
4.	Acquisition of liquids, vials and preparation of specimens
5.	Measurements of liquids by the pilot laboratory, testing their stability and uniformity, shipping to the participating laboratories
6.	Measurements in by participating laboratories
7.	Sending liquids to the pilot laboratory, implementation of control measures in thepilot laboratory
8.	Testing the stability of liquids at 20 ºC. Receiving reports from the participants
9.	Draft A report
10.	Draft B report

Table 2

Additional information on the COOMET.M.V-S1 comparison

№	Information	Note		
1	Circulation of the transfer standards	Radial		
2	Purpose of the comparison	Confirmation of measurement and calibrationcapabilities (CMC) claimed by the participating NMIs		
3	Dates of measurements	VNIIM	"20"	
			"100"	
			"1000"	
		AzStand	"20"	
			"100"	
			"1000"	
4	Measurement conditions	VNIIM	"20"	*t*=21,1 ºC, *p*=101,2kPa, *φ*=45,3 %
			"100"	*t*=21,3 ºC, *p*=101,6kPa, *φ*=44,8 %
			"1000"	*t*=20,8 ºC, *p*=100,4kPa, *φ*=44,3 %
		AzStand	"20"	*t*=20,7 ºC, *p*=101,2kPa, *φ*=48,5 %
			"100"	*t*=20,0 ºC, *p*=101,3kPa, *φ*=50,0 %
			"1000"	*t*=20,7 ºC, *p*=101,2kPa, *φ*=48,5 %
5	Transfer standards: «20», «100» и «1000»			
	Name of the standard	Liquid		
	Type	REV		
	Model of the standard	«20», «100», «1000»		
	Packaging description	Bottles of dark color with a capacity of 500ml.		
6	Packing and unpacking			
	Packing content	Three dark bottle of 500 ml each containingliquid «20», «100» and «1000»		
	Sequence of actions in the NMI when unpackingthe standard of comparison	Upon receipt, the vials are kept unopened inthe participating laboratory for at least two days. Bottles and seals shall be opened only for measurements. Before opening the bottles, you must still check them every time for visible damages or dirt. All significant problems should be specified in the report.		

Note: Physical constants of liquids are shown in tables 3 and 4.

Table 3

Temperature coefficient of volume expansion

№	Liquid	β, kg/(m^{3}K)	Uncertainty, kg/(m^{3}K), k=1
1	«20»	0,60	0,05
2	«100»	0,60	0,05
3	«1000»	0,60	0,05

Table 4

The nominal value of the surface tension and density values

№	Liquid	Υ, mH/m	Density, kg/m^3
1	«20»	31	860
2	«100»	31	880
3	«1000»	31	890

4. Description of the measurement method. Description of the measurement method

All participants, when measuring the viscosity of each liquid sample, use two Ubbelohde viscometer (which are national standards in the participating countries) with close values of the calibration constant.

The viscosity of each liquid sample was measured 10 times by each viscometer at the temperature of 20 °C. The kinematic viscosity was calculated by the formula 1:

$$\gamma = \frac{g}{g_{cal}} \cdot K \cdot t - \frac{B}{t} \quad (1)$$

γ - kinematic viscosity mm^2/s; B - correction for the loss of fluid kinetic energy, mm^2; K - calibration constant of the viscometer, mm^2/s^2; t - time of liquid flow through the capillary viscometer, s; g, g_{cal} -the acceleration of gravity at the place of measurement of viscosity and calibration of viscometer, m^2/s.

The relative expanded uncertainty of measurement of the fluid viscosity ($Uo\gamma$) was calculated by each participant. Formula 2 was used to calculate the uncertainty in measurement of the kinematic viscosity ofthe samples:.

$$U_{o\gamma} = \frac{U_\gamma}{\gamma} * 100\% = 2 * \sqrt{(U_{oK})^2 + \left(U_{\partial\gamma}\right)^2 + (U_{oB})^2 + \frac{1}{2} * ((U_{0CX})^2 + (U_{o\tau})^2)} * 100\% \quad (2)$$

u_{oK} –relative standard measurement uncertainty constant K of the primary standard;
u_{oB} –relative standard uncertainty of measurement of the constant B of the primarystandard; $u_{\vartheta\gamma}$ - relative standard uncertainty caused by the temperature gradient;
u_{ocx} - relative standard uncertainty of fluid flow through the capillary viscometer;
$u_{o\tau}$ - relative standard uncertainty of the time counter.

5. Comparison results. The measurement results and the value of the relative expanded uncertainty of measurement of kinematic viscosity of the liquid obtained bythe participants received the comparisons are shown in Table 5.

Table 5

Measurement results and values of the expanded uncertainty in measurement of the kinematic viscosity of liquids

COOMET.M.V-S1 (588/RU-a/12) SUPPLEMENTARY COMPARISONS OF COOMET IN THE FIELD OF MEASUREMENTS OF LIQUIDS KINEMATIC VISCOSITY									
Partici-pant	Liquid "20"			Liquid "100"			Liquid "1000"		
	γ, (mm^2/s)	u_γ,%	Δ_γ, (mm^2/s)	y, (mm^2/s)	u_γ,%	Δ_γ, (mm^2/s)	y, (mm^2/s)	u_γ,%	Δ_γ, (mm^2/s)
VNIIM	19,446	0,096		112,49	0,10		1007,3	0,1	
AzStand	19,461	0,204	+ 0,015	112,64	0,23	+ 0,15	1007,2	0,3	- 0,1

Note: The values of VNIIM are taken as the reference values; u_γ,% –expanded relative uncertainty of measurement of viscosity of liquid by each participant (k=2); Δ_γ - absolute deviation of the result AzStand from VNIIM result.

Figs. 1 to 3 show the results of the supplementary comparison

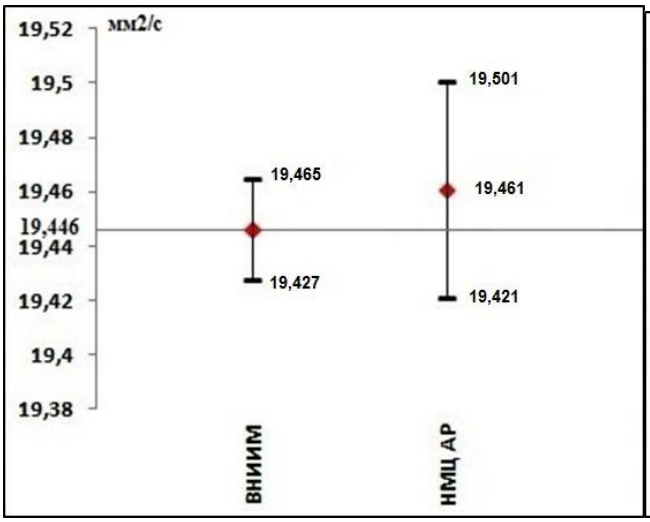


Fig. 1. Liquid "20" (mm^2/s

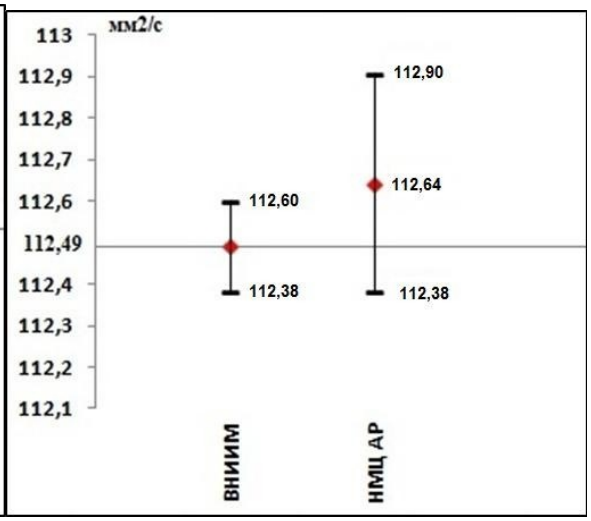


Fig. 2. Liquid "100" (mm^2/s)

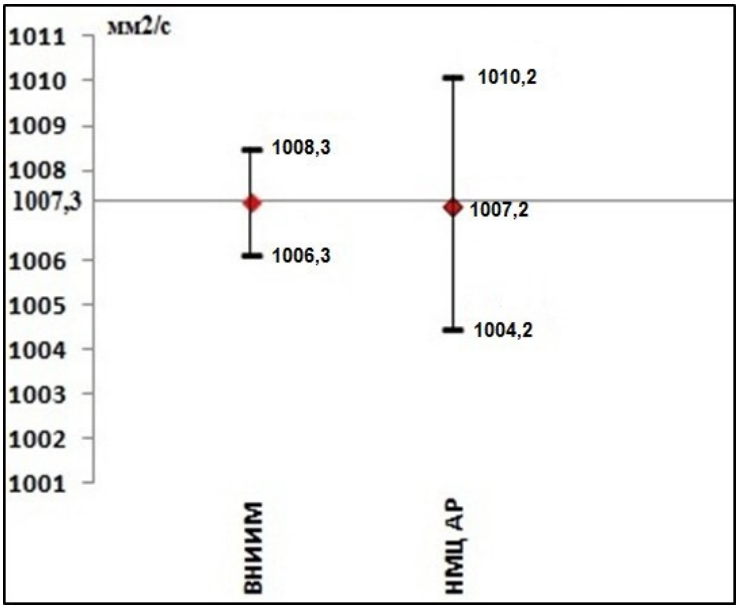


Fig. 3. Liquid "1000" (mm^2/s)

6. Uncertainty budgets and confirmation of calibration and measurement capabilities (CMCs) of the participating NMIs. Uncertainty budget is shown in table 6.

Table 6

Uncertainty budget

№	Uncertainty	VNIIM			AzStand		
		Liquid			Liquid		
		"20"	"100"	"1000"	"20"	"100"	"1000"
1	Relative standard uncertainty in measurement of the liquid flow intime viscometers (u_{ocx})	$5{,}53*10^{-5}$	$5{,}12*10^{-5}$	$3{,}51*10^{-5}$	$0{,}49*10^{-4}$	$4{,}15*10^{-5}$	$0{,}48*10^{-4}$
2	Relative standard measurement uncertainty constant k of theprimary standard (u_{ok})	$3{,}91*10^{-4}$	$4{,}48*10^{-4}$	$5{,}45*10^{-4}$	0,001	$1{,}15*10^{-3}$	$1{,}4*10^{-3}$
3	Relative standard uncertainty in measurement of the constant b in the primary standard (u_{ob})	$1{,}625*10^{-4}$					
4	Relative standard uncertainty caused by the temperature gradient ($u_{\vartheta\gamma}$)	$2{,}198*10^{-4}$	$2{,}21*10^{-4}$	$2{,}80*10^{-4}$	$0{,}125*10^{-3}$		
5	Relative standard uncertainty of the time counter ($u_{o\tau}$)	$2{,}966*10^{-5}$	$5{,}13*10^{-5}$	$0{,}57*10^{-6}$	$1{,}66*10^{-4}$	$0{,}15*10^{-3}$	$0{,}19*10^{-3}$
6	Relative standard uncertainty due to the deviation from the vertical position (u_{ob})				$7*10^{-8}$		
7	The combined standard uncertainty in measurement ofkinematic viscosity of liquids (u_c)	$0{,}479*10^{-3}$	$0{,}501*10^{-3}$	$0{,}613*10^{-3}$	$1{,}022*10^{-3}$	$1{,}162*10^{-3}$	$1{,}42*10^{-3}$
8	Relative expanded uncertainty in measurement of kinematic viscosity of liquids (U_{op}), k=2	$0{,}96*10^{-3}$	$1{,}0*10^{-3}$	$1{,}2*10^{-3}$	$2{,}04*10^{-3}$	$2{,}32*10^{-3}$	$2{,}8*10^{-3}$

The participants' CMCs was assessed according to the COOMET "Guideline on COOMET supplementary comparison evaluation" (R/GM/19:2008). Comparison COOMET.MV-S1 (588/RU-a/12) was classified as type II, in accordance with COOMET R/GM/19:2008. The procedure for evaluation of data on this comparison type is as follows::

a. **Reference value of the supplementary comparison:** The reference laboratory (VNIIM) on the basis of measurement results or calculations establishes the supplementary comparisons reference value — the traveling standard value assessment and corresponding uncertainty:

$$x_{ref},\ u(x_{ref}).$$

b. Checks the consistency of the comparison data (criterion E_n) according to formula 3:

$$\widetilde{E}_n = \frac{|x_i - x_{ref}|}{2\sqrt{U^2(x_i) + U^2(x_{ref}) - 2cov(x_i, x_{ref})}} < 1 \qquad (3)$$

If the criterion E_n value calculated in accordance with the result provided by i-th NMI doesn't exceed 1 with the coverage level 0,95, then it could be acknowledged that this NMI data confirm announced uncertainties.

Note:The covariance value for these comparisons is set to zero, $\text{cov}(x_i, x_{ref})=0$.

The estimated results of this supplementary comparison are shown in Table 7.

Table 7

Evaluated data obtained in the supplementary comparison

Liquid	$(x_{AzStand} - x_{ref})$, мм^2/с	$2\sqrt{(u^2(x_{AzStand})+u^2(x_{ref}))}$	E_n
"20"	0,015	0,0439	0,34
"100"	0,15	0,2852	0,53
"1000"	0,1	3,1156	0,03

Conclusion. The data of participants are in agreement with respect rthe the the criterion *En*, whichconfirms the stated uncertainty claimed by the AzStand.

References

1. JGCM100:2008 - Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM).
2. JGCM200:2008 – International vocabulary of metrology (VIM).
3. COOMET R/GM/11:2010 "COOMET Recommendations. Regulations on comparisons national standards NMI COOMET".
4. COOMET R/GM/19:2008 "Guideline on evaluation of the results obtained in COOMETsupplementary comparisons".

Məqalə qəbul olunub: 07.11.24
Tövsiyə edib: dos. İsmayılov A.Ş.

UOT 621.043

DİZEL MÜHƏRRİKİNDƏ SIXMA DƏRƏCƏSİNİ AVTOMATİK DƏYİŞƏN PORŞENİN HİDRAVLİK SİSTEMİNİN OPTİMAL ÖLÇÜLƏRİNİN SEÇİLMƏSİ

İsmayılov A.Ş., Kərimov E.N.

"Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası" PHŞ
AZ1000, Bakı şəh., Z.Əliyeva küç., 18
E-mail: akif.ismayilov@asco.az, elnur.kerimov.6791@mail.ru

Xülasə. *Məqalədə sıxma dərəcəsini avtomatik dəyişən porşenli dizel mühərrikində porşenin hidravlik sisteminin əsas parametrlərinin (əlavə kameranın diametri, həcmlərdəki araboşluqları, başlıq hissəsinin kütləsi, reduksion klapanın yayının sərtliyi, reduksion klapanın deşiyinin diametri, reduksion klapan yayının başlanğıc gərilməsi) optimal qiymətlərinin sıxma dərəcəsini avtomatik dəyişən poşenli dizel mühərrikinin işçi tsiklinin riyazi modelindən istifadə edərək riyazi eksperimentlərin köməyi ilə təyin olunması haqqında məlumatlar verilmişdir.*

Аннотация. *В статье излагается сведения по определению оптимальных значений основных параметров гидравлической системы поршня (диаметра дополнительной камеры, зазоры в объемах, массу оболочки поршня, жесткость пружины редукционного клапана, диаметра отверстия редукционного клапана, предварительного натяга пружины редукционного клапана) дизельного двигателя с поршнем автоматически регулирующим степень сжатия с помощью математических экспериментов с использованием математической модели рабочего цикла.*

Abstract. *The article provides information on determining the optimum values of the main parameters of the hydraulic system of the piston (diameter of the additional chamber, clearances in the volumes, mass of the piston shell, stiffness of the reduction valve spring, diameter of the reduction*

valve hole , preload of the reduction valve spring) of a diesel engine with a piston automatically regulating the compression ratio by means of mathematical experiments using a mathematical model of the operating cycle.

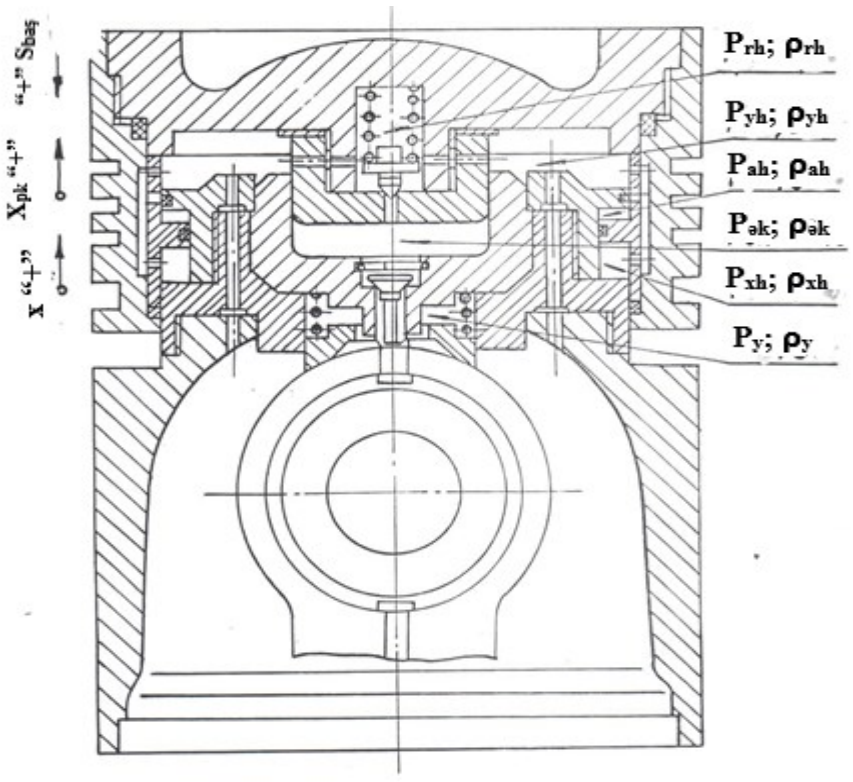
Açar sözlər: *dizel mühərriki, sıxma dərəcəsi, hidravlik sistem, porşen, optimal ölçülər, əlavə kamera, reduksion klapan, yay, işçi tsikl, riyazi model, riyazi eksperimentlər*

Ключевые слова: *дизельный двигатель, степень сжатия, гидравлическая система, поршень, оптимальные размеры, дополнительная камера, редукционный клапан, пружина, рабочий цикл, математическая модель, математические эксперименты*

Key words: *diesel engine, compression ratio, hydraulic system, piston, optimal dimensions, additional chamber, pressure reducing valve, spring, operating cycle, mathematical model, mathematical experiments*

Giriş. Mühərrikin işə düşməsini asanlaşdırmaq və boş işləmə rejimlərində işini yaxşılaşdırmaq məqsədi ilə sıxma dərəcəsinin yüksəldilməsi silindrdəki maksimum təzyiqin həddindən artıq böyüməsinə səbəb olur. Bu isə öz növbəsində dirsək-şatun mexanizminin hissələrinə düşən dinamiki yükün böyüməsinə, bəzi hallarda isə hətta onların sınmasına səbəb ola bilər.

Silindrdəki təzyiqin maksimum qiymətinin məhdudlaşdırılması sıxma dərəcəsinin avtomatik dəyişdirilməsi zamanı daha yaxşı həll edilə bilər. Sıxma dərəcəsini dəyişən sxemlərdən ən əlverişlisi və məqsədəuyğunu yanma kamerasının həcminin dəyişdirilməsinə imkan verən sıxma dərəcəsini avtomatik dəyişən poşen (SDADP) hesab olunur. [1, səh. 82-90]-də belə konstruksiyalardan birinin iş prinsipi və hidravlik sisteminin hesablama metodikası haqqında ətraflı məlumat verilmişdir. Bu quruluşların tətbiq olunması, hətta ətraf mühitin aşağı temperaturlarında belə mühərrikin asan işə düşməsini təmin edir və mexaniki yükləri çox artırmadan yüksək üfürmə təzyiqlərindən istifadə etməyə imkan verir. Sıxma dərəcəsini avtomatik dəyişən bu porşenin hesabi sxemi şəkil 1-də göstərilmişdir.

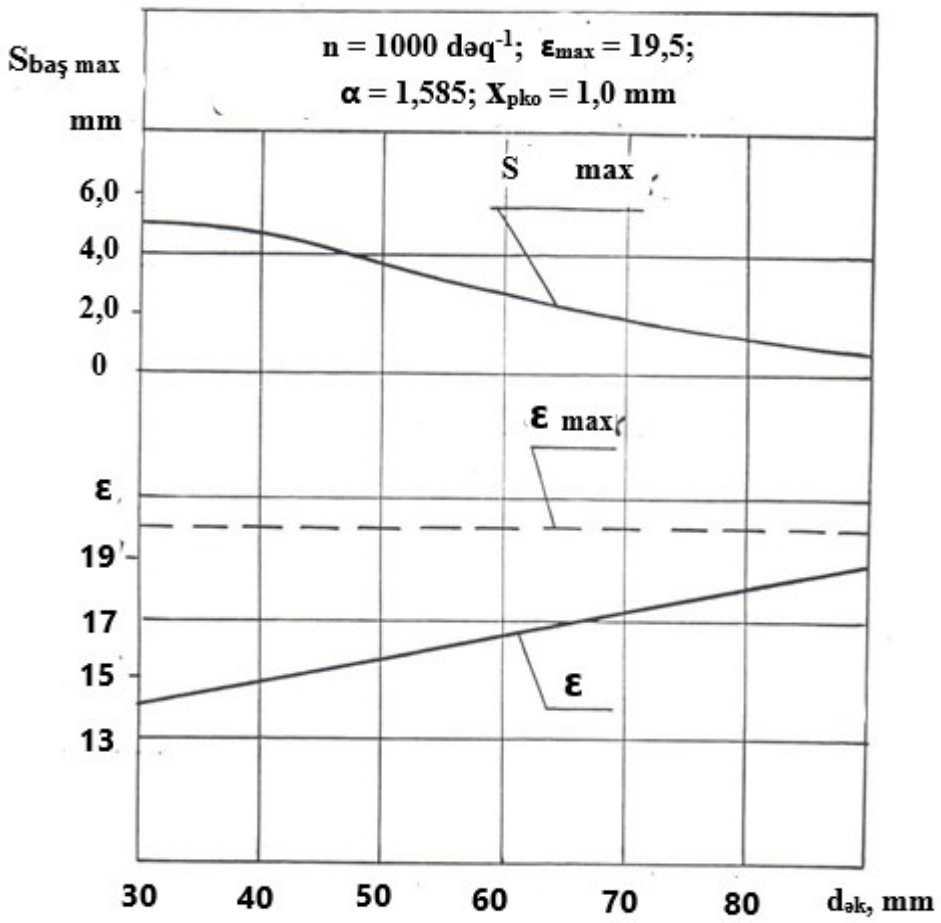


Şəkil 1. *Sıxma dərəcəsini avtomatik dəyişən porşenin hesabi sxemi*

Əsas hissə. Etibarlı SDADP konstruksiyasının yaradılması onun əsas ölçülərini qabaqcadan proqnozlaşdırmadan mümkün deyildir. Bu isə yalnız hesabi eksperimentlərin köməyi ilə çox material və əmək sərf edilmədən, həm də qısa bir müddətdə həyata keçirilə bilər. Sıxma dərəcəsini avtomatik dəyişən poşenli dizel mühərrikinin işçi tsiklinin riyazi modelindən [2, səh. 63-70] istifadə edərək SDADP-nin əsas konstruktiv ölçülərinin və digər parametrlərinin optimal qiymətlərinin təyin edilməsi istiqamətində çoxlu sayda hesablamalar aparılmışdır. Aşağıda bu hesablamaların nəticəsində təyin olunan ölçülər və parametrlər verilir.

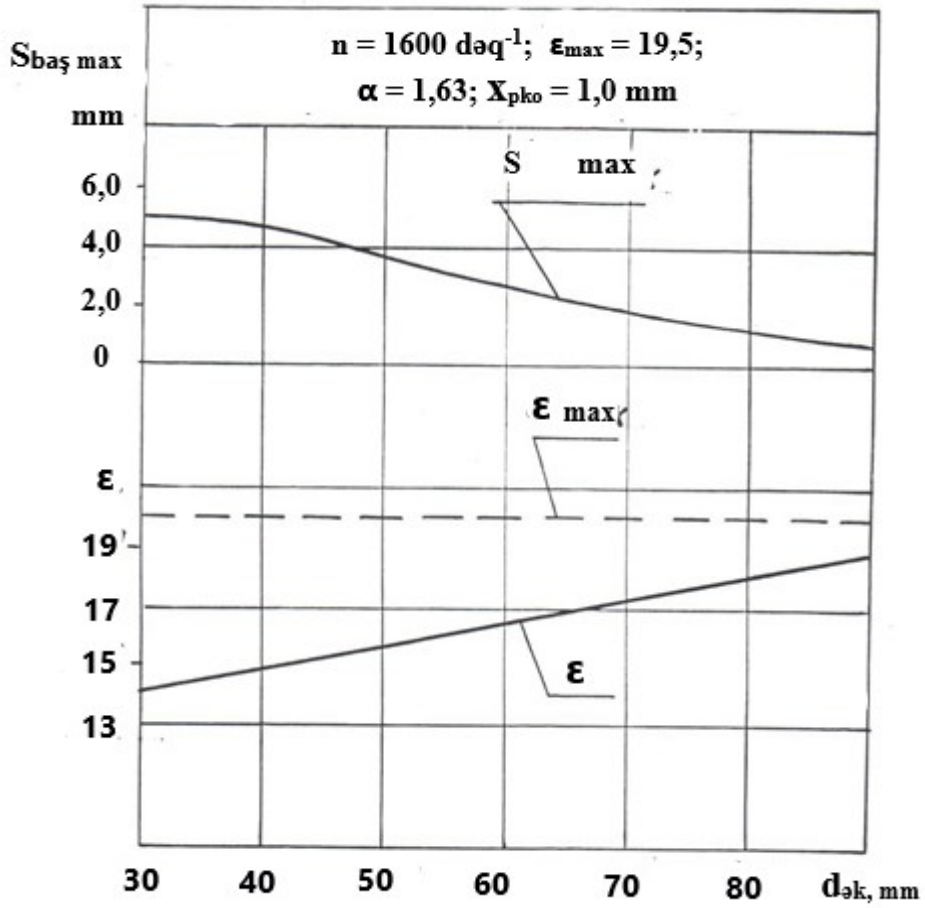
Əlavə kameranın diametri. Əvvəllər qeyd edildiyi kimi əlavə kameranın diametrinin qiyməti SDADP-nin çevikliyinin təmin olunması nöqteyi-nəzərindən çox böyük əhəmiyyət kəsb edir. Şək. 2 və 3-də əlavə kameranın diametrinin seçilməsi məqsədi ilə aparılan hesabi tədqiqatların nəticələri göstərilmişdir**.** Bu zaman reduksion klapanın açılmasına uyğun gələn təzyiq qüvvəsi sabit saxlanılmışdır. Bunun üçün əlavə kameranın diametri böyüdüldükcə klapan yayının sərtliyi diametrin kvadratına mütənasib olaraq azaldılmış başlanğıc gərilmə qüvvəsi sabit saxlanmış və x_{pko} =1,0 mm-ə bərabər qəbul olunmuşdur.

Şək. 2 və şək. 3-də SDADP-nin başlıq hissəsinin yerdəyişməsinin ($S_{baş.max}$) və şərti sıxma dərəcəsinin (ε) bir tsikl ərzində əlavə kameranın diametrindən asılılıq qrafikləri göstərilmişdir. Şəkillərdən göründüyü kimi əlavə kameranın diametri böyüdükcə ε-nun dəyişmə diapozonu azalır ki, bu da SDADP-nin həssaslığının, daha doğrusu çevikliyinin azaldığını bir daha təsdiq edir.



Şəkil 2. *SDADP-ın başlıq hissəsinin yerdəyişməsinin ($S_{baş.max}$) və şərti sıxma dərəcəsinin (ε) bir tsikl ərzində əlavə kameranın diametrindən asılılıq qrafikləri*

Şəkil 3-ə görə hər bir tsikldə sıxma dərəcəsinin geniş diapazonda dəyişməsini təmin etmək üçün əlavə kameranın diametri 30÷60 mm hədlərində seçilmişdir. O da qeyd olunmalıdır ki, əlavə kameranın diametrinin kiçik qiymətləri sıxma dərəcəsinin daha geniş intervallarda dəyişməsini təmin edir. Məsələn, əgər $d_{ək}$=30 mm olduqda sıxma dərəcəsi 19,5-dən 14,2-yə qədər və yaxud, 5,3 vahid dəyişirsə, d_k=60 mm olduqda 19,5 –dən 16,4-ə kimi , daha doğrusu , 3,1 vahid dəyişir, $d_{ək}$=40 mm olduqda sıxma dərəcəsi 19,5-dən 14,8-ə kimi dəyişir, yəni sıxma dərəcəsinin azalması 4,7 vahid təşkil edir.



Şəkil 3. *SDADP-ın başlıq hissəsinin yerdəyişməsinin ($S_{baş.max}$) və şərti sıxma dərəcəsinin (ε) bir tsikl ərzində əlavə kameranın diametrindən asılılıq qrafikləri*

Bunları, o cümlədən, əlavə kamerada və slindirdə təzyiqlərin maksimum qiymətlərinin buraxılabilən hədlərdə olmasını nəzərə alaraq əlavə kameranın diametri $d_{ək}$=40 mm qəbul olunmuşdur. Bu zaman əlavə kameradakı təzyiq $P_{əkmax}$=50 MPa olur ki, bu da yol verilən qiymətdir.

Həcmlərdəki araboşluqları. SDADP-nin işinə təsir edən əsas amillərdən biri də əlavə kameradakl və aşağı həcmdəki araboşluqlarıdır. Belə ki, əlavə kamerada araboşluğunun həddindən artıq böyüdülməsi sıxma dərəcəsinin arzuolunmaz dərəcədə tez kiçilməsinə, bu araboşluğunun çox kiçik qiymətləri isə texnoloji çətinliklərin yaranmasına səbəb olur. Aşağı həcmdə də kiçik araboşluqları texnoloji cəhətdən məqsədəuyğun deyil, böyük araboşluqları isə ftoroplast materialından hazırlanmış kipləşdirici üzüklərin şəraitini pisləşdirir.

1 və 2 cədvəllərində SDADP-li dizelin əsas göstəricilərinin əlavə kameradakı və aşağı həcmdəki radial araboşluqlarından asılı olaraq dəyişən qiymətləri göstərilmişdir. 1 cədvəlindən göründüyü kimi aşağı həcmlərdəki araboşluğunun 0,035 mm-ə bərabər olan sabit qiymətində əlavə kameradakı araboşluğunun 0,025÷0,015 mm hədlərində dəyişməsi porşenin başlıq hissəsinin

sonundakı vəziyyətinə (uyğun olaraq $S_{baş}^{a}$ və $S_{baş}^{c}$) və başlıq hissəsinin yerdəyişməsinin maksimum qiymətinə ($S_{başmax}^{a}$) çox cüzi təsir edir, SDADP-li mühərrikin işçi tsiklinin əsas göstəricilərinə (P_i, g_i, η_i, P_z) isə demək olar ki, təsir etmir. Əlavə kameradakı araboşluğunun göstərilən hədd daxilində böyüdülməsi zamanı bir tsikl ərzində $S_{baş}^{a}$, $S_{baş}^{c}$ və $S_{başmax}^{a}$ az da olsa artırlar. Lakin, araboşluğunun daha da artırılması (bu qiymətlər cədvələ daxil edilməmişdir) sıxmanın sonunda başlıq hissəsinin həddindən artıq aşağı düşməsinə səbəb olur. Ona görə də, bütün bunlar nəzərə alınaraq, əlavə kameradakı radial araboşluğu 0,01 mm-ə bərabər qəbul olunmuşdur.

Cədvəl 1

SDADP-li dizelin əsas göstəricilərinin əlavə kameradakı radial araboşluqlarından asılı olaraq dəyişən qiymətləri

Göstəricilər	Əlavə kameradakı araboşluğu, mm					
	0.0025	0.0050	0.0075	0.010	0.0125	0.015
P_z, MPa	5.045	6.042	6.028	6.015	6.015	5.993
$S_{baş}^{a}$, mm	0.2252	0.2292	0.2288	0.2451	0.2311	0.2519
$S_{baş}^{c}$, mm	0.5683	0.5739	0.5896	0.6108	0.6006	0.5421
$S_{başmax}$, mm	1.206	1.220	1.236	1.259	1.258	1.301
$S_{baş}^{a}$, $S_{baş}^{c}$,mm	0.3421	0.3447	0.3608	0.3651	0.3695	0.3802
P_i, MPa	0.7951	0.7956	0.7952	0.7949	0.7949	0.7943
η_i	0.4615	0.4616	0.4616	0.4614	0.4616	0.4612
G_i, q/(kVt·saat)	183.5	183.5	183.5	183.6	183.5	183.7

Cədvəl 2

SDADP-li dizelin əsas göstəricilərinin aşağı kameradakı radial araboşluqlarından asılı olaraq dəyişən qiymətləri

Göstəricilər	Aşağı kameradakı araboşluğu , mm				
	0.0025	0.0030	0.035	0.040	0.045
P_z, MPa	5.759	5.934	6.015	6.023	6.009
$S_{baş}^{a}$, mm	0.8605	0.7126	4.4963	0.1949	0.1547
$S_{baş}^{r}$, mm	0.7965	0.4164	0.2457	0.232	0.2597
$S_{baş}^{c}$, mm	1.088	0.7642	0.6108	0.5934	0.5231
$S_{başmax}$, mm	1.651	1.377	1.259	1.245	1.271
$S_{baş}^{a}$,$S_{baş}^{c}$ mm	0.2915	0.3481	0.3651	0.3614	0.3634
P_i, MPa	0.7879	0.7927	0.7949	0.7950	0.7946
η_i	0.4569	0.4604	0.4614	0.4606	0.4602
G_i, q/(kVt·saat)	185.4	184	183.6	183.9	184.1

Cədvəl 1-dən göründüyü kimi əlavə kameradakı araboşluğunun qiymətinin 0,01 mm-ə bərabər qiymətində aşağı həcmdəki araboşluğunun qiymətinin 0,025 mm-dən 0,045 mm-ə qədər böyüdülməsi bir tsilk ərzində $S_{baş}^{a}$, $S_{baş}^{c}$ və $S_{başmax}^{a}$ –un keçilməsinə səbəb olsa da dizelin göstəricilərinə o qədər də təsir etmir. Odur ki, texnoloji tələbatların müəyyən qədər yumşaldılması və kipləşdirici üzüklərin iş şəraitinin kifayət qədər yaxşılaşdırılmasını nəzərə alaraq aşağı həcmdəki radial araboşluğu 0,035 mm-ə bərabər qəbul edilmişdir.

Başlıq hissəsinin kütləsi. Hesablamaların nəticələri göstərdi kİ, SDADP-nin başlıq hissəsinin kütləsi müxtəlif dövrlər sayında (n=1000dəq^{-1} və n=1600 dəq^{-1}) mühərrikin indikator göstəricilərinə praktiki olaraq təsir etmir (cədvəl 3 və 4-ə bax). Lakin başlıq hissəsinin kütləsinin azaldılması, $S_{baş}^{a}$-nın kiçilməsinə səbəb olur, digər tərəfdən isə mühərrikin metal tutumunun və DŞM-nə təsir edən qüvvələrin azaldılması baxımından maraq kəsb edir. Ona görə də SDADP layihələndirilən zaman, onun elementlərinin konstruksiyalarının yol verdiyi imkan daxilində, başlıq hissəsinin kütləsi mümkün qədər az qəbul olunmuşdur.

Cədvəl 3

SDADP-li dizelin əsas göstəricilərinin başlıq hissəsinin kütləsindən asılı olaraq dəyişən qiymətləri (n=1000 dəq^{-1})

Göstəricilər	Başlıq hissəsinin kütləsi, kq						
	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
$P_{ək\ max}$, MPa	65.67	64.23	63.45	62.82	62.38	62.22	62.09
P_z, MPa	7.363	7.362	7.380	7.369	7.373	7.373	7.386
$S_{baş}{}^a$, mm	0.02472	0.07773	0.1226	0.1566	0.1794	0.2032	0.2236
$S_{başmax}$, mm	1.348	1.346	1.350	1.322	1.346	1.334	1.310
P_i, MPa	0.8447	0.8445	0.8443	0.8443	0.8441	0.8441	0.8442
η_i	12.09	12.09	12.09	12.09	12.09	12.09	12.09
g_i, q/(kVt·saat)	188.1	188.4	188.7	188.8	188.9	188.9	188.9

Cədvəl 4

SDADP-li dizelin əsas göstəricilərinin başlıq hissəsinin kütləsindən asılı olaraq dəyişən qiymətləri (n=1600 dəq^{-1})

Göstəricilər	Başlıq hissəsinin kütləsi, kq						
	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0
$P_{ək\ max}$, MPa	65.19	64.53	63.22	62.19	62.43	63.12	61.4
P_z, MPa	7.166	7.187	7.207	7.205	7.199	7.207	7.212
$S_{baş}{}^a$, mm	0.1350	0.1837	0.1996	0.2458	0.2411	0.2526	0.3123
$S_{başmax}$, mm	1.133	1.129	1.121	1.113	1.105	1.095	1.091
P_i, MPa	0.8293	0.8299	0.8301	0.8301	0.8304	0.8308	0.8301
η_i	19.01	19.01	19.02	19.02	19.02	19.03	19.03
g_i, q/(kVt·saat)	184.0	184.0	184.0	183.9	183.8	183.7	183.8

Reduksion klapanın yayının sərtliyi. Məlum olduğu kimi, SDADP-nin dayanıqlı işləməsi onun reduksion klapanının etibarlı işləməsindən olduqca asılıdır. Reduksion klapanın etibarlı işləməsi isə öz növbəsində klapan yayının sərtliyi ilə əlaqədardır.

Şək. 4-də reduksion klapanın yayının müxtəlif sərtlikləri üçün silindrdəki və əlavə kameradakı təzyiqlərin, o cümlədən reduksion klapanın qalxma hündürlüyünün dirsəkli valın dövrlər sayından asılılığı göstərilmişdir.

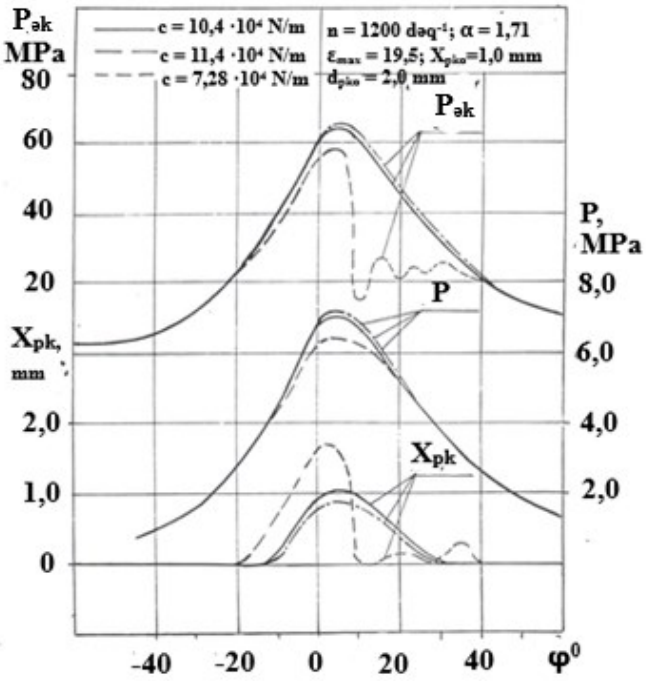
Şək. 4-dən göründüyü kimi yayın sərtliyi c=7,28x10^4 N/m dən c=11,4x10^4 N/m-ə kimi dəyişdikdə reduksion klapanın açılması və bağlanması, əlavə kameradakı təzyiqin dəyişməsi çox səlis olur. Yayın sərtliyi c=7,28x10^4 N/m-dən kiçik götürüldükdə reduksion klapanın səlist hərəkəti pozulur və o, bir tsikl ərzində iki dəfə açılıb – bağlanır. Bu zaman əlavə kameradakı təzyiqin dəyişməsi də sıçrayışlarla baş verir. Yayın sərtliyi 11,4x10^4 N/m-dən çox götürülməsi əlavə kameradakı təzyiqin həddindən artıq böyüməsinə səbəb olur. Odur ki, reduksion klapanın yayının sərtliyinin s=(10.4÷11)x10^4 N/m hədlərində qəbul olunması məqsədəuyğun hesab edilir.

Reduksion klapanın deşiyinin diametri. Reduksion klapanın qalxması və əlavə kameradakı təzyiqin qiyməti reduksion klapanın deşiyinin diametrindən çox asılıdır.

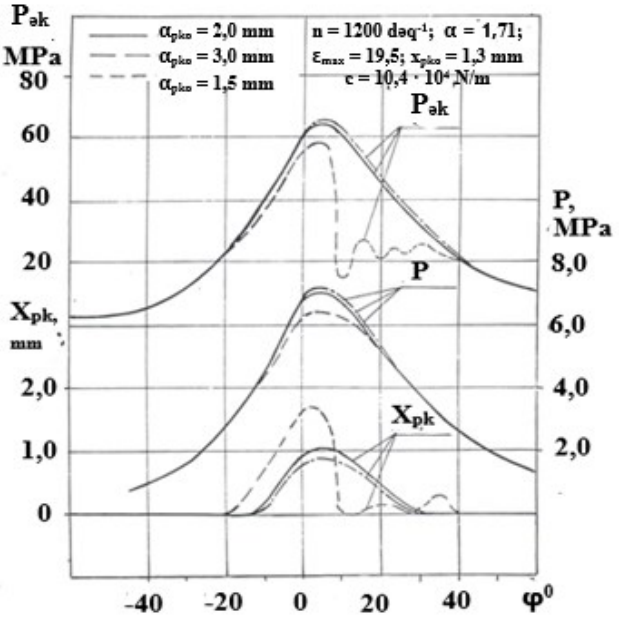
Şək. 5-dən göründüyü kimi reduksion klapanın deşiyinin diametri d_{pko}=3 mm olduqda onun qalxması və əlavə kameradakı təzyiqin dəyişməsi sıçrayışlarla dəyişir. d_{pko}-ın 2 mm-dən az götürülməsi isə əlavə kameradakı və mühərrikin silindrindəki təzyiqlərin çox kəskin artmasına səbəb olur. Bunu nəzərə alaraq reduksion klapanın deşiyinin diametri 2 mm-ə bərabər qəbul olunmuşdur.

Şək. 6-dan aydın olur ki, klapan yayının başlanğıc gərilməsinin (X_{pko}) 1mm-dən kiçik götürülməsi reduksion klapanın açıq qalma müddətinin həddindən artıq böyüməsinə, klapanın yerdəyişməsinin dalğavarı olmasına, o cümlədən yanmanın sonundakı təzyiqin kəskin azalmasına, bu isə öz növbəsində mühərrikin indikator göstəricilərinin pisləşməsinə (şək.7) səbəb olur. Bundan

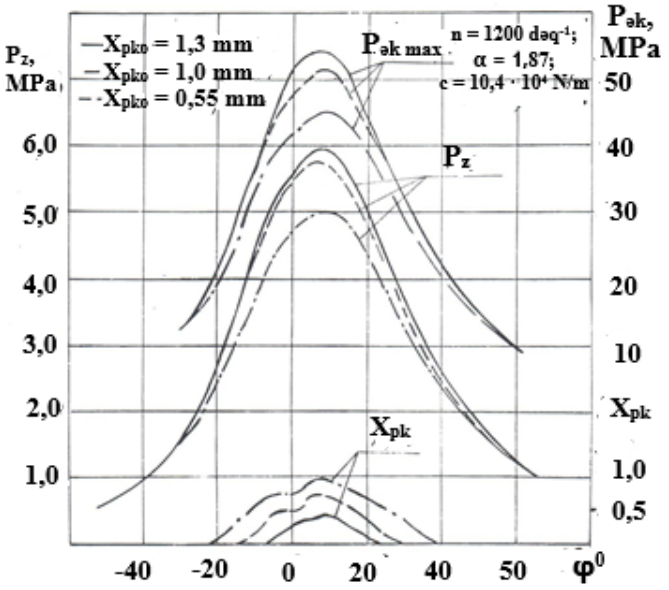
başqa, şək.7-dən göründüyü kimi X_{pko} –ın 1 mm-dən çox böyüdülməsi zamanı mühərrikin indikator göstəricilərinin artma intensivliyi çox cüzi olur. X_{pko} –ın 1,3 mm-dən çox götürülməi isə yanmanın sonundakı və əlavə kameradakı təzyiqlərin həddindən artıq artmasına səbəb olur. Odur ki, reduksion klapan yayının başlanğıc gərilməsi 1,0÷1,3 mm hədlərində olmalıdır. Bütün bunları nəzərə alaraq X_{pko}=1,0 mm qəbul olunmuşdur.



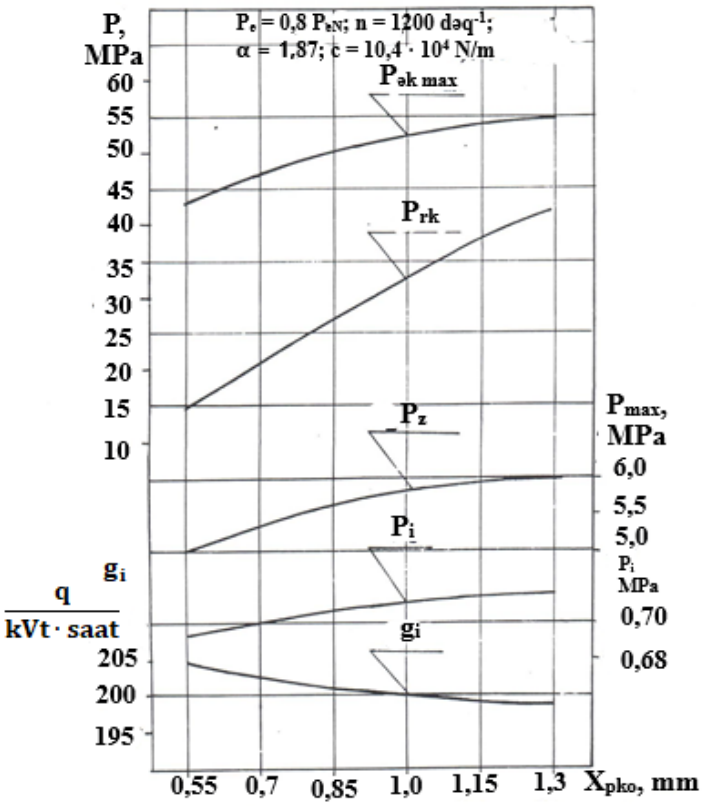
Şəkil 4. *Əlavə kameradakı ($P_{ək}$) və silindrdəki (P) təzyiqlərə və reduksion klapanın qalxma hündürlüyünə (X_{pk}) klapan yayının sərtliyinin və dövrlər sayının təsiri*



Şəkil 5. *Əlavə kameradakı ($P_{ək}$) və silindrdəki (P) təzyiqlərə və reduksion klapanın qalxma hündürlüyünə (X_{pk}) reduksion klapanın deşiyinin diametrinin (d_{pko}) təsiri*



Şəkil 6. *Əlavə kameradakı ($P_{ək}$) və silindrdəki (P) təzyiqlərə və reduksion klapanın qalxma hündürlüyünə (X_{pk}) klapanın başlanğıc gərilmə qüvvəsinin təsiri*



Şəkil 7. *SDADP-li mühərrikin əsas göstəricilərinin reduksion klapanın yayının başlanğıc gərilmə qüvvələrindən asılılıq qrafikləri*

Nəticə. Beləliklə, hesabi eksperimentlərin köməyi ilə çox vaxt sərf etmədən sıxma dərəcəsini avtomatik dəyişən porşenin hidravlik sisteminin optimal parametrləri (əlavə kameranın diametri, həcmlərdəki araboşluqları, başlıq hissəsinin kütləsi, reduksion klapanın yayının sərtliyi, reduksion

klapanın deşiyinin diametri, reduksion klapan yayının başlanğıc gərilməsi) təyin edildikdən sonra onun layihələndirilməsi də qısa bir müddətdə mümkün olacaqdır.

Ədəbiyyat

1. İsmayılov A.Ş., Kərimov E.N. Sıxma dərəcəsini avtomatik dəyişən porşenin konstuksiyası və onun hidravlik sisteminin hesabının metodikası. Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyasının Elmi əsərləri, № 1, 2017-ci il, s.81-85.
2. Исмаилов А.Ш. Исследование рабочего процесса дизеля с ПАРСС восстанавливающим обьем камеры сгорания в конце выпуска–в начале наполнения. Дис.канд.техн.наук-Баку, 1990, 208 с.

Məqalə qəbul olunub: 07.11.24
Tövsiyə edib: t.e.d., prof. Qafarov A.M.

UOT 621.43

DAXİLİ YANMA MÜHƏRRİKLƏRİNİN XARİC QAZLARININ TƏRKİBİNDƏKİ ZƏHƏRLİ MADDƏLƏR VƏ ONLARIN ƏTRAF MÜHİTƏ TƏSİRİ

İsmayılov A.Ş., İsmayılov M.H.

"Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası" PHŞ
AZ1000, Bakı şəh., Z.Əliyeva küç., 18
E-mail: akif.ismayilov@asco.az, smaylov-m@bk.ru

Xülasə. *Məcburi alışdırmalı və sıxma nəticəsində özüalışdırmalı daxili yanma mühərrikləri ətraf mühitin çirklənməsində əsas yer tutur. Lakin, bu mühərriklərdən hansının ətraf mühitə zərərli təsirinin daha çox olması həmişə müəyyən mübahisələrə səbəb olur. Məqalədə məcburi alışdırmalı və dizel mühərriklərindən xaric olunan yanma məhsullarının tərkibində olan zəhərli maddələr, onların ətraf mühitə təsirinin müqayisəli təhlili, dizel mühərriklərində işlənmiş qazların zəhərliliyinə təsir edən amillər və onların azaldılması yolları haqqında məlumatlar verilmişdir.*

Abstract. *Internal combustion engines with spark ignition and compression self-ignition are major sources of environmental pollution. However, the question always arises when discussing which of these engines has the most harmful effect on the environment. The article presents information about toxic substances in the composition of exhaust gases of engines with spark ignition and compression auto-ignition, comparative analysis of their impact on the environment, the factors affecting the toxicity of exhaust gases of diesel engines and ways to reduce them.*

Аннотация. *Двигатели внутреннего сгорания с искровым зажиганием и самовоспламенением от сжатия являются основными источниками загрязнения окружающей среды. Но при обсуждении всегда возникает вопрос какой из этих двигателей наиболее вредно действует в окружающую среду. В статье излагаются информации о токсичных веществах в составе выпускных газов двигателей с искровым зажиганием и самовоспламенением от сжатия, сравнительный анализ их воздействия в окружающую среду, о факторах, влияющих на токсичность отработавших газов дизельных двигателей и способах их уменьшения.*

Açar sözlər. *Daxili yanma mühərrikləri, məcburi alışdırmalı mühərriklər, özüalışdırmalı mühərriklər, dizel mühərrikləri, yanma məhsulları, işlənmiş qazlar, zəhərli maddələr, benz(a)piren, qurum, sərbəst azot, azot oksidləri, dispers hissəciklər, karbon oksidi, karbohidrogenlər, kükürd oksidləri, smoq, "istixana" effekti, turşulu yağışlar*

Key words. *Internal combustion engines, spark ignition engines, compression self-ignition engines, diesel engines, combustion products, exhaust gases, toxic substances, benzapyrene, soot, nitrogen, nitrogen oxides, dispersed substances, carbon monoxide, hydrocarbons, sulphur oxides, greenhouse effect, acid rain*

Ключевые слова. *Двигатели внутреннего сгорания, двигатели с искровым зажиганием, двигатели самовоспламенением от сжатия, дизельные двигатели, продукты сгорания, отработавшие газы, токсичные вещества, бензапирен, сажа, азот, оксиды азота, дисперсные вещества, оксид углерода, углеводороды, оксиды серы, «парниковый» эффект, кислотные дожди*

Giriş. Müasir dövrdə ətraf mühitin çirklənməsinin əsas mənbələrindən biri yanma prosesi zamanı yanacağın tərkibindəki karbon, hidrogen, qarışıq və aşqarların havanın tərkibində olan oksigen və azotla birləşərək zəhərli komponentlər əmələ gətirməsidir. Nəqliyyat vasitələrinin daxili yanma mühərrikləri ətraf mühitin çirklənməsində, səs-küyün və titrəmələrin yaranmasında başlıca rol oynayır. Məlumdur ki, bir çox ölkəlrdə havanın çirklənməsinin 60%-ə qədəri avtomobillərdə, gəmilərdə, lokomotivlərdə, təyyarələrdə və stasionar energetik qurğularında istifadə olunan məcburi alışdırmalı mühərriklərdən (karbüratorlu, benzin püskürməli və qaz mühərrikləri) və sıxma nəticəsində özüalışdırmalı mühərriklərdən (dizel mühərrikləri) atılan tullantıların payına düşür. Havanın tərkibində olan zəhərli maddələr isə, öz növbəsində, nəinki insanların sağlamlığına, eləcə də heyvan və bitki aləminə mənfi təsir göstərir.

Bakıda keçirilən BMT-nin İqlim Dəyişikliyi üzrə Çərçivə Konvensiyasının Tərəflər Konfransının 29-cu sessiyasında (COP29) sıfır karbon emissiyası haqqında da çoxlu müzakirələr oldu. Sıfır karbon emissiyası dünyanın orta temperaturundakı artımın məhdudlaşdırılması üçün istixana qazı emissiyasının azaldılaraq sıfıra çatması üçün Paris sazişi ilə müəyyən edilən bir hədəfdir. Paris sazişi sıfır emissiyasına çatmaq konsepsiyasını məşhurlaşdırsa da, dünyada CO_2 miqdarı artmağa davam etdi və 2022-ci ildə 36,6 milyard metrik tona çatdı – cəmi iki il ərzində təxminən 2 milyard ton artım oldu. 2020-ci ildə ümumi qlobal emissiyaların təxminən 50%-i Çin, ABŞ, Hindistan, Rusiya, Yaponiya, İran və Avropa İttifaqının payına düşür. Bu saziş dünyanın orta temperaturundakı artımın, sənaye inqilabı öncəsindəki dövrlə müqayisədə 1,5°C azaldılması məqsədini daşıyır. Temperatur artımını 1,5°C ilə məhdudlaşdırmaq üçün istixana qazı emissiyasının 2030-cu ilə qədər 50% azaldılması, 2050-ci ilə qədər isə sıfır emissiya hədəfinə çatdırılması vacib sayılır. Sıfır emissiya hədəfinə çatmaq üçün bərpa olunan enerji mənbələrinə keçid, elektrik nəqliyyat vasitələrinin genişləndirilməsi və ağacəkmə layihələrinin artırılması vacibdir. Lakin, bunlarla yanaşı, daxili yanma mühərriklərinin işlənmiş qazlarının tərkibindəki karbon qazının da azaldılması bu məqsədə çatmaqda müəyyən qədər köməklik göstərərdi. Belə ki, tərkibində 87% karbon, 12,6% hidrogen və 0,4% oksigen olan 1 kq dizel yanacağının tam yanması nəticəsində 3,2 kq karbon qazı (CO_2) və 1,1 kq su buxarları (H_2O) alınır. Bu zaman 14,3 kq havadan, və yaxud 3,32 kq təmiz oksigendən (havanın tərkibində kütlə vahidi ilə 23,2% oksigen olduğu qəbul olunduğu halda) istifadə olunur.

Məlumdur ki, həm qənaətliliyi, həm də nisbətən ucuz olan ağır yanacaqlarla işləyə bilməsi baxımından daha məqsədəuyğun olduğu üçün gəmilərdə əsasən dizel mühərriklərindən istifadə olunur ki, onlardan da atılan tullantılar dəniz akvatoriyasının çirklənməsində müəyyən rol oynayır. MARPOL Konvensiyası gəmilər tərəfindən dəniz mühitinin çirklənməsini aradan qaldıran yeganə konvension sənəddir. Son zamanlar MARPOL 73/78 Beynəlxalq Konvensiyasının, atmosferə atılan zərərli maddələrin miqdarını reqlamentləşdirən - VI Əlavəsinə daha çox diqqət verilir. Bu Əlavədə gəmidən atılan zərərli maddələrin, o cümlədən kükürd oksidlərinin (SO_x), hər şeydən əvvəl tullantılara nəzarət edən SECA-nın (SO_x Emission control areas) nəzarətində olan Rayonlarda, məhdudlaşdırılmasına qoyulan tələblər çox ciddi şəkildə sərtləşdirilmişdir. Bu, İMO-nun təsdiq etdiyinə görə, gəmilərdən atılan SO_x və NO_x tullantılarının dəniz sahillərində yerləşən şəhər və rayonlarda ətraf mühitin çirklənmə konsentrasiyasını daha çox artırması ilə əlaqədardır [1 s.228-246, 2

s. 79-85]. Belə tullantılar ətraf mühiti çirkləndirir, insanların sağlamlığına mənfi təsir göstərir, onlarda ürək-ciyər və bir sıra xroniki xəstəliklərin yaranması riskini artırır.

Yuxarıda qeyd edildiyi kimi, istər məcburi alışdırmalı, istərsə də özüalışdırmalı daxili yanma mühərrikləri ətraf mühitin çirklənməsində əsas yer tutur. Lakin, bu mühərriklərdən hansının ətraf mühitə zərərli təsirinin daha çox olması həmişə müəyyən mübahisələrə səbəb olur. Odur ki, aşağıda məcburi alışdırmalı və dizel mühərriklərindən xaric olunan yanma məhsullarının tərkibində olan zəhərli maddələr, onların ətraf mühitə təsirinin müqayisəli təhlili, dizel mühərriklərində işlənmiş qazların zəhərliliyinə təsir edən amillər və onların azaldılması yolları haqqında məlumatlar verilmişdir. Ətraf mühitin çirklənməsinin azaldılması baxımından məqalədə verilən bu məlumatların aktual olduğunu hesab etmək olar.

Əsas hissə. Daxili yanma mühərriklərinin işlənmiş qazlarının tərkibində iki yüzdən çox fərdi zəhərli sayılan karbohidrogenlər ayırd edilir. Onların içində tərkibində oksigen olan ***aldehidlər*** (RCHO) və kanserogen xassələrə malik olan ***benz(a)piren*** ($C_{20}H_{12}$) də olur.

Aldehidlər yanacağın oksidləşməsinin aralıq məhsullarıdır və çox zəhərlidirlər.

Benz(a)piren (qısaca BaP) isə kanserogen xassəli politsiklik aromatik karbohidrogenlərdən olub, yüksək bioloji aktivliyi ilə fərqlənir.

Benz(a)piren kristallik maddə olub, zahirən naftalinə oxşayır. O, 179^0C-də əriyir və 310^0C-də qaynayır.

Benz(a)piren ($C_{20}H_{12}$) motor yanacaqlarının ağır fraksiyalarının və sürtkü yağlarının aşağı temperatur ($400\div700^0$C) və hədsiz oksigen çatışmazlığı şəraitdə termiki parçalanması ***(krekinq)*** nəticəsində yaranır. 1000 ^{0}C-dən yuxarı olan temperaturda benz(a)piren hidrogenə və karbona (qurum şəklində) parçalanır. Bu səbəbdən benz(a)pirenin əmələ gəlməsi və saxlanması yalnız nisbətən soyuq olan divarətrafı təbəqələrdə, xüsusilə də səthi yağ təbəqəsi ilə örtülmüş silindr gilizlərində mümkündür.

Qurum özü də yanacağın tərkibindəki karbohidrogenlərin krekinqinin məhsuludur.

Yuxarıda sadalananlardan başqa mühərrikin işlənmiş qazlarında ***sərbəst azot*** (N_2), ***havanın qalıq oksigeni*** (O_2) (kasıb qarışığın yanması zamanı əmələ gəlir), ***kükürdün oksidləşməsinin qaz şəklində olan məhsulları*** (SO_x) və ***azot oksidləri*** (NO_x) də olur. Əsasən NO-dan ibarət olan azot oksidləri havanın tərkibindəki azot və oksigenin oksidləşmə reaksiyasının məhsuludur. Azot oksidi (NO) atmosferə düşdükdə azot-4-oksidə (NO_2) qədər oksidləşir. Bu zaman oksidləşmənin dərəcəsi temperaturdan asılı olur. İşlənmiş qazların temperaturu aşağı olduqca NO-nun daha çox hissəsi NO_2-yə çevrilir. Azot oksidlərinin yaranmasında ağır yanacaqların, məsələn, mazutun tərkibindəki azot da müəyyən rol oynayır.

İşlənmiş qazların tərkibində yuxarıda adları çəkilən qaz şəkilli komponentlərdən əlavə ***dispers hissəciklər*** də olur. Dispers hissəciklər həll oluna bilən və həll oluna bilməyən olmaqla iki qrupa bölünürlər.

Həll oluna bilən dispers hissəciklər yanacağın və yağın tərkibindəki ağır molekullu karbohidrogenlərdən ibarətdir. Onları yalnız müvafiq temperaturlarda kondensasiya olunan zaman ayırd etmək mümkündür.

Həll olunmayan dispers hissəciklərə ***qurum*** (yanacağın bərk karbonu), ***sulfatlar*** (yanacağın tərkibindəki kükürddən yaranan bərk kükürd oksidləri), ***metal oksidləri*** (aşqar kimi yanacağa qatılırlar) və ***abraziv hissəciklər*** (mühərrikin hissələrinin yeyilmə məhsulları) aiddirlər.

İşlənmiş qazların tərkibindəki dispers hissəciklərin təxminən 90%-i həll olunmayanlardır. Lakin bu rəqəm təxminidir və mühərrikin iş rejimindən, konstruktiv xüsusiyyətlərindən asılı olur.

Məcburi alışdırmalı və dizel mühərriklərinin işlənmiş qazlarının tərkiblərini müqayisə etdikdə (cədvəl 1) aşağıdakıları görmək olar [3, səh.16-17]**:**

- işlənmiş qazlardakı sərbəst azotun (N_2) miqdarı məcburi alışdırmalı mühərriklərdə 74÷77%, dizellərdə isə 74÷78% təşkil edə bilər;

- sərbəst oksigenin (O_2) miqdarı birincilərdə 0,3÷10%-ə, ikincilərdə isə 2÷18%-ə qədər ola bilər. Buna səbəb dizellərin daha kasıb qarışıqlarla işləməsidir;
- su buxarının (H_2O) miqdarı məcburi alışdırmalı mühərriklərdə 3÷5,5%, dizellərdə isə 0,5÷9% hədlərində olur;
- karbon qazı (CO_2) məcburi alışdırmalı mühərriklərin işlənmiş qazlarının 5÷12%-ni, dizellərdə isə 1÷12%-ni təşkil edə bilər;
- dəm qazı (CO) üçün bu rəqəmlər müvafiq olaraq 0,5÷12% və 0,005÷0,4%-dir;
- azot oksidlərinin (NO_x) miqdarı məcburi alışdırmalı mühərriklərin işlənmiş qazlarında daha çoxdur – 0,01÷0,8%. Dizellər üçün bu rəqəm 0,004÷0,5%-dir;
- məcburi alışdırmalı mühərriklərdə karbohidrogenlərin (C_nH_m) miqdarı 0,2÷3% hədlərində, dizellərdə isə 0,009÷0,3% hədlərində olur;
- aldehidlər (RCHO) məcburi alışdırmalı mühərriklərin işlənmiş qazlarının 0,2%-ə, dizellərdə isə 0,001÷0,009%-ə qədərini təşkil edir;
- məcburi alışdırmalı mühərriklərin işlənmiş qazlarındakı qurumun (C) miqdarı 0,004 *q/m*^{3}-na qədər, dizellərdə isə 0,01÷1,1 *q/m*^{3} ola bilər;
- benz(a)pirenin ($C_{20}H_{12}$) miqdarı məcburi alışdırmalı mühərriklərdə 25 *mkq/m*^{3}-a, dizellərdə isə 10 *mkq/m*^{3}-a qədər çata bilər;
- kükürd oksidləri (SO_x) üçün bu rəqəmlər müvafiq olaraq 0,008%-ə və 0,002÷0,02%-ə qədər ola bilər;
- məcburi alışdırmalı mühərriklərin işlənmiş qazlarının tərkibindəki qurğuşun oksidinin (PbO) mirdarı 0,02%-ə qədər çatsa da, dizellərdə belə yanma məhsuluna rast gəlinmir.

Bu müqayisədən və cədvəl 1-dən aydın olur ki, dizel mühərriklərinin xaric qazlarının tərkibində yalnız qurum və kükürd oksidlərinin miqarı çoxluq təşkil edir, digər komponentlərin hamısının miqdarı məcburi alışdırmalı mühərriklərdə daha çoxdur.

Cədvəl 1

Məcburi alışdırmalı və dizel mühərriklərində xaric qazlarının tərkiblərinin müqayisəsi

İşlənmiş qazların tərkibindəki komponentlər	**Komponentlərin miqdarı, %-lə**	
	Məcburi alışdırmalı mühərriklərdə	**Dizel mühərriklərində**
Sərbəst azot (N_2)	74÷77%	74÷78%
Sərbəst oksigen (O_2)	0,3÷10%	2÷18%
Su buxarı (H_2O)	3÷5,5%	0,5÷9%
Karbon qazı (CO_2)	5÷12%	1÷12%
Dəm qazı (CO)	0,5÷12%	0,005÷0,4%
Azot oksidləri (NO_x)	0,01÷0,8%	0,01÷0,8%
Karbohidrogenlər (C_nH_m)	0,2÷3%	0,009÷0,3%
Aldehidlər (RCHO)	0,2-ə qədər	0,001÷0,009%
Qurum (C)	0,004 q/m^3	0,01÷1,1 q/m^3
Benz(a)piren ($C_{20}H_{12}$)	25 mkq/m^3-a qədər	10 mkq/m^3-a qədər
Kükürd oksidləri (SO_x)	0,008%-ə qədər	0,002÷0,02%-
Qurğuşun oksidin (PbO)	0,02%-ə qədər	rast gəlinmir

Aşağıda daxili yanma mühərriklərinin işlənmiş qazlarının tərkibində olan zərərli maddələrin xassələri və təsir xarakterləri haqqında məlumatlar verilmişdir.

Azot oksidləri NO_x. Daxili yanma mühərrikinin işlənmiş qazlarının tərkibində azotla oksigenin 10-a yaxın birləşməsi olur. Lakin mütləq üstünlük azot oksidinə (NO) məxsusdur. Dizellərin işlənmiş qazlarının tərkibindəki azot oksidlərinin 95-98%-i, məcburi alışdırmalı mühərriklərdə isə 98-99,5%-i məhz NO-dur. Qalan 2-5% isə NO_2-nin payına düşür. İşlənmiş qazların temperaturu aşağı düşdükcə NO oksidləşərək NO_2-yə çevrilir. 21÷135^{0}C temperatur diapazonunda NO_2 ilə N_2O_4 qarışıq halda olur. 21^{0}C-dən aşağı temperaturda isə NO_2 tamamilə N_2O_4-ə çevrilir.

NO – rəngsiz qazdır, suda pis həll olur. NO_2 – qonur rəngli qazdır, boğucu iyə malikdir. O su ilə reaksiyaya girərək nitrid (HNO_2) və nitrat (HNO_3) turşularını əmələ gətirir. Bu turşuların hər ikisi ağ ciyər toxumalarını dağıdaraq xroniki xəstəliklərə və ürək damar sistemində mənfi dəyişikliklərə səbəb olur.

Karbohidrogenlərlə birləşən azot oksidləri zəhərli maddələr olan nitroolefinləri əmələ gətirir. Nitroolefinlər yuxarı nəfəs yollarının selikli qişalarında müxtəlif xəstəliklərin, xroniki bronxitlərin, əsəb pozuntularının yaranmasına səbəb olur.

Karbon oksidi CO. İyi və dadı olmayan rəngsiz qazdır,suda pis həll olur, yanar qazdır – hava ilə qarışığı partlayış təhlükəlidir. İnsanın ağ ciyərinə keçən karbon oksidi (buna dəm qazı da deyilir) oradan qana daxil olur. Dəm qazı qandakı oksigeni sıxışdırıb çıxarır, çünki o qanda oksigendən 200 dəfə yaxşı həll olur. Qanda oksigenin miqdarının aşağı düşməsi isə boğulmaya səbəb olur.

Havadakı dəm qazının nisbətən az konsentrasiyası baş gicəllənməsinə və ürək bulanmasına səbəb olur. Hava ilə təxminən eyni sıxlığa malik olduğundan otağa dolmuş dəm qazı oradan çox çətin uçub çıxır.

Karbohidrogenlər C_nH_m. Karbohidrogenlər ən çoxsaylı birləşmələr qrupudur. Pis iyə malikdirlər, bir sıra xroniki xəstəliklərə səbəb olurlar, ümumi toksiki və qıcıqlandırıcı təsirə malikdirlər. Karbohidrogenlər qrupunun nümayəndələrindən biri olan *benz(a)piren* isə kanserogen təsirə malik olub, onkoloji xəstəliklərin inkişafına yardımçı olurlar.

Aldehidlər RCHO. Aldehidlər, xüsusilə ***formaldehid*** kəskin iylidirlər. Müəyyən dozalarda nəfəs yollarının, burun və gözün selikli qişalarının qıcıqlanmasına səbəb olur. İnsan orqanizminə təsiri mərkəzi sinir sisteminə qıcıqlandırıcı və ümumi toksiki effekti, daxili orqanların zədələnməsi ilə xarakterizə olunur.

Kükürd oksidləri SO_2 SO_3. Suda yaxşı həll olurlar. Kəskin iyə malikdirlər. SO2-nin havadakı konsentrasiyası 0,05 *mq/m*^{3}-dən böyük olduqda bitki və heyvanat aləminə, habelə insanlara mənfi təsir göstərir.

Sulfid qazının havadakı konsentrasiyası 0,0007÷0,001%-ə çatdıqda boğazın, 0,0017%-ə çatdıqda isə göz və burunun selikli qişalarının qıcıqlanması və öskürək müşahidə olunur. Konsentrasiya 0,04%-ə çatdıqda 3 dəqiqə, 0,01%-ə çatdıqda isə 1 dəqiqədər sonra ümumi zəhərlənmə baş verir.

Qurum C. Ölçüsü mikrondan bir neçə tərtib kiçikdən tutmuş onlarla mikrona qədər ölçüsü olan bərk karbon dənələrindən ibarətdir. Ən xırda hissəcikləri günlərlə atmosfer havasında dolaşmaq qabiliyyətinə malikdirlər. Ağ ciyərə daxil olub qıcıqlanmalara və xəstəliklərə səbəb olur. Mühərrikdən ayrılan qurum dənələri özləri ilə birgə benz(a)piren də daxil olmaqla yanacaq və yağların yanmamış karbohidrogenlərinin hissəciklərini daşıya bilirlər.

Qurğuşun oksidləri PbO. Bu maddələr orqanizmdə yığılmaq qabiliyyətinə malikdirlər. İnsanın dərrakəsinə, ağlına mənfi təsir göstərir, daxili orqanlara sirayət edərək mutagen dəyişikliklərə səbəb olurlar.

Qurğuşun birləşmələrini yaşayış binalarının pəncərələrinin şüşələrində, bitkilərin yarpaqlarında, hətta magistral yolların ətrafında otlayan inəklərin südündə də aşkar etmək mümkündür.

Dispers hissəciklər PM (Particular Matter). Onların insan orqanizminə təsir dərəcəsi ölçüləri ilə müəyyən edilir. Ən zərərliləri diametral ölşüləri 10 *mkm*-dən az olanlarıdır (PM10). Onlar hava ilə birlikdə çox asanlıqla insan orqanizminə daxil ola bilirlər. Dispers hissəciklərdən insan orqanizmi üçün ən təhlükəlisi diametri 0,1 *mkm*-dən kiçik olanlarıdır. Hərçənd ki, PM10 sinfindən olan hissəciklər arasında onların payı çox azdır.

Daxili yanma mühərriklərinin işlənmiş qazlarının bitki aləminə təsiri onların bitkilərin həm səthlərilə təmasda olması, həm də hüceyrələrinə daxil ola bilməsi ilə əlaqədardır. Bitkilər xüsusilə kükürd və azot oksidlərinin birləşmələrinə qarşı çox həssasdırlar.

Daxili yanma mühərriklərinin işlənmiş qazlarının müxtəlif tikinti və qurğulara təsiri azot və kükürd oksidlərinin su buxarı ilə qarışığının, habelə qurumun yağlı hissəciklərinin onların səthində yaratdığı çöküntü ilə müəyyən edilir.

Daxili yanma mühərriklərinin ətraf mühitə mənfi təsirinin nümunələrindən biri də ***"smoq"*** adlanır. Bu termindən havanın istənilən xarakterli, görünən çirklənməsini göstərmək üçün istifadə olunur. ***"Smoq"*** ingiliscə *"smoke" – tüstü* və *"fog" – duman* sözlərinin birləşməsindən əmələ gəlib, mənaca "tüstünün yaratdığı duman" deməkdir.

"Smoq"un üç növü var:

- ***sadə "smoq"*** ("London" tipli) - əsasən kükürdlü anhidridlərdən ibarət olan qaz şəkilli çirkləndiricilərin, toz hissəciklərinin və duman damlalarının qarışığı;
- ***buzlu "smoq"*** ("Alyaska" tipli) – qaz şəkilli çirkləndiricilərin, toz hissəciklərinin, duman damlalarının, habelə istilik sistemlərinin buxarlarının donmasından yaranan buz kristallarının qarışığı;
- ***fotokimyəvi "smoq"*** ("Los-Anjeles" tipli) – çirkləndirici maddələrin Günəş şüalarının, xüsusən də ultrabənövşəyi şüaların təsiri altında parçalanmasından yaranan təkrar hava çirklənməsidir. Burada əsas ziyanlı komponent ozondur (O_3). Smoqun digər tərkib hissəsini dəm qazı, azot oksidləri, asetilnitrat hidroksili, nitrat turşusu və s. təşkil edir. Məhz fotokimyəvi smoqun əsas mənbəyi nəqliyyat vasitələridir.

Nəqliyyat vasitələrinin zərərli təsirinin digər növü **"istixana" effektidir**. "İstixana" effekti – Yer planeti səthinin orta temperaturu ilə onun kosmosdakı radiasiya temperaturu arasındakı fərqdir. Yerin orta temperaturu $+15^0$C-dir, onun kosmosdakı radiasiya temperaturu isə -18^0C-dir. Deməli normal şəraitdə "istixana effekti" $+33\ ^0$C-dir.

Cədvəl 2-də daxili yanma mühərriklərinin işlənmiş qazlarının tərkibində olan bəzi zərərli maddələrin təsir xarakterləri və onların havada həcmcə (%-lə) konsentrasiyaları göstərilmişdir.

Cədvəl 2

Zərərli maddələrin təsir xarakteri və onlarin havada həcmcə konsentrasiyasi, %-lə

Sıra №si	Zərərli maddələrin təsir xarakteri	Həcmcə konsentrasiyası,%
Azot oksidləri		
1.	Təsirin mütləq həddi	0,00001
2.	İyi bilinən həd	0,0001÷0,0003
3.	Burun və gözün selikli qişasının qıcıqlanması həddi	0,0013
4.	Methemoqlobinin əmələ gəlməsi	0,001÷0,002
5.	Ciyərlərin şişməsi	0,004÷0,008
Dəm qazı		
6.	Zərərsizdir	0,0016
7.	Uzun müddətli nəfəs alma zamanı xroniki zəhərlənmə	0,01
8.	1 saatdan sonra zəif zəhərlənmə	0,05
9.	Bir neçə dəfə nəfəs aldıqdan sonra huşun itirilməsi	1,0
Kükürd oksidləri		
10.	Gözün acışması, öskürək tutma	0,0017
11.	Boğazın qıcıqlanması	0,0007÷0,001
12.	3 dəqiqədən sonra zəhərlənmə	0,004
13.	1 dəqiqədən sonra zəhərlənmə	0,01
Formaldehid		
14.	Zərərsizdir	0,00037
15.	İyi bilinən həd	0,0002
16.	Nəfəs yollarının, burun və gözün selikli qişasının yüngül qıcıqlanması	0,007
17.	Ağırlaşma	0,018
18.	Güclü qıcıqlanma	0,18

İnsan fəaliyyətinin ziyanlı təzahürlərindən biri də ***turşulu yağışlardır.*** Turşulu yağışlar azot və kükürd oksidləri kimi yanma məhsullarının atmosferdəki nəmlikdə həll olunmasından yaranır.

Turşulu yağışların əsas mənbəyi sənaye müəssisələridir. Çünki, onların fəaliyyəti zamanı atmosferə atılan tullantıların tərkibində çoxlu kükürd oksidləri olur və onlar Yer səthindən xeyli yüksəkliyə atılırlar. Lakin, avtomobil mühərriklərinin işlənmiş qazlarının tərkibində olan azot və kükürd oksidləri də turşulu yağışların yaranmasında müəyyən qədər rol oynayırlar.

Turşulu yağışlar öz zərərli təsirini bitki aləmini məhv etməklə və metal konstruksiyaların korroziyasını sürətləndirməklə göstərir. Özü də bu yağışlar atmosferdəki hava axını ilə birgə sürətlə hərəkət edərək, yüzlərlə, minlərlə kilometr məsafəni qət etmək qabiliyyətinə malikdirlər.

Ətraf mühitə zərərli təsir göstərən amillərdən biri də ***temperatur inversiyalarıdır***. Temperatur inversiyası atmosferin xüsusi halıdır və bu zaman yüksəklik artdıqca havanın temperaturu azalmaq əvəzinə, artır. Yerüstü temperatur inversiyaları istiliyin torpar səthi tərəfindən intensiv şüalanmasının nəticəsidir. Bu zaman həm Yer səthi, həm də yerüstü hava təbəqələri soyuyur. Atmosferin belə halı havanın şaquli hərəkətlərinin inkişafına maneçilik törədir. Nəticədə atmosferin alt qatlarında su buxarı, toz, qaz şəklində olan maddələr yığılaraq tüstü və duman qatlarının, o cümlədən "smoq"un yaranmasına yardımçı olur.

Daxili yanma mühərriklərindən **xaric olunan qazların tərkibindəki zəhərli maddələrin azaldılması** həm silindrin daxilində yanma zamanı onların əmələ gəlməsinə, həm də silindrdən xaric olunan işlənmiş qazların tərkibində olan zərərli maddələrə təsir göstərməklə mümkündür. Dizel mühərriklərindən xaric olunan qazların zəhərliliyinin azaldılması üçün əvvəlcə onlara təsir göstərən amillər təyin edilməli, daha sonra isə onların azaldılması üsulları müəyyənləşdirilməlidir. Bu amillər həddindən çox olduğundan onlar tənzimləmə parametrləri, konstruktiv dəyişikliklər və istifadə olunan yanacaqların növləri kimi qruplaşdırılaraq təhlil edilir.

Tənzimləmə parametrlərinin təsiri:

1. Silindrə daxil olan havanın temperatur və təzyiqi (silindrə daxil olan havanın temperatur və təzyiqinin artması silindrə yanacaq verilməsinin əvvəlində oradakı temperaturun artmasına səbəb olduğundan işlənmiş qazların tərkibində NO_x-in miqdarı artır);
2. Doldurma və xaricetmə sistemlərinin müqaviməti (doldurma və xaricetmə sistemlərinin müqavimətinin artması da son nəticədə yanmanın əvvəlində və yanmanın sonunda silindrdəki temperaturun artmasına səbəb olduğundan işlənmiş qazların tərkibində NO_x-in miqdarı artır);
3. Yanacaqvermə sisteminin xarakteristikaları (yanacağın püskürülməsi sisteminin təkmilləşdirilməsi və yanma prosesinin gedişinə nəzarət olunması effektivliyin yüksəldilməsinə və tullantıların azalmasına səbəb olur);
4. Tsikllik yanacaq verilişinin miqdarı (tsikllik yanacaq verilişinin miqdarı artdıqca NO_x və tüstülük artır, CO və CH tullantılarının miqdarı isə minimum olur);
5. Sürətin azaldılması və optimal hərəkət marşrutunun seçilməsi (sürətin azaldılması və optimal hərəkət marşrutunun seçilməsi gəminin yanacaq sərfinin və tullantıların azalmasına səbəb ola bilir).

Konstruktiv dəyişikliklərin təsiri:

1. Yanıcı qarışığın hazırlanma üsulu (dizel mühərriklərində işlənmiş qazların tərkibindəki azot oksidlərini və qurumu azaltmaq məqsədilə yanıcı qarışığın hazırlanma keyfiyyətinin yüksəldilməsinə yönələn tədbirlər, başlıca olaraq, yanma baş verən zonalarda lokal olaraq oksigenin azaldlmasına və yanma prosesinin sonunda karbonun tam yana bilməsi üçün şəraitin yaxşılaşdirilmasına yönəlmişdir. Bunun üçün yanma kamerasında havanın turbulent hərəkətinin yüksəldilməsi üçün xüsusi yönəldicilərdən və silindrlər başlığında yeləşdirilən turbulizatorlardan istifadə olunur. Qeyd etmək lazımdır ki, dizel mühərriklərində azot oksidlərinin azaldılması üçün neytralizatorlardan istifadə olunmur. Bunun əvəzinə dizel mühərriklərində işlənmiş qazların resirkulyasiyası, və yaxud, katalitik neytrallaşdırma sistemləri tətbiq edilir);
2. Yanma kamerinin həndəsi forması (bölünmüş yanma kamerli dizel mühərriklərində işlənmiş qazların tərkibində azot oksidərinin konsentrasiyası bölünməmiş yanma kamerli dizel mühərriklərinə nəzərən daha az olur. Silindrin daxilində tam yanmanı təmin edən işçi qarışıq

almaq üçün yanma kamerasında havanın burulğan hərəkəti ilə yanacaq fakelinin forması uyğunlaşdılmalıdır);

3. Tozlandırıcının həndəsi forması (tozlandırıcının soplo deşiklərinin optimal ölçülərinin seçilməsi və effektiv keçid sahəsinin böyüdülməsi işlənmiş qazların tərkibindəki azot oksidləri tullantısının xeyli azalmasına səbəb olur);
4. Sorma və xaric kanalları və klapanlarının həndəsi forması (sorma və xaric kanalları və klapanlarının optimal ölçülərinin və həndəsi formasının seçilməsi nəticəsində doldurma əmsalı artır, qalıq qazlar əmsalı isə azalır, bu da öz növbəsində yanmanın tam getməsinə görə yanma məhsulları tullantılarının azalmasına, lakin azot oksidi emissiyasının artmasına səbəb olur);
5. Porşenüstü araboşluğu (porşenüstü araboşluğun artması natamam yanma məhsulları tullantılarının və karbohidrogen emissiyasının miqdarının artmasına səbəb olur);
6. İşlənmiş qazların resirkulyasiyası (işlənmiş qazların resirkulyasiyası dedikdə yanma məhsullarının bir hissəsinin sorma kollektoruna qaytarılması başa düşülür. Bu zaman yanma məhsulları ilə təmiz hava qarışığının temperaturu artır, oksigenin qarışıqdakı konsentrasiyası və azot oksidləri emissiyası xeyli azalır);
7. Sıxma dərəcəsi (sıxma dərəcəsinin böyüməsi silindrdəki maksimum temperaturun və xaric olunan yanma məhsullarının temperaturunun artmasına və nəticədə azot oksidi tullantılarının miqdarının artmasına, eyni zamanda karbohidrogen emissiyasının azalmasına səbəb olur).

Yanacaqların növlərinin təsiri:

1. İstifadə olunan yanacağın fiziki-kimyəvi xassələri (yanacağın özlülüyü və sıxlığının artması onun axıcılıq və buxarlanma qabiliyyətini artırır ki, bu da yanıcı qarışığın hazırlanma keyfiyyətinin yüksəlməsinə və yanmanın tam getməsi nəticəsində qurumun azalmasına səbəb olur. Yanacağın setan ədədi də yanma məhsullarının tərkibindəki zərərli maddələrin miqarına əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərir. Belə ki, setan ədədinin artması yanacağın öz-özünə alışma temperaturunun kiçilməsinə, yanma prosesinin daha tez başlamasına və natamam yanma məhsullarının azalmasına səbəb olur. Setan ədədinin azalması nəticəsində isə yanacağın tərkibində olan aromatik karbohidrogenlərin artması hesabına natamam yanma məhsulları olan karbohidrogenlərin CO və CH_x artması baş verir);
2. Alternativ yanacaqlardan istifadə olunması (gəmi dizellərinin ağır yanacaqlara keçirilməsi onların energetik, ekoloji, istismar və motoresurs göstəricilərinin pisləşməsi ilə müşahidə olunur. Yanacaq sərfinin və işlənmiş qazların tərkibindəki zəhərli maddələrin artmasının əsas səbəbi yanma prosesinin öz vaxtında gedə bilməməsi və natamam olmasıdır. Bu, mühərrikin dövrlər sayı artdıqda özünü daha çox büruzə verir. Odur ki, ətraf mühitin çirklənməsinə qoyulan tələblərin getdikcə daha da sərtləşdirilməsi ağır yanacaqlardan effektiv istifadə olunmasını çətinləşdirir.

Hidrogen dizel yanacağına nəzərən daha yüksək yanma temperaturuna malik olduğundan, hidrogenin miqdarı həddindən çox artırıldıqda yanma məhsullarındakı azot oksidlərinin miqdarı artır və mühərrikin sərtlik dərəcəsi xeyli yüksəlir ki, bu da öz növbəsində mühərrikin hissələrinin yeyilmə sürətinin də artmasına səbəb olur. Odur ki, mühərrikin işçi prosesinin təhlili əsasında əlavə olunan hidrogenin miqdarının və onun silindrlərə verilməsinin optimallaşdırılması lazımdır).

Dizel mühərriklərində metanoldan istifadə olunması işlənmiş qazların tərkibində qurumun və azot oksidlərinin kəskin azalması ilə müşahidə olunur. Bu, metanolun yanması zamanı dizel yanacağı ilə müqayisədə qurumun alınmasına səbəb olan asetilen və aromatik karbohidrogenlər əmələ gətirən aralıq məhsulların yaranmasının azalması nəticəsində baş verir.

Azərbaycanda "Bahar", "Azəri", "Bulla dəniz" və digər neft yataqlarında hasil edilən qaz kondensatı öz fzili-kimyəvi xassələrinə görə, əsasən də setan ədədinə görə, dizel yanacaqlarına daha yaxındır. Odur ki, onların dizel yanacağı, və yaxud, motor yanacaqları ilə müəyyən nisbətlərdə qarışıqlarından istifadə olunduqda qaz kondensatının sıxlığının az olması səbəbindən qarışığın sıxlığı azalır, buxarlanma qabiliyyəti artır, yanıcı qarışışığın hazırlanma keyfiyyəti yaxşılaşır, yanma tam

gedir və yanma məhsullarının tərkibindəki natamam yanma məhsullarının və qurumun miqdarı azalır).

Nəticə. Məqalədə verilən məlumatlar və təhlillər aşağıdakı nəticələrə gəlməyə imkan verir:

1. Məcburi alışdırmalı benzin mühərriklərinin və sıxma hesabına özüalışdırmalı dizel mühərriklərinin yanma məhsullarının tərkibindəki zəhərli maddələrin miqdarının, eləcə də onların insan orqanizminə və ətraf mühitə göstərdiyi zərərli təsirin müqayisəli təhlili dizel mühərriklərinin ekoloji cəhətdən daha təmiz olduğunu aydınlaşdırdı;
2. Dizel mühərriklərindən xaric olunan qazların zəhərliliyinin azaldılması məqsədilə aşağıdakı tədbirlərin yerinə yetirilməsi məqsədəuyğun hesab edilir:
   - dizel mühərriklərində işlənmiş qazların tərkibindəki azot oksidlərini və qurumu azaltmaq məqsədilə yanıcı qarışığın hazırlanma keyfiyyətinin yüksəldilməsinə yönələn tənzimləmə işlərinin (yanma kamerasında havanın turbulent hərəkətinin yüksəldilməsi üçün xüsusi yönəldicilərdən və silindrlər başlığında yeləşdirilən turbulizatorlardan istifadə olunması);
   - dizel mühərriklərində işlənmiş qazların tərkibindəki azot oksidlərini və qurumu azaltmaq məqsədilə yanıcı qarışığın hazırlanma keyfiyyətinin yüksəldilməsinə yönələn konstruktiv tədbirlərin (yanma kamerinin optimal həndəsi formasının seçilməsi, tozlandırıcının soplo deşiklərinin optimal ölçülərinin seçilməsi və effektiv keçid sahəsinin böyüdülməsi, silindrə daxil olan havanın temperatur və təzyiqinin sabit saxlanması, doldurma və xaricetmə sistemlərinin müqavimətinin azaldılması, yanacağın püskürülməsi sisteminin təkmilləşdirilməsi və yanma prosesinin gedişinə nəzarət olunması, tsikllik yanacaq verilişinin miqdarının çox artırılmaması, gəminin sürətinin qənqaətbəxş hədlərdə saxlanılması və optimal hərəkət marşrutunun seçilməsi);
   - alternativ yanacaqlardan (ənənəvi dizel yanacaqlarına hidrogenin, metanolun, bitki yağlarının, qaz kondesatının və s. optimal nisbətlərdə əlavə olunması hesabına alınan qarışıqlardan) istifadə olunması.

Ədəbiyyat

1. Гришкин, Б. В. Применение Правил Приложения VI к Конвенции МАРПОЛ 73/78 / Б. В. Гришкин // Научно-технический сборник. – СПб.: РМРС, 2005. Выпуск № 28. – с. 228–246.
2. Тимофеев, О. Я. Особенности внедрения новых требований к экологической безопасности судов и морских установок в северных морях и на арктическом шельфе / О. Я. Тимофеев, Н.А. Вальдман, М. И. Крыжевич // Арктика: экология и экономика. – 2014. –№ 3. – с.79–85.
3. Fərzəliyev M.N., Həsənov F.M. Daxili yanma mühərriklərinin ekoloji təhlükəsizliyi (dərslik). Bakı, “Təhsil” NPM, 2007, 360 s.

Məqalə qəbul olunub: 07.11.24
Tövsiyə edib: t.e.d., prof. Qafarov A.M.

UOT 629.12

ON THE RESEARCH ACTIVITIES OF THE DEPARTMENT OF ELECTROAUTOMATICS OF THE AZERBAIJAN STATE MARINE ACADEMY

Lazimov T.M., Sultanov E.F.

"Azerbaijan State Marine Academy" LEPL
AZ1000, Baku, Z.Aliyeva str, 18
E-mail: tahirlazim@gmail.com, elshen_sultanov@mail.ru

Abstract. *The article is reviewed the research activities of the Department of Electroautomatics of the Azerbaijan State Marine Academy. The main directions of research and the results obtained are described, and relevant bibliographic references are provided.*

Xülasə. *Məqalədə "Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası" Publik Hüquqi Şəxsinin "Gəmi elektroavtomatikası" kafedrasının elmi-tədqiqat fəaliyyəti nəzərdən keçirilmişdir. Əsas tədqiqat istiqamətləri və alınan əhəmiyyətli nəticələr təqdim edilmiş, münasib biblioqrafik istinadlar verilmişdir.*

Аннотация. *В статье рассмотрена научно-исследовательская деятельность кафедры электроавтоматики Азербайджанской государственной морской академии. Описаны основные направления исследований и полученные результаты, приведены соответствующие библиографические ссылки.*

Key words: *Azerbaijan State Marine Academy, Department of Ship electroautomation, research activities, reliability, marine electrical equipment*

Açar sözlər: *Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası, Gəmi lektroavtomatikası kafedrası, elmi-tədqiqat fəaliyyəti, etibarlılıq, gəmi elektrik avadanlığı*

Ключевые слова: *Азербайджанская Государственная Морская Академия, кафедра Судовая эектроавтоматик А, научно-исследовательская деятельность, надежность, судовое электрическое оборудование*

Introduction. Present Department of "Marine electroautomation" of the Azerbaijan State Marine Academy was founded in 1996. The first name of the department was Marine Electrical Equipment.

The department trains specialists in 4 specialties both at the bachelor's (undergraduate) degree (since 1996) and at the master's (graduate) degree (since 2001).

The department teaches about 40 subjects of both degrees. These are general technical subjects (such as "Electrical apparatus", "Electrical materials", "Electrical machines", "Automation", "Fundamentals of electric drive", etc.) and special subjects (such as "Ship electrical equipment", "Automatic control of ship electrical equipment", "Ship electrical networks", "Automatic Marine propulsion systems", "Automatic Ship Power Stations" and so on).

The research's main directions correspond to the department teaching profile.

They are the following ones:

- increasing the reliability of ship electrical equipment including power equipment and auxiliary mechanisms;
- increasing the reliability of routine operations (e.g., mooring, etc.) performed on ships;
- increasing the reliability of ship propulsion systems;
- improving the functioning of marine automation;
- study of effectiveness and improving the numerical models and methods used for simulation transitional processes in the ship's electrical equipment and system itself;

- increasing the reliability of different types of the driving engines installed on the ships (induction and DC motors, phase-wounded AC motor etc.) et al.

Increasing the reliability of deck equipment. One of the researches carried out was dedicated to improving the reliability of the non-controlled drives of the ship cranes' boom mechanisms. A method usually called the calculation of permissible stresses was used for the research. The current state of the electrical drive, which changes the crane radius in the shipboard crane, is analyzed in the research. The necessity of applying a squirrel-cage induction motor for the mentioned drive and the application of a modern control system for its control was proven. The analysis of different types of control systems on the base of crystal semiconductors was carried out, and the control system chosen for their economic and technical advantages was considered.

It was stated that in the non-controlled drives of the ship cranes' boom mechanisms, smooth start and stop of the control motor and obtaining stable low speeds for precise stopping of the drive can be ensured by using pulse voltage regulators [1]. Compared to frequency converters with thyristors, the use of switching voltage regulators provides the following advantages:

- improved harmonic content of the current and voltage of the electric motor;
- prevention of the additional deviation of the current's first harmonic;
- precise stopping (i.e., without additional travel) of the crane mechanism's electric drive;
- less energy losses in the transitional processes of crane drive;
- reduced negative effects on the power quality of the ship's power plant during commissioning.

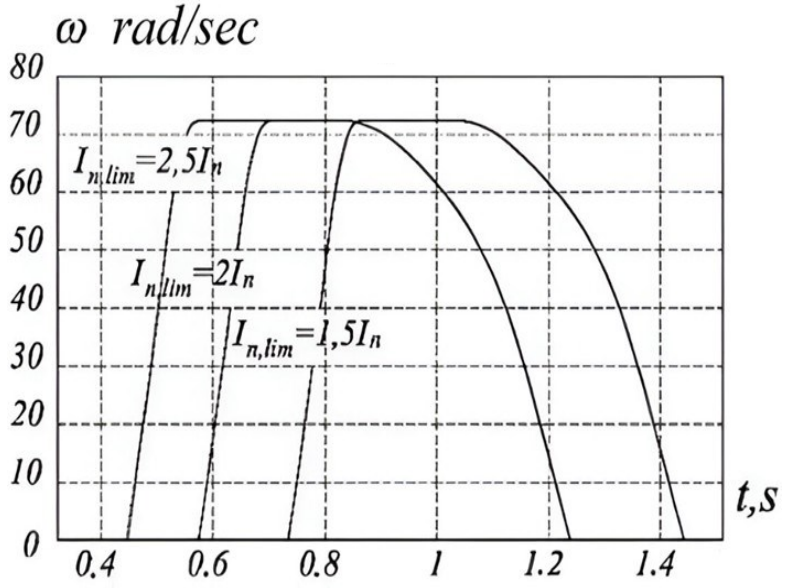


Figure 1. *Time diagrams for pulse voltage adjustment of the boom mechanism of the asynchronous motor speed with a) four and b) three power switches*

Pulse voltage regulators for use in marine electric drives that do not require rotation speed control are recommended to be manufactured using a circuit with three power switches and a shunt semiconductor bridge, which ensures symmetry of phase currents and voltages and has the best economic performance in comparison with other pulse voltage regulators [1, 2].

The effectiveness of this proposal is illustrated in Figure 1.

Increasing the reliability of mooring operations. Another research was devoted to the study of transitional processes in the frequency-controlled electric drive of the ship mooring (capstan) [3]. The research was carried out on the basis of the mathematical model of the electric drive of the ship mooring (capstan) controlled by a frequency converter realized in the time function of the voltage and frequency in the Simulink package of MATLAB.

It was possible to determine the optimal starting characteristic of the motor during changing load due to the use of this method. It was also found that at controlling the electrical drive of the mooring with the frequency converter, single-winding motors can be used instead of two- and three-winding motors, which leads to smoother control, simplification of the circuit, and decreasing the mass-dimensional indicators.

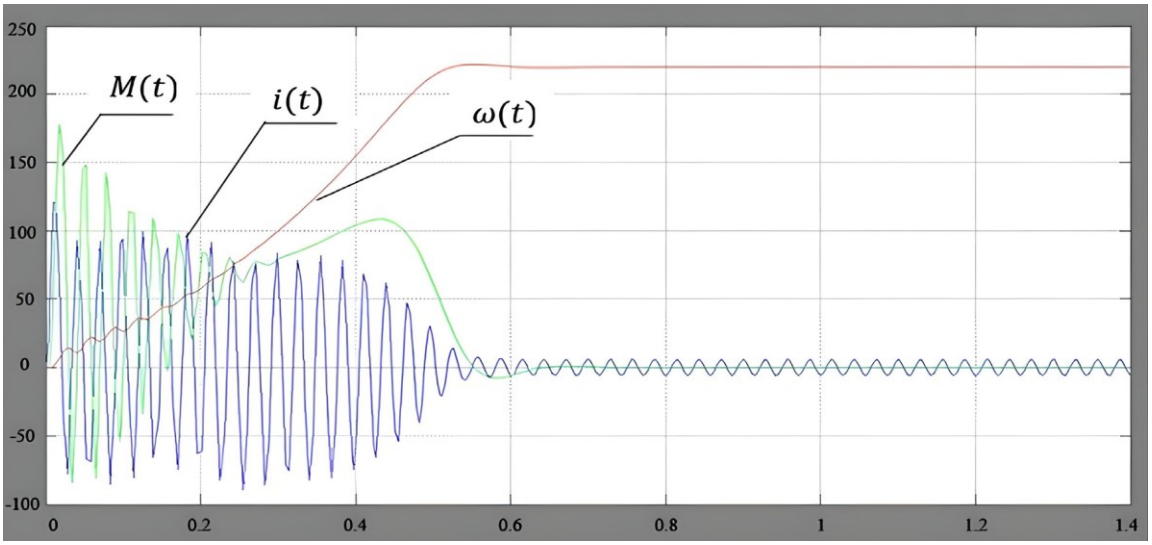


Figure 2. *i(t), M(t) and ω(t) relationships when Mc=0 during start-up - 70 Hz, f U = 220 V, 219.8 rad/sec*

The study of the transient process of a single-winding three-phase rotor of the mooring capstan of a short-circuited asynchronous motor shows that the time spent on the transient process of such electric drive is less than 1 second what is illustrated in Fig. 2 for the graphs of the temporal characteristics of torque, current and angular frequency. This indicator makes it possible to prevent accidents during the mooring process [3, 4]. Note that implementation of the mooring operation in the considered way also leads to increasing safety.

Improving the reliability of ship shaft generators. One more research led by the Department was dedicated to studying the motor modes of an asynchronous generator with a synchronous shaft (ASSG) installed on propeller-driven vessels of controlled pitch [5]. ASSG, as a propeller engine, can provide movement of the ship in the emergency mode of the main engine (MA) and work together with the GM to increase the speed of the ship. It is also noted that the synchronous shaft generator on fixed-pitch rotorcraft can be easily started as an induction motor with a squirrel-cage rotor using a powerful semiconductor frequency converter installed at its output and a damping coil on its rotor. Currently, synchronous generators are used as shaft generators on propeller-driven vessels of controlled pitch, and due to the complexity of commissioning work, propulsion modes are not provided for them. This is explained by the fact that in order to start a synchronous machine in motor conditions, a starting induction motor and starting equipment connecting the synchronous generator shaft with the gearbox and electromagnetic clutch must be provided. It is determined in the research that, unlike a synchronous shaft generator on ships of this type, the ASSG is easily started as an induction motor with a wounded rotor by adding a three-phase starting resistor to the rotor circuit. Additionally, the wounded-rotor induction motor (PRIM), considered as a sample, was modeled using Simulink, being a "visual-block simulation modeling package" included in MATLAB and designed for the modeling of dynamic systems.

As it was stated in the research installing a three-phase winding on the rotor of synchronous generators that operate as a cluster inside the SGU in the controllable-pitch propeller ships, and se-

lecting a frequency converter for this winding, replacing synchronous shaft generators with a-synchronized synchronous shaft generators, the economically advantageous power module can be obtained.

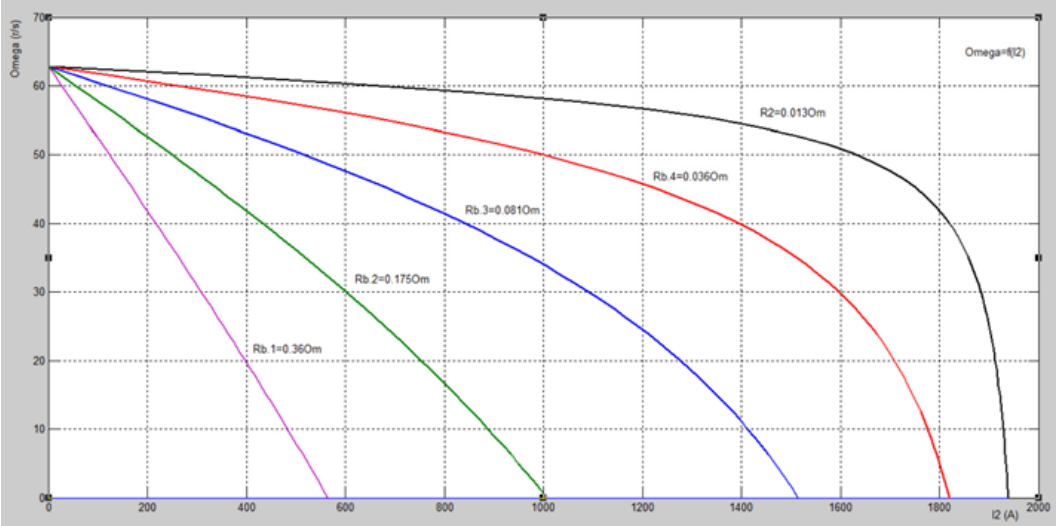


Figure 3. *ω =f (I_2) velocity characteristics of the MTH713-10 type PRIM constructed in the MATLAB/ Simulink environment*

In this case, it will be easier to realize the motor conditions of SGU. It is considered more advisable to start the ASSG, mounted in controllable-pitch propeller ships only in the motor conditions, using a cheap and simple method, i.e., by connecting resistance to the rotor circuit, as a PRIM [5, 6].

For the illustration of the results of the research carried out the simulated current-angular frequency characteristics at different values of the resistance connected to the rotor winding (excitation winding) to realize the motor mode are presented in Fig.3.

Increasing the reliability of ship automation. A number of studies carried out by the Department of Electrical Automation were devoted to automation issues that are of great importance in marine engineering. Please note that automation devices and circuits are widely used on ships and are of dramatic importance to the reliability and safety of ships [7].

One of the investigations in this direction studied the impact of increasing the amplification factor to a large extent on the stability of the automatic system [8]. Increasing the gain coefficient of the regulator and identifier to the required value ensured its high speed and accurate tracking of the reference trajectory without disturbing the stability of the system. The comparative analysis of the proposed methods and algorithms were evaluated by modeling and studying test problems in MATLAB/Simulink. Based on analytical and computer studies, the following main conclusions were obtained. The shortcomings of the existing management systems and algorithms were analyzed, and as a result, the issues to be considered were determined. A single-loop structure of the control system, which is the primary issue in the indicated direction, which allows to increase the amplification factor without breaking the stability, and a method of ensuring invariance against uncontrolled external exciting effects, is proposed.

The effectiveness and comparative analysis of the proposed methods and algorithms were evaluated by modeling and studying test problems in MATLAB/Simulink.

A modeling block and the dynamic characteristics of the system obtained due to the numerical realization in accordance of this block are presented in Figure 4 and Figure 5 respectively.

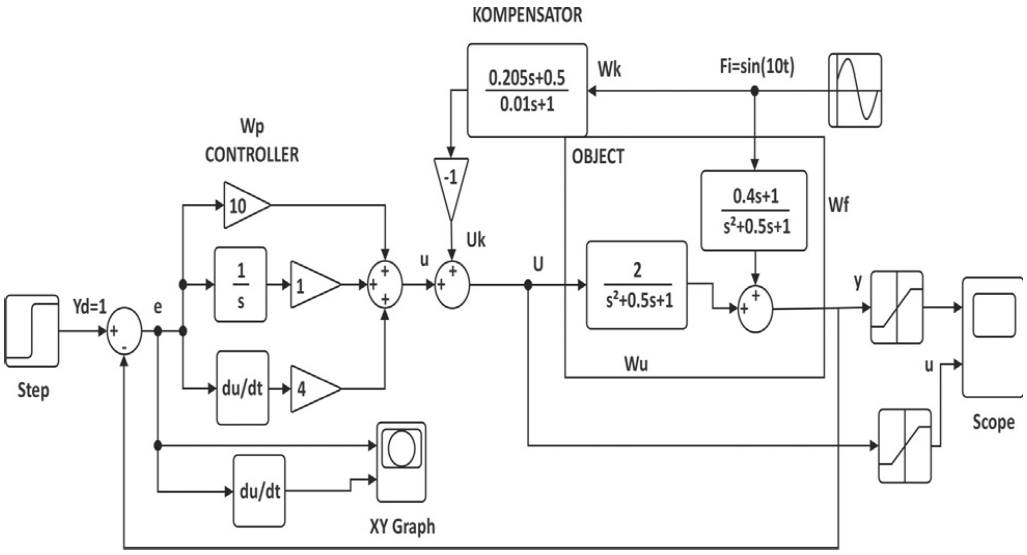


Figure 4. *Modeling scheme in MATLAB/Simulink*

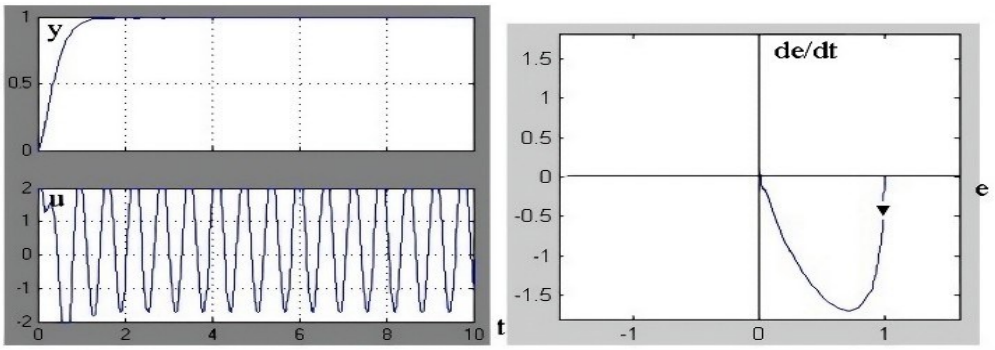


Figure 5. *Dynamic characteristics of the system*

The obtained positive results pave the way for the practical use of system technical analogs of Simulink schemes of synthesized control systems. As it can be seen, the quality indicators of the transition characteristics y(t) are almost the same, but in the second case, the external excitation effect is not measured.

Some other important results in similar areas were presented in [9, 10].

Study of effectiveness of the numerical methods used for simulation transitional processes. Research of transitional processes in electric power systems and board networks being one of the main factors determining their reliability, is one of the important problems for researchers working in the area of electrical engineering. Presently just numerical models and computer simulations are widely used as the main research tool for most engineering problems [11] including ones concerned to marine electrical equipment and shipboard networks [12].

In this direction have been studied some problems and the following results: -
the key computational features at the realization of the models of transitional processes (at switching-offs unloaded transformers and autotransformers, power capacitor banks, and unloaded power transmission lines) in MATLAB set, conditioned by the methods (ode solvers) and algorithms (fast and robust ones) used, the impact of some physical phenomena and parameters and also the influence of the type of circuit-breaker (vacuum and SF6) on transitional voltages' behavior and stability of solutions were determined [13];

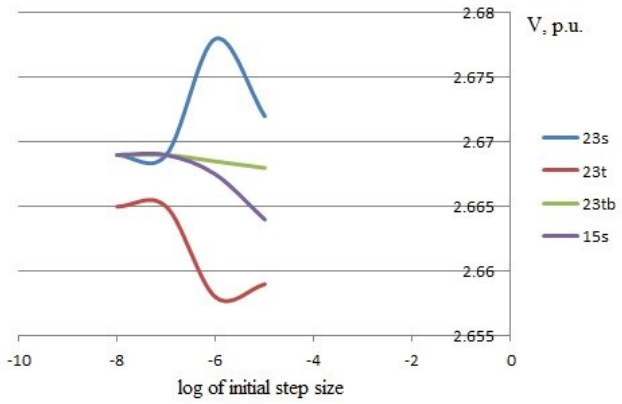


Figure 6. *Behavior of solutions (voltage ratios across the installation terminals) at decreasing initial step size at use fast algorithms (relative tolerance 0.000001) for switching-off 110 kV capacitor bank of 75 MVAr.*

As it is evidently seen from Figure 6, whereas the ode 23 method and the fast algorithms of ode 23tb and ode 15s methods provide stability of the solutions at simulation switching-off 110 kV capacitor bank of 75 MVAr, the fast algorithm of the ode 15s method – does not. -
the computational features at switching power capacitor banks were studied in detail, including quantitative and qualitative distinctions conditioned by the peculiarities of different stiff methods (solvers). It was shown that in some cases even a little quantitative distinction of transitional functions' instantaneous values from ones for stable solutions due to step-to-step accumulation of local errors may cause qualitative distinctions in solutions' behavior. It was studied the impact of the busbars' total capacitance on the solvability, behavior, and stability of the solutions. All these let us get adequate solutions for the voltages' transitional functions [14].

Studying and clarifying the above-minded features let us get some important results, namely:

- stating the effectiveness of so-called capacitor switchers (SF6 circuit breaker equipped by the set of pre-insertion resistors) at switching-on [15] and switching-off [16] power capacitor banks in concern of transitional over-voltages, extra-current, and the energy dissipated in the resistors;
- the possibility of more scientifically based choice of circuit breakers of medium and high-class voltages (6 – 110 kV) by their type (SF6 or vacuum ones) due to their comparative analyze in the terms of magnitudes of transitional voltages i.e. overvoltage across the terminals of switched installation and recovery voltage across the circuit breaker poles [17];
- determination of conditions of more adequate modeling of short unloaded power transmission lines at their switching-off that is important because of difficulties appearing at use the multi pi-sectional models [18].

Let us also note some other department publications, in addition to those noted above, namely [19-22].

Department publications. For the last 5 years, the department staff published dozens of research papers, including more than 10 indexed in Scopus and Web of Science, and dozens - in Google Scholar and other scientific databases.

References

[1]. E.F. Sultanov, E.M. Mammadov, E.A. Hasanov, S.S. Ismayilov, "Application of soft starting and braking for electrical drives of boom mechanism of shipboard cranes", International Journal on "Technical and Physical Problems of Engineering" (IJTPE), Issue 56, Volume 15, Number 3, pp. 303-308, September 2023

[2]. Sultanov E.F., Məmmədov E.M., Cərəyan və gərginlik mənbəyindən qidalandırılan gəmi yükqaldırıcı mexanizminin asinxron mühərrikinin statik xarakteristikaları. Materials of XVIII International scientific-technical conference, 2023

[3]. E.F. Sultanov E.A., Hasanov S.S., Ismayilov E.M. Mammadov, **"**Transient process of electrical drive of a ship mooring controlled by a frequency converter", International Journal on "Technical and Physical Problems of Engineering" (IJTPE), Issue 56, Volume 15, Number 3, pp. 290-297, September 2023

[4]. E.F. Sultanov, E.A. Hasanov, E.M. Mammadov, "Study of Frequency Converters Applied in Electrical Transmissions of Ship Deck Mechanisms", The Second International Baku Conference on Scientific Research, Baku Odlar Yurdu University, Vol. 1, pp. 424-430, Baku, Azerbaijan, 28-30 April 2021.

[5]. S.S. Ismayilov, E.F. Sultanov, E.A. Hasanov, E.M., Mammadov, I.P. Bayramova, "Motor conditions modeling of asynchronized synchronous shaft generator in controllable pitch propeller ships", International Journal on "Technical and Physical Problems of Engineering" (IJTPE)**,** Issue 56, Volume 15, Number 3, pp. 276-284, September 2023

[6]. Sultanov E.F., İsmayilov S.S., Bayramova İ.P. Diagnostics of ship asynchronous motors in technical operation process. Proceedings of Azerbaijan State Marine Academy №1, 2021

[7]. Alexandr Yakimchuk, "Ship Automation: For Marine Engineers and ETOs", Witherby, 2012

[8]. V.G. Farhadov, I.P. Bayramova, S.S. Ismayilov, R.R. Alijanov, **"**Synthesis of second-order invariant control systems with large gain ratio", International Journal on "Technical and Physical Problems of Engineering" (IJTPE)**,** Issue 56, Volume 15, Number 3, pp. 298-302, September 2023

[9]. K.A. Rustamov, V.K. Farkhadov, R.K. Rustamov, "Study of K-Robust Systems with Limited Control", Mechatronics, Automation, Control, No. 11, pp. 699-706, Moscow, Russia, 2018

[10]. M.H. Hasanov, V.Q. Farhadov, K.R. Hajiyeva, V.M. Fataliyev, F.S. Huseynli, "Features of Setting up the Optimal Stabilization System for the New 3D Printer Due to Hastiness", AIP Conference Proceedings, Vol. 2656, Issue 1, pp. 20-21, 29 Aug. 2022

[11]. K. Ragaller, Current Interruption in High Voltage Network, Plenum Press, New-York, 1978

[12]. Maritime Simulation, Proceedings of the First International Symposium, edited by M.R.Heller, Springer-Verlag, Munich, 1985

[13]. T.Lazimov, E.A.Saafan, "Computational Features of Numerical Simulation of some Transitions in Electric Power Systems", The MEPS International Symposium, pp. 1-4, Wroclaw, Poland, 2019

[14]. T. Lazimov, R. Ahmadov, "Some Features of Capacitor Banks Automatic Switching-Offs Computer Simulation," IFAC-PapersOnLine 51 (30), 2018, pp. 632-635

[15]. T.Lazimov, E.Saafan, "Transitional Processes at Switching-Off Capacitor Banks with Pre-Insertion Resistors", The MEPS'15 Symposium, pp. 1-4, Wroclaw, Poland, July 2015

[16]. E.A.Saafan, T.Lazimov, "Computer simulation of switching power capacitor banks by circuit breakers with pre-insertion resistors", International Journal on "Technical and Physical Problems of Engineering" (IJTPE), Issue 55, Volume 15, Number 2, pp. 136-152, June 2023

[17]. H. Mammadov, T. Lazimov, S. Imanov, A. Nayir, "Comparison of transients while switching-off capacitor banks by vacuum and auto-compression circuit-breakers," Proc. of Fourth ICTPE Conference, Pitesti, Romania, pp. II.9 - II.12, 2008

[18]. Tahir Lazimov, Samira Gahramanova, Asif Sadigov, "On modeling of switching-off processes in power transmission lines", Proceedings of COIA 2020 Conference, Vol.2, Baku, Azerbaijan, 2020

[19]. Salimova A.K., Sultanov E.F., Mammadov E.M. Investigation of managed ship electrical drive. Proceedings of Azerbaijan State Marine Academy №1, 2021

[20]. Salimova A.K., Sultanov E.F., Mammadov E.M. Study of large power boat oar electric installations. Proceedings of Azerbaijan State Marine Academy №1, 2023
[21]. Sultanov E.F., Həsənov E.A., Gəmi lövbər-yanalma qurğularının elektrik intiqalında tətbiq olunan müasir tezlik çeviricisinin əsas xüsusiyyətləri. Materials of XVIII International scientific-technical conference, 2023
[22]. E.A. Qasanov, "Investigation of Modes and Calculation of Operation Parameters of a Frequency-Controlled Electric Drive of a Ship's Anchor Device", Marine Intelligent Technologies, No. 2, Issue 1, pp. 170- 175, St. Petersburg, Russia, 2020.

Məqalə qəbul olunub: 07.11.24
Tövsiyə edib: t.e.d., prof. Qafarov A.M.

UOT 62.83.52

"MAESTRO NİYAZİ" (LAYİHƏ 19610) TİPLİ QURU YÜK GƏMİSİNİN AVTOMATİK YANALMA BUCURQADININ ELEKTRİK İNTİQALININ GÜCÜNÜN HESABLANMASI

Sultanov E.F., Dostiyev F.İ.

"Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası" PHŞ
AZ1000, Bakı şəh., Z.Əliyeva küç.,18
E-mail: elshen_sultanov@mail.ru, fazildostuyev6@gmail.com

Xülasə. *Məqalədə gəmi avtomatik yanalma bucurqadının elektrik intiqalının gücünün hesablanması üsulu göstərilmişdir və həmin üsulu tətbiq etməklə misal həll edilmişdir.*

Аннотация. *В статье приведены особенности расчета мощности электрической привод судовой автоматической швартовной лебедки и решен пример с применением этого метода.*

Abstract. *The article shows the features of calculating the power of the electric drive of a ship's automatic mooring winch and solves an example using this method.*

Açar sözlər: *gəmi, lövbər, yanalma bucurqadı, elektrik intiqalı, güc*
Ключевые слова: *судно, якорь, швартовная лебедка, электропривод, силовая*
Key words: *ship, anchor, mooring winch, electric drive, power*

Giriş. Müasir gəmilərdə tətbiq edilən bucurqadlar avtomatlaşdırılmış olduqlarına görə, onları avtomatik yanalma bucurqadları *(AYB)* adlandırırlar. Avtomatik yanalma bucurqadının əsas vəzifəsi müəyyən bir obyektə yan almış gəminin təhlükəsiz dayanmasını və kəndirin sazlığını təmin etmək üçün gəminin yanalma vəziyyətini avtomatik olaraq tənzim etməkdən ibarətdir. Klyuzların koordinatlarının xarici təsirlər səbəbindən dəyişməsi kəndirin dartılma bucağının dəyişməsilə nəticələnir ki, bu da yanalma rejiminin yeni vəziyyət almasını xarakterizə edir. Hazırda yanalma rejiminin optimallaşdırılmsı meyarının müəyyənləşdirilməsi üçün elə bir yanaşma halı yoxdur ki, yanalmanın hər bir konkret şərtləri üçün *AYB*-nin ümumi təsir proqramını qurmağın mümkünlüyünü təmin etsin. Bu səbəbdən, yanalma bucurqadlarının avtomatlaşdırılmasının ümumi qəbul edilmiş prinsipi, yanalma kəndirlərinin dartılmasının verilmiş səviyyədə stabil saxlanmasıdır [1].

Avtomatlaşdırılmış bucurqad mexanizmi kəndirdə dartma qüvvəsi artdıqda onu boşaldır, dartma qüvvəsi verilmiş qiymətdən aşağı olduqda isə onun sallanan hissəsini yığır. Bucurqadın bir avtomatik tənzimetmə sistemi kimi xüsusiyyəti ondan ibarətdir ki, kəndirin gərilməsi onun üçün, eyni zamanda, həm həyəcanlandırıcı amil, həm də tənzimolunan kəmiyyətdir. Bu şərtlərdə sistem digər ümumiləşdirilmiş koordinatlara nisbətən qapalıdır və bu da sistemin əsas çatışmazlığıdır.

Kəndirin dartılmasının artıb - azalması küləyin, su axınının və dalğanın təsirindən əlavə, gəminin yüklənib – boşalmasından, şlyuzlardan keçməsindən və başqa səbəblərdən də baş verə bilər. Məsələn, ədəbiyyat mənbələrində verilən məlumata görə tankerin yüklənməsi zamanı klyuzun şaquli hərəkətinin sürəti *0,7÷1 m/saat,* gəminin şlyuzdan keçməsi zamanı isə suyun qalxıb enmə sürəti *0,5÷1 m/dəqiqə* ola bilər. Göstərilən hadisələr baş verdikdə avtomatik yanalma bucurqadı işçiləri ağır fiziki iş sayılan kəndirin yığılma və boşalma əməliyyatından azad edir. Bundan əlavə, gəminin körpüyə yanalması avtomatik yanalma bucurqadının əl vasitəsilə idarə rejimində yerinə yetirildikdə yanalma əməliyyatına sərf olunan vaxt azalır.

Gəmilərin avtomatik yanalma əməliyyatı yəni gəmi körpüyə bağlandıqdan sonra yanalma kəndirində dartma qvvəsinin sabit saxlanması həm avtomatlaşdırılmış lövbər-yanalma, həm də avtomatlaşdırılmış yanalma bucurqadları vasitəsilə yerinə yetirilir. Göstərilən hər iki qurğuda kəndirdəki dartma qüvvəsini sabit saxlamaq üçün ilk olaraq dartma qüvvəsini ölçmək lazımdır. Sonra isə ölçülən qüvvə ilə intiqalın idarə sxemi arasında əlaqə yaratmaq lazımdır ki, qüvvə dəyişdikdə avtomatik olaraq elektrik intiqalı işə düşüb dartma qüvvəsini verilmiş qiymətə qaytarsın [1].

Əsas hissə. Avtomatik yanalma bucurqadının elektrik intiqalının icraedici mühərrikinin gücünün hesablanması üçün kanatındakı nominal dartma qüvvəsinin və gəminin yanalma sürətini təyin etmək lazımdır.

Hesabatda dartma qüvvəsini ($F_{n.y}$) gəmi üçün qəbul edilmiş yanalma qurğusunun tipindən və ölçülərindən (göstəricilərindən) asılıdır.

Verilmiş normalara əsasən nominal dartma qüvvəsi ilə yanalma əməliyyatı apardıqda (qurğu əl vasitəsilə idarə edildikdə) kanatın nominal yığılma sürəti ilə $(\upsilon_{ny})0{,}3 m/san$ -dən çox olmamalıdır.

Müəyyən bir gəminin yanalma qurğusunun göstəriciləri ($F_{n.y}$,υ_{ny}) həmin gəminin lövbər-yanalma təchizatından asılıdır. Lövbər - yanalma təchizatı aşağıdakı düstur ilə təyin edilir.

$$N_c = \Delta^{\frac{2}{3}} + 2 \cdot B \cdot H_s + 0{,}1A \qquad (1)$$

Burada: Δ-gəminin su tutumu (m);

B- gəminin eni (m);

H_s-gəminin şərti hündürlüyü (m) su xəttindən ən hündür rubkanın döşəməsinə kimi olan məsafəyə bərabərdir;

A-gəminin "yelkən" sahəsi (m^2) gəminin su xətti azaldığından yuxarı olan sahəsi.

$$A = L(B + H_s) + l \cdot h\frac{4}{3} \quad m^2 \qquad (2)$$

Burada: L-gəminin ə.s. xəttinə görə uzunluğu (m);

H-gəminin bortunun hündürlüyü (m);

B- gəminin eni (m);

h – göyərtə üstü tikintinin uzunluğu və hündürlüyü;

Mühərrikin gücünün təyin edilməsi ardıcıllıqla aparılır.

1. (2)-ci düstur vasitəsilə A-nın qiyməti təyin edilib 1-ci düsturda yerinə qoyduqdan sonra N_c-nin qiymətini təyin etmək lazımdır
2. Tapılmış N_c-nin qiymətinə əsasən cədvəl 1-dən a_2 və b_2-nin qiymətləri götürülür.

Cədvəl 1

N_c	a_2	b_2
1000-ə kimi	500	0
1000÷1500	630	375
500-dən çox	825	2300

Verilmiş normativ qiymətlərə görə kanatın nominal dartma qüvvəsi ($F_{n.y}$) kanatın qırılma qüvvəsindən 3-dəfə az olmalıdır.

$$F_{e\cdot y} = 10 \cdot a_2 \sqrt{N_c - b_2} \quad KN \tag{3}$$

N_c, a_2 və b_2-nin qiymətlərini (3) düsturunda yerinə yazıb $F_{e\cdot y}$ - nin qiyməti təyin edilir və sonra həmin qiymətə əsasən cədvəl 2-dən dartma qüvvəsini ($F_{n.y}$) və nominal dartma sürətini (υ_{ny}) qiymətləri götürülür [1, 2].

Cədvəl 2

Yanalma şpilinin modeli	Yanalma barabandakı nominal dartma qüvvəsi	Yanalma kapotunun yığılma sürəti		Yanalma kapotunun diametri	Yanalma kapo-tunun qırılma sürəti $F_{n.y}$	Yanalma kanatının diametri, mm	Yanalma kanatının qırılma qüvvəsi, $F_{q.y}$, kN
		Alçaq sürət çox olmasın		Nominal sürət çox olmasın	Yüksək sürət çox olmasın		
	KN					MM	KN
1	20			0,25		20	60÷90
2	30	0,15		0,2	0,4	22	90÷150
3	50	0,15		0,2	0,4	25	150÷240
4	80	0,15		0,2	0,4	28	240÷360
5	100	0,15		0,18	0,4	32	360÷450

Mühərrikin təyin edilməsi. Yanalma qurğusunun icraedici mühərrikinin nominal gücü ədəbiyyat mənbələrinə [1] əsasən aşağıdakı düstur vasitəsilə təyin edilə bilər [3, 4, 5].

$$P_n = k \cdot \frac{F_{ny} \cdot \upsilon_{ny}}{\eta_{ot}} \quad kVt$$

Burada: $F_{n.y}$ - nominal dartma sürəti (N);

υ_{ny} – nominal yanalma sürəti (m/san);

k= 0,8÷0,9 məsləhət görülən yükləmə əmsalı.

Tapılmış nominal gücə görə xüsusi olaraq yanalma qurğusu üçün hazırlanmış 2 və ya 3 sürətli rotoru mühərrikini seçdikdə nəzərə alçaq lazımdır ki, onun işəsalma momenti aşağıdakı tələbləri ödəməlidir [3, 4].

$$2M_n \le M_{i.} \prec 3M_n M_n = \frac{9550 \cdot P_n}{n_n} \quad (Nm)$$

“Maestro Niyazi” (layihə 19610) tipli quru yük gəmisinin avtomatik yanalma bucurqadının elektrik intiqalının gücünün hesablanması.

Yanalma qurğusunun elektrik intiqalının icraedici mühərrikinin gücünün hesablanması üçün kanatındakı nominal dartma qüvvəsinin və gəminin yanalma sürətini təyin etmək lazımdır.

Hesabatda dartma qüvvəsini ($F_{n.y}$) gəmi üçün qəbul edilmiş yanalma qurğusunun tipindən və ölçülərindən (göstəricilərindən) asılıdır.

Verilmiş normalara əsasən nominal dartma qüvvəsi ilə yanalma əməliyyatı apardıqda (qurğu əl vasitəsilə idarə edildikdə) kanatın nominal yığılma sürəti ilə $(\upsilon_{ny})0{,}3 m/san$-dən çox olmamalıdır [4, 5].

Müəyyən bir gəminin yanalma qurğusunun göstəriciləri ($F_{n.y}$, υ_{ny} və s) həmin gəminin lövbər - yanalma təchizatından asılıdır. Lövbər - yanalma təchizatı aşağıdakı düstur ilə təyin edilir

$$N_c = \Delta^{\frac{2}{3}} + 2 \cdot B \cdot H_s + 0{,}1A = 8595^{\frac{2}{3}} + 2 \cdot 16{,}65 \cdot 13.5 + 0{,}1 \cdot 275.77 = 92 + 449{,}55 + 25.77 = 562{,}73$$

Burada: Δ-gəminin su tutumu (m);

Δ= 8595 ton;

B- gəminin eni (m);

H_s-gəminin şərti hündürlüyü (m) hidravlik su xəttindən ən hündür rubkanın poluna kimi olan məsafəyə bərabərdir;

A-gəminin "yelkən" sahəsi (m^2) gəminin su xətti azaldığından yuxarı olan sahəsi.

$$A = L(B + H_s) + l \cdot h\frac{4}{3} = 139.93(16.65 - 13.5) + 15 \cdot 11 = 257.77 \quad m^2$$

Mühərrikin gücünün təyin edilməsi ardıcıllıqla aparılır

Tapılmış N_c-nin qiymətinə əsasən cədvəl 1-dən a_2 və b_2-nin qiymətləri götürülür

$$a_2 = 500, \quad b_2 = 0$$

$$F_{e \cdot y} = 10 \cdot a_2\sqrt{N_c - b_2} = 10 \cdot 500\sqrt{562.73 - 0} = 11861 \quad KN$$

N_c, a_2 və b_2-nin qiymətlərini (3.3) düsturunda yerinə yazıb $F_{e \cdot y}$ - nin qiyməti təyin edilir və sonra həmin qiymətə əsasən cədvəl 2-dən dartma qüvvəsini ($F_{n.y}$) və nominal dartma sürətini (υ_{ny}) qiymətləri götürülür [4, 5].

Yanalma qurğusunun icraedici mühərrikinin nominal gücü ədəbiyyat mənbələrinə əsasən aşağıdakı düstur vasitəsilə təyin edilə bilər

$$P_n = k \cdot \frac{F_{ny} \cdot \upsilon_{ny}}{\eta_{ot}} = 0{,}95\frac{30 \cdot 0{,}8}{0{,}85}10^{-3} = 26{,}8 \text{ Kvt}$$

Tapılmış nominal gücə görə xüsusi olaraq yanalma qurğusu üçün hazırlanmış 2 və ya 3 sürətli rotoru mühərrikini seçdikdə nəzərə alçaq lazımdır ki, onun işəsalma momenti aşağıdakı tələbləri ödəməlidir.

$$2M_n \le M_{i.} \prec 3M_n M_n = \frac{9550 \cdot P_n}{n_n} \text{ (Nm)}$$

Yuxarıda göstərilənləri nəzərə alaraq cədvəldən MAP622-4/8/16 tipli rotoru qısa qapanmış assinxron mühərrikini seçirik [1, 2] .

Seçilmiş mühərrikin verilənləri aşağıdakılardır

Gərginlik -380 V

a) Yüksək sürət sarğısı üçün

- güc (30 dəqiqəlik iş rejimi üçün) – P_{n3}= 28 Kvt
- fırlanma sürəti – n_{n3}= 1445d/dəq
- işə salma momenti – $M_{işə3}$= 770 Nm
- yüklənmə əmsalı λ_3=2,4

b) Orta sürət sarğısı üçün

- güc (30 dəqiqəlik iş rejimi üçün) – P_{n2}= 36 Kvt
- fırlanma sürəti – n_{n2}=675 /dəq
- işə salma momenti – $M_{işə2}$= 1150 Nm
- yüklənmə əmsalı λ_3=2,4

v) Alçaq sürət sarğısı üçün

- güc (10 dəqiqəlik iş rejimi üçün) – P_{n1}=10 Kvt
- fırlanma sürəti – n_{n1}= 315 d/dəq
- işə salma momenti – $M_{işə1}$= 700 Nm
- yüklənmə əmsalı λ_3=2

Müxtəlif dolaqlardan istifadə etməklə mühərrikin nominal sürüşmələri kiçik sürətli dolaqla işlədikdə

$$S_{n1} = \frac{n_{01} - n_{n1}}{n_{01}} = \frac{375 - 315}{375} = 0{,}16$$

Orta sürətli dolaqda işlədikdə

$$S_{n2} = \frac{n_{02} - n_{n2}}{n_{02}} = \frac{750 - 675}{750} = 0{,}1$$

Böyük sürətli dolaqda işlədikdə

$$S_{n3} = \frac{n_{03} - n_{n3}}{n_{03}} = \frac{1500 - 1445}{1500} = 0{,}04$$

Müxtəlif nominal sürətdə mühərrikin nominal momenti

$$M_{n1} = \frac{9550 \cdot P_{n1}}{n_{n1}} = \frac{9550 \cdot 10}{315} = 303{,}2 \ \text{Nm}$$

$$M_{n2} = \frac{9550 \cdot P_{n2}}{n_{n2}} = \frac{9550 \cdot 36}{675} = 502{,}3 \ \text{Nm}$$

$$M_{n3} = \frac{9550 \cdot P_{n3}}{n_{n3}} = \frac{9550 \cdot 28}{1445} = 185{,}1 \ \text{Nm}$$

Müxtəlif dolaqlarda işləməklə mühərrikin maksimal momentləri

$$M_{\max 1} = M_{n1} \cdot n_1 = 185{,}1 \cdot 2{,}4 = 444{,}2 \ \text{Nm}$$

$$M_{\max 2} = M_{n2} \cdot n_2 = 509{,}3 \cdot 2{,}4 = 1222{,}3 \ \text{Nm}$$

$$M_{\max 3} = M_{n3} \cdot n_3 = 303{,}2 \cdot 2 = 606{,}4 \ \text{Nm}$$

Müxtəlif dolaqlarda işləməklə mühərrikin kritik sürüşmələri

$$S_{kr1} = S_{n1} \cdot \left(\lambda_1 + \sqrt{n_2^2 - 1}\right) = 0{,}04\left(2{,}4 + \sqrt{2{,}4^2 - 1}\right) = 0{,}18$$

$$S_{kr2} = S_{n2} \cdot \left(\lambda_2 + \sqrt{n_2^2 - 1}\right) = 0{,}1\left(2{,}4 + \sqrt{2{,}4^2 - 1}\right) = 0{,}46$$

$$S_{kr3} = S_{n3} \cdot \left(\lambda_3 + \sqrt{n_3^2 - 1}\right) = 0{,}16\left(2 + \sqrt{2^2 - 1}\right) = 0{,}6$$

Mühərrikin mexaniki xarakteristikaları. Mexaniki xarakteristikaları qurmaq üçün aşağıdakı sadələşmiş düsturdan istifadə olunur.

$$M = \frac{2M_{max}}{\frac{S}{S_{kr}} + \frac{S_{kr}}{S}}$$

Mühərrikin müxtəlif dolaqlarda işləməsinin mexaniki xarakteristikaları üçün alarıq;

kiçik sürətli dolaq üçün S- sürüşmənin müxtəlif (0÷1) qiymətini düsturda yerinə qoymaqla, onlara uyğun momentin qiymətləri cədvəl 3-də qeyd edilir.

$$M_1 = \frac{2M_{\max 1}}{\frac{S}{S_{kr1}} + \frac{S_{kr1}}{S}} = \frac{2 \cdot 606{,}4}{\frac{0{,}02}{0{,}6} + \frac{0{,}6}{0{,}02}} = 40{,}4 \ \text{Nm}$$

Cədvəl 3

S	0,02	0,04	0,1	0,2	0,4	0,55	0,6	0,8	0,9	1
$M_1 \cdot N \cdot m$	40,4	80,5	196,8	367,5	577,5	600,4	606,4	583	561	551
$n_1 = n_{01}(1 - S)$	367	360	337,5	300	225	169	150	75	38	0

Orta sürətlı dolaq üçün S-sürüşmənin müxtəlif (0÷1) qiymətlərini düsturunda yerinə qoymaqla onlara uyğun momentin qiymətləri hesablanılır. Hesabatın nəticəsini cədvəl 4-də qeyd edirik.

$$M_2 = \frac{2M_{max2}}{\frac{S}{S_{rh2}} + \frac{S_{kr2}}{S}} = \frac{2 \cdot 1222,3}{\frac{0,02}{0,46} + \frac{0,46}{0,02}} = 106,1 \text{ Nm}$$

Cədvəl 4

S	0,02	0,04	0,1	0,3	0,35	0,46	0,5	0,6	0,8	1
$M_1 \cdot N \cdot m$	106,1	211,1	507,2	1137,02	1180,9	1222,3	1216	1180	1053	929,5
$n_1 = n_{01}(1-S)$	735	720	675	525	487,5	405	375	300	150	0

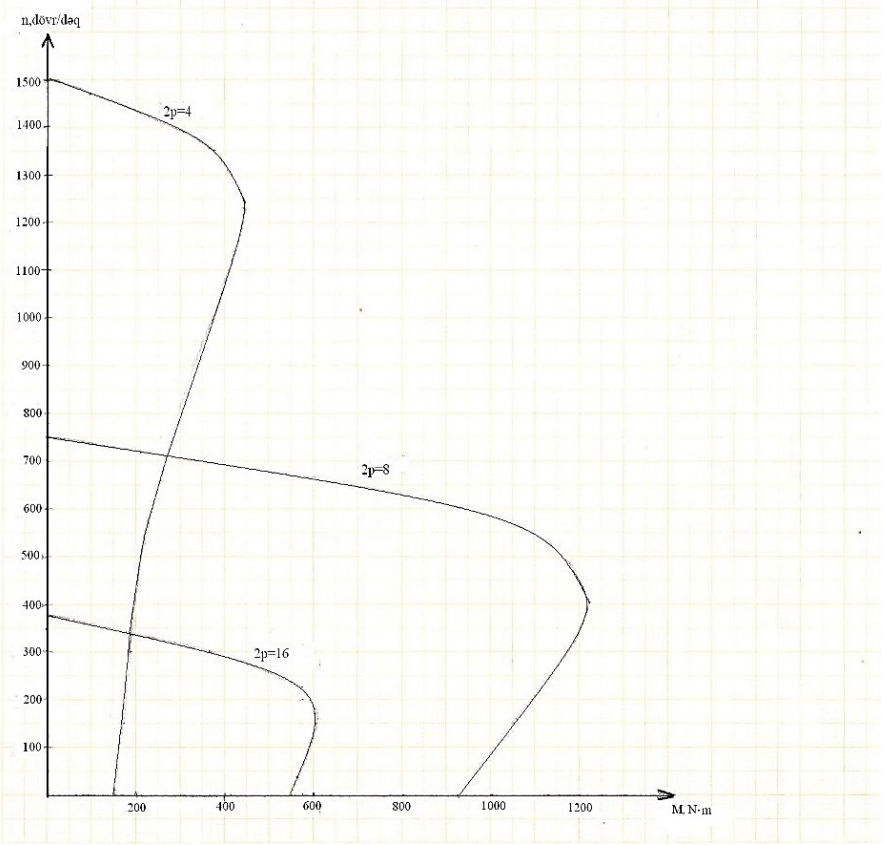
Böyük sürətlı dolaq üçün S-sürüşmənin müxtəlif (0÷1) qiymətlərini düsturunda yerinə qoymaqla onlara uyğun momentin qiymətləri hesablanılır. Hesabatın nəticəsini cədvəl 5-də qeyd olunur.

$$M_3 = \frac{2M_{max3}}{\frac{S}{S_{rh3}} + \frac{S_{kr3}}{S}} = \frac{2 \cdot 444,2}{\frac{0,02}{0,18} + \frac{0,18}{0,02}} = 97,5 \text{ Nm}$$

Cədvəl 5

S	0,02	0,04	0,1	0,18	0,3	0,5	0,7	0,8	0,9	1
$M_1 \cdot N \cdot m$	97,5	188,2	378	444,2	393	257,5	214,6	190	177	155
$n_1 = n_{01}(1-S)$	1470	14440	1350	1230	1050	750	450	300	150	0

Şəkildə mühərrikin cədvəl 3, cədvəl 4 və cədvəl 5-ə əsasən mexaniki xarakteristikalarını qurulmuş xarakteristikaları göstərilmişdir [7, 8, 9].



Asinxron mühərrikinin mexaniki xarakteristikaları

Nəticə. Məqalədə avtomatik yanalma bucurqadının elektrik intiqalının gücü hesablanmış və mühərrikin mexaniki xarakteristikaları qurulmuşdur. Mexaniki xarakteristikanın yumşaqlığını və sürəti geniş həddə tənzim etmək üçün, mühərrikin sürətinin tezlik çeviricisi ilə tənzim edilməsi təklif olunur. Bundan əlavə mühərrikin sürətinin tezlik çeviricisi ilə tənzim olunması yanalma qurğusunun elektrik intiqalının istismarını asanlaşdırır və gəmi şəraiti üçün çox vacib göstərici sayılan etibarlılığı yüksəldir.

Ədəbiyyat

1. Sultanov E.F. Abdullayev A.N. Müasir gəmi elektrik intiqalları. Dərslik.– Bakı: ADDA, – 2018. – 438 s.
2. Sultanov E.F. Həsənov E.A. Gəmi lövbər qurğusunun elektrik intiqalının tezlik çeviricisi vasitəsilə idarə olunması // – Bakı: Energetikanın problemləri, – 2014. №3, – s. 65-77.
3. Перельмутер В.М. Прямое управление моментом и током двигателей переменного тока. – Х.: Основа, – 2004. – 210 с.
4. Соколовский, Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. Учебник. – М.: Академия, – 2007. – 277 с.
5. 19610 layihəli quru yük gəmisini texniki sənədləri

Məqalə qəbul olunub: 07.11.24
Tövsiyə edib: dos. İsmayılov A.Ş.

UOT 629.12.066

SİNXRONLAŞDIRILMIŞ ASİNXRON ELEKTRİK İNTİQALI

Səlimova A.K., İsmayılov S.S.

"Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası" PHŞ
AZ1000, Bakı şəh., Z.Əliyeva küç., 18
E-mail: afag_sk@mail.ru, sahib-ismayil@bk.ru

Xülasə. *Məqalədə stator dövrəsində tezlik çeviricisi və rotor sarğıları üçün cərəyan açarı olan faza rotorlu asinxron mühərrik əsasında sinxronlaşdırılmış asinxron elektrik intiqalı sisteminə baxılmışdır. Elektrik intiqalının idarəetmə sistemi əsas maqnit axınını saxlamaq şərtilə elektrik itkilərini minimuma endirir ki, bu da təsadüfi yük qrafiki ilə intiqalının sabit kritik momentini saxlamağa imkan verir. Təklif olunan sistemin struktur sxemi təqdim olunur.*

Abstract. *System of synchronized asynchronous electrical drive based on asynchronous slip ring motor with frequency converter connected to stator winding and current commutator connected to rotor winding is analyzed in the article. The control system realizes minimization of electrical losses at constant main flux. It allows to stable maximal torque of electrical drives with random load curve. Block diagram of suggested system is presented.*

Аннотация. *Рассмотрена система синхронизированного асинхронного электропривода на базе асинхронного двигателя с фазным ротором с преобразователем частоты в цепи статора и коммутатором тока роторных обмоток. Система управления электроприводом реализует минимизацию электрических потерь при условии поддержания главного магнитного потока, что позволяет поддерживать постоянный критический момент приводов со случайным графиком нагрузки. Представлена структурная схема предлагаемой системы.*

Açar sözlər: *tezlik çeviricisi, cərəyan invertorları, rotoru qısa qapanmış asinxron mühərriki, faza rotorlu asinxron mühərriki, enerjiyə qənaət, sinxronlaşdırılmış asinxron elektrik intiqalı*

Key words: *frequency converter, current inverters, squirrel-cage induction motor, phase-wound induction motor, energy saving, synchronized asynchronous electric drive*

Ключевые слова: *преобразователь частоты, инверторы тока, асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, асинхронный двигатель с фазным ротором, энергосбережение, синхронизированный асинхронный электропривод*

Giriş. 1 kVt enerjiyə qənaətin maya dəyərinin yeni istifadəyə verilmiş 1 kVt enerjinin dəyərindən 4-5 dəfə ucuz olması səbəbindən enerjiyə qənaət bütün dünya ölkələrində texniki siyasətin prioritet istiqamətlərindən birinə çevrilmişdir.

Sənaye müəssisələrində enerjiyə qənaət problemini nəzərdən keçirərkən diqqət yetirmək lazımdır ki, bütün elektrik mühərriklərinin təxminən 70...80% -i asinxrondur və onların əksəriyyəti tənzimlənməyən elektrik intiqalında quraşdırılır. Bu elektrik intiqallarının əksəriyyəti rotoru qısa qapanmış asinxron elektrik mühərrikləri (RQQ AM) ilə təchiz edilmişdir. Belə hallarda enerjiyə qənaət problemi tezlik çeviricisi (TÇ) istifadə etməklə həll edilir, lakin bütün TÇ modelləri RQQ AM -lərə yönəldilmişdir, halbuki 90-cı illərin ortalarına qədər rotor dövrəsi vasitəsilə sürətin tənzimlənməsinin asanlığı səbəbindən faza rotorlu asinxron mühərrikilə (FR AM) təchiz edilmiş elektrik intiqalları daha çox yayılmışdı. Bir qayda olaraq, qaldırıcı və daşıma mexanizmləri (konveyerlər, kranlar və s.) belə intiqallar ilə təchiz edilmişdir. Bu intiqalların dəyişən tezlikli idarəetməyə birbaşa ötürülməsi standart çeviricilərin faza rotorlu olmayan rotoru qısa qapanmış mühərriklər ilə işləmək üçün nəzərdə tutulması və onun qısaqapanması əlavə elektromaqnit itkilərinə səbəb olması ilə çətinləşir. Sinxronlaşdırılmış asinxron mühərriklərin idarəetmə sistemlərinin inkişafı və tədqiqi perspektiv istiqamətdir.

Əsas hissə. Tədqiqatın aktuallığı sinxronlaşdırılmış maşınların aşağıdakı imkanları ilə bağlıdır:

1. tamamilə sərt xarakteristikaların təmin edilməsi;
2. elektrik enerjisi istehlakının azaldılması;
3. dərin tənzimləmə ilə verilən sürəti saxlamağın asanlığı;

Sinxronizasiyanın həyata keçirilməsi ilə bağlı problemlər də var:

1. mühərrikin işə salınmasının etibarlılığı;
2. sinxronlaşdırılmış intiqalın artıq yüklənməyə qarşı dayanıqlığı;
3. rotorun dolağının fazalarının eyni dərəcədə istilənməsinin təmin edilməsi;
4. maşında istilik itkilərini minimuma endirmək.

Üstünlüklər. Sinxronlaşdırılmış asinxron elektrik intiqalının (SAEİ) üstünlüyü ondan ibarətdir ki, verilmiş sürətin dəqiq saxlanması mürəkkəb kompüterin mövcudluğunu və mühərrikin valında sürət sensorlarının istifadəsini tələb etmir. Həmçinin, sinxronlaşdırılmış asinxron elektrik intiqalı rotoru qısa qapanmış asinxron mühərrikinə əsaslanan elektrik intiqalı ilə müqayisədə enerji xüsusiyyətlərini yaxşılaşdırmağa və artıq yükləmə qabiliyyətini artırmağa imkan verir.

Çatışmazlıqlar. Sinxronlaşdırılmış mühərrikin işəsalma rejiminə xüsusi diqqət yetirilməlidir. Belə maşınları işə salmaq üçün iki əsas üsul mövcutdur: sonradan sinxronlaşdırılmış asinxron və tezlik.

Birinci üsul. Təhlili sadələşdirmək üçün onun iki mərhələdən ibarət olduğu hesab edilir. Birinci mərhələdə mühərrik asinxron mühərrikin işçi sürüşməsi S_p ilə xarakterizə olunan sinxron sürətlə asinxron rejimdə sürətlənir. Sonra mürəkkəb rəqsetmə xarakteri daşıyan və əsasən subsinxron sürət ω_{SS} və mühərrikin valındakı ətalət momentinin qiyməti J kimi iki parametrdən asılı olan mühərrikin sinxronizmə gətirilməsi prosesi gedir.

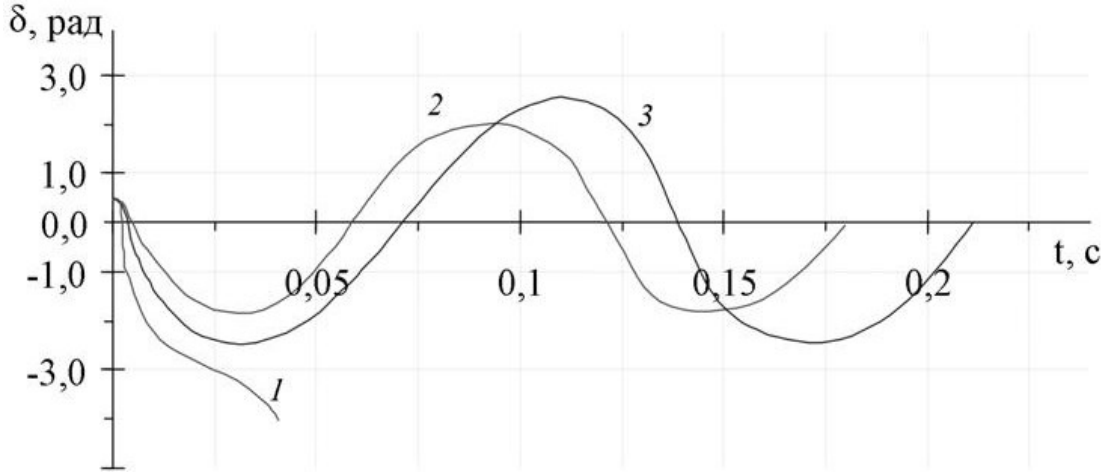
Sinxronizmə daxil olmaq şərti R.A.Lüterin düsturundan istifadə etməklə yoxlanıla bilər:

$$\omega_{SS} \geq \omega_0 \left[1 - 0.0564 \sqrt{\frac{M_{max}}{J \cdot \omega_0^2}}\right]$$

Modelləşdirmə nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, sinxronizasiyanın etibarlılığına rotor dövrəsinə təsirlənmə momenti böyük təsir göstərir və onun düzgün seçilməsi ilə optimal keçid prosesinə nail olmaq mümkündür.

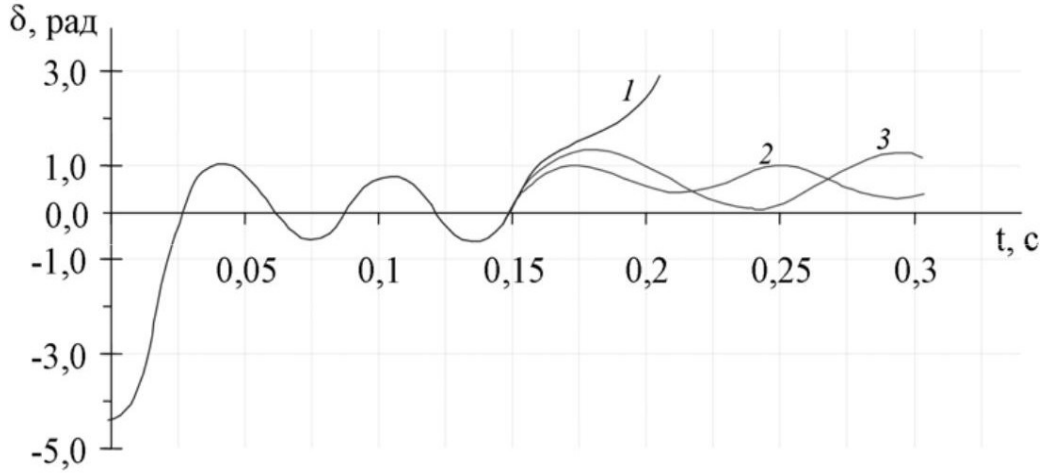
İkinci üsul. Tezlik, ona görə rahatdır ki, stator və ya rotor tərəfində əlavə işəsalma sxemləri tələb etmir, həmçinin işəsalma mühərriklərinə ehtiyac yoxdur.

Sinxron tezlikli işəsalma prosesini təhlil edərkən əsas meyar δ_i stator cərəyanının vektoru ilə rotorun uzununa oxu arasındakı bucaqdır. Tədqiq olunan MTM111-6 tipli sinxronlaşdırılmış asinxron mühərriki üçün rotorun sinxronizmdən çıxmadığı maksimum mümkün ilkin tezlik 1,7 Hs-dir (şəkil 1).



Şəkil 1. *δi bucağının ilkin tezlik f_0 –dan asılılıq qrafiki*
1 – f0 = 4,5 Hs; 2 - f0= 0,9 Hs; 3 - f0= 1,7 Hs

İlkin tezlik f_0 təxminən 0,5...0,8 s saxlanılmalıdır ki, nəticədə yaranan stator cərəyanı vektoru ən azı bir dövrə etsin, rotorun maqnit axını vektorunu "götürsün" və onunla birlikdə hərəkətə gəlib rotoru sinxronizasiyaya çəksin, həmçinin rotorun rəqsləri sakitləşsin, bundan sonra tezliyi tələb olunan həddə qədər artırmaq mümkündür. f_1 artdıqca δ_i bucağının rəqslərinin amplitudası və periodu artır, tədqiq olunan mühərrik üçün artan sürət dalğasında nominal yükdə tezlik artımının maksimum mümkün intensivliyi 10 Hz/s-dir (şək. 2)



Şəkil 2. *Tezliyin artması intensivliyinin δ_i bucağına təsiri*
1 – f_1= 18 Hs/s; 2 - f_1= 4 Hs/s; 3 - f_1= 8,5 Hs/s

Başlama anında, hətta "yapışma" effektinin təzahürü səbəbindən rotorun rəqslərindən tamamilə qaçmaq mümkün olmayacaqdır. Sonradan, sinxronlaşdırılmış asinxron mühərrik sürətləndikcə, rotora verilən sabit gərginliyi artırmaqla rotor cərəyanı tədricən artırıla bilir. Bundan əlavə, mühərrikin sürəti artdıqca, artımın intensivliyini yüksəltmək daha məqsədəuyğundur [3].

İdaərətmə qanunları. Ən sadə idaərətmə qanunu sabit gərginliyin tezliyə nisbətinin sabitlik qanunudur *U/f=const*. Bu qanunun əsas çatışmazlığı ondan ibarətdir ki, mühərrikin ilkin aktiv müqavimətlərində gərginliyin azalması səbəbindən axının tezliyinin azalmasıdır (əslində, tezlik çeviricisinin müqavimətləri də onlara əlavə olunur). Beləliklə, bu müqavimətlərin mühərrik axınına təsirini aradan qaldıracaq bir qanuna uyğun olaraq gərginliyin tənzimlənməsinə ehtiyac yaranır [4]. Bu qanun, artıq yüklənmə qabiliyyətini artıran mühərrikin əsas maqnit axınının sabitlik qanunudur.

Bu qanuna uyğun olaraq elektrik intiqalını idarə edərkən, elektrik mühərrikinin maqnit cərəyanlarının optimal paylanması ilə bağlı sual yaranır. Müxtəlif idarəetmə üsulları, məsələn, əsas maqnit axınının yalnız rotor cərəyanı ilə yaradılması mümkündür, lakin stator dövrəsində kondensator olan standart bir çevirici istifadə edildiyindən bu kondensator tələb olunan reaktiv cərəyanı təmin edə bilər, stator və rotor arasında maqnitləşdirici cərəyan komponentlərinin paylanması ilə idarəetmə qanunu nəzərdən keçirmək məntiqlidir. İndi stator və rotor dolaqlarında elektrik itkilərinin minimuma endirilməsi qanununu əsas kimi qəbul edək [5]:

$$\Delta P_m = 3I_1^2 r_1 + 3(I_2')^2 r_2'$$
$$\left.\frac{\partial(\Delta P_m)}{\partial I_{1x}}\right|_{\substack{M=const \\ \psi_\delta=const}} = 0$$

Burada ΔP_m - stator və rotor misində olan itkilər; I_{lx} - statorun maqnitlənmə cərəyanı.

Mühərrikin fırlanma momenti aşağıdakı kimi ifadə edilə bilər

$$M = \frac{3}{2} p_n L_m I_m I_{1y}$$

Stator və rotor cərəyanları *x-y* oxlarındakı proyeksiyalarla ifadə edilir, burada *x - oxu* əsas maqnit axınının vektoru boyunca yönəlmişdir:

$$I_1^2 = I_{1x}^2 + I_{1y}^2 \; ; \; I_2^2 = I_{2x}^2 + I_{2y}^2$$

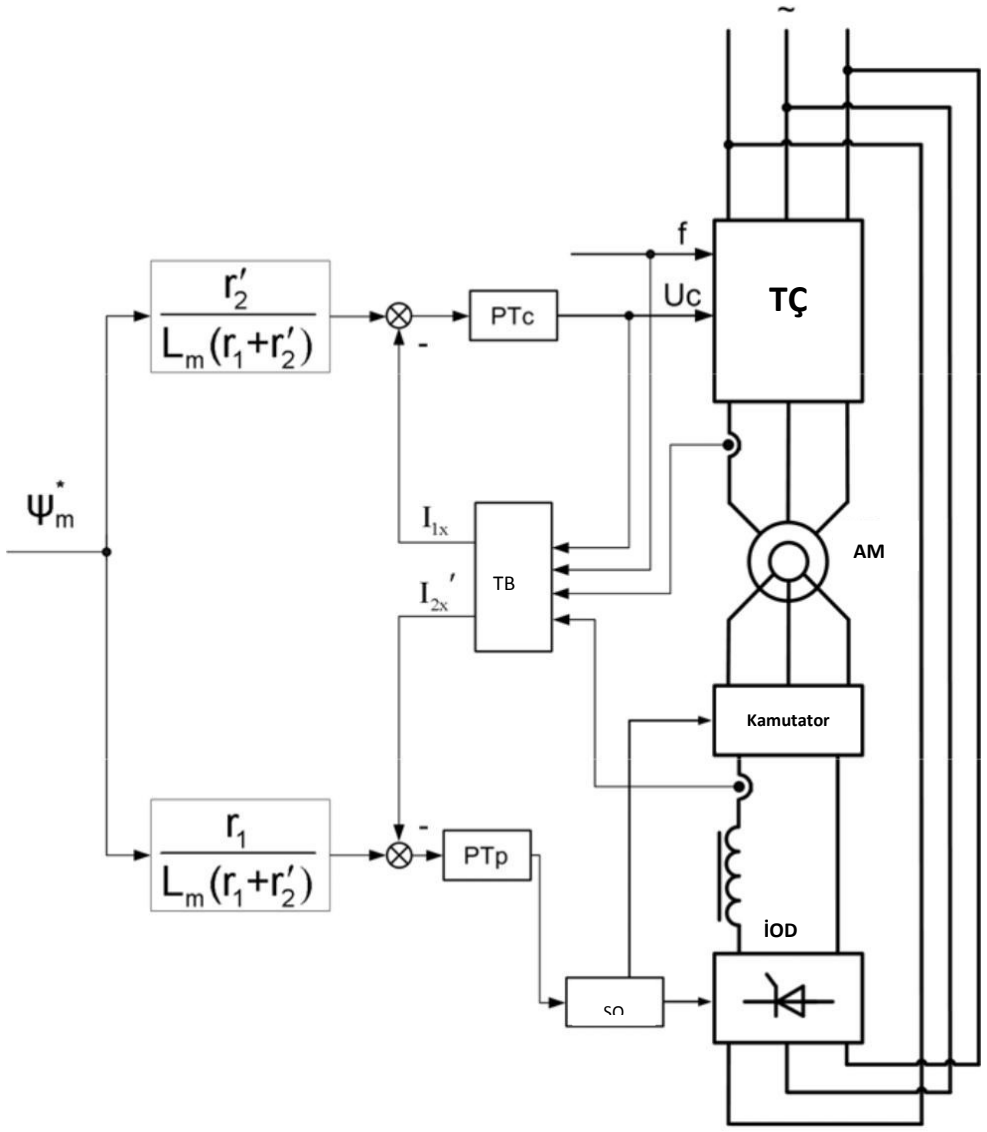
Maqnitlənmə cərəyanı

$$I_m = I_{1x} + I_{2x}'$$

İtkilərin tənliyində I_1, I_{1y} *və* I_{2x}' *-ni* I_{1x} *və* I_m –lə əvəz edərək, minimum elektrik itkisinin olduğu maqnitlənmə cərəyanları üçün ifadələr alırıq:

$$I_{1x} = \frac{I_m \cdot r_2'}{(r_1 + r_2')} \; ; \; I_{2x}' = \frac{I_m \cdot r_1}{(r_1 + r_2')}$$

Minimum elektrik itkisini saxlamaq funksiyasında intiqalın struktur idarəetmə sxemi şəkil 3-də göstərilmişdir.

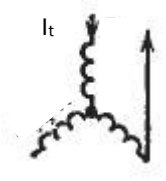
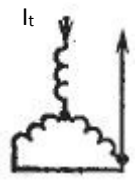
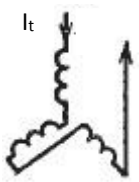


Şəkil. 3. *Sinxronlaşdırılmış AEİ-nın skayar idarəetmə sisteminin strukturu*
TÇ – tezlik çevricisi, AM – Asinxron mühərrik, İOD – idarə olunan düzləndirici, TB – təsirlənmə bloku, SQ – sellektiv qurğudur.

FR AM-ni standart tezlik çeviricisi olan bir dövrədə rasional istifadə etmək üçün rotor dolağıından rasional istifadə etmək lazımdır. Bunu etmək üçün, rotor dövrəsinə cərəyan ifrat aşağı tezlikdə verilir (bax. şəkil 1). Beləliklə, stator dolağı standart tezlik çeviricisindən qidalanır və rotorun üç fazalı ifrat aşağı tezlikli cərəyanla qidalanmasını təmin edən əlavə sinxronizasiya qurğusu rotor dövrəsinə daxil edilir, yəni asinxron mühərrik sinxron mühərrikin iş rejiminə yaxın ikili qidalanma rejimində işləyir [3]. Bu üsulun çatışmazlıqlarına çeviricinin və kommutator açarlarının işini sinxronlaşdırmaq ehtiyacı daxildir, çünki rotor dolaqlarının dəyişdirilməsi anında rotor irəli və ya geri "sıxılır" və maşın sinxronizasiyadan çıxa bilər. Bununla belə, mexanizm təkrar-qısamüddətli iş rejimində işləyirsə, sarğıları fasilə zamanı dəyişdirmək məsləhətdir. Rotorun qeyri-bərabər istiləşməsi problemini həll etmək üçün başqa bir variant, stator faza sarğılarını birləşdirmək üçün [6]-da təklif olunan üsullardır ki, bu da faza rotoruna da aiddir (cədvəl 1), lakin bu halda maşını sökmək və yenidən daxili qoşulmaq lazım olacaq.

Cədvəl 1-də I_c rotor cərəyanının cari qiyməti, I_t isə rotorun təsirlənmə cərəyanının qiymətidir. Burada rotor fazalarının qoşulma sxemlərinin müqayisəsi verilmişdir.

Cədvəl 1

	Sxem 1	Sxem 2	Sxem 3
Rotor fazalarının qoşulma sxemi			
I_c / I_t	0.816	0.707	0,943

Nəticə. Aparılmış təhlillərdən məlum olmuşdur ki, sinxronlaşdırılmış asinxron elektrik intiqalının istifadəsi qısa qapanmış rotorlu asinxron mühərrikə əsaslanan elektrik intiqalı ilə müqayisədə sərt mexaniki xarakteristikaya malikdir. Sinxronlaşdırılmış elektrik intiqalının artıq yüklənmə qabiliyyətinin artmasına sabit əsas maqnit axını ilə idarəetmə qanununu tətbiq etməklə nail olmaq olar. Məlum olmuşdur ki, nəzərə alınan elektrik intiqalında minimum enerji itkisi stator və rotor dolaqları arasında maqnit cərəyanlarının optimal paylanması ilə əldə edilir.

Ədəbiyyat

1. Костенко М.П., Пиотровский Л.М. Электрические машины: в 2 ч. Ч.2. Машины переменного тока. М.: Энергия, 1973. 648 с.
2. Голоднов Ю.М. Самозапуск электродвигателей. М.: Энергия, 1985.136 с.
3. Соломатин А.А. Синхронизированный асинхронный электропривод: дис. канд. тех. наук. Липецк, 2005.
4. Булгаков А.А. Частотное управление асинхронными двигателями. М.: Энергоиздат, 1982. 216 с.
5. Поляков В.Н., Шрейнер Р.Т. Экстремальное управление электрическими двигателями; под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. Р.Т. Шрейнера. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2006. 420 с.
6. Вешеневский С.Н. Характеристики двигателей в электроприводе. М.: Энергия, 1977. 432 с.

Məqalə qəbul olunub: 07.11.24
Tövsiyə edib: dos. Sultanov E.F.

GƏMİÇİLİKDƏ TƏBİƏT ELMLƏRİNİN PROBLEMLƏRİ

УДК 621.019

ВОПРОСЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬЮ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБЪЕКТОВ ЭНЕРГЕТИКИ

Абдуллаева С.А.

Азербайджанский Научно-Исследовательский и Проектно-Изыскательский Институт Энергетики
AZ1122, г. Баку, пр. Г.Зардаби, 94
E-mail: samira.afqan@yandex.ru

Аннотация. *Улучшение управления техническим состоянием оборудования, устройств и установок, срок службы которых превышает нормативное значение, является одной из ключевых проблем государственной безопасности, поскольку их доля составляет уже более 60%. Представлены результаты анализа литературных данных, подтверждающие актуальность и значимость данной проблемы. Важно отметить, что эти выводы применимы не только к электроэнергетическим системам, но и к многим другим производственным системам. Основными трудностями в решении данной проблемы являются недостаточность статистических данных, характеризующих надежность работы, их многомерный и случайный характер. Предлагается решение этой проблемы путем перехода от усредненных среднегодовых показателей надежности к среднемесячным показателям оперативной надежности. Представлена краткая характеристика решения отдельных задач для воздушных линий электропередачи, которые в совокупности формируют новую методологию управления техническим состоянием объектов распределенного типа. Высокая научная сложность, громоздкость и трудоемкость расчетных алгоритмов обусловливают необходимость перехода к интеллектуальным системам. В результате, руководство электроэнергетической системы и отдельных ее производственных предприятий ежемесячно будут получать специализированные формы с указанием рекомендаций, оптимизирующих повышение надежности воздушных линий электропередачи путем восстановления износа.*

Xülasə. *Xidmət müddəti normativi ötmüş qurğuların texniki vəziyyətinin idarə olunmasının yaxşılaşdırılması dövlət təhlükəsizliyinin əsas problemlərindən biridir, çünki onların sayı artıq 60% -dən çoxdur. Bu problemin aktuallığını və əhəmiyyəti təsdiq edən ədəbi məlumatların təhlilinin nəticələri təqdim olunub. Qeyd etmək lazımdır ki, bu nəticələr təkcə elektrik enerjisi sistemlərinə deyil, bir çox digər istehsal sistemlərinə də tətbiq olunur. Bu problemin həllində əsas çətinliklər işin etibarlılığını, onların çoxhəcmli və təsadüfi xarakterini xarakterizə edən statistik məlumatların çatışmazlığıdır. Problemin həlli üçün orta illik etibarlılıq göstəricilərindən operativ etibarlılığın orta aylıq göstəricilərinə keçid yolu ilə həlli təklif olunur. Elektrik veriliş hava xətləri üçün ayrı-ayrı məsəllələrin həllinin qısa xarakteristikası verilmişdir ki, bu da obyektlərin toplum texniki vəziyyətinin idarə edilməsinin yeni metodologiyasını formalaşdırır. Hesablama alqoritmlərinin yüksək elmi mürəkkəbliyi, həcmi və çətinliyi intellektual sistemlərə keçidin zəruriliyini şərtləndirir. Nəticədə, elektrik enerjisi sisteminin və onun ayrı-ayrı istehsal müəssisələrinin rəhbərliyi aşınmanın aradan qaldırılması yolu ilə hava elektrik veriliş xətlərinin etibarlılığının artırılmasını optimallaşdıran tövsiyələri göstərərək, hər ay ixtisaslaşdırılmış formalar alacaqlar.*

Abstract. *Improving the management of the technical condition of equipment, devices and installations whose service life exceeds the regulatory value is one of the key problems of state security,*

since their share is already more than 60%. The results of the analysis of the literature data confirming the relevance and significance of this problem are presented. It is important to note that these findings apply not only to electric power systems, but also to many other production systems. The main difficulties in solving this problem are because of the lack of statistical data characterizing the reliability of work, their multidimensional and random nature. The solution to the problem is proposed by transitioning from annual average reliability indicators to monthly average operational reliability indicators. A brief description of the solution of individual tasks for overhead power lines is presented, which intotal form a new methodology for managing the technical condition of distributed type facilities. The high scientific complexity, bulkiness and difficulty of computational algorithms necessitate the transition to intelligent systems. As a result, the management of the electric power system and its individual production enterprises will get specialized forms on a monthly basis indicating recommendations that optimize the reliability of overhead power lines by restoring wear.

Ключевые слова: *оперативное управление, производственный объект, эффективность работы, надежность, опасное техническое состояние, риск ошибочного решения.*

Açar sözlər: *operativ idarəetmə, istehsal obyekti, işin səmərəliliyi, etibarlılıq, təhlükəli texniki vəziyyət, səhv qərar riski*

Key words: *operational management, production facility, work efficiency, reliability, dangerous technical condition, risk of an erroneous decision*

Введение. Совершенствование управлением технического состояния оборудования, устройств и установок (*объектов*), является одной из главных задач электроэнергетических систем (*ЭЭС*). Система планово-предупредительного ремонта (*ППР*), используемая традиционно, уже не соответствует предъявляемым требованиям и становится недостаточной. Основной причиной этого, является увеличение количества однотипных объектов в ЭЭС, срок службы которых превышает нормативное значение. Так еще в 2012г. в [1] отмечено, что ЭЭС России нуждаются в серьезной модернизации основных фондов и замены почти 50% физически и морально устаревшего оборудования.

В [2] упоминается, что срок службы около двух третей ядерных реакторов превышает установленный норматив. Для управления старением внедряются специальные программы. Старение объектов приводит к увеличению количества и серьезности аварий, что влечет за собой не только большие материальные затраты, но и экологические нарушения, травмы и гибель персонала, а также угрозы для государственной безопасности.

В то же время обязательная замена основных объектов, срок службы которых превышает нормативное значение, на новые не только создает серьезные экономические проблемы, но и является нецелесообразной. Это связано с тем, что техническое состояние (**ТС**) большинства объектов зависит не только от календарного срока службы, но и от условий эксплуатации, особенно нагрузки.

Особенности методов управления ТС опасных производственных объектов. Наряду с ростом относительного числа объектов, срок службы которых превышает нормативное значение, увеличением числа недопустимых аварий, возрастает и число публикаций, в которых формируются основные замечания к методам управления ТС производственных объектов на основе риск-ориентированного подхода (*РОП*).

Представлены различные мнения и рекомендации о результатах применения этих методов за некоторый период времени, которые сложно оспорить. Уточним, что под «*методом*» будем понимать «*инструмен*т» для решения поставленной задачи, под «*подходом»* - выбор определенного метода, а под «*методологией*» - объективную последовательность методов решения исследуемой проблемы. Это уточнение терминов сформулировано на основе ознакомления с рядом научных исследований об их различии.

К значимым рекомендациям, относятся:

В [3] рассмотрены научные основы обеспечения безопасности производственных объектов. Отмечается, что:

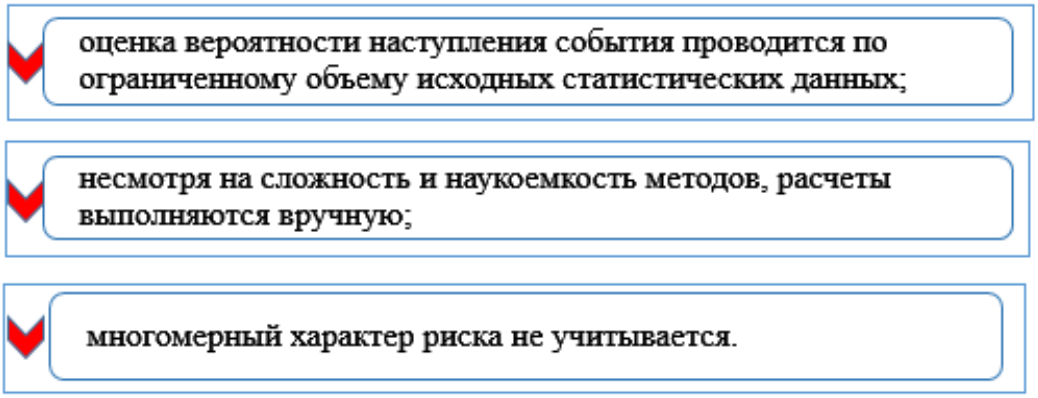
- абсолютная безопасность опасных производственных объектов (*ОПО*) *в принципе недостижима;*
- риск оценки технического состояния ОПО – является количественной мерой *опасности* возникновения недопустимых событий при отказах ОПО;
- основная задача руководителей ОПО – *поддержание нормативно установленного допустимого уровня опасности (риска)*;
- несмотря на разнообразие рекомендаций по безопасности ОПО, они носят *декларативный характер*;
- основные направления *совершенствования системы обеспечения безопасности* ОПО включают:
  - создание подхода к своевременному учету влияния технического состояния ОПО на безопасность;
  - учет *многофакторности* воздействия на безопасность ОПО.

В [4] отмечается, что для обеспечения безопасности ОПО нефтегазового комплекса все большее значение приобретает решение задач, связанных с *предупреждением* возможных аварийных ситуаций и минимизацией технологических и экологических *рисков*. Современные методики оценки рисков промышленной безопасности *не учитывают* постоянно изменяющийся во времени нестационарный *случайный характер рисков*.

В [5] указывается, что *анализ рисков* – это быстро развивающееся *междисциплинарное* научное направление, в котором:

- до сих пор *не сформулирован и существенно отличается по отраслям* понятийный аппарат анализа риска;
- *значительный* удельный вес используемых количественных показателей надежности и *несовершенство* методологии их использования (формирование интегральных показателей надежности);
- несовершенство имеющейся методической базы. Все расчеты *рекомендуется проводить в точечной постановке.*

В [6] отмечается, что *недостатками* существующих методов количественной оценки риска являются:



В [7] указывается, что количественные оценки частоты возникновения отказов однотипных объектов *отличаются друг от друга на два-четыре* порядка. Анализ причин такого расхождения показывает:

- объем исходных данных *недостаточен*;
- при выполнении расчетов допускается ряд *недопустимых* предположений;

- *наличие существенных ошибок* в расчетах показателей надежности вследствие *недостаточной квалификации* исполнителей;
- чем больше показателей, характеризующих надежность ОПО, *тем разброс результатов расчета больше*.

Особенности нормативных методов управления ТС ОПО ЭЭС. К нормативным методам управления ТС ОПО ЭЭС относятся, методы, описанные в [8,9]. К сожалению, выявленные ранее недостатки методов обеспечения безопасности ОПО в [8,9] остаются нерешенными.

В [12] отмечается, что:

- вероятность наступления события в будущем определяется на основе частоты его появления в прошлом, *без учета* возможности корректировки действий, преобразующий поток событий;
- наблюдается *недостаточный объем и неоднородность* выборки статистических данных об отказах;
- такие показатели, как количество, частота и средняя тяжесть *несчастных случаев, являются совершенно безосновательными;*
- статистика прошлых лет (для 3-5 лет) *не пригодна* для использования в полном соответствии с правилами теории вероятностей и математической статистики, так как данные *неслучайны и неоднородны*.

В [13] указывается:

- в ближайшем будущем энергокомпаниям предстоит решать задачу обеспечения надежности при *высоком износе оборудования и недостатке ресурсов*;
- наряду с системами ППР и ремонта по ТС целесообразно ввести *систему ремонта на основе РОП*;
- существующие методики прогнозирования ТС ОПО на основе РОП *не охватывают* линии электропередачи (*ЛЭП*) и устройства напряжением 0,4-10 кВ. Эти ЛЭП составляют около 90% протяженности сетей, относятся к распределительной электрической сети (*РЭС*) и являются источниками 80% аварий;
- методики [8] и [9] *активно используются* в ЭЭС РФ;
- дискретный индекс технического состояния (*ИТС*) служит основой для *ранжирования* объектов ЭЭС (при этом не учитывается случайный характер исходных данных);
- для управления оперативной ремонтной деятельностью, рассчитываемый ИТС *неприемлем*.
- существуют *значительные пробелы* в нормативном регулировании РОП.

Рекомендуемые подходы управления техническим состоянием воздушных ЛЭП: Объекты ЭЭС классифицируются на объекты непрерывного (трансформаторы) и дискретного (выключатели) действия, сосредоточенные (энергоблоки) и распределенные ЛЭП. Это различие обуславливает различие числа показателей их надежности и способов оценки. Учитывая, что более 80% аварий в ЭЭС связаны с РЭС [13], рассмотрено решение этой проблемы для воздушных ЛЭП (*ВЛЭП*).

Вышеизложенное позволяет заключить, что совершенствование управления ТС ВЛЭП ЭЭС включает в себя возможность объективного решения ряда задач, таких как:

1. Ранжирование предприятий распределительной сети (*ПРС*) по степени старения (*СТ*) эксплуатируемых ВЛЭП и выявление ПРС с наибольшей степенью старения ВЛЭП.
   - Оценка объективных показателей надежности ВЛЭП.
   - Преодоление субъективности выборочного освидетельствования
2. Учет случайного характера оценок оперативных показателей надежности и различий в степени технического использования ВЛЭП при:
   - сравнении оценок в расчетном и предшествующих ему месяцах;
   - ранжировании ПРС;
   - выявлении «слабых звеньев».
3. Учет случайного и многомерного характера оперативной надежности ВЛЭП ЭЭС при:
   - ранжировании ПРС;
   - выявлении «слабых звеньев».
4. Оценка объективности рекомендуемых методов и алгоритмов.
5. Минимизация риска ошибочного решения при методической поддержке руководства ЭЭС и ПРС."

Прежде всего, уточним отношение к существующей системе проектирования систем электроснабжения, особенно в контексте обеспечения надежности электроснабжения с учетом категорий потребителей и требований Правил устройства электроустановок.

Многолетний опыт проектирования и эксплуатации показывает, что в большинстве случаев введенные в эксплуатацию системы электроснабжения удовлетворяют предъявляемым требованиям. Следовательно, нет оснований сомневаться в точности методов проектирования. Однако существует риск возникновения недопустимых событий (напомним, что абсолютная безопасность невозможна [3]), хотя он и незначителен.

Таким образом, *смысл контроля ТС системы электроснабжения заключается совсем не в оценке изменений последствия нарушения электроснабжения*, так как возможные последствия известны из проектной документации. Важно понимать, что *изменение надежности объектов систем электроснабжения не обусловлено изменением размеров последствий, а наоборот: изменения показателей надежности влияют на размеры возможных последствий.* Следовательно, при анализе ТС объектов электроснабжения *достаточно оценить значимость изменения оценок показателей надежности объектов*. Однако определить значимость изменения показателей надежности конкретных объектов часто невозможно, так как отказов могло и не быть, или их слишком мало для достоверных количественных оценок. Учитывая, что таких объектов в ЭЭС тысячи и десятки тысяч, громоздкость и трудоемкость расчетов создают высокий риск ошибочных решений. В этом контексте интуитивный подход специалистов оказывается несомненно выгодным.

В [14] анализируются количественные оценки степени старения ВЛЭП (см. пункт 1). Показано, что *используемая на практике* оценка относительного числа ВЛЭП, срок службы которых превышает нормативное значение, *неприемлема* для сопоставления и ранжирования СТ ВЛЭП ПРС ЭЭС. Разработан метод и алгоритм решения этой задачи.

В [15] отмечается, что техническое состояние ВЛЭП целесообразно оценивать по оперативным показателям надежности работы. Среднемесячные значения вероятности автоматических аварийных отключений ВЛЭП вычисляются по данным оперативных журналов. Результаты объективной классификации позволяют выявить «слабые звенья» и, таким образом, распознать ВЛЭП, которые в наибольшей степени снижают эффективность работы ЭЭС. Снижение риска ошибочных решений при освидетельствовании ТС ВЛЭП достигается рекомендуемым методом формирования представительной выборки элементов этих ВЛЭП, подлежащих испытанию.

В [16] (см. пункт 3) рекомендуется новый метод и алгоритм оперативной оценки и сравнения показателей надежности ВЛЭП. *Отличительной особенностью метода расчета* является учет степени технического использования ВЛЭП. Алгоритм оценки показателей оперативной надежности разработан для удельного числа аварийных автоматических отключений ВЛЭП, для устойчивых отказов, вероятности устойчивого отказа и коэффициента технического использования. Сравнение оценок для двух смежных оперативных интервалов предполагается проводить на основе граничных значений фидуциальных интервалов.

В [17] (см. пункт 4) представлен новый алгоритм оценки целесообразности классификации многомерных данных об отказах и времени простоя ВЛЭП. Разработан метод и алгоритм для оценки оперативного интегрального показателя надежности, физическая сущность которого соответствует износу ТС. Разработаны методы и алгоритмы для сравнения интегральных показателей оперативной надежности с учетом ошибок первого и второго рода, а также для ранжирования показателей оперативной надежности, что позволяет выявить ВЛЭП, требующие оперативного освидетельствования.

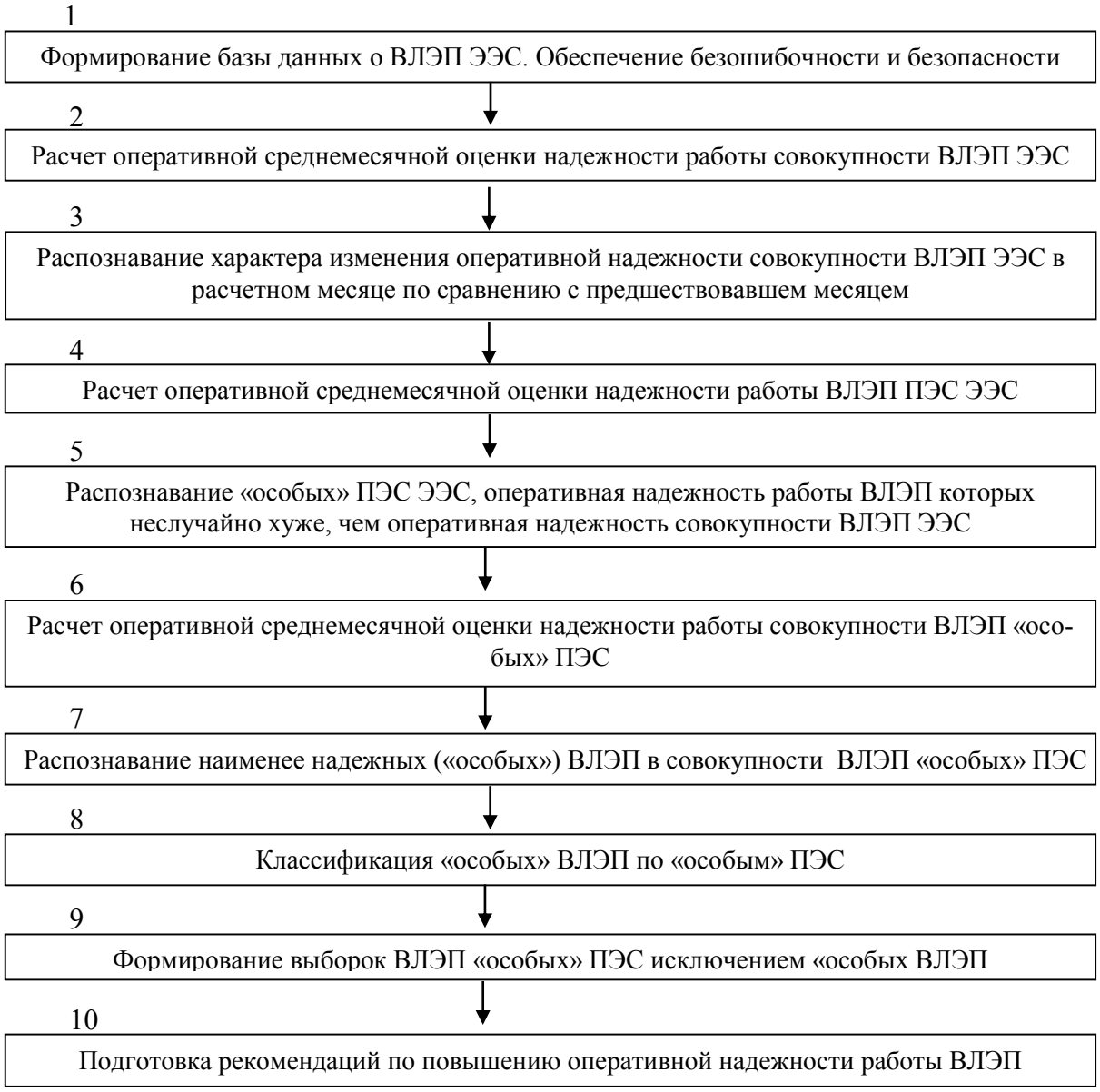


Рисунок 1. *Обобщенная блок-схема алгоритма для повышения оперативной надежности ВЛЭП ЭЭС*

Главному инженеру ЭЭС

_____

Сведения
об оперативной надежности воздушных ЛЭП
в «*месяце*» «___» года

1. По сравнению с предшествующим месяцем оперативная надежность ВЛЭП ЭЭС ***снизилась;***
2. В таблице А приведены размещенные в порядке уменьшения усредненные среднемесячные оценки оперативной надежности работы ВЛЭП ЭСП ЭЭС.

Таблица А. Сведения об оперативной надежности ВЛЭП ЭСП ЭЭС

№ п/п	Наименование ЭСП	Рейтинг ЭСП	№ п/п	Наименование ЭСП	Рейтинг ЭСП
1	***ЭСП 5***	***Хор.***	6	***ЭСП 9***	***Удовл.***
2	***ЭСП 3***	***Хор.***	7	***ЭСП 6***	***Неудовл.***
3	***ЭСП 7***	***Хор.***	8	***ЭСП 2***	***Неудовл.***
4	***ЭСП 8***	***Хор.***	9	***ЭСП 4***	***Неудовл.***
5	***ЭСП 1***	***Удовл.***	10	***ЭЭС***	***Удовл.***

3. В таблице Б1 приведены паспортные данные ВЛЭП ЭЭС, оценки оперативной надежности которых, как и рейтинг их ЭСП неудовлетворительный.

Таблица Б1.

№ п/п	Наименование		Класс напряжения, кВ.	Срок службы, лет	Протяженность, км	Исполнение
	ЭСП	ВЛЭП				

4. В таблице Б2 приведены паспортные данные ВЛЭП ЭЭС, рейтинг оперативной надежности которых неудовлетворительный, а срок службы не превышает нормативное значение.

Таблица Б2.

№ п/п	Наименование		Класс напряжения, кВ.	Срок службы, лет	Протяженность, км	Исполнение
	ЭСП	ВЛЭП				

5. Рекомендации по повышению оперативной надежности:
5.1. Провести выборочное освидетельствование ВЛЭП, указанных в табл. Б1
5.2. Установить и устранить причины автоматических отключений ВЛЭП, приведенных в табл. Б2.
5.3. Организовать для персонала ЭСП, указанных в табл. Б1, курсы повышения квалификации по проблеме обслуживания стареющих ВЛЭП

Рисунок 2. *Результаты анализа среднемесячной оперативной надежности ВЛЭП ЭЭС*

В [18] (см. пункт 5) приведены результаты оценки и сравнения оперативной надежности работы на основе статистических данных об отказах магистральных ВЛЭП 110 и 220 кВ. Цель анализа вручную заключается в распознавании разновидностей признаков, для которых удельное число устойчивых отказов будет значительно превышать этот показатель для всей совокупности ВЛЭП. Выявленные значимые разновидности признаков полностью совпадали с результатами выбора наименее надежных ВЛЭП на основе интуитивного подхода, что подтверждает безошибочность рекомендуемого метода количественного анализа.

В [19] представлен метод и алгоритм автоматизированного сравнительного анализа (бенчмаркинга) оперативной надежности объектов *РЭС*. Переход от интуитивного подхода к количественному методу для оперативного распознавания «слабых звеньев» среди тысяч однотипных объектов позволил снизить *риск ошибочных решений при организации их технического обслуживания и ремонта*.

На рисунке 1, показана обобщенная блок-схема алгоритма, основанная на методах, изложенных в [14-19], которая позволяет автоматизировать процесс формирования рекомендаций для повышения оперативной надежности работы ВЛЭП ЭЭС.

Информационная и методическая подготовка технического руководства ЭЭС и каждого предприятия электроснабжения.

Результаты ежемесячного автоматизированного контроля оперативной надежности работы ВЛЭП и рекомендации по повышению эффективности работы формализуются в виде специальных форм и обеспечивают информационную и методическую поддержку технического руководства ЭЭС и каждого ПЭС. В иллюстративных целях на рис.2 приведен один из вариантов исполнения этих форм.

Выводы. Актуальность совершенствования методов управления эксплуатационной надежностью подтверждается не только для электроэнергетических систем (ЭЭС), но и для множества других производственных систем. Предлагается решить эту проблему путем перехода к анализу интегральных показателей оперативной надежности. Методы расчета интегральных показателей оперативной надежности, учета случайного характера количественных оценок, оценки целесообразности классификации данных по разновидностям признаков сравнения и ранжирование оценок формируют методологию системы управления оперативной надежностью в ЭЭС. Эти методы основаны на фидуциальном подходе, имитационном моделировании представительных выборок и учете ошибок первого и второго рода. Наукоемкость, громоздкость и трудоемкость ручного счета, высокий риск субъективных ошибок и предпосылок обуславливают необходимость перехода к интеллектуальным системам управления объектов, срок службы которых превышает нормативное значение.

Автоматизированное управление оперативной надежностью повышает значимость интуитивного подхода при реализации методических рекомендаций, ограничивающего риск ошибочного решения.

Литература

1. Основные положения концепции интеллектуальной энергосистемы с активно-адаптивной сетью. М, «ФСКЕЭС», 2012 г.
2. Безопасное управление сроками эксплуатации атомных электростанций INSAG-14 (доклад международной группы по ядерной безопасности) / IAEA, Вена, 2014, 47 с.
3. Кузьмин А.А. Организация обеспечения безопасности опасного производственного объекта на основе количественной оценки состояния его системы безопасности. «Технология гражданской безопасности», 2011, том 8 №4(30), с.72-79
4. Абдурахманов Н.Х., Шайбаков Р.А., Марков А.Б. Информационные модели управления минимизацией рисков потенциально опасных производственных объектов //ГИАБ 2015, №57, URL, с.729-736.
5. Колесников Ф.Ю. Основные проблемы методологии анализа риска аварий. Пожаробезопасность, 2016, т.25 №2, с.4-8.
6. Лисанов М.В., Печеркин А.С., Швыряев А.А. Методическое обеспечение и проблемы анализа риска аварий на опасных производственных объектах нефтегазового комплекса - М. «Повышение надежности и безопасности объектов газовой промышленности» №1(29), 2017, с.179-184.

7. Лисанов М.В., Сумской С.И., Швыряев А.А. Неопределенность количественной оценки риска аварий на нефтегазовых объектах. М: «Повышение надежности и безопасности объектов газовой промышленности», № 2(34), 2018, с.125-135.
8. Методика оценки технического состояния основного технологического оборудования и линий электропередачи электрических станций и электрических сетей. https//meganorm.ru>Index2. Утверждена Минэнерго РФ 2017 г. Приложение к приказу №676. Год актуализации 2021г. 30 с.
9. Методические указания по расчету вероятности отказа функционального узла и единицы основного технологического оборудования и оценки последствий такого отказа https//meganorm.ru.>Index2. Минэнерго РФ, 2019 приложение к приказу №123, 35 с.
10. V Научно-практическая конференция «Контроль технического состояния объектов электроэнергетики». / Электроэнергия. Передача и распределение. – 2018 г.
11. VI Научно-практическая конференция «Контроль технического состояния объектов электроэнергетики». / Электроэнергия. Передача и распределение. – 2019 г.
12. Федорец А.Г. Применение современной методологии риск-менеджмента в системах менеджмента безопасности и охраны труда. /Безопасность и охрана труда. - 2018, №1 с.1-18.
13. Антоненко И.Н. Анализ риск-ориентированного подхода к управлению физическими активами. М. «Промышленная энергетика» № 10, 2020, с.57-60.
14. Фархадзаде Э.М., Мурадалиев А.З., Абдуллаева С.А., Назаров А.А. Автоматизированный анализ срока службы воздушных ЛЭП электроэнергетических систем. Минск, Энергетика. Изв. высш. учеб. заведений и энерг. объединений СНГ. Проблемы Энергетики Том 64, №5, 2021, с.435-445. DOI: 10.21122/1029-7448-2021-64-5-435-445
15. Фархадзаде Э.М., Мурадалиев А.З., Абдуллаева С.А., Назаров А.А. Оценка технического состояния воздушных высоковольтных ЛЭП на этапе их старения. М:, Надежность и безопасность энергетики. Том 14, №2, 2021, с.100-107. DOI: 10.24223/1999-5555-2021-14-2-100-107
16. Фархадзаде Э.М., Мурадалиев А.З., Абдуллаева С.А., Назаров А.А. Количественная оценка оперативной надежности воздушных линий электропередач» М: Электрические станции, №2, 2021, с.28-34. DOI: 10.34831/EP.2021.1081.8.004
17. Farhadzadeh E.M., Muradaliyev A.Z., Abdullayeva S.A. Estimation, comparison and ranking of operational reliability indicators of overhead transmission lines of electric power systems. Journal: «Reliability: Theory&applications». RT&A (Vol.4 No (65)) 2021, December, USA, p.186-197. DOI: 10.24412/1932-2321-2021-465-186-196
18. Фархадзаде Э.М., Мурадалиев А.З., Абдуллаева С.А. Количественный анализ оперативной надежности воздушных линий электропередачи. М: Оперативное управление в электроэнергетике, №5, 2021, с.16-24
19. Фархадзаде Э.М., Мурадалиев А.З., Абдуллаева С.А. Совершенствование оперативного управления эффективностью работы распределительных сетей. М: Промышленная энергетика №12, 2021, с.16-23. DOI: 10.34831/EP.2021.77.85.002

Məqalə qəbul olunub: 22.10.24
Tövsiyə edib: prof. Həsənov V.H.

UOT621.762

AZƏRBAYCANIN QARA METALLURGİYA SƏNAYESİNDƏ EKOLOJİ VƏZİYYƏT VƏ PERSPEKTİVLƏRİ

Cabbarov T.Q., Cəfərli İ.Ə.

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti
AZ1010, Bakı şəh., Azadlıq pros., 20
E-mail: tahir196041@gmail.com; tahir-cabbarov@mail.ru

Xülasə. *Məqalədə Azərbaycanın qara metallurgiya sənayesində ekoloji vəziyyətin əsas problemləri, çirklənmənin əsas mənbələri və konkret tullantı növləri nəzərdən keçirilmişdir. Ətraf mühitin ekoloji vəziyyətini yaxşılaşdırmaq, təbii ehtiyatlardan, ilk növbədə yanacaq, xammal və enerji resurslarından səmərəli istifadə etmək, qabaqcıl tullantısız texnoloji proseslərin tətbiqi ilə bağlı səmərəli metodlar və texnologiyalar təsvir edilmişdir.*

Abstract. *The article examines the main problems of the ecological situation in Azerbaijan's ferrous metallurgy industry, the main sources of pollution, and specific types of waste. Effective methods and technologies related to improving the ecological situation of the environment, efficient use of natural resources, primarily fuel, raw materials, and energy resources, and the application of advanced waste-free technological processes are described.*

Аннотация. *В статье рассматриваются основные проблемы экологической ситуации в черной металлургии Азербайджана, основные источники загрязнения и конкретные виды отходов. Описаны эффективные методы и технологии, связанные с улучшением экологической ситуации окружающей среды, эффективным использованием природных ресурсов, в первую очередь топлива, сырья и энергетических ресурсов, а также применением передовых безотходных технологических процессов.*

Açar sözlər: *qara metallurgiya, sənaye, ekologiya, enerji, resurslar,xammal,texnologiya*

Key words: *ferrous metallurgy, industry, ecology, energy, resources, raw materials, technology*

Ключевые слова: *черная металлургия, промышленность, экология, энергия, ресурсы, сырье, технология*

Məsələnin müasir vəziyyəti. *Sənaye istehsalının sürətli inkişafı və onunla əlaq*ədar təbii ehtiyatların artan istifadəsi təbiətdə biogeokimyəvi dövran və onun antropogen çirklənmə səviyyəsinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərir. Müasir şəraitdə dünyada enerji gücləri hər 12 ildən bir iki dəfə artır, sənaye məhsulunun həcmi isə hər 15 ildən bir iki dəfə artır. Dağ-mədən işləri aparılarkən hər il 4 km³-dən çox torpaq daşınır, yerin təkindən hər il 1000 milyard ton filiz çıxarılır, 7 milyard ton şərti yanacaq yandırılır, 800 milyondan çox müxtəlif metallər əridilir. Sənaye istehsalının artması nəticəsində çox miqdarda tullantılar yaranır, çünki sənaye məhsulunun istehsalı üçün istifadə olunan xammal resurslarının yalnız 1/3 hissəsi istifadə olunur, 2/3 hissəsi isə tullantı, bəzən çox zəhərli maddələr kimi ətraf mühitə daxil olur.

Zərərli maddə və qaz tullantılarının atmosferdə davamlı artması, istehsal tullantılarından yaranan yığımların əmələ gəlməsi ekoloji vəziyyətin pozulmasına, iqlim dəyişikliyinə, ağır xəstəliklərin artmasına və insanların ömür müddətinin qısalmasına gətirib çıxarır. Bu vəziyyət insanların yaşayış mühitinin təmizliyi ilə bağlı narahatlıqlarını daha da artırmağa məcbur edir və bu məsələni ən önəmli problem kimi dəyərləndirir. Atmosferin çirklənməsinin əsas mənbələri energetika, nəqliyyat və sənayedir. Ən böyük tullantı həcmləri isə aşağıdakı kimi paylanır[1,6]:

- Karbon oksidi: nəqliyyat – 90%, sənaye – 10%;
- Azot oksidləri: energetika – 60%, nəqliyyat – 35%, sənaye – 5%;

- Karbohidrogenlər: nəqliyyat – 27%, sənaye – 73%.

Baxmayaraq ki, dünya miqyasında qara metallurgiya ətraf mühitə tullantıların əsas mənbəyi sayılmır, Azərbaycan şəraitində onun ətraf mühitin çirklənməsinə əhəmiyyətli təsiri var. Bu isə bir sıra amillərlə əlaqələndirilir, belə ki: - metallurgiya müəssisələrinin böyük miqdarda (təxminən 20%) karbohidrogen resurslarını istehlak etməsi və onların karbon dioksidə çevrilməsi; – köhnəlmiş avadanlıq və texnologiyaların istifadəsi (sənayenin ayrı-ayrı sahələri üzrə əsas istehsal fondlarının sıradan çıxması orta hesabla 65% təşkil edir; – metallurgiya müəssisələrinin təmizləyici qurğularla zəif təchiz edilməsi; – təbiəti mühafizə tədbirlərinin kifayət qədər nəzarət olunmaması və müəssisələrin bu fəaliyyətlərə maliyyələşdirilməsinin çatışmazlığı.

Azərbaycan Ekologiya və Təbii Sərvətlər Nazirliyinin müəssisələrin statistik hesabatlarına əsaslanan məlumatlarına görə Sumqayıt, Bakı ətrafı regionunun müəssisələrinin tullantıları Azərbaycan müəssisələrinin atmosferə atdığı tullantıların 67,3%-ni təşkil edir. Lakin Azərbaycan iqtisadiyyatının davamlı inkişaf perspektivləri metallurgiya məhsullarının istehsal həcmini qoruyaraq və ya artıraraq ətraf mühit üçün təhlükəsiz olan istehsalın artımını nəzərdə tutmalıdır. Mövcud ekoloji yüklənməni yalnız müasir metallurgiya istehsal sxemlərinin tətbiqi, enerji resurslarının istehlakının azaldılması və texnogen xammaldan istifadənin genişləndirilməsi ilə azaltmaq mümkündür. Bu göstərir ki, XXI əsrdə metallurgiyanın inkişafı yeni şəraitdə baş verməlidir, ekoloji təhlükəsizlik məsələləri birinci sıraya çıxmalı, metallurgiya proseslərinin ekoloji təmizliyinə olan tələblər kəskin şəkildə artmalıdır.

Hesablanıb ki, ekoloji fəlakətlərin nəticələrinin aradan qaldırılması xərcləri ətraf mühitin qorunmasına yönəlmiş tədbirlərin xərclərini 30–35 dəfə üstələyir [2]. Mövcud vəziyyətdə, istilik effekti yaradan qazların, ilk növbədə CO_2-nin, emissiyalarının azaldılması tədbirləri qara metallurgiyanın inkişafında prioritet istiqamətə çevrilir. Bazar iqtisadiyyatı şəraitində qeyri-qənaətbəxş ekoloji göstəricilər istehsal olunan metal məhsullarının rəqabət qabiliyyətinin azalmasına və müəssisələrə cərimə sanksiyalarının tətbiqinə səbəb olur. Eyni zamanda, metal məhsullarının keyfiyyəti və ekoloji tələblər beynəlxalq standartların (ISO−9000 – məhsul keyfiyyətinin idarə olunması sistemləri; ISO−14000 – ətraf mühitin qorunması) sərt tələbləridir və bu tələblər nəzərə alınaraq yerinə yetirilməlidir. Bütün bunlar sahibkarları texnogen tullantılardan ətraf mühiti qorumaq üçün qyrğular almağa böyük xərclər çəkməyə məcbur edir (məsələn, qaz təmizləyici qurğuların qiyməti elektrik qövs sobasının qiyməti ilə müqayisə olunur). Bununla belə, bu tədbirlər də problemi tam həll etməyə imkan vermir. Ətraf mühitin yeganə etibarlı qorunma yolu tullantısız, ekoloji cəhətdən təhlükəsiz, resurslara qənaət edən texnologiyaların tətbiqi və istehsal tullantılarının və metal tullantılarının təkrar istehsal dövriyyəsinə daxil edilməsidir.

Müasir şəraitdə dünya metallurgiya istehsalının səmərəliliyi yalnız istehsal olunan məhsulun ümumi həcmi ilə deyil, həm də, ilk növbədə, istehsal olunan metal məhsulunun hər vahidinə düşən enerji və resurs xərcləri, yeni texnologiyalardan istifadə səviyyəsi və ekoloji sahəyə təsiri ilə müəyyən edilir.[3] Müasir texnologiyaların yaradılması probleminin digər mühüm aspekti artıq kifayət qədər tükənmiş xammal ehtiyatlarının qorunub saxlanılmasıdır ki, bu ehtiyatlar mövcud istifadə səviyyəsində bəşəriyyətə çox da uzun müddət yetməyəcək. Buna görə də metallurgiya istehsalının ən mühüm vəzifəsi mövcud dəmir filizi və enerji resurslarından, legirləyici elementlərdən səmərəli istifadə, effektiv istehsal texnologiyaları və metalın termiki emalı seçimləri, istehsal tullantılarının və metal tullantılarının bütün texnoloji zəncir mərhələlərində təkrar istehsal dövriyyəsinə daxil edilməsi ilə bağlıdır. Bu vəzifə metallurgiya müəssisələrində ekoloji vəziyyətin yaxşılaşdırılması ilə də birbaşa əlaqəlidir. 2016–2022-ci illər ərzində Azərbaycanın qara metallurgiya sahəsində bir sıra yenidənqurma tədbirləri, o cümlədən ekoloji vəziyyətin yaxşılaşdırılmasına yönəlmiş tədbirlər həyata keçirilmişdir. Bu, atmosferə atılan zərərli maddələrin ümumi miqdarını azaltmağa imkan vermişdir (şəkil 1) [4].

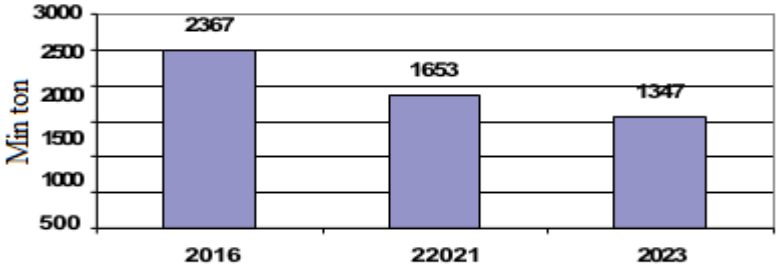
Tədqiqat materiallarının əsas məzmunu. Müasir metallurgiya istehsalı karbonun əsas məhsul kimi istilik əldə etmək üçün istifadəsinə əsaslanır. Karbonla qarşılıqlı təsir məhsulları ətraf mühitin

çirklənməsinin əsas səbəbi hesab olunur. Metallurgiya istehsalında əsas çirkləndiricilər karbon monoksid (CO) və karbon dioksiddir (CO_2), bunlar karbonun oksigen çatışmazlığı və ya artıq oksigen şəraitində yanması nəticəsində aşağıdakı reaksiyalarla əmələ gəlir:

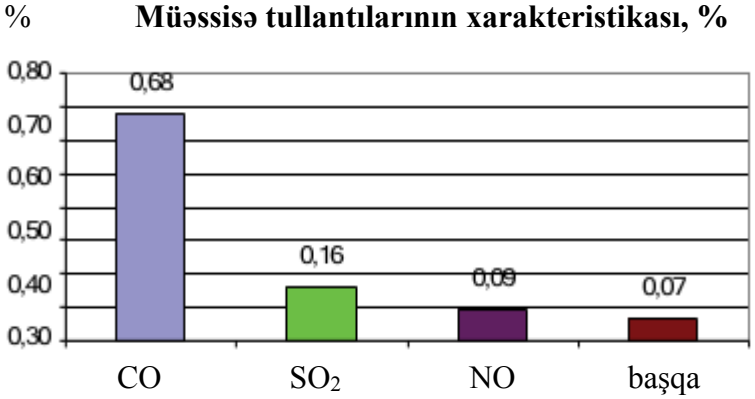
$$2C+O_2=2CO \quad (1)$$
$$C + O_2 = CO_2 \quad (2)$$

Bundan əlavə, müxtəlif texnoloji emal mərhələlərində, xüsusən də aglomerasiya prosesində atmosferə aşağıdakı qazlar buraxılır: oksigen (12–16%); azot (78%); kükürd dioksid (0,2–3 mq/m³); karbohidrogenlər (0,02–0,22 kq/t). Buraxılan məhsullarda həmçinin toz çirkləndiriciləri və dispers hissəciklər də mövcuddur (şəkil 2).

Müəssisələrin zərərli tullantıları



Şəkil 1. *2016-2023-cü illər ərzində metallurgiya və mədən sənayesində atmosferə atılan zərərli tullantıların azaldılması*



Şəkil 2. *2023-cü ildə metallurgiya və mədən sənayesi müəssisələrinin atmosferə buraxdığı zərərli tullantıların xarakteristikası*

Metallurgiya sənayesində posanın soyutma sürətinin artırılması üçün suyun tətbiqi zamanı hidrogen sulfid (H_2S) tullantılarının yaranması müşahidə olunur. Posada olan kükürd əsasən kalsium sulfid (CaS) formasında olur, lakin nəm mühitlə qarşılıqlı təsirdən sonra hidrogen sulfid də əmələ gəlir.

Polad istehsalı prosesində çoxlu miqdarda karbon monoksid (CO) və karbon dioksid (CO_2) yaranır. Metal məhsullarının istehsalının hər bir mərhələsində yaranan müxtəlif çirkləndiricilər arasında ən çox yayılanı karbon dioksid (CO_2)-dir. Qara metallurgiyada CO_2 bütün tullantıların 90%-dən çoxunu təşkil edir.

Müxtəlif tullantı qazlarının təmizlənməsi üsulları mövcuddur, məsələn, siklonlar, elektrofiltrlər, toxunmuş və toxunmamış materiallardan hazırlanmış filtrlər, şüşə və metal liflərdən, qranul şəklində olan bərk mühitlərdən, örtüklər, skrubber-absorberlər, ən məşhur olan Venturi skrubberidir. Kimyəvi üsullar da istifadə olunur, əsasən aqlomerasiya zamanı, müxtəlif mühəndis-texniki vasitələr.

Filtrasiya, metallurgiya istehsalatlarının tullantı qazlarını bərk komponentlərdən təmizləmək prosesi kimi, ən geniş tətbiq sahəsinə malikdir. Bununla belə, bütün bu tədbirlər texnoloji prosesin nəticələri ilə mübarizə vasitələridir. Onlar, şübhəsiz ki, metallurgiya müəssisələrinin iş təcrübəsində istifadə olunmalıdır, lakin istehsalatın ekoloji təhlükəsizliyinin əsas vasitəsi zərərli qarışıqların yaranmasına birbaşa təsir edən texnoloji tədbirlər olmalıdır.

Zərərli tullantıların əhəmiyyətli dərəcədə azaldılmasının birbaşa mənbələrindən biri enerjiyə qənaətdir, çünki tullantılar istifadə olunan karbonun miqdarı ilə birbaşa bağlıdır. Poladın tökülməsi və yayılması da daxil olmaqla, son məhsula qədər olan proseslər zamanı, utilizasiya olunan istilik miqdarı bir ton hazır məhsul üçün ümumi enerji sərfiyyatının 20%-nə qədərini təşkil edə bilər. 50%-lik utilizasiya dərəcəsinə çatdıqda, bu texnoloji əməliyyatlarda ümumi enerji miqdarının təxminən 10%-nə qədər qənaət etmək mümkündür. Enerji xərclərinin nəzərəçarpacaq dərəcədə azalması poladın fasiləsiz tökülməsi texnologiyasının ixtirası ilə bağlıdır, çünki yayma zamanı əlavə isitməyə ehtiyac qalmır. Oxşar həllər koks, aqlomerat və çuqun istehsalı zamanı da tətbiq oluna bilər.

Əsas enerji itkiləri maye çuqunun daşınması zamanı baş verir və bu itkilər ümumi istilik miqdarının 10%-nə qədərini təşkil edir. Qalan istilik poladəritmə mərhələsində istifadə olunur. İstilik itkilərini xüsusi texnologiyalar tətbiq etməklə azaltmaq mümkündür. Çuqunu tökücü maşınlarda "çuqun çubuqları" soyudularkən bütün istilik itir, buna görə də onun utilizasiyası üçün tədbirlər görülməlidir. Havayandırıcıların tüstü borularında dolaq boruları quraşdırıla bilər, bu borulardan su keçir, su buxara çevrilir və bu buxar əhalinin istilik tələbatı üçün istifadə oluna bilər.

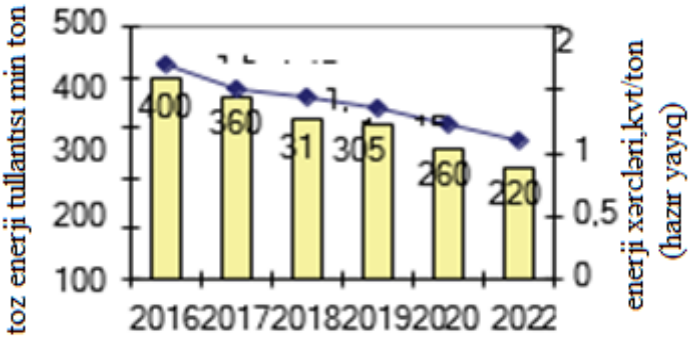
Zərərli tullantıların əhəmiyyətli dərəcədə azaldılmasının vacib mənbələrindən biri enerjiyə qənaətdir, çünki tullantılar istifadə olunan karbonun miqdarı ilə demək olar ki, birbaşa bağlıdır. 2022-ci ilə qədər Qara Metallurgiya Kompleksinin (QMK) inkişaf proqramının təhlili göstərir ki, məhz qabaqcıl enerjiyə qənaət edən texnologiyaların tətbiqi əhəmiyyətli ekoloji effekt əldə etməyə imkan verəcəkdir. Şəkil 3 və 4-də təqdim olunan məlumatlar təsdiq edir ki, enerji resurslarının sərfiyyatı və ekoloji göstəricilər bir-biri ilə sıx bağlıdır.

Bu tip qrafiklər adətən müəssisələrin tullantı həcmi və enerji sərfiyyatı arasında əlaqəni göstərir, burada zamanla daha səmərəli texnologiyaların tətbiqi sayəsində enerji istehlakının azalması ilə tullantıların miqdarının da azaldığı müşahidə edilir. Tullantıların həcmi, adətən, texnologiyaların təkmilləşdirilməsi ilə enerji effektivliyinin artması nəticəsində aşağı düşür.

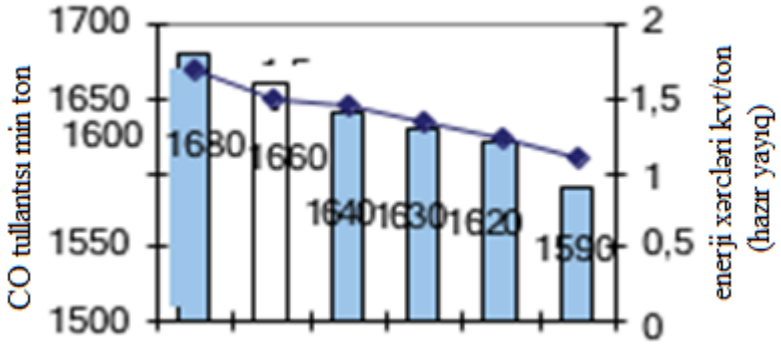
Bu qrafik müəssisələrdə karbonmonoksid tullantıları ilə enerji sərfiyyatı arasındakı əlaqəni əks etdirir. Adətən, zamanla enerjiyə qənaət edən texnologiyaların tətbiqi tullantıların miqdarının azalmasına səbəb olur. CO tullantılarının azalması enerji istehlakının səmərəliliyinin artması ilə birbaşa bağlıdır, çünki bu, karbon əsaslı yanacaq sərfiyyatının azalmasına gətirib çıxarır.

Ekoloji təhlükəsizlik standartlarının gücləndirilməsi tendensiyası bütün dünyada müşahidə olunur. Azərbaycanın sənaye çirklənmə mənbələrindən ətraf mühitin effektiv müdafiəsini təmin edən texnologiyaların tətbiqi sahəsində aparıcı ölkələrdən geri qalmasını azaltmalıdır. Dünyanın qabaqcıl Qara Metallurgiya Kompleksi (QMK) şirkətlərində ətraf mühitin qorunması idarəetmə sisteminin ayrıca bir elementi kimi qəbul edilib. Ümumilikdə, ekoloji cəhətdən "təmiz" istehsalın təmin edilməsi, nəticədə, çirklənmənin nəticələri ilə mübarizə aparmaq iqtisadi cəhətdən cərimələr ödəməkdən daha sərfəlidir.

Ətraf mühitin mühafizəsinin əhəmiyyəti dünyanın aparıcı QMK müəssisələrinin əksəriyyətinin ISO 14000 sertifikatı alması ilə əks olunur, bu sertifikat ətraf mühitin təhlükəsiz idarə olunmasının müvafiq keyfiyyətini təsdiq edir. ISO 14000 standartlarının tətbiqi üzrə dünya liderləri Yaponiya, Almaniya, Böyük Britaniya və İsveç kimi sənayecə inkişaf etmiş ölkələrdir. Cari ekoloji vəziyyətdə Azərbaycanın qara metallurgiya müəssisələri yaxşı ekoloji nəticələrə nail olmaq üçün beynəlxalq əməkdaşlığı fəal şəkildə genişləndirməlidir. Azərbaycanın ekologiyasına böyük töhfə verə biləcək bir üsul metallurgiya istehsalatlarında qapalı istehsal dövrü (resirkulyasiya metodu) olacaqdır, çünki bu üsul CO və CO_2 qazlarının və onların komponentlərinin səmərəli təmizlənməsini təmin edir və xammala qənaət etməyə imkan verir.



Şəkil 3. *Qara Metallurgiya Kompleksinin müəssisələrində toz tullantılarının və hazır məhsulun enerji tutumunun dəyişmə dinamikası*



Şəkil 4. *Qara Metallurgiya Kompleksinin müəssisələrində CO (karbonmonoksid) tullantılarının və hazır məhsulun enerji tutumunun dəyişmə dinamikası*

Ətraf mühitin qorunmasının real yolu resurslara qənaət edən, ekoloji cəhətdən təhlükəsiz texnologiyaların yaradılması və metal məhsullarının istehsalı, tullantıların və metal qırıntılarının təkrar emalıdır.

Nəticə. Qara metallurgiyanın ekoloji vəziyyətinin təhlili göstərir ki, enerjiyə qənaət edən texnologiyaların tətbiqi əhəmiyyətli ekoloji nəticələr əldə etməyə imkan verəcəkdir. Bu baxımdan, metallurgiya texnologiyalarının bütün istehsal zənciri üzrə texnoloji və ekoloji göstəricilər arasında qarşılıqlı əlaqələrin müəyyən edilməsi üzrə əlavə araşdırmaların aparılması məqsədəuyğundur.

Ədəbiyyat

1. Карабасов Ю.С., Юсфин Ю.С., Курунов И.Ф. Проблемы экологии и утилизации техноген-ного сырья в металлургическом производстве // Металлург. – 2004 №8. – с.27–33.
2. Veb-sayt: www.economy.gov.az
3. Veb-sayt: www.eco.gov.az
4. Veb-sayt: www.science.az
5. Veb-sayt: www.azercosmos.com
6. Veb-sayt: www.stat.gov.az

Məqalə qəbul olunub: 22.10.24
Tövsiyə edib: prof. Həsənov V.H.

UOT 662.997:662.93

YAŞIL ENERJİ TEXNOLOGİYALARININ ANALİZİ

[1]Həsənov V.H., [2]İmanov E.İ., [2]Süleymanov T.A., [1]Həsənova L.A.

[1]"Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası" PHŞ
AZ.1000, Bakı şəh.,, Z.Əliyeva küçəsi, 18
[2]Heydər Əliyev adına Hərbi İnstitut
AZ1018, Bakı şəh., Polad Həşimov, 18
E-mail: vgasanov2002@yahoo.com, togrul.imanov55@gmail.com

Xülasə. *Məqalədə bərpaolunan və ya yaşıl enerji texnologiyası, bir neçə bərpaedilən enerji növləri, onların tətbiq sahələri və üstünlükləri öz əksini tapmışdır. Bərpaolunan və ya yaşıl enerji tükənməz enerjidir. Təbiətin çirklənməsinin qarşısını almaq məqsədilə işlənən enerjidir. Yəni torpağı, suyu və havanı qorumaq üçün alternativ enerji mənbələrindən istifadə olunması məqsədəuyğundur. Günəş panelləri günəş enerjisini elektrik enerjisinə çevirən qurğulardır. Külək enerjisi isə küləyin gücündən istifadə edərək hərəkət edən havanın istehsal etdiyi kinetik enerjini toplayır və elektrik enerjisinə çevirir.*

Abstract. *The article describes renewable or green energy technology and reflects several types of renewable energy, their areas of application and advantages. Renewable or green energy is inexhaustible energy. This energy is used to prevent environmental pollution. That is, it is advisable to use alternative energy sources to protect soil, water and air. Solar panels are devices that convert solar energy into electricity. Wind energy collects the kinetic energy created by moving air using wind power and converts it into electrical energy.*

Аннотация. *В статье отражены технология возобновляемой или зеленой энергетики несколько видов возобновляемой энергетики, области их применения и преимущества. Возобновляемая или зеленая энергия – это неисчерпаемая энергия. Это энергия, используемая для предотвращения загрязнения природы. То есть целесообразно использовать альтернативные источники энергии для защиты почвы, воды и воздуха. Солнечные панели — это устройства, преобразующие солнечную энергию в электричество. Энергия ветра собирает кинетическую энергию, создаваемую движущимся воздухом с использованием силы ветра, и преобразует ее в электрическую энергию.*

Açar sözlər: *alternativ enerji , günəş enerjisi, yarımkeçirici, invertor, konsentrasiya, külək turbini*

Key words: *alternative energy, solar energy, semiconductor, inverter, concentrator, wind turbine*

Ключевые слова: *альтернативная энергетика, солнечная энергия, полупроводник, инвертор, концентратор, ветряная турбина*

Giriş. Azərbaycan Respublikası dünyada baş verən iqlim dəyişmələrinin fəsadlarını aradan qaldırılmasında öz töhfəsini verir. Azərbaycanın 2030-cu ilə qədər sosial-iqtisadi inkişafa dair milli prioritetindən biri "Təmiz ətraf mühit və yaşıl artım ölkəsi" kimi müəyyən edilmişdir. Həmin prioritetə uyğun olaraq, ətraf mühitin sağlamlaşdırılması, yaşıllıqların bərpası və artırılması, su ehtiyatlarından və dayanıqlı enerji mənbələrindən səmərəli istifadənin təmin edilməsi istiqamətində işlər aparılır. Yaşıl enerji növlərinin yaradılması və yaşıl enerjinin dünya bazarlarına nəqli Azərbaycanın enerji siyasətinin prioritetidir [1-5].

BMT-nin İqlim Dəyişmələri üzrə Çərçivə Konvensiyasının Tərəflər Konfransının 29-cu sessiyası – COP29 kimi mötəbər bir tədbirin Azərbaycanda keçirilməsi ilə əlaqədar yekdil qərarın

verilməsi beynəlxalq ictimaiyyət tərəfindən Azərbaycana böyük hörmət və etimadın, eləcə də ölkəmizin milli, regional və qlobal səviyyədə ətraf mühitin qorunması, iqlim dəyişmələrinin qarşısının alınması işinə töhfəsinin təqdir olunmasının bariz nümunəsidir.

Dünyada "yaşıl enerji"nin tətbiqinə artan marağı nəzərə alaraq görülən işləri, qazanılan təcrübəni və nailiyyətləri məqalədə təqdim edilir. "Yaşıl enerji" istehsalı üçün ölkədə əsas mənbə kimi su, külək və günəş enerjisindən istifadə edilir.

Nəzəri hissə.

1. Günəş enerjisi. Müasir dünyada bərpa olunan enerji mənbələri arasında günəş enerjisi ən perspektivli və ən böyük potensiala malik xüsusi yer tutur. Günəş enerjisi nəhəng, tükənməz və təmiz resursdur. Günəş enerjisi istehsalı qalıq yanacaqlardan elektrik enerjisinə təmiz alternativ təmin edir, heç bir hava və ya su çirklənməsi, qlobal çirklənmə və ictimai sağlamlığımız üçün heç bir təhlükə yoxdur. Atmosferdən kənarda hər kvadrat metrə təxminən 1300 vatt günəş enerjisi düşür. Atmosferə çatdıqdan sonra bu işığın təxminən üçdə biri kosmosa geri əks olunur, qalan hissəsi isə Yer səthinə doğru düşməyə davam edir [6-10].

Günəş texnologiyaları günəş şüasını fotovoltaik (PV) panellər və ya günəş radiasiyasını cəmləşdirən güzgülər vasitəsilə elektrik enerjisinə çevirir. Günəş enerjisindən elektrik enerjisi əldə etmək məqsədilə günəş panellərindən istifadə edilir.

Günəş panelləri işığa həssas yarımkeçirici materiallardan hazırlanmış və ümumi çərçivəyə salınmış bir neçə qatdan ibarət olan fotoelementlər vasitəsilə günəş enerjisini elektrik enerjisinə çevirən qurğulardır (şəkil 1). Bu zaman işığın intensivliyi nə qədər böyük olarsa, elektrik enerjisinin hərəkəti də bir o qədər yüksək olar.



Şəkil 1. *Günəş panelləri*

Günəş panelləri vasitəsilə günəş enerjisi sabit cərəyan şəklində istehsal olunur, daha sonra isə bu enerjinin şəbəkəyə inteqrasiyası üçün dəyişən cərəyana çevirən güc çeviricilərdən - invertorlardan istifadə edilir.

Konsentrasiya edilmiş günəş enerjisi (Concentrated Solar Power - CSP), böyük miqyaslı elektrik stansiyalarında elektrik enerjisi istehsal etmək üçün günəş şüalarını toplayan güzgülərdən istifadə edilir (şəkil 2). Bir konsentrasiya edilmiş günəş enerjisi elektrik stansiyası adətən günəş şüalarını hündür nazik qülləyə yönləndirən güzgülər ilə əhatə olunan sahəyə malikdir [6].



Şəkil 2. *Günəş şüalarını toplayan güzgülər*

Günəş kollektorları içərisində kanallar olan metal istilikdəyişdiricidən ibarətdir ki, hava, su və ya digər istilikdaşıyıcı maddələr həmin kanalların içərisində hərəkət edir (şəkil 3). Kollektorların konsentratorsuz, konsentratorlu, açıq və bağlı tipli növləri mövcuddur. Hamar konsentratorsuz günəş kollektorları hazırda ən çox istifadə edilən növ hesab edilir. Səmərəliliyinə görə günəş kollektorlarından istifadə mərkəzləşdirilməmiş enerji sistemlərində özünü daha yaxşı doğruldur.



Şəkil 3. *Günəş kollektorları*

Günəş panellərinin istismar müddəti təxminən 30 ildir və istehsalda istifadə olunan materialın növündən asılı olaraq müxtəlif çalarlarda olur. Son illərdə texnologiyaların, iri həcmli dünya iqtisadiyyatının, rəqabətqabiliyyətli təchizat zəncirlərinin inkişafı və təcrübələrin təkmilləşməsi bərpa olunan enerji mənbələrindən istehsal xərclərində azalma tendensiyasına gətirib çıxarmışdır. Belə ki, mürəkkəb yarımkeçirici fotoelementlərin faydalı iş əmsalının artırılması, günəş elektrik enerjisinin maya dəyərinin daha da azalmasına imkan yaratmışdır [7].

Təkcə 2010-2020-ci illər arasında sənaye miqyaslı günəş PV-dən əldə olunan elektrik enerjisinin qiyməti 82%, 2019-2020-ci illər arasında Elektrik Enerjisinin Normallaşdırılmış Dəyəri (LCOE) isə 7% azalmışdır. Beləliklə, düşən xərclər 2010-2019-cu illərdə günəş enerjisinin investisiya dəyərini artırmışdır.

Günəş panelləri vasitəsilə kommersiya miqyasında minlərlə kvadrat metr sahə əhatə edən müxtəlif gücdə elektrik stansiyaları quraşdırılır. Günəş panelləri evlərin damlarında mini şəbəkələr və ya şəxsi istifadə üçün daha kiçik konfiqurasiyalarda mərkəzləşdirilməmiş şəkildə quraşdırıla bilər. Günəş enerjisi ehtiyatlarına malik inkişaf etməkdə olan ölkələrdə elektrik ötürücü xətlərin yaxınlığında yaşamayan insanları elektrik enerjisi ilə təmin etmək üçün kiçik həcmli, mərkəzləşdirilməmiş günəş panellərindən istifadə olunması mümkündür.

Bir PV hüceyrəsinin ən vacib komponentləri adətən silisium kristallarından ibarət olan iki qat yarımkeçirici materialdır. Silisium kristalı özü elektrik cərəyanının yaxşı keçirmir, ona görə də ona aşqar əlavə edilir.

Günəş elementlərinin alt təbəqəsi adətən müsbət yük (p) yaratmaq üçün silisiumla birləşən qatqılı bordan ibarətdir, fosforla qatqılanmış üst təbəqə isə mənfi yük (n) yaratmaq üçün silisiumla qarşılıqlı əlaqədə olur.

n-qatından artıq elektronlar atomlarını tərk edə bilər, p-qat isə bu elektronları tutur. İşıq şüaları n-qatının atomlarından elektronları "çıxarır", bundan sonra boş yerləri tutmaq üçün p-qatına uçur. Bu şəkildə elektronlar p-qatını tərk edərək, yükdən keçərək n-qatına qayıdırlar.

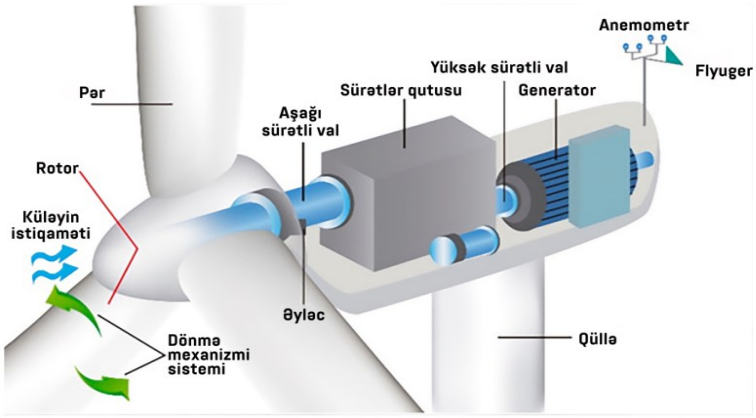
2. Külək enerjisi. Külək turbinləri sadə bir prinsip üzərində işləyir. Külək enerjisi, elektrik enerjisi istehsal etmək üçün küləyin gücündən istifadə edən bərpa olunan enerjinin bir formasıdır. Bu, hərəkət edən havanın istehsal etdiyi kinetik enerjini toplayır və şəbəkəyə enerji vermək üçün elektrik enerjisinə çevirir. Bunun üçün müəyyən texnologiyalar tələb olunur, məsələn, qüllənin başında, qanadların arxasında, külək turbininin baş hissəsində (nacelle) oturan generator [11].



Şəkil 4. *Külək elektrik stansiyası*

Bu havadan görünüş külək elektrik stansiyasının və ya külək fermasının bir hissəsi ola biləcək bir qrup külək turbininin elektrik enerjisini necə istehsal etdiyini göstərir (şəkil 4). Yaradılan elektrik ya xüsusi ehtiyacları enerji ilə təmin edə bilər və ya daha sonra ötürmə və paylayıcı kabellərin (və ya elektrik xətlərinin) köməyi ilə evləri, müəssisələri və məktəbləri enerji ilə təmin edən elektrik şəbəkəsinə töhfə verə bilər).

Yerin üstündə əsən külək turbin qülləsinin yuxarı hissəsinə bərkidilmiş bıçaqları fırladır. Hərəkət edən hava külək turbininin qanadlarını fırladır. Bu fırlanma hərəkəti generatoru mühərrik bölməsindəki rotordan külək aşağı doğru fırladır və bu da turbinin bütün digər iş hissələrini saxlayır. Generator elektrik enerjisi istehsal edir (şəkil 5).



Şəkil 5. *Külək turbini*

Külək turbinləri hündürlüklərindən və rotorun diametrindən asılı olaraq müxtəlif güclərə malik olur və texnologiyanın inkişafı ilə daha iri həcmli külək turbinlərinin hazırlanması üzrə mütəmadi işlər aparılır. Külək enerjisindən optimal istifadə üçün küləkli ərazilərdə çoxlu sayda turbinlərindən ibarət böyük miqdarda elektrik enerjisi istehsal etməyə imkan verən külək elektrik stansiyaları (KES) qurulur [12].

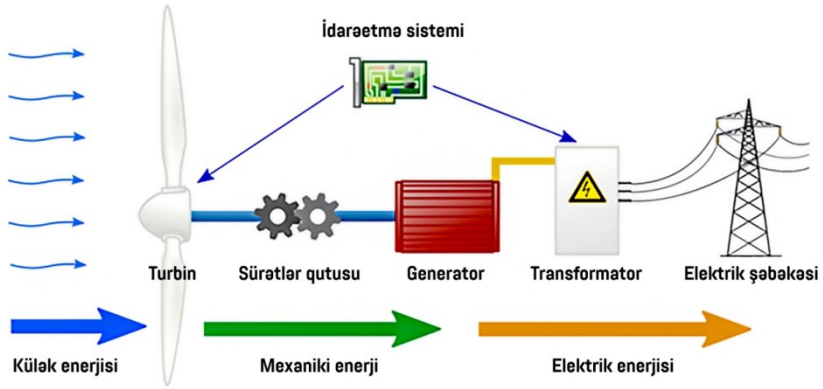
Texnologiyanın inkişafı ilə illər ərzində külək turbinlərinin parametrləri də dəyişiklərə məruz qalmışdır. Külək turbinləri üfüqi oxlu külək turbinləri (HAWTs) və şaquli oxlu külək turbinləri (VAWTs) olmaqla iki yerə bölünür. Hazırda elektrik şəbəkələrini enerji ilə təmin etmək gücünə malik KES və ya külək fermaları yaratmaq üçün istifadə edilən sənaye həcmli külək turbinləri üfüqi oxlu külək turbinləridir. Şaquli oxlu külək turbinləri isə rotor şaftının şaquli vəziyyətdə quraşdırıldığı və küləyin istiqamətdən asılı olmayaraq elektrik enerjisi istehsal edə bilən əsasən daha kiçik həcmli ərazilərdə quraşdırılan külək turbinləridir.

Külək turbinləri əsasən küləyin istiqamətinə yönəlmiş 3 pərdən (qanad) ibarət olur ki, bu pərlərin hərəkəti külək turbininin üç əsas hissəsini hərəkətə gətirir:

- Rotor: pərlər və onları birləşdirən hissələrdən ibarət olmaqla hava axınlarının kinetik enerjisini mexaniki fırlanma enerjisinə çevirir.

- Sürətlər qutusu: val vasitəsilə mühərrikə qoşulur və fırlanma sürətini dəqiqədə 30 dövrədən 1500 dövrə qədər artıra bilir.

- Generator: əldə edilən mexaniki enerjini elektrik enerjisinə çevirir [13].



Şəkil 6. *Külək turbininin əsas hissələri*

Tipik 2,8 meqavatlıq (MV) kommunal miqyaslı külək turbini 100,000 evi elektrik enerjisi ilə təmin etmək üçün kifayət qədər elektrik istehsal edə bilər. Külək turbinləri daha da böyüyür; nə qədər böyükdürsə, bir o qədər çox enerji istehsal edə bilər. Turbinlərin təkmilləşdirilməsi onların daha səmərəli olmasına kömək edir, hətta az küləkli bölgələrdə də şəbəkəyə, ev sahiblərinə təmiz və etibarlı enerji təmin edir. Bıçaqlar üçün yeni dizaynlar külək turbinlərinə daha çox güc istehsal etməyə və materialdan istifadə, təkrar emal və ya səs-küy kimi digər problemləri həll etməyə kömək edir. Külək enerjisi həm də təmiz enerji formasıdır, yəni külək turbinləri karbon dioksid kimi istixana qazı emissiyaları yaratmır, bu da havaya, okeanlara və ətraf mühitə daha az çirklənmə deməkdir .

Külək enerjisi bir çox yerlərdə, o cümlədən adalar kimi təcrid olunmuş və ya uzaq ərazilərdə elektrik enerjisi üçün kommunal şəbəkəyə daxil ola bilməyən yerlərdə istifadə edilə bilər. Külək stansiyaları həm quruda, həm də dənizdə quraşdırıla bilər.

Külək enerjisinin quraşdırılmasının maliyyə faydaları və iqtisadi üstünlükləri də var.

Külək enerjisinin çox az mənfi cəhətləri var. Külək enerjisinin sosial qəbuluna təsir edən əksər narahatlıqlar külək fermalarının cəmiyyətlə necə qarşılıqlı əlaqəsi ilə bağlıdır, məsələn, yer (əmlakın dəyərinin təsiri və torpaqdan istifadə daxil olmaqla), sağlamlıq və təhlükəsizlik, ətraf mühit və canlı təbiət, yerli icmalar, radar müdaxiləsi və iqtisadiyyat və ya maliyyə. Ən yaxşı yeri müəyyən etməklə yanaşı, tədqiqatçılar:

Hərəkət nümunələrini və əhali mərkəzlərini anlamaq üçün təbiətin davranışını öyrənməli.

Qarşılıqlı əlaqəni minimuma endirmək üçün əməliyyat prosedurlarını müəyyən edin (məsələn, quşların miqrasiyası zamanı turbinlərin söndürülməsi).

Külək turbinləri və elektrik stansiyaları üçün materialların və istehsal proseslərinin davamlılığını və təkrar emal qabiliyyətini artırın.

İnsanın təsirləri başlanğıc üçün olduqca kiçik ola bilər. Məsələn, külək turbinləri:

Eşitməyə zərər verəcək qədər səs-küylü deyillər.

Təbii fəlakətlər zamanı etibarlı enerji təmin edə bilər (məsələn, mobil külək turbinləri ilə) və ya hava şəraiti ilə əlaqədar kəsintilərdən sonra tez yenidən işə salına bilər.

Ədəbiyyat

1. *V.H. Həsənov, M.M. Bəşirov* Bərpa olunan enerji mənbələri və qurğuları, dərs vəsaiti -"AzTU-nun mətbəəsi", 141 s., 2011, Bakı, AZƏRBAYCAN.
2. http://data.bloomberglp.com/bnef/sites/14/2017/09/BNEF-Summit-London-2017-Michael Liebreich- State-of-the-Industry.pdf
3. *V.H.Həsənov, O.M.Salamov* İstilik tələli yastı günəş kollektoru, ixtira - Azərbaycan Respublikası Standartlaşma, Metroloğiya və Patent üzrə Dövlət Komitəsi, ixtira İ20150087, 2015, Bakı.
4. Ritchie, Hannah. "What are the safest and cleanest sources of energy?". Our World in Data. 10 February 2020.
5. *V.H.Həsənov, П.Ф. Рзаев, Ф.А.Салманов, Р.М. Мустафаева и др.*// Ориентировочный расчет солнечного коллектора- AzTU, "Elmi əsərlər", cild 1, №4, vol. 1, səh. 94-97, 2015, Bakı, AZƏRBAYCAN
6. *V.H.Həsənov, O.M.Salamov, A.S.Ömərov, Ə.A.Salamov*//Azərbaycanda bərpa olunan enerji mənbələrindən istifadənin perspektivləri- ADDA, "Texniki və təbiət elm-lərinin innovativ inkişaf perspektivləri" beynəlxalq elmi-texniki konfransının materialları (25-26 noyabr 2021), Bakı, s.44-55
7. *V.H.Həsənov, Ф.А.Салманов, П.Ф. Рзаев* // Возможности использования солнечной энергии для инкубации яиц в частных хозяйствах Апшеронского полуострова- AzTU, "Elmi əsərlər", cild 1, №4, vol. 1, səh. 182-184, 2015, Bakı, AZƏRBAYCAN.
8. *V.H.Həsənov, П.Ф.Рзаев, Ф.А.Салманова* //Солнечный водоподогреватель со съемным теплоаккумулятором, заполненным легкоплавким веществом-"Təhsil-tədqiqat-istehsalat mexa-nizminin qurulması" mövzusunda keçirilən Respublika Elmi-texniki konfransının materialları, AzTU, 2018, s.237-240, Bakı
9. *V.H.Həsənov, A.P.Абдуллаева, Л.А.Гасанова //* Снабжение судов горячей водой с использованием солнечной энергии-«Актуальные научные исследования в современном мире» ISCIENCE.IN.UA, вып. 1(69), ч. 1, с.117-123, 2021, Переяслав, Ukraina.
10. *V.H.Həsənov, L.A.Həsənova, A.Y.İmanova* //Alternativ enerji mənbəyindən istifadə etməklə gəmilərin isti su təminatı- ADDA-nın Elmi əsərləri, № 1, səh.183-187, 2021, Bakı, AZƏRBAYCAN
11. Friedlingstein, Pierre; Jones, Matthew W.; Hauck, Judith; "Global Carbon Budget 2019". Earth System Science Data. 2019:
12. Kutscher, Charles F. Principles of sustainable energy systems. Milford, Jana B., Kreith, Frank (Third). Boca Raton, FL: CRC Press. 2019. Chapter 1.
13. "Wind and Solar Share in Electricity Production Data". Enerdata. 2021.

Məqalə qəbul olunub: 07.11.24
Tövsiyə edib: t.e.d., prof. Qafarov A.M.

UOT 691:UOT 549

PERLİT SÜXURUNUN VƏ KÖPDÜRÜLMÜŞ PERLİTİN ÖYRƏNİLMƏSİ

Hüseynova S.E.

Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti
AZ1073, Bakı şəh., Ayna Sultanova küç., 11
E-mail: sureyyahuseynova@gmail.com

Xülasə. *Son illərdə çeşidli tətbiq sahələrinə malik materialların öyrənilməsi xüsusi önəm qazanmışdır. Belə materiallardan hesab olunan köpdürülmüş perlit tikintidə (65%), kənd təsərrüfatında (30%) və sənayedə tikinti materiallarının hazırlanmasından filtr toz materialların hazırlanmasına kimi geniş tətbiq sahəsinə malikdir. Köpdürülmüş perlit aşağı sıxlığa, yüksək istilik və səs izolyasiya xassələrinə malik olduğundan məsaməli və izolyasiya xassəli kompozisiya materiallarının hazırlanmasında əsas tərkib hissəsi kimi tətbiq edilməkdədir. Ölkəmizdə çox da tanınmayan bir material olsa da, Kəlbəcər rayonu ərazisində eləcə də Cənubi Qafqazda geniş perlit yataqlarına rast gəlmək mümkündür. Bu məqalənin yazılmasında məqsəd gələcək tədqiqat işləri üçün perlitin tanıdılmasına çalışılmaqdır. Məqalədə perlit süxurlarının petroqrafik və geokimyəvi analizlərinin nəticələri və köpdürülmüş perlitin istehsal texnologiyasının icmalı ətraflı şəkildə verilmişdir.*

Abstract. *In recent years, the study of materials with various fields of application has gained special importance. Expanded perlite, which is considered as such material, has a wide range of applications in construction (65%), agriculture (30%) and industry, from the preparation of building materials to the preparation of filter dust materials. Expanded perlite has low density, high heat and sound insulation properties, so it is used as the main ingredient in the preparation of porous and insulation composite materials. Although it is a little-known material in our country, it is possible to find large deposits of perlite in the territory of Kalbajar region as well as in the South Caucasus. The purpose of writing this article is to introduce perlite for future research. In the article, the results of petrographic and geochemical analyzes of perlite rocks and an overview of the production technology of expanded perlite are given in detail.*

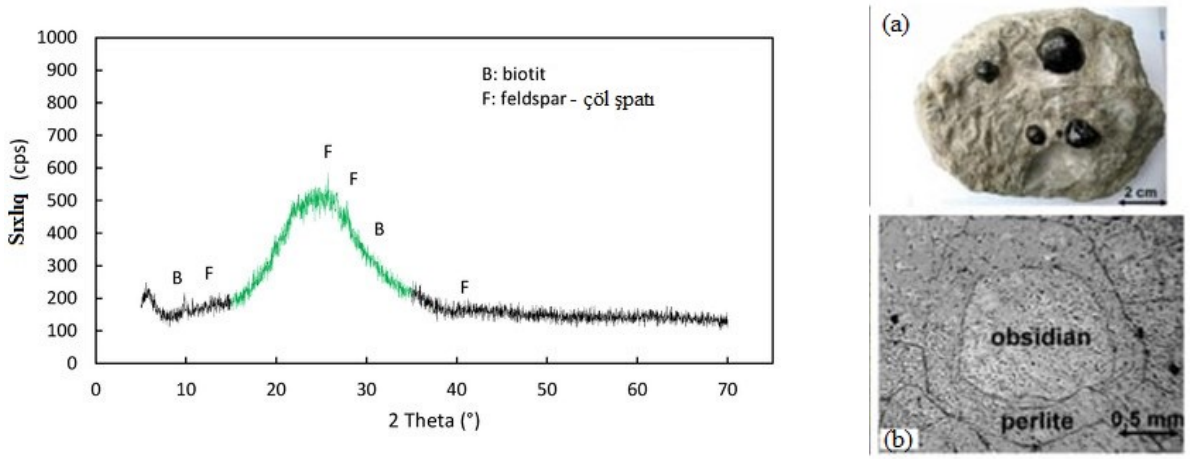
Аннотация. *В последние годы особое значение приобрело исследование материалов с разнообразие областями применения. Размноженный перлит, рассматриваемый в качестве такого материала, имеет широкий спектр применения в строительстве (65 %), сельском хозяйстве (30 %) и промышленности, от приготовления строительных материалов до приготовления фильтрующих пылевых материалов. Вспученный перлит имеет низкую плотность, высокие тепло- и звукоизоляционные свойства, поэтому он используется в качестве основного ингредиента при приготовлении пористых и изоляционных композиционных материалов. Хотя это малоизвестный материал в нашей стране, на территории Кельбаджарского района, а также на Южном Кавказе можно найти крупные месторождения перлита. Целью написания данной статьи является представление перлита для будущих исследований. В статье подробно приведены результаты петрографического и геохимического анализов перлитовых пород и обзор технологии производства вспученного перлита.*

Açar sözlər: *perlit süxuru, obsidian süxuru, köpdürülmüş perlit, izolyasiya materialları*
Key words: *perlite rock, obsidian rock, expanded perlite, insulation materials*
Ключевые слова: *перлит, обсидиан, вспученный перлит, изоляционные материалы*

Giriş. Perlit kimi vulkanik şüşələr yerin dərin qatlarından yüksək təzyiqli qazların daşıdıqları maqmanın yer üzərinə püskürməsi və sürətlə soyuması nəticəsində yaranan effuziv süxurlardır. Perlit sözü,“Perlstein“ sözündən yaranıb (Perl –mirvari, Perlstein-mirvari daşı mənasını verir), çoxlu sayda

konsentrik yarıqları olan hiyaloliparit və fetiyaloriditlər (şüşə süxurlar) kimi adlandırılır [1]. Perlit süxurunun tərkibində yüksək miqdarda SiO_2-in olması və yumşalma temperaturunun aşağı olması müəyyən temperaturda ani qızdırılma ilə çox yüngül və məsaməli quruluşlu köpdürülmüş perlitin əmələ gəlməsinə imkan verir. Perlit süxur halında deyil köpdürülmüş halda tətbiq edilir. Köpdürülmüş perlitin dənə ölçüləri >12.7mm-1.58mm> olub tikintidə, kənd təsərrüfatında və sənayedə geniş tətbiq edilməkdədir [2].

Perlit süxuru. Perlit incə kristallı, amorf-şüşə quruluşlu olub, şüşə tərkibi (90-97%) qlobulit, margarit, mikrolit, kristalit və sferulit kristallarından təşkil olunmuş, tərkibində həmçinin 3-10 % kristallaşmış minerallara- çöl şpatlarına, biotitə, nadir olaraq da kvarsa, spolitə və maqnetitə də rast gəlinir. Çatlar arasında və digər hissələrdə çox incə şəkildə dağılmış zeolit kristalı yəni mardenit də müəyyən olunmuşdur [3]. Perlitlərin quruluşu bir-birindən çox fərqli olduğundan onları mikroskopla təyin etmək hər zaman mümkün olmamaqdadır (şəkil 1).



1) 2)

Şəkil 1. *1) Perlit süxurunun X-Ray analiz nəticəsi: Süxurəmələgətirən biotit və çöl şpatları. 2) (a) Perlit daxilində obsidian süxuru, (b) perlitləşmiş obsidian: bu səbəbdən perlit və obsidian bir-birinə ekvivalent süxurlar kimi tanınır* [4].

Perlit süxurlarının tərkibində nitrat, sulfat, ağır metallar, radioaktiv elementlər və üzvi maddələr yoxdur. Kimyəvi tərkib olduqca təmizdir. Perlit süxurunun tərkibində gil qarışığının olması köpdürülmüş perlit istehsalı üçün zərərli qarışıq hesab olunur. Perlitin üz səthi və qırıq səthi daima parlaqdır. Rəngi şəffaf açıq bozdan qara rəngə qədər dəyişir. Köpdürülmə zamanı rənginin tamamilə ağ və ya bozumtul rəng alması tipik özəlliyini təşkil edir. Moos şkalasına görə bərkliyi 4-5 arasındadır. Polyarizasiya olunmuş işıqda perlit şüşəsi izotropluq xassəsi göstərir. Perlitin qırılma indeksi 1.488÷1.506 olub, ortalama dəyər 1.497–dir. Petroqrafik analizə görə perlitin aşağıdakı növləri var; Dənəli perlit, Pemzalı perlit, Devisifiyalanmış (şüşələşmiş) perlit, Soğan qabığı kimi konsentrik görünüşlü perlit, Lifli perlit, Penokristallı perlit [5] [6].

Köpdürülmüş perlitin istehsal texnologiyası. Perlitin köpdürülməsində dörd əsas faktor rol oynayır.

- İstifadə olunan xammaların və ya xam perlitin növü
- Termik emal prosesinin müddəti
- Köpmə temperaturu
- Dənəvər ölçüləri

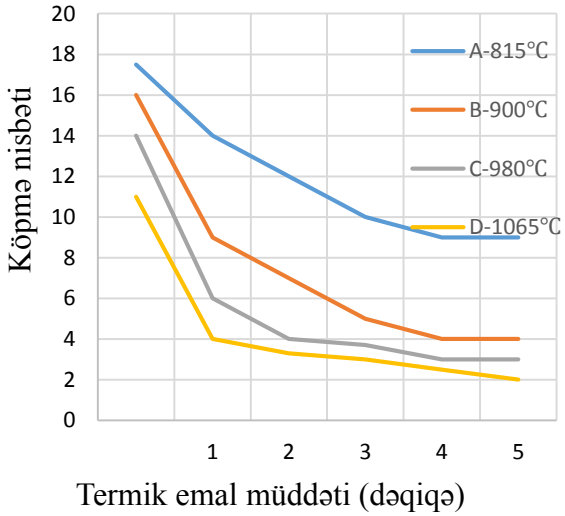
Köpdürülmüş perlit istehsalında xammal kimi digər vulkan mənşəli süxurlardan - maqmatik obsidian (~2% su), pexşeyn (5-9% su) və vitrofirdən (2-4% su) də istifadə olunur. Perlit yataqlarının müxtəlif yerlərindən götürülən nümunələrin kimyəvi analizləri süxurların tərkibindəki riolit tipində

əsas birləşmənin sabit qaldığını, ancaq suyun miqdarının dəyişkən (2÷6%) olduğunu göstərir. Müxtəlif yataqlardan əldə olunan perlitin xassələrində fərqlər olduğu üçün keyfiyyətli məhsulun əldə olunması da çətinləşir. Bu səbəbdən xammala aşağıdakı tələblər qoyulur:

1. Yataqlardan əldə olunan perlitlərin forması əsasən kub şəkilli olmalı
2. Çox xırdalamadan yəni xam perlitin konsentrik teksturasını pozmadan müəyyən olunmuş ölçülərə görə xırdalama
3. Xırdalanmış perlit dənələrinin fraksiyalanması

Perlit süxuru karxanalarda və ya xüsusi müəssisələrdə xırdalanır və çeşidlənir. Xırdalanma 2 mərhələdə aparılır. Birinci mərhələdə kobud xırdalanma yüksək zərbəli qırıcılarla (Prallbrecher tövsiyyə edilir) aparılır. Kobud perlit dənələri bir neçə dəfə çənəli qırıcıdan keçirilərək 10 sm-dən kiçik ölçülərdə xırdalanır və müəyyən qədər qurudulur. Qurutmaqda məqsəd xırdalama və ələmə mərhələlərini asanlaşdırmaqdır. İkinci mərhələdə çox qatlı vibrasiyalı ələklərdə perlit ölçülərinə görə fraksiyalara ayrılır. Ələk üzərində qalan iri parçalar dişli mərdənələr, çənəli, kon çəkicli və ya çubuqlu qırıcılardan keçirilir. Perlitin çox xırdalanmasına mane olmaq üçün hər mərhələdən sonra ələmə aparılır, 0.15 mm –dən xırda tozlar siklonlarda toplanaraq atılır.

Xırda və iri dənəli perlitin qarışıq şəkildə sobaya verilməsi yaxşı nəticə vermir. Sobanın temperaturu xırda dənələrə görə ayarlanarsa qızma müddəti uzun olduğundan, xırda ölçülü dənələrin tərkibindəki su yumşalma nöqtəsinə çatmadan qismən uçar və eyni zamanda köpmə baş verməz. Sobanın temperaturunu perlit dənələrinin ərimə temperaturundan aşağı temperaturda ayarlamaq lazımdır. Perlitin aktivliyinin və birləşmiş effektiv su miqdarının köpməyə təsiri böyükdür. Aktiv perlitlərin effektiv su miqdarı çoxdur və aşağı temperaturda köpürlər. Bir perlitin passiv olması onun aşağı keyfiyyətli olduğu mənasını verməz. Müxtəlif üsullarla hər bir perlit növündən materiallar istehsal edilir, məsələn passiv perlitdən istilik izolyasiya materialları hazırlanır. Perlit köpmə temperaturuna qədər yavaş-yavaş qızdırılarsa tərkibindəki suyun bir qismi itər və ani qızdırma ilə lazım olan köpməni əldə etmək olmaz. Ancaq hər perlit növü üçün termik emal müddəti müxtəlifdir (şəkil 2.) [2] [7].



***Şəkil 2**. A,B,C və D perlit növlərinin köpmə nisbətinin termik emal müddətindən asılılıq qrafiki*

Şəkil 2-dən göründüyü kimi, A perliti aktivdir-3 dəqiqədən çox saxlanılsa belə eyni misli qədər köpür, D perliti isə passiv perlitdir -5 saniyə qızdırma ilə yüksək köpmə göstərər. Passiv perlitlərin termik emal müddəti qısa və dənə ölçüləri kiçik olmalıdır.

Perlit süxuru növünə görə 750-1100℃ temperaturda termik emalı zamanı suyun buxarlaşması ilə köpərək həcmini 5-20 dəfə artırır və nəticədə çox məsaməli və yüngül bir doldurucu əldə olunur. Perlitdəki suyun bir qismi (2.5 %) fiziki birləşmiş su olub, 350℃ temperaturda buxarlanır, qalan 1.2%

kimyəvi birləşmiş su isə 750-1100℃-də tərkibdən ayrılır, buna effektiv su deyilir. Effektiv su –silikat tetraedrləri arasında yerləşən su molekullarıdır. Kristal quruluşun yaranmasının qarşısını alır və perlitin amorf halda olmasını təmin edir. Perlitin köpmə qabiliyyəti kimyəvi tərkibindən deyil effektiv suyun miqdarından asılıdır. Perlit nümunələrinin temperaturdan asılı olaraq dehidratasiyası 3 temperatur mərhələsinə bölünür; 0-250℃: 250-550℃: 550-950℃. Faza dəyişmələri 500℃-də başlayır və 1000℃-də tamamlanır, yumşalma temperaturu 810-1090℃, ərimə temperaturu isə 1260-1340℃-dir. Perlitin köpmə əmsalı $K_2O + Na_2O$, SiO_2 ilə tərs, Al_2O_3 ilə düz mütənasibdir [2].

Xam perlitin və ya məhsulun növünə görə sobanın tipi də dəyişir. Perlitin köpdürülməsində silindrik -qısa və ya uzun, şaxta və ya fırlanan, düzünə və ya əks cərəyan prinsipi ilə işləyən ön qızdırıcılı və ya birbaşa qızdıran sobalar işlədilir. Hər sobanın müsbət və mənfi cəhətləri vardır. Son illərdə əsasən şaxta sobaları istifadə olunur. Şaxta sobaları mazut və ya qazla işləyir. Sobadan çıxan köpmüş perlit soyuduqdan sonra fraksiyalı siklon sistemlərdə tutulur. Köpdürülmüş perlit dənəvər ölçülərinə görə siniflərə ayrılır; 1) iri dənəli (1-ci silosda), 2) xırda dənəli (2-ci silosda), 3) toz perlitlər (3-cü silosda turbo filtrdə toplanır). Çox az miqdarda yaranan xırda toz hissəcikləri isə su köynəkli toz çökdürmə siklonlarında toplanır və atılır. Dənəvər tərkibinə görə köpdürülmüş perlit aşağıdakı kimi qruplaşdırılır (cədvəl 1.).

Cədvəl 1

Köpdürülmüş perlit dənələrinin ölçüləri və tətbiq sahələri **[8]**

Köpdürülmüş perlit dənələrinin ölçüləri, mm	**Tətbiq sahələri**
>12.7 mm	kənd təsərrüfatında (torpaq münbitləşdirici komponent kimi) və sənayedə filtr toz materialı kimi
12.7 mm -6.35 mm	kənd təsərrüfatında və tikintidə-yüngül məhlulların hazırlanmasında
6.35 mm-3.175 mm	kənd təsərrüfatında və tikintidə-izolyasiya betonlarının və yapışdırıcıların tərkibində
3.175 mm-1.587 mm	kənd təsərrüfatında
1.587 mm>	sənayedə filtr və dolqu maddəsi kimi

Köpdürülmüş perlitin xassələri. Termik emaldan sonra köpdürülmüş perlit dənələrində qalıq nəmliyin -kimyəvi birləşmiş suyun miqdarı təqribən 1-3% (kütləyə görə) olur. Köpdürülmüş perlit xam perlitin yumşalma temperaturundan yüksək bir temperaturda belə yapışqan xassəli deyil, kövrək və sərt haldadır. Bunun səbəbi perlitin tərkibindəki suyun kənarlaşmasından sonra, amorf şüşənin yumşalma temperaturunun artması şəklində izah olunmaqdadır. Buradan aydın olur ki, perlitin sürətli soyudulması önəmlidir. Köpdürülmüş perlit çoxlu sayda hava qabarcıqlarından ibarətdir. Bu qabarcıqlar bir-birindən fərqli mikrometrik ölçüdədirlər və perlitin aşağı sıxlıqlı və yüngül olmasına səbəb olur. Məsaməlilik perlitə yüksək istilik və səs izolyasiya xassələri verir. Perlitin məsaməliliyi, perlit dənəciklərindəki boşluğun həcminin toplam dənəciklərin həcminə nisbəti ilə hesablanır. İstilikkeçirmə əmsalları sıxlıqdan asılı olaraq 0.130÷0.190 $\frac{W}{m \cdot K}$ dəyişir. Köpdürülmüş perlitin orta sıxlığı 200÷700 kq/m^3 , suhopması isə 15-20% olur. Köpdürülmüş perlitin səthi sahəsi 523.8÷18.5q/sm^2 arasında dəyişir [9].

Tətbiq sahəsi. *İnşaatda* sement əsaslı və digər yapışdırıcı materiallarda, polimerlərdə, eləcə də keramik kərpic sənayesində geniş tətbiq edilməkdədir. Köpdürülmüş perlitin böyük bir qismi gipslə qarışdırılaraq suvaq emalında istifadə olunmaqdadır. Dənə iriliyi 1 mm-dən kiçik, orta sıxlığı 0.12-0.24 $\frac{qr}{sm^3}$ olan perlitlər suvaq emalına əlverişlidir. Yüngül betonun hazırlanmasında: beton divarlar

arasında dolgu materialı kimi eyni zamanda prefabrik blokların, beton yolların və hava yollarının inşaasında da perlidən istifadə olunur. Yüngül beton doldurucusu kimi köpdürülmüş perlitin orta sıxlığı 0.08-0.19 $\frac{qr}{sm^3}$ arasında olmalıdır. Xüsusilə son zamanlarda köpdürülmüş perlitdən keramik kərpic materialların hazırlanmasında təbii mineral modifikator kimi geniş tətbiq olunmaqdadır. Effektiv keramik materiallarda köpdürülmüş perlitin minimal miqdarı 15-35% arasında dəyişir. Belə kərpiclərin fiziki və mexaniki xassələri yüksək nəticələr göstərir. Tədqiqatlara görə refraktor-odadavamlı perlit/gil kərpiclərinin optimal tərkibi isə 85% perlitdən və 15% gildən ibarət olmalıdır. Nəmədayanıqlı absorbent divar materiallarının hazırlanmasında bentonit gili ilə perlit ən mükəmməl nəticə göstərir. *Sənayedə* aşağı temperaturlu maye halda olan qaz daşıyıcı tankların (maye propan, maye oksigen, maye metan), soyuq hava depolarının eləcədə buxar borularının izolyasiyasında da tətbiq olunmaqdadır. Filtrasiya işlərində diatomit yerinə perlit tövsiyyə olunur. Şəkər, antibiotiklər, polietilen və s. perlit ilə süzülməkdədir. Köpdürülmüş perlitin incə tozundan boya, təkər, keramika, plastik, kağız, tekstil və sabun kimi çeşitli maddələrin emalında dolgu maddəsi kimi istifadə olunur. *Kənd təsərrüfatında*-bağçılıqda torpağa perlit qarışdırılaraq bitkilərə hava və rütubət təmin edilməklə bitkilərin böyüməsi üçün ideal bir mühit yaradılır [10].

Nəticə. Yüngüllüyü, istilik və səs izolyasiya xassələrinin yüksək olması köpdürülmüş perlitin tətbiq imkanlarını daha da artırır. Perlit süxurunun aşağı temperaturda termiki emalı, köpdürülmüş perlitin istehsal prosesinin qısa müddətə yekunlaşması və alınan fraksiyaların çeşidli sahələrdə tətbiqinin mümkünlüyü iqtisadi baxımdan da sərfəli material olduğunu göstərir.

Ədəbiyyat

1. SerMimar, “perlitkiremit.sermimar.net/neden-perlit-kullanmaliyiz/,” [Onlayn].
2. O.Orhun, “Perlit,” *Madencilik,* cild 8, no. 3.
3. F. F. A. Johnstone, On the Evolution and Classification of Igneous Rocks, Edınburgh Geologıcal Socıety.
4. P. M. Angelopoulos, “Insights in the Physicochemical and Mechanical Properties and,” 2024.
5. J.R. Boles, https://www.researchgate.net/figure/Photomicrographs-showing-characteristic-appe-arance-of-the-perlite-and-its-alteration_fig2_288292294, 1989.
6. “https://www.kapadokyaperlit.com/perlit-blog/www-perlite-com-www-perlite-net-www-perlite-org-www-iperlit-com-www-yalitim-com,” Kapadokya perlit, 2018. [Onlayn].
7. H. G. e. M. Jamei, “Water retention properties of perlite as a material with crushable soft particles,” *Engineering Geology,* 2011.
8. https://perlite.com/select-your-perlite/perlite-characteristics/size-range-of-perlites/, “Perlite. com, ” [Onlayn].
9. Perlite.org, “https://www.perlite.org/wp-content/uploads/2018/03/physical-characteristics-perlite.pdf,” Perlite İnstitute, 2011. [Onlayn].
10. “https://nperlite.com/perlite/insulation/#:~:text=Cryogenic%20Insulation%3A%20Perlite's%20low%20thermal,C%20(%2D452%C2%B0F).,” National perlite, 2022. [Onlayn].

Məqalə qəbul olunub: 22.10.24
Tövsiyə edib: prof. Həsənov V.H.

UOT 621.019

SƏNAYE TƏHLÜKƏSİZLİYİ, İŞ MÜHİTİNDƏKİ TƏHLÜKƏLƏR VƏ EKOLOJİ TƏHLÜKƏSİZLİK

İsmayılova S.M.

"Azərbaycan Elmi Tədqiqat və Layihə Axtarış Energetika İnstitutut" MMC
AZ1122, Bakı şəh., H.Zərdabi küç., 94
E-mail: smnt1962@mail.ru

Xülasə. *Zərərli istehsal amili (ZİA) müəyyən şərtlər altında işçiyə təsiri xəstəliyə və ya əmək qabiliyyətinin azalmasına səbəb olan istehsal amilidir. Təhlükəli istehsal amili (TİA) belə bir istehsal amilidir ki, onun müəyyən şərtlər altında işçiyə təsiri xəsarətə və ya sağlamlığının digər kəskin pisləşməsinə səbəb olur. Yaralanma bədən toxumalarının zədələnməsi və onun funksiyalarının xarici təsirlərlə pozulmasıdır.*

Sənaye müəssisələrində və yaşayış məntəqələrində işləyən transformator avadanlığı xidmət işçilərinin sağlamlığına mənfi təsir göstərən səs-küy yaradır. Eyni zamanda, onun səs-küyünə səbəb olan avadanlığın vibrasiyası onun öz mexaniki gücünə təsir edərək, istismar müddətini azaldır və daxili zədələnmə ehtimalını artırır. Güc transformatorları istehsal sahələri və ətraf ərazilər üçün səs-küy mənbələrindən biridir.

Abstract. *A harmful factor of production (HFP) is a factor of production, the impact of which on a worker under certain conditions leads to illness or decreased ability to work. A hazardous production factor (HPF) is a production factor, the impact of which on a worker under certain conditions causes injury or other acute deterioration in health. Trauma is damage to body tissues and disruption of its functions by external influences. Transformer equipment operating in industrial enterprises and residential premises creates noise that negatively affects the health of service sector workers. At the same time, the vibration of the equipment that causes its noise affects its own mechanical strength, shortens its service life and increases the likelihood of internal damage. Power transformers are one of the sources of noise for industrial premises and the surrounding area.*

Аннотация. *Вредный фактор производства (ВФП) – это такой фактор производства, воздействие которого на работника при определенных условиях приводит к заболеванию или снижению трудоспособности. Опасный производственный фактор (ОПФ) – производственный фактор, воздействие которого на работника при определенных условиях вызывает травму или иное острое ухудшение здоровья. Травма – это повреждение тканей организма и нарушение его функций внешними воздействиями. Трансформаторное оборудование, работающее на промышленных предприятиях и в жилых помещениях, создает шум, отрицательно влияющий на здоровье работников сферы услуг. В то же время вибрация оборудования, вызывающая его шум, влияет на его собственную механическую прочность, сокращает срок его службы и увеличивает вероятность внутренних повреждений. Силовые трансформаторы являются одним из источников шума для производственных помещений и прилегающей территории.*

Açar sözlər: *təhlükə, transformator, ətraf mühit, təhlükəsizlik, yanğın*

Ключевые слова: *опасность, трансформатор, окружающая среда, безопасность, пожар*

Key words: *danger, transformer, environment, safety, fire*

Giriş. Etibarlılıq imtinasızlıq, təmirəyararlılıq, uzunömürlülük, səmərəliliklə yanaşı, elektrik enerjisi sistemlərinin (bundan sonra EES adlandırılacaq) səmərəliliyinin ən mühüm xarakteristikası

işin təhlükəsizliyidir [1]. Təhlükəsizliyin olmamasının nəticələri təkcə böyük ziyanda deyil, həm də təəssüf ki, ətraf mühitə dəymiş ziyan, xəsarət və şəxsi heyətin ölümü ilə özünü göstərir. Dünya statistikasına baxarkən, hər il dünyada yüzlərlə insanın istehsalatdakı təhlükəsizlik qaydalarının pozulması səbəbindən ölməsi, yaralanması və ya şikəst qalması xəbərlərini görürük. Bundan başqa işçi heyətə və ətraf mühitə dəyən ziyanlar haqqında informasiyalar haqqında məlumatlar alırıq. Bütün bu neqativ halların aradan qaldırılması üçün müəssisələrdə həyat fəaliyyətinin yaxşılaşdırılmasının təkmilləşdirilməsi və ətraf mühitə ziyan vurulmaması haqda tədbirlər görülməlidir.

Əsas hissə. Zərərli istehsal amili (ZİA) müəyyən şərtlər altında işçiyə təsiri xəstəliyə və ya əmək qabiliyyətinin azalmasına səbəb olan belə bir istehsal amilidir.

Aşağıdakı zərərli amillər nəzərə alınır:

- artan səs-küy səviyyəsi;
- artan vibrasiya səviyyəsi;
- işıqlandırmanın olmaması;
- elektromaqnit sahəsi;
- əlverişsiz mikroiqlim şəraiti;

Artan səs-küy səviyyəsi. Sənaye müəssisələrində və yaşayış məntəqələrində işləyən transformator avadanlığı xidmət işçilərinin sağlamlığına mənfi təsir göstərən səs-küy yaradır. Eyni zamanda, onun səs-küyünə səbəb olan avadanlığın vibrasiyası onun öz mexaniki gücünə təsir edərək, istismar müddətini azaldır və daxili zədələnmə ehtimalını artırır. Güc transformatorları istehsal sahələri və ətraf ərazilər üçün səs-küy mənbələrindən biridir.

Transformatorların səs-küyü həm aktiv hissənin vibrasiyası, həm də soyutma sisteminin pərləri tərəfindən yaranır. Onun ayrı-ayrı elementlərində baş verən rezonans hadisələri transformatorun səs-küyünə əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərir.

İş mühitindəki təhlükələrin təhlili. Təhlükəli istehsal amili (TİA) belə bir istehsal amilidir ki, onun müəyyən şərtlər altında işçiyə təsiri xəsarətə və ya sağlamlığının digər kəskin pisləşməsinə səbəb olur. Yaralanma bədən toxumalarının zədələnməsi və onun funksiyalarının xarici təsirlərlə pozulmasıdır. Yaralanma, işçinin əmək vəzifələrini və ya iş rəhbərinin tapşırıqlarını yerinə yetirərkən təhlükəli istehsal amilinə məruz qalması halı kimi başa düşülən istehsalatda bədbəxt hadisənin nəticəsidir.

Elektrik cərəyanından zədələnmə. Gərginliyin olması güc transformatorlarının işində əsas təhlükəli amildir, çünki bir insanın elektrik dövrəsinə daxil olması və elektrik şoku təhlükəsi var. Bir insanın elektrik şoku aşağıdakı hallarda mümkündür:

· izolyasiyası olmayan və ya izolyasiyası zədələnmiş cərəyan edən hissələrə toxunmaq və ya təhlükəli məsafəyə yaxınlaşmaq;

· izolyasiyanın nasazlığı səbəbindən cərəyan aldığı üzə çıxan güc transformatorunun korpusuna toxunmaq;

· torpağa sızma cərəyanının yayılma zonasında olduqda addım gərginliyin altına düşmək.

Elektrik cərəyanının, elektrik qövsünün və elektromaqnit sahələrinin insana təhlükəli və zərərli təsirlərinin dərəcəsi aşağıdakılardan asılıdır:

- gərginliyin və cərəyanın növü və böyüklüyü;
- elektrik cərəyanının tezliyi;
- insan bədənindən keçən cərəyan yolları;
- insan orqanizminə elektrik cərəyanının və ya elektromaqnit sahəsinin təsir müddəti;
- ətraf mühit şəraiti. Elektrik təhlükəsizliyi. Ümumi tələblər və mühafizə növləri.

Elektrik təhlükəsizliyi təmin edilməlidir:

- elektrik qurğularının layihələndirilməsi;
- texniki mühafizə üsulları və vasitələri;
- təşkilati və texniki tədbirlər.

Elektrik qurğuları və onların hissələri işçilər elektrik cərəyanının və elektromaqnit sahələrinin təhlükəli və zərərli təsirlərinə məruz qalmamalı və elektrik təhlükəsizliyi tələblərinə uyğun qurulmalıdır.

Elektrik qurğularının layihələndirilməsi və təşkili üçün elektrik təhlükəsizliyi tələbləri (qaydaları və normaları) əməyin mühafizəsi standartlarında, habelə elektrik məhsulları, elektrikləşdirilmiş avadanlıq və alətlər üçün standartlarda, texniki şərtlərdə və texniki reqlamentlərdə müəyyən edilməlidir.

Elektrik qurğusunun normal (qeyri-fövqəladə) rejimində insan bədənindən axan kontakt gərginlikləri və cərəyanları cədvə 1-də göstərilən qiymətlərdən çox olmamalıdır [DÜST 12.1.038–82. Elektrik təhlükəsizliyi. Toxunma gərginliklərinin və cərəyanlarının icazə verilən maksimum qiymətləri].

Cədvəl 1

İnsan bədənindən axan gərginliklərə və cərəyanlara toxunun

Cərəyan növü	U, B	I, мA
	daha çox	
Dəyişən, 50 Hz	2,0	0,3
Dəyişən, 400 Hz	3,0	0,4
Sabit	8,0	1,0

İzolyasiya zədələnməsi nəticəsində cərəyan edə biləcək cərəyan keçirməyən metal hissələrə toxunduqda elektrik şokundan qorunmaq üçün aşağıdakı üsullardan istifadə olunur:

- qoruyucu torpaqlama;
- sıfırlama.

Elektrik şoku baxımından atelye yüksək təhlükəsi olmayan binalara aiddir.

Cədvəl 2-də məhdudlaşdırıcı gərginliyin qiymətləri göstərilir, həddindən artıq olduqda, otağın kateqoriyasından asılı olaraq dolayı təmasdan qorunma tələb olunur [11].

Cədvəl 2

Məhdud gərginlik qiymətləri

Otaq kateqoriyası	TİQ (6-cı nəşr) səh. 1.7.33	Yeni nəşrin layihəsi TİQ
Artan risk yoxdur	>=380 VAC cari >=440 V DC cari	>50 VAC cari >120 V DC cari
Artan təhlükə ilə, xüsusilə təhlükəli və açıq havada elektrik qurğuları	>42 VAC cari >110 V DC cari	>25 VAC cari >60 V DC cari

Cədvəldən belə çıxır ki, TİQ -nin yeni nəşrində elektrik təhlükəsizliyi şərtlərini təmin etmək üçün daha yüksək tələblər qoyulmuşdur.

Ekoloji təhlükəsizlik. Transformatorlar ətraf mühit üçün fiziki, kimyəvi çirklənmə (termal, elektromaqnit və s.) mənbələridir.

Güc transformatorlarının utilizasiyası mürəkkəb çoxmərhələli prosesdir. İstismar müddəti bitdikdən sonra bu cür konstruksiyaları sadəcə olaraq zibilliyə atmaq olmaz, çünki onların tərkibində zərərli maddələr var. Transformatorlarda və kondensatorların tərkibində olan dielektrik maye ya polixlorlu difenillər (PXD) və ya bifenillərdir ki (PXB), bu da əhəmiyyətli zərər verə bilər. Transformatorlarda izolyator kimi ətraf mühitə zərərli təsir göstərən transformator yağı istifadə olunur. Tərkibində polixlorlu bifenillər olan mineral yağdır. Polixlorlu difenil zəhərli sintetik üzvi birləşmədir - xlorlu karbohidrogendir.

Düzgün işləmədikdə, eləcə də qəza şəraitdə yüksək temperaturla təmasda olduqda, aşağı qaynama nöqtəsi olan bir orqanik xlor birləşməsi buraxılır. Bütün canlı orqanizmlərə zərərli təsir

göstərən xlor ayrılır. PXB-lər bədən tərəfindən udula və müəyyən fermentlər və digər sistemlərlə qarşılıqlı əlaqədə ola bilər. Bədən onları parçalamaqdan və ya fərqli bir şəkildə metabolizmə daxil etməkdən imtina edə bilər, yəni onlar bioloji parçalanmayandırlar. Nəticədə onun fəaliyyətini pozurlar. Bir şəxs tənəffüs etdikdə, ağır zəhərlənmə baş verir və tənəffüsü iflic edir.

Transformator yağının axması və düşmə zamanı torpaq qatına döşənən çınqıl yağın düşməsindən torpağı qoruyur, yağı canına çəkir və torpağı müdafiə edir

İnsanlara və bioloji obyektlərə mənfi təsir göstərə bilən müxtəlif fiziki ətraf mühit amilləri arasında qeyri-ionlaşdırıcı xarakterli elektromaqnit sahələri, xüsusən də radiotezlik şüalanması ilə bağlı olanlar böyük təhlükə yaradır.

Burada ətraf mühitə çirkləndirici atılmalardan qapalı istehsal dövrü qəbuledilməzdir, çünki radiodalğaların uzun məsafələrə yayılmasının unikal qabiliyyətindən istifadə olunur. Elektromaqnit şüalanmasının (EMŞ) əhaliyə və ətrafdakı canlı təbiətə təsirinin müasir texnoloji tərəqqiyə və televiziya və radio yayımının, radiorabitə və radarların, mikrodalğalı cihazların və texnologiyaların istifadəsi, və s. qaçınılmazdır.

Transformatorları ləğv edərkən aşağıdakılar lazımdır:

-regenerasiyası ixtisaslaşdırılmış müəssisələrdə və ya texnoloji avadanlıq olduqda "Sifarişçi" tərəfindən həyata keçirilir;

- əlvan və qara metalların emalı müəssisələrinə təhvil verilməsi üçün transformatorun metal komponentləri (mis və alüminium sarğı və kranlar, elektrik və konstruksiya poladları);

- bərk məişət tullantıları poliqonuna çini izolyatorlar, elektrik kartonları, rezin möhürlər, plastik materiallar, silikagel (TM transformatorları üçün) göndərilməlidir.

Texnogen fövqəladə halların ən çox yayılmış mənbələri baş verən yanğınlar və partlayışlardır:

- sənaye obyektlərində;
- tez alışan, yanan və partlayıcı maddələrin istehsalı, saxlanması və emalı obyektlərində;
- nəqliyyatda;
- şaxtalarda, mədənlərdə, metrolarda;
- yaşayış, sosial və mədəni təyinatlı bina və tikililərdə.

Yanğın maddi dəyərləri məhv edən, insanların həyatı və sağlamlığı üçün təhlükə yaradan nəzarətdən kənar yanma prosesidir. Rusiyada hər 4-5 dəqiqədən bir yanğın baş verir və hər il təxminən 12 min insan yanğında həlak olur.

Yanğının əsas səbəbləri bunlardır: elektrik şəbəkələrində nasazlıqlar, texnoloji rejimin və yanğın təhlükəsizliyi tədbirlərinin pozulması (siqaret çəkmə, açıq atəş, nasaz avadanlıqdan istifadə və s.).

Əsas təhlükəli yanğın amilləri istilik radiasiyası, yüksək temperatur, tüstünün zəhərləyici təsiri (yanma məhsulları: dəm qazı və s.) və tüstülənmə zamanı görmə qabiliyyətinin azalmasıdır. Təhlükəli yanğın amillərinin müəyyən edilmiş dəyərlərinə uzun müddət məruz qalan bir insan üçün parametrlərin kritik dəyərləri aşağıdakılardır:

- temperatur – 70°C;
- istilik radiasiyasının sıxlığı – 1,26 kVt/m2;
- dəm qazının konsentrasiyası – həcm üzrə 0,1%;
- tüstü zonasında görünmə - 6-12 m.

Partlayış qısa müddət ərzində məhdud həcmdə böyük miqdarda enerjinin buraxılması ilə müşayiət olunan yanmadır. Partlayış ətrafdakı obyektlərə mexaniki təsir göstərən səsdən yüksək sürətlə (5 kPa-dan artıq təzyiqlə) partlayıcı şok dalğasının yaranmasına və yayılmasına gətirib çıxarır. Partlayışın əsas zədələyici amilləri hava şok dalğası və müxtəlif növ obyektlərin, texnoloji avadanlıqların, partlayıcı qurğuların uçan fraqmentləri ilə əmələ gələn parçalanma sahələridir.

Elektrodların həddindən artıq istiləşməsi və ya izolyasiya problemləri səbəbindən yanğın baş verə bilər. Tərkibində partlayıcı maddələr olan qabın məhv olması səbəbindən partlayış baş verə bilər.

Kabel və məftil məmulatlarının istehsalı üçün sexdə azot stansiyasından istifadə olunur. İş zamanı sıxılmış və mayeləşdirilmiş qazlardan istifadə edən işçilər üçün təhlükəsizlik təlimatı var.

Fövqəladə halların qarşısının alınması üzrə tədbirlərin əsaslandırılması və fövqəladə hallar zamanı fəaliyyət prosedurunun işlənib hazırlanması. Profilaktik tədbirlərə yanğına (partlaya) səbəb ola biləcək səbəblərin aradan qaldırılmasına, yanğınların yayılmasının məhdudlaşdırılmasına (lokallaşdırılmasına), yanğın zamanı insanların və əmlakın təxliyəsi üçün şəraitin yaradılmasına, yanğının vaxtında aşkar edilməsinə və xəbərdarlıq edilməsinə yönəlmiş o, yanğını söndürmək, yanğınsöndürmə qüvvələrini daim hazır vəziyyətdə saxlamaq tədbirlər daxil ola bilər.

İstehsalın texnoloji rejimlərinə riayət edilməsi, avadanlıqların, xüsusən də enerji şəbəkələrinin yaxşı vəziyyətdə saxlanılması, əksər hallarda alovlanma səbəbini istisna etməyə imkan verir.

Yanğının vaxtında aşkarlanmasına sənaye və abadlıq obyektlərinin yanğın siqnalları və ya bəzi hallarda təşkilati tədbirlər vasitəsilə avtomatla təchiz edilməsi ilə nail olmaq olar. İş yerində silindrlər metal şkaflarda və ya onları günəş işığından, yağıntıdan, istilikdən, mexaniki gərginlikdən və düşmədən qoruyan xüsusi təchiz olunmuş yerlərdə yerləşdirilməlidir. Öz növbəsində, silindrlər sıxaclar, zəncir və ya kabel ilə etibarlı şəkildə bağlanmalıdır. Ən yaxın radiatordan və ya qızdırıcıdan silindrə qədər olan məsafə ən azı 1 m, qaz ocaqlarından - ən azı 1,5 m, sobalardan və açıq alovlu digər istilik mənbələrindən - ən azı 5 m olmalıdır. Balonlarda qazlarla işləməkdir. təhlükəlidir və böyük diqqət, diqqət və müəyyən edilmiş qayda və qaydalara riayət etməyi tələb edir. Yanğının baş verməsinin qarşısını almaq üçün aşağıdakı addımlar tətbiq olunur: işçilərin yanğın təhlükəsizliyi biliklərinin yoxlanılması, işlərin qaydalara uyğun yerinə yetirilməsi, qurğuların planlı yoxlanılması.

Yanğın baş verərsə, personal aşağıdakı ardıcıllıqla hərəkət etməlidir:

– yanğın barədə 01-ə zəng edərək yanğınsöndürmə briqadasına məlumat verilməlidir;
– bütün elektrik qurğuları söndürməlidir;
– yanma üçün qaralmaları və oksigeni çıxarmaq üçün pəncərələr və qapılar bağlanmalıdır.

Əmək qanunvericiliyinin xüsusi hüquqi müddəaları. İşə icazə komissiyasında tibbi müayinədən keçmiş, işin xüsusiyyətinə uyğun peşə hazırlığı keçmiş, iş yerində təlim keçmiş, təlimatlandırılmış və təhlükəsizlik tələbləri üzrə bilikləri yoxlanılmış ən azı 18 yaşına çatmış şəxslər buraxılır [12]:

- elektrik təhlükəsizliyi haqqında;
- elektrik avadanlıqları ilə işləmək haqqında.

İş sahəsinin planlaşdırılması üçün təşkilati tədbirlər.Elektrik qurğularında işləri yerinə yetirərkən, iş yerinə təsadüfən gərginliyin verilməsinin və təsadüfi yaxınlaşmanın və ya enerjili qalan cərəyan hissələrinə toxunmasının qarşısını almaq üçün texniki və təşkilati tədbirlər (tədbirlər) həyata keçirilir. Elektrik qurğularında işin təhlükəsizliyini təmin etmək üçün texniki tədbirlər aşağıdakı ardıcıllıqla həyata keçirilir:

1. Gərginliyi söndürmək və onun iş yerinə səhv daxil olmasının qarşısını almaq üçün tədbirlər görmək.

2. Kommutasiya avadanlığı üzərində, daimi işləyən xəbərdarlıq plakatları asmaq. və müvəqqəti hasarlar qoymaq.

3. Qurğunun istismar üçün ayrılmış hissəsində gərginliyin olub-olmadığını yoxlamaq və qurğunun cərəyan keçirən hissələrinə portativ torpaq qoymaq.

İş yerini işə hazırlamaq üçün lazımi söndürmələr etmək və kommutasiya avadanlıqlarının kortəbii və ya səhv işə salınması səbəbindən iş yerinə gərginliyin verilməsinin qarşısını almaq üçün tədbirlər görmək, qadağan plakatları asmaq və zəruri hallarda hasarlar quraşdırın, gərginliyin olmamasını yoxlayın, portativ torpaqlama tətbiq edin, xəbərdarlıq və icazə plakatlarını asın (tam enerjisizləşdirmə ilə işləyərkən bu tələb lazım deyil). Gərginlik altında qalan cərəyan keçirən hissələr qorunur. Qurğuya operativ texniki xidmət bir növbədə iki nəfər tərəfindən həyata keçirilirsə, iş yerinin hazırlanması iki nəfər tərəfindən həyata keçirilir. Bir nəfərlik xidmətlə - bir nəfər. Bütün əməliyyat işçiləri aşağıdakı fərdi mühafizə vasitələrindən (FPE) istifadə etməlidir:

- kostyum;
- dəri çəkmələr (yüksək temperaturdan qoruyan);
- istiliyədavamlı balaklava; - istiliyə davamlı əlcəklər;
- istiliyədavamlı kənarı olan qoruyucu ekranlı istiliyədavamlı dəbilqə.

Əsas elektrik qoruyucu avadanlığı olaraq, əməliyyat işçiləri keçmiş sınaqda möhürü olan UVN-10 yüksək gərginlik göstəricisindən istifadə edirlər [ГОСТ 12.1.009-82. Elektrik təhlükəsizliyi. Şərtlər və Təriflər].

Yanğın təhlükəsizliyinin inkişafı. Yarımstansiyalarda ən çox yanğın təhlükəli obyektlərdən biri transformatorlardır. Onlar təhlükəlidir, çünki onların tərkibində izolyasiya və soyuducu kimi yanan yağ var. Normal istifadə zamanı yağın özü alovlanmır, ancaq daxili qısaqapanma baş verərsə və qövs yağı alovlandırarsa, fəlakətli nəticələr ola bilər. Belə hallarda ilk növbədə əməliyyat heyəti çalışır 95 qəza və yanğının inkişaf miqyasını minimuma endirmək, təcili olaraq aradan qaldırmaq avadanlıqdan gərginlik alır və istehlakçıları ehtiyatlara köçürür. Sonra əməliyyatçıların hərəkətləri Fövqəladə Hallar Nazirliyinin briqadalarına yanğını söndürməyə imkan vermək məqsədi daşıyır [4].

Nəticə. Elektroenergetika sisteminin (EES) işçi heyətinin həyat fəaliyyətinin təhlükəsizlik məsələləri mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Mütəxəssislər tərəfindən elektrik enerjisi obyektlərinə xidmət göstərən kadrların avadanlıq və cihazlarla iş zamanı təhlükəsizliyinin artırılması aktual məsələdir. Tövsiyə olunan metodik məsələləri EES obyektlərinin istismar zamanı idarə edilməsinin yerinə yetirən operativ heyətin həyat fəaliyyətinin təhlükəsizliyinin təkmilləşdirilməsi imkan verir. EES-in və obyektlərinin avadanlıq və qurğularının ətraf mühitə təsiri və ekoloji təhlükəsizliyi nəzərə alınmalıdır.

Ədəbiyyat

1. Аверилл М. Лоу, В. Давид Кельтон. Имитационное моделирование. Изд. Питер, 2004, 847 с.
2. Акимова Г.П., Соловьев А.В., Пашкина Е.В. Методологический подход к определению влияния человеческого фактора на работоспособность информационных систем, М.: Труды ИСА РАН, 2007, т.27, 102-117 с.
3. Васин В.П., Лоскутов В.Ф., Старшинов В.А., Поляков А.М. К развитию компьютерных технологий в эксплуатации электрооборудования электростанций. Электрические станции, 2005, №4, 33-40 с.
4. Иорш В.И., Крюков И.З., Антоненко И.Н. Управление инфраструктурой и надежность производственных систем. Management №1/11-12/2009, с.72-73.
5. Исмаилова С.М. Резервы улучшения технического состояния силовых трансформаторов. Баку, Проблемы энергетики №3-4, 2009, 145 с.
6. Львов М.Ю., Анализ повреждаемости силовых трансформаторов напряжением 110 кВ и выше. IV Международная конференция «Силовые трансформаторы и системы диагностики» 23-24 июня 2009 года Международная Ассоциация «ТРАВЭК»
7. Непомнящий В.А. Учет надежности при проектировании энергосистем. - М.: Энергия, 1978, 200с.
8. Azərbacan Respublikası Müəllif Hüquqlar Agentliyi (əsərin qeydiyyatı haqqında) ŞƏHADƏT-NAMƏ (№ 6956), Bakı Yusifbəyli N.A., Mustafayev R.İ., Həsənova L.H., Zeynalov R.A.
9. Azərbaycan Respublikası Standartlaşdırma, Metrologiya və Patent üzrə Dövlət Komitəsi. AMEA, Rzayev Pərviz Fikri oğlu, Qəribov Adil.
10. Abdullayev K.M., Lətifov Y.İ, Abdullayeva G.K. Enerji ehtiyatları, elektrik enerji istehsalı və ətraf mühit. Bakı "Zaman", 2005, 4465

11. Фархадзаде Э.М., Мурадалиев А.З., Фарзалиев Ю.З., Исмаилова С.М. Совершенствование системы оценки и сравнения показателей надежности объектов промышленной энергетики. Казань: Известия Вузов. Проблемы Энергетики № 1-2, 2008, 112-119 с.
12. Фархадзаде Э.М., Сафарова Т.Х., Мурадалиев А.З., Рафиева Т.К., Фарзалиев Ю.З. Автоматизированная система анализа индивидуальной надежности и эффективности энергоблоков ГРЭС. М; - Электрические станции, №11, 2005г.,38-46с

Məqalə qəbul olunub: 22.10.24
Tövsiyə edib: prof. Həsənov V.H.

UOT 004.896

SÜNİ İNTELLEKT VƏ MAŞIN ÖYRƏNMƏSİ ƏSASINDA BÖYÜK DİL MODELLƏRİNİN TƏDQİQİ

Məmmədova K.A., Məmmədov N.İ.

Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti
AZ1010, Bakı şəh., Azadlıq pr., 20
E-mail: ka.mamedova@yandex.ru, nailmemmedov925@gmail.com

Xülasə. *Süni intellekt (SI) və maşın öyrənməsi (MÖ) informasiya texnologiyalarının əsas istiqamətləri kimi, Böyük Dil Modelləri (LLM) vasitəsilə insan dilinin emalını, təhlilini və başa düşülməsini təmin edir. Müasir informasiya və idarəetmə sistemlərində LLM-lər mətni emal etmək, suallara cavab vermək, məzmun yaratmaq və digər mürəkkəb tapşırıqları yerinə yetirmək məqsədilə geniş tətbiq olunur. Bununla yanaşı, bu texnologiya tədqiqatlar, iş mühiti və gündəlik istifadə üçün də böyük əhəmiyyət kəsb edir. Dərin öyrənmə metodlarından istifadə edən LLM-lər, geniş miqyaslı neyron şəbəkələrə əsaslanaraq məlumatların avtomatik işlənməsini mümkün edir. Bu tədqiqatda LLM-lərin əsas texnologiyaları, tətbiq sahələri və inkişaf perspektivləri araşdırılır.*

LLM modellərinin uğurlu təlimi və istifadəsi verilənlərin təmizliyindən, dil strukturunun dəqiq öyrənilməsindən və optimallaşdırılmış təlim prosesindən asılıdır. Bu tədqiqatlar süni intellekt və təbii dil işlənməsi sahəsində daha böyük uğurlara yol açacaqdır.

Abstract. *Artificial intelligence (AI) and machine learning (ML) enable the processing, analysis and understanding of human language through Large Language Models (LLM) as major areas of information technology. In modern information and management systems, LLMs are widely used to process text, answer questions, create content, and perform other complex tasks. In addition, this technology has great importance for research, work environment and everyday use. LLMs using deep learning methods enable automatic data processing based on large-scale neural networks. This study examines the key technologies, application areas and development prospects of LLMs.*

Successful training and use of LLM models depends on clean data, accurate learning of language structure, and an optimized training process. These studies will pave the way for greater advances in artificial intelligence and natural language processing.

Аннотация. *Искусственный интеллект (ИИ) и машинное обучение (МО) позволяют обрабатывать, анализировать и понимать человеческий язык с помощью больших языковых моделей (LLM) как основных областей информационных технологий. В современных информационных и управленческих системах LLM широко используются для обработки текста, ответов на вопросы, создания контента и выполнения других сложных задач. Кроме того, эта технология имеет большое значение для исследований, рабочей среды и повседневного исполь-*

зования. LLM, использующие методы глубокого обучения, позволяют осуществлять автоматическую обработку данных на основе крупномасштабных нейронных сетей. В данном исследовании рассматриваются ключевые технологии, области применения и перспективы развития LLM.

Успешное обучение и использование моделей LLM зависит от чистых данных, точного изучения языковой структуры и оптимизированного процесса обучения. Эти исследования проложат путь к большему прогрессу в области искусственного интеллекта и обработки естественного языка.

Giriş. Süni intellekt (SI) və maşın öyrənməsi (MÖ) son illər informasiya texnologiyalarının əsas istiqamətlərindən birinə çevrilib. Bu sahələrdə əldə edilən nailiyyətlər, xüsusilə dil modellərinin inkişafı, insan-maşın qarşılıqlı təsirini və məlumatların avtomatik işlənməsini köklü şəkildə dəyişdirib. Dil modelləri (Large Language Models – LLM) isə məhz bu texnologiyaların zirvəsi hesab olunur. LLM-lər, insan dilini emal etmək, təhlil etmək və başa düşmək üçün dərin öyrənmə texnikalarından istifadə edir. Əsasən geniş miqyaslı neyron şəbəkələrdən ibarət olan bu modellər, çoxlu sayda məlumatları təhlil edərək insanla təbii dil səviyyəsində ünsiyyət qurmaq üçün inkişaf etdirilib [1].

Dil modellərinin inkişaf tarixi 1950-ci illərə dayanır, həmin dövrdə ilk dəfə tərcümə maşınlarının yaradılması məqsədi ilə dil məlumatları emal edilməyə başlanıldı. Lakin, bu modellər kifayət qədər primitiv idi və məhdud funksionallığa malik idilər. 1980-ci illərdə neyron şəbəkələrinin tətbiqi ilə bu modellərin keyfiyyəti artmağa başladı [1-3]. XX əsrin sonu və XXI əsrin əvvəlində dərin öyrənmə metodlarının populyarlaşması nəticəsində LLM-lərin müasir versiyaları yarandı. Xüsusilə 2017-ci ildə Transformer arxitekturasının tətbiqi ilə yeni bir dövr başladı və GPT, BERT, T5 kimi modellər böyük inqilaba səbəb oldu. Bu modellər məlumatların təkrar emalı, mətnin başa düşülməsi və məntiqi əlaqələrin qurulması sahəsində yeni nailiyyətlərə imza atdı.

Böyük dil modelləri (LLMs) öyrənmə, tədris və tədqiqatda inqilab etmək potensialına malik olan süni intellektdə son irəliləyişdir [2,4]. Yenə də LLM-lərin bu mühitlərə nə dərəcədə effektiv şəkildə daxil edilməsi ilə bağlı təkmilləşdirmə üçün yer var. Bu tədqiqat LLM-lərin, xüsusən ChatGPT-nin öyrənmə, tədris və tədqiqat kontekstlərindəki rolunu araşdırdı. Motivasiya, qabiliyyət və tətiklərin bakalavr tələbələrinin, müəllimlərin və tədqiqatçı alimlərin LLM-lərə qarşı davranışlarına necə təsir etdiyini başa düşmək üçün Fogg Davranış Modeli (FBM) qəbul edilir. Tədqiqat göstərdi ki, tələbələrin və tədqiqatçıların LLM-ləri öz sahələrində tətbiq etmək davranışlarına onların motivasiyası və bacarığı çox təsir edib. Bununla belə, müəllimlər hər hansı LLM-ni öz pedaqoji strategiyalarına daxil etməyə az maraq göstərdilər. Bu nəticələrə əlavə olaraq iştirakçılar ChatGPT-nin öyrənmə, tədris və tədqiqat sahələrində məhdudiyyətlərini müəyyən etdilər. Bu anlayışlar müxtəlif akademik və tədqiqat kontekstlərində LLM-lərin praktik tətbiqi və effektivliyi ilə bağlı dəyərli perspektivlərə töhfə verir. Tədqiqat LLM-lərin təhsil və tədqiqat mühitinə inteqrasiyasının potensial faydaları və çətinliklərinə işıq salır [5-7,8].

Nəticələr bu cür modelləri tətbiq edərkən motivasiya amillərinin və fərdi qabiliyyətlərin nəzərə alınmasının vacibliyini vurğulayır. Tədqiqatın nəticələri təhsil və tədqiqat mühitlərində LLM-lərin potensialından istifadə etməklə onların məhdudiyyətlərini yumşaltmaq üçün müəllimlər və tədqiqatçılar üçün əvəzolunmaz fikirlər təklif edir.

ChatGPT, yaradıcı süni intellekt (AI) kimi tanınan yeni texnologiyalar sinfinə aiddir. Müəyyən əmrlər əsasında hesablama aparmaq və ya mövcud məlumatları əldə etmək əvəzinə, ChatGPT kimi süni intellekt alətləri tamamilə yeni məzmun yarada bilir. Pasick 2023-cü ildə bildirib ki, bu alətlər müəyyən əmrlərlə məhdudlaşmır, əvəzində yeni məzmun yarada bilir. Bu süni intellekt alətlərinin yaradılması neyron şəbəkələr və transformerlər kimi iki əsas texnologiyanın inkişafı sayəsində mümkün olmuşdur. Karpathy 2015-ci ildə, Uszkoreit isə 2017-ci ildə bu texnologiyaların sahədə inqilabi irəliləyişlərə səbəb olduğunu vurğulamışdır. Müasir neyron şəbəkələr və transformerlərin

yaradılması kompüter proqramlarının təbii dili daha səmərəli kodlaşdırmasını və dekodlaşdırmasını təmin etdi və bununla da böyük dil modellərinin inkişafını asanlaşdırdı.

Transformerlərin yaratdığı səmərəlilik sayəsində, bu modellər artıq yüz milyardlarla söz miqyasında təlim məlumatlarına malikdir, bu da onlara müasir insan bilikləri və incəsənətindən geniş bir korpusa çıxış imkanı verir. Dempsey 2023-cü ildə bu geniş təlim məlumatlarının dil modellərinin daha dərin və dəqiq bilik əldə etməsinə şərait yaratdığını bildirmişdir. ChatGPT-nin ictimaiyyətə təqdim edilməsindən bəri, OpenAI-nin GPT çatbotlarına rəqib yeni alətlərin hazırlanmasına sərmayə qoyuluşu əhəmiyyətli dərəcədə artmışdır [2,4,8]. Dünyanın ən böyük texnologiya şirkətlərindən bir çoxu ya öz böyük dil modellərinə sərmayə qoyub, ya da onları istifadəyə verib; bunlara Google-un Gemini məhsulu, Meta-nın Llama modeli və Amazon-un Anthropic-i dəstəkləməsi daxildir. Bu nəhəng texnologiya şirkətləri rəqib modellər yaratmağa və inkişaf etdirməyə böyük sərmayə qoyublar.

LLM-lər mətni emal etmək, suallara cavab vermək, məzmun yaratmaq və digər mürəkkəb tapşırıqları yerinə yetirmək üçün geniş istifadə olunur. Bununla yanaşı, bu texnologiya tədqiqatlar, iş mühiti və gündəlik istifadə üçün də böyük əhəmiyyət kəsb edir.

2. Neyron şəbəkə, strukturu və öyrənmə prosesi

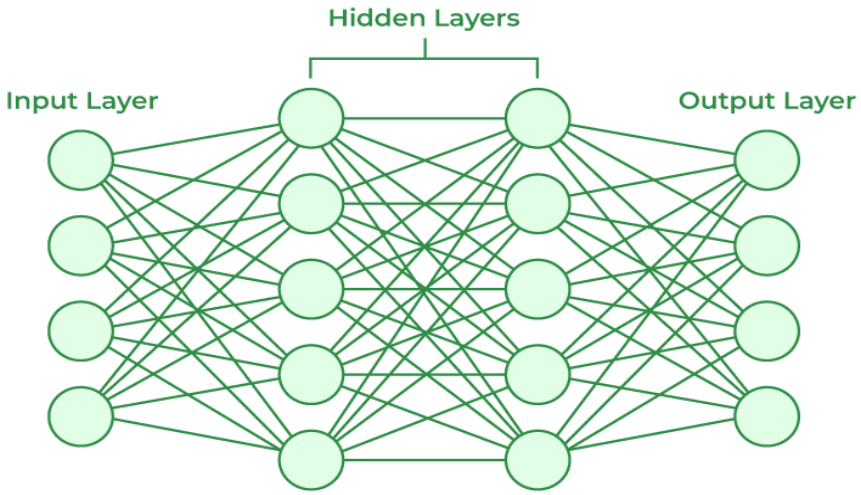
Neyron şəbəkələr süni intellektin ən vacib komponentlərindən biridir və insan beynindəki neyron hüceyrələrin işləmə prinsipinə analoji olaraq yaradılıb. Neyron şəbəkəsi çoxlu qatlı düyünlərdən ibarət qrafik struktura malikdir, burada hər bir düyün informasiyanı alır, onu emal edir və nəticəsini digər düyünlərə ötürür. Neyron şəbəkələrin əsas məqsədi verilmiş məlumatlar üzərində müxtəlif nümunələri tapmaq və həmin nümunələr əsasında qərarlar verməkdir.

Neyron şəbəkə üç əsas hissədən ibarətdir: giriş qatı, gizli qat və çıxış qatı (şəkil 1).

Giriş qatı məlumatları qəbul edir və şəbəkəyə ötürür. Bu məlumatlar ya rəqəmsal formatda ya da hər hansı digər formada ola bilər. Girişlər çox vaxt vektorlaşdırılmış məlumatlar şəklində olur.

Gizli qatlar giriş məlumatlarını emal edir və onlardan müəyyən nümunələr çıxarır. Hər bir gizli qatda aktivasiya funksiyası tətbiq olunur, bu da müəyyən hesablama mərhələlərinin nəticələrini dəyişdirir və gələcək hesablamalar üçün məlumat hazırlayır. Ən geniş yayılmış aktivasiya funksiyaları sigmoid, ReLU və tanh-dır.

Çıxış qatı şəbəkənin son nəticəsini verir. Bu qatın ölçüsü və forması, verilən tapşırıqdan asılı olaraq dəyişir; məsələn, sinifləndirmə tapşırığı üçün çıxış çox vaxt siniflərin ehtimallarını təqdim edir.



Şəkil 1. *Neyron şəbəkənin strukturu []*

Neyron şəbəkələrdə öyrənmə prosesi.

Dil modelləri təbəqələrdən ibarət çox qatlı sinir şəbəkələridir. Bu modellər təlim nümunələri vasitəsilə giriş və çıxış arasındakı əlaqələri öyrənir [1,4,8]. Hər təbəqə üçün aktivasiya funksiyası istifadə olunur, və təbəqələr arasında aşağıdakı əlaqə mövcuddur:

$$z^l = W^l * a^{l-1} + b^l$$

Burada: z^i - təbəqə l-nin aktivasiya girişi,
W^l- təbəqə l-nin çəkilər matrisi,
a^{l-1} - əvvəlki təbəqənin çıxışı,
b^l-isə təbəqənin biasıdır.

İrəli Yayılma Prosesləri

Modelin öyrədilməsi üçün verilən məlumatlar irəli yayılma (forward propagation) prosesindən keçir. Bu proses zamanı giriş verilənləri hər bir təbəqədən keçərək çıxışa qədər transformasiya olunur. Çıxış nöqtəsində modelin verdiyi cavab faktiki nəticə ilə müqayisə olunur və fərqlər təlim üçün siqnal rolunu oynayır.

Aktivasiya funksiyası olaraq çox vaxt ReLU (Rectified Linear Unit) və ya softmax kimi funksiyalar istifadə olunur. Modelin çıxış mərhələsində isə itki funksiyası (məsələn, entropiya və ya kvadratik xəta funksiyası) istifadə edilir:

$$L(a, y) = \left(\frac{1}{2}\right) * (a^L - y)^2$$

Geri Yayılma və Gradientlərin Hesablanması

Modelin öyrədilməsi prosesinin əsas komponentlərindən biri gradient enişi (gradient descent) alqoritmidir. Geri yayılma (backpropagation) üsulu itki funksiyasının təbəqə çəkiləri üzrə gradient-lərini hesablayır və çəkilərin yenilənməsini təmin edir [7,9]:

$$\delta^L = \frac{\partial L}{\partial a^L} * f'(z^L)$$

$$\delta^l = (W^{l+1})^T * \delta^{l+1} * f'(z^l)$$

Ağırlıqların və bias dəyərinin öyrədilməsi üçün aşağıdakı matris qrafientinin köməyi ilə optimal ağırlığa yaxınlaşmağa çalışılır:

$$W^l := W^l - \eta * \delta^l * (a^{l-1})^T$$

$$b^l := b^l - \eta * \delta^l$$

Bundan başqa verilən modelin vaxt sürət baxımından optimallaşdırılması üçün də bir sıra yollar vardır. Bunlara misal verilən cümlə strukturunun transformasiyası və hər sözün n ölçülü(burada n kifayət edə biləcək ölçülü fəzanın normal vektorlarının sayıdı) vektorlar şəklində ifadə edib hesablamaları skalyar fəzadan vektorial fəzaya keçirilməsini göstərə bilərik.

$$m_t = \beta_1 * m_{t-1} + (1 - \beta_1)$$

$$v_t = \beta_2 * v_{t-1} + (1 - \beta_2) * g_t^2$$

Aktivasiya funksiyaları və öyrənmə. Aktivasiya funksiyaları neyron şəbəkələrdə böyük əhəmiyyət daşıyır. Bu funksiyalar, girişləri müəyyən aralıqlara gətirərək, şəbəkənin qərar vermə prosesini asanlaşdırır [10].

- **Sigmoid** funksiyası 0 və 1 arasında nəticələr verir, bu da şəbəkənin çıxışının ehtimal kimi qəbul edilməsinə imkan yaradır.

$$f(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$$

- **ReLU** (Rectified Linear Unit) isə daha geniş yayılmış aktivasiya funksiyalarından biridir. Onun əsas üstünlüyü şəbəkəni "ölü" vəziyyətə gətirməməsidir, yəni hər hansı bir gizli qatda sıfır olmayan dəyərlərin çox olmasıdır.

$$f(x) = max(x, 0)$$

- **Tanh** funksiyası sigmoidə bənzəyir, lakin -1 və 1 arasında nəticələr verir, bu da bəzi hallarda daha düzgün öyrənmə prosesini təmin edir.

$$f(x) = \frac{1 - e^{x}}{1 + e^{x}}$$

3. Dərin öyrənmə və mürəkkəb modellər

Neyron şəbəkələr təkcə bir neçə gizli qatdan ibarət deyil. Dərin öyrənmə metodologiyası, çoxsaylı gizli qatları olan böyük şəbəkələrdən istifadə etməklə, mürəkkəb tapşırıqları həll etməyə yönəlib. Bu şəbəkələr böyük məlumat dəstələri üzərində öyrədilərək, yüksək dəqiqlikli proqnozlar verə bilir. Dərin öyrənmə xüsusilə təsvir tanınmasında, səs emalında və təbii dil emalı tapşırıqlarında effektivdir.

Dərin neyron şəbəkələrinin öyrədilməsi üçün böyük hesablama gücü və yüksək keyfiyyətli məlumatlar tələb olunur. Bu səbəbdən, GPU-lar və bulud əsaslı xidmətlər dərin öyrənmə modellərinin qurulması və optimallaşdırılmasında vacib rol oynayır [5,8].

Mətni informasiyaların emal edilməsi və maşın tərəfindən başa düşülməsi dərin öyrənmə modelləri üçün ən böyük çətinliklərdən biridir. Mətni məlumatlar, strukturlaşdırılmamış təbiəti ilə fərqlənir və birbaşa maşın tərəfindən hesablana bilən rəqəmsal məlumatlara çevrilməlidir. Bu məqsədlə mətnin dump edilməsi, vektorizasiya və transformasiya metodları tətbiq olunur [4,7].

Mətni rəqəmsal şəkildə təmsil etmək üçün mətn məlumatları vektorlaşdırılmalıdır. Bu proses hər bir sözün və ya mətnin model üçün başa düşülə bilən formada rəqəmsal təmsil edilməsini təmin edir. Ən çox istifadə olunan vektorizasiya metodlarından bəziləri aşağıdakılardır:

- **Söz Çantası modeli (Bag of Words - BoW):** Bu metod mətndəki sözləri sıralamadan asılı olmayaraq sayır. Məsələn, hər bir mətn daxilindəki hər bir sözün sayı qeyd olunur və bu sözlər bir matris şəklində təqdim olunur. Bu model sadə olsa da, sintaksis və məzmun məlumatlarını saxlamadığı üçün mürəkkəb mətn tapşırıqlarında zəif ola bilər.
- **TF-IDF (Term Frequency - Inverse Document Frequency):** BoW metoduna bənzəsə də, TF-IDF hər bir sözün yalnız mətndə neçə dəfə təkrarlandığını yox, həm də onun digər sənədlərdəki yayılmasını nəzərə alır. TF-IDF mətnin daxili əlaqələrini daha yaxşı təmsil edir və bu üsul vasitəsilə mətndə ən vacib sözlər seçilə bilir.
- **Word2Vec:** Neyron şəbəkələrdən istifadə edilərək daha mürəkkəb vektorizasiya metodlarından biri olan Word2Vec, hər bir söz üçün vektorlar yaradır ki, bu vektorlar sözlərin mənasını və əlaqələrini əks etdirir. Word2Vec mətndə yaxın olan sözlər arasında semantik əlaqələri

təyin edir. Məsələn, "padşah" və "kraliça" eyni məkana yaxın olan vektorlarla təmsil olunur, bu da onların mənaca əlaqəli olduğunu göstərir.

Dil modellərinin qurulması zamanı əsasən Transformer arxitekturası kimi dərin öyrənmə metodologiyalarından istifadə olunur. Model qurma prosesi bir neçə mərhələdən ibarətdir:

- **Məlumatların hazırlanması:** Model üçün düzgün və təmiz məlumatların əldə edilməsi ən vacib addımlardan biridir. Məlumatlar əvvəlcə təmizlənir, lazım olduqda normalizasiya və formatlaşdırma əməliyyatları həyata keçirilir. Model üçün optimal məlumat əldə etmək üçün böyük və müxtəlif dillərə məxsus məlumat dəstlərindən istifadə olunur.
- **Modelin parametrlərinin seçilməsi:** Dil modellərində istifadə olunan əsas parametrlər şəbəkənin qatlarının sayı, hər bir qatdakı neyronların sayı, öyrənmə sürəti və itki funksiyasının tipi kimi faktorları əhatə edir. Bu parametrlər modelin performansına ciddi təsir göstərir və düzgün tənzimlənməsi nəticələrin keyfiyyətini artırır.
- **Modelin öyrədilməsi:** Model məlumatlar üzərində öyrədilir. Öyrənmə prosesi zamanı, model giriş məlumatları üzərində təhlil aparır və nəticələr verir. Daha sonra modelin çıxışı ilə faktiki nəticə arasında olan fərq xətanı müəyyənləşdirir. Geri yayılma prosesi vasitəsilə bu xəta azaldılır və model tədricən yaxşılaşır.

Modelin yoxlanılması

Modelin qurulması tamamlandıqdan sonra onun effektivliyinin qiymətləndirilməsi prosesi gəlir. Dil modelləri kimi mürəkkəb strukturlu modellər üçün yoxlanılma iki əsas istiqamətdə aparılır:

- **Test məlumatları üzərində yoxlanılma:** Modelin performansını qiymətləndirmək üçün əvvəlcədən öyrədilməmiş test məlumatlarından istifadə olunur. Bu məlumatlar modelin ümumiləşdirmə qabiliyyətini yoxlamaq üçün əhəmiyyətlidir. Test nəticələri modelin faktiki reallıqdakı tapşırıqları nə dərəcədə doğru həll etdiyini göstərir.
- **Metriklərin tətbiqi:** Modelin effektivliyini qiymətləndirmək üçün müəyyən metriklər istifadə olunur. Dil modellərində ən çox istifadə olunan metriklərdən bəziləri:
  - **Ən doğru cavab dərəcəsi** (Accuracy): Modelin verdiyi proqnozların nə qədər düzgün olduğunu ölçən əsas metrikdir.

$$f(x) = \frac{actual\ values}{real\ values}$$

  - **F1 skoru:** Proqnozların dəqiqliyini və xatırlanma səviyyəsini birgə qiymətləndirir.

$$f(x) = \frac{2}{recall^{-1} + precission^{-1}}$$

$$f(x)f(x) = \frac{2tp}{2tp + fp + fn}$$

  - **Log itki funksiyası (Log loss):** Proqnozların ehtimalları ilə faktiki nəticələr arasındakı fərqi ölçən metrikdir.

$$f(x) = -\frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(y_i + log(p_i) + (1 - y_i) * log(1 - p_i))$$

Proqramdan kiçik fraqment:

```
from sklearn.feature_extraction.text import TfidfVectorizer
```

```
from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn.linear_model import LogisticRegression
from sklearn.metrics import accuracy_score, classification_report
texts = [
    "Bu gün hava çox gözəldir",
    "Azərbaycan çox gözəl ölkədir",
    "Süni intellekt dünyanı dəyişir",
    "Bakı Azərbaycanın paytaxtıdır",
    "Texnologiya sürətlə inkişaf edir",
    "İqtisadiyyat artım sürətini qoruyur",
    "Azərbaycan mədəniyyəti zəngindir",
    "Yeni layihələr həyata keçirilir",
    "Hava şəraiti sabah yaxşı olacaq",
    "Pandemiya dünya iqtisadiyyatına təsir etdi"
]
labels = [
    "həyat",
    "həyat",
    "texnologiya",
    "həyat",
    "texnologiya",
    "iqtisadiyyat",
    "həyat",
    "həyat",
    "həyat",
    "iqtisadiyyat"
]
X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(texts, labels, test_size=0.3, random_state=42)
vectorizer = TfidfVectorizer()
X_train_tfidf = vectorizer.fit_transform(X_train)
X_test_tfidf = vectorizer.transform(X_test)
model = LogisticRegression()
model.fit(X_train_tfidf, y_train)
y_pred = model.predict(X_test_tfidf)
accuracy = accuracy_score(y_test, y_pred)
print("Test Nəticələrinin Dəqiqliyi:", accuracy)
print("Təsnifat Hesabatı:\n", classification_report(y_test, y_pred))
```

Nəticə. LLM modellərinin yaradılması prosesi mürəkkəb və çoxsəviyyəli mərhələlərdən ibarətdir. İlk öncə, modelin təməlini təşkil edən verilənlərin (data) təmizlənməsi vacibdir. Bu verilənlər mətnlər, sözlər və frazeoloji birləşmələr kimi müxtəlif formatlarda ola bilər. Verilənlərin təmizlənməsi prosesi onların səs-küydən və əlaqəsiz məlumatlardan azad edilməsini və modelin təliminə uyğun hala gətirilməsini nəzərdə tutur. Bundan sonra hər bir dilin strukturunun dərindən öyrənilməsi vacibdir, çünki dilin morfologiyası, sintaksisi və semantikası modelin effektiv şəkildə öyrədilməsinə təsir göstərir.

Dil strukturu öyrənildikdən sonra, bu məlumatlar vektorizasiya prosesi ilə rəqəmsal məlumatlara çevrilir. Bu addım modelin neyron şəbəkələrinin girişlərini uyğun formata salmaq üçün mühüm əhəmiyyət daşıyır. Neyron şəbəkələrinin effektiv öyrədilməsi üçün böyük miqdarda verilənlərlə təkrarlanan təlim prosesləri həyata keçirilir. Burada təlim dövrlərinin sayı, məsələn, echo > 100000 kimi, kifayət qədər çox olmalıdır ki, model daha dəqiq nəticələr versin.

Son olaraq, modelin təlimi tamamlandıqdan sonra, onun performansı test və scoring mərhələlərində qiymətləndirilir. Test mərhələsi modelin real dünya məlumatlarına qarşı effektivliyini yoxlayır, scoring isə modelin dəqiqliyini və gücünü ölçərək, onun gələcək tətbiqlərdə istifadəsi üçün uyğunluğunu təmin edir. Ümumiyyətlə, LLM modellərinin uğurlu təlimi və istifadəsi verilənlərin təmizliyindən, dil strukturunun dəqiq öyrənilməsindən və optimallaşdırılmış təlim prosesindən asılıdır. Bu tədqiqatlar süni intellekt və təbii dil işlənməsi sahəsində daha böyük uğurlara yol açacaqdır.

Ədəbiyyat

1. Heaton, J. Ian Goodfellow, Yoshua Bengio, and Aaron Courville: Deep learning. *Genet Program Evolvable Mach* 19, 305–307 (2018). https://doi.org/10.1007/s10710-017-9314-z
2. Jyothy S.N. et all. Exploring large language models as an integrated tool for learning, teaching, and research through the Fogg Behavior Model: a comprehensive mixed-methods analysis. Cogent Engineering. 2024, Vol. 11, No.1, https//doi.org/10.1080/23311916.2024.2353494.
3. Euan Bonner et all. Large Language Model-Based Artificial Intelligence in the Language Classroom: Practical Ideas For Teaching/Teaching English with Technology, 23(1), 23-41, http://www.tewtjournal.org https://doi.org/10.56297/BKAM1691/WIEO1749
4. Roose, K. Don't ban ChatGPT in schools. Teach with it. The New York Times. Retrieved February 19, 2023, from https://www.nytimes.com/2023/01/12/technology/chatgpt-schoolsteachers.html
5. Kochmar, E., Vu, D. Do, Belfer, R., Gupta, V., Serban, I. V., & Pineau, J. (2022). Automated data-driven generation of personalized pedagogical interventions in intelligent tutoring systems. International Journal of Artificial Intelligence in Education, 32(2), 323–349. https://doi.org/10.-1007/s40593-021-00267-x
6. Karpathy, A. (2015). The Unreasonable Effectiveness of Recurrent Neural Networks. http://karpathy.github.io/2015/05/21/rnn-effective
7. Recurrent Neural Networks: A Comprehensive Review of Architectures, Variants, and Applications. Journal: Information, 2024, № 9, p. 517. https://doi.org/10.3390/info15090517
8. Katharopoulos, A.; Vyas, A.; Pappas, N.; Fleuret, F. Transformers Are rnns: Fast Autoregressive Transformers with Linear Attention. In Proceedings of the International Conference on Machine Learning, Virtual, 12–18 July 2020; pp. 5156–5165.
9. Peng, Y., He, L., Hu, D., Liu, Y., Yang, L., and Shang, S. (2024). Decoupling Deep Learning for Enhanced Image Recognition Interpretability. ACM Trans. Multimed. Comput. Commun. Appl. https://doi.org/10.1145/3674837
10. Khan, Exploring the frontiers of deep learning and natural language processing: A comprehensive overview of key challenges and emerging trends, Nat. Lang. Process. J., № 4, c.100026. https://doi.org/10.1016/j.nlp.2023.100026

Məqalə qəbul olunub: 22.10.24
Tövsiyə edib: prof. Həsənov V.H.

UOT 355/359

PİLOTSUZ UÇUŞ APARATLARININ TELEMETRİYA SİSTEMLƏRİNİN ARAŞDIRILMASI

[1,2] Rüstəmov Ə.R., [3]Həsənov V.H., [1]Həsənov A.Q., [4] Əzizullayev M.Q., [1]Məlikov F.Ə., [5]Həşimov R.İ.

[1]Milli Müdafiə Universitetinin Hərbi İdarəetmə İnstitutu
[2]Azərbaycan Texniki Universiteti
[3] "Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası"PHŞ
[4]Milli Aerokosmik Agentliyi
[5]Hərbi Dəniz Qüvvələri
E-mail: asad-rustam@mail.ru, vgasanov2002@yahoo.com, gasqhapk@gmail.com
azizullayevmuxtar27@gmail.com, fikret1@mail.ru, ruslanhashimov@gmail.com

Xülasə. *Məqalədə II Qarabağ müharibəsi zamanı istifadə olunmuş Bayraktar TB2 silahlı PUA, Hermes-900, Hermes-450, Heron, Searcher, Aerostar-BP, Orbiter-3B PUA, Harop, Orbiter-1K, SkyStriker, Antonov AN-2 pilotsuz uçuş aparatlarında RFD 900X, 3DR Radio və RFD 868x telemetriya modullarının texniki xüsusiyyətləri nəzərə alınmaqla tətbiq olunması araşdırılmışdır. Bu məqsədlə yaxın və uzaq məsafəli pilotsuz uçuş aparatlarında telemetriya vasitələrinin texniki xüsusiyyətləri nəzərə alınmaqla istifadə olunmasını xarakterizə edən effektivlik əmsalları məyyənləşdirilmişdir. Məsələnin həlli məqsədi ilə RFD 900X, 3DR Radio və RFD 868x telemetriya vasitələrini birinci tərəf (oyunçu), Bayraktar TB2 silahlı PUA, Hermes-900, Hermes-450, Heron, Searcher, Aerostar-BP, Orbiter-3B PUA, Harop, Orbiter-1K, SkyStriker, Antonov AN-2 pilotsuz uçuş aparatları isə ikinci tərəf (oyunçu) hesab olunmuşdur. Onda pilotsuz uçuş aparatlarının telemetriya sistemlərinin effektiv seçilməsi məsələsinə iki tərəfin oyunu kimi baxıla bilər. Buna görə də oyunlar nəzəriyyəsini tətbiq edərək problemin riyazi modeli işlənmişdir. Alınmış məsələ Simpleks metodu ilə həll edilmişdir. Müəyyən olunmuşdur ki, RFD 900X telemetriya sistemi yaxın məsafəli pilotsuz uçuş aparatları üçün əsas tətbiq olunan səmərəli telemetriya sistemi və uzaq məsafəli pilotsuz uçuş aparatlar üçün isə əsasən RFD 868x telemetriya sistemi istifadə oluna bilər. Alınmış nəticələrdən pilotsuz uçuş aparatlarında telemetriya vasitələrinin effektiv planlaşdırılmasında istifadə oluna bilər.*

Аннотация. *В статье исследуется применение телеметрических модулей RFD 900X, 3DR Radio и RFD 868x в БПЛА Bayraktar TB2, Гермес-900, Гермес-450, Герон, Искатель, Аэростар-БП, Орбитер-3Б БПЛА, Харop, Орбитер-1К, SkyStriker, БПЛА Антонов АН-2, применявшихся во время Второй Карабахской войны, с учетом их технических характеристик. Для этого определены коэффициенты эффективности, характеризующие использование средств телеметрии в БПЛА ближнего и дальнего действия с учетом их технических характеристик. RFD 868x, RFD 900X, 3DR Radio и для решения этой проблемы первым участником (игрока) считаются телеметрические инструменты, вооруженный БПЛА «Байрактар ТБ2», «Гермес-900», «Гермес-450», «Махац», «Искатель», «Аэростар-БП», БПЛА «Орбитер-3Б», «Харop», «Орбитер-1К», «СкайСтрайкер», беспилотные летательные аппараты «Антонов АН-2». считаются второй стороной (игроком). Тогда вопрос эффективного выбора систем телеметрии беспилотных летательных аппаратов можно рассматривать как игру двух сторон (игроков). Поэтому с применением теории игр была разработана математическая модель проблемы. Данная задача была решена Симплекс-методом. Определено, что телеметрическая система RFD 900X может использоваться в качестве основной эффективной телеметрической системы для БПЛА ближнего действия, а телеметрическая система RFD 868x – преимущественно для БПЛА большой дальности. Полученные результаты могут быть*

использованы при эффективном планировании средств телеметрии на беспилотных летательных аппаратах.

Abstract. *In the article RFD 900X on Bayraktar TB2 armed UAVs, Hermes-900, Hermes-450, Heron, Searcher, Aerostar-BP, Orbiter-3B UAV, Harop, Orbiter-1K, SkyStriker, Antonov AN-2 UAVs used during the Second Karabakh War. RFD 900X, 3DR Radio and RFD 868x of telemetry modules its application was investigated taking into account its technical characteristics. For this purpose, efficiency coefficients characterizing the use of telemetry tools in short-range and long-range UAVs, taking into account their technical characteristics, have been determined. RFD 900X, 3DR Radio and RFD 868x telemetry tools to solve the problem first party (player), Bayraktar TB2 armed UAV, Hermes-900, Hermes-450, Heron, Searcher, Aerostar-BP, Orbiter-3B UAV, Harop, Orbiter-1K, SkyStriker, Antonov AN-2 unmanned aerial vehicles considered the second party (player). Then the issue of effective selection of telemetry systems of unmanned aerial vehicles can be viewed as a game of two parties (players). Therefore, a mathematical model of the problem was developed by applying game theory. The given problem was solved by Simplex method. It has been determined that the RFD 900X telemetry system can be used as the main effective telemetry system for short-range UAVs, and the RFD 868x telemetry system can be used mainly for long-range UAVs. The obtained results can be used in effective planning* of telemetry tools in unmanned aerial vehicles.

Açar sözlər: *PUA, GPS, GNSS, telemetriya sistemi, II Qarabağ müharibəsi, riyazi modelləşdirmə, oyunlar nəzəriyyəsi*

Ключевые слова: *БПЛА, GPS, ГНСС, телеметрическая система, Вторая Карабахская война, математическое моделирование, теория игр*

Key words: *UAV, GPS, telemetry system, II Karabakh war, mathematical modeling, game theory*

Giriş. Son dövrlərdə müxtəlif növ pilotsuz uçuş aparatlarının (PUA) döyüş meydanında və əməliyyatlarda getdikcə daha geniş şəkildə tətbiqinə başlanılmış, zaman keçdikcə az işlənilən və nadir hallarda istifadə edilən bir silah növündən, genişmiqyaslı silahlı mübarizə vasitəsinə çevrilmişdir. Artıq hərbi əməliyyatların gedişi və nəticəsi, ordunun döyüşə hazırlıq dərəcəsi, qarşıya qoyulmuş tapşırığı yerinə yetirə bilməsi əhəmiyyətli dərəcədə PUA-ların tətbiq dərəcəsindən və miqyasından asılı olmağa başlamışdır. PUA-lar komandirlərə döyüş əməliyyatlarının başlanması barədə qərar qəbul etməkdə güclü köməkçi amilə çevrilir, daim inkişaf edir, təkmilləşdirilir, müasir müharibələrdə həm kəşfiyyat, həm də zərbə vasitəsi olaraq geniş tətbiq olunur. Qeyd edilənlər onların tətbiqinin bütün aspektlərinin diqqətlə və ətraflı təhlilini tələb edir. Hərbi əməliyyatların forma və metodlarının inkişaf istiqamətlərinin təhlili göstərir ki, artıq pilotsuz aviasiyaya geniş diapazonda döyüş tapşırıqlarını həll edə biləcək yüksək effektli vasitələr kimi baxılır [1]. Güman edilir ki, yaxın gələcəkdə PUA-lar hava hücumundan müdafiə (HHM) vasitələrinin yerinin aşkar edilməsi, onların susdurulması və məhv edilməsi, möhkəmləndirilmiş düşmən mövqelərinin dəqiq koordinatlarının əldə edilməsi, eləcə də aşkar edilmiş obyektlərə raket və bomba zərbələrinin vurulmasının, həmçinin yönləndirilməsinin əhəmiyyətli hissəsini öz üzərinə götürəcək. Müasir müharibələrin təhlili bir daha təsdiq edir ki, PUA-ların geniş tətbiqi bölmələrin canlı qüvvə itkilərini xeyli azaltmağa, eləcə də düşmən üzərində həm güc, həm də mənəvi-psixoloji vəziyyət baxımından üstünlüyə malik olmağa imkan yaradır. PUA-ların Qarabağ müharibəsində tətbiqi 2020-ci il sentyabrın 27-də Qarabağda başlayan hərbi əməliyyatların xarakterik xüsusiyyəti Azərbaycanın müxtəlif tipli PUA-lardan kütləvi və səmərəli istifadə etməsi olub [2].

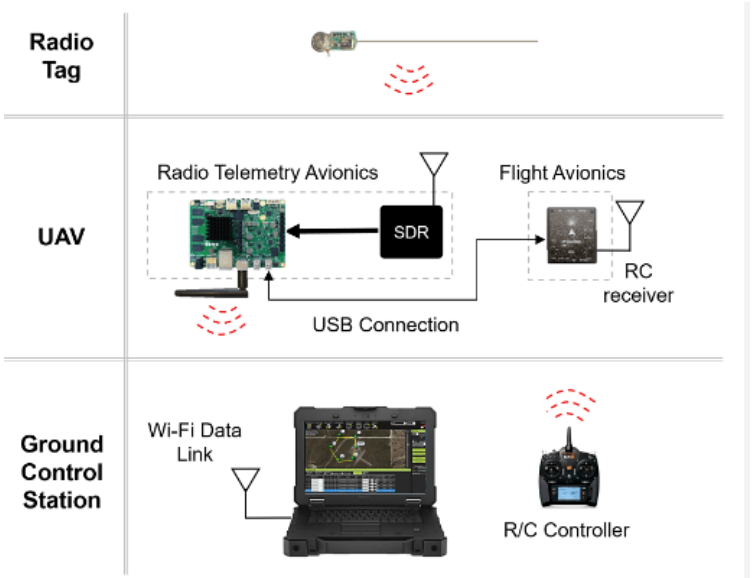
Müharibədən sonrakı dövr ərzində bəzi müşahidəçilər Azərbaycan Ordusu tərəfindən tətbiq edilən PUA-ların effektivliyini düşmənin silah sistemlərinin çatışmazlıqları ilə izah etməyə cəhd göstərsələr də, real olaraq görünən odur ki, Ermənistan ordusu işğal etdiyi ərazilərin müdafiəsini Rusiyadan və digər ölkələrdən aldığı ən müasir HHM və REM sistemləri ilə bir neçə eşelonda təşkil etmişdir. Bu sistemlərə S-300PS, S-125, 2K2 Kub, 2K11 Kruq, Buk-M2, Tor-M2, OSA-AKM HHM

və Avtobaza-M, Repellent1, Groza-S, Mortira, Manuşak, Pole-21 REM vasitələri [3] daxil idi. Müharibə dövründə düşmən Rusiyanın hərbi mütəxəssisləri ilə birlikdə PUA sistemlərinin, o cümlədən Bayraktar TB2 PUA-larının effektivliyini azaltmağa çalışsa da, buna nail ola bilməmişdir. Hərbi əməliyyatların gedişində PUA-lardan istifadənin yeni taktiki üsulları – eşelonlaşdırma və sürü halında istifadədən, eləcə də onların digər silah növləri ilə qarşılıqlı əlaqəsi mükəmməl bir şəkildə tətbiq edilmişdir [4]. Azərbaycan Silahlı Qüvvələrinin silahlanmasında Bayraktar TB2 silahlı PUA, Hermes-900, Hermes-450, Heron, Searcher, Aerostar-BP, Orbiter-3B PUA, Harop, Orbiter-1K, SkyStriker, Antonov AN-2 zərbə (kamikadze) və Ermənistan silahlı qüvvələrinin silahlanmasında isə X55, Krunk, Orlan-10 PUA və HRESH zərbə (kamikadze) PUA-ları mövcud olmuşdur. Göründüyü kimi, Azərbaycan ordusu öz arsenalını düşünülmüş şəkildə ən yeni növ PUA-larla gücləndirmiş və hərbi əməliyyatların gedişi zamanı onları düzgün tətbiq edərək ən az itkilərlə düşmənə ağır zərbələr endirmişdir. Ermənistan ordusu isə arxayın olduğu və bir neçə eşelonda yerləşdirilmiş HHM və REM sistemlərini tətbiq etməyə çalışsa da, PUA-ların qarşısını almağa nail ola bilməmişdir. Demək olar ki, kəşfiyyat və zərbə PUA-larından istifadə edilərək bu vasitələr vaxtında aşkar və məhv edilmişdir. Müharibənin bitməsinə az qalmış Ermənistan Azərbaycan ordusunun kəşfiyyat və zərbə PUA-larının qarşısını almaq üçün Gümrü yaşayış məntəqəsindəki Rusiyaya məxsus hərbi bazasından "Krasuxa-4" [3] REM sistemini tətbiq etsə də, gedişatı dəyişə bilməmişdir. Çünki artıq Azərbaycan Ordusu havada üstünlüyü tamamilə ələ almışdı. Azərbaycan Ordusu II Qarabağ müharibəsində PUA-ları kəşfiyyat, zərbə, artilleriya və aviasiya atışlarının nəticələrinin qiymətləndirilməsi və ona düzəlişlərin edilməsi, lazerlə işarələmə, həmçinin "aldadıcı hədəf" məqsədilə tətbiq etmişdir. PUA-ların aldadıcı hədəf məqsədilə tətbiqi hərb elmində bir yenilik idi. Bundan əvvəl heç bir ordu PUA-dan bu məqsədlə istifadə etməmişdir. Belə ki, Antonov-2, Aerostar-BP və bəzi başqa PUA-lar yalançı hədəf kimi HHM sistemlərinin məhvetmə zonasına daxil olmuş və onların vurulması sayəsində radiotexniki kəşfiyyat vasitəsi ilə həmin sistemlərin yeri aşkar edilərək məhv edilmişdir. Ölkəmizdə və bütün dünyada PUA-ların hərbi, mülki və peşəkar məqsədlərlə elmi məqsədlər üçün istifadəsi sürətlə artır. Buna görə də bu məsələnin növbəti illərdə hərbi və mülki təyinatlı tətbiqi daha çox gündəmdə olacağı məlumdur. PUA istehsalçıları hələlik heç bir standartlarla məhdudlaşmırlar. Nəticədə, bu gün hansı aparat nə ilə təchiz edilməlidir deyə aviasiya nəzarətçiləri tərəfindən heç bir məhdudiyyət yoxdur. Məqalədə pilotsuz uçuş aparatında istifadə olunan telemetriya modullarının araşdırılması və təhlilindən bəhs edilir [3].

PUA-ların telemetriya sistemləri. Telemetriya PUA-ların uçuş zamanı topladığı müxtəlif məlumatları qəbul etmək, qeyd etmək və ötürmək üçün istifadə olunan texnologiyadır. Pilotsuz uçuş aparatları telemetriya sistemləri ilə təchiz edilir. Telemetriya sistemləri PUA-nın uçuş vəziyyəti, mövqeyi, sürəti, hündürlüyü və batareya səviyyəsi kimi əsas məlumatları toplayır. Bu sistemlər həmçinin PUA-nın daxili və xarici vəziyyəti, məsələn, mühərrikin temperaturu, pərinin sürəti, GPS yeri kimi məlumatlar da daxil olmaqla məlumat verə bilər. Bu məlumatlar PUA-nın necə fəaliyyət göstərdiyini və hansı şəraitdə olduğunu real vaxt rejimində izləmək, uçuş parametrlərini optimallaşdırmaq, təhlükəsizliyi təmin etmək və lazım gəldikdə müdaxilə etmək üçün vacibdir. Telemetriya sistemləri PUA-nın təhlükəsiz uçuşunu təmin etmək üçün operatorlara ətraflı məlumat təqdim edir, həmçinin təhlil və ya sonrakı baxış üçün məlumat toplayır. Aşağıda şəkil 1-də telemetriya sisteminin PUA ilə əlaqəsi sxemi göstərilmişdir [5, 6].

Telemetriya sistemi əsas olaraq müxtəlif sensorlardan məlumatları toplayır, həmin məlumatları emal edir və onları idarəetmə stansiyasına, operatora və ya yer stansiyasına ötürə bilər. Bu sahədə PUA operatorları uçuş zamanı PUA-nın vəziyyəti haqqında anında məlumat ala və lazım gəldikdə müdaxilə edə bilir. Bu sistemlər PUA-ların təhlükəsiz və səmərəli işləməsini təmin etmək üçün vacibdir. PUA-lar çox vaxt telemetriya sistemləri ilə təchiz olunmaq üçün nəzərdə tutulub və bu sistemlər tərəfindən verilən məlumatlar PUA-nın uçuş keyfiyyətinə, təhlükəsizliyinə və öz tapşırıqlarını uğurla yerinə yetirmək qabiliyyətinə böyük təsir göstərir. "Pilotsuz uçuş aparatı" adətən PUA və ya dron kimi də təqdim olunur. Bu cür texnikalar birbaşa pilot tərəfindən idarə olunmazdan

əvvəl proqramlaşdırılmış marşrutu izləyə və ya uzaqdan idarəetmə ilə idarə oluna bilən müxtəlif sensorlar və telemetriya sistemləri ilə təchiz olunmuşdur. PUA-ların telemetriya sistemləri bir sıra müxtəlif sensorlardan məlumat toplayır, təhlil edir və qərar qəbul etmək üçün idarəetmə məntəqəsinə ötürür. Adətən, bu telemetriya sistemlərinə aşağıdakılar daxil ola bilər:



Şəkil 1. *Telemetriya sisteminin PUA ilə əlaqəsi sxemi*

1. Uçuş İdarəetmə Sistemləri PUA-ların uçuş vəziyyətini izləmək və idarə etmək üçün məlumat toplayan sensorlardır.

2. Məkanı müəyyən etmək üçün istifadə olunan GPS/GNSS sistemləri. Bu, PUA-nın yerini, marşrutunu və sürətini müəyyən etmək üçün istifadə olunur.

3. PUA-nın sürətinə, hündürlüyünə və digər uçuş parametrlərinə nəzarət edən sensorlar.

4. PUA-lar vizual məlumatları toplamaq üçün kameralarla təchiz edilmişdir. Bu məlumatlar xəritəçəkmə, izləmə və ya nəzarət kimi məqsədlər üçün istifadə edilir.

5. PUA-nın batareya səviyyəsini, enerji sərfiyyatını və enerji vəziyyətini izləmək üçün sensorlar.

Bu sensorlardan alınan məlumatlar toplanır, işlənir və telemetriya sistemləri vasitəsi ilə istifadəçiyə və ya idarəetmə mərkəzinə ötürülür. Bu məlumatlar PUA-nın işinə nəzarət etmək, səhvləri aşkar etmək və ya daha yaxşı uçuş təcrübəsini təmin etmək üçün istifadə edilir. PUA-ların telemetriya sistemləri təhlükəsiz və effektiv uçuş üçün çox vacibdir. Uçuş zamanı məlumatların davamlı olaraq toplanması və təhlili həm PUA-nın təhlükəsizliyini, həm də nəzərdə tutulan uçuşu təmin etmək üçün vacibdir. Məqalədə RFD-900X, 3DR radio telemetriya, RFD-868x telemetriya modulları araşdırılmışdır. RFD-900X telemetriya modulu uzun məsafəli simsiz məlumat rabitəsini təmin etmək üçün istifadə edilir [7]. Xüsusilə pilotsuz uçuş aparatları kimi uzaqdan idarə olunan sistemlərdə məlumat ötürülməsi və qəbul edilməsi üçün istifadə olunur. Bu modul etibarlı məlumat ötürülməsini təmin etmək üçün nəzərdə tutulmuşdur və müxtəlif proqramlarda istifadə edilə bilər. RFD900X telemetriya modulunun xüsusiyyətlərinə aşağıdakılar daxildir.

1. Yüksək enerji ötürülməsi sayəsində uzun məsafələrə (km) məlumat ötürülməsini təmin edir.

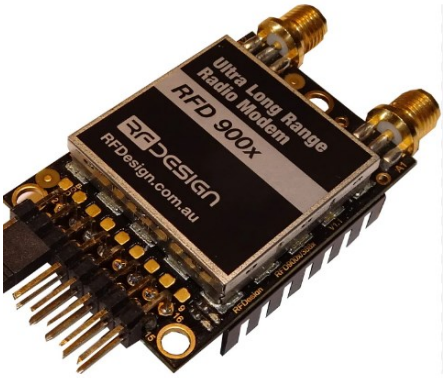
2. Məlumatları yüksək məlumat sürətlərində (məsələn, 57600bps-dən 250kbps-ə qədər) ötürə bilir.

3. 433MHz və 900MHz kimi müxtəlif tezlik seçimlərinə müvafiq olaraq, ərazi üzrə coğrafi bölgələrdə müxtəlif tezliklərdən istifadəsinə üstünlük verilir.

4. Müasir modul xüsusiyyətlərinə texnologiyası ilə güclü və etibarlı əlaqə siqnalı təmin edir.

5. Asan konfiqurasiya və istifadə üçün istifadəçi interfeysi təmin edir.

6. Ümumiyyətlə açıq mənbə proqram təminatına əsaslanan sistemlərlə uyğun işləyir və müxtəlif proqram platformalarına inteqrasiya oluna bilər. Aşağıda şəkil 2-də RFD-900X telemetriya modulunun konstruksiyası göstərilmişdir.



Şəkil 2. *RFD-900X telemetriya modulu*

RFD-900X PUA-lar, uzaqdan idarəetmə sistemləri, məlumatların toplanması və uzun mənzilli rabitə tələb edən müxtəlif tətbiqlərdə geniş istifadə olunan telemetriya moduludur. Bu cür telemetriya modullarına yüksək performanslı və etibarlı məlumat ötürülməsini təmin etməklə müxtəlif sənaye və kommersiya məqsədləri üçün istifadə edilə bilər [8, 9].

3DR Radio telemetriya modulu pilotsuz uçuş aparatlarının və ya dronların idarə edilməsində və məlumat rabitəsində istifadə olunan telemetriya sisteminin bir növüdür. 3DR Radio telemetriya modulu, uçuş zamanı PUA tərəfindən toplanan məlumatları yer stansiyaya və ya idarəetmə məntəqəsinə simsiz ötürmək üçün nəzərdə tutulmuş moduldur. Bu modul PUA-ya uçuş zamanı real vaxt rejimində məlumat ötürməyə imkan verir. Aşağıda şəkil 3-də 3DR Radio telemetriya modulunun konstruksiyası göstərilmişdir.



Şəkil 3. *3DR Radio telemetriya modulu*



Şəkil 4. *RFD-868x telemetriya modulu*

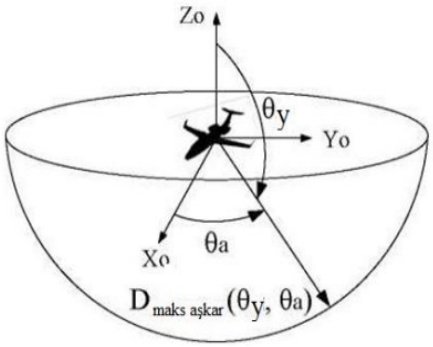
PUA-nın yeri, sürəti, hündürlüyü və batareya səviyyəsi kimi mühüm məlumatları 3DR radio telemetriya vasitəsi yerüstü idarəetmə məntəqəsinə ötürülür. Bu, operatorlara PUA-nın vəziyyətini izləmək və uçuş parametrlərini tənzimləmək imkanı verir. 3DR radio telemetriya modulu 433 MHz və ya 915 MHz tezliklərdə işləyir. O, iki müxtəlif moduldan ibarətdir: biri PUA-da, digəri isə yer stansiyasında və ya nəzarətçidə quraşdırılır. Bu modullar arasında məlumat əlaqəsi simsiz şəkildə həyata keçirilir və uçuş zamanı PUA tərəfindən toplanan məlumatların operatora çatdırılmasına imkan verir [10, 11].

RFD-868x uzun məsafəli simsiz məlumat rabitəsini təmin edən telemetriya moduludur. Xüsusilə pilotsuz uçuş aparatları dron və ya uzaqdan idarə olunan rabitə sistemləri kimi uzaqdan idarə olunan vasitələrdə məlumat ötürülməsi üçün istifadə olunur. Aşağıda şəkil 4-də RFD-868x telemetriya modulunun konstruksiyası göstərilmişdir [12, 13].

RFD 868x telemetriya modulunun xüsusiyyətlərinə aşağıdakılar daxil ola bilər:

1. Yüksək güc ötürülməsi sayəsində 40 kilometr və daha çox uzaqlıqda məlumat ötürülməsini təmin edir.
2. Yüksək məlumat sürəti: məlumatı yüksək sürətlə ötürə bilər. Bu modul 4.8 kbps ilə 100 kbps arasında dəyişən məlumat sürətlərini çatdıra bilir.
3. Fərqli tezlik seçimləri ola bilər. Məsələn, 868 mhz diapazonunda işləyə bilər.
4. Qabaqcıl rf texnologiyası ilə güclü və etibarlı əlaqə siqnalı təmin edə bilər.
5. Effektiv enerji istifadəsi ilə daha uzun batareya ömrü təklif edə bilər.

Belə telemetriya modulları çox vaxt uzun məsafəli məlumatların ötürülməsini tələb edən proqramlarda istifadə olunur [14, 15]. Bu, istənilən sinifli PUA-ları aşkar etmək üçün yerüstü müşahidə sisteminin maksimum aşkarlama diapazonunu qiymətləndirməyə imkan verir. PUA-nın koordinat sistemində maksimum aşkarlama diapazonu göstəricilərinin müəyyən edilməsi PUA-nın vizual aşkarlama diapazonunun maksimum aşkarlama göstəricisi qurulur. Onun ümumi görünüşü şəkil 5-də göstərilmişdir.



Şəkil 5. *PUA-nın maksimum aşkarlama diapazonu göstəricisinin ümumi görünüşü*

Telemetriya sistemlərinin araşdırılmasına riyazi modelləşdirmənin tətbiqi. Fərz edək ki, PUA-ların tətbiq etdiyi RFD 900X, 3DR Radio və RFD 868x telemetriya vasitələrinin taktiki-texniki xüsusiyyətləri nəzərə alınmaqla 10 km və 40 km məsafələri üçün uyğun olaraq effektivlik əmsallarını müəyyənləşdirilir. Effektivlik əmsalları üçün alınmış nəticələr cədvəl 1 və cədvəl 2-də verilmişdir. PUA telemetriya vasitələrinin 10 km və 40 km məsafələrindən asılı olaraq effektiv tətbiqini araşdırmaq üçün RFD 900X, 3DR Radio və RFD 868x telemetriya sistemləri birinci tərəf (oyunçu) və Bayraktar TB2 silahlı PUA, Hermes-900, Hermes-450, Heron, Searcher, Aerostar-BP, Orbiter-3B PUA, Harop, Orbiter-1K, SkyStriker, Antonov AN-2 sistemləri isə ikinci tərəf kimi (oyunçu) qəbul edək. Onda oyunlar nəzəriyyəsini bu məsələnin həllinə tətbiq etmək olar. Buna görə də [16, 17] - də verilmiş metodikadan istifadə edərək RFD 900X, 3DR Radio və RFD 868x telemetriya sistemlərinin Bayraktar TB2 silahlı PUA, Hermes-900, Hermes-450, Heron, Searcher, Aerostar-BP, Orbiter-3B PUA, Harop, Orbiter-1K, SkyStriker, Antonov AN-2 sistemlərində 10 km məsafəyə görə effektivlik əmsallarının cədvəl 1 – dəki qiymətləri əsasında səmərəli tətbiqinin aşağı

$$\alpha = \max_i \min_j a_{ij} = 0.72$$

və yuxarı

$$\beta = \min_j \max_i a_{ij} = 0.72$$

qiymətlərini alarıq. Buradan telemetriya sistemlərinin pilotsuz uçuş aparatlarının idarə olunmasına tətbiqinin effektivliyinin aşağı və yuxarı qiymətləri üçün $\alpha = \beta = 0.72$ alınır. Yəni $a_{1,10} = 0.72$. Beləliklə $a_{1,10}$ elementi effektivlik əmsalları matrisinin yəhərvari nöqtəsidir. Bu o deməkdir ki, bu nöqtəyə uyğun RFD 900X telemetriya sistemi və 10 km məsafə üçün SkyStriker üçün optimal strategiyadır. Bütün digər variantların analizi göstərir ki, bu RFD 900X telemetriya sistemindən yayınmaq əlverişli deyil. Yəni RFD 900X telemetriya sistemi digərləri ilə müqayisədə yaxın məsafədə ilk növbədə istifadə olunan səmərəli telemetriya sistemi hesab olunur.

40 km məsafəyə görə effektivlik əmsallarının cədvəl 2–dəki qiymətləri əsasında RFD 900X, 3DR Radio və RFD 868x telemetriya sistemlərinin Bayraktar TB2 silahlı PUA, Hermes-900, Hermes-450, Heron, Searcher, Aerostar-BP, Orbiter-3B PUA, Harop, Orbiter-1K, SkyStriker, Antonov AN-2 sistemlərində səmərəli tətbiqinin aşağı qiyməti

$$\alpha = \max_i \min_j a_{ij} = 0{,}72$$

və yuxarı

$$\beta = \min_j \max_i a_{ij} = 0{,}78.$$

qiymətləri alınır.

Yəni $\alpha \neq \beta$ bu halda RFD 900X, 3DR Radio və RFD 868x telemetriya vasitələrinin 40 km məsafəyə görə effektiv və ya səmərəli tətbiqini bilmək üçün bu vastələrininin istifadə olunma ehtimallarının qiymətlərini taparaq müəyyənləşdirmək olar. Bunun üçün effektivlik əmsallarının cədvəl 2–dəki qiymətləri əsasında qurulmuş aşağıdakı xətti proqramlaşdırma məsələsini həll etmək lazımdır:

Məqsəd funksiyası:

$$f(x) = x_1 + x_2 + x_3 \to min \tag{1}$$

Məhdudiyyət şərtləri:

$$\begin{cases} 0.87x_1 + 0.67x_2 + 0.79x_3 \geq 1, \\ 0.88x_1 + 0.56x_2 + 0.82x_3 \geq 1, \\ 0.84x_1 + 0.63x_2 + 0.94x_3 \geq 1 \\ 0.89x_1 + 0.61x_2 + 0.96x_3 \geq 1 \\ 0.78x_1 + 0.67x_2 + 0.98x_3 \geq 1 \\ 0.79x_1 + 0.59x_2 + 0.92x_3 \geq 1 \\ 0.73x_1 + 0.52x_2 + 0.88x_3 \geq 1 \\ 0.77x_1 + 0.53x_2 + 0.81x_3 \geq 1 \\ 0.76x_1 + 0.64x_2 + 0.84x_3 \geq 1 \\ 0.71x_1 + 0.58x_2 + 0.78x_3 \geq 1 \\ 0.91x_1 + 0.69x_2 + 0.72x_3 \geq 1 \end{cases} \tag{2}$$

$$x_1 \geq 0,\ x_2 \geq 0,\ x_3 \geq 0 \tag{3}$$

$$x_i = p_i.v,\ p_i = \frac{x_i}{v} \text{ və } p_i \geq 0,\ i = 1,2,3,\ v = \frac{1}{fmin(x)},\ v > 0. \tag{4}$$

Burada x_i – yuxarıdakı kimi işarə edilib,

p_1 - RFD 900X, p_2 - 3DR Radio və p_3 - RFD 868x telemetriya sistemlərinin tətbiq olunma ehtimalları,

$fmin(x)$ - $f(x)$ funksiyasının minimum qiyməti,

v - RFD 900X, 3DR Radio və RFD 868x telemetriya sistemlərinin tətbiq olunmasının effektiv qiymətidir.

Beləliklə RFD 900X, 3DR Radio və RFD 868x telemetriya sistemlərinin effektiv tətbiqi $p_i \geq 0,\ i = 1, 2, 3$ kəmiyyətlərinin tapılması əsasında aydınlaşdırmaq olar.

(1)-(3) məsələsini Simpleks metodu ilə həll edərək aşağıdakı nəticəni alırıq [16, 17]:

$$x_1 = 0.302, \quad x_2 = 0, \quad x_3 = 1.007, fmin(x) = 1.309, \quad v = 0.760$$

$$p_1 = 0.231, \quad p_2 = 0, \quad p_3 = 0.769.$$

Alınmış nəticələr göstərir ki, RFD 868x telemetriya sisteminin tətbiq olunma ehtimalı 0.769 - dir. Bu o deməkdir ki, RFD 868x telemetriya sistemi uzaq məsafədə idarəetmə sistemi üçün istifadə olunması məqsədəuyğundur. Həmçinin istifadə olunma ehtimalı 0.231 olan RFD 900X telemetriya sistemi də uzaq məsafədə idarəetmə sistemi üçün istifadə oluna bilər.

Cədvəl 1

Telemetriya sistemlərinin 10 km məsafədən asılı olaraq effektivlik əmsalları

Sıra №-si	Tele-metriya sistem-ləri	Pilotsuz Uçuş Aparatları											$\alpha_i = \min_j a$
		Bayraktar TB2	Her-mes-900	Her-mes-450	Heron	Searcher	Aero-star-BP	Orbiter-3B	Harop	Orbiter-1K	Sky Striker	Anto-nov AN-2	
1	RFD-900X	0.98	0.87	0.79	0.93	0.94	0.81	0.88	0.77	0.74	0.72	0.82	0.72
2	3DR Radio	0.77	0.67	0.63	0.53	0.71	0.51	0.61	0.55	0.47	0.45	0.56	0.45
3	RFD-868x	0.89	0.83	0.81	0.88	0.79	0.69	0.91	0.88	0.71	0.69	0.86	0.69
$\beta_j = \max_i a_{ij}$		0.98	0.87	0.81	0.93	0.94	0.81	0.91	0.88	0.74	0.72	0.86	$\alpha = \beta = 0.72$

Cədvəl 2

Telemetriya sistemlərinin 40 km məsafədən asılı olaraq effektivlik əmsalları

Sıra №-si	Tele-metriya sistem-ləri	Pilotsuz Uçuş Aparatları											$\alpha_i = \min_j a_i$
		Bay-raktar TB2	Her-mes-900	Her-mes-450	He-ron	Sear-cher	Aero-star-BP	Orbi-ter-3B	Ha-rop	Orbiter-1K	Sky Striker	Anto nov AN-2	
1	RFD-900X	0.87	0.88	0.84	0.89	0.78	0.79	0.73	0.77	0.76	0.71	0.91	0.71
2	3DR Radio	0.67	0.56	0.63	0.61	0.67	0.59	0.52	0.53	0.64	0.58	0.69	0.52
3	RFD-868x	0.79	0.82	0.94	0.96	0.98	0.92	0.88	0.81	0.84	0.78	0.72	0.72
$\beta_j = \max_i a_{ij}$		0.87	0.88	0.94	0.96	0.98	0.92	0.88	0.81	0.84	0.78	0.91	

Nəticə. Pilotsuz uçuş aparatlarının II Qarabağ müharibəsində rolu haqqında məlumatlar əsasında RFD 900X, 3DR Radio və RFD 868x telemetriya sistemləri araşdırılmış, texniki xüsusiyyətləri və telemetriya sistemlərinin PUA-lar ilə əlaqə sxemi müəyyənləşdirilmişdir.

Pilotsuz uçuş aparatlarinin telemetriya sistemlərinin araşdirilmasi yaxın və uzaq məsafələr nəzərə alınmaqla oyunlar nəzəriyyəsi istifadə edərək xətti riyazi proqramlaşdırma məsələsinə gətirilməklə Simpleks üsulla həll etmək olar. Xətti riyazi proqramlaşdırma məsələsinin həlli göstərir ki, səmərəli telemetriya sistemi olaraq yüngül çəkili yaxın məsafələr üçün RFD-900X və uzaq məsafələrdə idarəetmə sistemi üçün isə RFD 868x telemetriya sistemlərinin PUA-larda istifadə olunması məqsədə uyğundur.

Ədəbiyyat

1. Həşimov, E.Q., Məhərrəmov, R.R., Hüseynov, B.S. Azərbaycan Ordusunda pilotsuz uçuş aparatlarının tətbiqi xüsusiyyətləri // – Bakı: Hərbi bilik, – 2021, № 2 (aprel-iyun). – s. 23-28.
2. Hashimov, E.G., Hüseynov, B.S. Müasir PUA-ların döyüş imkanları və tətbiqinin bəzi aspektləri // – Bakı: Milli təhlükəsizlik və hərbi elmlər, – 2021. №3 (7). – s. 14-24.
3. Егурнов, В.О., Ильин, В.В., Некрасов, М.И., Сосунов, В.Г. Анализ способов противодействия беспилотным летательным аппаратам для обеспечения безопасности защищаемых объектов // Вопросы оборонной техники. Серия 16: Технические средства противодействия терроризму. –2018. № 1-2 (115-116). –с. 51-58.
4. Həşimov, E.Q. Xudeynatov, E. Pilotsuz uçuş aparatlarının inkişaf tendensiyası və müasir müharibələrdə tətbiqi məsələləri. // The proceedings of the international scientific-practical conference dedicated to the anniversary of the victory achieved in the 44-day patriotic war. October 21– 22, –2021. –s. 36-38.
5. Филин, Е.Д., Киричек, Р.В. Методы обнаружения малоразмерных беспилотных летательных аппаратов на основе анализа электромагнитного спектра. Информационные технологии и телекоммуникации СПбГУТ, – 2018, том 6, № 2. – с. 87-93.
6. Абрамов, С.К., Абрамова, В.В., Абрамов, К.Д., Лукин, В.В., Бондарь, В.В., Калужинов, И.В. Методика определения поля обнаружения беспилотных летательных аппаратов наземным наблюдателем. Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е.Жуковского «ХАИ», Украина, Радіоелектронні і компютерні системи, –2020, № 3(95). – с. 35-42.
7. Карташов, В.М. Особенности обнаружения и распознавания малых беспилотных летательных аппаратов // Радиотехника, – 2018. №195, – с. 9.
8. Куприянов, А.И. Радиоэлектронная борьба. Основы теории. / А.И.Куприянов, Л.Н.Шустов – Москва: Вузовская книга, – 2011. – 800 с.
9. Зарубежные радиоэлектронные средства / Под ред. Ю.М.Перунова, В.В.Мацукевич, А.А.Васильев – Москва: Радиотехника, – В 4-х книгах. Кн. 2: Системы радиоэлектронной борьбы. – 2010. – 352 с.
10. Макаренко, С.И. Анализ средств и способов противодействия беспилотным летательным аппаратам. Функциональное поражение сверхвысокочастотными и лазерным излучением // – Санкт-Петербург: Системы управления, связи и безопасности, –2020. №3, – с. 122-157.
11. Макаренко, С.И. Информационное противоборство и радиоэлектронная борьба в сетецентрических войнах начала XXI века. Монография. / С.И.Макаренко. – Санкт-Петербург: Наукоемкие технологии, – 2017. – 546 с.
12. Степан Мазур. Начало заката эры беспилотных летательных аппаратов: [Elektron resurs] / URL:http://vpk.name/news/124839_2015_nachalo_zakata_eryi_bespilotnyih_letatelnyih_apparatov.html.
13. Genç, Y.M., Erciyes, E. İnsansız Hava Araçları. Tehditleri ve Güvenlik Yönetimi. // Türkiye İnsansız Hava Araçları Dergisi, – 2020. №2(2), – s. 36-42.
14. Həşimov, E.Q., Xudeynatov, E.K. Müasir müharibələrdə PUA sistemlərinin tətbiqi effektivliyinin qiymətləndirilməsi // – Bakı: Hərbi bilik, – 2022, №1. – s.11-17.
15. Филин, Е.Д., Киричек, Р.В. Методы обнаружения малоразмерных беспилотных летательных аппаратов на основе анализа электромагнитного спектра. // Информационные технологии и телекоммуникации, – 2018. т.6. №2, – с. 87-93.
16. Həsənov, A.Q. Hərbi sistemlərin riyazi modelləşdirilməsi məsələlərinin həlli. Dərs vəsaiti. – Bakı: Hərbi Nəşriyyat, –2018, –120 s.
17. Həşimov, E.Q., Talıbov, Ə.M., Həsənov, A.Q. Hərbi sistemlərin riyazi modelləşdirilməsi. Dərs vəsaiti. –Bakı: Hərbi nəşriyyat, –2018. –266 s.

Məqalə qəbul olunub: 22.10.24
Tövsiyə edib: prof. Həsənov V.H.

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, 12 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 çap 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 12, 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 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 12, 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 печатюм и в электронной версии.

Yığılmağa verilib: 11.12.24. Çapa imzalanıb: 25.12.24.
Format 60x84 $^{1}/_{8}$. F.ç.v.25,5. Sifarış №23
Kağız əla növ. Tiraj 60 nüsxə. Qiyməti müqavilə ilə.

"Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası" PHŞ-nin mətbəəsi