“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

№1

BAKI-2025

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 elmləri 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, 2025

MÜNDƏRİCAT

GƏMİQAYIRMA VƏ GƏMİ TƏMİRİ TEXNOLOGİYASI

Садыгов В.Б., Оруджев Ф.С., Мамедов Е.Д., Мурсалзаде Э.Х. Формирование главных размерений судна обеспечения платформ……... 7
Ağayev A.R. RPİ torna əməliyyatı üçün hissələrin 3D modelləşdirilməsi və idarəetmə proqramlarının işlənməsində süni intellektin tətbiqi 23
Abdullayev O.M. Risk analysis in the initial design phase of subsea construction vessels..... 30
Богатенков С.А., Сазонова Н.С., Юсубов Н.Д., Аббасова Х.М., Дадашов Р.Е. Применение искусственного интеллекта для станков с числовым программным управлением .. 38
Богатенков С.А., Юсубов Н.Д., Богатенков Д.С., Обухов С.Н., Аббасова Х.М. Безопасность предприятия в информационном обществе: ИТ-проекты на платформе 1С..... 42
Əziz S.Ş., Abbasov E.O, Kəlbiyev F.M., Hüseynzadə E.M. Honlama prosesində səth keyfiyyətinin müasir texnoloji üsullarla yüksəldilməsi..... 53
Xankişiyev İ.A., Paşazadə S.Q., Həmzəyev X.Q. Additiv texnologiya ilə çap edilmiş polimer materiallarin müxtəlif istismar rejimlərində mexaniki xassələrinin tədqiqi..... 60
İsmayılov N.Ş., Kəlbiyev F.M., Babayev L.V., Mənsimov K.T. Polimer kompozit materialların strukturu və mexaniki sınaqlarının nəticələri..... 67
Гафаров А.М., Ханкишиев И.А., Гафаров В.А. Исследование процесса ротационного хонингования при обработке деталей судовых машин и механизмов..... 72
Məmmədov A.T., Məcnunov E.E. Bimetal sürtünmə cütləri üçün antifriksion materialın seçiminin əsaslandırılması..... 77
Yusubov N.D., Məmmədov Ə.S., Xankişiyev İ.A., Abbasova H.M., Dadaşov R.Y., Hüseynov Y.E. RPİ dəzgahlarında hissələrin səmərəli emal yollarının araşdırılması..... 82

GƏMİÇİLİK VƏ SU NƏQLİYYATININ İSTİSMARI

Khalilov O.E. From classroom to carbon-neutral and autonomous vessels: Preparing Azerbaijan's maritime workforce for next-generation shipping…… 91
Гулиев Н.Н. Оценка экономических преимуществ внедрения системы динамического позиционирования (DP) на судах специализированного флота…… 97
Nosov P.S. Development of an expert system for evaluating vessel movement trajectories during simulator training of navigation cadets…….. 106
Oleksii Reva, Volodymyr Kamyshyn, Pavlo Mamenko, Konstiantyn Kyrychenko, Larysa Saganovska. Theoretical substitution of the method for determining the integrative indicator of indisciplinity of cadete-seamen…… 112
Rüstəmov Z.Ə. Aktiv və passiv təhlükəsizlik..... 122
Temirbulatov E.M., Abbasov E.O. Neft və qaz yataqlarının təhlükəsizliyinə xidmət göstərən müasir gəmilər..... 129

GƏMİÇİLİK TEXNİKASI

Fərhadov V.Q., Mirzəquliyev R.E., Qocayeva A.B., Allahverdiyeva A.T. İdarə təsiri məhdud olan sistemin robast xüsusiyyətlərinin tədqiqi..... 135
Əliyev N.S. Süni soyuqluq akkumulyatorlu gəmi soyuducu qurğusunun iş rejimlərinin optimallaşdırılması..... 142
İsmayılov A.Ş. Çoxyanacaqlı dizel mühərriklərinin gəmilərdə tətbiq edilməsinin problemləri və perspektivləri..... 149
Muradəliyev A.Z., Hüseynov K.Ş. Gəmi elektrik təchizat sistemində günəş enerjisinin tətbiqi imkanları..... 156
Sultanov E.F., Səlimova A.K., Məmmədov E.M. İxtisaslaşdırılmış gəmilərdə elektrik avar qurğularının tətbiqinin məqsədəuyğunluğunun analizi..... 165
Sultanov E.F., Məmmədov E.M., İsmayılov S.S. Gəmi köməkçi sükan qurğularının elektrik mühərrikinin tezlik çeviricisi ilə idarə olunmasının üstünlükləri..... 171
Sultanov E.F., Bayramova İ.P., Həsənov E.A. Gəmi göyərtə mexanizmlərinin elektrik intiqallarında tətbiq olunan asinxron mühərriklərin gərginliyinin tənzimlənməsinin təhlili..... 181

GƏMİÇİLİKDƏ TƏBİƏT ELMLƏRİNİN PROBLEMLƏRİ

Əhmədova R.H., Muxtarova G.S. Nanohissəciklərin alınmasında zol-gel texnologiyası yanaşması..... 188
Həsənov V.H., Əliyev Ə.Ş., İmanova A.Y. Gəminin saya oturmasının qarşısını almaq üçün görülən tədbirlər..... 191
Həsənov V.H., İmanov E.A., Süleymanov T.A., Həsənova L.A. İntellektual materialların müasir uçan aparatlarda tətbiqi..... 198
Həziyev Ə.R., Həsənov V.H, Bayramova F.İ. Vakuumda duzsuzlaşdırmanın istilik mübadiləsi parametrlərinə təsiri..... 204
Ибрагимли Э.Н. Сравнение эффективности маслоохладителя судовых теплообменных аппаратов с сегментными и винтовыми перегородками..... 209

CONTENT

SHIPBUILDING AND SHIP REPAIR TECHNOLOGY

Sadigov V.B., Orujov F.S., Mamedov E.D., Mursalzade E.H. Formation of the main dimensions of the platform support vessel 7
Aghayev A.R. Application of artificial intelligence in the development of 3D modeling of parts and control programs for RPI turning operations..... 23
Abdullayev O.M. Risk analysis in the initial design phase of subsea construction vessels..... 30
Bogatenkov S.A., Sazonova N.S., Yusubov N.D., Abbasova Kh.M., Dadashov P.E. Application of artificial intelligence for numerically controlled machines..... 38
Bogatenkov S.A., Yusubov N.D., Bogatenkov D.S., Obukhov S.N., Abbasova Kh.M. Enterprise security in the information society: IT-projects on the 1C platform..... 42
Aziz S.Sh., Abbasov E.O, Kalbiyev F.M., Huseynzade E.M. Improving the surface quality in the honing process by modern technological methods..... 53
Khankishiyev I.A., Pashazade S.Q., Hamzayev Kh.Q. Investigation of mechanical properties of polymer materials printed by additive technology in various operating modes..... 60
Ismayilov N.Sh., Kalbiyev F.M., Babayev L.V., Mansimov K.T. Structure of polymer composite materials and results of mechanical tests..... 67
Gafarov A.M., Khankishiyev I.A., Gafarov V.A. Investigation of the rotational honing process in processing parts of marine machinery and mechanisms..... 72
Mammadov A.T., Majnunov E.E. Justification of the choice of antifriction material for bimetallic friction pairs..... 77
Yusubov N.D., Mammadov A.S., Khankishiyev I.A., Abbasova H.M., Dadashov R.Y., Huseynov Y.E. Investigation of efficient ways of processing parts on RPI machines..... 82

SHIPPING AND EXPLOITATION OF WATER TRANSPORT

Khalilov O.E. From classroom to carbon-neutral and autonomous vessels: Preparing Azerbaijan's maritime workforce for next-generation shipping..... 91
Guliyev N.N. Evaluation of economic benefits of implementing a dynamic positioning (DP) system on specialized fleet vessels..... 97
Nosov P.S. Development of an expert system for evaluating vessel movement trajectories during simulator training of navigation cadets..... 106
Oleksii Reva, Volodymyr Kamyshyn, Pavlo Mamenko, Konstiantyn Kyrychenko, Larysa Saganovska. Theoretical substitution of the method for determining the integrative indicator of indisciplinity of cadete-seamen..... 112
Rustamov Z.A. Active and passive safety..... 122
Temirbulatov E.M., Abbasov E.O. Modern ships providing security services for oil and gas fields..... 129

SHIPPING TECHNIQUE

Farhadov V.Q., Mirzaguliyev R.E., Gojayeva A.B., Allahverdiyeva A.T. Investigation of robust features of a system with limited control impact..... 135
Aliyev N.S. Optimization of operating modes of a ship refrigeration unit with an artificial cold accumulator..... 142
Ismayilov A.Sh. Problems and prospects of applying multi-fuel diesel engines on ships..... 149
Muradaliyev A.Z., Huseynov K.Sh. Possibilities of applying solar energy in ship electrical supply system..... 156
Sultanov E.F., Salimova A.K., Mammadov E.M. Analysis of the feasibility of using electric rowing devices on specialized vessels…….. 165
Sultanov E.F., Mammadov E.M., Ismayilov S.S. Advantages of controlling ship auxiliary steering devices with a frequency converter of an electric engine..... 171
Sultanov E.F., Bayramova I.P., Hasanov E.A. Analysis of the voltage regulation of asynchronous motors used in electrical drives of ship deck mechanisms..... 181

NATURAL SCIENCE PROBLEMS IN NAVIGATION

Ahmadova R.H., Mukhtarova G.S. Sol-gel technology approach in the preparation of nanoparticles..... 188
Hasanov V.H., Aliyev A.Sh., Imanova A.Y. Measures taken to prevent the ship from grounding 191
Hasanov V.H., Imanov E.A., Suleymanov T.A., Hasanova L.A. Application of intellectual materials in modern flying apparatuses..... 198
Haziyev A.R., Hasanov V.H., Bayramova F.I. Influence of vacuum desalination on heat exchange parameters..... 204
Ibragimli E.N. Comparison of the efficiency of oil coolers of ship heat exchangers with segments and screw partitions..... 209

GƏMİQAYIRMA VƏ GƏMİ TƏMİRİ TEXNOLOGİYASI

УДК 629.5

ФОРМИРОВАНИЕ ГЛАВНЫХ РАЗМЕРЕНИЙ СУДНА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПЛАТФОРМ

[1]Садыгов В.Б., [1]Оруджев Ф.С., [1]Мамедов Е.Д., [2]Мурсалзаде Э.Х.

[1] ПЮЛ "Азербайджанская Государственная Морская Академия"
AZ1000, г. Баку, ул. З. Алиевой, 18
[2]«ASCO Инжиниринг»
г. Баку, ул. Зия Юсифзаде, 48
E-mail: vuqar.mirsadiq@asco.az, fazil.orujov@asco.az, elxan.mammadov@asco.az, elmar.mursalzada@asco.az

Xülasə. *Bu işdə verilənlər bazasından istifadə edərək platformaya dəstək gəmilərinin layihələndirilməsi alqoritmi hazırlanmışdır. Dizayn alqoritmi əsas mühərrikin ilkin effektiv gücünün alınması nəticəsində elektrik stansiyasının ölçülərini, gəminin funksional və texnoloji sistemlərini formalaşdırmağa və platforma dayaq gəmisinin əsas ölçülərini formalaşdırmağa imkan verir. Elektrik stansiyasının ölçülərinin və platforma dayaq gəmisinin əsas ölçülərinin formalaşması ilə bağlı tədqiqatlar nomoqramma yaratmağa imkan verdi. Nomogramın mühüm elementi gəminin əsas ölçülərinin hesablanmasının optimallaşdırılması prosesidir. Optimallaşdırma meyarlarını və dəyişən elementləri seçməklə əsas ölçülərin optimallaşdırılmasının riyazi modeli formalaşacaq.*

Abstract. *In this work, an algorithm for designing platform support vessels using a database is formed. The design algorithm makes it possible to form the dimensions of the power plant, functional and technological systems of the vessel and the formation of the main dimensions of the platform support vessel as a result of obtaining the preliminary effective power of the main engine. Research related to the formation of the dimensions of the power plant and the main dimensions of the platform support vessel made it possible to create a nomogram. An important element of the nomogram is the process of optimizing the calculation of the main dimensions of the vessel. Having selected the optimization criteria and variable elements, a mathematical model for optimizing the main dimensions will be formed.*

Аннотация. *В данной работе сформирован алгоритм проектирования судов обеспечения платформ с использованием базы данных. Алгоритм проектирования дает возможность формирование габаритов энергетической установки, функциональных и технологических систем судна и формирование главных размерений судна обеспечения платформ как следствие получения предварительной эффективной мощности главного двигателя. Исследования, связанные с формированием габаритов энергетической установки и главных размерений судна обеспечения платформ, дали возможность создать номограмму. Важным элементом номограммы, является процесс оптимизации расчета главных размерений судна. Выбрав критерии оптимизации и варьируемые элементы, сформируется математический модель оптимизации главных размерений.*

Açar sözlər: *platforma təchizatı gəmisi, baş mühərrikin gücü, verilənlər bazası, alqoritm, optimallaşdırma meyarları*

Key words: *platform supply vessel, main engine power, database, algorithm, optimization criteria*

Ключевые слова: *судно снабжения платформ, мощность главного двигателя, база данных, алгоритм, критерии оптимизации*

Введение. Проектирования судов обеспечения платформ является многокомпонентный задачей, служащей созданию нового качественного, безопасного и надежного в эксплуатации судна, способного выполнять возложенные на него технологические функции. Большинство новых источниках были описаны отраженные методы формирования компоновки судна [4, 6, 7], оценка весовой нагрузки [5, 8], расчет и выбор главных размерений [1, 2] с учетом критериев эффективности [2, 9, 10] в основном для транспортных судов. В настоящей работе рассмотрены формирование габаритов энергетической установки и главных размерений с использованием базы данных близких по назначению судов. Главные размерения проектируемого судна предполагается формировать по номограмме, описанный с учетом выбранных критериев оптимизации. При формировании главные размерения проектируемого судна обеспечения платформ дает возможность в дальнейшие компоновки с разработкой схемы зонирования помещений, формы обводов корпуса, с проведением анализа скорости проектируемого судна и поперечной метацентрической высоты, а также оценки весовой нагрузки с использованием базы данных близких по назначению судов.

Процесс проектирования судов обеспечения платформ с использованием базы данных однотипных судов и разработанных графиков соотношений (площадь грузовой палубы, водоизмещение, длина, ширина и другие параметры) дает возможность эффективно определять габариты энергетической установки и главные размерения судна. Рассмотрим, как эти методы помогают в оптимизации проектирования.

Энергетическая установка судна (двигатели, генераторы, топливные установки и другие системы) должна быть спроектирована таким образом, чтобы обеспечить необходимую мощность для всех судовых систем и не занимать избыточного пространства. Это требует точного определения доступных размеров для установки, что напрямую связано с размерами судна.

Знание соотношений между различными параметрами (рис. 1 – 18) судна помогает точно подобрать размеры и мощность энергетической установки, обеспечивая при этом минимальное вмешательство в другие важные характеристики судна

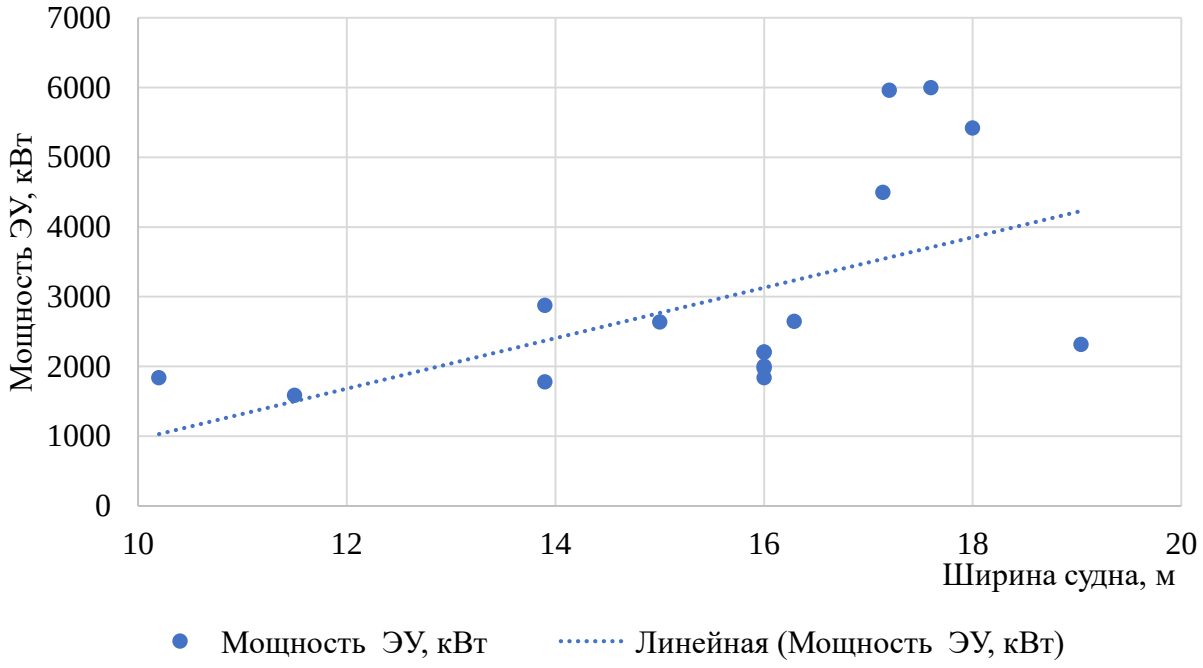


Рис. 1. *Соотношение мощности ЭУ и ширины судна*

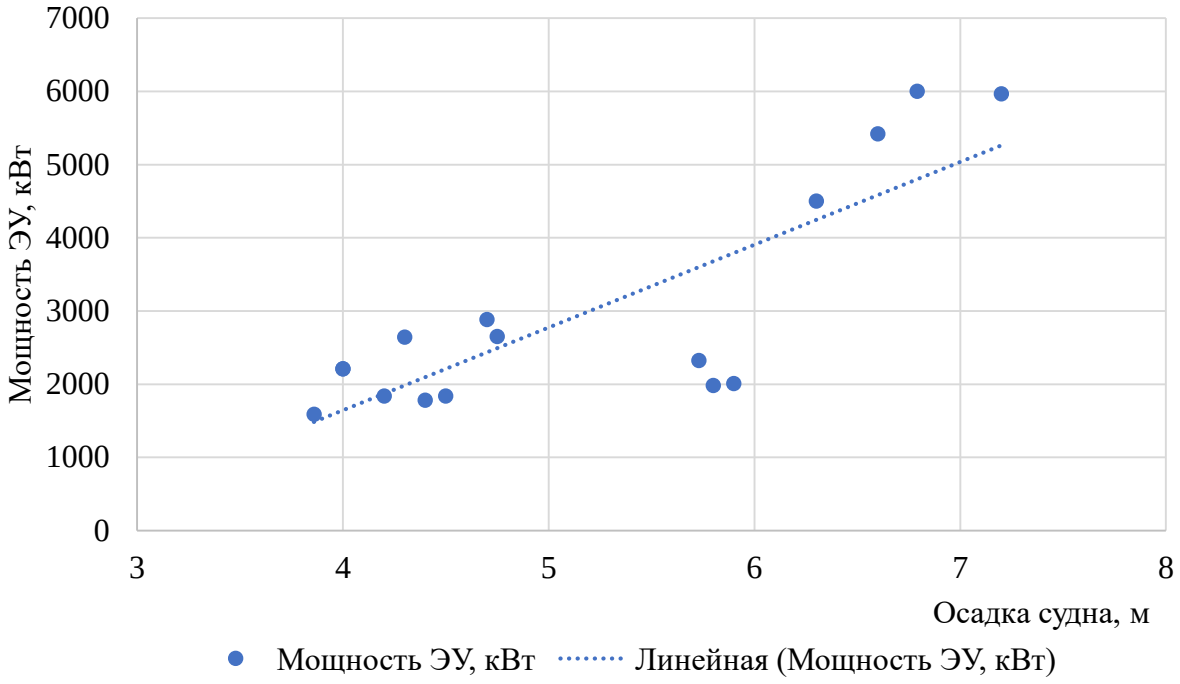


Рис. 2. *Соотношение мощности ЭУ и осадки судна*

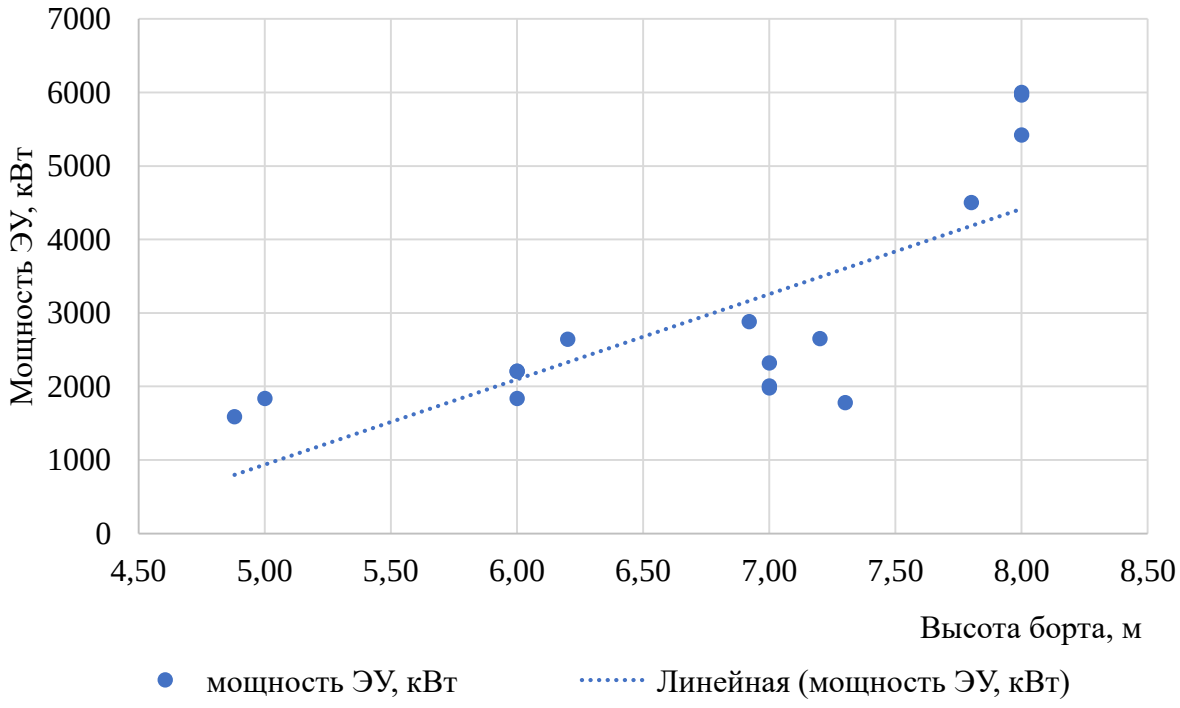


Рис. 3. *Соотношение мощности ЭУ и высоты борта судна*

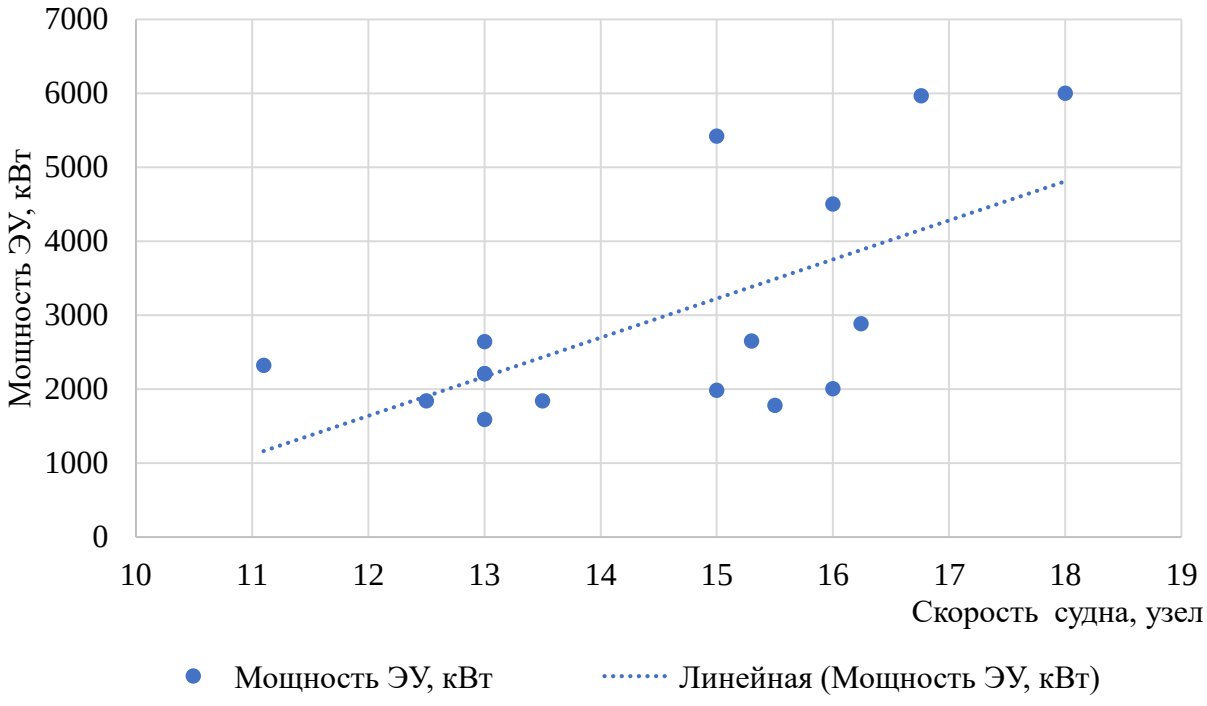


Рис. 4. *Соотношение мощности ЭУ и скорости судна*

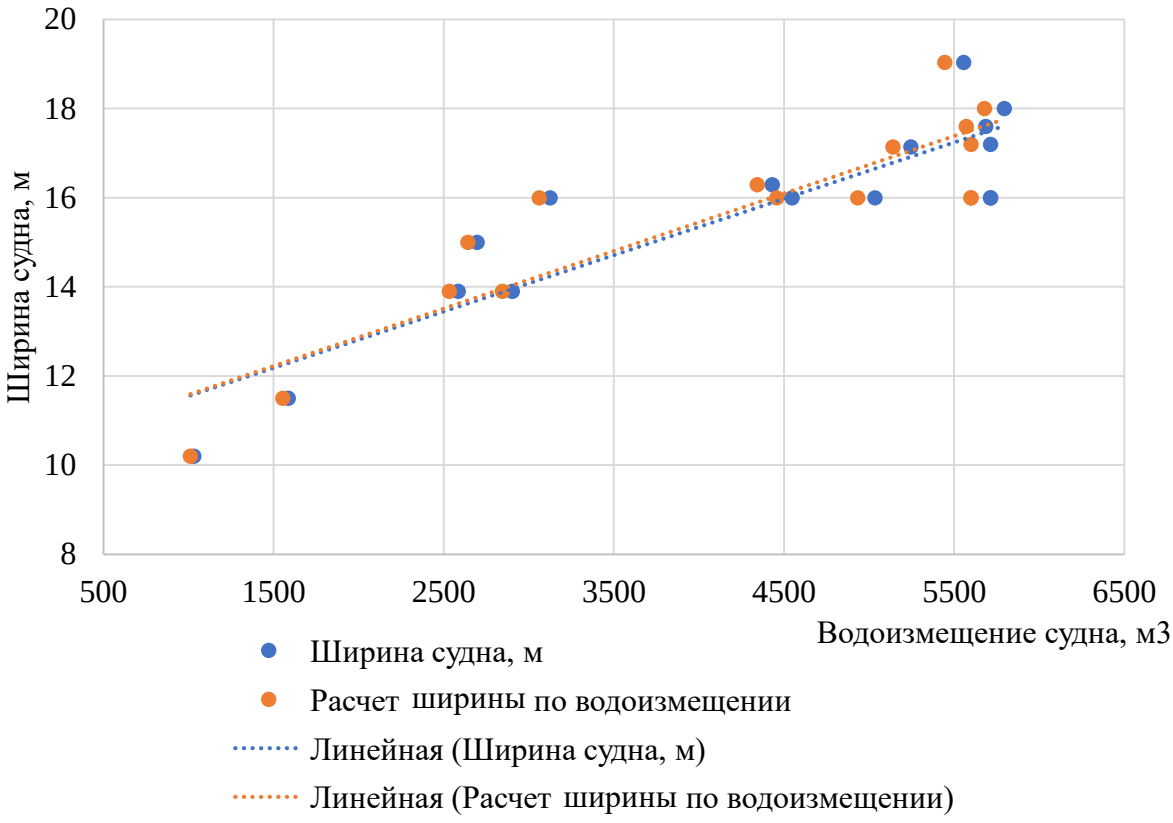


Рис. 5. *Соотношение мощности ЭУ и водоизмещения судна*

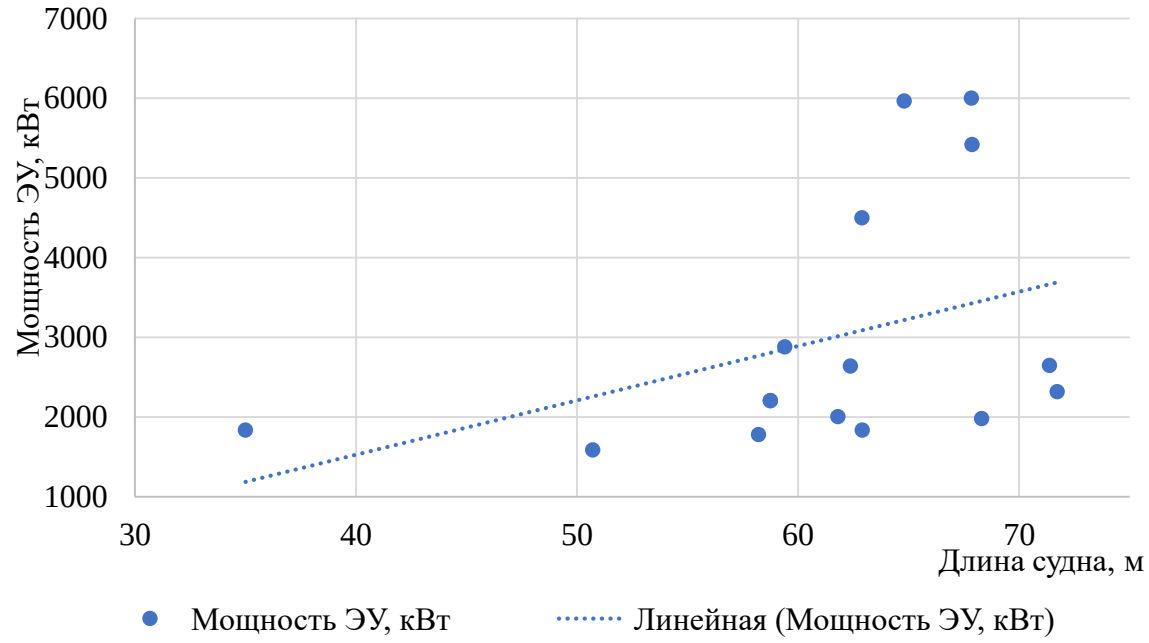


Рис. 6. *Соотношение мощности ЭУ и длины судна*

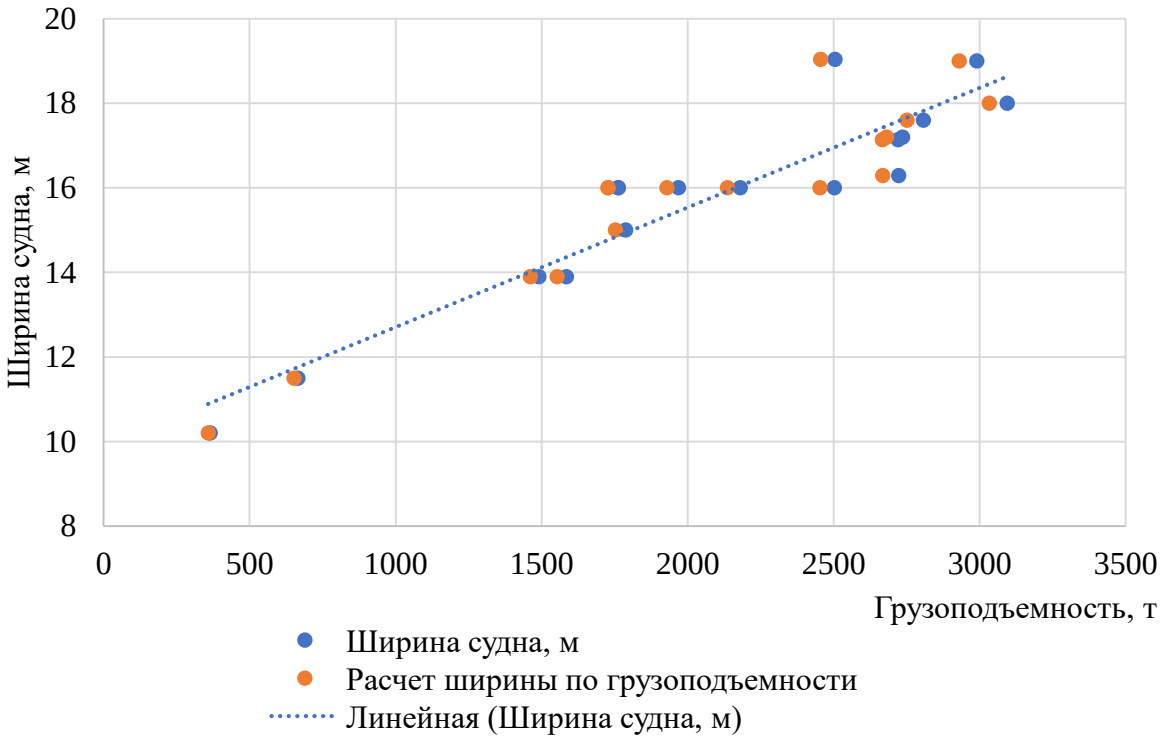


Рис. 7. *Соотношение мощности ЭУ и грузоподъемности судна*

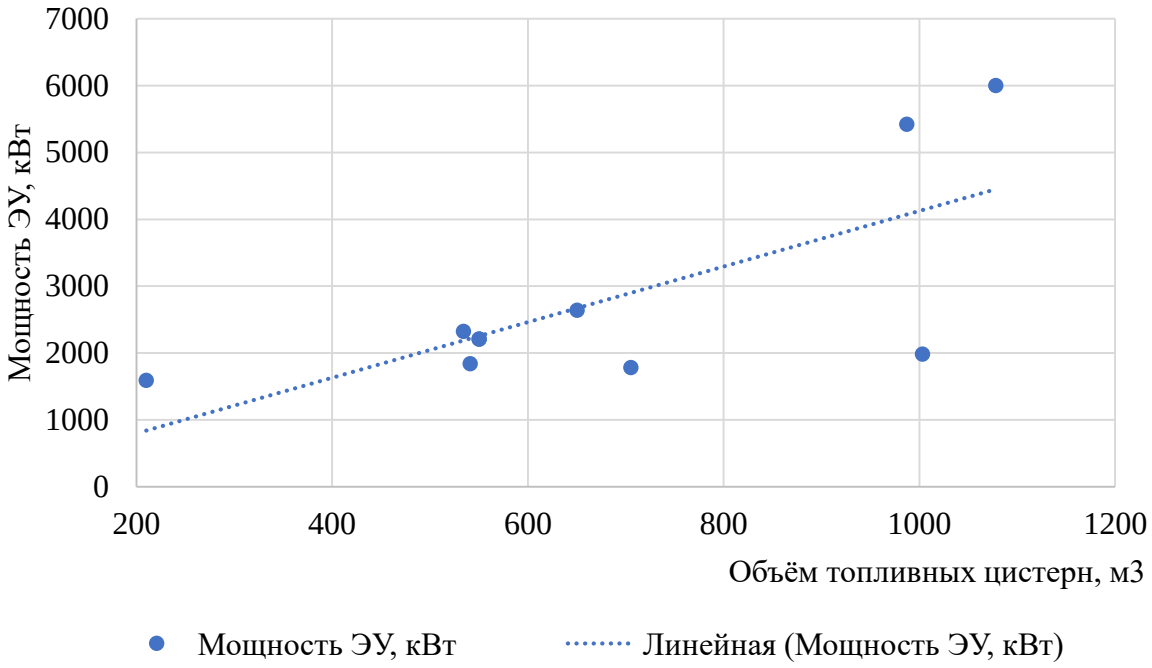


Рис. 8. *Соотношение мощности ЭУ и объема топливных цистерн*

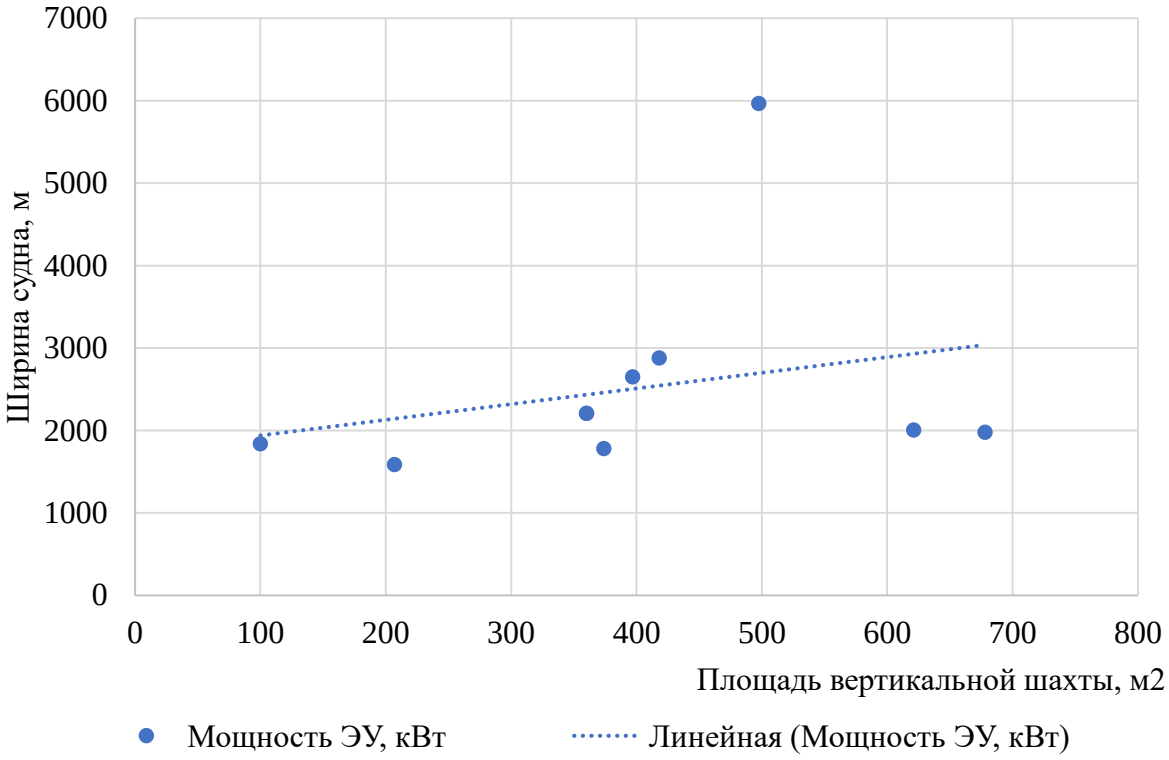


Рис. 9. *Соотношение мощности ЭУ и площади вертикальной шахты*

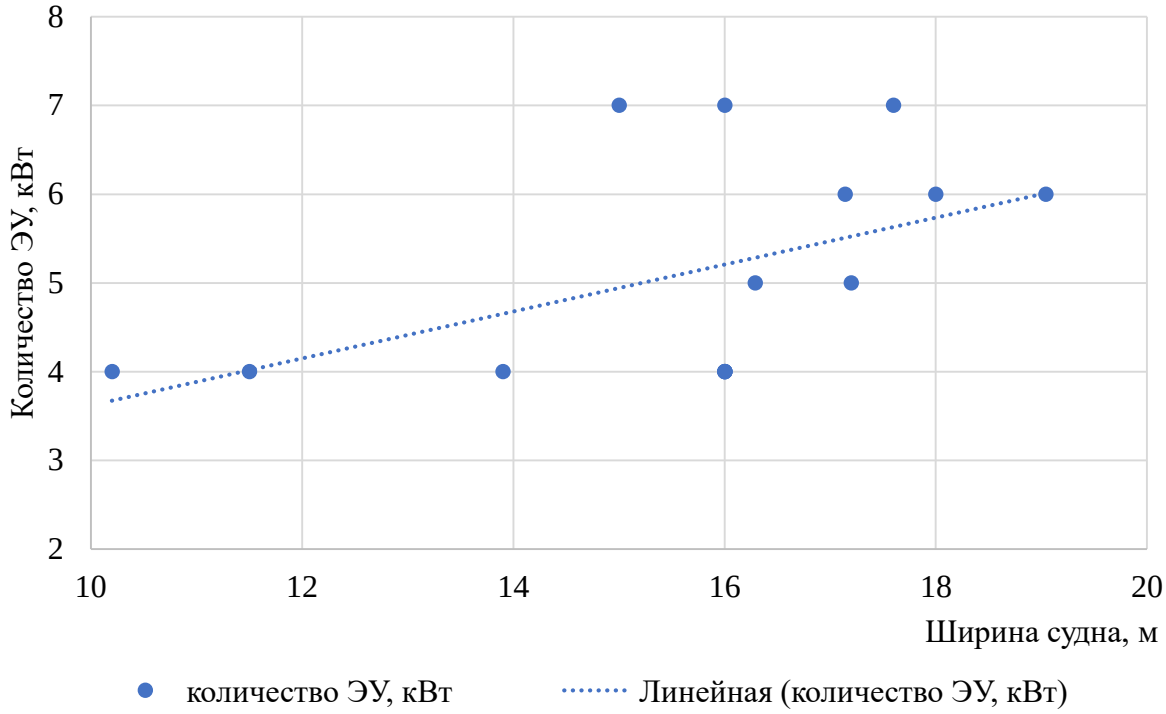


Рис. 10. *Соотношение количества ЭУ и ширины судна*

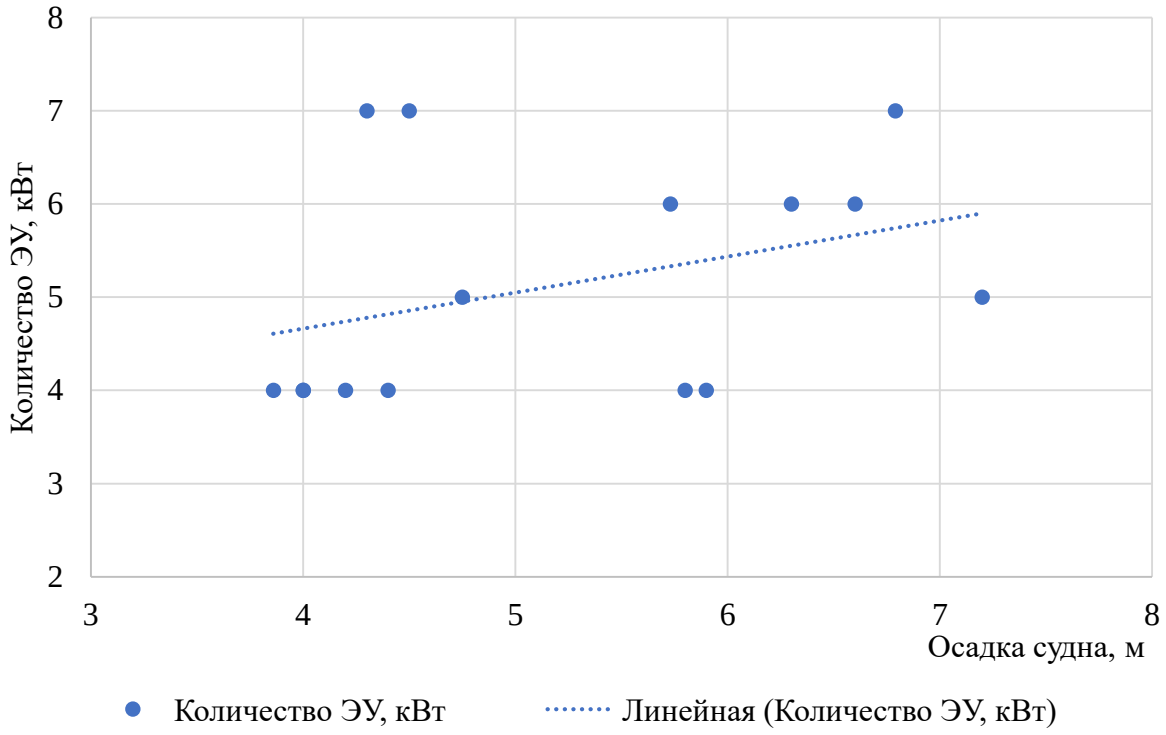


Рис. 11. *Соотношение количества ЭУ и осадки судна*

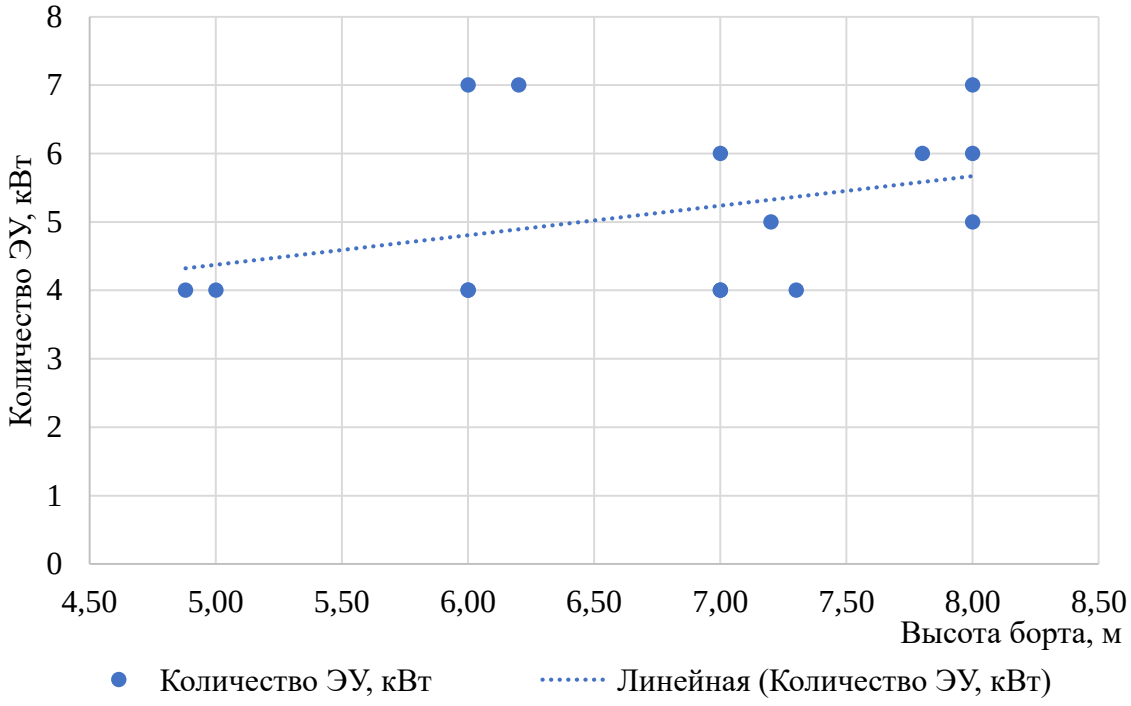


Рис. 12. *Соотношение количества ЭУ и высоты борта судна*

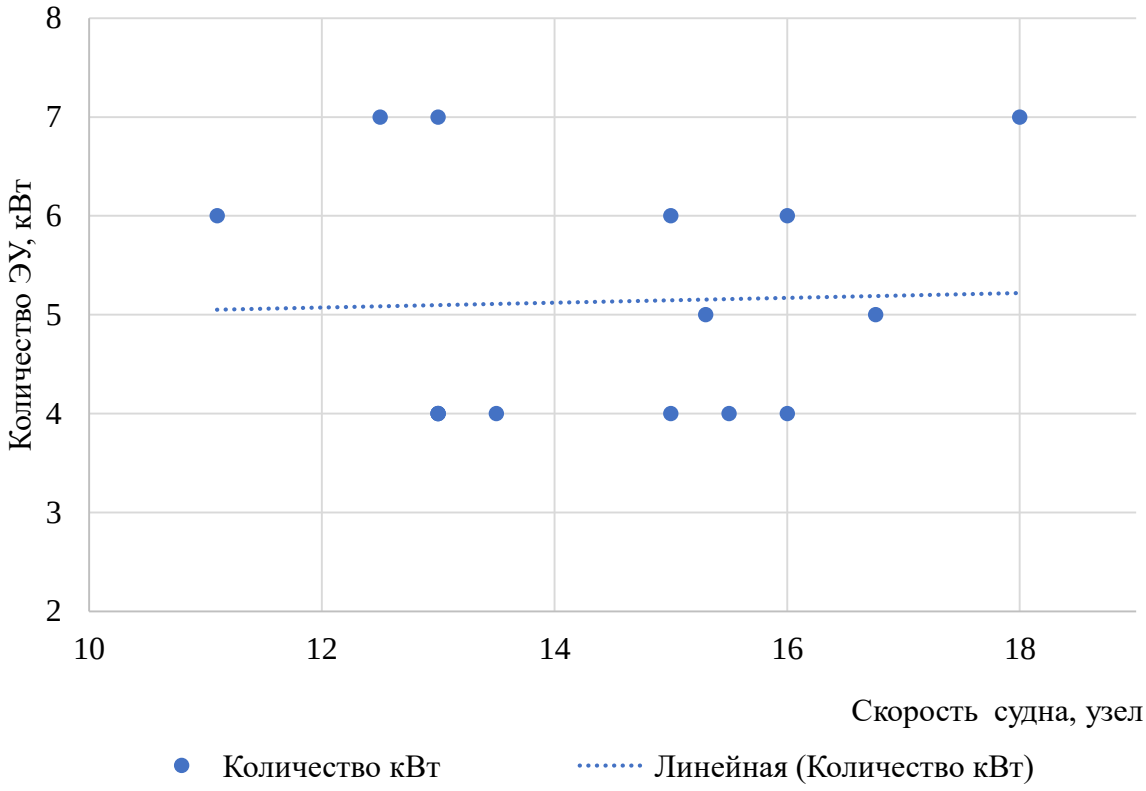


Рис. 13. *Соотношение количества ЭУ и скорости судна*

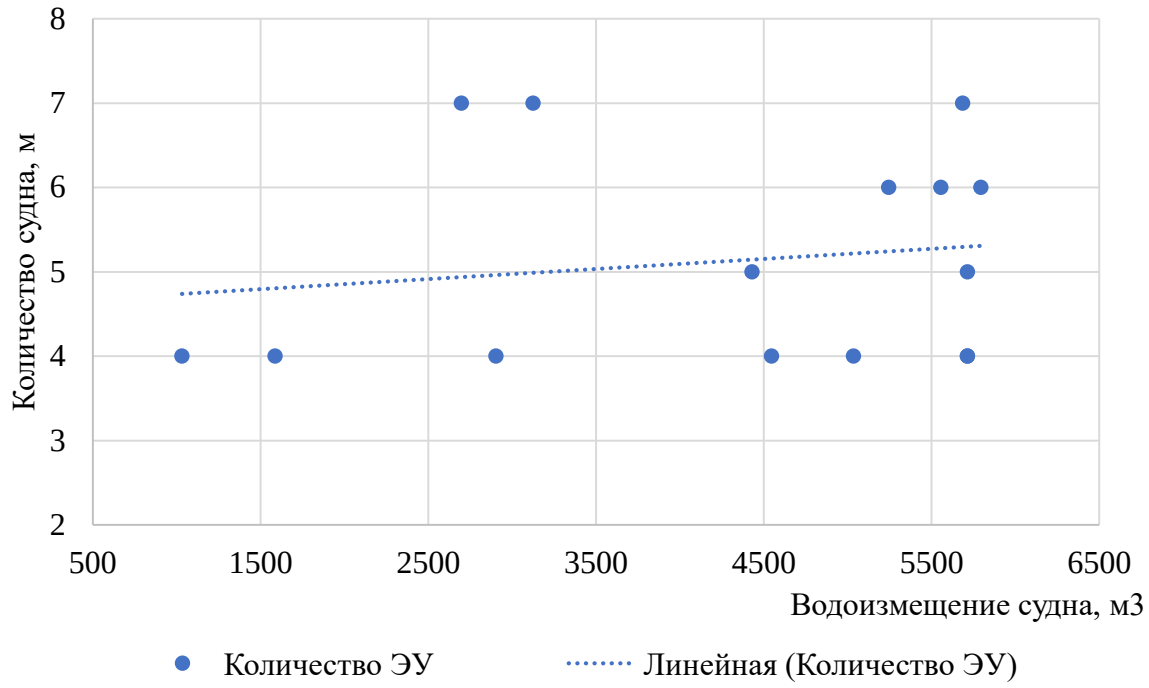


Рис. 14. *Соотношение количества ЭУ и водоизмещения судна*

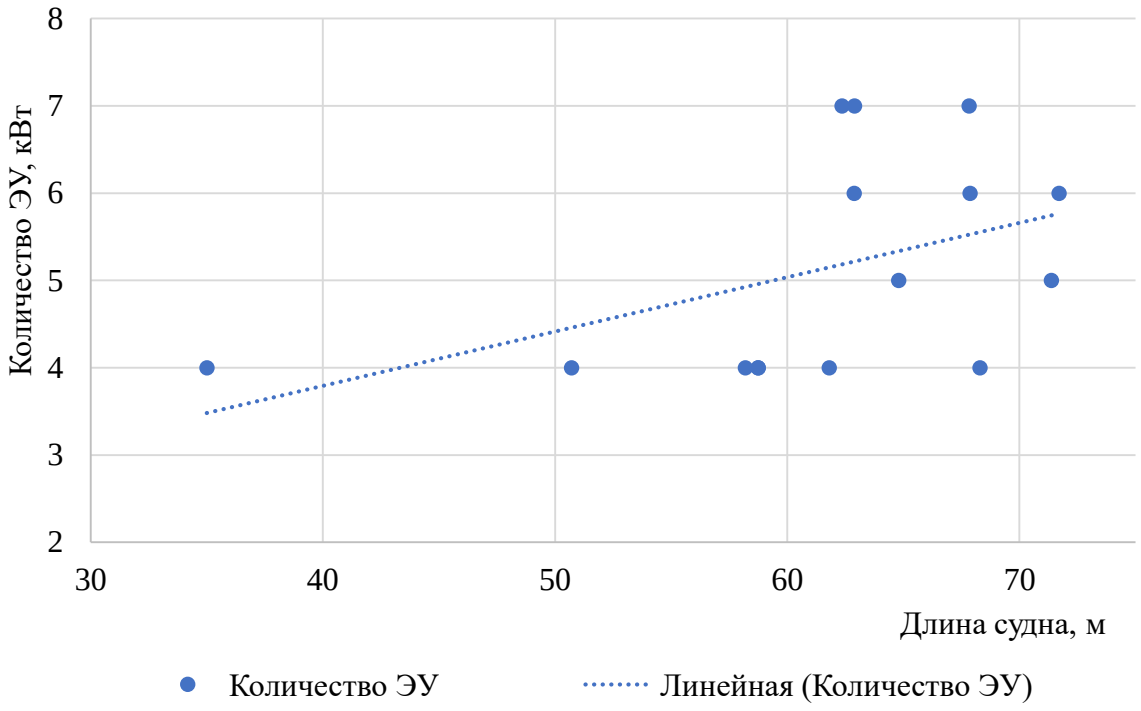


Рис. 15. *Соотношение количества ЭУ и длины судна*

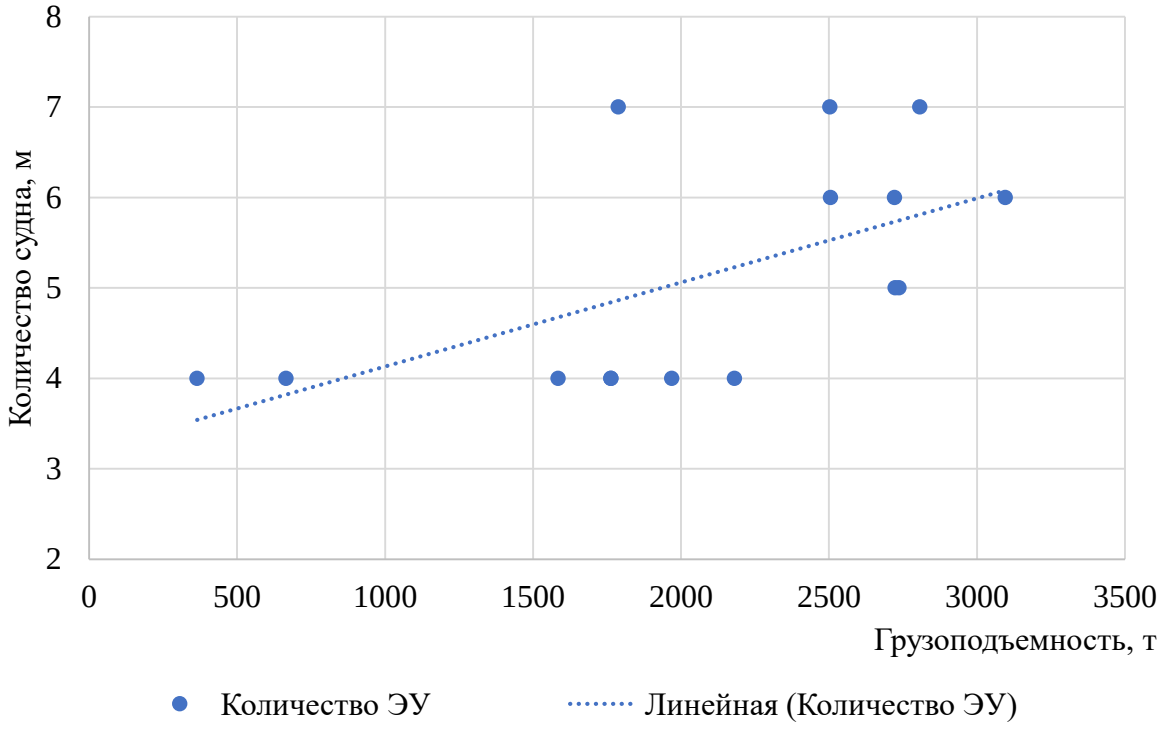


Рис. 16. *Соотношение количества ЭУ и грузоподъемности судна*

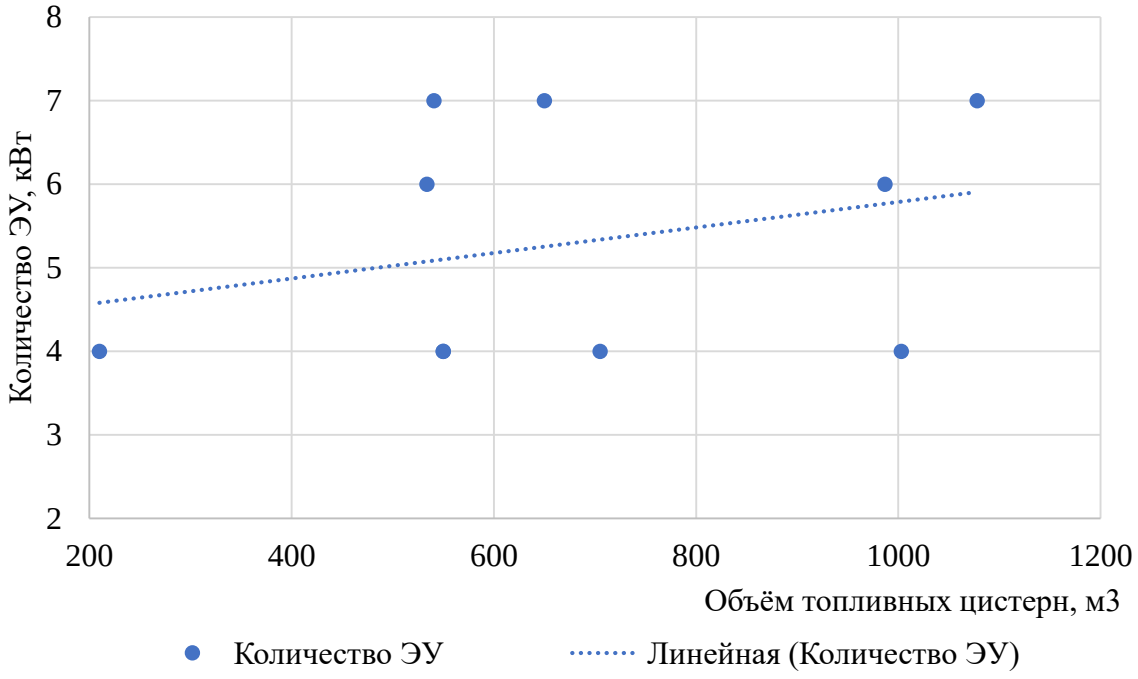


Рис. 17. *Соотношение количества ЭУ и объема топливных цистерн судна*

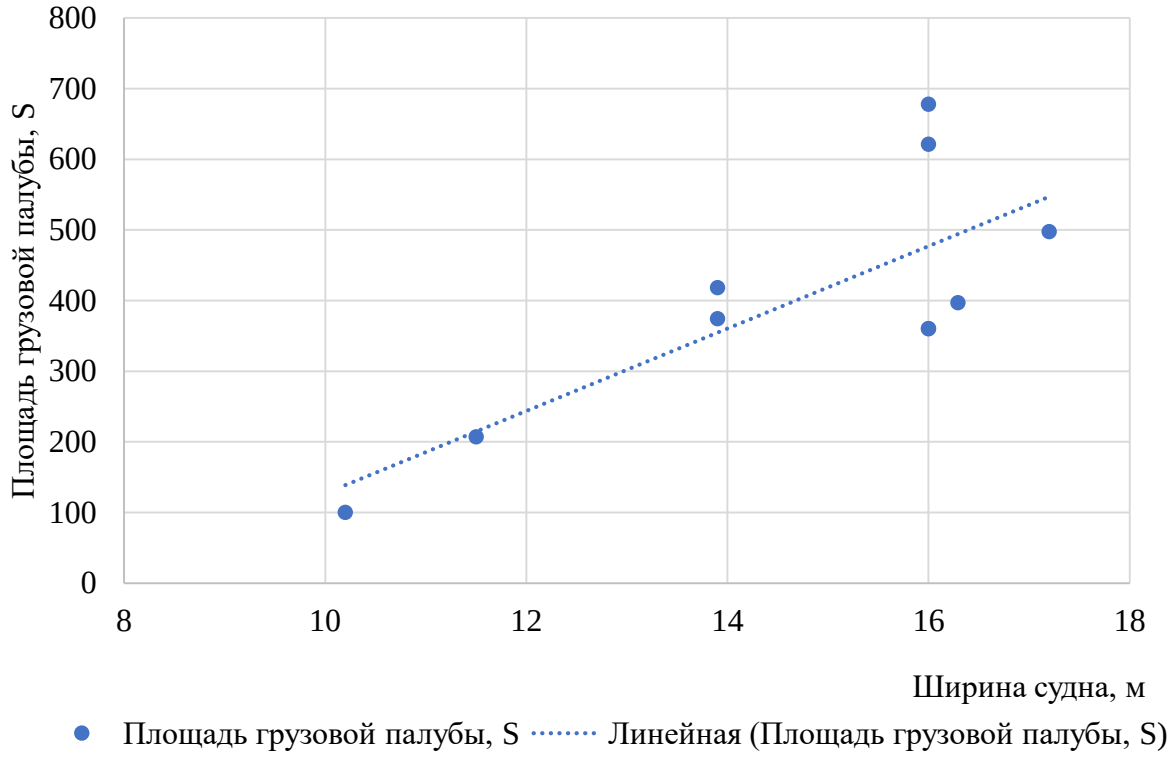


Рис. 18. *Соотношение площади грузовой палубы и ширины судна*

Главные размерения судна (длина, ширина, осадка, высота борта, водоизмещение) определяют основные характеристики судна и его способность выполнять задачи по обеспечению платформ. Эти параметры должны быть тщательно спроектированы, чтобы судно могло эффективно выполнять свои функции.

Графики соотношений помогают получить зависимость между такими параметрами, как площадь грузовой палубы и ширина судна, водоизмещение и длина, осадка и грузоподъемность. Например, зависимость площади палубы от ширины позволяет проектировщику быстро вычислить, сколько пространства будет доступно для размещения различных установок на судне.

График соотношения площади грузовой палубы и ширины судна иллюстрирует, как изменяется площадь грузовой палубы судна в зависимости от ширины судна. Площадь грузовой палубы является важным параметром для оценки вместимости судна, а ширина судна напрямую влияет на его стабильность и маневренность. Обычно, с увеличением ширины судна, площадь грузовой палубы также будет увеличиваться, однако, для большинства судов увеличение ширины приводит к пропорциональному увеличению площади, но с определёнными пределами эффективности.

График (рис. 19) показывает, как площадь грузовой палубы изменяется в зависимости от осадки судна. Увеличением осадки площадь грузовой палубы может изменяться не столь линейно, поскольку при увеличении осадки судно может становиться более глубоким, что не всегда ведет к пропорциональному увеличению площади палубы. Однако для некоторых типов судов это соотношение может быть более прямым.

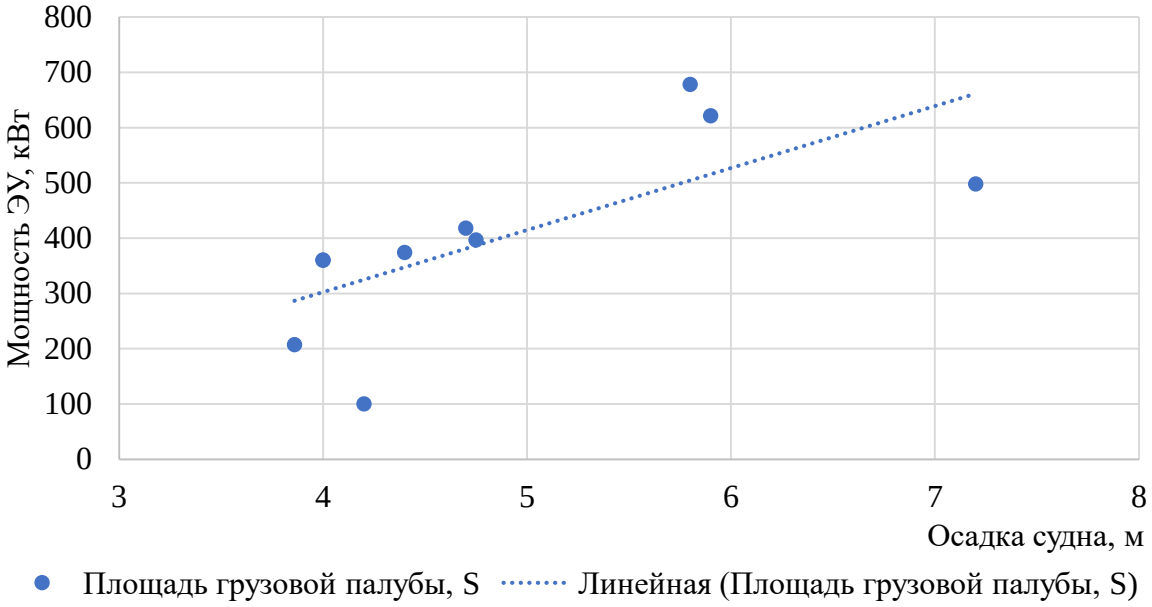


Рис. 19. *Соотношение площади грузовой палубы и осадки судна*

Соотношение площади грузовой палубы и высоты борта отражает зависимость между высотой борта судна и площадью его грузовой палубы (рис. 20). Высота борта влияет на общий объем судна и, соответственно, на доступное пространство на палубе. Увеличение высоты борта может привести к увеличению общей площади палубы, но при этом возможно снижение остойчивости судна. Важно соблюдать баланс между высотой борта и возможностью безопасной эксплуатации судна.

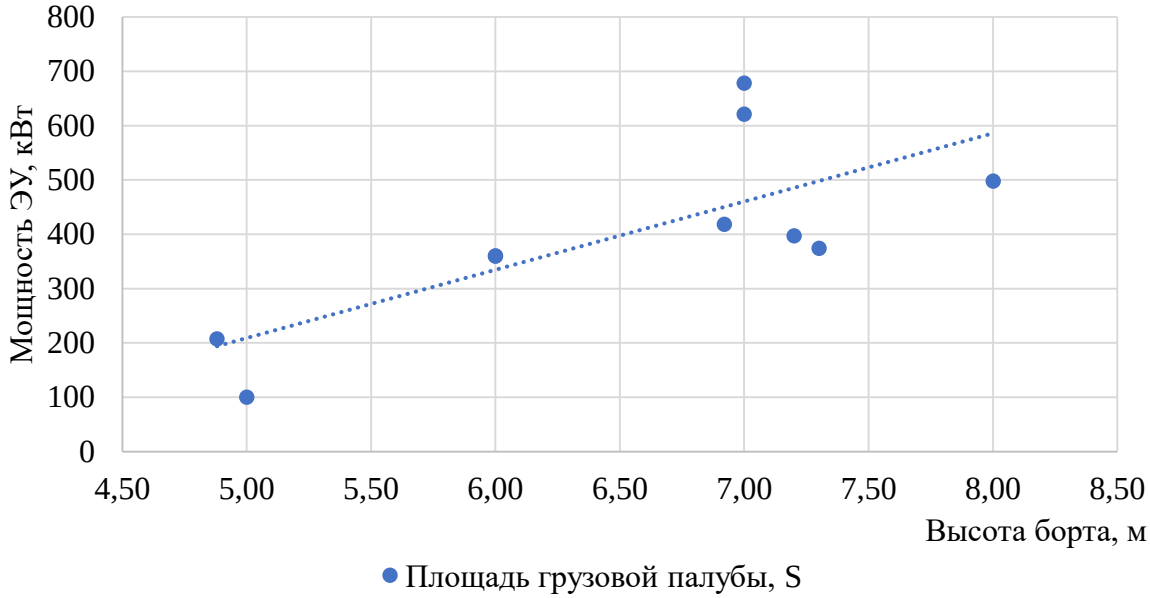


Рис. 20. *Соотношение площади грузовой палубы и высоты борта*

Соотношение площади грузовой палубы и водоизмещения показывает, как площадь грузовой палубы изменяется с изменением водоизмещения судна (рис. 21). Водоизмещение —

это вес воды, выталкиваемый судном, что напрямую связано с его размерами и массой. Обычно с увеличением водоизмещения увеличивается и площадь грузовой палубы, поскольку большие суда могут не только вмещать больше груза, но и требовать большего пространства на палубе для эффективной загрузки и разгрузки.

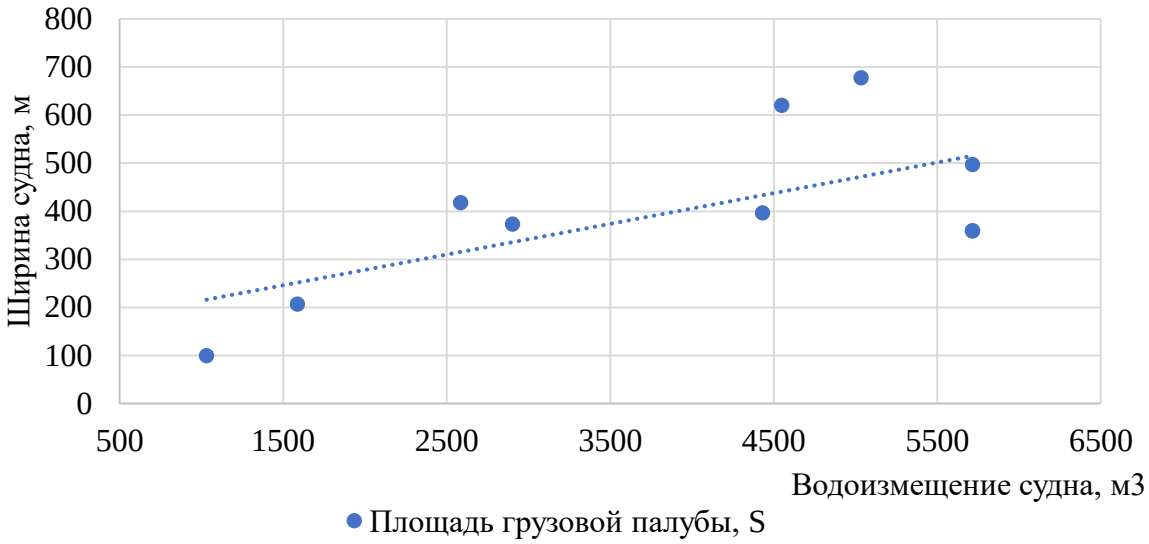


Рис. 21. *Соотношение площади грузовой палубы и водоизмещения судна*

Соотношение площади грузовой палубы и длины показывает зависимость площади грузовой палубы от длины судна (рис. 22). Длина судна имеет решающее значение для его грузоподъемности и скорости. С увеличением длины судна обычно увеличивается и площадь его грузовой палубы, особенно на судах, предназначенных для транспортировки больших объемов грузов.

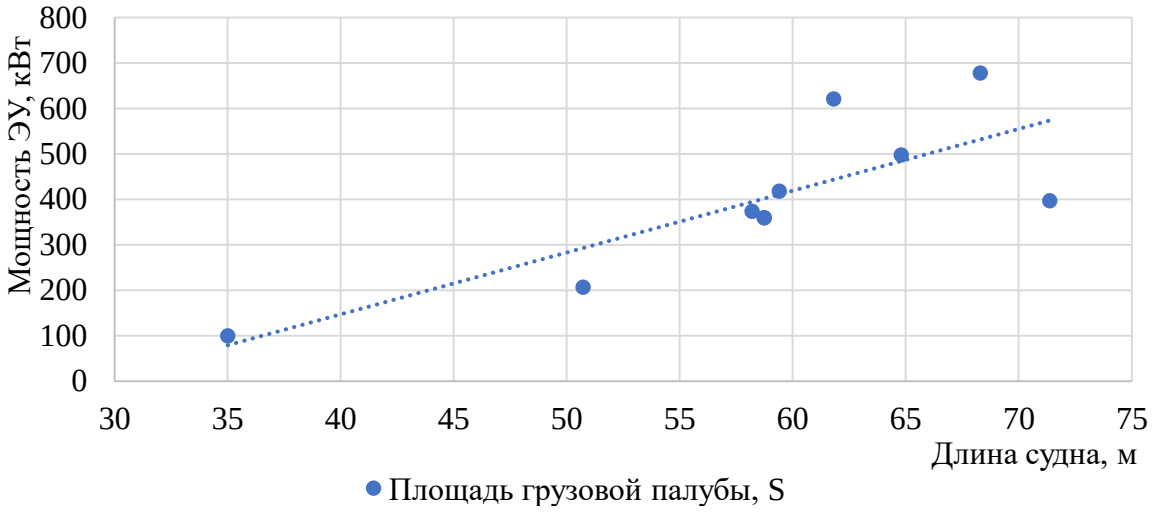


Рис. 22. *Соотношение площади грузовой палубы и длины судна*

Соотношение площади грузовой палубы и грузоподъемности демонстрирует зависимость площади грузовой палубы от максимальной грузоподъемности судна (рис. 23). Площадь грузовой палубы, как правило, увеличивается с ростом грузоподъемности, так как для транспортировки больших объемов грузов требуется большее пространство на палубе.

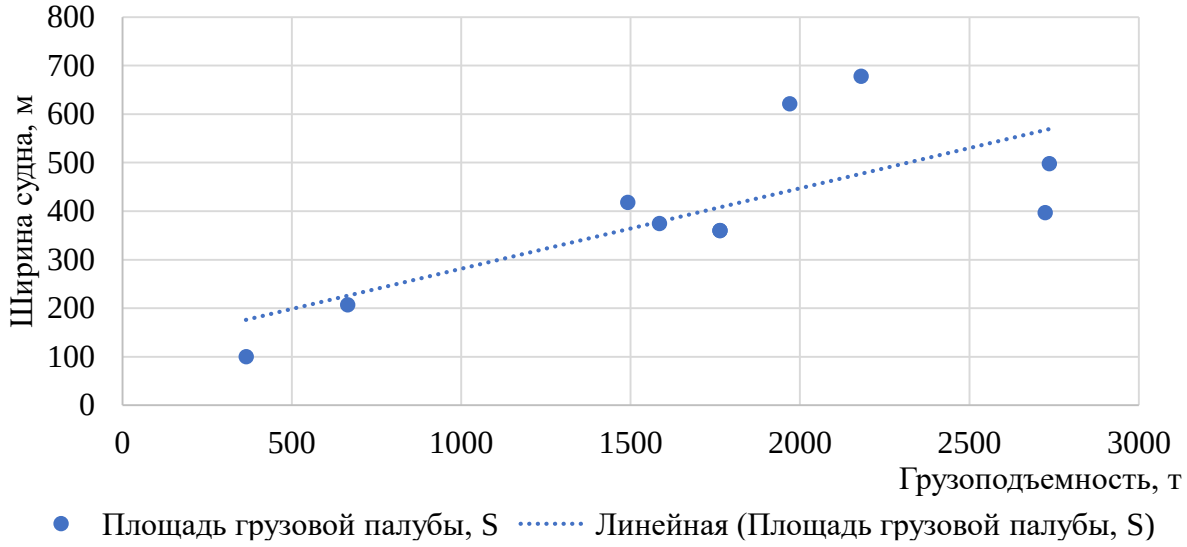


Рис. 23. *Соотношение площади грузовой палубы и грузоподъемности судна*

Соотношение площади грузовой палубы и количества экипажа отображает, как площадь грузовой палубы связана с числом членов экипажа судна (рис. 24). Количество экипажа важно для оценки работы судна и его обслуживания. Количество членов экипажа может слабо влиять на площадь палубы, так как экипаж обычно размещается в отдельных помещениях, не занимая значительно больше места на палубе. Однако для больших судов с более сложной системой управления может быть нужно больше места для экипажа и для обеспечения его работы.

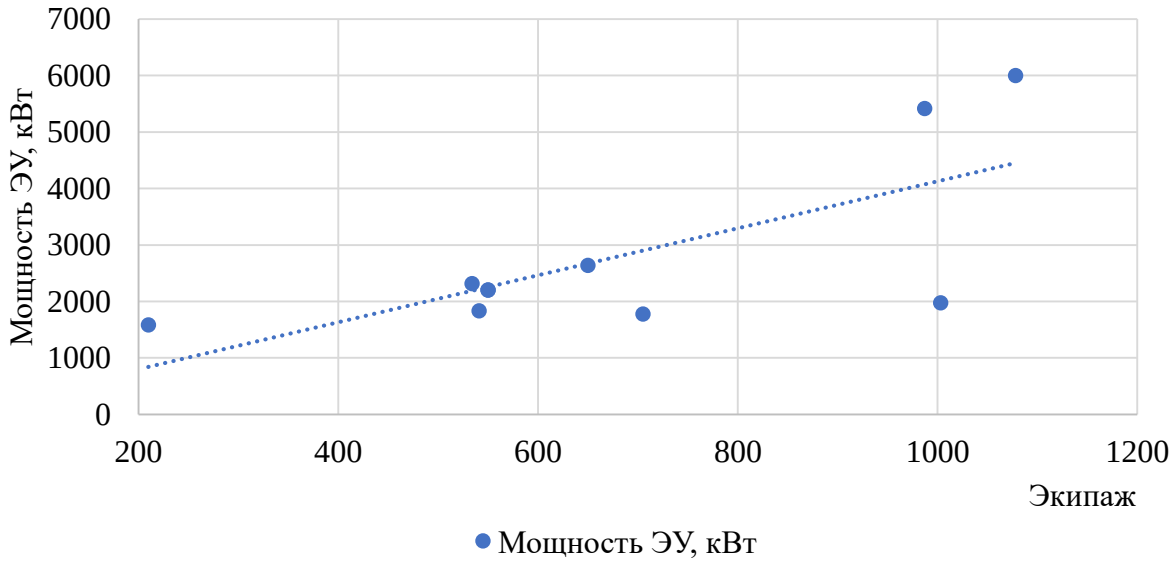


Рис. 24. *Соотношение площади грузовой палубы и количества экипажа*

Номограмма – это графический инструмент, который позволяет на основе нескольких взаимосвязанных параметров определить оптимальные значения главных размерений судна.

Например, определение главных размерений по номограмме [11] производится в перечисленной ниже последовательности:

1. Выбор ширины судна по технологическим и конструктивным параметрам отраженной в вертикальных шкалах с левой стороны номограммы:

– выбирается необходимое значение технологического или конструктивного параметра, заданного в условиях проектирования судна (заданного в левой части номограммы);
– проводим горизонтальную линию до пересечения с кривой соответствующим наименованием;
– из точки пересечения горизонтальной линии и соответствующей кривой проводим вниз вертикальную линию до пересечения с горизонтальной шкалой;
– точка пересечения вертикальной линии и горизонтальной шкалы указывает на искомую ширину судна.

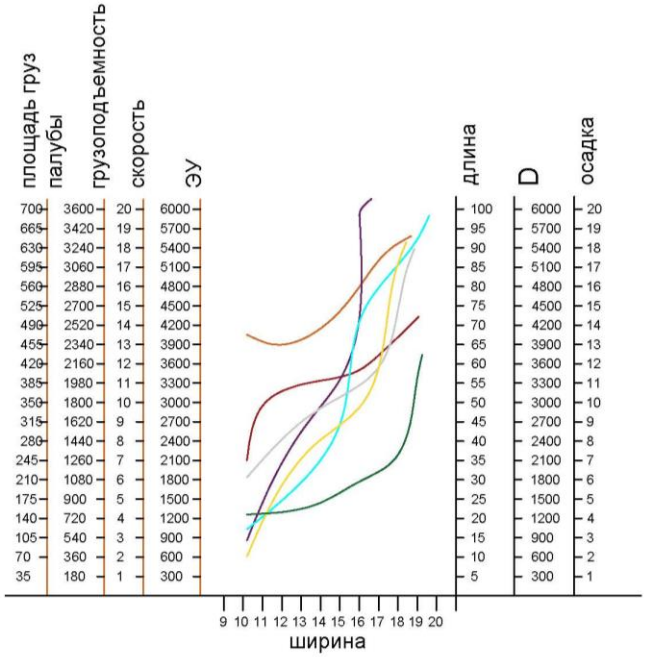


Рис. 25. *Номограмма для определения главных размерений судна*

2. Выбор наибольшего значения ширины судна:

– проведя действия по всем для конкретного проекта судна технологическим и конструктивным параметрам, в независимости друг от друга, получаем группу значений ширины проектируемого судна;
– из полученных значений ширин, для проектируемого судна выбирается наибольший.

3. Выбор длины судна:

– от выбранного значения ширины судна на горизонтальной шкале, проводим вертикальную линию до пересечения с кривой длины судна обозначенной красным цветом;
– от точки пересечения вертикальной линии и кривой длины судна, проводим горизонтальную линию в право к вертикальной шкале в правой части номограммы, отражающей длины судна;

– точка пересечения горизонтальной линии и вертикальной шкалы длины судна, отражает значение длины проектируемого судна.

4. Выбор осадки судна:

– от выбранного значения ширины судна на горизонтальной шкале, проводим вертикальную линию до пересечения с кривой осадок судна;

– от точки пересечения вертикальной линии и кривой осадок судна, проводим горизонтальную линию вправо к вертикальной шкале в правой части номограммы отражающей осадок судна;

– точка пересечения горизонтальной линии и вертикальной шкалы осадки судна отражает значение осадки проектируемого судна.

Таким образом, разработанная номограмма облегчает выбор необходимых главных размерений проектируемого судна обеспечения платформ, с учетом возможного использования технологического оборудования, комплексов и аппаратных средств на начальных этапах проектирования.

Выводы. Разработана номограмма для определения главных размерений судов обеспечения платформ с учетом конструктивных и эксплуатационных особенностей. Описана методика пользования предложенной номограммой.

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

Литература

1. Гайкович А.И. Проблемы теории проектирования судов и ее преподавания: / А.И.Гайкович // Труды Крыловского Государственного Научного Центра. –Санкт-Петербург: -2020. -Специальный выпуск No1. –с.137-141.
2. B. Igrec, R. Pawling, G. Thomas. An interactive layout exploration and optimization method for early stage ship design. «International conference on computer application in shipbuilding 2019»: / 24-26 September 2019, the Netherland.
3. Лебедева М.П. Управляемость и моделирование движения водоизмещающего судна: / М.П. Лебедева, А.О. Лебедев –Москва –Инфа-Инженерия –2023 –200с.
4. Справочник по теории корабля: / [т. 1], изд. Судостроение, Ленинград, 1985
5. Stain Ove Erikstad. System Based Design of Offshore Support Vessels. January 2012.
6. Kai Levander. «Innovative Ship Design –Can innovative ships be designed in a methodological way»: / Proceedings/IMSDC 03, Athens 2003.
7. Гайкович А.И. Основы теории проектирования сложных технических систем: / А.И.Гайкович. Санкт-Петербург: МОРКНИГА. 2001. –432с.
8. Кулеш В.А. Весовая нагрузка судов: / В.А. Кулеш, К.В. Ёлкина–Владивосток -Дальневосточный федеральный университет –2021 –42с.
9. Анисимова В.В. Многокритериальная оптимизация в проектировании судов: / В.В.Анисимова, Е.П.Роннов // Конгресс Международного форума «Великие реки», -2014. с.273 –276.
10. Печенюк А.В. Оптимизация судовых обводов для снижения сопротивления движению // -Одесса: Компьютерные исследования и моделирования, -2017. No9 –с.57-65.
11. Абдуллаев О.М., Абдуллаев Р.О. Разработка номограммы выбора главных раз мерений судов обеспечения подводно-технических работ // -Баку: «ПРОБЛЕМЫ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА» Докладные материалы XIX Международной научно-технической конференции, 2-3 мая 2024. с. 15-17.

Məqalə qəbul olunub: 16.04.25
Tövsiyə edib: prof. İsmayılov N.Ş.

UOT 621.941.01

RPİ TORNA ƏMƏLİYYATI ÜÇÜN HİSSƏLƏRİN 3D MODELLƏŞDİRİLMƏSİ VƏ İDARƏETMƏ PROQRAMLARININ İŞLƏNMƏSİNDƏ SÜNİ İNTELLEKTİN TƏTBİQİ

Ağayev A.R.

Azərbaycan Texniki Universiteti
AZ1073, Bakı şəh., H.Cavid pr., 25
E-mail: agasi.agayev@aztu.edu.az

Xülasə. *Məqalədə RPİ torna əməliyyatı üçün hissələrin 3D modelləşdirilməsi və idarəetmə proqramının hazırlanmasında süni intellekt texnologiyalarından istifadə imkanı araşdırılmışdır. Nümunə hissənin 3D modelləşdirilməsi məqsədilə cəld həndəsi model yaratmağa imkan verən qrafiki proqramdan və süni intellekt texnologiyasından istifadə edilmiş və onların nəticələrinin vaxt baxımından müqayisəli analizi aparılmışdır. Bundan əlavə məqalədə proqram təminatı və süni intellekt texnologiyalarından istifadə etməklə rəqəmli idarəetmə proqramının formalaşdırılması məsələsinə də baxılmışdır.*

Abstract. *The article examines the possibility of using artificial intelligence technologies in the development of 3D modeling of parts and control programs for CNC lathe operations. For the purpose of 3D modeling of a sample part, a graphical program and artificial intelligence technology were used, which allowed for the rapid creation of a geometric model, and a comparative analysis of their results in terms of time was carried out. In addition, the article also considers the issue of forming a numerical control program using software and artificial intelligence technologies.*

Аннотация. *В статье рассматривается возможность использования технологий искусственного интеллекта при 3D-моделировании деталей и разработке управляющего программного обеспечения для токарных станков с цифровым управлением. Для быстрого создания геометрической модели с целью 3D-моделирования детали образца была использована графическая программа и технология искусственного интеллекта, а также проведен сравнительный анализ их результатов по времени. Кроме того, в статье также рассматривается вопрос формирования программы цифрового управления с использованием программного обеспечения и технологий искусственного интеллекта.*

Açar sözlər: *üçölçülü (3D) modelləşdirmə, torna əməliyyatı, rəqəmli proqramla idarəetmə, idarəetmə proqramı, süni intellekt*

Key words: *three-dimensional (3D) modeling, lathe operation, numerical control, control software, artificial intelligence*

Ключевые слова: *трехмерное (3D) моделирование, токарное операция, числовое программное управление, управляющее программное обеспечение, искусственный интеллект*

Giriş. Hal-hazırda süni intellekt (Aİ-Artificial intelligence) bir çox sahələrdə geniş tətbiq tapmışdır. Bu müasir texnologiya maşın və cihaz hissələrinin modelləşdirilməsi və layihələndirməsində də geniş istifadə olunmağa başlanmışdır. Süni intellekt əmək intensivliyi, layihələndirməyə nəzarət və modelləşdirməyə olan vaxt itkisi problemlərini həll edərək 3D modellərlə işi əhəmiyyətli dərəcədə optimallaşdırır [1].

Ənənəvi 3D modelləşdirmə uzun müddət bir sıra sənaye sahələrinin əsas vasitələrindən olub bir sıra məhdudiyyətlərlə müşaiyət olunur. Bu məhdudiyyətlər prosesin mürəkkəb və əməktutumlu olması, layihələndirmənin vaxt tutumlu olması, yaradıcılığın məhdudlaşdırılması və insan amilindən asılılıqdır [2]. Məhz bu məhdudiyyətlər və vizual texnologiyaların durmadan inkişafı layihəçiləri

yeni yanaşmalar axtarmağa sövq edir. Bu məsələdə yeni yanaşmalardan biri də süni intellekt texnologiyalarından istifadə etməkdir.

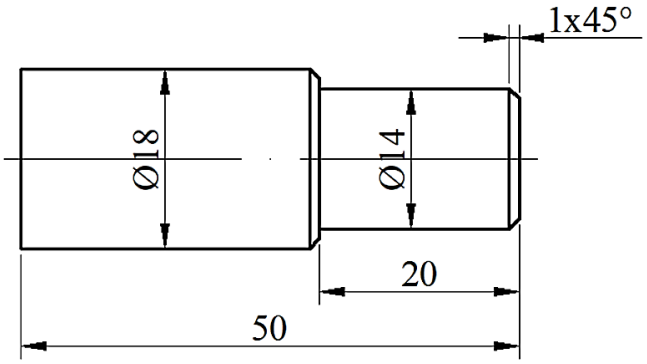
Süni intellektin 3D modelləşdirmədə rolu. Süni intellekt, məlumatları təhlil edə bilən, nəticə çıxara bilən, qərarlar qəbul edən və normal olaraq insan zəkasının tələb etdiyi vəzifələri yerinə yetirə bilən sistemləri inkişaf etdirməyi hədəfləyən kompüter elminin bir sahəsidir. 3D modelləşdirmə kontekstində işin səmərəliliyini və keyfiyyətini yüksəltmək məqsədilə üçölçülü modellərin yaradılması və redaktəsi proseslərinin avtomatlaşdırılması üçün süni intellektdən istifadə edilir [3] .

Süni intellektin modelləşdirmədə tətbiq olunmasının üstünlükləri aşağıdakılardır:

1. Modelləşdirmə prosesinin sürətləndirilməsi. Süni intellekt, xüsusən təkrarlanan funksiyaların yaradılması və ya model həndəsəsinin optimallaşdırılması kimi mürəkkəb və təkrarlanan tapşırıqlara gəldikdə, bir çox işi insanlardan daha sürətli yerinə yetirə bilər;
2. Modelləşdirmənin dəqiqliyi və keyfiyyətinin yüksəldilməsi. Süni intellektdən istifadə modelləşdirmənin dəqiqliyini və keyfiyyətini artıra bilər, belə ki, süni intellekt modelin həndəsəsini və topologiyasını optimallaşdıra və təkmilləşdirə, eləcə də əl ilə modelləşdirmə zamanı yarana biləcək səhvləri və çatışmazlıqları aradan qaldıra bilər [4];
3. Modelləşdirmə üçün yeni ideyalar yaratmaq bacarığı. Süni intellekt insanlar üçün mümkün olmayan alternativ formalar və strukturlar təklif etməklə modellər yaratmaq üçün yeni ideyalar yaratmağa kömək edə bilər.

Süni intellektin modelləşdirmədə tətbiq olunmasının çatışmazlıqları isə aşağıdakılardır:

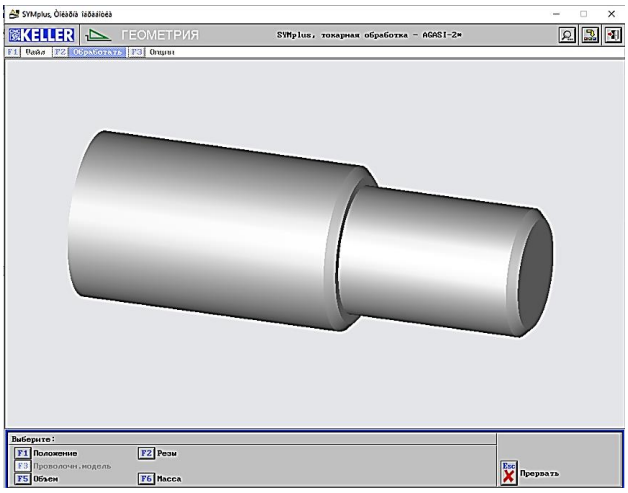
1. Süni intellektin sazlanması və öyrənilməsinin mürəkkəbliyi. 3D modelləşdirmədə süni intellektdən istifadə kompüter və proqramlaşdırma bacarıqları tələb edir. Süni intellekti sazlamaq və öyrənmək əhəmiyyətli vaxt və maliyyə sərmayəsi tələb edə bilər [5];
2. Süni intellektin istifadəsində məhdudiyyətlər. Süni intellekt yalnız əl ilə yaradıla bilən mürəkkəb və qeyri-ənənəvi formaları modelləşdirmək qabiliyyəti ilə məhdudlaşa bilər;
3. Yaradıcılıq prosesinin potensial itkisi. Süni intellektdən istifadə insanın modellərin yaradılmasında yaradıcılıq prosesində iştirakını azalda bilər ki, bu da modellərin orijinallığını və fərdiliyini itirməsinə səbəb ola bilər [6].



Şəkil 1. *Modelləşdiriləcək nümunə hissənin eskizi*

Nəticə olaraq demək olar ki, 3D modelləşdirmədə süni intellektdən istifadə modelin yaradılması prosesini təkmilləşdirmək üçün əhəmiyyətli potensiala malikdir. Süni intellekt modelləşdirmə prosesini sürətləndirməyə və optimallaşdırmağa, modellərin dəqiqliyini və keyfiyyətini artırmağa və modellərin yaradılması üçün yeni ideyalar təqdim etməyə kömək edə bilər [7]. Bununla belə, süni intellektin sazlanması və öyrənilməsinin çətinliyi, modelləşdirmə imkanlarında məhdudiyyətlər və yaradıcı prosesin itirilməsi kimi 3D modelləşdirmədə süni intellektdən istifadənin məhdudiyyətlərini və potensial çatışmazlıqlarını nəzərə almaq lazımdır. Ümumiyyətlə, müasir süni intellekt texnologiyaları 3D modelləşdirmə prosesində inqilab edəcəyini vəd edir və gələcəkdə bu sahədə süni intellektdən getdikcə daha çox istifadənin şahidi olacağıq [8].

Ancaq yadda saxlamaq lazımdır ki, süni intellektdən istifadə şüurlu və effektiv olmalıdır və potensial problemləri və məhdudiyyətləri nəzərə almalıdır.

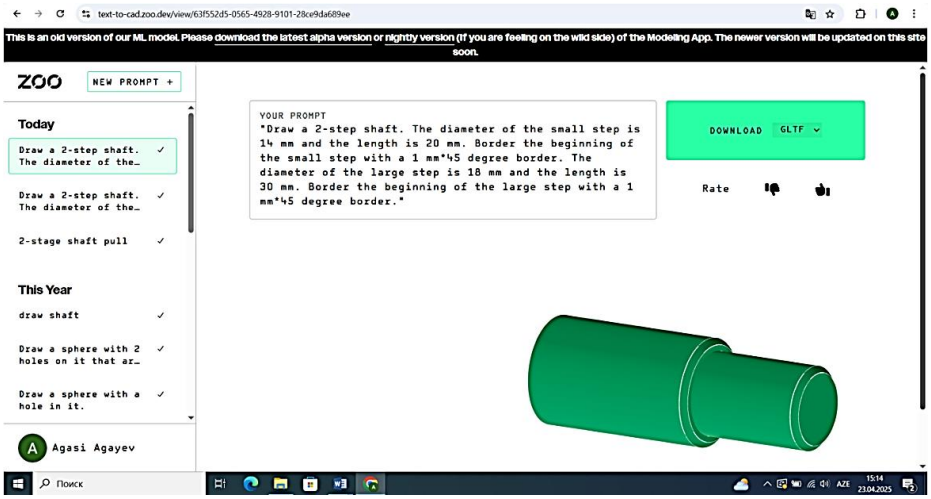


Şəkil 2. *Nümunə hissənin eskizinin KELLER SYM Plus proqramında 3D modeli*

RPİ torna əməliyyatı üçün hissələrin 3D modelləşdirilməsində süni intellekt texnologiyalarının tətbiqi. Məlum olduğu kimi torna əməliyyatında daxili və xarici fırlanma səthlərindən təşkil olunmuş hissələr emal olunur. Bu hissələrin müasir RPİ (rəqəmli proqramla idarəolunan) torna dəzgahlarında emalı üçün tələb olunan NC (numerical control-rəqəmsal idarəetmə) proqramlarının avtomatlaşdırılmış şəkildə yazılması üçün ilk növbədə emal olunacaq hissənin 3D modelinə ehtiyac duyulur. Hissələrin 3D modellərinin yaradılması üçün çoxsaylı 3D qrafiki modelləşdirmə proqramlarından istifadə olunur. Bu qrafiki proqramlar ilk növbədə yüksək sistem tələblərinə malik kompüterlər tələb edir. Eləcə də bu proqramların bütün nəzərdə tutulmuş imkanlarından istifadə etmək üçün onların orijinal variantlarından istifadə etmək lazım gəlir. Həmçinin bu proqramlarda hissələrin modelləşdirilməsini yerinə yetirmək üçün istifadəçilərdən professional konstruktor biliyinin olması tələb olunur. Süni intellekt texnologiyalarından istifadə zamanı isə bu məsələlərin hamısını bu texnologiyalar öz üzərinə götürür. Həm qrafiki proqramlardan, həm də süni intellekt texnologiyalarından istifadə etməklə torna RPİ dəzgahında emal olunma imkanı olan şəkil 1-də göstərilmiş nümunə bir hissənin 3D modelləşdirilməsi prosesini və bu texnologiyalardan istifadənin müqayisəli analizini araşdıraq.

Şəkil 1-də göstərilmiş verilmiş nümunə hissənin eskizini qrafiki proqramlardan istifadə etməklə modelləşdirmə timsalında digər qrafiki proqramlardan cəld həndəsi modelləşdirməyə imkan verən CAD/CAM təyinatlı KELLER SYM Plus proqramında 3D olaraq modelləşdiririk. Bu həndəsi modelin yaradılması proqramdan rahat istifadə edə bilən istifadəçi üçün 4 dəqiqə 23 saniyə çəkir (şəkil 2).

Daha sonra isə verilmiş nümunənin eskizinin modelləşdirilmə vaxtını müqayisəli şəkildə analiz etmək məqsədilə onu internet üzərindən pulsuz 3D model yaratmağa imkan verən və hər bir istifadəçi üçün əlçatan olan süni intellekt texnologiyası sayılan ***text to cad*** təyinatlı https://text-to-cad.zoo.dev platforması vasitəsilə modelləşdiririk (şəkil 3). Bu platforma üzərindən nümunənin modelləşdirilməsi isə internet və kompüter texnologiyalarından rahat istifadə edə bilən sadə istifadəçi üçün (platformada qeydiyyatdan keçdikdən sonra) cəmi 1 dəqiqə 05 saniyə çəkir. Bu zaman modelləşdirmə üçün ***promt*** adlanan təsvirin ingilis dilində yazılması mütləqdir. Bu ***promt*** verilmiş nümunənin həndəsəsini verbal formada təsvir edir. Verilmiş nümunəni ifadə edən promtun təsviri ingilis və azərbaycan dillərində şəkil 4-də göstərilmişdir.



Şəkil 3. *Nümunə hissənin eskizinin süni intellekt texnologiyası vasitəsilə modelləşdirilməsi*

İngilis dilində

YOUR PROMPT
"Draw a 2-step shaft. The diameter of the small step is 14 mm and the length is 20 mm. Border the beginning of the small step with a 1 mm*45 degree border. The diameter of the large step is 18 mm and the length is 30 mm. Border the beginning of the large step with a 1 mm*45 degree border."

Azərbaycan dilində

2 pilləli val çək. Kiçik pillənin diametri 14 mm və uzunluğu 20 mm olsun. Kiçik pillənin başlanğıc hissəsini 1 mm*45 dərəcəlik haşiyə ilə haşiyələndir. Böyük pillənin diametri 18 mm və uzunluğu 30 mm olsun. Böyük pillənin başlanğıc hissəsini 1 mm*45 dərəcəlik haşiyə ilə haşiyələndir.

Şəkil 4. *Verilmiş nümunənin həndəsəsini verbal formada təsvir edən promt*

Verilmiş nümunənin CAD təyinatlı proqramla və süni intellekt texnologiyasından istifadə etməklə modelləşdirilməsi zamanı əsasən modelləşdirməyə sərf olunan vaxt baxımından qənaət əldə olunur. Hər iki üsul ilə modelləşdirməyə sərf olunan vaxtı müqayisəli analizi şəkil 5-də göstərilmişdir.

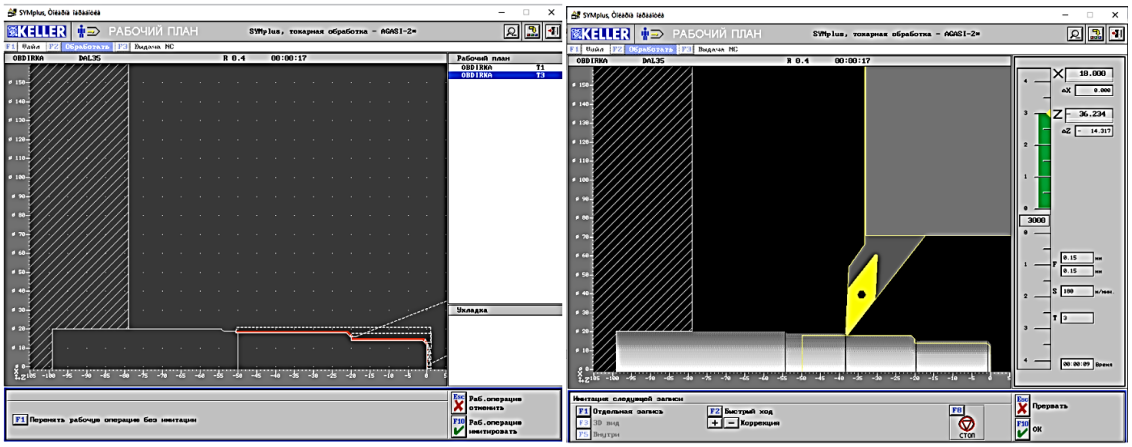


Şəkil 5. *CAD təyinatlı proqramla və süni intellekt texnologiyasının tətbiqi ilə nümunə hissənin modelləşdirilməsinə sərf olunan vaxtın müqayisəli analizi*

Süni intellekt texnologiyalarının RPİ dəzgahlarında tətbiqi imkanının araşdırılması. Süni intellekt RPİ dəzgahlarında emal zamanı dəqiqliyi, səmərəliliyi və avtomatlaşdırmanı artırır. Süni intellekt alqoritmləri kəsmə trayektoriyasını optimallaşdırır, dəzgahın texniki qulluq vaxtını

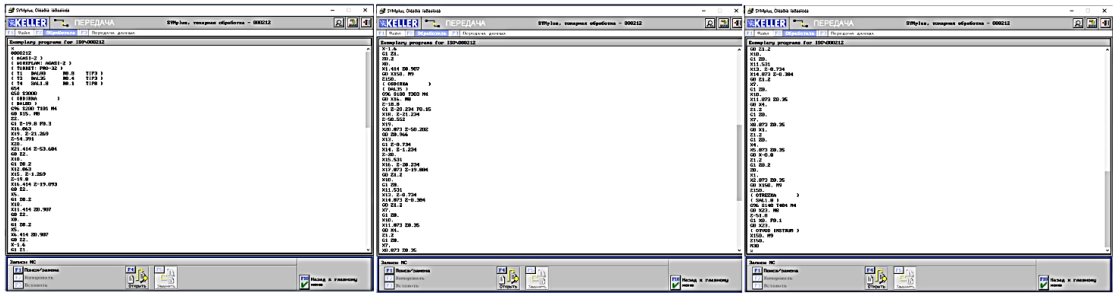
proqnozlaşdırır və real vaxt rejimində tənzimləmələrə imkan verir ki, nəticədə tullantılar, istehsal müddəti və xərclər azalır. Bu inteqrasiya, misli görünməmiş dəqiqliklə mürəkkəb, xüsusi layihələrə cavab verən daha ağıllı, daha uyğunlaşa bilən emal həlləri təklif edərək istehsalda irəliyə doğru sıçrayışı təmsil edir.

Süni intellekt yüksək dəqiqlik, səmərəlilik və avtomatlaşdırmanı təmin etmək üçün süni intellekt texnologiyalarının ənənəvi emal ilə inteqrasiyasıdır. Süni intellekt alqoritmlərdən istifadə edərək, emal əməliyyatları daha ağıllı olur. Texniki qulluğun proqnozlaşdırılmasını, tapşırıqların optimallaşdırılmasını və real vaxt rejimində düzəlişləri yerinə yetirə bilir və bununla da məhsuldarlığı artırmaq, tullantıları və xərcləri azaltmaqla istehsalda inqilab edir.



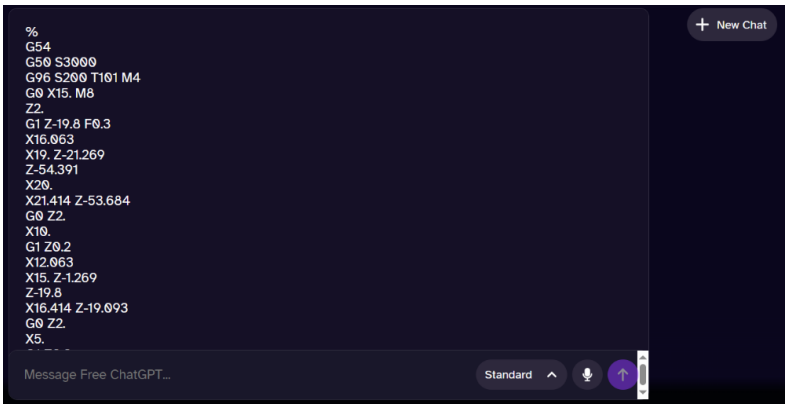
Şəkil 6. *Nümunə hissənin CAD/CAM təyinatlı KELLER SYM Plus proqramında qurulmuş işçi planı*

Süni intellekt G və M-kodlarla proqramlaşdırmanın avtomatlaşdırılmasını gücləndirərək RPİ dəzgahlarında emala öz töhfəsini verir. Süni intellekt alqoritmlərindən istifadə edərək, sistem alətin hərəkətini simulyasiya etmək, eləcə də G və M kodların əsas komponentləri sayılan olan veriş və şpindelin fırlanma tezliyi kimi kimi optimal emal parametrlərini müəyyən etmək üçün 3D modelləri, material xüsusiyyətlərini və istehsal məlumatlarını diqqətlə təhlil edir.



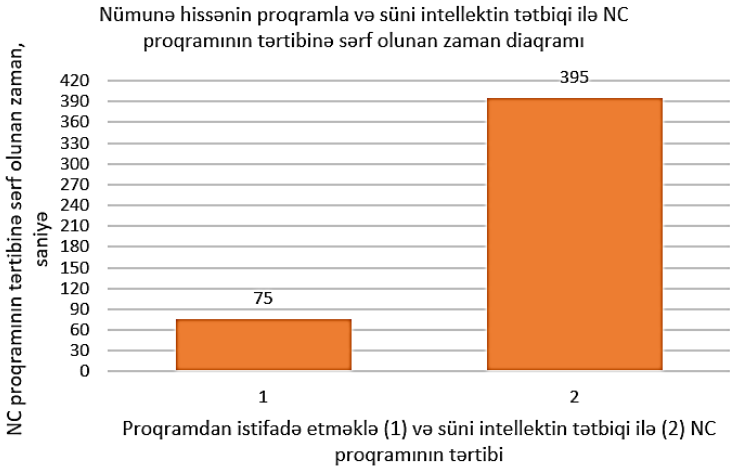
Şəkil 7. *Nümunə hissənin KELLER SYM Plus proqramı tərəfindən tərtib olunmuş NC proqramı*

Bu geniş təhlil emal tsiklini əhəmiyyətli dərəcədə azaldır və material tullantılarını minimuma endirərək RPİ dəzgahlarda istehsalın səmərəliliyində müsbət irəliləyişi təmin edir. Verilmiş hissənin cizgisini verbal formada tanımaqla hissəni təsvir edə bilməsi süni intellekt texnologiyalarına hissənin NC proqramını tərtib etməyə imkan verir. Nəticə olaraq, süni intellektin istehsal sənayesinə inteqrasiyası səmərəlilik, innovasiya və rəqabətə davamlılığa doğru həlledici keçidi təmsil edir. Süni intellekt işçi qüvvəsini dəyişdirdiyinə, qlobal oyun sahəsini bərabərləşdirdiyinə və sənayenin sağ qalmasını yenidən müəyyənləşdirdiyinə görə, bu texnologiyanın tətbiqi təkcə strateji deyil, həm də gələcək uğur və davamlılıq üçün zəruridir. Süni intellektin NC proqramlarının tərtibində istifadə oluna bilmə imkanını şəkil 1-də verilmiş nümunənin NC proqramının tərtibi nümunəsində araşdıraq.



Şəkil 8. *Nümunə hissənin süni intellekt tərəfindən tərtib olunmuş NC proqramı*

RPİ torna əməliyyatı üçün nümunə hissənin idarəetmə proqramının tərtibində süni intellekt texnologiyalarının tətbiqi. Məlum olduğu kimi RPİ dəzgahlarda hissələrin emalı üçün mütləq olaraq dəzgah onların NC (numerical control-rəqəmli idarəetmə) proqramları daxil edilməlidir. RPİ dəzgahlarda emal zamanı NC proqramlarının hazırlanması üçün əsasən 2 üsuldan-əl ilə proqramların tərtibi üsulundan və CAM təyinatlı proqramlardan istifadə etməklə, yəni qrafiki üsul ilə proqramların tərtibi üsullarından istifadə olunur. Şəkil 1-də verilmiş nümunə hissənin NC proqramını həm CAM təyinatlı proqramla, həm də süni intellekt texnologiyalarının tətbiqi ilə hazırlanmasını nəzərdən keçirək. Birinci üsul ilə verilmiş hissənin NC proqramının tərtibi üçün CAD/CAM təyinatlı KELLER SYM Plus proqramından istifadə edək. Bunun üçün verilmiş nümunənin şəkil 1-də göstərilmiş eskizi əsasında şəkil 2-də göstərildiyi kimi 3D CAD modeli qurulur və bu həndəsi modelin əsasında şəkil 6-da göstərildiyi kimi CAM işçi planı tərtib olunur. Tərtib olunmuş CAM işçi planının əsasında isə qrafiki proqram hissənin NC proqramını formalaşdırır.



Şəkil 9. *Nümunə hissənin KELLER SYM Plus proqramı və süni intellekt tərəfindən tərtib olunmuş NC proqramının tərtibinə sərf olunan vaxtın müqayisəli analizi*

Şəkil 1-də göstərilmiş nümunənin CAD/CAM təyinatlı KELLER SYM Plus proqramı tərəfindən tərtib olunmuş NC proqramı (şəkil 7) 105 proqram sətrindən ibarətdir və onun proqram tərəfindən tərtibinə CAD və CAM model hazır olduqdan sonra cəmi 1 dəqiqə 15 saniyə sərf olunmuşdur.

Nümunə hissənin süni intellekt texnologiyası (https://deepai.org/chat/free-chatgpt) tərəfindən tərtib olunmuş NC proqramı (şəkil 8) isə 75 proqram sətrindən ibarətdir, lakin onun tərtib olunması dialoq rejimində aparıldığından onun tərtibinə 6 dəqiqə 35 saniyə vaxt sərf olunmuşdur.

Nümunə hissənin KELLER SYM Plus proqramı və süni intellekt tərəfindən tərtib olunmuş NC proqramının tərtibinə sərf olunan vaxtın müqayisəli analizi şəkil 9-da göstərilmişdir.

Nəticə. 1. RPİ torna əməliyyatı üçün hissələrin 3D modelləşdirilməsinin süni intellekt texnologiyalarından istifadə etməklə aparılması mümkündür. Bu üsulda verilmiş hissənin eskizinin və ya cizgisinin verbal formada süni intellektə təqdim olunması layihəçi üçün müəyyən qədər çətinlik törədir.

2. Süni intellekt texnologiyası tərəfindən verilmiş hissənin 3D modelinin tərtibi qrafiki proqramlardan istifadə etməklə modelləşdirməyə misbətən daha az modelləşdirmə və ya layihələndirmə vaxtı tələb edir.

3. Süni intellekt texnologiyası tərəfindən verilmiş hissənin 3D modelinin tərtibi zamanı qrafiki proqramlardan istifadə etməklə modelləşdirmədə olduğu kimi bahalı və yüksək sistem tələblərinə malik texniki avadanlıqdan istifadəyə ehtiyac qalmır.

4. RPİ torna əməliyyatı üçün modelləşdirilmiş hissənin idarəetmə proqramının CAD/CAM təyinatlı proqramlarda hazırlanmasına model və hissənin işçi emal planı hazır olduqdan sonra daha az vaxt sərf olunur.

5. RPİ torna əməliyyatı üçün modelləşdirilmiş hissənin idarəetmə proqramının süni intellekt texnologiyaları tərəfindən hazırlanmasına daha çox vaxt sərf olunur. Lakin CAD və CAM modelin süni intellektə tanıdılması verbal formada aparıldığından bu vaxtı optimal hesab etmək olar. Qeyd etmək lazımdır ki, daha müasir süni intellekt texnologiyalarında NC proqramlarının hazırlanması üçün hissənin eskiz və ya cizgisinin sistemə şəkil kimi yüklənilməsi nəzərdə tutulur.

6. Həm qrafiki proqramlaşdırma, həm də süni intellekt tərəfindən tərib olunmuş NC proqramlarının RPİ dəzgahlarda reallaşdırılması üçün mütləq olaraq səriştəli dəzgah proqramçısı tərəfindən bu proqramlara baxış yerinə yetirilməlidir.

Ədəbiyyat

1. Богатенков С.А., Сазонова Н.С., Юсубов Н.Д., Аббасова Х.М., Дадашов Р.Е.,Бадалова Б.Б. Искусственный интеллект для автоматизированного проектирования многоинструментных операций. Proceedings of Azerbaijan State Marine Academy No1, 2024, p 14-20.
2. Кабалдин, Ю.Г. Искусственный интеллект и кибер-физические механообрабатывающие системы в цифровом производстве: монография / Ю.Г. Кабалдин [и др.]; под ред. Ю.Г. Кабалдина; Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2018. – 271 с.
3. Макаров, И.М. Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления / И.М. Макаров, В.М. Лохин, С.В. Манько, С.П. Романов – М.: Наука – 2006. – 336 с.
4. Есть способ лучше: цифровой двойник повышает эффективность процессов конструкторско-технологического проектирования и производства // CAD/CAM/CAE Observer. – 2016, № 3 – с. 36-40.
5. Пайвин, А.С. Основы программирования станков с ЧПУ: учеб. пособие / А.С. Пайвин, О.А. Чикова – Урал. гос. пед. ун-т. – Екатеринбург, 2015. – 102 с.
6. Кабалдин, Ю.Г. Компьютерное моделирование и исследование наноструктур в процессах резанием на основе квантово-механических расчетов: учеб. пособие / Ю.Г.Кабалдин [и др.]; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Н.Новгород, 2014 – 119 с.
7. Дьяконов, А.А. CAD/CAM/CAE/CAPP-системы в машиностроении: учебное пособие / А. А. Дьяконов, А.Х. Нуркенов. – Челябинск: ЮУрГУ, 2017. – 168 с.: ил.
8. Основы автоматизированного проектирования: учебник / Под ред. А.П. Карпенко. – Москва: ИНФРА-М, 2017. – 329 с.

Məqalə qəbul olunub: 17.04.25
Tövsiyə edib: prof. Məmmədov A.T.

УДК 629.5

RISK ANALYSIS IN THE INITIAL DESIGN PHASE OF SUBSEA CONSTRUCTION VESSELS

Abdullayev O.M.

ASCO Endineering
Baku, Ziya Yusifzade st. 48
E-mail: oyrad-abdullayev@asco.az

Xülasə. *Məqalədə sualtı-texniki işləri təmin edən gəmilərin layihələndirilməsi zamanı yaranan risklərin aşkar edilməsi, təhlili və idarə olunması məsələləri araşdırılmışdır. Bir gəmilərdə çoxsaylı texnoloji avadanlıqların və mürəkkəb mühəndis sistemlərinin birləşdirilməsi istismar zamanı yüksək risk səviyyəsinə gətirib çıxara bilər. Təhlükəsiz və səmərəli layihələndirməni təmin etmək məqsədilə sistemli analiz üsullarından istifadə olunmuş, risklərin struktur modeli və riyazi təsviri hazırlanmışdır. Konstruktiv, texnoloji, istismar və ekoloji kateqoriyalar üzrə risklər müəyyənləşdirilmiş, onların qiymətləndirilməsi aparılmış və qabaqlayıcı tədbirlər sistemi formalaşdırılmışdır. Təklif olunan yanaşma layihənin təhlükəsizliyini artırmağa və oxşar texniki sistemlərin layihələndirilməsi zamanı tətbiq edilə biləcək metodoloji əsas yaratmağa imkan verir.*

Abstract. *In this article questions of identification, the analysis and risk management, arising at design of subsea construction vessel. Association on one vessel of a large number of technology equipment and complex engineering systems can result in high risk level at operation. For ensuring safe and effective design methods of the system analysis were used, the structural model and the mathematical description of risks of the project are developed. Risks on constructive, technological, operational and ecological categories are revealed, their assessment is carried out and the system of preventive measures is created. The offered approach allows to increase safety of the project and to create a methodological basis of its application at design of similar technical systems.*

Аннотация. *В данной статье рассмотрены вопросы выявления, анализа и управления рисками, возникающими при проектировании судов обеспечения подводно-технических работ. Объединение на одном судне большого количества технологического оборудования и сложных инженерных систем может привести к высокому уровню риска при эксплуатации. В целях обеспечения безопасного и эффективного проектирования были использованы методы системного анализа, разработаны структурная модель и математическое описание рисков проекта. Выявлены риски по конструктивным, технологическим, эксплуатационным и экологическим категориям, проведена их оценка и сформирована система превентивных мер. Предложенный подход позволяет повысить безопасность проекта и создать методологическую основу его применения при проектировании аналогичных технических систем.*

Açar sözlər: *risklərin analizi, gəmilərin layihələndirilməsi, çəki yükünə nəzarət, sualtı təminat gəmisi, gəminin sürəti*

Key words: *risk analysis, ship design, weight control, subsea construction vessel, vessel speed*

Ключевые слова: *анализ рисков, проектирование судов, контроль весовой нагрузки, судно обеспечения подводно-технических работ, скорость судна*

Introduction. Use of a large amount of expensive technology equipment, the apparatus and diving complexes described in many sources [1-9] of the subsea operation concentrated within one subsea construction vessel, raises degree of risk of operation of the perspective vessel. For anticipation of emergencies and ensuring safe work, we made the analysis of the main risks arising during the work of the subsea construction vessel. The risks connected with design of subsea construction

vessel are considered and carried out: systematization, identification, description, analysis of risk, mathematical model also developed, sources of risks were identified and a system of actions to prevent risks was developed.

System analysis and mathematical model of risk analysis. Design and further operation of such complex technical systems as the sea vessel, in particular the subsea construction vessel (SCV), is a multifaceted task requiring strict systematization of the actions performed. At the same time, at design of the vessel on the basis of the theory of risk, use of methods of the system analysis [10, 11] repeatedly increases the probability of faultless design and will allow to systematize the factors participating at design. Thus, solving the problems described in the real work the structural model describing the sequence of performance of risk analysis at design of the SCV was made. Lower the formula (1), described mathematical model of process of risk analysis at design of the SCV.

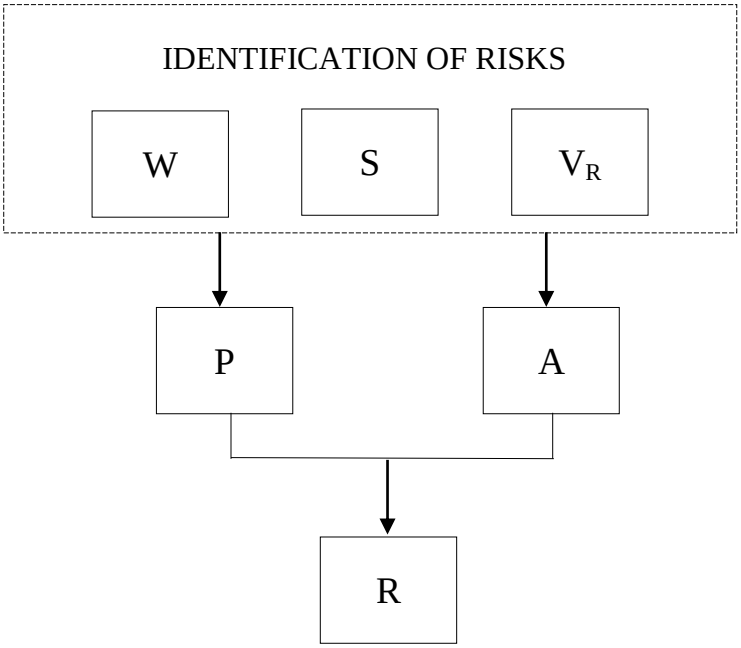


Fig. 1. *The block diagram of risk analysis at design of the vessel*

here W – the risks arising when forming weight loading of the vessel;
S – the risks arising when forming the main dimension of the vessel;
V_R – the risks arising when calculating vessel speed;
P – description of risks;
A – risk analysis;
$A_{(X)}$ – sum of private factors of risk analysis (1);
R – system of actions anticipatory risks.

$$A_{(X)} = A_W + A_S + A_v \tag{1}$$

here A_W – risk analysis when forming weight loading of the vessel;
A_S – risk analysis when forming the main dimensions of the vessel;
A_v – risk analysis when calculating vessel speed;

$$A = A_{(X)}(W, S, v) \cap P\,(W, S, v) \tag{2}$$

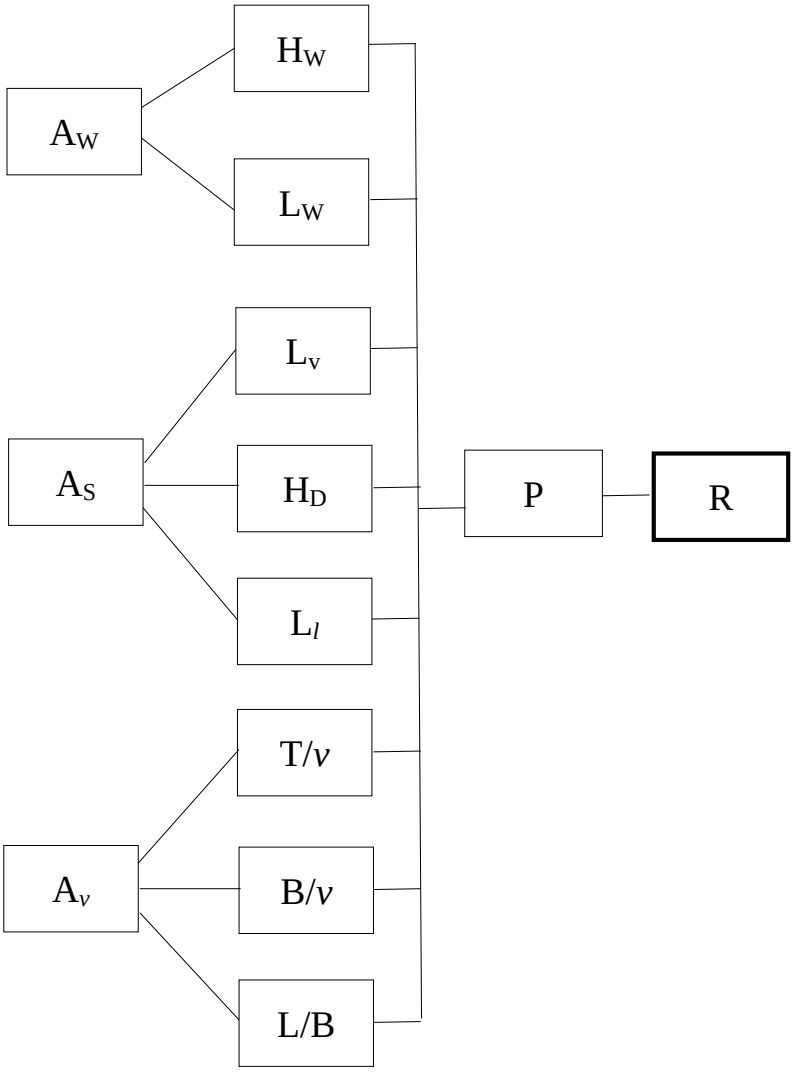


Fig. 2. *The block diagram of a system of the actions anticipating risks at design of the vessel*

here H_W – factor risk analysis describing weight increase of the vessel;
L_W – factor risk analysis describing weight decrease of the vessel;
L_v – factor risk analysis describing reduction of vessel speed;
H_D – factor risk analysis describing increase in displacement of the vessel;
L_l – factor risk analysis describing deterioration in stability of the vessel;
T/v – factor risk analysis describing the incorrect select of ratios of draft and vessel speeds;
B/v – factor risk analysis describing the incorrect select of ratios of width and vessel speeds;
L/B – factor risk analysis describing the incorrect select of ratios of length and vessel width;

Being guided by block diagrams (see fig. 1 & 2.) and the mathematical model describing formation of risk analysis (2) identification, the description is carried out and the system of actions anticipating risks described by formula (3) is developed.

$$R = P(A_W(H_W, L_W) \cap A_S(L_v, H_D, L_l) \cap A_v(T/v, B/v, L/B)) \quad (3)$$

Thus the developed block diagram and mathematical model of risk analysis, gives the chance to systemically make the analysis, identification and the description of risks, to define sources of their emergence. It will give the chance to offer the system of actions for anticipation of risks and to classify the risks arising when forming weight loading, the main dimensions and when calculating vessel speed.

Identification risks. Identification and classification risks. In a designing process of the vessel providing carrying out subsea operation, the correct identification and classification of risks is one of key stages. This stage demands the system analysis of information arriving from various sources including normative documents on design and operation, results of similar projects and also expert estimates.

Risks were identified and classified by the following main categories:

- **Design risks (DR):**
  - Inexact assessment of loading capacity of the vessel;
  - Insufficient calculation of durability of the hull;
  - Non-optimal select of the main dimension of the vessel.
- **Technological risks (TR):**
  - Technological uncertainty at placement of the subsea equipment;
  - Ignoring of hydrodynamic influences;
  - Incompatibility at integration of the equipment.
- **Operational risks (OR):**
  - Probability of refusal of diving complexes;
  - Interruptions in the system of power supply;
  - Shortcoming or delay in delivery of spare parts.
- **Ecology and Environmental risks (EER):**
  - Ignoring of changes in the marine environment;
  - Probability of emergence of environmental impacts;
  - Inefficiency of countermeasures in the conditions of natural disasters.

Within each category of risks concrete risk factors and extent of their influence on the project were defined and analyzed. In the course of identification of risk, the following methods were applied (see Table 1):

- Expert polls and assessment;
- Databases of the previous similar projects;
- Risk matrixes and trees of decisions;
- Analyses SWOT & PEST.

Table 1

Further risks were grouped in extent of influence and probability of emergence as follows:

Risk level	Extent of influence	Emergency probability	Priority
A (High)	Strong	High	Urgent measures
B (Average)	Average	Average	Planned measures
C (Low)	Low	Low	Monitoring

Based on this classification, the basis for risk analysis and management strategies were formed in subsequent stages of the project.

When forming the appearance of a prospective vessel, among a large number of risks, the following risks are highlighted as the most important ones when forming the design constraints of the designed vessel (see Table 2):

– the risks arising when forming weight loading at a stage of initial (research) design of the vessel;

– the risks arising when forming the main dimension of the perspective vessel at a stage of initial (research) design;
– the risks arising when calculating speed of the designed vessel.

Table 2

The analysis of the identified risks

Risks, when forming weight loading of the vessel	**Risks, when forming the main dimension of the vessel**	**The risks arising when calculating vessel speed**
Errors of the designed vessel weight loading, as a result can bring: 1. To weighting of the vessel that in turn will effect on: – displacement increase; – increase in the actual draft; – loss of speed (in connection with v/T ratio); – to reduction of loading capacity, as a result possibilities of use of technology equipment are narrowed. 2. To weight loss of the vessel that in turn will effect on: – reduction of displacement; – deterioration in stability of the vessel; – increase in value of "ballast "weight; – problems when using technology equipment.	The incorrect select of the main dimension ratios and formation of the main dimension on the select ratios, as a result can bring to: –receiving less than predicted speed; –receiving more than predicted displacement; –to deterioration of stability. In the all listed cases can lead problems in operation of technology equipment.	Errors when calculating vessel speed can bring to: – incorrect select of T/v ratios; – incorrect select of B/v ratios; – incorrect select of L/B ratios.

Description of risks. Analysis and risk assessment. At design of the vessel providing carrying out subsea operation, each of the revealed risks it was analyzed and estimated on extent of influence and probability of emergence. Risk analysis purpose – to reveal risks with a high priority and to provide timely acceptance of the appropriate measures on their prevention.

Risk analysis was carried out via two main directions:

1. The analysis on the basis of quality indicators – classification of risks on the basis of expert opinion, data on similar projects and to standard documentation;
2. The analysis on the basis of quantitative indices - calculation of degree of risk with application of mathematical modeling, statistical data and probability theory.

At assessment for each risk factor the following parameters were determined (see Table 3):

- Extent of influence (T) – potential negative impact of risk on the project or operation;
- Emergence probability (E) – probability of realization of this risk;
- Index of risk (RI) – the indicator defining the total risk level calculated by the following formula (4):

$$RI = T \times E \tag{4}$$

here:

• T – influence force on a scale from 1 to 5 points (1 – minimum, 5 – critical),
• E – probability on a scale from 1 to 5 points (1 – very low, 5 – very high).

Table 3

Evaluation criteria:

Range RI	Risk level	Influence	Type of actions
16–25	High	Critical	Urgent intervention, change of the progect
9–15	Average	Considerable	Detailed analysis and preventive measures
1–8	Low	Insignificant	there is enough monitoring and control

For example, if for risk of structural instability at load distribution on the vessel to accept T = 5 & E = 4, that RI = 20, what corresponds to category of high risk and demands immediate intervention.

As a result of the risk assessment, all risks were classified according to their priority level, and an action plan for their management was developed.

The risks arising at a stage of initial design, in particular formation of weight loading definition of the main dimension and calculation of vessel speed are described as:

– errors of weight distribution formation of weight loading;

– incorrect select of the main dimension's ratios;

– errors when calculating vessel speed.

In table 2, the analysis of the identified risks for initial design stage is provided. The insufficient weight load according to part concerning the displacement of the designed vessel can be sources of risks. At the initial design stage, when forecasting weight load for displacement of the designed vessel a large number of factors should be influences. It is possible to carry errors of the select of the weight loading in the top and lower limits to similar factors, unjustified forecasts of the equipment weight, a mistake when calculating and selecting coefficients of completeness and the main dimensions.

The incorrect select of ratios of the main dimensions of the perspective vessel, on initial design stage, can arise at the incorrect select of the sizes in the maximum and minimum limits of the main dimension's ratios.

As link with the previous risk, the greatest influence on vessel speed among big quantity of factors, in relation to the considered task renders errors when selecting the main dimensions and coefficients of completeness.

Risk management and preventive measures system. Risk management is a complex of the consecutive and system actions which are carried out for the purpose of minimization of dangers at design and operation stages. For prevention of the hi-tech and design risks arising at design of the vessel providing carrying out subsea operation the comprehensive strategy of risk management was developed.

This strategy includes the following main stages:

1. Mitigation in risks:
   - Application of alternative technical solutions in design;
   - Planning of reserve decisions (redundancy) for critical components;
   - Optimal material selection and integration of modern technologies;
   - Check of loading by means of test models in the conditions approximate to real.
2. Transfer in risks:
   - Transfer of separate technical risks through insurance or to contractors;
   - Accurate distribution of responsibility in contracts with suppliers.
3. Acceptance in risks:
   - Monitoring of risks of low level with the minimum influence;
   - Development of reserve plans (the Plan B) on a case of realization of such risks.

4. Prevention of the risks:
   • Strengthening of the tests procedures and checks;
   • Carrying out the training programs for risk management for technicians and design group;
   • Application of iterative (repeated) checks at a design stage.

The main objective of a control system is expressed as follows (5):

$$R_{eff} = R - (M + T + P) \quad (5)$$

Here • R – initial risk level;
• M – efficiency of actions for risk reduction (mitigation);
• T – the volume of the transferred risks (transfer);
• P – the size of the prevented risks (prevention);
• R_{eff} – residual risk, i.e. real risk level which is subject to management after end of the project.

The developed system of preventive measures allows to reduce risks to the acceptable manageable level and ensures compliance of the project to criteria of quality, safety and functionality.

Description of risks. Risk analysis is made for formation of actions for anticipation of the identified risks at a stage of initial (research) design.

System of actions anticipatory risks.

1. It is necessary for anticipation of the risks connected with formation of weight loading:

– at initial design stages to make the reasonable select of the predicted values of weight loading being based on the data of the vessel of a prototype or statistical data on the same vessels;
– at initial design stages to predict, necessary value of a stock of displacement;
– at all stages of creation of the vessel, from development of the idea before delivery of the vessel in operation to make strict control of formation of weight loading.

2. It is necessary for anticipation of the risks connected with formation of the vessel main dimensions:

– at initial design stages to show consideration and carry out evidence-based calculations of the main sizes of the perspective vessel;
– to show consideration for the select of a close prototype or statistical data of the same vessels;
– when selecting or calculating the main dimensions of the vessel to consider the most adverse operating conditions of technology equipment and complexes.

3. It is necessary for anticipation of the risks connected with calculation of speed:

– at all design stages and constructions of the vessel to watch closely change of the conditions considered during the calculating of speed, a research in the model testing basin and at computer modeling of the shell (CFD);
– at a design stage to connect theoretical calculations of seagoing qualities of the vessel with calculation of vessel speed.

Thus, the carried-out analysis, identification and the description of risks, defined sources of their emergence. Are brought the system of actions for anticipation of risks. By the analysis of the identified risks it is established that all considered risks are interconnected. Anticipation of the identified risks it has to be made at all design stages and construction of the perspective vessel. Risks when forming weight loading, the main dimension are classified and the vessel speeds arising when calculating.

Conclusion. As a result of a research the complex methodology on identification, the analysis and risk management, arising at design of the vessels providing carrying out subsea operation was developed. Thanks to the carried-out system analysis and mathematical modeling at an analytical stage of the project the following main results were received:

1. The main risks arising in a designing process were revealed, their sources were analyzed and their structuration was executed;
2. Risks were classified by character on designs, technological, operational and ecological groups and also estimated on the probability of emergence and extent of influence;
3. On the basis of mathematical model calculation of indexes of risk is made and their priorities was carried out;
4. The four-stage system of preventive measures for risk management (mitigation, transfer, prevention and acceptance) is created;
5. As a result of application of this technique effective mechanisms on decrease in the general level of risks within the project and to increased security were offered.

The received results demonstrate that system risk management at design of difficult technological objects, such as subsea construction vessel, is an important condition of successful and reliable implementation of the project. The developed model and methodology can be applied and improved in other similar projects of marine engineering.

References

1. Egorov A. G., Abdullayev O.M. Risk-based analysis of operational design restrictions and main design characteristics of subsea construction vessel / Egorov A. G., Abdullayev O.M. – Herald of the Odessa National Maritime University, Odesa, 2023, #1(68), pp.7-26. Doi 10.47049/2226-1893-2023-1-7-26.
2. Gaikovich A.I. Bases of the theory of design of complex technical systems. / Gaikovich A.I. – Saint-Petersburg: *MORKNIGA*, – 2001. – 432 p.
3. Golyadkina S.S. Risk analysis of sea operations with the help of remotely operation vehicles / Golyadkina S.S. – Moscow: Gas industry, – 2020. – p. 34 - 37.
4. Egorov G.V. Design of vessels of limited navigation areas on the basis of the theory of risk / Egorov G.V. Saint-Petersburg: Shipbuilding, – 2007. – 384 p.
5. Volkov U.F. Technical support of diving operation / Volkov U.F. – Moscow: Shipbuilding, 2008. – 264 p.
6. Kurbatov N.P. Design the marine technical facility / Kurbatov N.P. – Saint-Petersburg: SIGMF, 2011. – 318 p.
7. Khakimov A.I. Risk management in marine engineering / Khakimov A.I. – M.: Science, 2012. – 229 p.
8. Loginov I.S., Maltsev K.V. Safety of subsea operation / Loginov I.S., Maltsev K.V. – Vladivostok: Dalmorput, – 2013. – 192 p.
9. Küçüksu G.N., Mentes A., Akyıldız H. A fuzzy bayasian netüork approach for risk analysis of hazardous cargo ships / Küçüksu G.N., Mentes A., Akyıldız H. – Istanbul: GİDB/DERGİ, – 2023. – p. 18 - 37.
10. Vdovin V.M., Surkova L.E., Valentinov V.A. Theory of systems and system analysis / Vdovin V.M., Surkova L.E., Valentinov V.A. – Moscow: Dashkov & C, – 2012. – 637 p.
11. Saaty T.L. The Analytic Hierarchy Process / Saaty T.L. – New York: McGraw-Hill, 1980. – 287p.

Məqalə qəbul olunub: 18.04.25
Tövsiyə edib: dos. Xankişiyev İ.A.

УДК 62-791.2

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ДЛЯ СТАНКОВ С ЧИСЛОВЫМ ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

[1]Богатенков С.А., [1]Сазонова Н.С., [2]Юсубов Н.Д., [2]Аббасова Х.М., [2]Дадашов Р.Е.

[1]Южно-Уральский государственный университет
Россия, Челябинск, пр. Ленина, 76
[2]Азербайджанский Технический Университет
AZ1148., г. Баку, пр. Г. Джавида, 25
E-mail: bogatenkovsa@susu.ru, 16Nata@yandex.ru, nizami.yusubov@aztu.edu.az, abbasova.heyran@aztu.edu.az, dadashov@aztu.edu.az

Xülasə. *Rəqəmli proqramla idarə olunan (RPİ) dəzgahlarda yerinə yetirilən əməliyyatların səmərəliliyi süni intellekt (Sİ) üsullarının tətbiqi ilə artırıla bilər. Məqalədə RPİ dəzgahlarında emal prosesləri zamanı Sİ-nin tətbiqinin faydaları haqqında ümumi məlumat verilir. "Ağıllı istehsal" RPİ dəzgahları üçün Sİ ilə maşın öyrənməsi istehsal sisteminin imkanları təsvir edilmişdir. Sİ-nin istifadəsi hissələrin işlənməsi prosesində səhvlərin və qüsurların sayını azaltmağa, avadanlığa texniki xidmət və təmir xərclərini əhəmiyyətli dərəcədə aşağı salmağa imkan verir, istehsal xəttinin avtomatlaşdırılmasına və optimallaşdırılmasına kömək edir, həmçinin işçilərin təhlükəsizliyi və mühafizəsi səviyyəsini artırır.*

Аннотация. *Эффективность операций, выполняемых на станках с числовым программным управлением (ЧПУ) может быть увеличена в результате применения методов искусственного интеллекта (ИИ). В статье выполнен обзор преимуществ от внедрения ИИ в процессы обработки на станках с ЧПУ. Описаны возможности производственной системы машинного обучения с искусственным интеллектом для станков с ЧПУ "Умное производство". Применение ИИ позволяет сократить количество ошибок и дефектов в процессе обработки деталей, значительно снизить затраты на обслуживание и ремонт оборудования, способствует автоматизации и оптимизации производственной линии, а также повышает уровень безопасности и защиты персонала.*

Abstract. *The efficiency of operations performed on machine tools with numerical control (CNC) can be increased as a result of the use of artificial intelligence (AI) methods. The article provides an overview of the benefits of introducing AI into machining processes on CNC machines. The possibilities of a machine learning production system with artificial intelligence for Smart Manufacturing CNC machines are described. The use of AI makes it possible to reduce the number of errors and defects in the processing of parts, significantly reduce the cost of maintenance and repair of equipment, promotes automation and optimization of the production line, and also increases the level of safety and protection of personnel.*

Açar sözlər: *proqramla idarə olunan dəzgahlar, avtomatlaşdırılmış layihələndirmə sistemləri, kadr səhvlər, rəqəmsal əkizlər, süni intellekt*

Ключевые слова: *станки с числовым программным управлением, САПР, ошибки персонала, цифровые двойники, искусственный интеллект*

Key words: *numerical control machines, CAD, personnel errors, digital twins, artificial intelligence*

Введение. Станки с числовым программным управлением (ЧПУ) — это оборудование, в котором высокоточная компьютерная программа управляет движением различных инстру-

ментов и машин. Станки с ЧПУ способны производить объекты любой сложности и обрабатывать любое сырьё: дерево, сталь, алюминий, латунь, медь, титан, стекловолокно, полипропилен и другие [1].

При проектировании операций механической обработки, задачи повышения производительности работы оборудования играют ведущую роль. Эффективным инструментом для решения этих задач является применение систем автоматизированного проектирования (САПР), использующих методы оптимизации [2].

Различные подходы к оптимизации параметров технологического процесса предполагают разработку математических или имитационных моделей, рассчитывающих критерии оптимальности для разных вариантов многопозиционной обработки. Одни авторы решают эту проблему путем разработки многоцелевой модели оптимизации параметров резания при многопроходной токарной обработке на станках с ЧПУ [3]. Другие предлагают ограниченную многокритериальную оптимизацию параметров процесса токарной обработки с помощью генетического алгоритма и методов оптимизации роя частиц [4, 5]. Также применяются методы измерения и оптимизации точности для многошпиндельных станков [6].

Базой для проектирования оптимальной структуры наладки является современная теория точности многоинструментной многосуппортной обработки, принципы и методология прогнозирования точности которой заложены А.А. Кошиным [7, 8].

Применение САПР ТП позволяет проектировать операции по критерию производительности [2]. Однако при этом предъявляются повышенные требования к уровню квалификации персонала, так как, с одной стороны он должен знать особенности операций, с другой стороны, должен быть квалифицированным пользователем САПР ТП.

Для минимизации рисков целесообразно применять методы искусственного интеллекта (ИИ) [9] и технологии цифровых двойников [10]. Вопросы применения ИИ для автоматизированного проектирования многоинструментных операций рассмотрены в [11].

Преимущества внедрения ИИ в процессы обработки на станках с ЧПУ. Внедрение ИИ в процессы быстрой точной обработки с ЧПУ открывает множество преимуществ [12].

Повышенная эффективность. Интеграция ИИ позволяет производителям использовать обширные базы данных, содержащие информацию о физических характеристиках материалов, производственных данных и т.д. Эти данные помогают операторам станков задавать оптимальные параметры, такие как скорость инструмента, подача и траектория, что повышает эффективность без ущерба для точности. Обработка с ЧПУ, управляемая ИИ, особенно полезна для сложных задач, требующих высокой адаптивности и индивидуального подхода.

Улучшенный контроль качества и инспекция. Прецизионная обработка обычно используется для изготовления деталей с высокой степенью точности, где допуски измеряются в микронах. Станки с ЧПУ, оснащённые ИИ, используют алгоритмы машинного обучения для выявления мельчайших отклонений, которые могут остаться незамеченными. Иногда ИИ компенсирует ошибки, минимизирует отходы. Такая точность особенно важна в автомобильной, медицинской и аэрокосмической отраслях, где даже малейший дефект может привести к отзыву продукции.

Предиктивное обслуживание. Традиционно техническое обслуживание проводится на реактивных (по мере поломки) или временных графиках, что иногда приводит к неожиданным простоям. ИИ меняет эту ситуацию, анализируя данные с сенсоров на станках и прогнозируя вероятность отказа компонентов. Это позволяет операторам принимать меры заранее, минимизировать простои и продлевать срок службы дорогостоящего оборудования.

Повышенная гибкость. Раньше операторы тратили много времени на адаптацию программ обработки к новым материалам, конструкциям или требованиям инженеров. Благодаря ИИ этот процесс стал значительно быстрее. Алгоритмы ИИ позволяют системам с ЧПУ автоматически подстраиваться под новые задачи, делая процесс более гибким.

Снижение эксплуатационных затрат. Хотя обработка с ЧПУ уже более экономична, чем традиционные методы, её стоимость всё же может быть высокой. Однако ИИ снижает затраты благодаря повышению эффективности процессов, снижению количества ошибок и отходов.

Интеграция в интеллектуальную цепочку поставок. Влияние ИИ на точную обработку с ЧПУ выходит за рамки самого процесса. Системы ИИ помогают точнее прогнозировать спрос, оптимизировать уровни запасов и логистику. Это позволяет производителям соблюдать сроки и повышать общую эффективность процессов.

Современная промышленность становится все более автоматизированной и эффективной благодаря использованию передовых технологий. В этом контексте системы машинного обучения с искусственным интеллектом занимают особое место, предоставляя новые возможности для станков с ЧПУ.

Производственная система машинного обучения с искусственным интеллектом для станков с ЧПУ "Умное производство". Применение производственной системы машинного обучения с искусственным интеллектом для станков с ЧПУ "Умное производство" улучшает производительность, качество и точность этих устройств. Благодаря алгоритмам машинного обучения, станки могут автоматизировать процессы, которые ранее требовали наличие оператора. Системы машинного обучения способны анализировать данные и принимать решения на основе полученных результатов, что позволяет снизить количество ошибок и улучшить общую эффективность работы станков с ЧПУ [13].

Одним из ключевых аспектов, который делает систему машинного обучения с искусственным интеллектом более эффективной, является использование дополнительных датчиков на станках с ЧПУ. Эти датчики позволяют собирать дополнительную информацию о процессе обработки материалов на станке, что ведет к повышению точности и надежности работы системы машинного обучения.

Одним из примеров применения дополнительных датчиков на станках с ЧПУ является контроль за температурой исполнительных элементов станка и зоны резания. Другой пример применения дополнительных датчиков на станках с ЧПУ - контроль размеров обрабатываемых деталей. Кроме того, применение дополнительных датчиков на станках с ЧПУ позволяет собирать данные о состоянии инструментов обработки.

Важным аспектом применения системы "Умное производство" является возможность улучшения точности обработки материалов. Алгоритмы машинного обучения способны анализировать данные из различных источников и определять оптимальные параметры обработки для достижения наилучшего качества продукции. Это гарантирует минимальное количество отходов и сокращение времени на выравнивание и отладку станков.

Так же применение системы "Умное производство" является возможностью предсказания неисправностей и проведения профилактических мероприятий. Алгоритмы машинного обучения способны анализировать данные об использовании станка, определять аномальные паттерны и предлагать решения для предотвращения поломок. Это позволяет значительно снизить расходы на ремонт и обслуживание, а также увеличить доступность и надежность работы оборудования.

Применение производственной системы машинного обучения с искусственным интеллектом для станков с ЧПУ "Умное производство" открывает новые возможности для промышленности. Они позволяют улучшить производительность, качество и надежность работы станков, а также снизить операционные затраты благодаря автоматизации процессов и предвосхищению неисправностей. Развитие систем машинного обучения с искусственным интеллектом в этой области будет способствовать дальнейшей оптимизации производства и повышению эффективности промышленного сектора.

Внедрение системы «Умное производство» имеет многочисленные плюсы и преимущества. Эта инновационная технология способна значительно улучшить эффективность работы и повысить качество производства:

1. Значительно сократить количество ошибок и дефектов в процессе обработки деталей. Прогноз возможных проблем и предотвращать их возникновение вносит большую стабильность в производственный процесс и позволяет избежать потери времени и ресурсов на исправление ошибок.

2. Способствует автоматизации и оптимизации производственной линии. Станки с ЧПУ могут быстро адаптироваться к изменениям в производственном процессе. Это позволяет достичь более высокой точности и скорости обработки деталей, снижая время цикла производства и увеличивая общую производительность.

3. Повышение уровня безопасности и защиты персонала. Способность искусственного интеллекта мгновенно реагировать на возможные опасности и предотвращать аварийные ситуации значительно снижает риск вреда для работников.

4. Позволяет значительно снизить затраты на обслуживание и ремонт оборудования. Прогноз возможных поломок и выявления неполадок на ранних этапах позволяет производить профилактическое обслуживание и своевременно заменять изношенные детали, что особенно важно для станков с ЧПУ.

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

Литература

1. Станки с ЧПУ: виды, преимущества, сферы применения https://laserstore.ru/blog/stanki-s-chpu-vidy-preimuschestva-sfery-primeneniya.
2. Bogatenkov, S.A., Sazonova, N.S., Yusubov, N.D., et al. (2022). Decision-making in the conditions of introduction of automated design systems of technological processes. SOCAR Proceedings Special Issue 1 (2022) 006-010, 6-10.
3. Amith Gadagi, Chandrashekar Adake A constrained multi-objective optimization of turning process parameters by genetic algorithm and particle swarm optimization techniques// Materials Today: Proceedings. – 2021. – Vol. 10. – P. 1207—1212
4. Toufik Ameur Multi-objective particle swarm algorithm for the posterior selection of machining parameters in multi-pass turning// Journal of King Saud University - Engineering Sciences Available online. – 2020. – Vol. 8. – Issue 4. — P. 259—265
5. Xiaopin Qin, Shaowei Zhu, Qinghong Gong A Measuring and Optimizing Method of Precision Consistency for Five-axis Multi-spindle Gantry Machine// Procedia CIRP. – 2016. – Vol. 56. — P. 524—527
6. Temchin G.I. Multi-tool setups. Theory and calculation. - M. Mashgiz, 1963. – 543 p.
7. Koshin A.A., Yusubov N.D**.** Elements of the matrix theory of accuracy of multi-tool machining in spatial settings// Vestnik Mashinostroeniya. - Innovative mechanical engineering - 2013. - № 9. - P. 13-17.
8. Koshin A.A., Sazonova N.S**.** Tasks and directions of improvement of automated systems of technological processes norming of modern mechanical engineering// Fundamental and applied problems of engineering and technology. - Oryol State University - 2011. - № 4-3. - P. 24-30.
9. Модели и методы искусственного интеллекта: учеб. пособие / Пенькова, Ю. В. Вайнштейн. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2019 – 116 с.
10. Pereverzev P.P. Features of development of the mathematical model of metal removal for the digital twin of the CNC cylindrical grinding process // Bulletin of South Ural State University. Series: Engineering. 2020. T. 20. № 3. P. 72-81.

11. Богатенков, С.А. Искусственный интеллект для автоматизированного проектирования многоинструментных операций / С.А. Богатенков, Н.С. Сазонова, Н.Д. Юсубов //Труды Азербайджанской Государственной морской академии. –2024 № 1. – С.14 –20.
12. Искусственный интеллект и ЧПУ: Революция точности, которая меняет мир производства https://www.stankoff.ru/blog/post/1504.
13. Производственная система машинного обучения с ИИ для станков с ЧПУ https:// tenchat.ru/media/2093432-proizvodstvennaya-sistema-mashinnogo-obucheniya-s-ii-dlya-stankov-s-chpu

Məqalə qəbul olunub: 21.04.25
Tövsiyə edib: prof. İsmayılov N.Ş.

УДК 62-791.2

БЕЗОПАСНОСТЬ ПРЕДПРИЯТИЯ В ИНФОРМАЦИОННОМ ОБЩЕСТВЕ: ИТ-ПРОЕКТЫ НА ПЛАТФОРМЕ 1С

[1]Богатенков С.А., [2]Юсубов Н.Д., [3]Богатенков Д.С., [4]Обухов С.Н., [2]Аббасова Х.М.

[1]Южно-Уральский государственный университет
Россия, Челябинск, пр. Ленина, 76
[2]Азербайджанский Технический Университет
AZ1148., г. Баку, пр. Г. Джавида, 25
[3] Челябинский государственный университет
Россия, Челябинск обл., ул. Братьев Кашириных, 129
[4]ООО "Асти-Софт"
Россия, Челябинская обл., г. Челябинск, ул. Университетская Набережная, д. 20 кв. 42
E-mail: bogatenkovsa@susu.ru, nizami.yusubov@aztu.edu.az,
bog-dim@yandex.ru, osn@asti-soft.ru, abbasova.heyran@aztu.edu.az,

Xülasə. *Müəssisənin təhlükəsizliyi onun istifadəsinin səmərəliliyi və təhdidlərdən qorunma dərəcəsi ilə müəyyən edilir. Tədqiqatın məqsədi 1C platformasında İT layihələrindən istifadə edən müəssisənin təhlükəsiz fəaliyyətini təmin etmək üçün tədbirlər hazırlamaqdır. Məqalədə 1C platformasında işləyərkən informasiya təhlükəsizliyi risklərini minimuma endirmək üçün tədbirlər təsvir edilmişdir. Tətbiq olunan "1C: Sənaye Təhlükəsizliyi. Kompleks" həllinin tətbiqinə ehtiyac iqtisadi cəhətdən əsaslandırılmış, şirkətin fəaliyyətinin bütün aspektlərinin səmərəli idarə olunması üçün 1C platformasının tətbiqi həllərinin inteqrasiyası imkanları göstərilmişdir. Məqalədə 1C-sertifikatlaşdırma, şəxsi inkişaf trayektoriyaları əsasında kadr hazırlığının planlaşdırılması və 1C iş təsnifatı nəticəsində işəgötürənlərin və işçilərin risklərini minimuma endirən tədbirlər təsvir edilmişdir. Tədqiqat nəticələrinin 1C platformasında İT layihələrini həyata keçirən müəssisələrdə tətbiqi onların işinin təhlükəsizliyini təmin edəcək.*

Аннотация. *Безопасность предприятия определяется эффективностью использования собственности и степенью ее защиты от угроз. Целью исследования является разработка мероприятий, для обеспечения безопасной работы предприятия с помощью ИТ-проектов на платформе 1С. В статье описаны мероприятия для сведения к минимуму рисков информационной безопасности при работе на платформе 1С. Экономически обоснована необходимость внедрения прикладного решения «1С: Производственная безопасность. Комплексная». Показаны возможности интеграции прикладных решений платформы 1С для эффективного управления всеми аспектами деятельности компании. Описаны мероприятия, сводящие к ми-*

нимуму риски работодателей и персонала в результате 1С-сертификации, планирования подготовки кадров на основе персональных траекторий развития и классификации должностей 1С. Применение результатов исследования на предприятиях, внедряющих ИТ-проекты на платформе 1С, обеспечит безопасность их работы.

Abstract. *The security of an enterprise is determined by the effectiveness of the use of property and the degree of its protection from threats. The purpose of the research is to develop measures to ensure the safe operation of the enterprise using IT projects on the 1C platform. The article describes measures to minimize information security risks when working on the 1C platform. The necessity of implementing the 1C: Industrial Safety application solution is economically justified. Complex". The possibilities of integrating 1C platform application solutions for effective management of all aspects of the company's activities are shown. The measures that minimize the risks of employers and staff as a result of 1C certification, personnel training planning based on personal development trajectories and 1C job classification are described. The application of the research results at enterprises implementing IT projects on the 1C platform will ensure the safety of their work.*

Açar sözlər*: müəssisə təhlükəsizliyi, 1C platformasında İT layihələri, sənaye təhlükəsizliyi, tətbiqi həllərin inteqrasiyası, kadr hazırlığı*

Ключевые слова: *безопасность предприятия, ИТ-проекты на платформе 1С, производственная безопасность, интеграция прикладных решений, подготовка кадров*

Key words: *enterprise security, IT projects on the 1C platform, industrial safety, integration of application solutions, personnel training*

Экономическая безопасность предприятия определяется экономической эффективностью использования собственности и степенью ее защиты от угроз [1]. Двигателем современного производства является автоматизация бизнес-процессов на основе применения информационных технологий (ИТ) и искусственного интеллекта [2]. В последнее время наблюдается тенденция роста инвестиций в ИТ, приводящая к повышению экономической эффективности бизнеса [3, 6].

Тормозом современного производства является отсутствие надежного управления процессами внедрения ИТ-проектов, приводящее к большому проценту неудач. Менее 75 % проектов являются удачными, остальные были заброшены или отменены. Эффективность выполнения удачных проектов оставляет желать лучшего, т.к. более 50 % из них потребовало дополнительных стоимостных и временных ресурсов для своего завершения. При этом наблюдается отсутствие обещанной функциональности [7, 8].

Такое положение свидетельствует об актуальности задачи управления рисками в условиях внедрения информационных технологий. Решение данной задачи для предприятий, использующих системы автоматизированного проектирования (САПР) технологических процессов (ТП) рассмотрено в работах [9, 10]. Эффективным инструментом для обеспечения экономической безопасности является платформа «1С: Предприятие».

Постановка задач исследования. Для управления экономической безопасностью на платформе 1С можно использовать информационную систему, построенную на алгоритме машинного обучения. Она позволяет получать данные о состоянии предприятия и из внешних источников, на основе которых можно спрогнозировать оценку вероятности успешного противодействия угрозам [11].

Охрана труда, промышленная, пожарная и экологической безопасность являются важными аспектами экономической безопасности. Для автоматизированного решения задач перечисленных аспектов используется решение «1С: Производственная безопасность. Комплексная» [12].

Спрос на квалифицированных специалистов в сфере 1С растет, чему способствует растущее внедрение программных решений 1С во многих отраслях. Организации все больше

стремятся оптимизировать свои бизнес-процессы, поэтому появляется все больше вакансий, требующих опыта работы с системами 1С. Эти должности часто требуют сочетания технических навыков и отраслевых знаний, что подчеркивает важность целевых программ обучения, учитывающих эти компетенции [13].

На основе анализа вакантных должностей персонала для работы в среде 1С на предприятиях г. Челябинска за последний квартал 2024 г. [14-16] получена таблица 1.

Таблица 1

Вакантные должности персонала для работы с продуктами 1С

Должность	Зарплата, тыс. руб.	Предприятия
Оператор 1С	40-60	ООО ТД УралМясТорг, Магазин Зоомаркет ООО ТД Автоснаб-Урал Интерком-Л, ООО ПрофБир
Специалист поддержки 1С	45-90	Мечел, Канцбюро Восток. Софт, Алабуга, ОЭЗ ППТ
Программист 1С	90-200	100 ТОНН МОНТАЖ, Первый Бит Предприятие «Таврия» Кондитерский дом Аксенов ООО Автоматизация Бизнеса
Программист 1С	230-320	КРОН
Специалист линии консультации 1С	65	ООО Линк-Сервис
Консультант-аналитик 1С	80-100	ООО 1С-Рарус
Аналитик- Консультант 1С	100-150	ООО Автоматизация бизнеса
Консультант 1С	150-250	ООО ТрансЛом
Ведущий разработчик 1С, руководитель отдела разработки 1С	200	1С-Рарус Кондитерский дом Аксенов

Компетенции, необходимые для эффективной работы в рамках «1С», включают в себя владение специальными модулями, такими как «1С: Документооборот», и всестороннее понимание автоматизации бизнес-процессов. Важную роль в формировании у кандидатов необходимых навыков играют учебные курсы - практические занятия, проводимые специализированными центрами, организациями ВПО и СПО [17]. Эти программы не только углубляют теоретические знания, но и предлагают практический опыт через совместные проекты.

В конечном счете, непрерывное образование и профессиональное развитие необходимы для людей, стремящихся сделать карьеру в области технологий 1С. Вовлекаясь в структурированную среду обучения и участвуя в практических занятиях и системе сертификации, люди могут значительно повысить свою трудоспособность и эффективность.

С увеличением спроса на квалифицированных специалистов в сфере 1С усиливается влияние рисков работодателей и сотрудников. Работодателям важно правильно сформулировать требования на вакантные должности и предложить соответствующую зарплату. Сотрудникам важно знать варианты успешного продвижения по служебной лестнице.

Для уменьшения влияния рисков полезен опыт фирмы 1С в развитии образования, 1С-сертификация кадров [18] и проведения дней карьеры [19]. Применение опыта авторов в области проектирования персональных траекторий дает возможность свести к минимуму риски работодателей и претендентов на вакантные должности [20]. Целью исследования является разработка мероприятий, сводящих к минимуму влияние социально-экономических рисков для обеспечения безопасной работы предприятия с помощью ИТ-проектов на платформе 1С.

Мероприятия системы безопасности предприятия на платформе 1С. На основе анализа внутренних и внешних угроз сформирована **модель состава мероприятий системы безопасности** на платформе 1С (таблица 2).

Таблица 2

Модель состава мероприятий системы безопасности на платформе 1С

Риск	Мероприятия
1. Недостаточное обеспечение информационной безопасности при работе на платформе 1С	Выполнение рекомендаций при работе с файловыми базами и с СУБД базами 1С. Выполнение требований к обеспечению физической безопасности серверного оборудования и к сетевой безопасности. Организация защиты персональных данных
2. Недостаточная охрана труда, промышленная, пожарная и экологическая безопасность	Применение «1С: Производственная безопасность. Комплексная»
3. Недостаточное управление всеми аспектами деятельности компании	Интеграция прикладных решений платформы 1С
4. Недостаточная компетентность персонала для работы на платформе 1С	1С-сертификация персонала. Планирование подготовки кадров на основе персональных траекторий развития.

Мероприятия для сведения к минимуму рисков **информационной безопасности** при работе на платформе 1С связаны с файловыми базами 1С (таблица 3), с СУБД базами 1С (таблица 4), с серверным оборудованием (таблица 5), с персональными данными (таблица 6) и с сетевой безопасностью (таблица 7).

Таблица 3

Мероприятия при работе с файловыми базами 1С

Риск	Мероприятия
1. Угроза безопасности базы от кражи или порчи недобросовестными сотрудниками или злоумышленником	Используя разграничения доступа NTFS, дать необходимые права только тем пользователям, которые работают с этой базой Разграничение прав доступа на уровне 1С Разрешить запуск конфигуратора 1С только тем сотрудникам, которым он необходим
2. Угроза безопасности базы в результате несанкционированного доступа на рабочие станции пользователей и доступа к сетевым ресурсам	Использовать авторизацию Windows для входа на рабочие станции пользователей и доступ к сетевым ресурсам Установить политику автоматической блокировки экрана, а также провести обучение пользователей для разъяснения необходимости блокировки профиля
3. Угроза потери конфиденциальной информации при выносе базы 1С	Использовать шифрованные диски или шифрованные папки

Таблица 4

Мероприятия при работе с СУБД базами 1С

Риск	Мероприятия
1. Угроза безопасности СУБД базы	Учетные данные для подключения к СУБД не должны иметь административных прав Ограничить физический и удаленный доступ к серверам баз данных и 1С предприятия Шифрование либо установка пароля на резервные копии данных Создание администраторов кластера 1С, а также сервера 1С
2. Угроза потери данных при взломе одной из учетных записей	Необходимо разграничивать права доступа к базам СУБД, например, создавать для каждой информационной базы свою учетную запись
3. Угроза потери конфиденциальной информации при выносе файлов СУБД	Использовать шифрование для баз данных

Таблица 5

Требования к обеспечению физической безопасности серверного оборудования

Объект	Мероприятия
1. Зоны, где обрабатывается или хранится важная информация	Доступ к зонам должен управляться и быть ограничен только полномочными лицами
2. Средства управления аутентификацией	должны использоваться, чтобы разрешать и подтверждать любой доступ
3. Контрольный журнал всего доступа	должен содержаться в надежном месте
4. Персоналу вспомогательных служб третьей стороны	должен быть предоставлен ограниченный доступ в зоны безопасности или к средствам обработки важной информации только тогда, когда требуется; этот доступ должен быть разрешен и должен постоянно контролироваться
5. Права доступа в зоны безопасности	должны регулярно анализироваться и обновляться, и отменяться, если необходимо

Таблица 6

Конфиденциальность персональных данных

Объект	Мероприятия
1. Обработка персональных данных	должна ограничиваться достижением конкретных, заранее определенных и законных целей
2. Согласие на обработку персональных данных	должно быть конкретным, информированным и сознательным
3. Накопители со сменным носителем	должны быть разрешены только в том случае, если для этого есть производственная необходимость

Таблица 7

Сетевая безопасность

Объект	Мероприятия
1. Единый регламент информационной безопасности с соответствующими инструкциями	должен быть внедрен
2. Доступ к нежелательным сайтам, в том числе файлообменникам	пользователям должен быть максимально закрыт
3. Только те порты, которые необходимы для корректной работы пользователей	из внешней сети должны быть открыты
4. Централизованная антивирусная система и политики очистки и удаления вредоносных программ	должны быть в наличии

Для автоматизированного решения вопросов охраны труда, окружающей среды, промышленной и пожарной безопасности используется **прикладное решение «1С: Производственная безопасность. Комплексная»**. Вопросы обеспечения промышленной безопасности представлены в таблице 8.

Таблица 8

Промышленная безопасность

Объект	Функция
1. Опасные производственные объекты (ОПО), технические устройства, применяемые на ОПО	Учет
2. Гидротехнические сооружения	Учет
3. Своевременность проведения регламентных работ по промышленной безопасности	Контроль
4. Результаты проведения учебных тревог и занятий	Планирование и учет
5. Регламентированная и различная не регламентированная отчетность	Формирование
6. Результаты расследований аварий и происшествий на ОПО	Учет
8. Проведение производственного контроля	Планирование и учет результатов
9. Проведение проверок	Планирование и учет результатов
10. Учебная деятельность сотрудников в области промышленной безопасности (обучение, инструктажи, стажировки, проверка знаний)	Планирование и контроль

Интеграция с 1С позволяет увеличить эффективность управления всеми аспектами деятельности компании в результате автоматизации бизнес-процессов, бесперебойного обмена данными, повышения точности получаемой информации и минимизации ошибок при работе в различных системах [21]. Возможности интеграции 1С представлены в таблице 9.

Таблица 9

Возможности интеграции 1С

Объект	Функция
1. Файлы разных форматов	Управление процессом обмена
2. Объекты системы из внешних приложений	Доступ
3. Протоколы обмена и стандартов взаимодействия с различными подсистемами (XML, JSON и др.)	Поддержка
4. Электронная почта и интернет	Работа
5. Web- и HTTP-сервисы	Создание
6. Внешние системы к данным приложений 1С по протоколу OData	Поддержка доступа
7. Оборудование, в том числе торговое, складское и промышленное (терминалы сбора данных, терминалы обслуживания пластиковых карт и др.)	Интеграция
8. Территориально распределенные системы на платформе 1С	Создание
9. Различные информационные системы	Организация взаимодействия
10. Собственные интернет-решения	Разработка

Наиболее распространены следующие варианты интеграции программ с 1С: между продуктами 1С, со сторонними (внешними) системами, с сайтом организации и с ERP-системами.

Интеграция между продуктами 1С может понадобиться в следующих целях:

– для настройки автоматизации рутинных процессов;

– при необходимости автоматизации идентичных задач в подразделениях;
– в случае использования нескольких программ 1С;

Интеграция 1С с внешними системами реализуется при помощи обмена данными, как с внешними приложениями, так и с целыми платформами для управления бизнес-процессами (SAP, Oracle, Baan, Парус и другие). Для этого в системе программ 1С разработаны механизмы, с помощью которых предоставляются различные функциональные возможности (создание, обработка и обмен данными различных форматов, поддержка различных протоколов обмена, поддержка стандартов взаимодействия с другими подсистемами, осуществление доступа ко всем объектам 1С и др.).

Интеграция сайта с различными конфигурациями платформы 1С заключается в синхронизации данных на сайте и в базе данных организации по расписанию или непрерывно. Перечислим преимущества при обмене данными между конфигурациями 1С и веб-сайтом компании с функционалом интернет-магазина.

1. В результате интеграции данных обеспечивается полное и своевременное представление товарных позиций на сайте для посетителей.

2. Увеличивается скорость процесса обновления (актуализации) информации по товарам, представленным на сайте.

3. Возрастает доступность точных данных о цене товара и остатке товара на складе для посетителей сайта.

4. Исключается возможность ошибок по вине человеческого фактора. Также увеличивается скорость обработки заказов и качество работы интернет-магазина.

5. Интеграция позволяет информировать клиентов о ходе выполнения заказа.

Таким образом, интеграция сайта интернет-магазина с 1С способствует не только оптимизации бизнес-процессов компании, направленных на увеличение прибыли, но и создает положительную репутацию интернет-магазину.

Интеграция ERP-системы с 1С применяется в крупных компаниях-корпорациях, имеющих разветвленную сеть филиалов.

Интеграция 1С программ с ERP-системами, позволяет:

- обеспечить бесперебойную передачу качественной информации между учетными системами 1С филиалов и ERP центрального офиса;
- обеспечить формирование финансовой и налоговой отчетности в соответствии с требованиями российского законодательства;
- организовать своевременный обмен актуальными данными между подразделениями, использующими 1С, и головной организацией.

Интеграция ERP-системы с 1С являются надежным инструментом, который помогает предприятию эффективно управлять своими ресурсами и способствует развитию бизнеса.

Рассмотрев наиболее распространенные варианты интеграции с 1С, отмечаем, что интеграция является эффективным инструментом управления, адаптированным под конкретные задачи компании. Она позволяет решать различные управленческие задачи, обеспечивая непрерывный обмен информацией с внешними системами на базе 1С или платформами от других разработчиков, улучшая качество работы предприятия. А благодаря гибкости программ 1С, интеграция отвечает насущным требованиям и специфике деятельности любой организации.

Опыт фирмы 1С в развитии образования. **Сертификация 1С** полезна по ряду причин. Во-первых, подготовка к сдаче экзамена поможет сформировать необходимые компетенции для выполнения задач профессиональной деятельности в среде 1С. Во-вторых, подтверждение компетенций может стать преимуществом при трудоустройстве. Уровни 1С-сертификации представлены в таблице 10.

Таблица 10

Уровни 1С-сертификации

№	Сертификат	Компетенции, функции
1	Профессионал	Знание основных возможностей 1С-продукта.
2.1	Специалист	Доработка типовых решения для задач бизнеса.
2.2	Специалист-консультант	Внедрение программных решений и обучение пользователей работе в 1С-программах.
3	Эксплуататор	Настройка и поддержка крупных информационные системы на базе 1С-решений, выявление проблем и их решение.
4	Эксперт	Разработка и внедрение программных решений для крупных организаций.

С начала идет подготовка и получение сертификата «1С: Профессионал» (1 уровень). Затем можно получить сертификаты (1С: Специалист или 1С: Специалист-консультант) в зависимости от вида уже полученного сертификата (2 уровень). Далее идет 1С: Эксплуататор (3 уровень) и 1С: Эксперт (4 уровень).

Практический интерес для каждого работника и работодателя представляют классификация должностей и персональные траектории развития для работы в среде 1С.

Классификация должностей персонала для работы в среде 1С. В таблице 11 приведена классификация должностей персонала с различным уровнем зарплаты. Классификация разработана на основе анализа потребностей работодателей в специалистах, работающих в среде 1С.

Таблица 11

Классификация должностей персонала в условиях применения конфигураций «1С: Предприятие»

Технический персонал	Специалисты и инженеры	Руководители подразделений	Заместители руководителей организаций по ИТ
Должности			
Оператор 1С, специалист поддержки 1С, специалист-консультант	Консультант-аналитик 1С, аналитик-консультант-1С, программист 1С	Консультант 1С, ведущий разработчик 1С, руководитель отдела разработки 1С, программист 1С	Заместитель руководителя по 1С, ведущий программист 1С
Зарплата, тыс.руб.			
40-90	70-150	150-250	250-350
Сертификаты (и опыт работы в месяцах)			
Без сертификата (6) или 1С Профессионал (0)	1С Профессионал (12), 1С Специалист или 1С Специалист-консультант (6)	1С Специалист, 1С Специалист-Консультант (24) или 1С Эксплуататор (12)	1С Эксплуататор (36) или 1С Эксперт (24)

Классификация должностей персонала для работы в среде 1С позволяет установить соответствие зарплаты, опыта работы и сертификатов претендента к требованиям вакантной должности. Поэтому она полезна как претендентам на вакантные должности, так и работодателям.

Рассмотрим варианты перемещения по карьерной лестнице с первого на второй уровень и с второго на третий уровень. Претенденту на должность программиста 1С, имеющего сертификат «1С: Профессионал», необходимо иметь опыт работы не менее 12 месяцев или дополнительно получить сертификат «1С: Специалист».

Претенденту на должность ведущего разработчика 1С или руководителя отдела разработки 1С, имеющего сертификат «1С Специалист», необходимо иметь опыт работы не менее 24 месяцев или дополнительно получить сертификат «1С Эксплуататор».

Работодателям классификация помогает сформулировать требования к вакантным должностям в зависимости от необходимых компетенций претендентов на работу.

Рассмотрим пример определения требований к вакантной должности программиста 1С для работы в ООО «Автоматизация бизнеса».

Функциональные обязанности: настройка и доработка программ 1С; создание уникальных решений по требованиям заказчика; интеграция 1С с другими программами; консультирование и обучение работе с 1С. На основе анализа функциональных обязанностей из таблицы 13 определяем второй уровень 1С-сертификации. Из таблицы 11 по второму уровню 1С-сертификации определяем: зарплата: 70 – 150 тыс. руб.; требования к претенденту (два варианта): 1) опыт работы не менее года и сертификат «1С Профессионал»; 2) опыт работы не менее полугода и сертификат «1С Специалист» или «1С Специалист-консультант».

Работодатель может варьировать как количеством необходимых сертификатов, так и предлагаемой зарплатой в зависимости от сложности решаемых задач. Например, при создании вакансии на должность программиста 1С работодатель может поместить эту должность в третий или в четвертый класс.

Автоматизация процесса планирования траектории персонального развития возможна на основе модели траекторий развития для работы программными продуктами платформы «1С: Предприятие» (таблица 12). Сетевой график, представляющий собой графическое изображение сетевой модели персональных траекторий развития, приведен на рисунке.

Таблица 12

Модель траекторий развития для работы программными продуктами платформы «1С: Предприятие»

Вариант	Опыт работы, мес.	Сертификаты	Компетенции, функции
1.1	6	-	Знание основных возможностей 1С-продукта.
1.2	0	1С: Профессионал	
2.1	12	1С: Специалист или 1С: Специалист-консультант	Внедрение программных решений и обучение пользователей работе в 1С-программах
2.2	6	1С: Профессионал	
3.1	24	1С: Специалист или 1С: Специалист-консультант	Настройка и поддержка крупных информационные системы на базе 1С-решений, выявление проблем и их решение.
3.2	12	1С: Эксплуататор	
4.1	36	1С: Эксплуататор	Разработка и внедрение программных решений для крупных организаций.
4.2	24	1С: Эксперт	

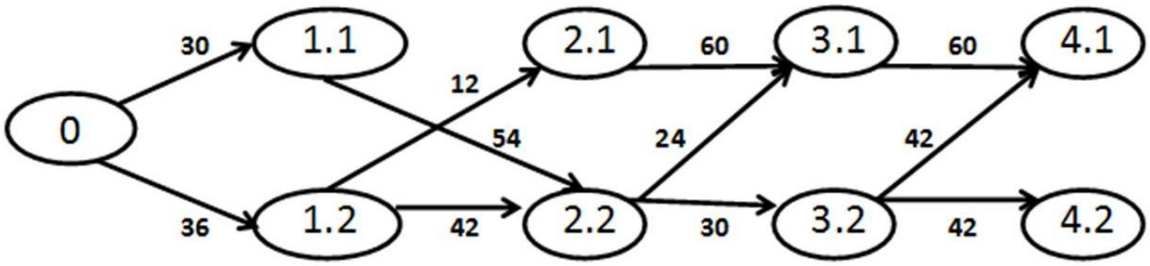


Рис. *Сетевой график персональных траекторий развития*

Таким образом, рассмотрен опыт подготовки кадров для работы в среде 1С, включающий опыт фирмы 1С в части сертификации кадров и опыт авторов в части классификации должностей персонала и применения персональных траекторий развития. Представленный материал позволяет свести к минимуму риски работодателей и претендентов на вакантные должности. Классификация должностей персонала дает возможность работодателям правильно сформулировать требования на вакантные должности и предложить соответствующую зарплату. Знание персональных траекторий развития позволит сотрудникам определить вариант успешного продвижения по служебной лестнице.

Заключение. Выполнен пост анализ экономических последствий, как реализации предотвращенных рисков, так и оценочный экономический эффект от реализованной системы предотвращения рисков при работе на платформе 1С. Описаны мероприятия для сведения к минимуму рисков информационной безопасности при работе на платформе 1С, связанные с файловыми базами 1С, с СУБД базами 1С, с серверным оборудованием, с персональными данными и с сетевой безопасностью.

Экономически обоснована необходимость внедрения прикладного решения «1С: Производственная безопасность. Комплексная» для обеспечения охраны труда, промышленной, пожарной и экологической безопасности. Показаны возможности интеграции прикладных решений платформы 1С для эффективного управления всеми аспектами деятельности компании, её подразделениями и разными направлениями бизнеса в универсальной рабочей среде.

Описаны мероприятия, сводящие к минимуму риски работодателей и персонала в результате 1С-сертификации, планирования подготовки кадров на основе персональных траекторий развития и классификации должностей 1С. Результаты исследования могут быть использованы на предприятиях, использующих автоматизированные средства платформы 1С.

Литература

1. Экономическая безопасность предприятия: моногр. / А. К. Моденов, Е. И. Белякова, М. П. Власов, Т. А. Лелявина; СПбГАСУ. – СПб., 2019. – 550 с.
2. Что такое индустрия 4.0 и что нужно о ней знать. – URL: https://trends.rbc.ru/trends/industry/5e740c5b9a79470c22dd13e7
3. Gartner-Inc, "Gartner Says Global IT Spending to Grow 1.1 Percent in 2019," available from Gartner, Inc, 2019.
4. S. Petter, W. DeLone, and E. R. McLean, "The past, present, and future of" IS Success"," Journal of the Association for Information Systems, vol. 13, p. 341, 2012.
5. M. Miterev, M. Mancini, and R. Turner, "Towards a design for the project-based organization," International Journal of Project Management, vol. 35, pp. 479-491, 2017.
6. J. R. Turner and R. Müller, "On the nature of the project as a temporary organization," International Journal of Project Management, vol. 21, pp. 1-8, 2003.

7. R. Joslin and R. Müller, "The impact of project methodologies on project success in different project environments," International journal of managing projects in business, vol. 9, pp. 364-388, 2016.
8. StandishGroup, "The chaos report," United States of America, 2019
9. Bogatenkov, S.A., Sazonova, N.S., Yusubov, N.D. Risk management of IT projects: Automated process design systems //XVIII International scientific-technical conference on "WATERS TRANSPORT PROBLEMS" (04.05.2023-05.05.2023). –2023. – P.11-14
10. Bogatenkov, S.A., Sazonova, N.S., Yusubov, N.D., et al. (2022). Decision-making in the conditions of introduction of automated design systems of technological processes. SOCAR Proceedings Special Issue 1 (2022) 006-010, 6-10.
11. М.С. Никаноров, А.Н. Лосев. О возможности построения информационной системы обеспечения экономической безопасности на платформе 1С // Известия ТулГУ. Технические науки. 2021. Вып. 11. С. 314-318. https://cyberleninka.ru/article/n/o-vozmozhnosti-postroeniya-informatsionnoy-sistemy-obespecheniya-ekonomicheskoy-bezopasnosti-na-platforme-1s?ysclid=m6mdcz8yyv532667081.
12. 1С: Производственная безопасность. Комплексная https://solutions.1c.ru/catalog/ ehs_compl /features?ysclid=m6mera62kp154952916
13. Работа в кадре - Курсы от 1С: Учебного центра No1. – URL: https://uc1.1c.ru/course/rabota-v-kadre/
14. Работа оператором 1с – вакансии в Челябинске. – URL: https://chelyabinsk.gorodrabot.ru/%D0%BE%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80_1c
15. Работа специалистом 1С в Челябинске. – URL: https://chelyabinsk.hh.ru/vacancies/spetsialist-1s?ysclid=m6me3il5m928535450
16. Работа программистом 1с — вакансии в Челябинске. – URL: https://chelyabinsk.gorodrabot.ru/%D0%BF%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D0%BC%D0%BC%D0%B8%D1%81%D1%82_1c
17. Курс-практикум по настройке 1С: Документооборот 3.0 - 1С-КПД. – URL: https://www.1c-kpd.ru/study/nastroika-1s-dokumentooborot/
18. Сертификация 1С: зачем нужна и как получить – виды и уровни сертификатов, схема подготовки к сертификации. – URL: https://practicum.yandex.ru/blog/kak-proyti-sertifikaciyu-1c/
19. «День 1С: Карьеры» в Южно-Уральском государственном университете: Новые возможности для студентов - Южно-Уральский государственный университет. – URL: https://www.susu.ru/ru/news/2024/12/07/den-1s-karery-v-yuzhno-uralskom-gosudarstvennom-universitete-novye-vozmozhnosti-dlya
20. С.А. Богатенков, Д.С. Богатенков. Проектирование персональных траекторий развития на основе моделей компетенций // в сборнике: ШАГ В БУДУЩЕЕ: ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ И ЦИФРОВАЯ ЭКОНОМИКА. - Материалы 1-й Международной научно-практической конференции. 2017. С. 104-109.
21. Интеграция 1С с другими системами: возможности и варианты интеграционных решений. https://erpdev.i-neti.ru/blog/integratsiya-1s-s-drugimi-sistemami/?ysclid=m6nbvbyqau-905538708

Məqalə qəbul olunub: 18.04.25
Tövsiyə edib: prof. Məmmədov A.T.

UOT 621.923.5

HONLAMA PROSESİNDƏ SƏTH KEYFİYYƏTİNİN MÜASİR TEXNOLOJİ ÜSULLARLA YÜKSƏLDİLMƏSİ

[1]Əziz S.Ş., [2]Abbasov E.O, [2]Kəlbiyev F.M., [3]Hüseynzadə E.M.

[1] "Azərbaycan Texniki Universiteti" PHŞ
AZ1073, Bakı şəh., H.Cavid pros., 25
[2] "Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası" PHŞ
AZ1000, Bakı şəh., Z. Əliyeva küç., 18
[3]Azərbaycan Dövlət İqtisad Universiteti
AZ1001, Bakı şəh., İstiqlaliyyət küç., 6
E-mail: sarvan_e@hotmail.com, elnur.abbasov@asco.az, farqan.kalbiyev@asco.az, e_huseynzade@unec.edu.az

Xülasə. *Gəmiqayırma sənayesində geniş istifadə olunan 30CrMo4 markalı poladdan hazırlanmış yüksək dəqiqlikli hissələrin honlanması əməliyyatında keyfiyyətin artırılması məsələləri təqdim edilmiş məqalənin əsas məğzini təşkil edir. Honlamada yüksək keyfiyyətin əldə olunması üçün seçilmiş polad markasının fiziki-mexaniki, struktur-kimyəvi və ən əsası texnoloji xüsusiyyətləri analiz edilmişdir. Honlama əməliyyatının tətbiqi zamanı səthin mikrohəndəsəsinin, eləcə də səth və səth qatı keyfiyyətinin formalaşması qanunauyğunluğu öyrənilmişdir. Səth keyfiyyətinin optimal hədlərdə alınması üçün daxili slindrik honlama prosesinin əsas giriş parametrlərinin təyini üzrə aparılmış təcrübələrin nəticələri göstərilmişdir. Əməliyyatın əsas xüsusiyyətləri əsasında detal səthinin keyfiyyətinə təsir edən faktorlar müəyyənləşdirilmiş və emalın optimal şəraiti seçilmişdir. Müasir honlama əməliyyatlarının tətbiqi ilə yüksək keyfiyyətli daxili slindrik səthlərin alınması üçün texnoloji üsulların seçilməsi, səthin formalaşma xüsusiyyəti və emal rejimi parametrlərinin secilməsinin ümumi qanunauyğunluğu araşdırılmışdır.*

Аннотация. *Основное внимание в статье уделено повышению качества процесса хонингования высокоточных деталей из стали 30CrMo4, используемых в судостроительной промышленности. Для достижения высокого качества хонингования были проанализированы физико-механические, структурно-химические и, что самое главное, технологические свойства выбранной марки стали. Изучены закономерности формирования микрогеометрии поверхности, а также качество поверхности и поверхностного слоя при применении операции хонингования. Представлены результаты экспериментов, проведенных по определению основных входных параметров процесса внутреннего цилиндрического хонингования для получения оптимального качества поверхности. На основании главных характеристик операции выявлены факторы, влияющие на качество поверхности детали, и выбраны оптимальные режимы обработки. Исследован выбор технологических приемов получения высококачественных внутренних цилиндрических поверхностей за счет применения современных операций хонингования, общие закономерности выбора свойств формирования поверхности и параметров режимов обработки.*

Abstract. *The article focuses on improving quality in the honing process of high-precision parts made from 30CrMo4 steel, which is used in the shipbuilding industry. The physical-mechanical, structural-chemical, and, most importantly, technological properties of the selected steel grade have been analyzed to ensure high-quality honing. The study examines the microgeometry of the surface, as well as the formation regularities of surface and surface layer quality during the honing process. The results of experiments aimed at determining the main input parameters of the internal cylindrical*

honing process to achieve optimal surface quality have been presented. Based on the main characteristics of the process, the factors affecting the quality of the part's surface have been identified, and the optimal machining conditions have been selected. The research investigates the selection of technological methods, surface formation characteristics, and machining regime parameters to achieve high-quality internal cylindrical surfaces through modern honing processes.

Açar sözlər: *honlama, kələ-kötürlük, bərklik, xüsusi təzyiq, ölçü dəqiqliyi*

Ключевые слова: *процесс хонингования, шероховатость поверхности, твердость, удельное давление, точность*

Key words: *honing process, surface roughness, hardness, special pressure, accuracy*

Giriş. 30CrMo4 markalı polad BRITISH STANDARD-BS EN 10297-1:2003, SAE 4130-a uyğun olaraq Cr və Mo əsaslı, az karbonlu, legirlənmiş poladdır. Bu elementlər poladın fiziki-mexaniki xüsusiyyətlərini və korroziyaya davamlığını artırır. 30CrMo4 markalı polad digər oxşar analoqlarına nisbətdə yüksək bərkliyə, möhkəmliyə və sərtliyə malikdir ki, bu da onu gərgin mexaniki şəraitlərdə istifadəyə yaralı edir. 30CrMo4 markalı poladın yaxşı texnoloji və yüksək fiziki-mexaniki xassələri vardır. Belə ki, bu polad yaxşı maye axıcılığına malikdir, çat yaranması və gərginliklərə meyilli deyildir. Tablanma dərinliyinin nisbətən az olması isə 30CrMo4 poladından nazikdivarlı məmulatlar, müxtəlif təyinatlı yayma boruları və s. istehsalında əlverişli konstruksiya materialı kimi istifadə etməyə imkan verir.

30CrMo4 markalı polad demək olar ki, sənayenin əksər sahələrində geniş diapazonda tətbiq olunur. Belə ki, gəmiqayırmada vallar, diş çarxlar və yüksək yüklərə məruz qalan detalların, avtomobil sənayesində mühərrik, transmissiya və şassi komponentlərinin, aerokosmik sənayedə isə yüksək güc və etibarlıq tələb olunan təyyarə və raket detallarının istehsalında geniş şəkildə istifadə olunur. Cədvəl 1-də 30CrMo4 markalı poladın əsas kimyəvi göstərilmişdir.

Cədvəl 1

30CrMo4 markalı poladın kimyəvi tərkibi

C	*Si*	*Mn*	*P*	*S*	*Cr*	*Mo*	*Fe*
0,27-0,34	<0,35	0,35-0,6	<0,035	<0,035	0,8-1,15	1,15-0,30	Qalanı

Adı çəkilən poladın kimyəvi tərkibi müxtəlif variantlarda təqdim olunur ki, cədvəl 2-də legirləyici elementlərin faiz nisbətinin müxtəlif hədlərdə müxtəlif göstəriciləri verilmişdir. 30CrMo4 markalı poladdan hazırlanmış tədqiqat obyektinin kimyəvi tərkibi onun mexaniki xassələrinə, xüsusən də bərkliyinə ciddi təsir edir.

Cədvəl 2

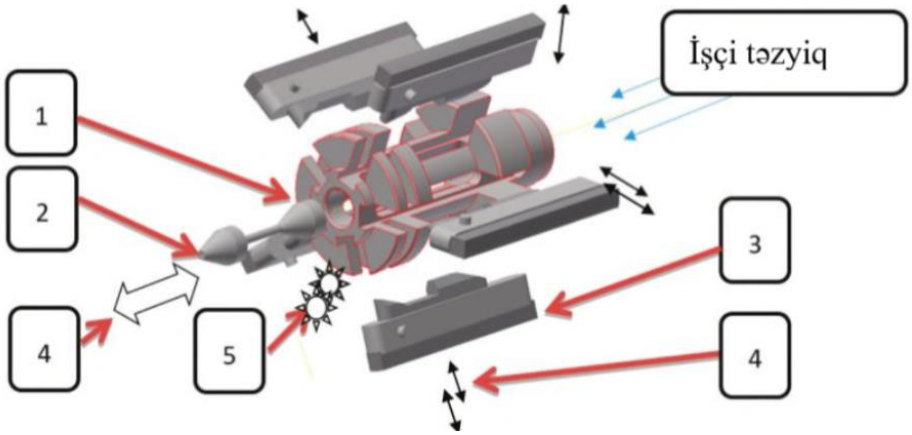
30CrMo4 markalı poladın kimyəvi tərkibinin kritik göstəriciləri

Variant	Tökmə	Qaynaqlanma		C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Ni %	Mo %
322D	IC	CEV 0.74_{max}	Min	0.28	0.20	0.40	-	-	0.90	-	0.18
		Pcm 0.47_{max}	Max	0.33	0.35	0.60	0.025	0.010	1.10	0.25	0.25
322Q	IC	CEV $_{max}$	Min	0.29	0.20	0.60	-	-	0.90	0.15	0.20
		Pcm $_{max}$	Max	0.32	0.35	0.70	0.010	0.002	1.10	0.25	0.25

Məlumdur ki, bərklik ədədinin artması ilə materialın kəsilməyə qarşı müqaviməti də artır, bu da öz növbəsində kəsmə qüvvəsinin yüksək qiymətdə seçilməsini şərtləndirir. Nəticə olaraq texnoloji sistem elementlərinin titrəməsi daha böyük diapazonlarda dəyişir ki, bu da səthin kələ-kötürlüyünün

yüksəlməsinə gətirib çıxarır.

Daxili silindrik səthlərin honlanması çox kiçik həndəsi forma meyillənməsi və kələ-kötürlüyün (Ra) minimal həddlərdə formalaşmasına imkan yaradan texnoloji əməliyyat kimi geniş tətbiq olunur. Honlama əməliyyatı finiş emal prosesi olaraq, hissələrin mikrohəndəsi ölçüləri, səth və səth qatı keyfiyyəti, həmçinin işçi səthin yeyilməyə davamlığın lazımi hədlərdə formalaşması üçün tətbiq olunur. Kəsmə rejimi elementlərinin tənzimlənməsi səthin kələ-kötürlük dərəcəsinin dəyişməsi ilə nəticələnir. Həmçinin bu parametr özü detalın giriş və çıxış məntəqələrində aşağı, mərkəzə yaxın yerlərdə isə nisbətən böyük qiymətlər alır. Göstərilən fərqlilik təxminən 9-11% nisbətində dəyişə bilir. Bu, honlama başlığının konsol tir şəklində yerləşməsi və pəstahın dəzgah tərtibatında bərkidilmə xüsusiyyətindən irəli gəlir. Hissələrin həm termiki emal olunmuş və olunmamış səthlərində özütənzimlənən honlama əməliyyatının aparılmasından alınan kələ-kötürlük göstəriciləri ənənəvi honlama ilə müqayisədə nəzərəçarpacaq dərəcədə effektivdir. Avtomatlaşdırılmış honlama əməliyyatı üçün özütənzimlənən iki istiqamətli honlama başlığının kinematik sxemi şəkil 1-də göstərilmişdir [1]. Seçilmiş konstruksiya bülöv daşları və honlama başlığının hərəkət istiqamətini ikitərəfli idarə etməyə imkan verir.



Şəkil 1. *Özütənzimlənən iki istiqamətli honlama başlığı: 1-əsas gövdə, 2-bülöv üçün genişləndirici, 3-bülöv daşı, 4-hərəkətin idarəedilmə istiqaməti; 5-avtomatik nəzarət sistemi*

Daxili silindrik səthlərin mövcud emal texnologiyası ilkin torna, incə torna, termiki emal, ilkin pardaqlama, incə pardaqlama və ən sonda honlama texnoloji əməliyyatlarının ardıcıl şəkildə tətbiqi ilə yerinə yetirilir. Honlama prosesində səthin təmizlik dərəcəsindən asılı olaraq, fırlanma və irəli-geri hərəkət sürətlərinin 2:1 və 3:1 nisbətləri tətbiq edilir [2, 3]. Kəsmə ilə mexaniki emalın istənilən əməliyyatı emal olunan səthin plastik deformasiyası ilə müşayiət olunur. Metal qatının yapışdığı zona adətən metal qatının səthinə aid edilərək, sonrakı əməliyyatlarda çıxarılmaq üçün nəzərdə tutulur [4,5]. Finiş emal əməliyyatı prosesində əsasən intensiv yapışmış qat çıxarılır, qalan böyük hissə isə üst səth qatı materialında qalır.

Səthin əsas keyfiyyət göstəricisi olan kələ-kötürlük (Ra) çoxsaylı qarşılıqlı əlaqəli faktorlardan asılıdır və bunlar kompleks şəkildə maşın detallarının istismar xüsusiyyətlərini formalaşdırır. Tələb olunan keyfiyyət göstəricilərinin təmin olunması məqsədilə honlama prosesinin texnoloji imkanlarının kompleks tədqiqinin vacibliyi meydana çıxır. Bu məqsədlə emal prosesinin əsas parametrləri beş səviyyədə araşdırılmışdır.

Təcrübə nəticələrinin adekvatlığı Koxren kriteriyası ilə yoxlanılmış, hesablamalar nəticəsində amillərin kodlaşdırılmış qiymətləri üçün prosesin reqresiya modeli alınmışdır. Riyazi modeldən görünür ki, R_a-ya həlledici təsiri x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 amilləri göstərir. Fişer kriteriyasına görə yoxlama α=0,05 qiymət səviyyəsi üçün seçilmiş modelinin adekvat olduğunu təsdiqləyir.

$$\hat{y}_{Ra} = 0{,}33 - 0{,}010x_1 - 0{,}018x_2 + 0{,}016x_3 + 0{,}023x_4 - 0{,}027x_5 - \\ -0{,}019x_2 - 0{,}012x_1x_4 - 0{,}013x_1x_5 + 0{,}021x_2x_3 + 0{,}012x_2x_4 - \\ -0{,}013x_2x_5 + 0{,}014x_3x_5 + 0{,}012x_4x_5 + 0{,}011x_1^2 + 0{,}029x_2^2 + \\ +0{,}015x_3^2 + 0{,}013x_4^2 - 0{,}029x_5^2 \quad (1)$$

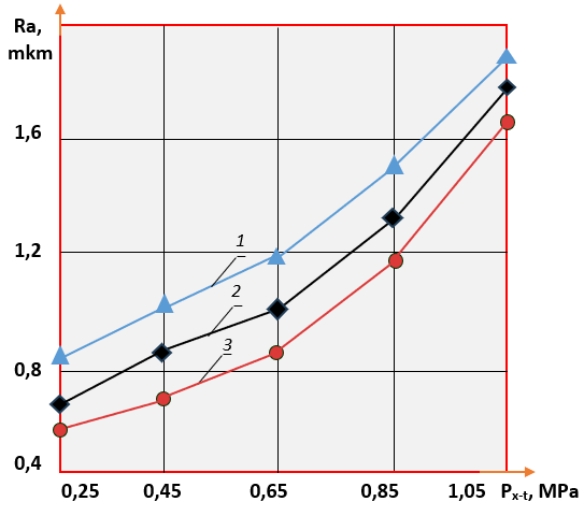
Müvafiq çevirmələrdən sonra (1) bərabərliyi amillərin natural qiymətləri üçün aşağıdakı şəkli alır:

$$R_a = 0{,}161 + 0{,}031V_{i-g} - 0{,}121V_f + 0{,}215P_{x.t} + 0{,}419Z - 0{,}251T + \\ +0{,}342V_{i-g}V_f - 0{,}015V_{i-g}V_fZ - 0{,}152V_fP_{x.t} + 0{,}254P_{x.t}T + \\ +0{,}242P_{x.t}Z + 0{,}015V_{i-g}^2 + 0{,}145V_f^2 + 0{,}282P_{x.t}^2 + 0{,}325Z^2 - 0{,}262T^2 \quad (2)$$

Bu metodikaya əsasən, yeni üsulla aparılan honlama əməliyyatı üçün səthin münasib kələ-kötürlüyünü təmin etmək məqsədilə emal prosesinin optimal parametrləri təyin edilmişdir - $V_{i.g}$=0,17 m/san, V_f=0,52 m/san, $P_{x.t}$=0,70 MPa, Z=170 mkm, T=95 san.

Honlama prosesinin müxtəlif parametrlərinin emal olunan səthin kələ-kötürlüyünə təsirinin ümumi qanunauyğunluğu eksperimental olaraq tədqiq olunmuş və funksional asılılıqlar əldə olunmuşdur.

Honlama prosesində səthə göstərilən təzyiqin artırılması onun xarici görünüşünün və fiziki-mexaniki xüsusiyyətlərinin, o cümlədən də səthin kələ-kötürlüyünün dəyişməsinə gətirib çıxarır. Xüsusi təzyiqin ($P_{x.t}$) qiymət artımı ilə səthin kələ-kötürlüyü (R_a) da artır (qrafik 1). Təzyiqin artması ilə yağlayıcı və soyuducu səth qatı dağılır, kəsilən metal qatına düşən yük artır, bu da istiliyin ayrılmasına–səth qatı materialının plastiklənməsinə gətirib çıxarır ki, nəticədə detal səthinin möhkəmliyi azalır [6, 7]. Daxili slindrik səthlərin honlama prosesində xüsusi təzyiqin artması hesabına hon başlığı ilə detal arasında optimal araboşluğun faktiki olaraq yaranmaması kəsmə zonasından yonqarın kənar olunmasını çətinləşdirir və başlığın səthi üzrə dənəciklərin bərabər paylanma şərtini pozur. Nəticədə emal olunan səthdə cızıqlar və şırımlar yaranır və onların üzərində kiçik ölçülü yonqar və abraziv dənələri yığılır. Səthə istiqamətlənmiş aşağı təzyiqlərdə plastik deformasiya yalnız səthin nahamarlıqlarının (çıxıntıların) uc hissələrinin kəsilməsində müşahidə olunur.

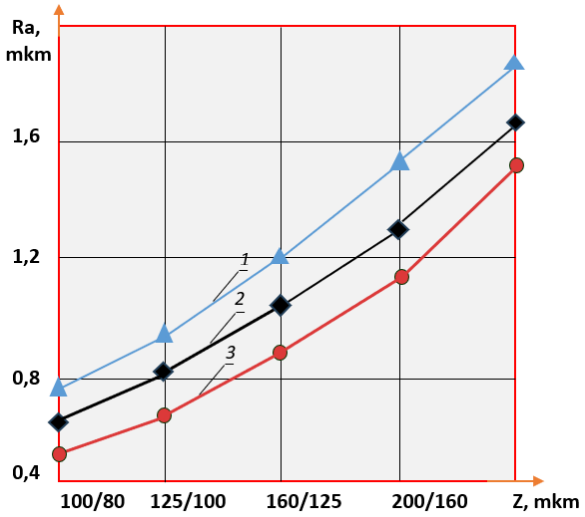


Qrafik 1. *Kələ-kötürlüyün (Ra) xüsusi təzyiqdən ($P_{x.t}$) asılılığı: (1, 2, 3 – uyğun olaraq, irəli-geri hərəkət sürətinin V_{i-g}=0,10, 0,15 və 0,20 m/san qiymətlərində)*

Kələ-kötürlülük aşağı düşdükcə səthin abraziv dənəcikləri ilə kontaktı nəzərəçarpacaq qədər artır və prosesin sonunda bu dənəciklərin əsas hissələri xırdalanır. Belə şəraitdə honlama prosesinin növbəti mərhələdə davam etdirilməsi üçün daha yüksək kontakt təzyiqi təmin edilməlidir. Bu hal honlama gücünün artması, kəsmə zonasında temperaturun yüksəlməsi və üst səthin yumşalmış materialının abraziv dənəcikləri ilə gücləndirilmiş qaydada tutulması ilə nəticələnə bilər [8, 9]. Xüsusi təzyiqin qiymətinin 0,80-dən 1,10 MPa qədər artırılması səthdən metal çıxarılmasını tədricən artırır, sonrakı artımda isə alət suvaqlaşır ki, bu da metal çıxarılmasının azalmasına gətirib çıxardır.

$P_{x.t}$-nın sonrakı optimaldan aşağı səviyyədə azalması metal çıxarılmasının və emal məhsuldarlığının aşağı düşməsinə səbəb olur. 1,20-1,35 MPa təzyiq diapazonu daxilində səthdən metal çıxarılması $P_{x.t}$-yə mütənasib olaraq dəyişir.

Qrafik 2-dən göründüyü kimi honlama bülövü dənəvərliyinin (Z) artması ilə emal olunan səthin kələ-kötürlüyü (R_a) əhəmiyyətli dərəcədə artır. Səthin kələ-kötürlüyü R_a-nın artması dənəvərliyinin artması, həm də dənələrin həndəsi forma quruluşundan asılılığı güman olunur. Belə ki, dənəvərliyin yüksəlməsi ilə hər bir vahid dənəciyin çıxardığı qatın sahəsi artır, bu da səth qatının mikrorelyefindəki qanovcuqların en kəsiklərinin artmasına gətirir, nəticədə səthin kələ-kötürlüyü R_a-nın qiyməti artır.



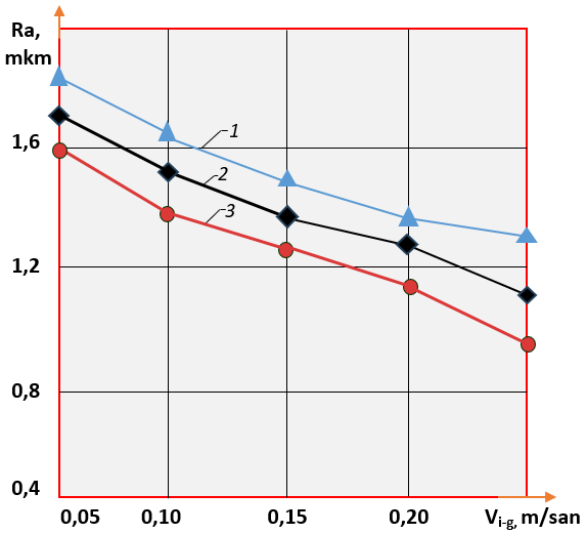
Qrafik 2. *Kələ-kötürlüyün (Ra) abraziv dənəvərliyindən (Z) asılılığı;*
(1, 2, 3 – uyğun olaraq, irəli-geri hərəkət sürətinin V_{i-g}=0,10, 0,15 və 0,20 m/san qiymətlərində)

Abraziv pastanın dənəvərliyinin dəyişilməsi ilə ümumilikdə kəsmə prosesi, həm də emal olunan metalla dənəcik arasındakı hər cür əlaqə də dəyişilir. Bu qarşılıqlı təsirə kontakt zonasındakı dənələrin vəziyyəti və hərəkətləri də nəzərəçarpacaq dərəcədə təsir göstərir [10, 11]. Əgər xırda abraziv dənələri emal prosesində nisbətən stabil vəziyyətə malikdirsə, daha böyük dənələri olan bülöv daşları tətbiq olunduqda mexaniki kəsmənin payı artır.

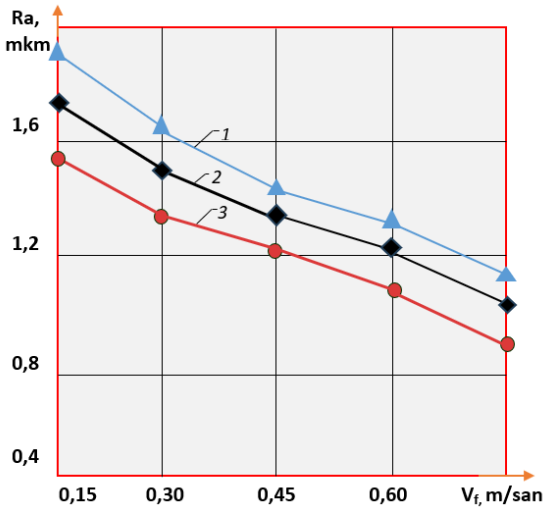
Optimal markalı pastaların seçilməsi hesabına emalın məhsuldarlığını 1,4-1,6 dəfə və emal olunan səthin kələ-kötürlüyünü 1,7-1,9 dəfəyə qədər artırmaq mümkündür. Bir faktı da qeyd etmək lazımdır ki, bir sıra abraziv materialların xüsusiliyi ondan ibarətdir ki, onların emal olunan səthə təsiretmə imkanları yalnız mexaniki deyil, həm də kimyəvi təsiretməni ehtiva edir. Bu hal həm də emal olunan səthdə oksidləşmiş örtüyün əmələ gəlməsi ilə xarakterizə olunur.

Qrafik 3 və 4-dən göründüyü kimi, honlama başlığının irəli-geri (V_{i-g})və fırlanma (V_f) hərəkət sürətlərinin artması ilə emal olunan səthin kələ-kötürlüyü azalır. Honlama başlığında müəyyən təzyiq olduqda abraziv dənəcikləri ilə kəsmə baş verir, fırlanma sürətinin aşağı qiymətlərində üst səth qatındakı metalın yumşalması üçün lazım olan istilik miqdarı və mikrorelyefin plastik hamarlanması yetərli olmur. Bu problemin həlli üçün istiliyin artırılması məqsədilə V_{i-g} və V_f parametrləri

qiymətlərinin artırılması zəruridir. Müəyyən edilmişdir ki, stabil kələ-kötürlüyün alınması üçün $V_{i.g}$=0,25-0,30 m/san və V_f=0,5-0,6 m/san sürətlərində işləmək daha əlverişlidir.



Qrafik 3. *Kələ-kötürlüyün (Ra) irəli-geri hərəkət sürətindən (V_{i-q}) asılılığı;*
(1, 2, 3 – uyğun olaraq, xüsusi təzyiqin P_{x-t}=0,45, 0,65 və 0,85 MPa qiymətlərində)

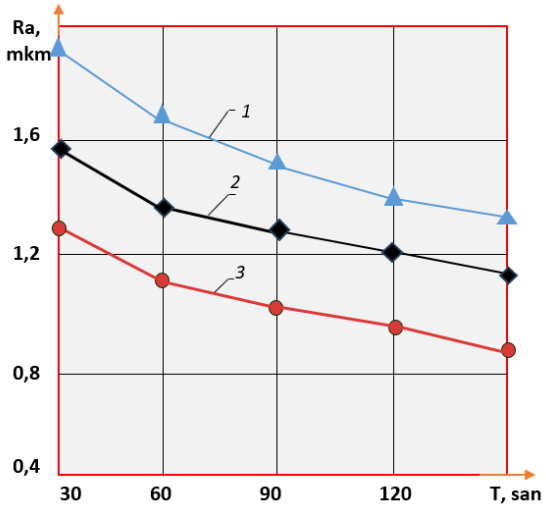


Qrafik 4. *Kələ-kötürlüyün (Ra) fırlanma hərəkət sürətindən (V_f) asılılığı;*
(1, 2, 3 – uyğun olaraq, xüsusi təzyiqin P_{x-t}=0,45, 0,65 və 0,85 MPa qiymətlərində)

Təcrübələrlə müəyyən edilmişdir ki, detalların irəli-geri və fırlanma hərəkət sürətlərinin V_{i-g}=0,15-0,17 m/san və V_f=0,45-0,50 m/san qiymətlərindən kiçik sürətlərində səthdə R_a=1,0-1,2 mkm-dək aşağı dayanıqlı kələ-kötürlüyün alınması mümkün olmur. İrəli-geri və fırlanma hərəkət sürətlərinin artırılması ilə detalın üst səth qatından metal çıxarılma intensivliyi yüksəlir. Belə ki, abraziv dənəciklərin mikrohəndəsi ölçüləri (dənəvərliyi) nə qədər böyük olarsa, səthdən metal çıxarılması daha nəzərəçarpan dərəcədə olur.

Metalların mexaniki xassələri ilə onun yonulma qabiliyyəti arasında qənaətbəxş korrelyasiya yoxdur. Məlumdur ki, bərkliyin və möhkəmliyin artması metalın sürətlə yonulma qabiliyyətini, kimyəvi tərkibindən asılı olmayaraq azaldır. Lakin bərkliyin eyni qiymətində, struktur və kimyəvi tərkibi müxtəlif olan metalların yonulma qabiliyyəti arasında xeyli fərq olur. Yonulma qabiliyyətinə təsir edən amillərdən ən əhəmiyyətlisi metalların istilikkeçirmə xüsusiyyətidir [12,13]. Sürət parametrləri qiymətlərinin artması ilə kəsmə zonasında temperatur artır, bu da hər bir dənəciyin emal olunan səth üzrə kəsmə yolunun artması ilə əlaqədardır.

Səth keyfiyyətini xarakterizə edən əsas texnoloji amillərdən bir də emal vaxtıdır. Emal vaxtının (T) artması ilə emal olunan səthin kələ-kötürlüyü azalır (qrafik 5). Emal müddətinin artması ilə metal çıxarılma intensivliyi yüksəlir. Lakin burada birbaşa asılılıq yoxdur, çünki emal müddətinin artması həm də bülöv daşının yeyilməsini artırır. Yeyilmə intensivliyi sürtgünün işçi səthində olan dənələrin sayından asılıdır [14]. Səthin kələ-kötürlüyünün azalması emal müddətinin artması ilə tam əlaqəlidir. Qeyd etmək lazımdır ki, emal müddətinin artması ilə kəsmə zonasında temperatur yüksəlir ki, bu başlanğıc mərhələdə sıçrayış xarakterli olur və sonradan tədricən stabilləşir.



Qrafik 5. *Kələ-kötürlüyün (Ra) emal müddətindən (T) asılılığı;*
(1, 2, 3 – uyğun olaraq, xüsusi təzyiqin $P_{x\text{-}t}$=0,45, 0,65 və 0,85 MPa qiymətlərində)

Nəticə. Səth qatından materialın intensiv çıxarılması belə şəraitdə baş verir - əgər kəsmə və üst səth qatının sığallanması prosesləri arasında lazım olan bərabərliyi qorumaq mümkündürsə, bu halda emalın elə şəraitləri təmin olunmalıdır ki, bunlarda kələ-kötür səth qismən sığallanmasın. Təbii olaraq, bu halda başlanğıc kələ-kötürlük tədricən azalmalıdır. Lakin müəyyən olunmuş emal müddətindən sonra prosesin sonunda abraziv dənələrlə kəsmə dayanır və üst səth qatının plastik sığallanması üstün rol oynamağa başlayır. Beləliklə, yuxarıda qeyd olunanlardan göründüyü kimi, honlama prosesində səthin tələb olunan kələ-kötürlüyünün təmin olunması çoxsaylı texnoloji, konstruktiv və təşkilati amillərdən asılı olan mürəkkəb texnoloji məsələdir.

Ədəbiyyat

1. Adam Barylski, Piotr Sender, The Proposition of an Automated Honing Cell with Advanced Monitoring, Gdańsk University of Technology, 80-233 Gdańsk, Poland, https://www.-researchgate.net/publication/344940422_The_Proposition_of_an_Automated_Honing_Cell_with_Advanced_Monitoring
2. Eziz, S. Sh. Kinematic features of the lapping process and determination of its basic parameters // − Moskow: Computational Nanotechnology, − 2020. №3 (Vol.7), − p. 11-16. 11-16
3. Əziz S.Ş. Daxili silindrik səthlərin sürtmə əməliyyati ilə emalının əsas xüsusiyyətləri // AMA Xəbərləri, 2018, №3. s.44-50
4. Ümid Y.M., Xəlilov Ə.H. Maşınqayırma texnologiyasının əsasları. Bakı: AzPİ, 1987, 121 s.
5. Yusubov N.D., Abbasova H.M. Models of Machining Accuracy in Multi-Tool Adjustments. International Journal of Automotive and Mechanical Engineering (IJAME). vol. 17, no. 3, pp. 8067-8085, Oct. 2020. Malaysia.
6. Yusubov N.D., Abbasova H.M., Dadashov R.Y. Theoretical basis for the development of an algorithmic unified complex of mathematical models of cutting forces// Machine Science. - 2023.- № 1 – p. 55-60.
7. Гафаров А.М. Ротационное хонингование. Баку, ЭЛМ, 1999, 132 с.
8. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0257897212010651
9. Aziz S. Sh, İmproving surface quality in flat grinding operations using modern technological methods, Baku, ATU, Mashine Science - 2024, №2, - p. 59-64, https://msj.aztu.edu. az/uploads/msj_v6.pdf

10. Гафаров А.М. Прогрессивные методы механической обработки. Баку, "ЭЛМ", 2001. в двух томах т.1, 286 с, т.2, 310 с.
11. Aziz S. Sh. Characterıstıcs of qualıty formatıon ın processıng of 32CrMoV12-10 steel by honıng, 2nd International Scientific-Practical Conference "Machine Building and Energy: New Concepts and Technologies", December 4-5, 2023, AzTU -Baku, Azerbaijan https://www. researchgate. net/publication/379628736 Characteristics of quality formation in processing of 32CrMoV12-10 steel by honing
12. Eziz, S. Sh. Theoretical studies of the dynamic characteristics of the internal lapping process // − Magnitogorsk: Vestnik of Nosov Magnitogorsk State Technical University, − 2020. №2 (Vol.18), − p. 30-37
13. 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
14. V.I.Guzeev, N.D.Yusubov, H.M.Abbasova, R.Y.Dadashov, Optimization of the number of machining stages workpieces for mechanical engineering parts, Machine science, N2, pp.4-12, 2024. https://doi.org/10.61413/VZRV4922

Məqalə qəbul olunub: 21.04.25
Tövsiyə edib: prof. Yusubov N.D.

UOT: 621.762.08.11

ADDİTİV TEXNOLOGİYA İLƏ ÇAP EDİLMİŞ POLİMER MATERİALLARIN MÜXTƏLİF İSTİSMAR REJİMLƏRİNDƏ MEXANİKİ XASSƏLƏRİNİN TƏDQİQİ

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

"Azərbaycan Dövlət Dəniz Akadmeiyası"PHŞ
AZ1000, Bakı şəh., Z. Əliyeva küç., 18
E-mail: isaq.xankishiyev@asco.az, pasazade.selim@gmail.com, khaganihamzayev@gmail.com

Xülasə. *Bu məqalədə 3D çapda geniş istifadə olunan ABS, SBS, PLA, HIPS və PETG kimi additiv texnologiya (AT) materiallarının müxtəlif istismar rejimlərində (temperatur rejimlərində) mexaniki xüsusiyyətləri tədqiq edilmişdir. Nümunələr Creality CR10 markalı 3D-çap maşınında çap edilmişdir. Çap xüsusiyyətlərinə forsun diametri 0,4 mm, sapların (filamentlərin) diametri 1,75 mm, çap sürəti 45 mm/s, təbəqə qalınlığı isə 0,2 mm daxildir. Sınaqlar +22°C, 0°C və −40°C temperaturlarında əyilmə və dartılma üzrə aparılmışdır. Əyilmə sınaqlarında, materialların möhkəmlik həddinin temperaturdan asılı olaraq əhəmiyyətli dərəcədə dəyişdiyi müşahidə edilmişdir; otaq temperaturunda 16-60 MPa, mənfi temperaturlarda isə 44-118 MPa arasında dəyişmişdir. Temperatur azaldıqca materiallar daha kövrək olur və şüşələşmə adlanan kövrək dağılma baş verir. Dartılma sınaqlarında isə hədd gərginliklərinin temperatur azaldıqca cüzi artdığı (orta hesabla 1,2 dəfə), uzanmanın isə azaldığı (orta hesabla 1,3 dəfə) qeyd edilmişdir. Yunq modulunda xassələrin temperatur artdıqca azaldığı müəyyən edilmişdir. Müqayisəli təhlil göstərmişdir ki, AT məhsulları ənənəvi qəlibləmə üsulları ilə hazırlanan materiallara nisbətən əyilmədə orta hesabla 1,8 dəfə, dartılmada 1,55 dəfə, Yunq modulunda isə 3,24 dəfə geri qalır. Sınaqlar nəticəsində gövdə materialı olaraq PLA seçilmişdir.*

Abstract. *This article investigates the mechanical properties of Additive Technology (AT) materials, such as ABS, SBS, PLA, HIPS, and PETG, commonly used in 3D printing, across various operational regimes (temperature regimes). Samples were printed using a Creality CR10 3D printer. Printing characteristics included a nozzle diameter of 0.4 mm, filament diameter of 1.75 mm, printing*

speed of 45 mm/s, and layer thickness of 0.2 mm. Tests were conducted at temperatures of +22°C, 0°C, and −40°C for both bending and tensile properties. In bending tests, a significant variation in ultimate flexural strength with temperature was observed, ranging from 16-60 MPa at room temperature to 44-118 MPa at negative temperatures. As temperature decreases, materials become more brittle, leading to brittle fracture, a phenomenon known as glass transition. In tensile tests, ultimate tensile strengths showed a slight increase (average 1.2 times) with decreasing temperature, while elongation decreased (average 1.3 times). Young's modulus values were found to decrease with increasing temperature. Comparative analysis revealed that AT products lag behind materials produced by traditional molding methods by an average of 1.8 times in flexural strength, 1.55 times in tensile strength, and 3.24 times in Young's modulus. Based on the tests, PLA was chosen as the material for the casing.

Аннотация. *В данной статье исследованы механические свойства материалов Аддитивных Технологий (АТ), таких как ABS, SBS, PLA, HIPS и PETG, широко используемых в 3D-печати, в различных эксплуатационных режимах (температурных режимах). Образцы были напечатаны на 3D-принтере Creality CR10. Характеристики печати включали диаметр сопла 0,4 мм, диаметр нитей 1,75 мм, скорость печати 45 мм/с и толщину слоя 0,2 мм. Испытания проводились при температурах +22°C, 0°C и −40°C на изгиб и растяжение. В испытаниях на изгиб наблюдалось значительное изменение предела прочности материалов в зависимости от температуры: от 16-60 МПа при комнатной температуре до 44-118 МПа при отрицательных температурах. С понижением температуры материалы становятся более хрупкими, что приводит к хрупкому разрушению – явлению, называемому стеклованием. В испытаниях на растяжение предельные напряжения незначительно возрастали (в среднем в 1,2 раза) с понижением температуры, а удлинение уменьшалось (в среднем в 1,3 раза). Было установлено, что значения модуля Юнга уменьшаются с повышением температуры. Сравнительный анализ показал, что изделия, изготовленные с использованием АТ, уступают материалам, полученным традиционными методами литья, в среднем в 1,8 раза по прочности на изгиб, в 1,55 раза по прочности на растяжение и в 3,24 раза по модулю Юнга. По результатам испытаний в качестве материала корпуса был выбран PLA.*

Açar sözlər: *additiv texnologiya, 3D çap, gəmiqayırma, polimerlər, gəmiqayırma materialı*
Key words: *additive technology, 3D printing, shipbuilding, polymer, shipbuilding material*
Ключевые слова: *аддитивные технологии, 3D-печать, судостроение, полимер, судостроительный материал*

Giriş. 3D çapda plastiklərdə ən çox yayılmış Additiv texnologiya (AT) materialları ABS, SBS, PLA, HIPS və PETG-dir. Bütün plastiklərin çapı Creality CR10 markalı 3D-çap maşınında həyata keçirilmişdir. Bu maşının forsun diametri 0,4 mm, sapların (filamentlərin) diametri 1,75 mm, çap sürəti 45 mm/s, təbəqə qalınlığı isə 0,2 mm olmuşdur.

Plastik nümunələrin hazırlanması zamanı aşağıdakı çap xüsusiyyətləri müşahidə edilmişdir:

1. **SBS:** Çap 235°C temperaturda, masa temperaturu isə 60°C olmaqla həyata keçirilmişdir. Yapışdırıcı kimi "The 3D" şirkətinin yapışqanından istifadə edilmişdir. Qəlibləmə üsulları ilə hazırlanmış SBS-in normal temperatur şəraitində sınaqları zamanı əyilmədə möhkəmliyi 34,1 MPa, dartılmada möhkəmliyi isə 21,4 MPa olmuşdur [1].

2. **ABS:** Çap 245°C temperaturda, masa temperaturu isə 100°C olmaqla həyata keçirilmişdir. Yapışdırıcı kimi akril lakdan istifadə edilmişdir. Əyilmədə möhkəmliyi 79.8 MPa, dartılmada möhkəmliyi isə 54,0 MPa [2] təşkil etmişdir (qəlibləmə, normal temperatur şəraitində sınaqlar).

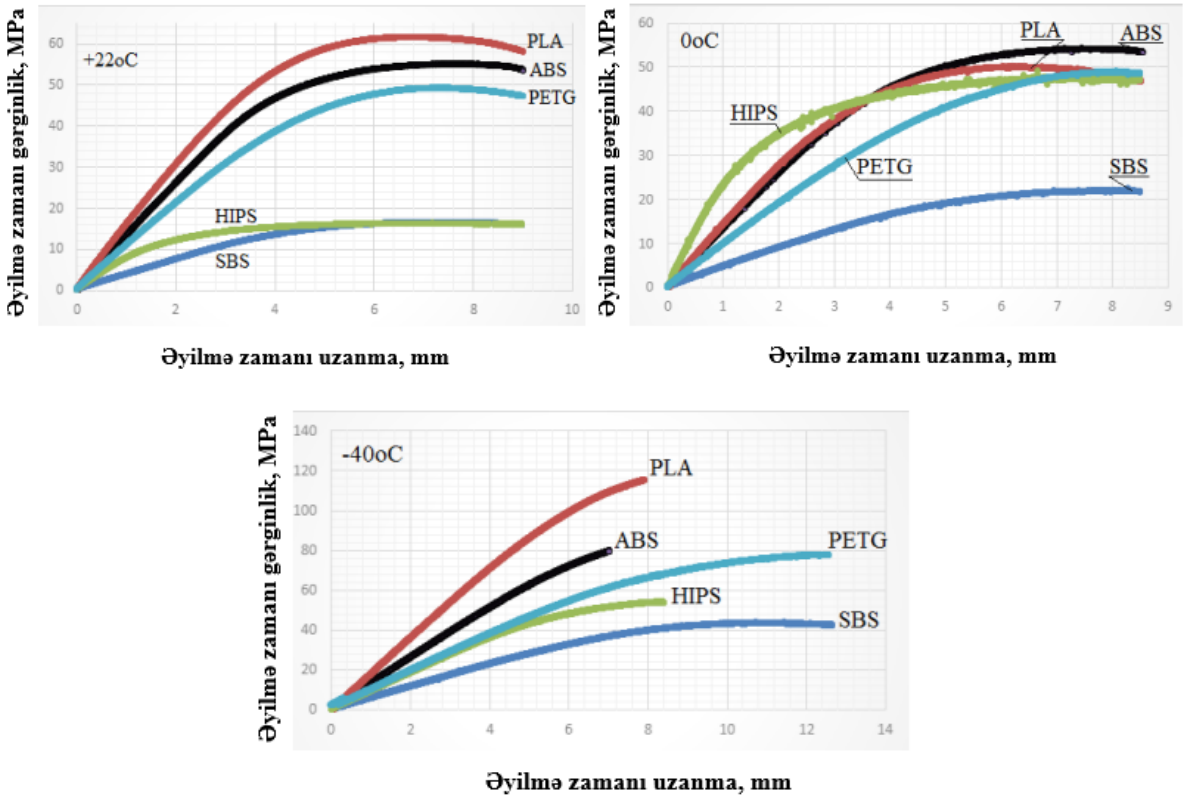
3. **PLA:** Çap 202°C temperaturda, ilk təbəqə üçün masa temperaturu 65°C, sonrakı təbəqələr üçün isə 55°C olmaqla həyata keçirilmişdir. Əyilmədə möhkəmliyi 94,9 MPa, dartılmada möhkəmliyi isə 89,0 MPa [2] olmuşdur (qəlibləmə, normal temperatur şəraitində sınaqlar).

4. **HIPS:** Çap 265°C temperaturda, masa temperaturu 100°C olmaqla həyata keçirilmişdir. Yapışdırıcı kimi "The 3D" şirkətinin yapışqanından istifadə edilmişdir. Əyilmədə möhkəmliyi 30,0 MPa, dartılmada möhkəmliyi isə 26,8 MPa olmuşdur (qəlibləmə, normal temperatur şəraitində sınaqlar).

5. **PETG:** Çap 230°C temperaturda, masa temperaturu 70°C olmaqla həyata keçirilmişdir. Yapışdırıcı kimi "The 3D" şirkətinin yapışqanından istifadə edilmişdir. Əyilmədə möhkəmliyi 110,0 [3] MPa, dartılmada möhkəmliyi isə 39,0 MPa [4] olmuşdur (qəlibləmə, normal temperatur şəraitində sınaqlar).

Əsas hissə. Sınaqlar kriokamera ilə təchiz olunmuş Instron E1000 sınaq maşınında aparılmışdır. Maye azotla işləmək üçün "Wessington Cryogenics" firmasının TPV-120 tipli Dewar qabından istifadə edilmişdir. Polimerlərin möhkəmlik xassələrinin tədqiqi üzrə eksperimentlər müvafiq tələblərə uyğun olaraq aparılmışdır [5, 6].

Additiv texnologiya materiallarının müxtəlif istismar rejimlərində tətbiqi imkanlarını təhlil etmək üçün sınaqlar ardıcıl olaraq üç temperaturda (+22°C→0°C→−40°C) yerinə yetirilmişdir. Hər bir sınaq üçün yuxarıda təsvir olunan beş material seçilmişdir. Hər eksperimentə dartılma üçün [5] ölçü və formasına, əyilmə üçün isə [6] ölçü və formasına uyğun üç nümunə götürülmüşdür. Əyilmə sınaqlarının nəticələrinə əsasən, şəkil 1-də əks olunan asılılıqlar əldə edilmişdir. Qrafiklərdə üç temperatur rejimində asılılıqların orta qiymətləri təqdim edilmişdir. Hər bir temperatur rejimi üçün hər materialdan üç nümunə sınaqdan keçirilmişdir.



Şəkil 1. *Üç temperatur rejimində əyilmə zamanı gərginliyin uzanmadan asılılığı*

Sınaqlardan belə nəticə çıxır ki, təqdim olunan materiallar üçün əyilmədə möhkəmlik həddində geniş fərq müşahidə olunur və burada otaq temperaturunda 16-dan 60 MPa-a qədər, mənfi temperatur rejimində isə 44-dən 118 MPa-a qədər möhkəmlik həddi dəyişir.

Temperatur dəyişdikcə materialların xarakteristikaları da dəyişir. Plastik materiallar daha kövrək olur, kövrək dağılma baş verir və bu, şüşələşmə temperaturu adlanan bir haldır. Belə ki, 22°C-

də üç plastik material (ABS, PLA, PETG) gərginliyin yuxarı hədlərində, yəni 50÷60 MPa diapazonunda olur, qalan iki material (HIPS, SBS) isə aşağı həddində, təxminən 16 MPa ətrafında olur.

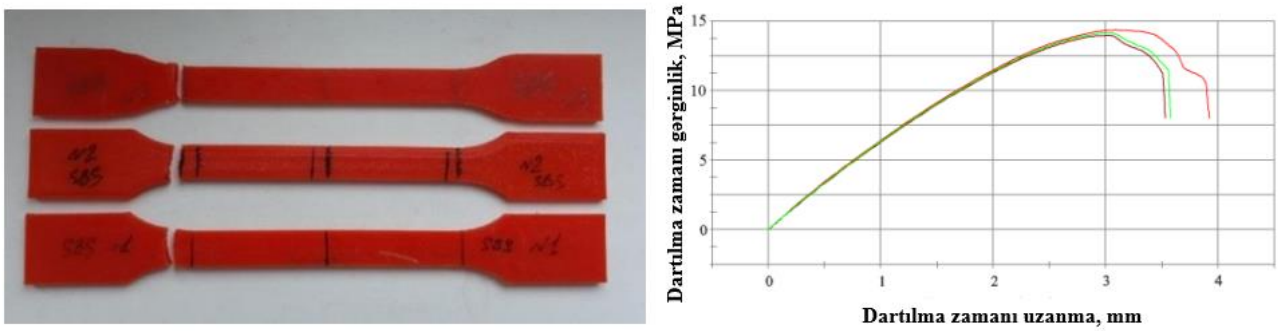
Temperatur 0°C-yə endikdə ABS və PETG materiallarında gərginliklərinin həddi praktiki olaraq dəyişmir. PLA və SBS materiallarında gərginliklərinin həddi otaq temperaturundakı nəticələrə nisbətən orta hesabla 8 MPa-a qədər dəyişə bilir. HIPS materialında isə gərginlik həddi (30 MPa) əhəmiyyətli dərəcədə dəyişikliyə məruz qalır. Temperatur −40°C-yə qədər aşağı düşməsi ilə gərginliklərin həddi 0°C-dəki göstəricilərlə müqayisədə orta hesabla 1,7 dəfə artır: ABS-də 1,3 dəfə, SBS-də 2,7 dəfə, PLA-da 1,9 dəfə, HIPS-də 1,2 dəfə, PETG-də isə 1,6 dəfə. Materialların əyilmədə möhkəmlik həddində maksimum uzanması 22°C və 0°C-də orta hesabla 7,7 mm olmuşdur. −40°C-də isə uzanma orta hesabla 9,8 mm olmuşdur. Sınaqlardan sonra nümunələr şəkil 2-də təqdim edilmişdir.



Şəkil 2. *Əyilmə sınaqlarından sonra nümunələr:*
- yuxarıdan aşağıya: +22°C, 0°C, −40°C-də;
- soldan sağa: PLA, HIPS, SBS, ABS, PETG

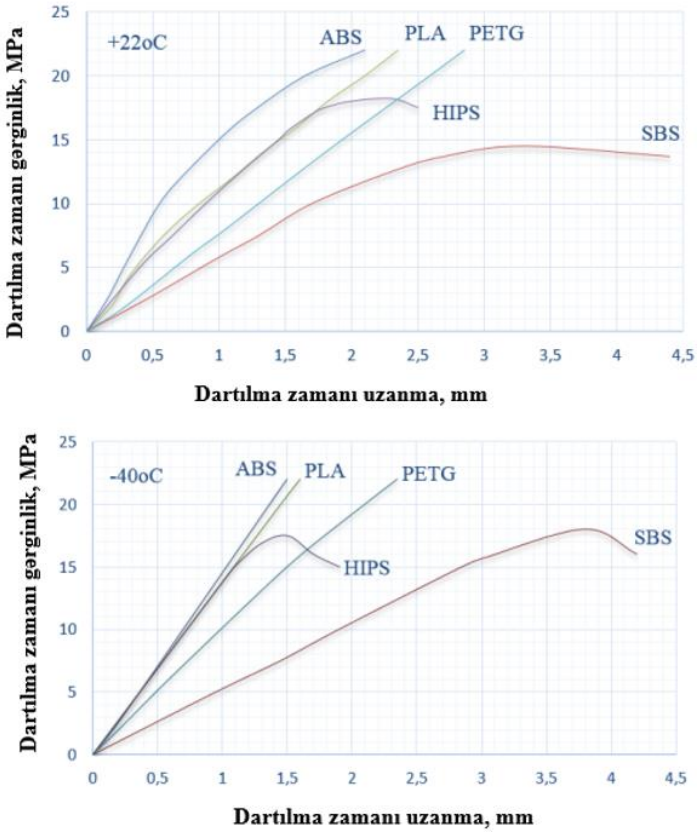
Şəkil 2-dən göründüyü kimi, iki material SBS və PETG öz ilkin formalarına qayıtmışdır. Bu materiallarda heç bir qırılma qeydə alınmamışdır. ABS, PLA materiallarında qırılmalar 0°C-dən başlamışdır, HIPS materialınada isə qırılmalar −40°C-də müşahidə edilmişdir.

[7]-də dartılma sınaqları ilə əlaqədar məlumatları mövcuddur və burada [8]-ə əsasən "qantelə bənzər" formaya malik nümunələrin dartılma sınaqlarının aparılmasının qeyri-mümkün olduğu qeyd olunur. [7]-nin məlumatlarına görə, bu iddia çap başlığı tərəfindən istehsal olunan təbəqələr "spiralvari" və ya "labirintvari" xətt təşkil etdikdə özünü doğruldur. Müəlliflərin fikrincə, belə bir çap texnologiyası nümunənin işçi zonasından uzaq yerlərdə gərginlik konsentrasiyasına səbəb ola bilər. Təqdim olunan işdə, nümunələrin çap texnologiyasının qeyri-mükəmməlliyi səbəbindən oxşar bir problem yaranmışdır (şəkil 3).



Şəkil 3. *[7, 8]-ə uyğun nümunələrlə dartılma sınaqlarının nəticələri*

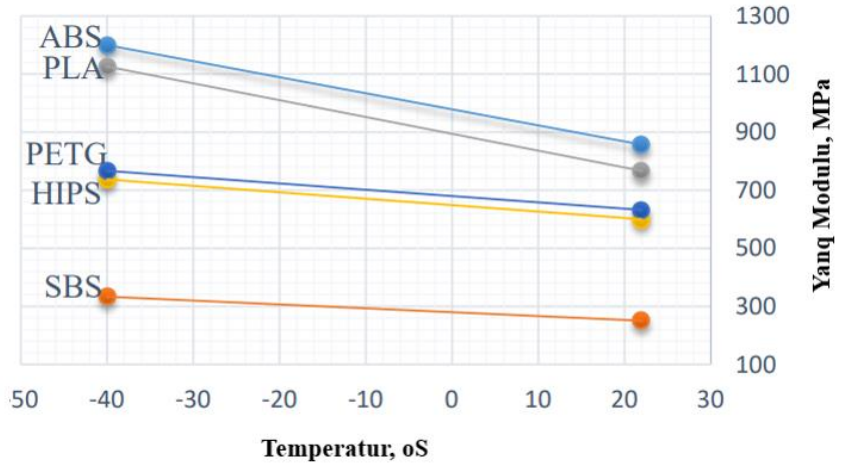
Şəkil 3-dən göründüyü kimi, nümunələr işçi zonadan uzaq, gərginlik konsentrasiyası olan yerlərdə dağılmışdır. Bunun qarşısının alınması üçün nümunələrdə işçi sahədən başlığa keçd yerlərində səthin hamarlanması qərarı qəbul edilmişdir. Aparılan işlərdən sonra, dartılma sınaqları nəticəsində şəkil 4-də əks olunan aşağıdakı məlumatlar əldə edilmişdir.



Şəkil 4. *İki temperatur rejimində dartılma zamanı gərginliyin uzanmadan asılılığı*

Şəkil 4-dən göründüyü kimi, temperatur azaldıqca dartılmada gərginlik həddi az miqdarda, orta hesabla 1,2 dəfə artır. Dartılmada maksimum uzanması isə temperatur azaldıqca eyni şəkildə, orta hesabla 1,3 dəfə azalır. Həmçinin, elastiklik (Yunq) modulu da hesablanmışdır.

Şəkil 5-dən görünür ki, elastiklik modulu temperatur artdıqca azalır. Burada qrafiki şərti sərhədlərə bölmək olar: "aşağı" hədlərdə SBS, "orta" hədlərdə PETG və HIPS, "yuxarı" hədlərdə isə PLA və ABS materiallarının sınaq nəticələrini.



Şəkil 5. *Dartılmada Yunq modulunun temperatur rejimlərindən asılılığı*

3D çap nümunələrinin möhkəmlik sınaqlarının nəticələrini ənənəvi qəlibləmə texnologiyaları ilə hazırlanmış nümunələrin möhkəmlik sınaqlarının nəticələri ilə müqayisəsi cədvəl 1 və 2-də verilmişdir. Cədvəl 1-də ənənəvi və additiv texnologiya materiallarının əyilmədə möhkəmliyi təqdim olunur.

Cədvəl 1

Ənənəvi qəlibləmə və additiv texnologiya ilə hazırlanmış nümunələrin müxtəlif temperaturlarda əyilmədə mökəmlik sınaqlarının nəticələri

Material	Qəlibləmə, +22°C	3D-Çap, +22°C	3D-Çap, 0°C	3D-Çap, −40°C
	Əyilmədə möhkəmlik həddi, MPa			
ABS	79,8	55,05	54,57	71,86
SBS	34,1	16,55	22,38	44,01
PLA	94,9	61,61	50,72	117,76
HIPS	30,0	16,30	47,03	54,82
PETG	110,0	49,18	49,32	79,32

Bu cədvəl, hər bir materialın ənənəvi qəlibləmə üsulu ilə (+22°C-də) əldə edilmiş əyilmədə möhkəmlik həddi, həmçinin 3D-çap üsulu ilə hazırlanmış nümunələrin müxtəlif temperatur rejimlərində (+22°C, 0°C, −40°C) əldə edilmiş nəticələrini müqayisəli şəkildə göstərir. Cədvəl 1-dən göründüyü kimi, normal temperaturda sınaqdan keçirilmiş qəlibləmə üsulları ilə hazırlanmış materiallarla müqayisədə, additiv texnologiya məhsulları möhkəmlik xarakteristikalarına görə orta hesabla 1,8 dəfə geri qalır. Ən az fərq ABS materialında, ən böyük fərq isə PETG materialında (2,23 dəfə) qeydə alınmışdır.

Cədvəl 2

Ənənəvi qəlibləmə və additiv texnologiya ilə hazırlanmış nümunələrin müxtəlif temperaturlarda dartılmada mökəmlik sınaqlarının nəticələri

Material	Qəlibləmə, +22°C	3D-Çap, +22°C	3D-Çap, −40°C
	Dartılmada möhkəmlik həddi, MPa		
ABS	54,0	-	-
SBS	21,4	14,42	20,70
PLA	89,0	-	-
HIPS	26,8	16,68	18,68
PETG	39,0	-	-

Cədvəl 2-dən belə nəticə çıxır ki, ənənəvi texnologiyalarla hazırlanmış məhsullar additiv texnologiya məhsullarını üstələyir. Bu halda, ABS, PLA və PETG materialları sınaq dövrünü dağılmadan keçmiş və maksimum yükə tab gətirmişdir və elastiklik zonasına çatmamışdır.

Daha sonra, cədvəl 3-də təqdim olunan materiallar üçün Yunq modulu hesablamaları verilmişdir (maksimum yükləmədə ABS, PLA və PETG materialları üçün). Cədvəl 3-dən belə nəticə çıxarmaq olar ki, Yunq modulu baxımından additiv texnologiya ilə hazırlanan materiallar ənənəvi qəlibləmə üsulları ilə hazırlanmış materiallardan orta hesabla 3,24 dəfə geri qalır. Ənənəvi qəlibləmədə Yunq modulunun minimum nəticəsi ilə müqayisədə ən az fərq ABS materialında (1,98 dəfə), ən böyük fərq isə SBS materialındadır (7,2 dəfə).

Yunq modulunun [7]-də əldə edilmiş sınaq nəticələri ilə təqdim olunan işin göstəriciləri müqayisə edildikdə, aralarındakı orta fərq 17% təşkil edir (aldığımız nəticələrdə 632 MPa, [7] materiallarında isə 526 MPa-dır). Bu da əldə edilmiş məlumatların kifayət qədər etibarlı olduğunu göstərir.

Cədvəl 3

Ənənəvi qəlibləmə və additiv texnologiyaları ilə hazırlanmış nümunələrin müxtəlif temperaturlarda Yunq modulu sınaqlarının nəticələri

Material	Yunq modulu, MPa		
	Qəlibləmə, 22°C	3D-Çap, 22°C	3D-Çap, −40°C
ABS	1700−2930 [155]	857	1200
SBS	1800−2000 [156]	250	333
PLA	1300−1800 [157]	766	1125
HIPS	1300−2800 [158]	600	737
PETG	2000−3000 [159]	632	766

Nəticə. Aparılan tədqiqatlar nəticəsində, 3D çapda istifadə olunan ABS, SBS, PLA, HIPS və PETG polimerlərinin müxtəlif istismar rejimlərində (temperatur rejimlərində, +22°C, 0°C, −40°C) mexaniki xassələri müəyyən edilmişdir. Əyilmə sınaqlarında materialların möhkəmlik həddində temperaturdan asılı olaraq əhəmiyyətli dəyişikliklərin (otaq temperaturunda 16-60 MPa-dan mənfi temperaturlarda 44-118 MPa-a qədər) baş verməsi və temperatur azaldıqcada kövrəkliyin artması müşahidə edilmişdir. Dartılma sınaqlarında isə temperatur azaldıqca gərginliklərin həddində cüzi artım (orta hesabla 1,2 dəfə) və uzanmada azalma (orta hesabla 1,3 dəfə) müşahidə edilmişdir. Yunq modulunun göstəriciləri temperatur artdıqca azalmışdır. Müqayisəli təhlil göstərir ki, additiv texnologiya ilə hazırlanan məhsullar ənənəvi qəlibləmə üsulları ilə hazırlanan materiallara nisbətən əyilmədə (orta hesabla 1,8 dəfə), dartılmada (orta hesabla 1,55 dəfə) və Yunq modulunda (orta hesabla 3,24 dəfə) geri qalır. Sınaqların yekununda gövdə materialı kimi PLA tövsiyə edilmişdir.

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

Ədəbiyyat

1. Свойства блок-сополимера стирола и бутадиена марки «Стиротэп-70» / А.В. Лобанов, Д.В. ряников, А.А. Алексеев, В.С. Осипчик // Успехи в химии и химической технологии. – 2012. – Т. XXVI. – №4(133). – с. 32-36.
2. Мишкин, С.И. Полимерные композиты на основе акрилонитрилбутадиенстирола и полимолочной кислоты / С.И. Мишкин, Н.Н. Тихонов // Успехи в химии и химической технологии. – 2011. – Т. XXV. – №3(119). – с. 19-24.
3. Экологические аспекты переработки отходов полиэтилентерефталата / Арламова Н.Т., Бурмистр М.В., Хохлова Т.В. [и др.] //Наука и прогресс транспорта. Вестник Днепропетровского национального университета железнодорожного транспорта. –2012. –№40. – с.146-150.
4. Биомеханические свойства хирургических нитей с функциональным покрытием /С.В. Шилько, П.Н. Гракович, В.Ф. Хиженок, С.В. Паркалов // Российский журнал биомеханики. – 2003. – Т.7. – №2. – с. 85-91.
5. ГОСТ 11262-2017. Пластмассы. Метод испытания на растяжение. Дата введения: 1.10.2018. М.: Стандартинформ. – 24 с.
6. ГОСТ 4648-2014. Пластмассы. Метод испытания на статический изгиб. Дата введения: 1.03.2015. М.: Стандартинформ. – 25 с.
7. Szykiedans, K. Selected mechanical properties of PETG 3D-prints / K. Szykiedans, W.Credo, D. Osiński // Procedia Engineering. – 2017. – Vol. 177. – P. 455-461.
8. ISO 527-2. Plastics – Determination of tensile properties. Part 2. Test conditions for moulding and extrusion plastics. Date of adoption: 1.06.2012. Deutsches Institut fur Normung e.V. – 6 p.

Məqalə qəbul olunub: 18.04.25
Tövsiyə edib: prof. İsmayılov N.Ş.

UOT 621-035.3:674

POLİMER KOMPOZİT MATERİALLARIN STRUKTURU VƏ MEXANİKİ SINAQLARININ NƏTİCƏLƏRİ

İsmayılov N.Ş., Kəlbiyev F.M., Babayev L.V., Mənsimov K.T.

"Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası" PHŞ
AZ1000, Bakı şəh., Z. Əliyeva küç., 18
E-mail: nizism@mail.ru, farqan.kalbiyev@asco.az, lachin.babayev@asco.az, kamranmansimov464@gmail.com

Xülasə. *Məqalədə polimer kompozit materialların strukturu və mexaniki sınaqlarının nəticələri araşdırılmışdır. Mexaniki dartılma sınaqları üçün polimer kompozit material nümunələri müəyyən olunmuş və sınaqlar aparılmışdır.*

Polimer kompozit material nümunələrinin dartılmada möhkəmlik həddinin orta qiymətlərinin müqayisəsi aparılmışdır. Möhkəmləndirici elementlərin kompozit material nümunələrinin möhkəmliyinə təsiri öyrənilmişdir. Polimer kompozit material nümunələri üçün sıxılma, əyilmə sınaqları aparılmışdır. Polimer kompozit material nümunələrinin sıxılmada möhkəmlik həddinin qiymətlərinin müqayisəsi aparılmışdır.

Abstract. *The article examines the structure and mechanical test results of polymer composite materials. Polymer composite material samples were identified and tested for mechanical tensile tests.*

The average values of tensile strength of polymer composite material samples were compared. The effect of reinforcing elements on the strength of composite material samples was studied. Compression and bending tests were conducted for polymer composite material samples. The values of compressive strength of polymer composite material samples were compared.

Аннотация. *В статье рассмотрены результаты механических испытаний полимерных композиционных материалов. Образцы полимерного композиционного материала были отобраны и испытаны на различные механические свойства.*

Проведено сравнение средних значений предела прочности образцов полимерного композиционного материала. Изучено влияние армирующих элементов на прочность образцов композиционного материала. Проведены испытания на сжатие и изгиб образцов полимерного композиционного материала. Сравнены предельные значения прочности на сжатие образцов полимерных композиционных материалов.

Açar sözlər: *kompozit materiallar, sınaqlar, nümunələr, sıxılma, əyilmə, dartılma*

Key words: *composite materials, tests, samples, compression, bending, tension*

Ключевые слова: *композиционные материалы, испытания, образцы, сжатие, изгиб, растяжение*

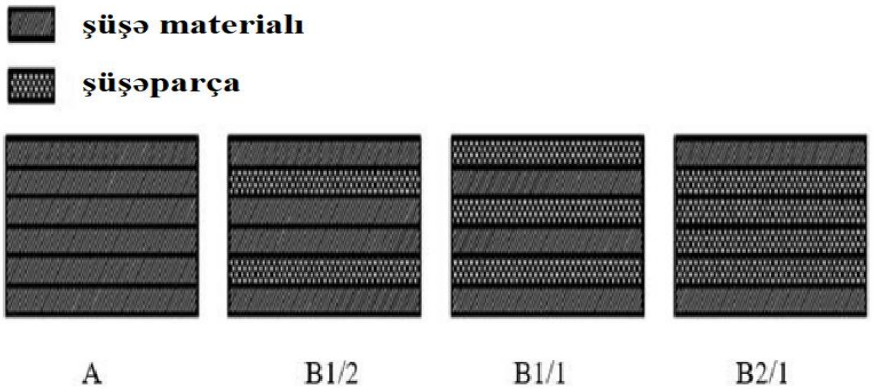
Giriş. Polimer kompozit materiallar müasir sənayedə geniş tətbiq olunan materiallardır. Onlar yüksək möhkəmlik, yüngüllük, korroziyaya davamlılıq və xüsusi mexaniki xassələrinə görə aviasiya, avtomobil sənayesi, tikinti, gəmiqayırma və digər sahələrdə istifadə olunur. Bu materialların performansını qiymətləndirmək üçün müxtəlif mexaniki sınaqlar tətbiq olunur. Mexaniki sınaqlar polimer kompozit materialların mexaniki xassələrini qiymətləndirmək üçün aparılır.

Polimer kompozit materialların strukturu. Polimer kompozit materiallar, iki və ya daha çox fərqli materialın birləşməsindən yaranan və bir-birinin xüsusiyyətlərini tamamlayan məhsullardır. Bu materiallar, adətən, polimer matris (əsas material) və möhkəmləndirici materiallardan (məsələn, karbon liflər, şüşə liflər və ya aramid liflər) ibarətdir.

Şüşə liflərə əsaslanan polimer kompozit materiallardan gövdə konstruksiyalarının istehsalı üçün Registrin qaydaları şüşəparça daxil olan möhkəmləndirmə sxemindən istifadə etməyi tövsiyə edir. Bunu etmək üçün əsasən bu materialların kövrəklik problemini həll etmək lazımdır [3, 4].

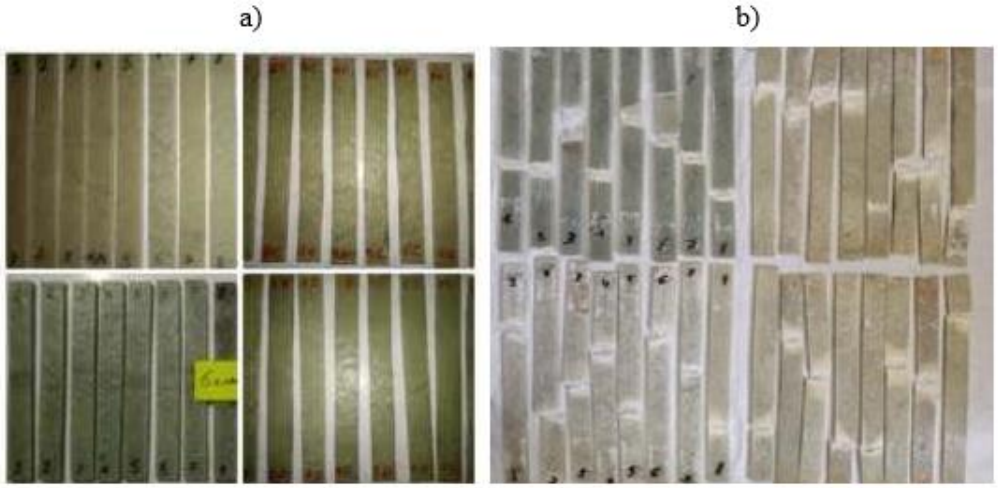
Möhkəmləndirici elementlərin yığılma sxeminin polimer kompozit materialların möhkəmlik xüsusiyyətlərinə təsirini müəyyən etmək üçün eyni sayda təbəqə ilə (n_a = 6) 4 lövhə hazırlanmış və möhkəmləndirici elementlərin hər bir təbəqəsinə 400 q polyester qatranı çəkilmişdir [5, 6], [3, 4].

Birinci partiya A hərfi ilə işarələnmişdir və emulsiya şüşə markası (EMS-600) və "Yarkopol-110" termoset qatranı əsasında hazırlanır. Qalan üç partiya B hərfi ilə işarələnmişdir və əlavə olaraq EWR 580 markalı şüşəparçasını ehtiva edir. Şüşə lif təbəqələrinin sayı adi şüşə təbəqələrinin sayına fərqli nisbətdə (B1/2, B1/1, B2/1) götürülür. Möhkəmləndirici elementlərin düzülüşü şəkil 1-də göstərilmişdir [3, 5].



Şəkil 1. *Hazırlanmış lövhələrin möhkəmləndirici elementlərinin düzülmə sxemi*

Sınaq nümunələrinin sınaqdan əvvəl və sonra görünüşü şəkil 2-də göstərilmişdir. Qeyd olunur ki, bütün nümunələr üçün dartılma sınaqları zamanı nasazlıq növü işçi zonada eninə qırılmadır [5, 7].

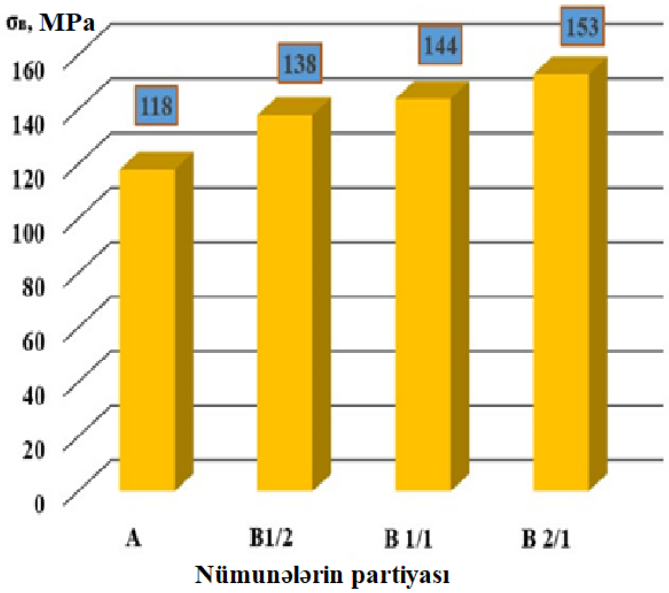


Şəkil 2. *Mexaniki dartılma sınaqları üçün PKM nümunələri:*
a – sınaqdan əvvəl; b - sınaqdan sonra

A, B1/2, B1/1, B2/1 partiyalarının PKM nümunələrini gərginlik üçün sınaqdan keçirərkən əldə edilən məlumatların statistik emalı aparılmışdır. Nəticələrin dispersiya təhlili göstərdi ki, A, B1/2, B1/1, B2/1 qruplarında orta qiymətlər arasında ciddi fərqlər var, ona görə də şüşəparçanın

təbəqələrinin sayı şüşə liflərə əsaslanan PKM-ın dartılma qüvvəsinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərir.

Nümunə partiyalarının (A, B1/2, B1/1, B2/1) dartılmada möhkəmlik həddinin orta qiymətlərinin təhlili (şəkil 3) göstərir ki, lifli şüşəparça təbəqələrinin sayının artırılması adi şüşəyə nəzərən PKM-ın dartılma qüvvəsini 1/2 nisbətində 17%, 1/1 nisbətində 22% və 2/1 nisbətində 30% artır [9,10].



Şəkil 3. *PKM nümunələrinin dartılmada möhkəmlik həddinin orta qiymətlərinin müqayisəsi*

Möhkəmləndirici elementlərin möhkəmliyə təsiri. GOST 4651-2014-ə uyğun olaraq, sıxılma sınaqlarını həyata keçirmək üçün ölçüləri 10 × 10 mm olan düzbucaqlı prizma şəklində olan nümunələr istehsal edilmiş lövhələrdən (A, B1/2, B1/1, B2/1) kəsilir. Hazırlanmış nümunələrin görünüşü şəkil 4, a-da göstərilmişdir. Sıxılma sınaqlarını apararkən nəzərə çarpır ki, sınaq nümunəsi dağıldıqda, sınaq maşınının P_5 saat göstəricisində sıxılma qüvvəsi sürətlə artır və bu anda onun qiyməti F_{max} dağıdıcı yük kimi qəbul edilir.

Nümunələrin dağılması təbəqələrin soyulması və ya liflərin qırılması şəklində müşahidə olunur (şəkil 4, b).

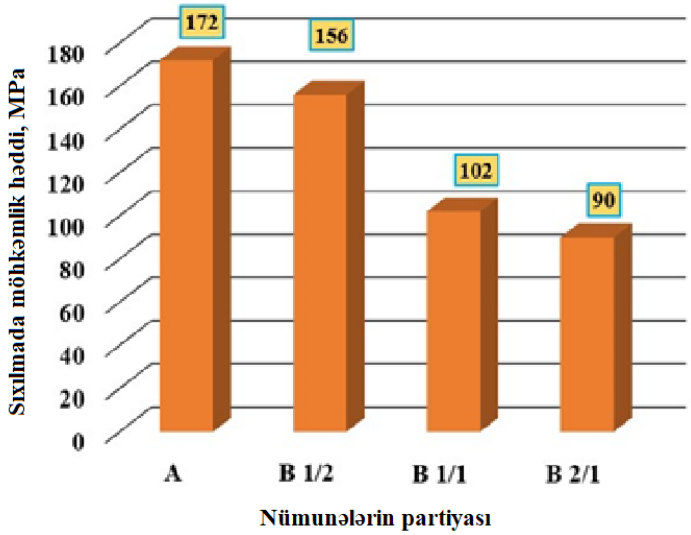


Şəkil 4. *Sıxılma sınaqları üçün hazırlanmış PKM nümunələri: a – sınaqdan əvvəl; b - sınaqdan sonra*

Alınmış nəticələrin statistik emalı nəticəsində A, B1/2, B1/1, B2/1 sıxılma sınaqları zamanı aşkar edilmişdir:

- ✓ təsadüfi dəyişənin paylanması normal paylanma qanuna tabedir;
- ✓ nəticələrin dispersiyaları homogendir.

Sıxılmada möhkəmlik həddində PKM nümunələrinin son qüvvəsinin orta qiymətlərinin müqayisəsi şəkil 5-də verilmişdir. Şüşəparça təbəqələrinin sayının adi şüşə təbəqələrinin sayına nisbətinin artması son nəticənin azalmasına səbəb olur. Sıxılmada PKM-ın qüvvəsi 1/2 nisbətində 9%, 1/1 nisbətində 41% və 1/2 nisbətində 48% təşkil edir.



Şəkil 5. *PKM nümunələrinin sıxılmada möhkəmlik həddi*

Fərqli şüşə lifli parça təbəqələrinin sayının adi şüşə miqdarına müxtəlif nisbətlərində PKM-ın mexaniki xüsusiyyətlərini müqayisə etmək üçün gərginlik və sıxılma sınaqları keçirilmiş və eyni strukturun PKM nümunələrində üç nöqtəli əyilmə sınaqları aparılmışdır. Sınaq metodları GOST 4648-2014-ə əsaslanır və bütün nümunələr üçün dayaqlar arasındakı məsafə $L_{mo} = (16\pm1)\cdot t=100$ mm təşkil etmişdir.

Testlər düzbucaqlı kəsiyi olan zolaqlar şəklində nümunələr üzərində aparılmışdır (şəkil 6, a). Bu sınaqlarda əyilmə qiyməti ölçülməmişdir, çünki materialın kövrək qırılması nəzərə çarpır və heç bir əhəmiyyətli vizual əyrilik müşahidə olunmur. F_{max} qırılma yükü səth çatının meydana çıxdığı anda qeydə alınır.

Bükülmə sınağı zamanı bütün nümunələrin dağılması növü eynidir. Müəyyən edilmişdir ki, dağılma aşağı təbəqələrin uzanması, ardınca möhkəmləndirici elementin təbəqələrinin qopması və soyulması nəticəsində baş vermişdir (şəkil 6, b).



Şəkil 6. *Üç nöqtəli əyilmə üçün PKM-ın sınaqdan keçirilməsi üçün hazırlanmış nümunələr: a – sınaqdan əvvəl; b - sınaqdan sonra*

Nəticə. EMC-600 şüşəsi, EWR 580 şüşəparça və Yarkopol-110 poliester qatranından hazırlanmış PKM nümunələrinin gərginlik, sıxılma və əyilmə üçün mexaniki sınaqları aparılmışdır. Təcrübələr nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, EMC-600 markalı şüşə laylarının sayına nisbətən EWR 580 markalı şüşəparça təbəqələrinin sayının artması ilə PKM-ın dartılmada möhkəmlik həddi artır, sıxılma və əyilmə hədləri isə azalır.

Beləliklə, təhlillərə əsaslanaraq deyə bilərik ki, polimer kompozit materialların mexaniki sınaqları onların performansını qiymətləndirmək üçün əsas vasitədir. Bu sınaqlar materialın müxtəlif yüklənmə şəraitində davranışını öyrənməyə və tətbiq sahələrini müəyyən etməyə imkan verir. Texnologiyaların inkişafı ilə bu materialların gəmiqayırma və gəmi təmirində daha geniş tətbiq tapacağını proqnozlaşdırmaq olar.

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

Ədəbiyyat

1. Гуменюк Н.С., Грушин С.С. Применение композиционных материалов в судостроении // Современные наукоемкие технологии. 2013. №8. с. 116–117.
2. Булкин В.А. Применение перспективных Композиционных материалов в надводном судостроении/ В.А. Булкин, Н.Н. Шляхтенко//Морской вестник. – 2013. – № 1 (45). – с. 6 -8. Федонюк, А.В.
3. Использование композиционных конструкционных материалов при создании ПЛ. Аналитический отчет. Вып. 18. СПб.: ОАО «Центральное конструкторское бюро морской техники «Рубин», 2014.
4. Невероятная супер-яхта Khalilah от Palmer Johnson (фото) // RuYachts.com: информационный портал о мире яхтинга и водной техники [Электронный ресурс]. URL: http://ruyachts.com/journal/pervyie-foto-neveroyatnoy-super-yahtyi khalilah-ot-palmer-johnson/ (дата обращения: 15.04.2018).
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. Vasileios Karatzas. COMPASS – COMposite superstructures for large PASsenger Ships: Technical Report. Denmark.: – 2016. – 247 p.
8. Гладышева И.В. Проблемы конкурентоспособности судостроения России/ И. В. Гладышева// Российский экономический интернет-журнал. –2006. – № 4. – С. 50-56.
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. Перов Ю.Ю. Исследование механических свойств гибридных композитов, склонных к кромочному расслоению //Механика композиционных материалов. –1990. –№1. –с.61-68.

Məqalə qəbul olunub: 18.04.25
Tövsiyə edib: dos. Xankişiyev İ.A.

УДК 621.7; 658.12

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РОТАЦИОННОГО ХОНИНГОВАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ДЕТАЛЕЙ СУДОВЫХ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

[1]Гафаров А.М., [1] Ханкишиев И.А., [2] Гафаров В.А.

[1] ПЮЛ "Азербайджанская Государственная Морская Академия"
AZ1000, г. Баку, ул. З. Алиевой, 18
[2] SOCAR, ПО «Азеригаз».
AZ1025, г. Баку, ул. Ю. Сафарова, 35
E-mail: isaq_x@mail.ru

***Аннотация**. В статье рассматриваются вопросы исследования технологических возможностей процесса ротационного хонингования при обработке высокоточных деталей судовых машин и механизмов. Обсуждается полученные закономерности.*

***Xülasə**. Məqalədə gəmi maşın və mexanizmlərinin yüksək dəqiqliyə malik detalların emalında xoninqləmə əməliyyatının texnoloji imkanlarının tədqiqi ilə bağlı məsələlərə baxılır. Alınan qanunauyğunluqlar müzakirə edilir.*

***Abstract**. The article examines issues related to the study of the technological capabilities of the honing operation in the processing of high-precision parts of ship machinery and mechanisms. The obtained regularities are discussed.*

***Ключевые слова:** судна, машины, механизмы, деталь, процесс, хонингования, обработка, технология, возможности, параметры, точность, качества*

***Açar sözlər:** gəmilər, maşınlar, mexanizmlər, detal, proses, xoninqləmə, emal, texnologiya, imkanlar, parametrlər, dəqiqlik, keyfiyyət*

***Key words:** ships, machines, mechanisms, detail, process, honing, processing, technology, capabilities, parameters, accuracy, quality*

Введение. Одним из основных задач, стоящий перед машиностроением, является обеспечение высоких требований к точности и качеству поверхностей деталей, которые в основном и определяют эксплуатационные показатели машин и механизмов. Эффективное решение этих задач, в значительной степени определяется применением высокопроизводительных и прогрессивных методов обработки.

За последнее время в этой области достигнут значительный прогресс. Разработаны высокопроизводительные методы обработки, основанные на расширении производства металлообрабатывающего инструмента, особенно с применением синтетических алмазов [1], [2], [3], [4], [5].

Успешное решение комплекса научных и технических проблем по разработке промышленной технологии и освоению массового выпуска синтетических алмазов, позволило значительно повысить эксплуатационные качества и стойкость инструмента, точность обрабатываемых поверхностей и производительность труда на многих технологических операциях, в особенности при хонинговании.

Поэтому обработка отверстий методом алмазного хонингования в отечественной и зарубежной практике в последние годы получает все более широкое распространение в автомобильной, авиационной промышленности, тракторном, нефтяном, нефтехимическом и других отраслях машиностроения при обработке деталей из различных материалов.

Результаты проведенных исследования показывают, что процесс алмазного хонингования может быть успешно использованы при обработке высокоточных ответственных деталей судовых машин и механизмов.

Постановка задачи. Надежность и долговечность судовых машин и механизмов во многом определяется качеством изготовления их деталей. Особое внимание в технологии производства уделяется процессам обработки внутренних поверхностей деталей.

Как свидетельствует практика эти процессы оказывают существенные влияния на формирования износостойкостных характеристик поверхностных слоев деталей, следовательно, определяют эксплуатационных показателей судовых машин и механизмов в целом.

Повышение требования к точности и качества обработки детали судовых машин и механизмов требуют применения прогрессивных методов обработки и специального режущего инструмента, обеспечивающие высокое качество обработанных поверхностей, наряду с высокой стойкостью инструмента и производительностью процесса.

Одним из таких методов обработки является метод ротационного хонингования, обеспечивающий шероховатость обработанной поверхности в пределах Ra=0,63-2.5 мкм, точность 9-10-ой квалитетов и повышение производительности в 1,5-1,9 раза. Широкое применение этого процесса в настоящее время ограничивается рядом обстоятельств, в частности, сравнительно малой изученностью процесса. Имеющиеся в технической литературе рекомендации по выбору оптимальных параметров ротационного хонингования носят слишком общий характер и не могут быть распространены на все виды обработки. Совершенно не изучены возможности ротационного хонингования при обработке маложестких тонкостенных деталей типа втулок, объем изготовления которых огромен.

Ротационное хонингование по сравнению о другими методами обработки имеет ряд преимуществ. К ним относятся исправляющая способность процесса, высокая производительность, обеспечение высокого качества и точность обработанных поверхностей, стабильность эксплуатационных свойств деталей, стойкость инструмента и др.

В настоящей работе рассматриваются некоторые вопросы по определению технологических возможностей ротационного хонингования при обработке нежестких тонкостенных деталей типа втулок.

Как известно, надежность и долговечность эксплуатируемого оборудования в основном зависит от точности и качества изготовления отдельных его узлов и деталей. Поэтому, комплексное решение вопроса эксплуатационной надежности оборудования должно быть изучено в зависимости от технологической надежности процесса и его составляющих в отношении точности и качества обработанных деталей.

Во многих исследованиях параметры точности и качества поверхности характеризуются неидентичностью полученных закономерностей. При этом результаты экспериментальных исследований не позволяют получить достоверную информацию о природе полученных закономерностей. Это особенно показывает себя при определении физико-механических свойств обработанных поверхностей.

В связи о этим возникает вопрос о применении современных методов оптимизации с использованием различных методов с целью определения оптимальных параметров обработки.

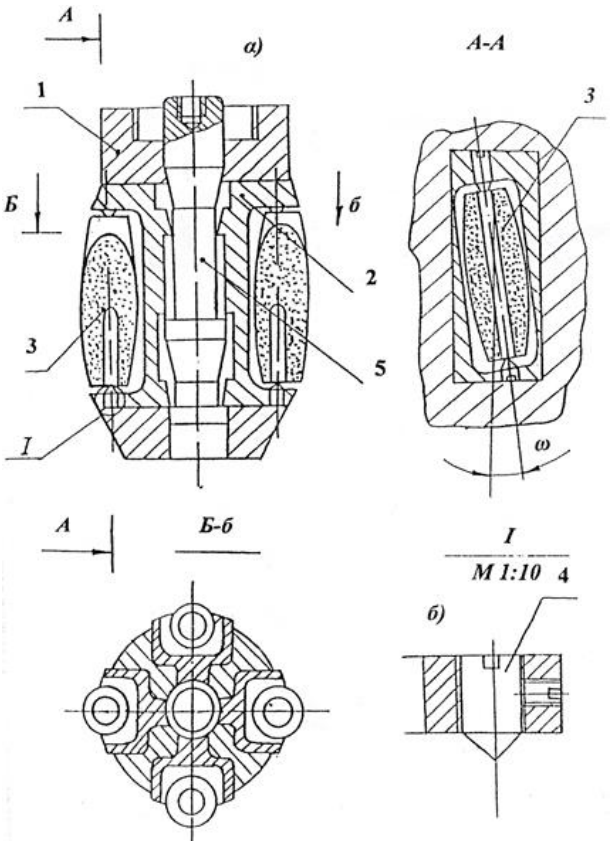
Как известно, долговечность деталей машин характеризуется не только материалом, из которого они изготовлены, и его исходным состоянием, но и физико-механическим состоянием тончайшего поверхностного слоя после механической обработки. Особенно актуален вопрос регулирования этих показателей, исходя из технологических возможностей процесса. Этот вопрос актуален и для процесса ротационного хонингования, применяющего как финишная операция.

Анализ полученных результатов. Для применение технологического процесса ротационного хонингования при обработке высокоточных деталей судовых машин и механизмов проведена экспериментальная исследования.

Известные в технической литературе положительные результаты, а также результаты наших исследований, опытно-промышленных испытаний и внедрения ротационных инструментов в производство послужили основой для разработки конструкций ротационных головок и технологической оснастки.

С учетом условий производства нами разработаны специальные ротационные хонинговальные головки, существенно отличающиеся от ранее известных конструкций.

Одна из конструкций головок показана на рис. Головка оснащена алмазными роликами АСВ 250/200-МІ-100%, со специально подготовленной бочкообразной формой роликов, с геометрическими размерами 100х8х5.



Специальная конструкция ротационной хонинговальной головки

Хонинговальная головка состоит из корпуса I, с равномерно расположенными по окружности сквозными окнами, в которых размещены колодки 2, в пазах которых установлены бочкообразные режущие абразивные бруски 3 и зафиксированы конусными винтами 4, разжимного конуса 5, размещенного в центральном отверстии корпуса 1 и взаимодействующего с колодками 2, упругого элемента, взаимодействующего с конусным штоком 5. Головка работает следующим образом:

- устанавливается угол наклона ролика о таким образом, чтобы контакт роликов осуществлялся по всей длине образующей с обрабатываемой поверхностью, что выполняется поперечным перемещением одного из фиксирующих винтов 4.

После ввода в обрабатываемое отверстие головки, последней сообщается вращательное и возвратно-поступательное движение соответственно вокруг и вдоль оси обрабатываемого

отверстия от шпинделя станка. При этом вращение роликов вокруг своих осей осуществляется за счет тангенциального усилия R_z резания. Затем включается система разжима станка, и конус 5, перемещаясь в отверстие в осевом направление вниз, разжимает колодки 2 в радиальном направлении до упора с обрабатываемой поверхностью, создавая при этом на ней заданное удельное давления Руд.

После окончания обработки, станок выключается с одновременным выводом инструмента из отверстия.

Несмотря на отличительные особенности кинематики движения, разработанные конструкции ротационных хонинговальных головок для обработки отверстий, не требуют специальных станков. Они позволяют произвести обработку на обычных вертикально-хонинговальных станках мод. 3М82, 3М82С, СМ83 и др.

Опытно-промышленные испытания ротационный хонинговальный головки проводились в производственных условиях. Проверялись работоспособность бочкообразных роликов, рациональность выбранных режимов хонингования и конструктивно-геометрических параметров бочкообразного ролика.

Обрабатывались втулки с условными диаметрами: 56,68,93 мм из материалов СТ40, СТ38ХМЮА и СЧ, длиной 300 мм. Твердость обрабатываемых поверхностей втулок находилась в пределах до 285 НВ.

Хонингование втулок выполнялось на одношпиндельном вертикально-хонинговальном станке модели 3М-83С: - режущий инструмент-специальная ротационная хонинговальная головка с четырьмя бочкообразными алмазными роликами, оснащенная брусками марки АС6 250/200 МІ-100% с геометрическими размерами 100х8х5.

Для получения специального бочкообразного ролика были использованы вышеуказанные алмазные бруски, которые напаяны на специальную стальную оправку и шлифованы по бочкообразной форме.

Расчет для определения геометрических параметров бочкообразного алмазного ролика производился с использованием экспериментальных данных настоящей работы.

При испытании процесса были установлены следующие режимы обработки, которые были ранее определены экспериментально:

- окружная скорость хон головки - $V_{\text{ок}} = 0{,}75 \div 1{,}0$ м/с;
- скорость возвратно-поступательного движения - $V_{b-n} = 0{,}15 \div 0{,}2$ м/с;
- окружная скорость ролика - $V_{\text{окр}} = 1{,}83 \div 2{,}5$ м/с;
- подача роликов осуществлялась при постоянном предельном давлении – $P_{\text{уд}} = 60 \div 80$ МПа;
- продолжительность обработки - 2 мин;
- в качестве смазывающие - охлаждающей жидкости (СОЖ) применялся смесь керосина (85%) с веретенным маслом (15%).

В период испытания были определены следующие показатели процесса:

а) производительность - 30 отверстий в час;

б) точность обработанного отверстия:
конусность - 0,01÷0,02 мм,
кривизна оси отверстий, не более 0,035 мм,
овальность - 0,025. ...0,035 мм,
шероховатость поверхности - R_a = 0,001...0,002 мкм;

в) стойкость одного комплекта роликов 950 отверстий.

Ротационное хонингования взамен применявшегося обычного хонингование позволяет обеспечить:

а) шероховатость обработанной поверхности Ra пределах 0,001...0,002 мм (ГОСТ 2759-73);

б) повышение производительности за счет дополнительного движения роликов и подачи в 1,5...2,5 раза;

в) увеличение стойкости бочкообразного ролика 1,9...2,5 раза по сравнению с обычными хонинговальными брусками.

Результаты исследований по производительности, исправляющей способности и качеству обработанной поверхности позволяет наметить пути дальнейшего расширения области эффективного использования ротационного хонингования в различных областях машиностроения. Анализ действующих технологических процессов изготовления машину оборудования в судовом машиностроении показывает, что в этой отрасли имеется большая номенклатура деталей, при обработке которых целесообразно использовать ротационное хонингование с целью повышения качества и точности обработанной поверхности и увеличения производительности труда.

Отличительными особенностями этих деталей являются недостаточная их жесткость, необходимость обработки после закалки на твердость 38...42 HRC, высокие требования к шероховатости обработанной поверхности и стойкости режущего инструмента. Поэтому обеспечение возможности применения в этой области ротационного хонингования является одной из актуальных задач в повышении качества и точности при одновременном снижении трудоемкости процесса.

Выводы. Анализ экспериментальных данных показывает, что результаты исследований создали реальную возможность применения ротационного хонингования при обработке высокоточных деталей судовых машин и механизмов.

Внедрение ротационного хонингования при обработке первоочередной номенклатуры деталей судовых машин и механизмов обеспечит значительный экономический эффект в сфере производства и эксплуатации судов.

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

Литература

1. Гафаров, А.М. Технологические способы повышения износостойкости деталей машин / А.М. Гафаров – Баку: Наука, – 1998. – 318 с
2. Сулейманов, П.Г. Повышения надежности машин и оборудований, эксплуатируемых в экстремальных условиях / П.Г. Сулейманов, – Баку: Наука, – 2018. – 308 с.
3. Гафаров, А.М. Исследование динамических особенностей процесса наружного хонингования при обработке высокоточных деталей судовых машин и механизмов / А.М. Гафаров, И.А. Ханкишиев, С.Г. Пашазаде / “Технология машиностроения", – Москва, – 2023, – N4, – с. 10–14.
4. Гафаров, А.М. Исследования кинематических особенностей процесса хонингования при обработке наружных поверхностей высокоточных цилиндрических деталей судовых машин и механизмов / А.М. Гафаров, И.А. Ханкишиев, С.Г. Пашазаде/ “Вестник Машиностроения”, – Москва, – 2023. – N6, – с. 486–489.
5. Гафаров, А.М. Ротационное хонингование/ А.М. Гафаров, Г.М. Бабаев. – Баку: Наука, – 1999. – 132 с.
6. Муратов, К.Р. Методы хонингования высокоточных отверстий / К.Р. Муратов, Е.А. Гашев // Современные проблемы науки и образования, – Москва, – 2014. – N5, – с. 44.

Məqalə qəbul olunub: 21.04.25
Tövsiyə edib: prof. Məmmədov A.T.

UOT 621.762-03

BİMETAL SÜRTÜNMƏ CÜTLƏRİ ÜÇÜN ANTİFRİKSİON MATERİALIN SEÇİMİNİN ƏSASLANDIRILMASI

[1]Məmmədov A.T., [2]Məcnunov E.E.

[1]Azərbaycan Texniki Universiteti
AZ1073, Bakı şəh., H.Cavid pr., 25
[2]«Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası" PHŞ
AZ1000, Bakı şəh., Z. Əliyeva küç., 18
E-mail: ariff-1947@mail.ru, elsenmecnunov43@gmail.com

Xülasə. *Məqalədə bimetal sürtünmə cütlərində antifriksion materialın seçimi barədə mülahizələr yürüdülür. Belə materialların seçimində ovuntu materialları daha effektli hesab olunur. Ovuntu materialları içərisində ən geniş yayılmış və ucuz başa gələn qrup dəmir əsaslı ovuntu materiallarıdır. Bunlardan sənayedə geniş tətbiq olunanı dəmir-qrafitlərdir. Bimetal sürtünmə cütünün işçi hissəsinin alınması üçün şixtə tərkiblərinin seçimi vacib əhəmiyyət kəsb edir. Onların çuqunla müqayisədə fiziki-mexaniki xassələri və quru sürtünmədə sürtünmə əmsalının və yeyilməsinə dair məlumatlar verilir. Bimetal yastıqlarda antifriksion materialların yeyilmə intensivliyinin müxtəlif amillərdən asılılıqları əsaslandırılmışdır.*

Abstract. *The article discusses the selection of antifriction material in bimetallic friction pairs. When choosing such materials, powder materials are considered more effective. The most common and least expensive group of powder materials are iron-based powder materials. Iron-graphites are most widely used in industry. The choice of the charge composition is of great importance for obtaining the working part of a bimetallic friction pair. Information is provided on their physical and mechanical properties in comparison with cast iron, as well as data on the friction factor and wear during dry friction. The dependence of the wear rate of antifriction materials of bimetallic bearings on various factors is substantiated.*

Аннотация. *В статье рассматривается выбор антифрикционного материала в биметаллических парах трения. При выборе таких материалов более эффективными считаются порошковые материалы. Наиболее распространенной и наименее дорогой группой антифрикционных материалов являются порошковые материалы на основе железа. Наиболее широко в промышленности из них используются железографиты. Для получения рабочей части биметаллической пары трения большое значение имеет выбор состава шихты. Приведены сведения об их физико-механических свойствах по сравнении с чугуном, а также данные о коэффициенте трения и износе при сухом трении. Обоснована зависимость интенсивности изнашивания антифрикционных материалов биметаллических подшипников от различных факторов.*

Açar sözlər: *sürtünmə cütü, antifriksion materiallar, sürtünmə əmsalı, yeyilmə, amillər*
Key words: *friction pair, antifriction materials, friction factor, wear, rationale*
Ключевые слова: *пары трения, антифрикционные материалы, коэффициент трения, износ, факторы*

Giriş. Məsaməli dəmir antifriksion materialların ən sadə növüdür. Məsamələrin yağla doldurulması tribotexniki cütün ən kiçik sürtünmə əmsalını təmin edir, metalı korroziyadan qoruyur və özünü yağlama effekti yaradır, yağ materialının kənardan verilməsinə ehtiyac qalmı [1,2].

Yüksək olmayan sürüşmə sürətlərində, sürtünmə səthində yastığın cisminin həcmində məsamələrlə yaranmış kapillyarlardan yağın daxil olunmasında yaranan yağ qatı meydana çıxır.

Sürüşmə qüvvəsi nə qədər böyükdürsə, sürtünmə səthi bir o qədər böyük dərəcədə qızır, bu halda ora yağlayıcı material bol-bol daxil olur.

Kiçik sürüşmə sürətlərində məsaməli yastıqlar tökmə yastıqlara nisbətən daha yüksək yükgötürmə qabiliyyətinə malikdirlər. Sürətləri artırdıqda tökmə yastıqlarda buraxıla bilən yüklər artır, məsaməlilərdə isə azalır. Lakin məsaməli yastıqlara kənardan yağ verilərsə, onda sürətləri artırdıqda buraxıla bilən yüklərin qiymətləri yüksəlir [2].

Yağın stabil verilməsində məsaməli dəmirin işləmə qabiliyyəti 2,0 – 2,5 MPa-dək yüklərdə və 1 – 2 m/s (PV=2,5 – 5,0 MPa·m/s) təmin olunur. Özü yağlama rejimində sürüşmə sürətini artırdıqda yükün qiyməti azalır və PV-nin qiyməti 0,7÷1,6 MPa·m/s – ni üstələyir. Belə materialın normal işində temperatur 70 – 80°C – ni üstələməməlidir [3].

Ona görədə ən geniş sərgilənən dəmir əsaslı antifriksion ovuntu materialları dəmirqrafitdir. Onu həm özünü yağlama rejimində, həmdə yağın əlavə verilməsində istifadə etmək olar. Bu amili nəzərə alaraq tədqiqatlarımızı bimetal sürtünmə qovşaqları üçün dəmirqrafit ovuntu materiallarının xassələrinin və işləmə qabiliyyətinin təhlilinə yönəldirik.

Tədqiqatların müzakirəsi. Dəmirqrafit, dəmir əsaslı ən geniş sərgilənən antifriksion ovuntu materialıdır. Onu həm öz-özünü yağlama rejimində və həm də yağın əlavə verilməsində istifadə edirlər. Bu materialın strukturu adətən ferrit-perlitdən (ferrit – 50%-dən az olmaqla) ibarət olur [4,5].

Lakin dəmirqrafitə alternativ olaraq dəmir-mis-qrafitlər də geniş tətbiq olunur. Onların mexaniki və antifriksion xassələri dəmirqrafitə nisbətən daha yüksək olur. Ona görə də bimetal cütlərdə antifriksion ovuntu materialı kimi aşağıdakı dörd tərkibdə şixtə materialı təklif edirik (cədvəl 1).

Cədvəl 1

Dəmir əsaslı antifriksion işçi hissənin alınması üçün şixtələrin tərkibi

Şixtələrin adları	Materialın əsası	Daxil edilən əlavələr			
		Karbon	Mis	Kükürd	Xrom
Tərkib 1	ПЖ2М	1,5	3,0	0,45	1,1
Tərkib 2	ПЖ2М	1,5	2,7	0,5	1,2
Tərkib 3	ППЛ – 18ХСНD	1,5	2,8	0,55	1,0
Tərkib 4	ППЛ - РПХ	1,5	1,5	0,52	0,9

Legirləyici elementlərin ən böyük miqdarı №3 tərkibli (7,0 %) və minimal miqdar isə №4 tərkibli (4,70%) materialda alınmışdır. Bişirilmiş materialların strukturu xırdadənəli perlitdən, ferritdən (4 – 28%), dağınıq sementit torundan, az miqdarda qrafitdən, bərk karbid ünsürlərindən, struktur sərbəst misdən və oksidlərdən ibarətdir.

Bişirilmiş materiallarda perlitin mikrobərkliyi 1800 – 3200 MPa, ferritin 800-dən 1400 MPa-dək, karbid ünsürlərininki isə 7000 – 13000 MPa təşkil edir [6, 8].

Struktur təşkiledicilərinin faza analizilə müəyyən olunmuşdur ki, bişirilmiş materiallarda karbidlər legirli sementiti özündə əks etdirir. Xromun böyük hissəsi (90%-ə yaxın) karbid şəklində, qalanı isə oksidlər və bərk məhlulda olur.

Materiallarda oksidlərin ümumi miqdarı 3,4%-i üstələmir. Bişirilmiş materiallarda nikel həll olmuş vəziyyətdə, mis isə həm sərbəst vəziyyətdə (0,3 – 0,6%) həm də bərk məhlullar və sulfidlər şəklində olur. Kükürd dəmirlə və mislə birləşmələr yaradır.

Tədqiqatlarımızda tərpənməz matrissada ikitərəfli soyuq presləmə pəstahlarda təpədən mərkəzə doğru (10% hədlərində dəyişən) simmetrik fiziki-mexaniki xarakteristikaların alınmasını təmin etmişdir.

Təbii – legirlənmiş ovuntular əsasında materiallarda fiziki-mexaniki xassələr (dartılmada, əyilmədə, kəsilmədə möhkəmlik həddi və bərklik) 15 – 20% legirlənməmiş materiallara nisbətən yüksək olmuşdur (cədvəl 2). Standart ПЖ2М ovuntusu əsasında materialların kontrcisimlə uyuşması

8 saat ərzində baş vermişdir ki, bu, 30 – 50% tökmə ilə modifikasiya olunmuş çuqundan davamiyyətlidir. №4–li tərkibli materialda tutuşmayadək xüsusi təzyiq 1600-dən 1700 H/mm^2, sürtünmə əmsalı isə – 0,028 təşkil etmişdir. №4 – li tərkibli materialda yeyilmənin minimal kəmiyyəti 300 N/mm^2-da və 1,5 m/s sürüşmə sürətində 0,02 – 0.03 mkm/saat olmuşdur. Bu 2,8 – 3,0 dəfə çuqunun və 1,2 – 1,4 dəfə isə ПЖ2М ovuntusu əsasında materialların yeyilmə intensivliyindən aşağıdır. Verilən materialların 400°C–də 20 H/mm^2 yükdə və 1,0 m/s sürüşmə sürətində aparılmış laboratoriya tədqiqatları tətbiq etdiyimiz çuqunlarla müqayisədə 1,9 – 2,0 dəfə aşağı yeyilmə göstərmişdir (cədvəl 3).

Cədvəl 2

Bişirilmiş materiallar və çuqunun fiziki – mexaniki xassələri

Materialların adları	Dartılmada möhkəmlik həddi, σ_d , MPa	Sıxılmada möhkəmlik həddi, σ_s , MPa	Əyilmədə möhkəmlik həddi, $\sigma_{əy}$, MPa	Zərbə özlülüyü, a_n, kqm/mm^2	Orta bərklik, HB
Tərkib № 1	332	961	452	73,5	88
Tərkib № 2	363	1148	585	75,5	87
Tərkib № 3	362	1193	542	78,5	92
Tərkib № 4	401	1352	675	88,5	94

Cədvəl 3

Bişirilmiş materialların və çuqunun quru sürtünmədə laboratoriya sınaqlarının nəticələri

Materialların adları	Materialın əsası	15 saat ərzində yeyilmə, mkm	Çuqunun yeyilməsinə nisbətdə yeyilmə, %	Sürtünmə əmsalı	Sürtünmə qovşağında temperatur
Tərkib № 1	ПЖ2М	106,5	66,5	0,30	300
Tərkib № 2	ПЖ2М	119,7	74,6	0,37	300
Tərkib № 3	ППЛ – 18ХСНD	93,4	58,3	0,26	300
Tərkib № 4	ППЛ - РПХ	82,8	51,6	0,22	300

Quru sürtünmədə 20 N/mm^2 – da, 1 m/s sürüşmə sürətində və 300°C sınaq temperaturunda quru sürtünmədə bişirilmiş materialların və çuqunun laboratoriya sınaqlarının tədqiqinin nəticələri göstərir ki, təbii – legirlənmiş ППЛ – РПХ ovuntusu əsasında olan №4 tərkibli materiallar 15 saat ərzində işdə 76,8–dan 82,1 mkm–dək yeyilməyə, çuqundan olan materiallar isə 162-dən 166 mkm–dək yeyilməyə malik olmuşdur [9,10].

Bu tədqiqatların davamı kimi azlegirlənmiş dəmirçuqun materialın alınma prosesi tədqiq olunmuşdur. Tərkibində 10% və 50%-dək çuqun ovuntusu və uyğun olaraq 90% və 50% dəmir ovuntusu olan şixtələr hazırlanmışdır. Şixtələrin xassələrinə çuqun ovuntusunun təsirinin tədqiqi göstərir ki, çuqun ovuntusunu tərkibdə artırdıqda şixtələrin axıcılığı yaxşılaşır, onların səpilmə sıxlığı yüksəldir. Tərkibində 30 – 40% çuqun ovuntusu olan prespəstahların 700 MPa presləmə təzyiqində sıxlaşma qabiliyyəti kifayət qədər yüksəkdir və 6,40–dan 6,5 q/sm^3–dək təşkil edir. Çuqun ovuntusunun səpilmə sıxlığını artırdıqca şixtələrin sıxlaşma qabiliyyəti yüksəlir. Bu, soyuq presləmə metodu ilə kifayət qədər sıx prespəstahlar almağa imkan verir [11,12].

Prespəstahların bişirilmə prosesini 1150 - 1250°C temperaturlar intervalında və bu temperaturda 1,0 saat izotermiki saxlama şəraitində aparılmışdır.

Bişirmə 750-800°C temperaturda dəmir matrissanın yaranmasından başlayır. Prespəstahların 900°C–dək qızdırılmasından sonra çuqun hissəciklərin ətrafında perlitin sahələri yaranır, onun miqdarı əsasən 6,0 dəq ərzində artır, bu karbonun əsasən bişirmənin başlanğıcında diffuziyasına dəlalət edir. Xromnikel ovuntusunun hissəciklərinin əhəmiyyətli həll olması 1150°C–dən yuxarıda başlayır. 1200°C–də diametri 75 mkm–dək olan hissəciklər 40 dəq bişirmədən sonra həll olurlar, 100 mkm ölçüdən böyük olan hissəciklər isə həll olmurlar. Buradan belə nəticə çıxır ki, polidispers

tərkibli ovuntu istifadə etdikdə fraksiyalar bişirmədə həll olaraq dəmir matrissanın bərabər legirlənməsinə kömək edir, iri hissəciklərin natamam həll olması isə heterogen mikrostrukturlu materiallar almağa imkan verir.

Bimetal səthlərin yaradılmasında dəmirqrafit və dəmirmisqrafit ovuntu materiallarının fiziki – mexaniki, texnoloji və istismar xarakteristikalarının əhəmiyyətli yaxşılaşdırılmasına kükürd və metalların sulfidləri ilə əlavə legirləməklə nail oluna bilər (cədvəl 4). Kükürdün tərkibə əlavə olunması sürüşmə sürətini artırdıqda yastıqların yükgötürmə qabiliyyətini artırır. Çuqun oymaqların əvəzinə Fe-Cu-C-S tipli kompozisiyaların tətbiqi onların xidmət müddətini 10 dəfələrlə artırmağa və mövsümdə bir dəfəyədək sürtünmə yastıqlarının yağlanmasını məhdudlaşdırmağa imkan verir [13 – 14].

Cədvəl 4

Sulfidləşdirilmiş dəmirqrafit materialların xarakteristikası

Material	Elementlərin miqdarı ,%				Yoxlama şəraiti	Buraxıla bilən həddi	
	C	S	P	Cu		P, MPa	V, m/s
1	1	0,8-1,0	0	0	Məhdud yağlama	4,9-24,5	2,4
2	1,5	0,4-0,8	0	2,5-3,0	Həmçinin	4,9-7,85	2,8
3	1,3-2,0	0,4	0	3,0-10	Həmçinin	14,7-18,6	0,1
4	1,5	0,7-0,1	0,5-0,7	0	Məhdud (M=18-20%) Yağsız (M=0%)	14	-

Material №1 traktorlar oymaqlarında, sürətlər qutusunun dişli çarxlarında, tənzimləyicinin disk və qapağında, yağlama mexanizmlərinin dişli çarxlarında tuncların əvəzləyicisi kimi tətbiq olunur.

Material №2 avtomobillərin istiqamətləndirici oymağında klapanın, dəmiryol vaqonlarının riçaq-tormoz ötürücüsünün oymaqlarında, toxuculuq istehsalatının avadanlığının oymaqlarında, transporterlərin oymaqlarında, yemvericilərində və s. 200°C-də tətbiq olunur.

Material №3 bucurğadların və yük avtomobillərinin qapı ilgəhlərinin diyircəklərində, kingpinlərin yuyucularında və dönən yumruqların menteşələrində, artırılmış temperaturlarda (500°C–dək) atomobillərin klapanlarının istiqamətləndirici oymaqlarında istifadə edilir.

Material №4 – dən isə torna – vintkəsici dəzgahların detallarını hazırlayırlar.

Sink sulfidi ilə legirlədikdə materialın artırılmış yeyilməyə dözümlülüyü, yükdaşıyıma qabiliyyəti və uyuşma qabiliyyəti ilə incə dispers perlitin strukturu yaranır. Bu həm yağlayıcı materiallarla həm də əlavə yağlayıcısız şəraitdə artırılmış həddi parametrlərə nail olmaqla əlaqədar dəmirqrafit materialların tətbiq sahəsini xeyli genişləndirməyə imkan verir. Belə materiallara 1%-dək qalayın əlavə olunması onların antifriksion xassələrini əhəmiyyətli artırır.

Dəmir əsaslı sulfidləşdirilmiş materiallarla təchiz olunmuş sürtünmə qovşaqları tunc, babbit, habelə tunc əsasında ovuntu materiallarının işləmə qabiliyyətini bir neçə dəfə üstələyən işləmə qabiliyyətinə malik olurlar.

Nəzərə almaq lazımdır ki, tərkibində sulfidlər olan ovuntu materialları dəmirqrafitlə müqayisədə artırılmış istidən genişlənmə əmsalına, bir qədər aşağı korroziyaya dözümlülüyə malik olurlar. Bu amilə əsasən qeyd etmək olar ki, dəmirqrafit materialların bimetal qovşaqlarda istifadəsi perspektivlidir. Lakin müxtəlif legirləyici elementlərdən istifadə etməklə onların işçi qabiliyyətini daha da yüksəltmək olar [14,16].

Nəticə. Aparılmış elmi-texnoloji təhlil göstərir ki, bimetal sürtünmə cütlərində dəmirqrafit əsaslı ovuntu materialların istifadəsi perspektivlidir. Lakin bu materialların işçi qabiliyyətini artırmaq üçün müxtəlif yanaşmalar, o cümlədən legirli dəmir ovuntularının istifadəsini, kükürdlə, fosforla və s. elementlərlə əlavə legirləmə texnologiyasını təklif etməklə tədqiqatları davam etdirmək olar.

Bu iş Azərbaycan Elm Fondunun maliyyə dəstəyi ilə yerinə yetirilmişdir – Qrant № AEF-MCG-2023-1(43)-13/01/1-M-01

Ədəbiyyat

1. Пасовец В.Н., Ковтун Б.А. Сравнительный анализ триботехнических и физико-механических характеристик антифрикционных порошковых самосмазывающихся композиционных материалов // Вестник ГГТУ им. П.О. Сухого, №4, 2022, с-33-41
2. Мамедов А.Т. Конструкционные и антифрикционные порошковые материалы. – Баку, Элм, 2006, 458с.
3. Chung, D.D.L. Composite materials / D.D.L. Chung. – Berlin : Springer, 2010. – 368p.
4. Hutchings, I. Tribology: friction and wear of engineering materials / I. Hutchings, Ph. Shipway. – Oxford : Butterworth – Heinemann, 2017. – 412 p.
5. Kostornov, A.G. Sintered antifriction materials / A.G. Kostornov, O.I. Fushchich // Powder metallurgy and metal ceramics. – 2007. – Vol. 46, N9. – P. 503-512. https://doi.org/10.1007/s11106-007-0078-5
6. Metallurgical aspects of self-lubricating composites containing graphite and MoS_2 / K.P. Furlan [et al.] // Journal of materials engineering
7. Tribotechnical characteristics of superhard boron nitride materials in contact with hard alloys / Yu. V. Naidich [et al.] // Powder metallurgy and metal ceramics. - 2011. - Vol. 50, N 5/6. – P.331-342. https://doi.org/10.1007/s11106-011-9336-7
8. Lightweight composite materials for automotive - a review / M. Patel [et al.] // Interna-tional research journal of engineering and technology. – 2018. – Vol. 5, N 11. – P. 41-47.
9. Mansoor, M. Carbon nanotube-reinforced aluminum composite produced by induction melting / M. Mansoor, M. Shahid // Journal of applied research and technology. JART. - 2016. - Vol. 14, N 4. – P. 215-224. https://doi.org/10.1016/j.jart.2016.05.002
10. Highly wear-resistant composites based on copper powder mixture with onion carbon nanostructures for self-lubricating friction units / V. A. Kovtun [et al.] // Journal of friction and wear. – 2010. – Vol. 31, N 2. – P. 128– 132.
11. Pleskachevsky, Y.M. Tribological coatings formed by electrocontact sintering of powder systems / Y. M. Pleskachevsky, V. A. Kovtun, Y. E. Kirpichenko // Wear. – 1997. – Vol. 203–204. – P. 679-684. https://doi.org/10.1016/S0043-1648(96)07433-9
12. Research of the interaction energy of carbon nanotubes in the agglomeration process / V. Kovtun [et al.] // International journal "NDT Days". -2020. – Vol. 3, iss. 2. – P. 72-79.
13. Modeling and investigation of influence of the formation regimes of wear-resistant nano-filled metal-polymer composites on a stress state of areas contact interaction of structural components / V. Kovtun [et al.] // International journal "NDT Days". 2018.Vol. 1, iss. 3.-P. 322-329.
14. Microstructure and properties of copper-graphite composites fabricated by spark plasma sintering based on two-step mixing / J. Liu [et al] // Metals.-2020. – Vol. 10, N 11.-P. 1506-1519. https://doi.org/10.3390/met10111506
15. Dyachkova, L. N. Structure and properties of composite powder copper-based materials / L. N. Dyachkova // Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus. - 2020. - Vol. 64, № 4.-P. 488-494. https://doi.org/10.29235/1561-8323-2020-64-4-488-494
16. Effect of CaF_2, surface layers on the friction behavior of copper-based composite / K. Konopka [et al.] // Powder metallurgy and metal ceramics. - 2012. - Vol. 51 N 5/6. - P. 363-367. https://doi.org/10.1007/s11106-012-9441-2

Məqalə qəbul olunub: 16.04.25
Tövsiyə edib: dos. Xankişiyev İ.A.

UOT 621.941.01

RPİ DƏZGAHLARINDA HİSSƏLƏRİN SƏMƏRƏLİ EMAL YOLLARININ ARAŞDIRILMASI

[1]Yusubov N.D., [1]Məmmədov Ə.S., [2]Xankişiyev İ.A., [1]Abbasova H.M., [1]Dadaşov R.Y., [1]Hüseynov Y.E.

[1]Azərbaycan Texniki Universiteti
AZ1073, Bakı şəh., H. Cavid pr., 25
[2]Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası" PHŞ
AZ1000, Bakı şəh., Z.Əliyeva küç, 18
E-mail: nizami.yusubov@aztu.edu.az, arastun.mammadov@aztu.edu.az, isaq.xankishiyev@asco.az, abbasova.heyran@aztu.edu.az, dadashov@aztu.edu.az, yusif.huseynov@aztu.edu.az

Xülasə. *Məqalədə rəqəmli proqramla idarəolunan (RPİ) çoxəməliyyatlı dəzgahlarda hissələrin səmərəli emal üsulları araşdırılmışdır. Emal sxemlərinin təhlili, kəsmə vaxtının tərkib hissələri və emal olunan hissələrin elementar səthlərinin formalaşması zamanı alətin hərəkət trayektoriyasının planlaşdırılması əsasında, tsiklin qısaldılması və məhsuldarlığın artırılması üzrə optimallaşdırma strategiyaları təqdim olunmuşdur. Alətin hərəkət strukturu, seçimi və köməkçi hərəkətlərin əsas proseslərlə sinxronlaşdırılmasının ümumi səmərəliliyə təsiri qiymətləndirilmişdir. Müasir istehsalda texnoloji hazırlığın təkmilləşdirilməsi üçün adaptiv idarəetmə və çoxalətli emal üsulları tövsiyə edilmişdir.*

Abstract. *The article investigates efficient machining methods for parts on multi-operation CNC (Computer Numerical Control) machines. Based on the analysis of machining schemes, the components of cutting time, and the planning of the tool movement trajectory during the formation of elemental surfaces of the machined parts, optimization strategies for cycle time reduction and productivity enhancement are proposed. The impact of the tool movement structure, its selection, and the synchronization of auxiliary motions with main processes on overall efficiency is evaluated. Adaptive control and multi-tool machining methods are recommended to improve technological preparation in modern manufacturing.*

Аннотация. *В статье исследованы эффективные методы обработки деталей на многооперационных станках с числовым программным управлением (ЧПУ). На основе анализа схем обработки, составных частей времени резания и планирования траектории движения инструмента при формировании элементарных поверхностей обрабатываемых деталей предложены стратегии оптимизации по сокращению цикла и повышению производительности. Оценено влияние структуры движения инструмента, его выбора и синхронизации вспомогательных движений с основными процессами на общую эффективность. Для совершенствования технологической подготовки в современных производствах рекомендо-ваны адаптивное управление и многоинструментальные методы обработки.*

Açar sözlər: *RPİ dəzgahları, çoxəməliyyatlı dəzgahlarda emal, texnoloji optimallaşdırma, emal sxemləri, alət trayektoriyası və keçidlərin planlaşdırılması*

Key words: *CNC machines, machining on multi-operation machines, technological optimization, machining schemes, tool trajectory and transition planning*

Ключевые слова: *станки с ЧПУ, обработка на многооперационных станках технологическая оптимизация, схемы обработки, траектория инструмента и планирование переходов*

Giriş. Müasir bazar münasibətlərində müxtəlif sənaye sahələrində əmək məhsuldarlığının artırılması məsələlərinin həlli, istehsalın mexaniki emal prosesləri ilə sıx bağlıdır. Burada metalkəsən dəzgahlar texnoloji avadanlığın əsas növü hesab edilir.

Müasir maşınqayırmanın ən mühüm məsələlərindən biri maşın hissələrinin mexaniki emalının səmərəliliyinin artırılmasıdır. Bu məsələnin həllinə hissələrin səth qatının verilmiş keyfiyyət səviyyəsində ən yüksək emal məhsuldarlığına nail olmaq da daxildir [1, 5].

Rəqabət qabiliyyətinin artırılması məqsədilə bir çox müəssisələr qarşılarına istehsal olunan məhsulların keyfiyyətinin və buraxılış həcminin artırılması ilə bağlı yeni tələblər qoyurlar. Bu isə, öz növbəsində, əsas istehsal fondlarının köklü şəkildə yenilənməsini və yüksək məhsuldarlıqlı, RPİ çoxəməliyyatlı dəzgahlarda yeni texnologiyaların mənimsənilməsini zəruri edir.

Əsasən seriyalı istehsal şəraitində fəaliyyət göstərən müasir maşınqayırma sənayesi üçün çoxfunksiyalı RPİ dəzgahlarının geniş tətbiqi xarakterikdir. Belə ki, RPİ dəzgahlarında müxtəlif növ və materialdan olan pəstahları emal etmək, bir neçə əməliyyatları bir dəzgahda cəmləşdirmək mümkündür.

RPİ çoxəməliyyatlı dəzgahların tədqiqi. RPİ çoxəməliyyatlı dəzgahlarının əsas fərqləndirici cəhəti, müxtəlif təyinatlı işlərin görülməsi üçün emal prosesinin yüksək məhsuldarlıqlı və dəqiq yerinə yetilməsi şərti ilə hissələrin kompleks emalının mümkünlüyünü təmin edən, onların texnoloji imkanlarını artıran alət mağazasının, alətin avtomatik dəyişdirilməsi və onun vəziyyətinin diaqnostikası sistemlərinin olmasıdır.

RPİ çoxəməliyyatlı dəzgahlar əmək məhsuldarlığının daha da artırılması, avadanlıqların istifadə əmsalının artırılması, bir hissənin emalından digərinə keçid zamanı sazlamanın sadəliyi, çoxdəzgaha xidmət edilməsi imkanı, operator səhvlərinin emal keyfiyyətinə təsirinin aradan qaldırılması, nəzarət əməliyyatlarının həcminin azalması, işçilərin ixtisas tələbinin azalması və s. kimi bir sıra əhəmiyyətli xüsusiyyətlərə də malikdirlər.

Çoxəməliyyatlı dəzgahlar istənilən hissələri istehsal etmək üçün uyğun olsa da, baha olduğuna görə sadə hissələrin istehsalında onların rentabelliyini aşağı salır. Hissə nə qədər mürəkkəbdirsə və texnoloji proses nə qədər çox keçid və əməliyyat tələb edirsə, çoxəməliyyatlı dəzgahların tətbiqi bir o qədər səmərəli olur.

Məlum olduğu kimi, metalkəsən RPİ dəzgahlar parkında torna dəzgahları – 29,2%, pardaqlama və cilalama dəzgahları – 15,8%, frez dəzgahları – 13,2%, diş emalı dəzgahları – 7,2% paya malikdirlər. Bununla yanaşı, çoxfunksiyalı dəzgahlarda emal olunan tipik hissələri isə aşağıdakı kimi bölmək olar: mürəkkəb gövdə tipli hamar vallar – 36%, pilləli vallar – 42%, oymaq tipli detallar – 22% [2-6].

İqtisadi cəhətdən RPİ dəzgahlarının tətbiqi, yalnız universal dəzgahlarda emalı mümkün olmayan mürəkkəb gövdə hissələrinin emalı zamanı deyil, eləcə də xətti və diametral dəqiqliyi IT8-IT10 [7] və səthinin kələ-kötürlüyü Rz 5-dən 20 mkm-dək [8-10] olan valların emalı üçün məqsədəuyğundur. RPİ çoxəməliyyatlı dəzgahlarda emalın iqtisadi səmərəliliyinin artırılması, ilk növbədə, əməliyyatların maksimum konsentrasiyası ilə əldə olunur.

Aparılmış araşdırmalar göstərir ki, texnoloqlar tərəfindən təklif olunan üsullar məmulların tələb olunan keyfiyyət göstəricilərini təmin etmək üçün əhəmiyyətli xərclər tələb edir [3]. Sorğuda iştirak edən mütəxəssislər arasında problemin həlli variantları aşağıdakı kimi bölüşdürülüb:

- ❖ emal rejimi parametrlərinin azaldılması – 34%;
- ❖ avtomatik idarəetmə sistemlərinin və xüsusi təchizat vasitələrinin tətbiqi – 27%;
- ❖ texnoloji sistemin sərtliyinin artırılması – 26%;
- ❖ variantların kombinasiyası – 13%.

Avadanlıqların yüksək maya dəyəri çoxəməliyyatlı RPİ dəzgahlarına, hissələrin elementar səthlərinin formalaşdırılması zamanı material çıxarılmadan, minimum emal vaxtını təmin edən, istehsalın əsaslandırılmış və yüksək effektiv texnoloji hazırlığının həyata keçirilməsi kimi müəyyən tələblər irəli sürür.

Elementar səthin formalaşdırılması zamanı ədədi vaxt (*Təd*), üç tərkib hissənin - əməliyyat vaxtı ($T_{əm}$), iş yerinə xidmət vaxtı (T_{xid}) və əlavə vaxtın ($T_{əl}$) cəmi kimi təyin edilir:

$$T_{əd} = T_{əm} + T_{xid} + T_{əl} \ . \quad (1)$$

Burada əməliyyat vaxtı ($T_{əm}$), əsas ($T_{əs}$) və köməkçi ($T_{köm}$) texnoloji vaxtların cəmini təşkil edir. Köməkçi vaxt isə ($T_{iş.ged.}$) və ($T_{boş.ged.}$) olmaqla iki tərkib hissədən ibarətdir:

$$T_{əm} = T_{əs} + T_{köm} = T_{əs} + T_{iş.ged.} + T_{boş.ged.} \ , \quad (2)$$

burada $T_{iş.ged.}$ – alətin işçi veriş rejimində boş gedişləri üçün sərf olunan vaxtdır (giriş, çıxış, alətin növbəti keçid üçün geri çəkilməsi məsafəsi);

$T_{boş.ged.}$ – dəzgahın sürətli veriş rejimində alətin boş gedişlərinə sərf olunan vaxtdır (alətin dəyişmə nöqtəsindən emal səthinə yaxınlaşdırılması və dəyişmə nöqtəsinə geri qayıtması).

Təqdim olunan tənliklərin komponentlərinin analizi göstərir ki, ədədi vaxtı ($T_{əd}$) əsasən əməliyyat vaxtını ($T_{əm}$) azaltmaqla qısaltmaq mümkündür, çünki ədədi vaxtın digər tərkib hissələrinin payı əhəmiyyətli dərəcədə azdır.

Əməliyyat vaxtını ($T_{əm}$) isə iki üsulla azaltmaq mümkündür:

1. Əsas texnoloji vaxtın ($T_{əs}$) qısaldılması;
2. Əməliyyatlardakı keçidlərin vaxt baxımından tam və ya qismən üst-üstə düşməsinin təmin edilməsi ilə.

Əsas texnoloji vaxtın ($T_{əs}$) azaldılması, onun hesablandığı tənliyin komponentləri əsasında mümkündür [10]:

$$T_{əs} = \frac{(l_{gir}+l_d+l_{çıx})\cdot i}{n\cdot S} \quad (3)$$

burada l_{gir} – alətin giriş uzunluğu;

l_d – pəstahın səthində emal uzunluğu;

$l_{çıx}$ – alətin çıxış uzunluğu;

n- şpindelin dövrlər sayı;

S –işçi veriş;

i – işçi gedişlərin sayıdır.

Əsas texnoloji vaxtın ($T_{əs}$) azaldılmasının **birinci yolu** – S işçi veriş rejimində alətin giriş və çıxış uzunluqlarının (uyğun olaraq l_{gir} və $l_{çıx}$) qısaldılması hesabına alətin hərəkət yolunun azaldılmasıdır. Buna, kəsici alətin dəqiq mövqeləndirilməsini təmin etməyə imkan verən, düzgün avtomatlaşdırılmış idarəetmə proqramını tətbiq etməklə nail olmaq olar.

İşçi keçidlərin sayının (i) azaldılması məqsədilə tətbiq olunan **ikinci yanaşma**, müasir RPİ dəzgahlarının yüksək sərtliyə malik texnoloji sistemlərinin imkanlarından istifadəni nəzərdə tutur. Bu sərtlik, "güclü kəsmə" kimi tanınan intensiv kəsmə rejimlərinin tətbiqinə şərait yaradır. Sözügedən rejimlər, kəsmə prosesində yükün (qüvvənin) artırılmasına baxmayaraq sistemdə deformasiya (yerdəyişmə) və vibrasiyaların minimallaşdırılmasına imkan verir. Bu yanaşma, həmçinin minimal emal ehtiyatına malik olan pəstahların istifadəsini mümkün edərək texnoloji prosesin ümumi effektivliyinin yüksəldilməsinə xidmət edir:

$$T_{iş.ged.} = \frac{(L_{gir}+L_{çıx}+L_{geç})\cdot i}{n\cdot S} \ , \quad (4)$$

burada L_{gir} – alətin giriş uzunluğu;

$L_{çıx}$ – alətin çıxış uzunluğu;

$L_{geç}$ – alətin növbəti keçid üçün geri çəkilməsi məsafəsidir.

Alətin dəzgahın sürətləndirilmiş veriş rejimində yerini dəyişmə (yerdəyişmə) vaxtı aşağıdakı tənliklə müəyyən edilir:

$$T_{boş.ged.} = \frac{L_y}{S_y}. \quad (5)$$

burada: L_y – alətin sürətləndirilmiş yerdəyişmələrinin (yerinə dəyişmələrinin) uzunluğu;

S_y – alətin sürətləndirilmiş yerdəyişmələrinin (yerinə dəyişmələrinin) sürətidir.

Alətin sürətləndirilmiş hərəkətlərinin (yerdəyişmələrinin) sürəti, dəzgahın konstruktiv imkanları ilə müəyyən olunur və adətən pasport məlumatlarında göstərilir. Texnoloji proses zamanı alətin sürətləndirilmiş yerini dəyişmə sürəti (və ya boş keçid sürəti) dəzgahın maksimal dinamik imkanlarına uyğun seçilir və hesablama zamanı sabit parametr kimi qəbul olunur.

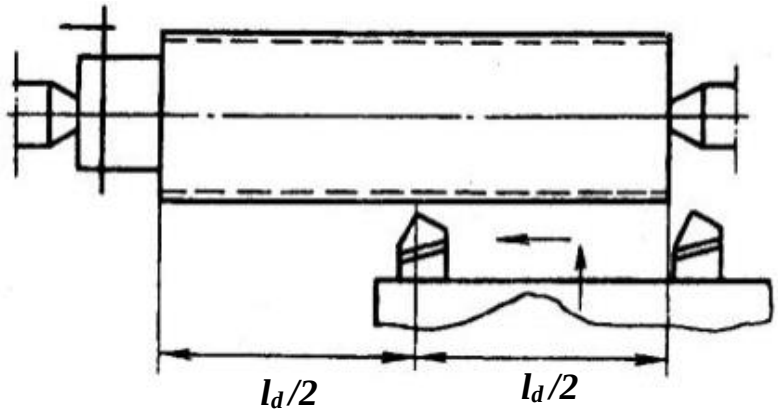
Hesablanmış əməliyyat vaxtı ($T_{əm}$) tənliyinin strukturunun analizi göstərir ki, əsas vaxt ($T_{əs}$), optimal kəsmə rejimi parametrlərinin (n, S) düzgün seçilməsi ilə azaldıla bilər. Bu, elementar səthlərin formalaşdırılması üzrə parametrik optimallaşdırma məsələlərinə daxildir [11-14].

$T_{iş.ged.}$ və $T_{boş.ged.}$ vaxtları, kəsmə, giriş, alətin pəstahdan çıxarılması və sürətləndirilmiş yerdəyişmə uzunluqlarının, həmçinin səthlərin formalaşdırılması prosesini pozmadan, alətin bu yerdəyişmələrdəki hərəkət trayektoriyalarının dəyişdirilməsi ilə azaldıla bilər. Bu, elementar səthlərin emal tsikllərinin strukturunun təkmilləşdirilməsi məsələlərinə daxildir. Perspektiv yol, hissələrin elementar səthlərinin çoxgedişli formalaşdırılması tsiklinin optimal strukturunun qurulması ilə emalın səmərəliliyinin artırılmasıdır.

Bildiyimiz kimi, universal dəgahlarda ssas texnoloji vaxtın (əgər bu maşın vaxtıdırsa) azaldılması aşağıdakı yollarla həyata keçirilə bilər*[12]* :

- *Alət və materialın işçi veriş hərəkətindəki nisbi hərəkət yolu olan l_1, l_d, l_2-nin qısaldılması;*
- *İşçi keçidlərinin sayının (k-nın) azaldılması;*
- *Emal rejimlərinin artırılması;*
- *Əsas keçidlərin vaxt baxımından üst-üstə salınması.*

Bildiyimiz kimi, universal dəzgahlarda alətin işçi keçid yolunun qısaldılmasında ən yüksək səmərə, emal edilən pəstahın səthi boyunca uzunluğun bir neçə kəsici alət arasında paylanması ilə əldə edilir. Məsələn, valların səthinin iki alətlə emalı (şəkil 1) həmin səthin bir alətlə emal edilməsi ilə müqayisədə maşın vaxtının (T_m) təxminən iki dəfə azalmasına səbəb olur.



Şəkil 1. *Emal edilən səthin uzunluğunun iki kəsici alət arasında paylanması sxemi [12]*

Şəkil 1-də valın səthinin iki kəsici alət tərəfindən emal edildiyi göstərilmişdir. Alətlərin hər biri səthin müəyyən bir hissəsini emal edir, nəticədə işçi keçidinin ümumi uzunluğu (l_d) iki hissəyə bölünür.

Bu yanaşma maşın vaxtını (t_m) təxminən iki dəfə azaldır, çünki hər alət eyni vaxtda iş görür, beləliklə, səthin bütövlükdə bir alətlə emalı ilə müqayisədə daha sürətli tamamlanmasını təmin edir. Bu texnika məhsuldarlığı artırmaq və emal prosesinin ümumi effektivliyini yüksəltmək üçün çox faydalıdır.

Alət və pəstahın nisbi hərəkət yolunun qısaldılması, işçi veriş hərəkəti zamanı kəsici alətin giriş və çıxış uzunluqlarının azaldılması ilə də həyata keçirilə bilər. Buradan belə qənaətə gəlmək olar ki, universal dəzgahlarda istifaadə edilən alət və pəstahın işçi veriş hərəkətindəki nisbi hərəkət yolu olan alətin giriş (l_{gir}), emal uzunluğu (l_d), çıxış uzunluğunun ($l_{çıx}$) qısaldılması imkanları ənənəsini RPİ dəzgahlarında da mümkün qədər tətbiq etmək və bunun üçün lazım olan texniki məsələləri həll etmək lazımdır. Əlbəttə ki, bu zaman məsələnin həlli iqtisadi baxımdan konkret istehsal şəraitində səmərəli olmalıdır.

İşçi keçidlərin sayı (i), emal üçün nəzərdə tutulan pəstahın emal payından, dəzgahın gücündən və tələb olunan ölçü dəqiqliyindən asılıdır. İşçi keçidlərin sayını azaltmaq üçün pəstahların ölçü və formasını hazır hissənin ölçü və formasına yaxınlaşdırmaq vacibdir. Bu məqsədə nail olmaq üçün texnoloji sistemlərdə elastiki yerdəyişmələrin adaptiv idarəetmə qurğuları da kömək edə bilər.

Maşın vaxtının azaldılmasının ən effektiv yollarından biri də emal rejimlərinin artırılmasıdır. Emal rejimlərinin seçimi hissələrin tələb olunan dəqiqliyi, pəstahın səth qatının keyfiyyəti və kəsici alətin davamlılığı ilə sıx bağlıdır.

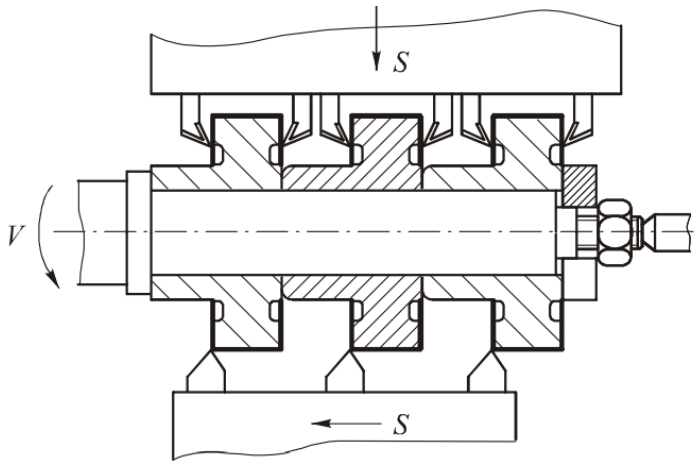
Verişin seçilməsi, emal zamanı buraxılabilən kəsmə qüvvəsi ilə məhdudlaşır. Bu qüvvə texnoloji sistemdə elastik yerdəyişmələrə və emal olunan səthin səthi qatının keyfiyyətinə təsir edir.

Kəsmə sürəti, kəsici alətin ölçü davamlılığı və kəsmə zamanı yaranan istiliyin miqdarı ilə məhdudlaşır. İstilik texnoloji sistemdə deformasiyalara səbəb olur və səthin keyfiyyətinə təsir edir.

Bu səbəbdən, emal rejimlərinin seçilməsi, tələb olunan keyfiyyətin iqtisadi cəhətdən optimal şəkildə əldə edilməsinə əsaslanmalıdır.

Emal rejimlərinin artırılması, maşın vaxtının azaldılmasında böyük ehtiyatlar yaradır. Yeni yüksək davamlılığa malik alət materialları və mükəmməl alət konstruksiyaları, dəzgahların işçi orqanlarının hərəkət sürətlərinin diapazonunun genişləndirilməsi, dəzgahların dəqiqlik üçün avtomatik idarəetmə sistemləri ilə təchiz edilməsi bu ehtiyatlardan istifadə etməyə və emal proseslərinin məhsuldarlığını artırmağa imkan yaradır.

Əsas keçidlərin vaxt baxımından üst-üstə salınması, maşın vaxtının azaldılmasında digər effektiv üsuldur. Bu yanaşmanın nümunəsi olaraq, çoxsaylı kəsici alətlərdən istifadə edən dəzgahda dişli çarx bloku üçün müxtəlif diametrlərə malik səthlərin 12 alətlə emalı göstərilə bilər (şəkil 2).



Şəkil 2. *Dişli çarx bloku üçün çoxsaylı kəsici alətlərlə emal zamanı əsas keçidlərin vaxt baxımından üst-üstə salınması [15]*

Bu halda bütün əməliyyat üçün sərf olunan maşın vaxtı, ən uzun davam edən əsas keçid üçün tələb olunan maşın vaxtına bərabər olacaqdır.

Vaxtın üst-üstə salınması texnologiyası, əsas keçidlərin eyni zamanda paralel şəkildə yerinə yetirilməsinə imkan verir. Bu isə istehsal prosesinin məhsuldarlığını artırır və ümumi maşın vaxtını əhəmiyyətli dərəcədə azaldır. RPİ dəzgahlarının resurslarının səmərəli istifadəsinə və mürəkkəb hissələrin daha sürətli və kompleks emalına nail olunur.

Köməkçi vaxtı iki yolla qısaltmaq mümkündür: Köməkçi keçidlərin icrası üçün sərf olunan vaxtın birbaşa azaldılması və köməkçi keçidlərin əsas keçidlər ilə paralel həyata keçirilməsi ilə.

Köməkçi vaxtın birbaşa qısaldılması aşağıdakı yollarla mümkündür:

- Emal edilmiş pəstahın növbəti partiyadan olan pəstahla dəyişdirilməsi üçün sərf olunan vaxtın azaldılması;
- Alətlərin boş yerdəyişdirmələri sürətinin artırılması;
- Avadanlıq və tərtibatların idarə edilməsi üçün sərf olunan vaxtın azaldılması;
- Texnoloji prosesin gedişatını nəzarət etməyə sərf olunan vaxtın azaldılması ilə.

Bəzi hissələrin yerləşdirilməsi çox vaxt ala bilər. Bu zaman xüsusi və universal tərtibatların istifadəsi iş vaxtını qısaldır. Məsələn, dayaq, lövhə, təbəqələr kimi normallaşdırılmış vasitələrdən ibarət olan tərtibatlar, hissələrin altı nöqtə qaydası ilə yerləşdirilməsini təmin edir və vaxt sərfini azaldır. Ayrıca cəld hərəkətli pnevmatik, hidravlik və elektro-mexaniki sıxma quruluşları sistemləri tərtibatlara daxil edilə bilər.

Köməkçi hərəkətlər üçün sərf olunan vaxtın azaldılması məqsədilə, müasir dəzgahların işçi orqanlarının sürətli hərəkətləri üçün mexanizmlərlə təchiz olunur və avtomatik cihazlar işə salınır, beləliklə işçi veriş hərəkətlərinə keçid daha sürətli olur.

İdarəetməni bir yerdə mərkəzləşdirərək, dəzgah və tərtibatların idarə edilməsi üçün sərf olunan vaxtı qısaltmaq mümkündür. Ağır dəzgahlarda idarəetmə panelləri ikiləşdirilir, bu da işçiyə dəzgahı müxtəlif iş yerlərindən idarə etməyə imkan verir.

Əməliyyat vaxtının azaldılması, tam və ya qismən köməkçi keçidlərin əsas keçidlərlə üst-üstə düşməsi nəticəsində mümkündür. Buna misal olaraq, frez dəzgahının fırlanan stolunun bir mövqeyində növbəti pəstahın yerləşdirilməsi və digər mövqeyində əvvəlki pəstahın emal edilməsi göstərilə bilər. Emal bitdikdən sonra stol 180° dönür, növbəti pəstah emal edilməyə başlanır və stolun boş mövqeyində əvvəlki pəstah yenisi ilə əvəz olunur.

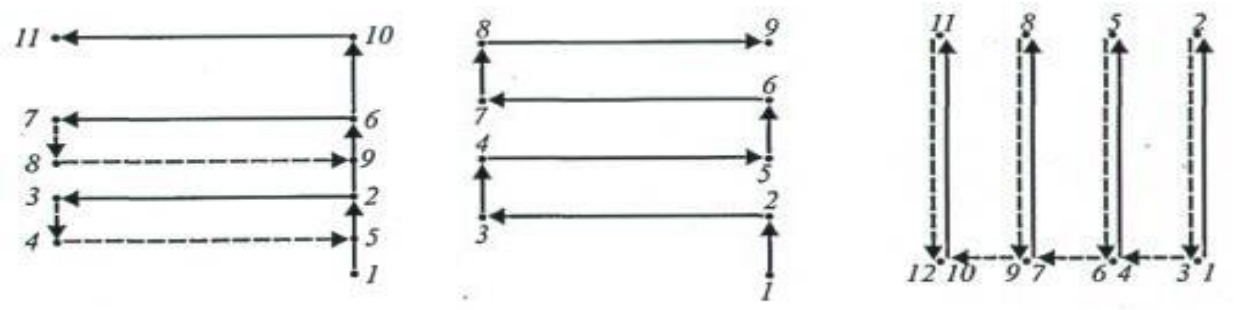
Əsas keçidlər ilə, alətin alət maqazinində dəyişdirilməsi vaxtı, pəstahın emal zamanı ölçülməsi, emal rejimlərinin dəyişdirilməsi və digər köməkçi tədbirlər üst-üstə salına bilər. Köməkçi tədbirlərin əsas keçidlərlə tam üst-üstə düşməsi halında əməliyyat vaxtı, əsas texnoloji vaxtla bərabər olur.

Bu yanaşma, əməliyyat vaxtını optimallaşdırmağa və ümumi istehsal prosesini sürətləndirməyə kömək edir.

Çoxgedişli emal tsiklinə təsir edən amillər. RPİ dəzgahı üçün idarəetmə proqramlarını hazırlayarkən, hissənin ölçü dəqiqliyi və səthlərinin müəyyən edilmiş kələ-kötürlüyünə, həmçinin kəsici alətlərin imkanlarına və pəstahın bərkidilməsi üsullarına olan tələblərdən asılı olaraq formalaşan emal zonalarına bölünür. Bir qayda olaraq, bir texnoloji keçidə uyğun gələn emal sahələri (zonaları) kobud emal və təmiz emala bölünür. Bu halda, ən böyük ümumi əmək tutumu (idarəetmə proqramının layihələndirilməsi və birbaşa dəzgahda emal) açıq, yarım açıq, qapalı ola bilən seçmə zonalarında (sahələrində) baş verir.

İstehsalın texnoloji hazırlanmasının səmərəliliyini artırmaq üçün hazırda standart dövrlər (tsikllər) hazırlanmışdır ki, onlara uyğun olaraq zonada emal payının çıxarılması müxtəlif sxemlərdən istifadə etməklə həyata keçirilə bilər.

Seçmə zonaları üçün alətin trayektoriyasını işləyərkən, alətin standart hərəkət sxemləri tövsiyə olunur (şək. 3).



a) *b)* *c)*

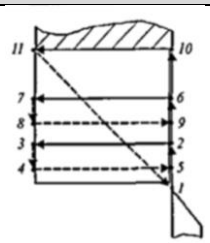
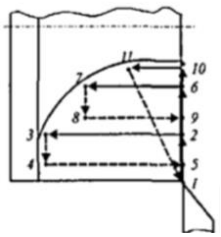
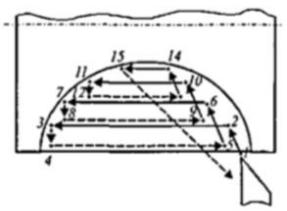
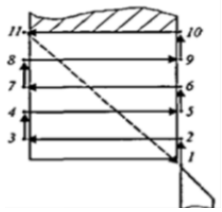
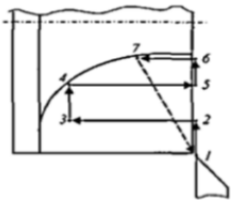
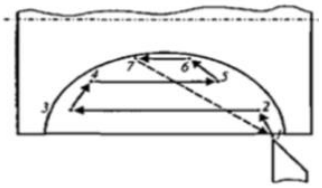
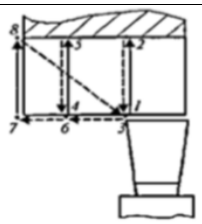
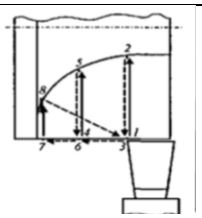
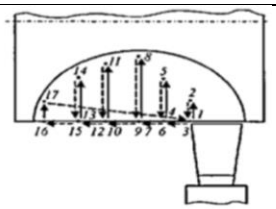
Şəkil 3. *Alətin hərəkət sxemləri: a) ilmə; b) burum (ziqzaq; c) enmə [16]*

"İlmə" sxemi pəstahı eyni istiqamətdə işləyən kəskilərlə emal edərkən, istifadə olunur. "Burum (Ziqzaq)" sxemi əsasən dərin çökəklikləri hər iki istiqamətdə "fincan tipli" kəskilərlə emal zamanı istifadə olunur. "Enmə" sxemi qanov kəskiləri ilə iş üçün təyin olunmuşdur.

Müxtəlif seçmə zonaları üçün sxemlərin həyata keçirilməsi variantları cədvəl 1-də göstərilmişdir.

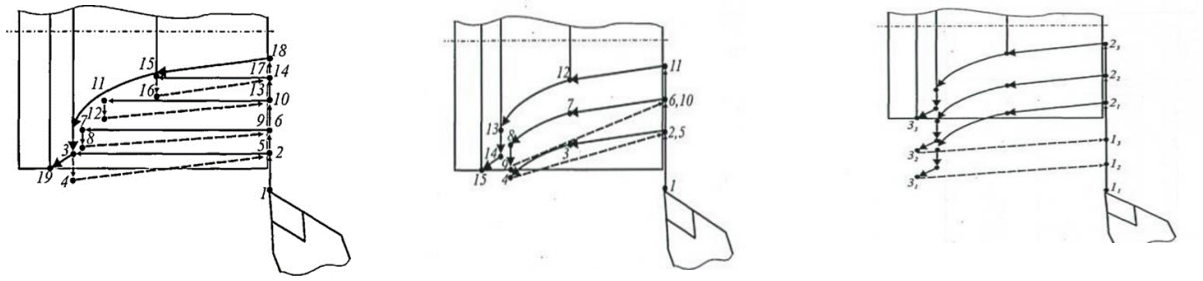
Cədvəl 1

Emal paylarının götürülməsi sxemlərinin həyata keçirilməsi [16]

Keçidlərin sxemi	Müxtəlif emal zonalarında tipik keçidlər		
	Açıq zona	Yarımaçıq zona	Bağlı zona
İlmə			
Burum (Ziqzaq)			
Enmə			

RPİ dəzgahlarında istehsal olunan hissələrin çeşidinin təhlili göstərir ki, əhəmiyyətli bir nisbəti yarı açıq sahələri olan hissələr tutur. Belə bir hissələri emal edərkən, yuxarıda müzakirə olunanlardan daha mürəkkəb alət hərəkət sxemlərindən istifadə olunur (şəkil 4).

Ekvidistant sxem (şəkil 4, b) alətin işçi gedişlərinin trayektoriyalarını pəstahın konturuna uyğun şəkildə təşkil edir. Kontur sxemi, emal edilən profilə bərabər məsafədə (ekvidistant) olan alətin işçi gedişlərini təkrarlayaraq formalaşır (şəkil 4, c). Hər bir işçi gediş, köməkçi gedişlə birlikdə müəyyən bir trayektoriya yaradır. Bu trayektoriya qapalı dövrə uyğun gəlir. Bu dövrdə başlanğıc nöqtəsi düz xətt üzrə hərəkət edərək hissənin konturuna yaxınlaşır.



a) b) c)

Şəkil 4. *RPİ dəzgahlarında istehsal olunan hissələrin emalı zamanı, alətin mürəkkəb hərəkət sxemləri [16]: a) Yarımtəmiz gediş ilə (təmizləmə) kobud emal sxemi, b) Ekvidistant (bərabər məsafəli) sxem. c) Konturun emal edilməsi sxemi*

RPİ dəzgahlarında çoxgedişli kobud və təmiz emal tsikllərinin strukturunun təhlili göstərir ki, zonanın emal sxemləri idarəetmə proqramının tərtib edilməsinin əmək tutumu, məhsuldarlıq, emal xətası ilə fərqlənir. Bu səbəbdən, emal mərhələsində RPİ dəzgahında hissənin istehsalının səmərəliliyini artırmaq üçün "təmizləmə" gedişləri tətbiq olunur. Beləliklə, çoxgedişli emal dövrü onun elementləri (emal paylarının paylanma sxemi, "təmizləmə" gedişinin mövcudluğu və ya olmaması, istifadə olunan alətin növü və emal sxemi) ilə müəyyən edilir.

Apardığımız araşdırmanın nəticəsi olaraq bu qənaətə gəlirik ki, RPİ ilə mexaniki emalda dəqiqlik, səmərəlilik və xərclərin optimallaşdırılması müasir istehsalatın əsas tələblərindəndir. Bu optimallaşdırmanın mühüm amillərindən biri də, kəsici alət vasitəsilə emal olunan hissəni formalaşdırmaq üçün izlədiyi əvvəlcədən proqramlaşdırılmış marşrut, yəni alət yolu strategiyasıdır. Alət yolu strategiyası, müxtəlif materiallar və dəzgah konfiqurasiyalarında emal proseslərini təkmilləşdirmək məqsədilə hazırlanmış metodologiyadır.

Alət yolu (alətin hərəkət trayektoriyası) strategiyası, effektiv alət hərəkətinin təmin edilməsi, emal vaxtlarının azaldılması, kəsən alətin yeyilməsinin minimuma endirilməsi və yüksək səth keyfiyyətinin əldə edilməsi kimi məqsədləri nəzərdə tutur. İnkişaf etmiş RPİ sistemlərinin və yüksək dəqiqlikli, az tullantılı istehsalata olan tələbatın artması ilə alət yolu strategiyası müasir RPİ proqramlaşdırmasının təməl daşına çevrilmişdir. Bu strategiya, istehsalın sürətini artırmaqla yanaşı, məhsulun keyfiyyətini də yüksəldir, rəqabət üstünlüyünü təmin edir.

Nəticə. Məqalədə RPİ çoxəməliyyatlı dəzgahlarda hissələrin səmərəli emal yolları araşdırılmış, emal prosesinin optimallaşdırılması üçün müxtəlif texnoloji yanaşmalar təhlil edilmişdir. Emal sxemlərinin struktur analizi və kəsici alətin hərəkət trayektoriyalarının düzgün planlaşdırılması əsasında, maşın vaxtının və köməkçi vaxtların azaldılması yolları araşdırılmışdır. Əsas texnoloji vaxtın optimallaşdırılması, emal rejimlərinin artırılması, keçidlərin paralel yerinə yetirilməsi və çoxalətli alətlərlə işləmə metodlarının tətbiqi vasitəsilə məhsuldarlığın artırılması imkanları göstərilmişdir. Həmçinin, çoxkeçidli emal tsikllərinin optimal strukturunun formalaşdırılması texnoloji hazırlığın səmərəliliyini artırmaq üçün əsas istiqamətlərdən biri kimi müəyyən edilmişdir.

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

Ədəbiyyat

1. Yusubov N.D., Bogatenkov S.A., Dadaşov R.Y., Əzizli Z.M. RPİ dəzgahlarında emal keyfiyyəti və məhsuldarlığın yüksəldilməsinin araşdırılması // ADDA-nın Elmi əsərləri, –N2, – 2023, – s. 58–66.
2. Гжиров, Р.И. Программирование обработки на станках с ЧПУ: Справочник / Р.И. Гжиров, П.П. Серебреницкий. – Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1990. – 588 с., ил.
3. N.D. Yusubov, M.K. Səmədov, H.M. Abbasova. Maşın istehsalı texnologiyasının əsasları (Maşın hissələrinin mexaniki emal texnoloji proseslərinin normalaşdırılması). Dərs vəsaiti. – Bakı: AzTU, – 2024, – 440 s.
4. Молчанов, Г.Н. Повышение эффективности обработки на станках с ЧПУ / Г.Н. Молчанов. – М.: Машиностроение, 1979. – 204 с.
5. N.D. Yusubov, F.Q. Əmirov, M.K. Səmədov, H.M. Abbasova. Maşınqayırmada texnoloji proseslərin kompyuter layihələndirilməsi (Maşınqayırmada texniki sistemlərin kompyuter idarə olunması). – Bakı: AzTU, – 2015, – 147 s.
6. Yusubov, N.D. Fundamentals of matrix theory of accuracy of multi-tool turning. (Principles and structure of the theory, design and management of multi-tool machining processes). AV Akademikerverlag Gmbh & Co. KG / LAP LAMBERT Academic Publishing, Saarbrücken, – 2013.
7. N.M.Rəsulov, Ə.S.Məmmədov, E.T. Şəbiyev, İ.Ə.Abbasova. Maşın istehsalı texnologiyasının əsasları - 2 (Mexaniki emal payı, pəstahalma). Ali texniki məktəblər üçün dərs vəsaiti. – Bakı, AzTU, – 2021, – 346s.
8. Допуски и посадки: Справочник: В 2-х ч. Ч.1 / Под ред. В.Д. Мягкова. Л.: Машиностроение, – 1978, – 544 с.
9. Точность и надёжность станков с ЧПУ / Под ред. А.С. Проникова. – М.: Машиностроение, – 982. – 256 с., ил.
10. N.D. Yusubov, İ.A. Xankişiyev, R.C. Cabbarov. Maşınqayırma texnologiyası. Dərs vəsaiti, Bakı, ADDA, – 2020, – 210 s.
11. V. Guzeev, N. Yusubov, H. Abbasova, R. Dadashov. Optimization of the number of machining stages workpieces for mechanical engineering parts. Machine science, – 2024, – N2, –pp. 4–12.
12. Якобс Г.Ю. Оптимизация резания / Г.Ю. Якобс, Э. Экоб, Д. Кохан. – М.: Машиностроение, 1981. – 279 с.
13. Yusubov, N.D. Multi - tool machining on automatic lathes (Matrix theory of multi-tool machining accuracy on modern CNC lathes). AV Akademikerverlag Gmbh & Co. KG / LAP LAMBERT Academic Publishing, Saarbrücken, – 2013.
14. N.D. Yusubov, H.M. Abbasova. Müasir RPİ çoxməqsədli dəzgahlarında çoxalətli emalın xüsusiyyətləri və problemi. /ADDA-nın Elmi Əsərləri, – N2, – 2022, – s. 33–43.
15. V.Z. Mövlazadə, H.M.Abbasova. Maşınqayırma texnoloji proseslərinin layihələndirilməsi. Ali texniki məktəblər üçün dərs vəsaiti. Bakı, AzTU, –2023, – 184 s.
16. Yusubov N.D., Məmmədov A.M. Maşınqayırma texnoloji proseslərinin layihələndirilməsi (Rəqəmli proqramla idarəolunan dəzgahlarda texnoloji əməliyyatların layihələndirilməsi). Dərs vəsaiti – Bakı: AzTU, – 2005, – 156s.

Məqalə qəbul olunub: 15.04.25
Tövsiyə edib: prof. İsmayılov N.Ş.

GƏMİÇİLİK VƏ SU NƏQLİYYATININ İSTİSMARI

UOT 656.052

FROM CLASSROOM TO CARBON-NEUTRAL AND AUTONOMOUS VESSELS: PREPARING AZERBAIJAN'S MARITIME WORKFORCE FOR NEXT-GENERATION SHIPPING

Khalilov O.E.

Texas Southern University
Houston, TX, USA
Email: okhalilov@student.tsu.edu, khalilovorkhan4@gmail.com

Xülasə. *Dənizçilik sektoru iki qlobal meqatrendin – dekarbonizasiya və avtomatlaşdırmanın təsiri ilə ciddi bir transformasiyadan keçir. Avtonom Dəniz Gəmiləri (MASS) və yaşıl texnologiyalar əməliyyat standartlarını dəyişdirir və dənizçilər, mühəndislər və sahil əsaslı personal üçün tələb olunan bacarıqları yenidən müəyyənləşdirir. Bu dəyişikliklər, rəqəmsal sistemlər, süni intellekt, ətraf mühit tələbləri və uzaqdan idarəetmə sahəsində bacarıqlı yeni bir dənizçi nəslinin hazırlanmasını tələb edir.*

Bu xülasədə Azərbaycan üçün bu dəyişikliklərə necə cavab verilə biləcəyi araşdırılır və gələcəyə hazır dənizçilik işçi qüvvəsinin formalaşdırılması yolları təklif olunur. Qlobal standartlara uyğun Dəniz Təhsili və Təlimi (MET), kursant hazırlığında süni intellekt və kibertəhlükəsizliyin inteqrasiyası, və Bakı Gəmiqayırma Zavodu kimi resursların innovasiya və bacarıq inkişafında istifadəsi vurğulanır. Təhlil beynəlxalq çərçivələrə, MASS sahəsində lider ölkələrin təcrübəsinə və qlobal işçi qüvvəsi hazırlığı müqayisələrinə əsaslanır.

Abstract. *The maritime sector is undergoing a major shift driven by two global megatrends: decarbonization and automation. Maritime Autonomous Surface Ships (MASS) and green technologies are reshaping operational standards and redefining the skills needed for seafarers, engineers, and shore-based personnel. These changes call for a new generation of maritime professionals skilled in digital systems, AI, environmental compliance, and remote operations.*

This abstract examines how Azerbaijan can respond to these changes by building a future-ready maritime workforce. It emphasizes aligning Maritime Education and Training (MET) with global standards, integrating AI and cybersecurity into cadet training, and leveraging assets like Baku Shipyard for innovation and skill development. The analysis draws on international frameworks, lessons from MASS pioneers, and global workforce readiness comparisons.

Аннотация. *Морской сектор переживает значительные преобразования под влиянием двух глобальных мегатрендов: декарбонизации и автоматизации. Автономные суда (MASS) и экологически чистые технологии меняют стандарты эксплуатации и переопределяют требования к компетенциям моряков, инженеров и берегового персонала. Эти изменения требуют появления нового поколения морских специалистов, обладающих навыками в области цифровых систем, искусственного интеллекта, экологического регулирования и удалённого управления.*

Данная аннотация рассматривает, как Азербайджан может ответить на эти вызовы, сформировав кадровый потенциал, готовый к будущему. Акцент сделан на приведении морского образования и подготовки (MET) в соответствие с международными стандартами, интеграции искусственный интеллект и кибербезопасности в подготовку курсантов, а также использовании таких активов, как Бакинский судостроительный завод, для инноваций

и развития навыков. Анализ основан на международных рамках, опыте лидеров в области MASS и глобальных сравнениях готовности рабочей силы.

***Açar sözlər**: dənizçilik işçi qüvvəsi, avtonom dəniz gəmiləri, gəmiçiliyə süni intellektin tətbiqi, dəniz təhsili, Azərbaycan, dekarbonizasiya, avtomatlaşdırma, rəqəmsal təlim*

***Key words:** maritime workforce, MASS, AI in shipping, maritime education, Azerbaijan, decarbonization, automation, digital training*

***Ключевые слова**: морская рабочая сила, автономные суда (MASS), искусственный интеллект в судоходстве, морское образование, Азербайджан, декарбонизация, автоматизация, цифровое обучение*

1. Introduction. The shipping industry faces growing pressure to transition to low-emission operations while embracing digital tools, AI systems, and autonomous technologies. Global regulatory bodies, particularly the International Maritime Organization (IMO), have introduced frameworks such as the MASS regulatory roadmap and interim guidelines to support this shift [1, 8].

For Azerbaijan, these developments highlight the urgent need to adapt its maritime workforce strategy. Future seafarers must be equipped not only with traditional navigational skills but also with the ability to operate AI-assisted systems, engage with data platforms, and interact with remote operation centers (ROCs). As vessels move toward cleaner fuels and smarter operations, workforce readiness will be essential for safety, efficiency, and international alignment

2. Historical Context of Maritime Workforce Development. The development of maritime workforce systems has historically followed technological and geopolitical shifts. In the 20th century, the primary focus of seafarer training revolved around manual navigation, engineering proficiency, and hierarchical shipboard roles. The introduction of the International Convention on Standards of Training, Certification and Watchkeeping for Seafarers (STCW) in 1978 and its 1995 and 2010 amendments sought to harmonize global standards for safety and competence.

However, these frameworks were largely reactive and have proven insufficient in the face of automation, cyber-risk, and green shipping mandates. STCW regulations still do not address core competencies related to artificial intelligence (AI), autonomous ship handling, or data-driven decision-making. As such, many MET institutions—particularly in post-Soviet regions—continue to teach curricula anchored in legacy models of seafaring.

In Azerbaijan, this legacy is particularly pronounced. Maritime training institutions emerged under Soviet doctrine, which emphasized mechanical skill mastery and command structure over innovation or cross-functional adaptability. While this has created technically proficient officers, the system remains slow to adapt to the rapidly evolving global maritime landscape. Furthermore, training infrastructures—such as simulators, assessment systems, and faculty development pathways—have not kept pace with trends in digitalization or decarbonization.

By revisiting the assumptions underlying traditional workforce development and aligning training with the realities of Maritime Autonomous Surface Ships (MASS), Azerbaijan can modernize its maritime human capital pipeline and enhance its relevance on the international stage**.**

3. The Global Push Toward Autonomous and Sustainable Shipping. Maritime nations are rapidly advancing automation and climate-focused innovation. The International Maritime Organization (IMO) introduced a four-tier MASS framework classifying ships by autonomy—from automated decision support to fully crewless vessels [1]. This structure is driving regulatory adaptation and vessel innovation globally.

Leading countries have launched strategic pilots. Norway's Yara Birkeland, the first zero-emission, fully autonomous container ship, showcases AI integration, remote control centers, and electric propulsion [4]. Japan's e5 Lab, supported by NYK Line and Mitsui O.S.K. Lines, is developing autonomous electric vessels with machine-learning navigation [1][4].

In the U.S., public-private research via the META program and Department of Defense supports crewless ship testbeds in Virginia and San Diego [10]. Singapore's Maritime Digitalization Blueprint and MASS test zone near Tuas Port facilitate live autonomous trials and port-call optimization [15].

Simultaneously, regulatory pressure is mounting to decarbonize. The IMO's revised GHG Strategy targets 70% emissions cut by 2040 (from 2008 levels), prompting adoption of alternative fuels like ammonia, hydrogen, and methanol—each with unique operational challenges [4].

These shifts demand a new skillset: digital dashboard operation, predictive maintenance, emissions compliance, and hybrid seafaring-engineering expertise.

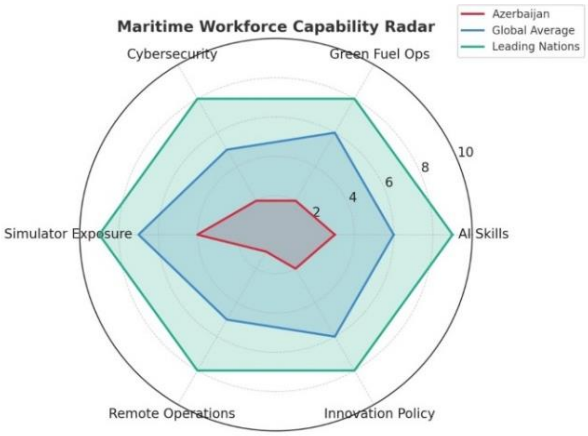
While Azerbaijan lags in MASS deployment and alternative fuel use, its Caspian Sea location and growing Baku Shipyard capabilities position it well. By adapting global trends to local needs, Azerbaijan can close workforce gaps and become a regional leader in smart, sustainable shipping.

4. Azerbaijan's Current Position. While countries like Norway, Japan, Singapore, and the U.S. are advancing autonomous vessel operations and aligning workforce strategies with digital and environmental standards, Azerbaijan remains in an exploratory phase. Its strategic location on the Caspian Sea and legacy in oil shipping and offshore engineering offer both opportunities and challenges amid maritime transformation.

Azerbaijan's main maritime training center—the Azerbaijan State Maritime Academy—still focuses on traditional navigation and engineering. Modern tools like autonomous bridge simulators, digital twins, or AI-based navigation are largely absent. Most instruction remains lecture-based, with limited exposure to remote operations or machine learning in maritime contexts.

Baku Shipyard, the country's most advanced infrastructure asset, has adopted Industry 4.0 techncv ologies such as robotic welding, predictive maintenance, and AI-enhanced design modeling [6]. However, the skills needed to support these innovations are not yet taught in MET programs, leading to a disconnect between education and industry needs. Regulatory progress is also limited. Although Azerbaijan is an IMO member with access to the MASS roadmap, its maritime authorities have not yet updated STCW standards to include digital skills, decarbonization, or ROC certification. Legal frameworks for autonomous vessel trials remain undeveloped.

Nonetheless, Azerbaijan has strong potential. A digitally inclined youth population, solid technical education institutions, and regional partnerships via TRACECA can support pilot projects and upskilling. With focused policy reform, investments in simulation and AI-based training, and tighter alignment between industry and education, Azerbaijan could position itself as a regional hub for smart and sustainable maritime innovation.



Maritime Workforce Capability Radar

The chart compares Azerbaijan's readiness with global and leading standards across six key areas. It highlights significant gaps in AI, remote operations, and cybersecurity—underscoring the need for focused workforce development

5. Skills Gap and Perception Challenges. Azerbaijan's maritime sector faces a critical skills mismatch between what future shipping demands and what current Maritime Education and Training (MET) systems provide. While not unique to Azerbaijan, this gap is especially concerning in the era of autonomous and low-emission vessels.

International surveys show over 60% of maritime cadets feel unprepared to work with AI-assisted systems, low-emission technologies, or onboard cybersecurity protocols [2][12]. In Azerbaijan, limited access to digital simulators, outdated assessment methods, and a lack of real-world MASS case studies amplify this issue. Practical training remains focused on conventional bridge and engine room operations, leaving cadets underexposed to data analytics, software-driven navigation, and alternative propulsion systems.

Faculty readiness is another challenge. Instructors often lack training in modern maritime technologies. Many are experienced in traditional methods but unfamiliar with digital twins, remote operations, and MASS behavior [5]. Without continuous professional development, even advanced equipment may go underused or misapplied.

Cultural perceptions also hinder progress. Maritime careers in Azerbaijan are still seen as physically demanding, male-dominated, and rigid. This limits recruitment from digitally native youth and underrepresents women in maritime leadership. The IMO and World Maritime University stress that diversity and inclusion are vital for a resilient workforce [13].

Employers increasingly report graduates are unprepared for hybrid roles involving remote monitoring, diagnostics, and AI. Yet these competencies are missing from most local MET curricula. Without stronger feedback loops between industry and academia, the gap will likely widen.

Ultimately, Azerbaijan's skills gap is not only technical but also structural and cultural. Closing it requires a multifaceted strategy—faculty retraining, tighter industry-academic collaboration, and a reframing of maritime careers as innovative, tech-driven, and inclusive.

6. Policy Innovation and Curriculum Reform. Azerbaijan's maritime sector stands at a pivotal moment where policy reform and curriculum modernization must converge. The current governance model—rooted in traditional STCW compliance—does not reflect the rapid shifts brought by MASS technologies and climate regulations.

Globally, policy innovations have accelerated workforce transformation. Singapore created a MASS regulatory sandbox and incorporated digital skills into its SkillsFuture roadmap. South Korea launched a Smart Maritime Education Framework that ties simulator-based learning to national R&D funding. Both conduct curriculum audits every 3–5 years to stay current with technological developments [15][16].

In contrast, Azerbaijan lacks a coordinated maritime human capital strategy. While some MET institutions are updating programs, there is no standardized, government-led framework for incorporating AI, automation, remote operations, or alternative fuels. The absence of a national accreditation system for simulation and digital training centers further limits certification in these emerging areas.

Reform should prioritize a shift from theory-heavy teaching to practice-based, competency-driven learning. MET curricula must include digital navigation, diagnostics, cybersecurity, emissions reporting, and MASS operations across all levels. Initiatives like the MT24 Consortium provide models for hybrid, simulation-based education [9].

Incentives are also key. Faculty development, industry fellowships, and joint research funding can help modernize instruction. Scholarships and tax credits can support students pursuing digital maritime careers.

Regulatory updates must include remote operator licenses, MASS simulator endorsements, and digital competency assessments aligned with IMO guidelines. These changes are crucial for maintaining international relevance.

Ultimately, policy and curriculum reform are not optional—they are essential for ensuring Azerbaijan's maritime workforce can meet the demands of next-generation shipping.

7. Recommendations. To prepare Azerbaijan's maritime workforce for carbon-neutral and autonomous shipping, coordinated action is needed across institutional, policy, and human capital domains. This paper outlines six key recommendations:

1. **Modernize MET Curricula**. MET institutions should integrate modules on:
   - MASS operations
   - AI-based decision systems
   - Onboard cybersecurity
   - Alternative fuels and emissions compliance (e.g., LNG, ammonia)
   - Environmental auditing and digital reporting

   These should be embedded across undergraduate and graduate programs and taught through case-based and simulation-driven methods, as seen in Norway and the Netherlands [16,17].
2. **Establish ROC Training and Certification**. Introduce national standards for Remote Operations Center (ROC) training in line with IMO and EMSA frameworks. Training should include simulation exercises, real-time protocols, and inter-operator communication strategies for managing autonomous and semi-autonomous vessels [18].
3. **Create a Maritime Innovation Hub**. Transform Baku Shipyard into a center for:
   - MASS system testing
   - AI and IoT application development
   - Industry-academia pilot projects

   This hub could attract international partnerships and establish Azerbaijan as a regional smart shipping R&D center.
4. **Build Global Talent Exchange Networks**. Form bilateral partnerships with top MET institutions in Singapore, Japan, the U.S., and the EU. Exchange programs should include student mobility, faculty fellowships, and collaborative research tied to real-time MASS operations and regulatory best practices [10,15].
5. **Promote Youth and Gender Inclusion**. Launch scholarships, mentoring programs, and outreach campaigns to attract youth and women into maritime careers. Participation in IMO's Women in Maritime initiative and partnerships with youth tech platforms will broaden the talent pool [13].
6. **Institutionalize Industry-Education Panels**. Create formal advisory panels linking port authorities, shipping companies, and MET faculty. These panels should guide curriculum development, identify emerging skill demands, and influence regulatory updates to ensure implementation and accountability [19].

8. Conclusion. As global shipping moves toward decarbonization, digitalization, and autonomy, human capital is becoming a strategic priority. The rise of Maritime Autonomous Surface Ships (MASS), climate imperatives, and complex ship systems require a fundamental rethinking of how maritime professionals are trained, certified, and supported.

This paper highlights that while Azerbaijan has strong assets—a solid MET foundation, an innovative Baku Shipyard, and a digitally savvy youth—its workforce strategies are not yet aligned with global trends. Curriculum gaps, outdated policies, and limited industry-academia collaboration risk leaving the country behind in a rapidly evolving maritime landscape.

Yet, this challenge offers a clear opportunity. By modernizing curricula, launching national ROC certifications, investing in innovation infrastructure, and fostering global partnerships, Azerbaijan can build a future-ready maritime workforce.

The maritime professionals of tomorrow will be defined not just by technical ability, but by their agility with hybrid systems, digital fluency, and commitment to sustainable practices. Azerbaijan's willingness to embrace this future will determine its competitiveness and its role in shaping a smarter, greener maritime industry.

References

1. International Maritime Organization. (2024). IMO Autonomous Vessel Regulatory Roadmap and MASS Code Timeline.
2. Bogusławski, K., Gil, M., Nasur, J., & Wróbel, K. (n.d.). Implications of autonomous shipping for maritime education and training: The cadet's perspective.
3. Barmpouri, A. (2022). Maritime Labour Shortages in the EU: Policy Impacts on Seafarer Motivation.
4. Kim, M., Joung, T.-H., Jeong, B., & Park, H.-S. (2020). Autonomous shipping and its impact on regulations, technologies, and industries. Journal of International Maritime Safety, Environmental Affairs, and Shipping.
5. Kitada, M., & Baum-Talmor, P. (n.d.). Industry 4.0 in shipping: Implications to seafarers' skills and training.
6. AI Storyteller. (2024). Baku Shipyard: Pioneering the Future of AI-Driven Maritime Innovation.
7. SSRN. (2021). The Readiness of the Maritime Education for the Autonomous Shipping Operations.
8. International Maritime Organization. (2019). Interim Guidelines for MASS Trials (MSC.1-Circ.1604).
9. MT24 Consortium. (2024). Conceptualization of the Era of Autonomous Shipping Within Maritime Education and Training Framework.
10. U.S. Department of Transportation Maritime Administration (MARAD). (2022). Maritime Environmental and Technical Assistance (META) Program Overview.
11. Russian Maritime Register of Shipping. (2021). Smart Shipping 2030: Development of Autonomous Navigation in Russia.
12. Meštrović, T., et al. (2024). Challenges for Seafarers' Education and Training in the Context of Autonomous Ships Development. Applied Sciences, 14(3173).
13. International Maritime Organization. (2023). Women in Maritime – IMO Gender Equality Program.
14. Emerging Dynamics of Training, Recruiting, and Retaining the Maritime Workforce. (2021). TRB Special Report.
15. Maritime and Port Authority of Singapore. (2021). Maritime Digitalisation Playbook.
16. Barmpouri, A., et al. (2022). Future MET Models in Europe: Digital Pilots and the Road to MASS.
17. Netherlands Maritime University. (2022). Smart Maritime Curriculum Report. Internal academic publication.
18. European Maritime Safety Agency. (2023). Guidelines on Remote Operations Training and Certification.
19. DNV. (2022). The Future of Seafarers – Digital Roles and the Human Element.

Məqalə qəbul olunub: 25.04.25
Tövsiyə edib: prof. Rüstəmov Z.Ə.

УДК 656.6.052

ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРЕИМУЩЕСТВ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМЫ ДИНАМИЧЕСКОГО ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ (DP) НА СУДАХ СПЕЦИАЛИЗИРОВАННОГО ФЛОТА

Гулиев Н.Н.

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

Аннотация. *В статье рассматриваются экономические преимущества внедрения систем динамического позиционирования (DP) на суда, изначально не оснащённые подобными технологиями. DP-системы позволяют удерживать судну заданный курс и/или позицию без использования якорей или швартовых концов, что особенно важно при выполнении нефтегазовых операций. К судам, оснащённым системой DP, имеются строгие требования относительно точности позиционирования 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. Проведён анализ традиционных методов позиционирования, их ограничений и связанных с ними затрат. На основе сравнительного анализа и изучения практических примеров показано, что внедрение DP-систем способствует снижению эксплуатационных расходов, увеличению эффективности судовых операций и расширению коммерческого потенциала судов. Особое внимание уделено оценке сроков окупаемости инвестиций в переоборудование и перспективам масштабного внедрения технологии в морской индустрии.*

Xülasə. *Məqalədə dinamik mövqesaxlama sistemləri (DP) ilə təchiz olunmayan gəmilərdə həmin sistemin tətbiqinin iqtisadi faydaları araşdırırlır. DP sistemləri gəmiyə lövbərlərdən və ya yanalma kəndirlırindən istifadə etmədən müəyyən kursu və/və ya mövqeyi saxlamağa imkan verir ki, bu da neft və qaz əməliyyatlarını yerinə yetirərkən çox vacibdir. DP ilə təchiz edilmiş gəmilər müəyyən əməliyyat növləri üçün üstünlüklərə malik olduğun görə, mövqesaxlama dəqiqliyi ilə bağlı ciddi tələblərə malikdirlər.Bu əməliyyatlara neft və qaz yataqlarına texniki qulluq, neft platformalarının heyətinin yer dəyişməsi, sualtı qurğuların tikintisi zamanı gəmilərin mövqeydə saxlanılması əməliyyatları və s. daxildir. Məqalədə ənənəvi mövqesaxlama üsullarının məhdudiyyətlərinin və onlarla əlaqədar xərclərin təhlili aparılır. Müqayisəli təhlil və nümunə tədqiqatları əsasında göstərilir ki, DP sistemlərinin tətbiqi əməliyyat xərclərini azaltmağa, gəmi əməliyyatlarının səmərəliliyini artırmağa və gəmilərin kommersiya potensialını genişləndirməyə kömək edir. DP sisteminin tətbiqinə qoyulan investisiyaların geri qaytarılma müddətləri və dəniz sənayesində texnologiyanın geniş miqyasda tətbiqi perspektivlərinin qiymətləndirilməsinə xüsusi diqqət yetirilir.*

Abstract. *The article considers the economic advantages of introducing dynamic positioning (DP) systems on vessels not initially equipped with such technologies. DP-systems allow keeping a vessel in a given position and/or heading without using anchors or mooring ropes, which is especially important for oil and gas operations. DP-equipped vessels have stringent requirements for positioning accuracy because of the advantages they have for certain types of operations. These operations including oil and gas field maintenance, oil platform crew transfer, and for keeping the vessel position operations during construction of subsea facilities, etc. Traditional positioning methods, their limitations and associated costs have been analyzed. On the basis of comparative analysis and study*

of practical examples it is shown that the introduction of DP-systems helps to reduce operating costs, increase the efficiency of vessel operations and expand the commercial potential of ships. Particular attention is paid to the assessment of payback periods for investments in retrofitting and the prospects for large-scale implementation of the technology in the maritime industry.

***Ключевые слова**: динамическое позиционирование, безопасность, системы, экономическая эффективность, рентабельность*

***Açar sözlər**: dinamik mövqesaxlama, təhlükəsizlik, sistemi, iqtisadi səmərəlilik, rentabellik*

***Key words**: dynamic positioning, safety system, economic efficiency, profitability*

Введение. Морская индустрия, особенно в сфере нефтегазовых операций, в последние годы испытывает растущую потребность в точных и надёжных методах удержания судов на позиции. Традиционные способы (NON-DP), такие как становление на якорь или использование буксиров, часто оказываются неэффективными в условиях сложной гидрометеорологической обстановки, требуют значительных временных и финансовых затрат, а также сопровождаются высокими рисками [1, с.8].

Системы динамического позиционирования (DP) представляют собой технологически продвинутую альтернативу, позволяющую судну автоматически удерживать заданную позицию и курс с помощью комбинации GPS, датчиков движения, вычислительных систем и пропульсивных устройств. Изначально применяемые преимущественно на специализированных судах, DP-системы сегодня становятся всё более доступными и востребованными для переоборудования обычных судов, не оснащённых подобной технологией.

Целью научной статьи является анализ экономической эффективности внедрения систем динамического позиционирования на суда, ранее не имевшие данных систем. В ходе исследования будет проведён обзор текущих методов позиционирования, выявлены их основные недостатки, а также рассчитаны потенциальные экономические выгоды от внедрения DP-систем с учётом затрат на установку и эксплуатацию. Также рассматриваются примеры успешного внедрения технологии и их влияние на операционные и финансовые показатели судов.

Основная часть. Система динамического позиционирования (Dynamic Positioning, DP) представляет собой автоматизированную систему управления движением судна, которая позволяет точно удерживать его на заданной позиции и/или курсе без использования якорей или швартовных устройств. Управление осуществляется за счёт координированной работы двигателей, подруливающих устройств и винтов, опираясь на данные от спутниковой навигации (GNSS), средства контроля позиции судов (PRS) и других сенсоров [2, с.5].

Основные задачи DP-систем включают:

- Автоматическое удержание позиции и курса судна;
- Компенсация воздействия внешних факторов (ветра, волн, течений);
- Повышение точности маневрирования;
- Возможность безопасной работы в условиях, где применение якорей невозможно или неэффективно (например, в глубоководных районах или на шельфе).

DP-системы являются незаменимыми при проведении следующих типов операций:

- Буровые и геологоразведочные работы;
- Кабелеукладка;
- Подводные инженерные работы (ROV-операции);
- Обслуживание ветряных электростанций;
- Морские спасательные и аварийные операции;
- Транспортировка конструкций и оборудования.

Класс DP судна определяется надёжностью. Т.е. насколько система надёжна, чтобы продолжать выполнение DP операции при выходе какого-то компонента из строя. Необходимая надёжность устанавливается величиной последствий, к которым приведёт потеря способности

удержания позиции. Чем хуже последствия, тем надёжнее должна быть DP система [3, с.7]. В зависимости от степени отказоустойчивости и сложности конфигурации, DP-системы классифицируются согласно международным стандартам (в частности, классификационным обществом DNV) на следующие категории:

- **DP-0** — базовая система, не имеющая резервирования. Применяется для несложных операций, не критичных к отклонению позиции и курса;
- **DP-1** — система с возможностью автоматического управления, но без резервных каналов. Выход из строя одного элемента может привести к потере позиции;
- **DP-2** — система с дублированием основных компонентов, способна сохранять позицию при отказе одного элемента;
- **DP-3** — система с тройным резервированием, рассчитанная на продолжение работы даже при серьёзных отказах, включая пожар или затопление одного отсека [4, с.77].

В состав стандартной DP-системы входят:

- Центральный процессор управления (DP Controller);
- Систем контроля позиции судна
- Гироскопические и инерциальные датчики;
- Системы измерения направления ветра, скорости течений;
- Приводы и исполнительные механизмы (подруливающие устройства, винты с изменяемым шагом);
- Интерфейсы связи с другими судовыми системами (энергоснабжение, мостик, двигатели и т.п.).

Далее (рис. 1) изображены компоненты системы DP, состоящей из подсистем, которые известны следующим образом:

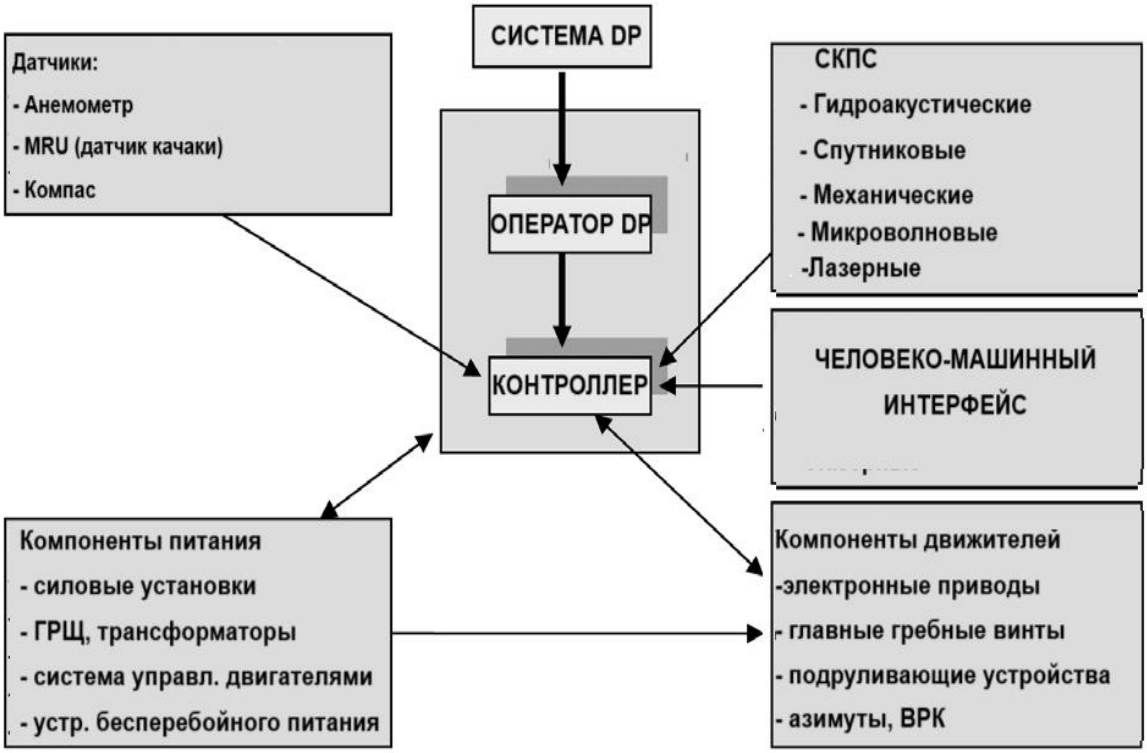


Рисунок 1. *Основные компоненты системы DP*

Внедрение DP требует определённой перестройки как программно-аппаратной части судна, так и переподготовки экипажа, особенно операторов DP.

До широкого распространения систем динамического позиционирования удержание судов на заданной позиции осуществлялось преимущественно с помощью якорей, швартовки или вспомогательных буксиров. Эти методы до сих пор применяются на множестве судов, которые не оснащены системой динамического позиционирования (NON-DP) однако они обладают рядом ограничений и недостатков, которые особенно критичны в условиях современных морских операций, особенно о время строительства подводных объектов [5, с.46].

- **Становление на якорь** – наиболее распространённый способ. Эффективен при определённых глубинах (до ~100–150 м), но требует времени на установку и выборку якорей, а также безопасного якорного района.
- **Швартовка** — возможна только в портах, на рейде или у специальных плавучих платформ. Ограничена по месту проведения.
- **Буксиры** — используются для удержания позиции, маневрирования, швартовки и позиционирования в узких акваториях. Однако требуют внешнего управления, дополнительных затрат и координации.

Недостатки традиционных методов:

- Высокие трудозатраты и временные затраты на подготовку и реализацию;
- Неэффективность на больших глубинах;
- Повышенный риск повреждения оборудования или дна;
- Ограниченная маневренность и зависимость от внешних факторов (течение, ветер, глубина);
- Увеличение времени простоя, особенно в неблагоприятных погодных условиях.

Далее (табл.1) рассмотрим преимущества DP-систем по сравнению с традиционными методами

Таблица 1

Сравнение NON-DP и DP судов

Критерий	**Традиционные методы**	**Система DP**
Глубина акватории	До 100–150 м	Неограниченная
Скорость развёртывания	Минуты–часы	Секунды–минуты
Точность позиционирования	Средняя	Высокая (до 0.5 м)
Операции в неблагоприятную погоду	Ограничены	Возможны
Человеческий фактор	Высокий	Минимизирован
Операционные расходы	Высокие (труд + буксиры)	Оптимизированы
Гибкость применения	Низкая	Высокая

DP-системы позволяют судну автоматически реагировать на изменения внешних условий (ветер, волны, течение), что особенно важно при точных операциях – например, при установке подводного оборудования или бурении [6, с.47]

Традиционные методы не обеспечивают такой реакции: любое отклонение от курса или позиции требует ручной корректировки, часто с привлечением дополнительных ресурсов. (лит)

В долгосрочной перспективе суда, оснащённые DP, демонстрируют большую эффективность и меньшую зависимость от погодных и логистических факторов, что приводит к экономии времени и средств на проведение морских операций.

Внедрение систем динамического позиционирования на суда, ранее не оснащённые подобной технологией, требует значительных начальных инвестиций. Однако анализ показывает, что эти затраты компенсируются за счёт существенного повышения эффективности эксплуатации, сокращения времени простоя и снижения операционных расходов.

Одним из основных преимуществ DP-систем является устранение необходимости в использовании вспомогательных буксиров и дополнительных судов для удержания позиции. В условиях офшорных операций аренда одного буксира может достигать $10 000–15 000 в сутки. DP-система позволяет исключить или значительно сократить их использование. (лит)

DP-система позволяет начать и завершить операции значительно быстрее, поскольку не требуется установка якорей или развёртывание дополнительных систем удержания. В сфере нефтегазовых операций время – критичный фактор, и каждый день простоя может обходиться судовладельцу в десятки тысяч долларов.

DP обеспечивает удержание позиции с точностью до 0.5–1 метра, что критично для сложных операций – кабелеукладки, установки подводных модулей, бурения и т.п. Это минимизирует риск ошибок, поломок оборудования и дорогостоящих переделок.

Несмотря на то, что DP-система требует постоянной работы двигателей и подруливающих устройств, её интеллектуальные алгоритмы управления часто позволяют более эффективно распределять нагрузку, особенно при оптимизации под погодные условия. Это может снижать общий расход топлива на 5–15% в зависимости от конфигурации. При этом нет необходимость в дополнительных судах буксирах. (лит)

DP минимизирует риск столкновений и посадки на мель, особенно в ограниченных акваториях. Это напрямую влияет на:

- Снижение страховых взносов;
- Меньшие выплаты по страховым случаям;
- Снижение репутационных и экологических рисков.

Суда с DP-системами могут участвовать в более высокодоходных тендерах, особенно в секторе нефтегазовых и энергетических проектов. DP – часто обязательное требование в спецификациях заказчиков (например, DP-2 для работы у нефтяных платформ).

Компания BP не допускает для операции снабжения суда, на 500 метровые зоны безопасности (рис. 2) своих нефтегазовых сооружений не только NON-DP, но и даже суда класса DP-1 [7, с.9].

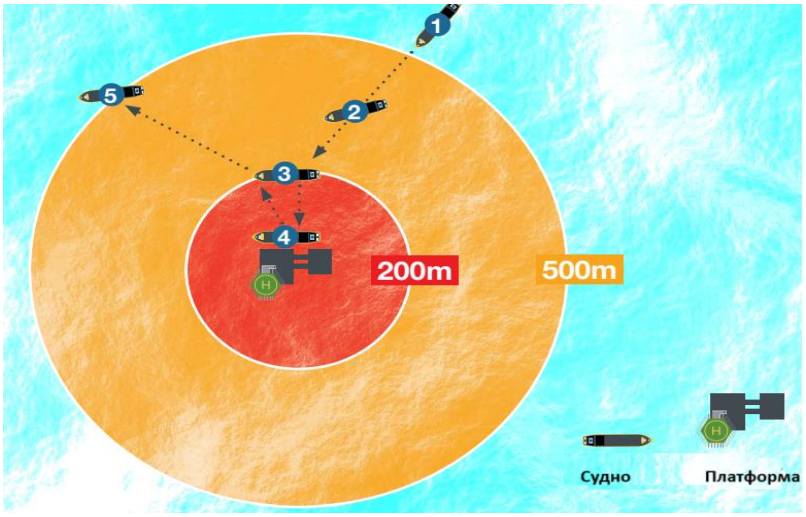


Рисунок 2. *500 метровая зона безопасности нефтегазового сооружения*

Стоимость установки (табл.2) DP-системы зависит от класса (DP-1, DP-2 и т.д.), конфигурации судна и объёма модернизации:

Таблица 2

Сравнительная таблица стоимости установки системы DP

Класс системы	Ориентировочная стоимость установки (оборудование мостика)	Срок окупаемости (при активной эксплуатации)
DP-1	$500 000 – $1 000 000	1–2 года
DP-2	$1 000 000 – $2 500 000	2–3 года

Далее рассчитаем экономический аспект, внедрения системы DP, на примере судна *Solitaire* (рис.3). Solitaire - одно из крупнейших трубоукладочных судов в мире. Изначально проектировалось без использования DP-системы, полагаясь на якорное позиционирование. Трубоукладочное судно, принадлежащее компании **Allseas Group**, является одним из крупнейших в мире судов, используемых для укладки подводных трубопроводов.



Рисунок 3. *Трубоукладочное судно Solitaire*

До модернизации позиционирование судна осуществлялось с использованием якорной системы, что сопровождалось высокой затратностью, ограниченной маневренностью и значительными временными потерями при подготовке к операциям. На судне была внедрена система динамического позиционирования (DP) класса 3, что позволило существенно изменить подход к выполнению морских операций.

Модернизация методом установки системы DP класса 3 позволила судну работать автономно без якорного позиционирования, что критически важно при укладке труб в зонах с высокой плотностью подводной инфраструктуры.

Проведем (табл.3) сравнительный анализ данных, до и после модернизации судна и составим график затрат (график 1):

Таблица 3

Сравнительная таблица данных судна Solitaire

Показатель	До модернизации	После модернизации
Время развертывания судна (часов)	12–24	1–2
Стоимость развертывания (USD)	$80,000	$5,000
Кол-во вспомогательных судов (буксиры)	4–6	0–2
Стоимость аренды вспомог. флота (в день)	$40,000	$10,000
Доступность к сложным районам	Ограничена	Высокая
Среднее кол-во операций в год	20	40
Стоимость простоя (в день)	$300,000	$100,000

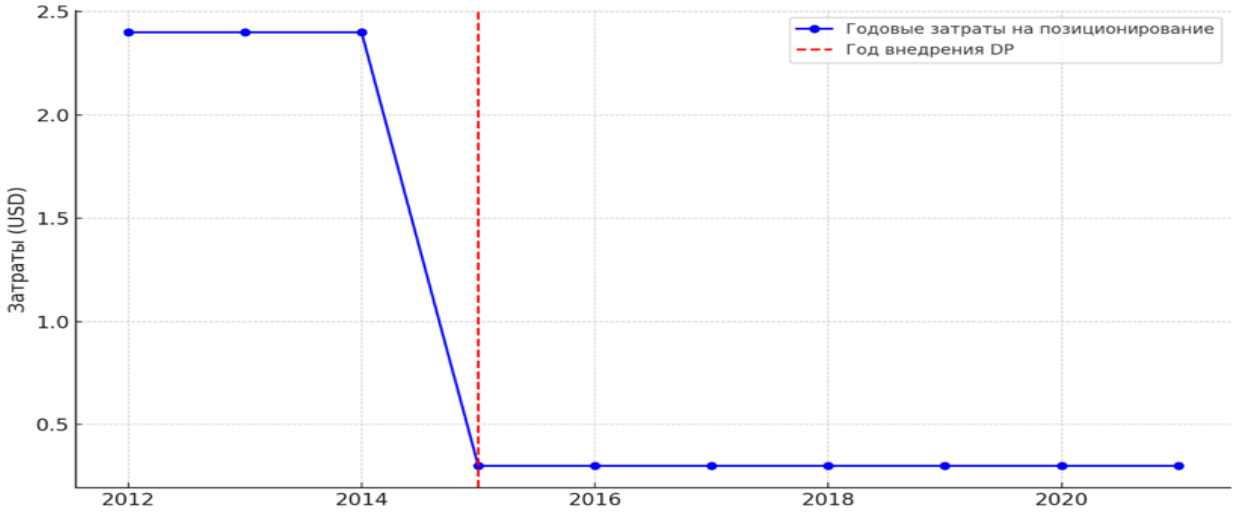


График 1. *Годовые затраты на позиционирование судна Solitare, до и после внедрения системы DP:*

- **X-ось:** Годы (до и после 2015 (условно))
- **Y-ось:** Суммарные годовые затраты на позиционирование (USD)
- До модернизации: ~ $2.4 млн/год
- После модернизации: ~ $200–300 тыс./год
  → **Экономия ~ $2.1 млн/год**

Для оценки целесообразности инвестиций в DP-систему был проведён расчёт чистой приведённой стоимости (NPV) и рентабельности инвестиций (ROI), исходя из следующих параметров:

Таблица 4

Исходные данные, для модели на 8 лет

Показатель	Значение	Источник/обоснование
Первоначальные инвестиции (CapEx)	10 млн USD	Оценка стоимости установки DP-системы класса 3
Срок анализа	8 лет	Типичный жизненный цикл капитальных вложений
Годовая экономия на операционных затратах	2.1 млн USD	Разница затрат на позиционирование (до/после)
Дисконтная ставка (WACC)	8%	Принята исходя из отраслевых норм

NPV позволяет определить абсолютную экономическую выгоду проекта с учётом временной стоимости денег. Формула расчёта:

$$\text{NPV} = \sum_{t=1}^{T} \frac{CF_t}{(1+\text{r})^{\text{t}}} - I \quad (1)$$

где:

- CF_t – чистый денежный поток в году,
- r – дисконтная ставка (8%),
- T – период расчёта (8 лет),
- I – объём первоначальных инвестиций (10 млн USD).

В данном случае CF_t=2.1 млн USD ежегодно.

$$NPV = \sum_{t=1}^{8} \frac{2.1}{(1+0.08)^{\text{t}}} - 10 \approx 13.15 - 10 = +3.15 \text{ млн } USD \quad (2)$$

Таким образом, проект приносит чистую экономическую выгоду свыше 3 миллионов долларов в ценах на момент начала инвестиций.

Далее рассчитаем рентабельность инвестиций (Return on Investment, ROI). ROI характеризует относительную эффективность проекта и рассчитывается по формуле:

$$ROI = \frac{\text{Суммарная прибыль} - \text{Инвестиции}}{\text{Инвестиции}} \text{x } 100\% \quad (3)$$

$$ROI = \frac{(2.1 \text{ x } 8) - 10}{10} \text{x } 100\% = \frac{(16.8 - 10}{10} \text{ x } 100\% = 68\%$$

Значение выше 50% для капиталоёмкого морского проекта является показателем высокой инвестиционной привлекательности.

Модернизация судна *Solitaire* за счёт внедрения DP-системы:

- Существенно сократила операционные издержки;
- Увеличила количество контрактов и возможных зон операций;
- Обеспечила положительный ROI при горизонте 7–8 лет;
- Снизила риски, связанные с безопасностью, экологией и логистикой.

Положительное значение NPV, высокий ROI и умеренный срок окупаемости демонстрируют экономическую обоснованность капитальных вложений. Кроме того, модернизация обеспечивает косвенные выгоды в виде повышения гибкости судна и расширения его рыночной применимости в сложных условиях окружающей среды.

Выводы. В условиях современного морского судоходства и нефтегазовых операций точность, оперативность и безопасность становятся определяющими факторами эффективности и конкурентоспособности судов. Системы динамического позиционирования представляют собой технологическое решение, которое не только повышает технический уровень судна, но и обеспечивает значительные экономические преимущества.

Проведённый анализ показал, что внедрение DP-систем на суда, изначально не оснащённые такими технологиями, позволяет:

- Существенно снизить зависимость от вспомогательных ресурсов (буксиров, швартовки);
- Ускорить проведение операций и сократить простои;
- Повысить безопасность и точность маневрирования;
- Снизить эксплуатационные затраты, включая расход топлива;

- Получить доступ к более прибыльным контрактам, требующим использования DP.

Несмотря на относительно высокие первоначальные инвестиции, срок окупаемости систем DP составляет от одного до трёх лет, в зависимости от интенсивности эксплуатации. В ряде случаев – особенно для судов, работающих в нефтегазовой промышленности — окупаемость может быть достигнута уже в течение первого года.

С учётом стремительного развития технологий, повышения требований к экологии и безопасности, а также роста спроса на автономные решения, можно ожидать дальнейшее распространение DP-систем в самых разных сегментах морской отрасли. Судовладельцам и операторам флота, стремящимся повысить эффективность и расширить спектр предоставляемых услуг, имеет смысл рассматривать внедрение DP как стратегическое инвестиционное решение.

Литература

1. International Guidelines for the safe operation of Dynamically Positioned Offshore Supply Vessels //IMCA 182 MSF Rev. 4. -London: International Maritime Contractors Association, –2022. -p. 61.
2. Guidance on Position Reference Systems and Sensors for DP Operations // IMCA M252. Rev. 3. – London: International Maritime Contractors Association, - April 2024. - p. 44.
3. International Guidelines for the safe operation of Dynamically Positioned Offshore Supply Vessels // IMCA 182 MSF Rev. 3. - London: International Maritime Contractors Association, – 2018. - p.51.
4. Гулиев, Н. Н. Классы оборудования современных судов, оснащенных системой динамического позиционирования // Международная научно-техническая конференция на тему “Перспективы инновационного развития технических и естественных наук”, - Баку: Материалы международной научно-технической конференции «перспективы инновационного развития технических и естественных наук», -25-26.11.2021, -с. 77–81.
5. Гулиев, Н. Н. Режим слежения за целью на современных судах, оснащённых системой динамического позиционирования // - Астрахань: Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. -2023. № 1, -с. 45–49.
6. Гулиев, Н. Н. График возможностей современных судов, оснащенных системой динамического позиционирования // - Баку: Научные труды Азербайджанской Государственной Морской Академии. – 2022. № 1, – с. 47–52.
7. Marine operations: 500m safety zone // Step change in safety. -Aberdeen: Marine safety forum, – 2017. - p. 15.

Məqalə qəbul olunub: 25.04.25
Tövsiyə edib: prof. Rüstəmov Z.Ə.

UOT 656.61

DEVELOPMENT OF AN EXPERT SYSTEM FOR EVALUATING VESSEL MOVEMENT TRAJECTORIES DURING SIMULATOR TRAINING OF NAVIGATION CADETS

Nosov P.S.

Kherson State Maritime Academy
Ukraine, city Odesa, Kanatna street, 99
E-mail: administrator@ksma.network

Abstract. *This thesis describes the development of an expert system for analyzing vessel movement trajectories with the aim of promptly detecting hazardous deviations caused by human factors and inadequate qualification of ship operators. The system performs preliminary data processing, identifies critical points using a nearest neighbor search algorithm, and compares test data with reference data in terms of coordinates and speed, based on data from the ECDIS Wärtsilä Navigation Simulator NTPRO 5000 server. The application of statistical methods—such as mean absolute deviation, maximum deviation, and standard deviation—and a penalty scoring rule enables a quantitative assessment of deviations. Interactive visualization in the form of bar charts and maps facilitates the rapid detection of anomalies and the adoption of well-founded decisions to enhance maritime safety. The prospective implementation of this system will ensure route optimization, reduce accident rates, and enable integration with modern monitoring systems.*

Xülasə. *Bu məqalədə insan faktorunun və gəmi operatorlarının qeyri-adekvat şəraitdə səbəb olduğu təhlükəli xətaların operativ şəkildə aşkar edilməsi məqsədilə gəmilərin hərəkət trayektoriyalarının təhlili üçün ekspert sisteminin işlənib hazırlanmasından bərpa edilir. Sistem ilkin məlumatların işlənməsini həyata keçirir, ən yaxın qonşu axtarış alqoritmindən istifadə edərək kritik nöqtələri müəyyən edir və ECDIS Wärtsilä Naviqasiya Simulyatoru NTPRO 5000 serverindən alınan məlumatlar əsasında test məlumatlarını koordinatlar və sürət baxımından istinad məlumatları ilə müqayisə edir. Orta mütləq kənarlaşma, maksimum kənarlaşma və standart kənarlaşma kimi statistik metodların tətbiqi kənarlaşmaların kəmiyyətcə qiymətləndirilməsinə imkan verir. Ştrixli diaqramlar və xəritələr şəklində interaktiv vizuallaşdırma anomaliyaların tez aşkar edilməsini və dəniz təhlükəsizliyini artırmaq üçün əsaslı qərarların qəbulunu asanlaşdırır. Bu sistemin perspektiv tətbiqi marşrutun optimallaşdırılmasını təmin edə, qəzaların sayını azalda və müasir monitorinq sistemlərilə inteqrasiyaya imkan yarada bilər.*

Key words: *expert system, vessel movement trajectories, human factor, ECDIS, statistical analysis, visualization, maritime safety*

Açar sözlər: *ekspert sistemi, gəmi hərəkət trayektoriyaları, insan faktoru, ECDIS, statistik analiz, vizuallaşdırma, dəniz təhlükəsizliyi*

Introduction. In today's era of globalization and the increasing intensity of maritime traffic, the safety of maritime transport assumes paramount importance [1]. Despite significant advancements in automated control systems, the human factor remains one of the most critical aspects influencing the efficiency and safety of navigation [2]. Insufficient qualification, limited experience, and psychological instability among ship operators often lead to deviations from prescribed trajectories, potentially resulting in accidents [3]. According to statistical data, 75–80% of accidents in the maritime industry are associated with errors by ship operators, underscoring the urgent need to consider both the human factor and the qualification level of these operators [4].

Given these circumstances, the relevance of developing an integrated expert system within Electronic Chart Display and Information Systems (ECDIS) for analyzing vessel movement trajectories becomes particularly significant [5]. A system capable of promptly detecting potentially hazardous deviations—caused by both human error and an insufficient level of professional training among navigation cadets during practical training on the Wärtsilä Navigation Simulator NTPRO 5000−will facilitate the timely identification of risky situations. In turn, this will contribute to enhancing safety levels, optimizing crew performance, and reducing the number of accident incidents, which bear serious social and economic consequences.

Formulation of the issue. When developing a navigation trajectory monitoring system, a developer faces several challenges, notably the insufficient ability to detect minor yet critical deviations that may indicate potential hazards. Existing analytical methods do not always take into account the individual characteristics of ship operators−their experience, qualification level, and psychological state−which can lead to ineffective forecasting of accident scenarios.

The primary issue lies in the absence of an integrated expert system that could:

1. Systematically process large volumes of navigation data from the ECDIS server and identify critical points along the route.
2. Detect minor deviations from prescribed trajectories, which may result from human errors or insufficient professional experience.
3. Evaluate the impact of individual characteristics of ship operators, including both technical parameters (such as coordinates and speed) and psychological factors that affect decision-making under stress.

Thus, addressing this problem entails developing an analytical tool that ensures timely and accurate identification of potentially hazardous deviations in navigation trajectories, which is critical for enhancing maritime transport safety and reducing the risk of accidents.

Analysis of the results achieved. Given the task of developing an effective software solution for analyzing vessel movement trajectories to detect potentially dangerous deviations, it is necessary to employ a comprehensive approach that combines modern algorithmic, mathematical, and statistical data processing methods. Considering the requirements for the timely detection of anomalies caused by the influence of the human factor and the inadequate qualification of ship operators, the system must ensure:

- Optimal Data Processing: Integration of mechanisms for preliminary data loading, cleaning, and normalization for subsequent analysis.
- Determination of Critical Points: Utilization of nearest neighbor search algorithms to accurately identify key points in vessel movement trajectories.
- Statistical Evaluation of Deviations: Application of methods for calculating mean values, variances, and standard deviations to quantitatively characterize deviations from reference data.

Thus, taking these requirements into account, we proceed to a detailed description of the algorithmic and mathematical apparatus to be implemented in the expert system. This will enable high-precision data analysis, optimization of the processing of large volumes of information, and timely detection of potential risks to enhance maritime safety.

1. Data Preprocessing

1.1. Algorithmic Aspect:

The Pandas library is used to load data from Excel files.

Data is cleansed of erroneous values using the dropna() method, ensuring the presence of the essential parameters: latitude (LAT), longitude (LON), and time (Time).

1.2. Mathematical Apparatus:

Format Conversion:

- String values containing a decimal comma are converted to a numeric format by replacing the comma with a period.

- Numeric values of coordinates and speed are converted to a numeric type using the pd.to_numeric() function.

Time Calculation:

Unix time is converted into the datetime format for convenient time series analysis.

2. Determination of Critical Points (Waypoint Selection)

2.1 Algorithmic Aspect:

- The function determine_key_points() is employed, which accepts the data and a set of desired latitude values (lat_points).

- For each target latitude value, a search is conducted in the dataset for the element whose absolute difference between the observed and the target latitude is minimal (nearest neighbor algorithm).

2.2. Mathematical Apparatus:

- One-dimensional search using a minimization principle:

- Difference Calculation:

$$d_i = \left| LAT_i - lat_{\text{target}} \right|.$$

- Determination of index i^*:

$$i^* = \arg\min_i d_i \cdot$$

Calculate the absolute difference between the observed and target latitude values.

3. Discrepancy Calculation

3.1. Algorithmic Aspect:

- The function calculate_discrepancies() compares the key points from the test data with the reference key points.

- For each reference point, the closest corresponding point in the test data is identified by minimizing the absolute difference in latitude.

3.2. Mathematical Apparatus:

- Difference Calculation:

- For each parameter (longitude and speed), the difference is computed as:

$$\Delta LON = LON_{test} - LON_{ref},\ \Delta SOG = SOG_{test} - SOG_{ref}.$$

- Evaluation of Variations:

- The squares of the differences are calculated to analyze the variance:

$$LON_\text{var} = \left(\Delta LON\right)^2,\ SOG_\text{var} = \left(\Delta SOG\right)^2.$$

These values serve as indicators of deviation from the reference.

4. Expert System for Navigation Data Evaluation

4.1. Algorithmic Aspect:

- The function expert_system() aggregates the deviation data for each file.
- Statistical metrics−mean absolute deviation, maximum deviation, and standard deviation for longitude and speed−are calculated.
- Threshold values are then applied to adjust an initial score (e.g., 100 points) by subtracting penalty points according to the degree of deviations.

4.2. Mathematical Apparatus:

- Statistical Analysis:

- Mean Absolute Deviation:

$$\overline{|\Delta LON|} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|\Delta LON_i|,\ \overline{|\Delta SOG|} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|\Delta SOG_i|.$$

- Maximum Deviation: $\max|\Delta LON|,\ \max|\Delta SOG|$.
- Standard Deviation:

$$\sigma\Delta LON = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\left(|\Delta LON_i| - \overline{|\Delta LON|}\right)^2}, \sigma\Delta SOG = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}\left(|\Delta SOG_i| - \overline{|\Delta SOG|}\right)^2}$$

Rule-Based Scoring:

- Discrete thresholds are set so that exceeding a specific value of mean or maximum deviation results in the subtraction of fixed penalty points (e.g., 10, 20, or 30 points).

This approach allows a quantitative assessment of the degree of deviation and implicitly accounts for the impact of psychological factors via the standard deviation calculation.

5. Visualization of Results

5.1. Algorithmic Aspect: The function plot_trajectories() utilizes the Folium library to create an interactive map that displays the vessel trajectories and key points (see Figure 1).

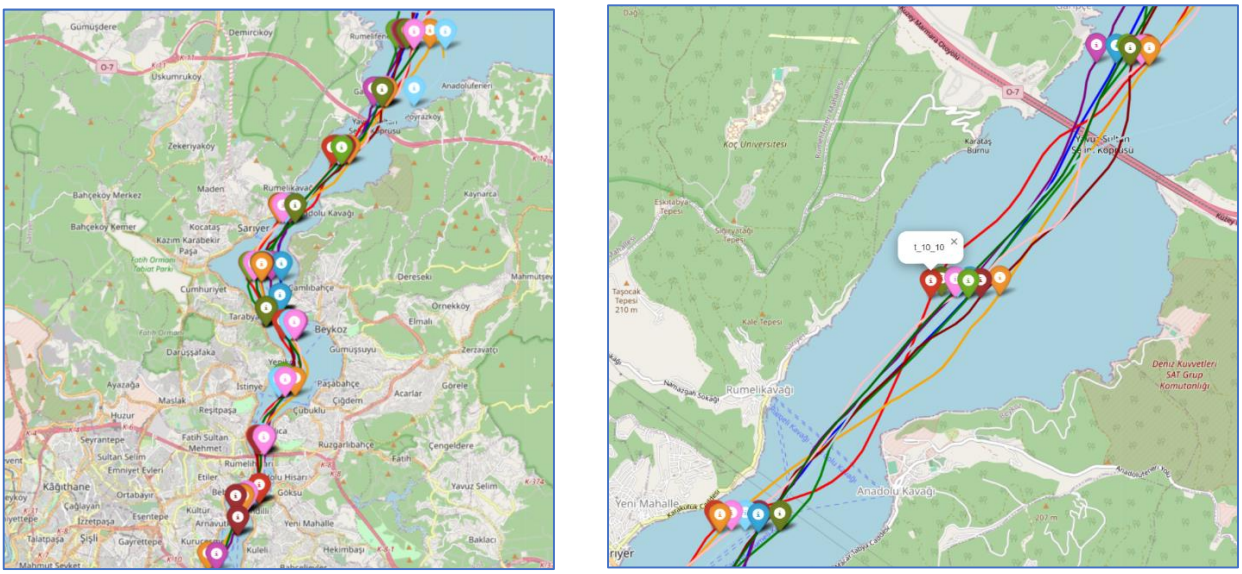


Fig. 1. *Visualization of Vessel Movement Trajectories Based on ECDIS Data*

Using the Plotly Express library, a bar chart is generated to visualize the expert evaluation across files.

5.2. Mathematical Apparatus: Geometric Visualization:

Trajectories are constructed by connecting consecutive coordinates (LAT, LON) using polyline segments.

Statistical Visualization: The bar chart graphically represents the distribution of scores, allowing for a rapid assessment of the qualitative characteristics of the analysis and the detection of anomalies.

Thus, the program's algorithmic apparatus is based on sequential data processing—from loading and cleaning the data to identifying key points, calculating deviations, and performing their sta-

tistical analysis (see Fig. 2). In turn, the mathematical aspect includes minimization methods for nearest neighbor search, the computation of differences and variances, as well as the application of statistical measures for assessing the quality of navigation data. The integration of these approaches enables the development of an expert system capable of detecting potentially hazardous deviations caused by the human factor or insufficient professional experience of ship operators, thereby enhancing maritime safety.



Fig. 2. *Diagram of the Expert System for Analyzing Vessel Movement Trajectories*

Visualization in the form of a graph offers a clear representation of the evaluation results of vessel movement trajectories performed by the expert system (see Fig. 3).

Thus, the resulting graph enables: *Quick Anomaly Identification*:

- Displaying the scores as a chart immediately reveals which trajectories exhibit significant deviations from the reference, indicating potential risks.

Comparison of Results Across Files:

- Thanks to the horizontal orientation and a unified scale (from 0 to 100), scores from different files can be easily compared to determine where the level of conformity to the reference trajectory is lowest.

Access to Additional Information:

Interactive tooltips that appear when hovering over chart elements provide extended details on the causes of deviations, allowing for a deeper analysis of potential issues in vessel navigation.

Enhanced Decision-Making:

- Clear visualization facilitates prompt data analysis, enabling swift responses to critical situations, adjustments to operational procedures, and the implementation of necessary measures to improve maritime safety.

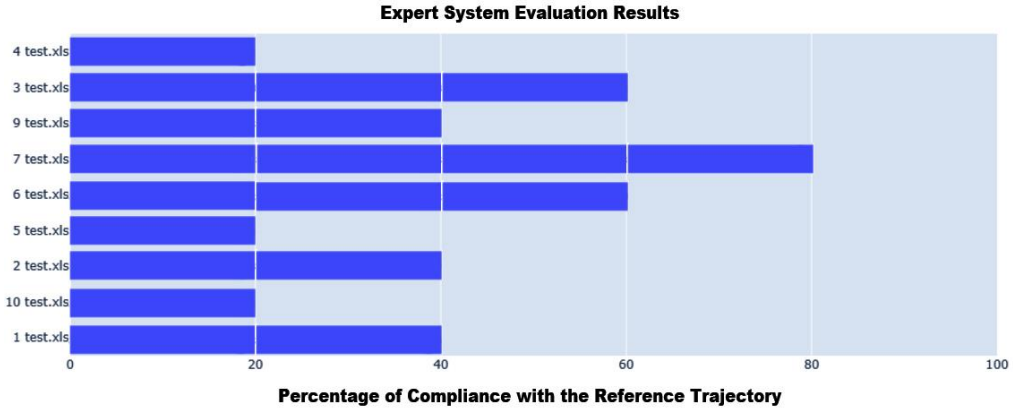


Fig. 3. *Visualization of the Expert System Conclusion*

Result. Thus, the developed expert system is based on a comprehensive algorithmic and mathematical framework for analyzing vessel movement trajectories. The system performs data loading, cleaning, and normalization, identifies key points using a nearest neighbor search algorithm, and compares test data with reference data by calculating differences in longitude and speed. The use of statistical indicators– such as mean absolute deviation, maximum deviation, and standard deviation– enables a quantitative evaluation of the degree of deviations, while the penalty scoring rule reflects the influence of the human factor and the insufficient qualification of ship operators.

Interactive visualization in the form of charts and maps facilitates the rapid identification of potentially hazardous deviations and supports informed decision-making to enhance maritime safety. The implementation of this system is promising, as it will contribute to route optimization, improved training of ship operators, and reduced accident rates, making the development significant both from a scientific and a practical perspective.

References

1. European Maritime Safety Agency (EMSA). (2022). Safety Analysis of EMCIP Data – Navigation Accidents – Summary Report V1.0. September 2022. Available at: https://www.emsa.europa.eu.
2. Nosov, P. S., Palamarchuk, I. V., Safonov, M. S., Novikov, V. I. (2018). Modeling the manifestations of the human factor of the Maritime crew. Science and Transport Progress, 5(77), 82–92. https://doi.org/10.15802/stp2018/147937.
3. Petrovskyi A. V., Isaychev A. G., Zlobin, Y. O. On the issue of adjustment and calculation of navigation depth parameters during route creating. Priazovskyi State Technical University. Section: Technical sciences. 2023, Volume 47, pp. 324–335. https://doi.org/10.31498/2225-6733.47.2023.300119.
4. Носов П.С., Тонконогий В.М., Яковенко О.Є. Застосування адаптивних функцій для впливу на модель знань студента // Тр. Одес. политехн. ун–та. Одесса: ОНПУ. Вып.1(25). 2006.— С. 118–122.
5. Ponomaryova, V., Nosov, P., Ben, A., Popovych, I., Prokopchuk, Y., Mamenko, P., Dudchenko, S., Appazov, E., & Sokol, I. (2024). Devising an approach for the automated restoration of shipmaster's navigational qualification parameters under risk conditions. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 1(3 (127), 6–26. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.296955.

Məqalə qəbul olunub: 25.04.25
Tövsiyə edib: dos. Abbasov E.O.

UDC 37.091.12:656.61

THEORETICAL SUBSTITUTION OF THE METHOD FOR DETERMINING THE INTEGRATIVE INDICATOR OF INDISCIPLINITY OF CADETE-SEAMEN

[1]Oleksii Reva, [1]Volodymyr Kamyshyn, [2]Pavlo Mamenko,
[2]Konstiantyn Kyrychenko, [3]Larysa Saganovska

[1]Ukrainian Institute of Scientific and Technical Expertise and Information
Kyiv, Ukraine;
[2]Херсонська державна морська академія, Україна; Kherson, Ukraine
[3]Ukrainian State Flight Academy; Kropyvnytskyi; Ukraine
E-mail: ran54@meta.ua, kvv@ukrintei.ua, pavlo.mamenko@gmail.com;
kvklecturer@gmail.com, Lora-sag@ukr.net

Abstract. *Taking into account the negative impact of the human factor on shipping safety and the importance of the initial training of seafarers, where the foundation of their future professional reliability is formed, a list of n=21 characteristic features of indiscipline has been formulated, which more fully and comprehensively characterize this phenomenon. Indiscipline is understood as a deviation of the behavior of cadet sailors from the norms accepted in the educational society, which prevents the culprit himself and other cadets from learning, and the teacher from performing professional duties. Examples of a possible false transition of educational indiscipline into professional on a ship are given, which led to accidents and disasters.*

Qualimetric indicators of indiscipline are introduced, determined by the normalized hazard coefficients of each trait, the frequency of its manifestation and the degree of expressiveness in a particular subject. The advantages of the multiplicative approach to obtaining a quantitative integrative assessment of indiscipline, which and only which is characterized by the systemic property of emergence, are substantiated. Recommendations are given for the fuzzification of the integrative quantitative assessment of the degree of indiscipline.

Xülasə. *İnsan amilinin gəmiçiliyin təhlükəsizliyinə mənfi təsirini və dənizçilərin ilkin hazırlığının əhəmiyyətini nəzərə alaraq, onların gələcək peşəkar etibarlılığının təməli formalaşdırıldığı mərhələdə, n=21 intizamsızlıq xüsusiyyətindən ibarət siyahı tərtib edilmişdir. Bu siyahı bu fenomeni daha tam və hərtərəfli xarakterizə edir. İntizamsızlıq dedikdə, kursant-dənizçilərin davranışlarının tədris sosial mühitində qəbul edilmiş normalardan kənarlaşması nəzərdə tutulur ki, bu da həm günahkarın, həm də digər kursantların təhsil almasına mane olur, müəllimin isə peşəkar vəzifələrini yerinə yetirməsini çətinləşdirir. Tədris intizamsızlığının gəmidə peşəkar intizamsızlığa yanlış keçidinin mümkün nümunələri göstərilmişdir ki, bu da qəzalara və fəlakətlərə səbəb olmuşdur.*

İntizamsızlığın normallaşdırılmış təhlükə əmsalları, hər bir xüsusiyyətin təzahür tezliyi və konkret sınaqdan keçirilən şəxsdə ifadə dərəcəsi ilə müəyyən edilən kvalimetrik göstəriciləri təqdim edilmişdir. İntizamsızlığın kəmiyyət inteqrativ qiymətləndirilməsinin alınması üçün yalnız ona xas olan sistemli əmrgentlik xüsusiyyətinə malik olan multiplikativ yanaşma əsaslandırılmışdır. İntizamsızlıq dərəcəsinin linqvistik qiymətləndirilməsinə keçid üzrə tövsiyələr təqdim edilmişdir.

Key words: *safety of navigation, human factor, coefficients of importance of indiscipline traits, frequency of manifestation and expressiveness, multiplicative aggregation, integrative assessment*

Açar sözlər: *gəmiçiliyin təhlükəsizliyi, insan amili, intizamsızlıq xüsusiyyətləri əhəmiyyət əmsalları, təzahür tezliyi və ifadəliliyi, multiplikativ aqreqasiya, inteqrativ qiymətləndirmə*

Introduction. Statistics show that in the occurrence of accidents and disasters in complex field-ergatic organizational and active control systems (CFEOACS) «captain (crew as a whole) - ship –

environment» the «trigger» is the human factor (HF) [1-4, etc.]. And although today the reliability of the vessels themselves, the capabilities of their equipment, including automated control systems (ACS) and artificial intelligence (AI), the state of professional training of personnel, etc. are incomparably higher than they were, say, 50-70 years ago, the negative impact of HF on shipping safety has not changed significantly and, depending on the years of observation, causes at least ⅔ - ⅘ of the total number of accidents, disasters and serious incidents in maritime transport.

The above statistics become clear if we characterize the mentioned CFEOACS not only from the standpoint of system analysis, but also as a humanistic system. After all, according to the definition of Lotfi A. Zadeh, one of the founders of fuzzy mathematics, «humanistic systems are those systems whose behavior is greatly influenced by human judgments, perceptions, or emotions… The person himself (individual) and his thinking processes can also be considered as humanistic systems» [5]. From which it follows that any study of the impact of HF on navigation safety (NS) is relevant.

In the context of this publication, we will consider the negative impact of the HF on the NS through the prism of indiscipline (ID) of cadet sailors, as well as professional sailors. In this case, ID, taking into account [6-8], we will understand the deviation of the behavior of cadet sailors from the norms accepted in the educational society, which prevents the perpetrator and other cadets from learning, and the teacher from performing professional duties.

The fact of ID is revealed through the explication by cadet sailors of certain features. The list of n=21 characteristic features of ID (CFI), which today more fully and comprehensively covers and reveals the phenomenon under study, is presented in Table 1 [6-8].

Table 1

Characteristic features of indiscipline among cadet sailors, manifested in the educational process

CFI_i	Content of the trait of indiscipline	CFI_i	Content of the trait of indiscipline
1	2	3	4
CFI_1	Skips classes without respectable reasons	CFI_{10}	Does not accept collective actions
CFI_2	Believes that everything is wrong: criticizes the education system, equipment and in general everything that he sees	CFI_{11}	Avoids work in classes
		CFI_{12}	Does not follow instructions and does everything in his own way
CFI_3	Hostile, picky, always ready for a quarrel and provokes it	CFI_{13}	Does not try to help classmates or teachers in classes
CFI_4	Excessively persistent, strives at any cost, even at the expense of friends, to complete the assigned task, extremely selfish	CFI_{14}	Irresponsible, careless, careless in the use of equipment, untidy, tactless
CFI_5	A waste of time, a talker, works with reluctance and slowly;	CFI_{15}	Distracted, one whose thoughts are always not focused on the subject of study, confuses reality with fiction
CFI_6	Timid (fear of friends and teachers), works alone, usually does not ask for help and does not strive for success	CFI_{16}	Impulsive, seeks to get a result as soon as possible, without thinking about its correctness;
		CFI_{17}	Not independent, follows the opinion of his friends
CFI_7	Disinterested, always inattentive and quick		
CFI_8	Arrogant know-it-all, sees little benefit from classes, self-teacher, "thinks his training system is better", talkative and talkative	CFI_{18}	Systematically late for classes
		CFI_{19}	Does not do homework
CFI_9	Slow, always lacks time to finish work, although always does what is necessary	CFI_{20}	Does not attend institution-wide, faculty-wide events
		CFI_{21}	Returns literature to the library in a timely manner

Moreover, it seems possible to predict how the CFI inherent in an individual cadet may find further negative development during his work on the ship. The contents of Table 2 illustrate the correspondence of the CFI, manifested in the educational process, and the features of ID in professional activities (IDPA) of seafarers, which led to real undesirable events and accidents on the ship [8].

Table 2

Correspondence of the characteristic features of indiscipline in the training of young seafarers and their further professional activities (fragment)

$CFI_i \Rightarrow$	$FIPA_i \Rightarrow$	Content ⇒	Example of an accident, disaster
1	2	3	4
CFI_1	$FIPA_1$	Ignores protocols regarding the safe navigation of the vessel without proper justification	Vessel ran aground. MAIB report 7/2020 https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5d93631a40f0b65e5ec0dd35/2019-12-Priscilla.pdf
⋮	⋮	⋮	⋮
CFI_4	$FIPA_4$	Shows excessive self-confi-dence and willingness to take risks without regard for the safety of the crew or the vessel in order to achieve his own goals, ignores clearly stated procedures approved by the company	Disadvantages of the crew training scheme MAIB report 4-2023. https://assets.publishing.service.gov.uk/media/64dce32e3fde61000d4a53bd/2023-4-MoritzSchulte ReportAndAnnexes.pdf
CFI_5	$FIPA_5$	Careless performance of duties, wastes time or works slowly without proper regard for maintaining the vessel in proper condition with regard to the safe operation of the equipment	Lack of equipment maintenance MAIB report 6-2023 https://www.gov.uk/maib-reports/lifeboat-davit-failure-on-polar-research-vessel-rrs-sir-david-attenborough
⋮	⋮	⋮	⋮
CFI_8	$FIPA_8$	Ignores instructions and established procedures, believing himself to be an expert in steering the ship, shows self-confidence and excessive talkativeness when performing official duties	Violation of instructions for use of ship's equipment MAIB Report N08/2023 https://assets.publishing.service.gov.uk/media/6565cd7b62180b000dce82d0/2023-8-BBCMarmara-Report-Annex.pdf
⋮	⋮	⋮	⋮
CFI_{12}	$FIPA_{12}$	Ignores instructions from management and job descriptions, performs official duties with own interpretation or does not perform them at all	Negligent performance of official duties and failure to comply with maritime instructions.Звіт MAIB 5/2023 https://www.gov.uk/maib-reports/collision-between-general-cargo-vessel-scot-explorer-and-gas-carrier-happy-falcon
⋮	⋮	⋮	⋮
CFI_{15}	$FIPA_{15}$	Loses attention when controlling the movement of the ship, especially when performing maneuvering elements, cannot clearly direct attention to the performance of the duties of the shipmaster during the movement of the ship, may lead to mistakes in steering the ship or other dangerous situations	Neglect COLREG. Self-confidence when making a decision when maneuvering a vessel MAIB report No7 - 2020 https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5e70e50dd3bf7f2693249b81/2020-7-ANLWyongKingArthur.pdf
⋮	⋮	⋮	⋮

Unfortunately, researchers and specialists who deal with the problems of NS and its management precisely from the perspective of the influence of the HF do not pay due attention to the lack of discipline among seafarers, which artificially creates certain «false links» in a continuous chain of interconnected factors that should ensure the proper level of the specified safety.

Formulation of the issue. As we can see from the above, indiscipline (ID) as a phenomenon is a multifaceted and relevant phenomenon that can negatively affect not only the educational process, but also the NS. Therefore, an important stage of its research during the initial professional training of young seafarers in an educational institution is to obtain an appropriate integrative assessment, which and only which is characterized by the systemic property of emergence [10-13, etc.] and which will allow studying this phenomenon from a single position, and therefore developing more effective antidotes. Thus, the *purpose* of this publication is to develop a systematic methodology for the integrative assessment of ID of cadet sailors in the educational process. For this, the following tasks should be solved:

– establish the components of the integrative assessment of ID and methods of their qualimetry;

– substantiate the approach to the aggregation of individual dimensions of ID into an integrative indicator;

– develop recommendations for establishing the degree of ID of cadet-sailors.

Analysis of the results achieved. Based on the content of works [11-17, etc.], we will introduce the following indicators of indiscipline that should be aggregated into an integrative assessment: $\varphi_{Haz.}(ID)$ – danger indicator (hazard) ID; $\varphi_{Freq.}(ID)$ – frequency of occurrence ID; $\varphi_{CB}(ID)$ – expressiveness indicator (EI) ID. And if we assume that the listed indicators can be quantitatively measured on a single scale, then, taking into account the results of studies [11-13, 15-18, etc.], the integrative indicator of ID will have the following form::

$$\varphi(ID) = \varphi\left(\varphi_{Haz.}(ID),\ \varphi_{Freq.}(ID),\ \varphi_{CB}(ID)\right) = \\ = \sqrt[3]{\varphi_{Haz.}(ID) \cdot \varphi_{Freq.}(ID) \cdot \varphi_{CB}(ID)}. \quad (1)$$

Thus, from the point of view of system analysis, we are talking about solving a one-step decision-making task (DM) with a vector efficiency indicator. In this case, we note that the multiplicative aggregation of the components of the integrative assessment of the ID of cadet sailors, defined by the last part of expression (1), is, in essence, a development of the «desirability function» of Harrington [17.] and has the following advantages [10-12, 14-16, 18, etc.]: 1) a more cautious result is obtained in relation to additive aggregation, and therefore a more reliable result; 2) formula (1) really interprets a quantitative, unambiguous, single and universal indicator of the integrative assessment of ID; 3) multiplicative aggregation of the type (1) has the properties of adequacy, efficiency and statistical sensitivity, therefore it can be used as an optimization criterion; 4) helps to prevent errors of the I-II kind in determining the indicator $\varphi_{.}(ID)$.

If you measure the indicators $\varphi_{Haz.}(ID)$, $\varphi_{Freq.}(ID)$ and $\varphi_{EI}(ID)$ on an absolute scale, as, $Sc=[0, 1]$, then the measurement of the integrative indicator ID $\varphi_{.}(ID)$ will also take place in the same absolute scale, very convenient for representation and interpretation in the human mind. Which can be formally presented as follows:

$$\left\{(\varphi_{Haz.}(ID) = [0,1]) \cap \left(\varphi_{Freq.}(ID) = [0,1]\right) \cap (\varphi_{EI}(ID) = [0,1])\right\} \Rightarrow \varphi(ID) = [0,1]. \quad (2)$$

Let's take a closer look at the technology for measuring indicators $\varphi_{Haz.}(ID)$, $\varphi_{Freq.}(ID)$ $\varphi_{CB.}(ID)$ in absolute scale.

1. Qualimetry of the indicator $j_{Haz.}(ID)$. So, even a superficial analysis of the list of CFIs presented in Table 1 indicates their different danger (harm) for the educational process. Therefore,

using known expert methods and procedures, it is easy to obtain individual systems of preferences (SP) of scientific and pedagogical workers on the set of studied CFIs. In this case, by SP we will understand an ordered series of CFIs: from more significant, important, dangerous from the standpoint of negative impact on the educational process, to less significant. Further applying such a strategy of group decisions as summing and averaging ranks, it is easy to obtain a group SP (GSP) on the set of CFIs [7, 11, 14, 18 та ін.].

By implementing a multi-step technology for identifying and filtering out marginal opinions, as well as eliminating the so-called «survivor bias», also known as the «paradox of information availability» [14, 18-21, etc.], we obtain a «base» GSP that will satisfy a set of system-information criteria for consistency [14, 18, 21, 22, etc.]. Its optimization using the Kemeny median leads to a «reference» GSP [15, 24-27, etc.]. Thus, each studied $CFI_i,\ i=\overline{1,\ n=21}$ a completely justified rank is put in correspondence: $CFI_i \Rightarrow r^{et.}_{CFI_i}$. Based on the specified «reference» GSP, and therefore , it is not difficult to defuzzify them using the mathematical method of prioritization (MP), also known as the «leader problem» [10-12, 14-16, 22, 27, 28, etc.], that is, to assign a normalized weight coefficient (NWC) to each and every CFI under study:

$$\begin{cases} CFI_i \Rightarrow r^{et.}_{CFI_i} \overset{MP}{\Rightarrow} \alpha_{CFI_i}\left(r^{et.}_{CFI_i}\right) \\ 0 \le \alpha_{CFI_i}\left(r^{et.}_{CFI_i}\right) \le 1\,; \quad \sum_{i=1}^{n=21} \alpha_{CFI_i}\left(r^{et.}_{CFI_i}\right) = 1, \end{cases} \tag{3}$$

where $r^{et.}_{CFI_i},\ \alpha_{CFI_i}\left(r^{et.}_{CFI_i}\right)$ – rank insignia CFI_i in the reference GSP and its corresponding NWC.

However, referring to the IMO recommended qualitative (linguistic) criteria for hazard levels (HL) in shipping [13], we present them using the fuzzy mathematics methodology as a term set (T^S) of the corresponding linguistic variable (LV):

$$T^S(HL) = \overset{\tilde{R}_C}{Catastrophic} + \overset{\tilde{R}_{Sev.}}{Severe} + \overset{\tilde{R}_{Sig.}}{Significant} + \overset{\tilde{R}_{Mi}}{Minor} = \tilde{R}_C + \tilde{R}_{Sev.} + \tilde{R}_{Sig.} + \tilde{R}_{Mi}, \tag{4}$$

Where: $\tilde{R}_k$ – mark of the k-th linguistic assessment of the «HL» scale of the type (4), $k=\overline{1,\ K=4}$;

« + » – mark of logical combination of grades $\tilde{R}_k$ into a scale.

And since the ranking of scale scores (4) by danger is obvious:

$$\tilde{R}_C \succ \tilde{R}_{Sev.} \succ \tilde{R}_{Sig.} \succ \tilde{R}_{Mi}, \tag{5}$$

then this facilitates the use of the same MP to determine the NWC of the studied CFIs:

$$\begin{cases} CFI_i \Rightarrow HL_{ik}/\tilde{R}_{ik} \overset{MP}{\Rightarrow} \alpha_{CFI_i}\left(\tilde{R}_{ik}\right), \quad k=\overline{1,\ K=4} \\ 0 \le \alpha_{CFI_i}\left(\tilde{R}_{ik}\right) \le 1\,; \quad \sum_{k=1}^{K=4} \alpha_{CFI_i}\left(\tilde{R}_{ik}\right) = 1. \end{cases} \tag{6}$$

It is clear that the indicators HL_{ik} / $\tilde{R}_{ik}$ are determined by experts.

So, having indicators $\alpha_{CFI_i}\left(r^{et.}_{CFI_i}\right)$ і $\alpha_{CFI_i}\left(\tilde{R}_{ik}\right)$, there is a refined integrative hazard indicator for each studied CFI_i:

$$\varphi_{Haz.}(CFI_i) = \sqrt{\alpha_{CFI_i}\left(r^{et.}_{CFI_i}\right) \cdot \alpha_{CFI_i}\left(\tilde{R}_{ik}\right)}. \tag{7}$$

2. Qualimetry of the indicator $j_{\ Frec.}\left(ID\right)$. The same IMO document [14] defines not only qualitative (linguistic) indicators HL, but also the frequency levels of undesirable / dangerous events on the ship (Frequency's Level, - FL), which again, using the methodology of fuzzy mathematics,

will be presented in the form of T^S of the corresponding LV.

$$T^S(FL) = \overset{\tilde{R}_F}{Frequency} + \overset{\tilde{R}_{RP}}{Reasonably\ probable} + \overset{\tilde{R}_{R.}}{Remote} + \overset{\tilde{R}_{ER}}{Extremely\ remote} = \tilde{R}_F + \tilde{R}_{RP} + \tilde{R}_R + \tilde{R}_{ER}, \quad (8)$$

where $\tilde{R}_l$ – mark of the *l*-th linguistic assessment of the «FL» scale of the type (8), $l = \overline{1, L=4}$;

« + » – mark of logical combination of grades $\tilde{R}_l$ into a scale.

As we can see, the «FL» scale of the form (8) yields a trivial ranking of its ratings:

$$\tilde{R}_F \succ \tilde{R}_{RP} \succ \tilde{R}_R \succ \tilde{R}_{ER}, \quad (9)$$

which again opens up prospects for establishing the NWC of the scale components (8):

$$\begin{cases} CFI_i \Rightarrow FL_{il}/\tilde{R}_{il} \overset{MP}{\Rightarrow} \alpha_{CFI_i}(\tilde{R}_{il}), \quad l = \overline{1,\ L=4} \\ 0 \le \alpha_{CFI_i}(\tilde{R}_{il}) \le 1; \quad \sum_{l=1}^{L=4} \alpha_{CFI_i}(\tilde{R}_{il}) = 1. \end{cases} \quad (10)$$

Naturally, for every jth cadet-sailor ($j = \overline{1,\ m}$) a specific indicator of the frequency of explication of each should be established CFI_i: $\forall j: \quad \alpha_{CFI_i}\left(\tilde{R}_{il}^{(j)}\right)$.

3. Qualimetry of the indicator $j_{EI}(ID)$. However, each studied CFI_i in relation to a specific tested cadet sailor, it is recognized not only by the frequency of manifestation, but also by the degree of expressiveness (EI), which can also be assessed by the following linguistic scale:

$$\begin{aligned} T^S(EI) &= \overset{\tilde{R}_{VH}}{Very\ High} + \overset{\tilde{R}_H}{High} + \overset{\tilde{R}_A}{Averade}(Like\ Most, Normal) + \overset{\tilde{R}_L}{Low} + \overset{\tilde{R}_{VL}}{Very\ Low} = \\ &= \tilde{R}_{VH} + \tilde{R}_H + \tilde{R}_A + \tilde{R}_L + \tilde{R}_{VL}, \end{aligned} \quad (11)$$

where $\tilde{R}_p$ – mark of the p-th linguistic assessment of the «EI» scale of the type (11), $p = \overline{1,\ P=5}$;

« + » – mark of logical union of grades $\tilde{R}_p$ on a scale.

In scale (11) there is also a trivial ranking of her linguistic assessments:

$$\tilde{R}_{VH} \succ \tilde{R}_H \succ \tilde{R}_A \succ \tilde{R}_L \succ \tilde{R}_{VL} \quad (12)$$

which again allows us to apply the MP to determine the corresponding NWCs for the indicators of the CFI scale (11):

$$\begin{cases} CFI_i \Rightarrow EI_{CFI_i}/\tilde{R}_{ip} \overset{MP}{\Rightarrow} \alpha_{CFI_i}(\tilde{R}_p), \quad p = \overline{1,\ P=5} \\ 0 \le \alpha_{CFI_i}(\tilde{R}_p) \le 1, \quad \sum_{p=1}^{P=5} \alpha_{CFI_i}(\tilde{R}_p) = 1. \end{cases} \quad (13)$$

Thus, the normalized integrative indiscipline indicator of the j-th cadet sailor, associated with the explication CFI_i, will be determined as follows:

$$\begin{aligned} j_j(CFI_i) &= \sqrt[3]{a_{CFI_i}\left(\tilde{R}_l^{(j)}\right) \text{Ч} a_{CFI_i}\left(\tilde{R}_p^{(j)}\right) \text{Ч} j_{Haz.}(CFI_i)} = \\ &= \sqrt[3]{a_{CFI_i}\left(\tilde{R}_l^{(j)}\right) \text{Ч} a_{CFI_i}\left(\tilde{R}_p^{(j)}\right) \text{Ч} \sqrt{a_{CFI_i}\left(r_{CFI_i}^{et.}\right) \text{Ч} a_{CFI_i}\left(\tilde{R}_{ik}\right)}}. \end{aligned} \quad (14)$$

Then the integrative indicator of the level of indiscipline of the j-th cadet across the entire spectrum of the studied CFIs will be:

$$j_{j}(CFI) = \sqrt[n=21]{\sum_{i=1}^{n=21} j_{j}(CFI_i)} = \sqrt[n=21]{\sum_{i=1}^{n=21} \sqrt[3]{j_{Haz.}(CFI_i) \cdot \mu_{CFI_i}\left(\tilde{R}_l^{(j)}\right) \cdot \mu_{CFI_i}\left(\tilde{R}_p^{(j)}\right)}} = \quad (15)$$

$$= \sqrt[n=21]{\sum_{i=1}^{n=21} \sqrt[3]{\sqrt{a_{CFI_i}\left(r_{CFI}^{et.}\right) \cdot \mu_{CFI_i}\left(\tilde{R}_{ik}\right)} \cdot \sqrt{a_{CFI_i}\left(\tilde{R}_l^{(j)}\right) \cdot \mu_{CFI_i}\left(\tilde{R}_p^{(j)}\right)}}}$$

Let's fuzzify the indicators $j_{j}(CFI)$. To do this, we construct their distribution, assuming that it is normal (fig.). Applying further the methodology of fuzzy mathematics, including the modifier «very», we construct the T^S LV «degree of ID (DID)»:

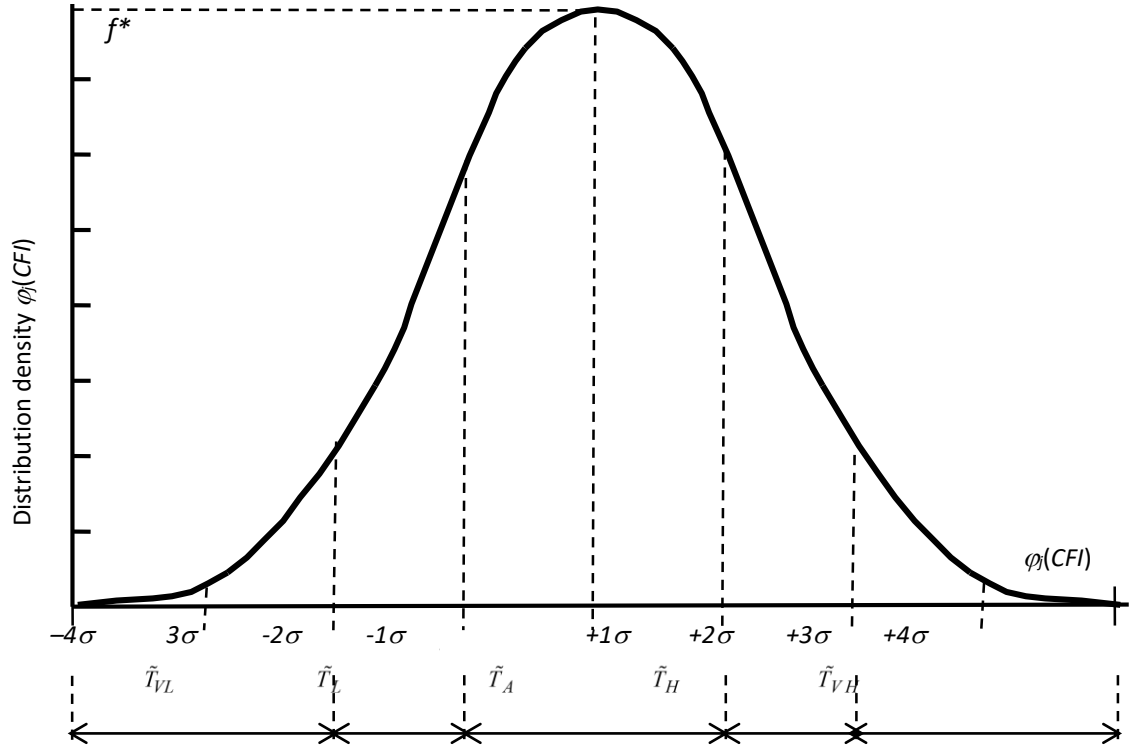


Fig. *Illustration of fuzzification of integral quantitative indicators of the degree of indiscipline of cadet sailors for the example of the normal law of their distribution*

$$T^S(DID) = \underset{\tilde{T}_{VH}}{Very\ High} + \underset{\tilde{T}_{V}}{High} + \underset{\tilde{T}_{A}}{Averade}\left(Like\ Most, Normal\right) + \underset{\tilde{T}_{L}}{Low} + \underset{\tilde{T}_{VL}}{Very\ Low} = \quad (16)$$

$$= \tilde{T}_{VH} + \tilde{T}_{H} + \tilde{T}_{A} + \tilde{T}_{L} + \tilde{T}_{VL},$$

Where $\tilde{T}_q$ – mark of the q-th linguistic assessment of the «DID» scale of the type (16), $q = \overline{1, Q=5}$;

« + » – mark of logical union of grades $\tilde{T}_q$ on a scale.

Taking into account the features of the normal distribution, the criteria for fuzzification / defuzzification of the integral indicators of the DID of cadet sailors are presented in Fig. Thus, a truly methodologically provided quantitative and qualitative analysis of the integrative indicators of their ID in the educational process.

Conclusions. Summarizing the new scientific results obtained and presented in this publication on the development of theoretical foundations of the methodology for obtaining an integrative assessment of the ID of cadet sailors, we draw attention to the following more important provisions.

1. Indiscipline is a multifaceted and relevant phenomenon that can negatively affect not only the educational process of cadet-marines but also (NS). A list of $n = 21$ CFIs has been formulated, which currently provides a more comprehensive and thorough representation of the phenomenon in the educational process. Using examples of real accidents and disasters, the potential for ID to transition from the educational process into the professional activities of seafarers has been demonstrated.

2. It has been established that the integrative indicator of ID, which uniquely possesses the systemic property of emergence, must encompass the hazard indicator of CFI $\varphi_{Haz.}(ID)$, their frequency of manifestation $\varphi_{Freq.}(ID)$ та EI $\varphi_{CB}(ID)$ for each cadet-mariner. In turn, the $\varphi_{Haz.}(ID)$ indicator is composite and generalizes both the hazard of CFI_i,which depends on its rank in the "reference" GPS, and the hazard determined by IMO criteria. Similarly, the $\varphi_{Freq.}(ID)$. indicator is determined through expert evaluation based on IMO criteria. Using the «very» modifier, a linguistic scale for the qualimetry of the $\varphi_{EI}(ID)$ indicator has been constructed.

3. The possibility of applying the mathematical MP, also known as the «leader problem» has been substantiated for determining the quantitative NWC of the indicators $\varphi_{Haz.}(ID)$, $\varphi_{Freq.}(ID)$ and $\varphi_{EI}(ID)$, and, consequently, the integrative indicators both for individual traits $\varphi_j(CFI_i)$, and across their entire spectrum $\varphi_j(CFI)$. In other words, partial and integrative ID indicators are measured on an absolute scale $Sc=[0, 1]$, which facilitates their clear representation and interpretation in human cognition.

4. The task of obtaining an integrative assessment of ID for cadet-marines is considered from the perspective of systems analysis as solving a single-step DM problem with a vector efficiency indicator. The multiplicative aggregation of partial ID indicators is substantiated, and its inherent advantages are presented.

5. Recommendations have been developed for the reverse fuzzification of integrative ID indicators in the educational process, ensuring their comprehensive quantitative and qualitative analysis.

6. Thus, a generalized conclusion can be made that the objectives of this publication have been achieved, and the goal has been accomplished. Further research should be conducted in the following directions (not ranked):

– Practical implementation of the theoretical provisions we have developed for the qualimetry of ID in cadet-marines;

– Development of countermeasures for correcting ID in cadet-marines, including through the use of professional situational exercises.

References

1. Allianz Global Corporate & Specialty (AGCS). Safety and Shipping Review 2023. Available online:ttps://commercial.allianz.com/content/dam/onemarketing/commercial/commercial/reports/AGCS-Safety-Shipping-Review-2023.pdf
2. EMSA_Annual Overview of Marine Casualties and Incidents 2024. Available online: https://safety4sea.com/wp-content/uploads/2024/12/EMSA-Annual-Overview-of-Marine-Casualties-and-Incidents-2024_11.pdf
3. MAIB annual reports 2018-2023. Available online: https://www.maib.md/en/publicarea-informatiei/raportul-anual-al-conducerii-bancii
4. Equasis Statistics - The world fleet 2022. https://www.emsa.europa.eu/damage-stability-study/77/472.html

5. Zadeh, L.A. The concept of a lingustic variable and its application to approximate reasoning // Information Sciences, Volume 8, Issue 3, 1975, PP. 199-249.
6. Reva O.M. Pilotna otsinka stavlennia kursantiv-sudnovodiiv do nedystsyplinovanosti / O.M. Reva, K.V. Kyrychenko, P.P. Mamenko, A.O. Sokol, D.I. Savolov // Problemy staloho rozvytku morskoi haluzi (PSDMI – 2023) : m-ly III Mzhnar. nauk.-prakt. konf., - Kherson, 22 lystopada 2023, - Kherson : KhDMA, 2023. – S.71-75 (182).
7. Pilotna otsinka stavlennia naukovo-pedahohichnykh pratsivnykiv do nedystsyplinovanosti kursantiv moriakiv / O.M. Reva O.M., K.V. Kyrychenko, P.P. Mamenko, L.A. Sahanovska, D.I. Savolov // Transport: nauka ta praktyka: materialy III Mizhnar. nauk.-prakt. konf., - Odesa, 16 travnia 2024. – S. 150-155.
8. Oleksii Reva. Forecasting the impact of indiscipline among cadets-sailors on maritime safety and proactive ways of its corerction / Oleksii Reva, Vasyl Cherniavsky, Pavlo Mamenko, Konstiantyn Kyrychenko // Book of Abstracts of the 10th International Ergonomics Conference - ERGONOMICS 2024, December 5 – 6, 2024, Zagreb, Croatia, p. 47. ISSN: 2757-0525 (USB)
9. Heseleva N.V. Emerdzhentni vlastyvosti system / N.V. Heseleva, N.M. Zaritska // BIZNESINFORM, 2013. - № 7 – S. 93-97.
10. Reva, O. Multiplication of Air Accidents Frequency and Hazard Desirability Coefficients for ICAO Safety Risk Tolerability Matrix Solution [Text] / O. Reva, S. Borsuk, V. Kharchenko // Logistics and Transport, - Poland, Wroclaw: The International University of Logistics and Transport, 2015. - No 1 (25) – p. 63-69.
11. Rozvytok tekhnolohii intehralnoi otsinky nedystsyplinovanosti kursantiv-maibutnikh operatoriv «perednoho kraiu» skladnykh transportnykh system keruvannia / O.M. Reva, V.V. Kamyshyn, S.O. Zavhorodnii, L.A. Sahanovska, K.V. Kyrychenko // Suchasni enerhetychni ustanovky na transporti i tekhnolohii ta obladnannia dlia yikh obsluhovuvannia (SEUTTOO-2022) : m-ly 13-yi Mizhnar. nauk.-prak. konf., - Kherson, - 7-9 veresnia 2022 r., – Kherson : KhDMA, 2022. - c. 190-192.
12. Teoretychni osnovy metodolohii intehratyvnoi otsinky stupenia investytsiinoi pryvablyvosti obiektiv intelektualnoi vlasnosti / O.M. Reva, S.P. Borsuk, S.V. Zasanska, S.V. Yarotskyi // Nauka, tekhnolohii, innovatsii: nauk. zh. – Kyiv: UkrINTEI, 2021. -№ 1. – s. 3-16. Naukometrychne vydannia: ICI World of Journals ta Google Scholar. http//doi.org/2520-6524-2021-1-01
13. IMO MSC-MEPC.2/Cir.12/Rev. 2. Revised Guidelines for Formal Safety Assessment (FSA) for Use in IMO Rule-Making Process, 2018)
14. Liudskyi chynnyk: Metodolohiia proaktyvnoi kvalymetrii zahroz pomylok aviadyspetcheriv: monohrafiia / O.M. Reva, V.V. Kamyshyn, S.P. Borsuk, A.M. Nevynitsyn, V.A. Shulhin; za red. O.M. Revy. – Kyiv.: UkrINTEI, 2020, - 126 s.
15. Systemno-informatsiina metodolohiia proaktyvnoi kvalimetrii vplyvu liudskoho chynnyka na pryiniattia rishen v aeronavihatsiinykh systemakh: monohrafiia / O.M. Reva, S.P. Borsuk, V.V. Kamyshyn, V.A. Shulhin, V.D. Parkhomenko, V.O. Lypchanskyi; za nauk. red. O. M. Revy. – K/: UkrINTEI, 2019. – 166 s.
16. Criteria Indicators of the Consistency of Air Traffic Controllers' Preferences on a Set of Characteristic Errors / Oleksii Reva (&), Volodimir Kamyshyn, Andrii Nevynitsyn, Valerii Shulgin, and Serhiy Nedbay // Advances in Human Aspects of Transportation Proceedings of the AHFE 2020: Virtual Conference on Human Aspects of Transportation, July 16–20, 2020, Springer, USA. – P. 617-623.
17. Harrington E.C. Desirability Function / E.C. Harrington. // Industrial Quality Control, - April 1965. – V. 21. – N 10. – P. 494-498.
18. Metodolohiia systemno-informatsiinoi kvalimetrii investytsiinoi pryvablyvosti obiektiv ekspertyzy: monohrafiia / O.M. Reva, V.V. Kamyshyn, S.P. Borsuk, S.V. Yarotskyi, L. A.

Sahanovska. - Kyiv : UkrINTEI, 2023. – 150 c.
19. Nasirov Sh. Sh. Bahatokrokova protsedura vyiavlennia statystychno-uzghodzhenoi systemy perevah aviadyspetcheriv na mnozhyni kharakternykh pomylok yikh diialnosti / Sh. Sh. Nasirov // Komunalne hospodarstvo mist : naukovo-tekhnichnyi zbirnyk. – Vyp. 105. – Ser. Tekhnichni nauky i arkhitektura. - Kh. : KhNAMH, 2012. – S. 461-475.
20. Reva O. M. Tekhnolohiia usunennia statystychnoi pokhybky «toho, khto vyzhyv», vyznachenni u stavlenni aviadyspetcheriv do nebezpek pomylok / O. M. Reva, S. P. Borsuk, V. V. Kamyshyn // Aktualni problemy bezpeky na transporti, v enerhetytsi, infrastrukturi : zb. m-liv I Mizhnar. nauk.-prakt. konf., - s.m.t. Lazurne, 8-11 veresnia 2021 roku, - Kherson : Morskyi instytut imeni kontr-admirala F. F. Ushakova, 2021. – S. 112-116.
21. Reva, O., Kamyshyn, V., Borsuk, S., Yarotskyii S., & Avramchuk, B. (2023). Eliminating " systematic survivorship bias" in the attitude of specialists to the significance of investment attractive features of examined objects. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 6 / 13 (126), 54–64. https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.292875.
22. Formuvannia spektru systemno-infomatsiinykh kryteriiv uzghodzhenosti ekspertnykh dumok / O.M. Reva, V.V. Kamyshyn, K.V. Kyrychenko, S.V. Yarotskyi, L.A. Sahanovska // Nauka, tekhnolohii, innovatsii: nauk. zh., - 2023. - № 2 (26). - S. 26-39. http://doi.org/10.35668/2520-6524-2023-2-04/ Naukometrychne vydannia: ICI World of Journals, Google Scholar.
23. Kemeny, John G., and Snell J. Laurie. Mathematical Modrls in the social Sciences. – Blaisdell Publishing Company, 1963. – 184 p.
24. Reva, O. M. Efektyvnist mediany Kemeni u otsiniuvanni hrupovoho stavlennia aviadyspetcheriv do nebezpeky kharakternykh pomylok / O. M. Reva, Sh. Sh. Nasirov, B. M. Mirzoiev // Bezpeka zhyttiediialnosti na transporti ta vyrobnytstvi: osvita, nauka, praktyka (SLA) : m-ly V Mizhnar. nauk.-prakt. konf., - Kherson, 13-15 zhovtnia 2018 r., - Kherson : KhDMA, 2018. – S. 191-195
25. Systemnyi analiz: mediana Kemeni yak optymizatsiina model hrupovoi systemy perevah aviadyspetcheriv na nebezpekakh kharakternykh pomylok / O. M. Reva, V. V. Kamyshyn, V. A. Shulhin, A. M. Nevynitsyn // Nauka, tekhnolohii, innovatsii : nauk. zh. – Kyiv : UkrINTEI, 2020. - № 3. – C. 55-64. Naukometrichne vydannia: ICI World of Journals ta Google Scholar. http://doi.org/10.35668/2520-6524-2020-3-06
26. Vstanovlennia «etalonnoi» systemy perevah aviadyspetcheriv na spektri kharakternykh pomylok / O. M. Reva, S. P. Borsuk, S. O. Zavhorodnii, L. A. Sahanovska, S. V. Zasanska, Sh. Sh. Nasirov // Problemy staloho rozvytku morskoho transportu PSDMI-21 : tezy dopov. Pershoi Mizhnar. nauk.-prakt. konf., - Kherson, 3-5 lystopada 2021 r., - Kherson : KhDMA, 2021. – S. 75-80.
27. Optymizatsiia system perevah fakhivtsiv na mnozhyni rys investytsiinoi pryvablyvosti obiektiv ekspertyzy / O.M. Reva, V.V. Kamyshyn, S.P. Borsuk, S.V. Yarotskyi, Yu.A. Loshakova // Nauka, tekhnolohii, innovatsii: nauk. zh., -2024. -№ 4 (32). - S.71-82. DOI: https://doi.org/-10.35668/2520-6524-2024-4-08.
28. Defazzyfykatsyia lynhvystycheskykh pokazatelei nezhelatelnыkh sobытyi dlia poluchenyia ykh yntehratyvnoi otsenky (na prymere kharakternukh oshybok avyadyspetcherov) / A. N. Reva, Sh. Sh. Nasyrov, B.M. Myrzoev, S.V. Nedbai // KhKhIII Mizhnarodnyi konhres dvyhunobudivnykiv : tezy dopov., Koblevo, 4-9 veresnia 2018 r., - Kh. : Nats. Aerokosmichnyi un-t «Khark. aviats. in-t», 2018. – S. 74.

The publication is recommended for publication by the Decision of the Academic Council of the Faculty of Navigation of the Kherson State Maritime Academy. Minutes of March 28, 2025 No. 7.

Məqalə qəbul olunub: 25.04.25
Tövsiyə edib: dos. Kəlbiyev F.M.

UOT 656.612

AKTİV VƏ PASSİV TƏHLÜKƏSİZLİK

Rüstəmov Z.Ə.

"Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası" PHŞ
AZ1000, Bakı şəh., Z. Əliyeva küç., 18
E-mail: rzao@mail.ru

Xülasə. *Məqalədə gəminin təhlükəsiz istismar, konstruksiya, texniki tapşırıq, layihələndirmə, tikilmə, eləcə də onun istismarında normativ sənədlərin reallığı nəzərə alınaraq, iki yanaşmadan təhlil olunur. Beləliklə, burada təhlükəsizliyin təmini məqsədi ilə qəzanın baş verməməsi və verdikdən sonra xəsarət-ağırlıq dərəcəsinin minimizasiyası üzrə görülən işlər və tədbirlər aktiv və passiv təhlükəsizlik kimi tədqiq olunmuşdur.*

Abstract. *The article analyzes the safe operation of the vessel from two approaches, taking into account the reality of its construction, technical construction, design, construction, as well as regulatory documents for its operation. Thus, the work and measures taken to prevent accidents and minimize the severity of injuries after their occurrence, in order to ensure safety, were studied as active and passive safety.*

Аннотация. *В статье анализируется безопасная эксплуатация судна с двух подходов, учитывающих реальность его постройки, техническое задание, проектирование, конструкцию, а также нормативные документы по его эксплуатации. Таким образом, здесь работа и меры, принимаемые для предотвращения несчастных случаев и минимизации тяжести травм после их возникновения, в целях обеспечения безопасности, были изучены как активная и пассивная безопасность.*

Açar sözlər: *aktiv, passiv, qəza, sükan, lövbər, energetik qurğular, təhlükəsizlik*

Key words*: active, passive, emergency, steering, anchor, power plants, safety*

Ключевые слова: *активный, пассивный, авария, рулевая, якорь, энергетические установки, безопасность*

Giriş. Beynəlxalq nəqliyyat sistemı daşımaların effektivliyi baxımından nəqliyyat dəhlizlərinin və qovşaqlarının yaradılmasını tələb edir və reallaşdırır. Bu baxımdan kifayət qədər şəhərlərdə nəqliyyat qovşaqları və ya əksinə nəqliyyat qovşaqlarında şəhərlər yaranmış, iriləşmiş, inkişaf etmiş və bu gün də nəqliyyat fəaliyyətindən gələn gəlirdən bəhrələnməkdədir [1,2].

Beləliklə, nəqliyyat iqtisadi fəaliyyətin əsasını təşkıl etməklə onun ayrılmaz hissəsinə çevrilmişdir. Gündən-günə nəqliyyata artan ehtiyac ünsiyyət, əlaqə, təmas, mübadilə və ticarət ehtiyacından formalaşır. Nəqliyyat sisteminin yaradılması və təkmilləşdirilməsi ilə elmdə, sənayedə, tikintidə, kənd təsərrüfatında və ümumən bütün sahələr üzrə ən yaxşı və mütərəqqi nailiyyətlər həyata keçirilir.

İstənilən ölkənin, iqtisadiyyatının sabitliyi və inkişafı onun nəqliyyat sisteminin inkişafı ilə başlayır. Bu zaman əsas məsələ qabaqcıl ölkələrin inkişaf səviyyəsinə yüksəlmək və dünya nəqliyyat sisteminə, inteqrasiyaya nail olmaqdır. Məhz belə inkişaf fərdin maraqlarının maksimum dərəcədə təmin edilməsinə yönəldilməsinin, eləcə də, ölkənin bütün istehsal sahələrinin, strukturlarının və əhalisinin lazımi həcmdə və keyfiyyətdə nəqliyyat xidmətləri ilə təmin edilməsinin, yəni inkişafın, sivilizasiyanın əsasını təşkil edəcək.

Nəticə etibarı ilə iqtisadi fəaliyyətin məqsədi, bəşəriyyətin – insanların «rahatlığının» yaradılması üçün tələbatın təminatı sayılır. «Rahatlıq» - iqtisadi baxımdan tələbatı təmin edən əmtəə və xidmətin ümumiləşdirilmiş adı kimi qəbul olunur. Qeyd olunmuş tələbatın təmini sırasına: ərzaq

(qida məhsulları) – qidalanmanın təmininə; geyim – istiliyin, iqlim dəyişmələrinə uyğunlaşmanın təmininə; tikililər – müvafiq istehsal və yaşayış şəraitinin təmininə; nəqliyyat – fiziki yerdəyişmə təmininə yönəldilmişlər və c. daxildir.

Bu baxımdan müasir cəmiyyətdə bəşəriyyətin – insanların yalnız cüzi bir sahə üzrə tələbini nəqliyyatsız təmin etmək mümkün olduğunu söyləmək əsaslıdır. Ümumən nəqliyyat ya məhsulları istifadə sahəsinə, ya da insanları məşğul, istehsal və xidmət sahələrinə çatdırır.

Televiziya ekranları bizi dünyanın əl çatmaz yerlərinə aparır, biz orada müvafiq həyat tərzi ilə yaşayan insanları və şəraiti görürük. Lakin, bundan fərqli olaraq nəqliyyat «səmərəli fəza» formalaşdırır. Nəticədə, görüntülər, əl çatmaz resurslar bəşəriyyətin səmərəli istifadəsinə yönəldilmiş olur. Beləliklə, nəqliyyat vasitəsi ilə biz görüntüləri maddi və mənəvi varlıqla dəyişdirmə iqtidarında oluruq

Nəqliyyatın yüksək inkişaf tempi bataqlıqların şəhərlərə, dünyanın bir çox təbiət guşələrinin turist və istirahət sahələrinə çevrilməsini əhəmiyyətli dərəcədə sürətləndirmişdir. Nəqliyyatda sürət artımı dünyanın bir qütbündə istehsal olunmuş məhsulun ertəsi günü digər qütbünə çatdırılmasına tam şərait yaratmışdır. Nəqliyyat təbii resursları coğrafi məhdudiyyətlərdən azad edir. Bir sözlə nəqliyyat məhsulun və insanların yerdəyişməsini təmin etməklə cəmiyyətin tələb və tələbat səviyyəsini yüksəldən əsas vasitəyə çevrilmişdir.

Qeyd olunanlardan formalaşaraq "Zəngəzur dəhlizinin" reallığı istiqamətində elmi-nəzəri tədqiqi yanaşma və görülən tədbirlər üzrə Azərbaycan Respublikasının rəhbərliyinin uzaq görən siyasəti, bir çoxları üçün gec olsa da, özünün ümumdünya əhəmiyyətini tez və daha sürətlə sübuta yetirəcək.

Respublika rəhbərinin "Zəngəzur dəhlizinin" ümumdünya əhəmiyyətini öncədən bilərəkdən və görərəkdən, çox şaxəli sədlərə baxmadan inadkarlıq ilə yaradılması və istifadəyə verilməsi istiqamətində aparılan siyasəti xüsusi təqdirə layiqdir. Bu halın regional məsələdən daha da, yüksək səviyyəyə qalxaraq ümumdünya əhəmiyyətli məsələ olduğu danılmazdır. Təəssüflər olsun ki, "Zəngəzur dəhlizi" istifadəyə verildikdən sonra bir çox dünya siyasətçiləri, süni sədlərinin əsassız olduğu anlamı onlara xatırladılsa da, çiyinlərini atmaqla kifayətlənəcəklər. Yalnız dahiliyə nəsib olan şəxsiyyətlər göstərilən tədbirin ümumdünya əhəmiyyətliyini görür və göstərərək tarixə imza atacaqlar.

Əsas hissə. Məlumdur baxışlar müxtəlifdir, bəziləri *"Axmaq öz səhvi üzərində öyrənər"* fikrini əsas tutduğu halda, Çin xalqına məxsus olan atalar sözləri həqiqəti anlamağa və reallığa daha üstünlük verir. Çinlilərin dediklərinə əsasən: *"Ağıllı insan öz səhvi, daha ağıllı insan isə başqalarının səhvi üzərində öyrənər"*. Bu həqiqətdir, səfeh insan öyrənməyə qadir deyil, bundan fərqli *"Ağıllı insan səhvinə biganə qalmayaraq nəticə çıxaran və öyrənəndir"*. Lakin, *"Daha ağıllı isə başqalarının səhvindən öyrənməklə, müvafiq nəticələrə yiyələnərək onların ümumən bəşəriyyət tərəfindən təkrarlanmaması istiqamətində də, tədbirlərin görülməsi"*nin təmininə çalışır.

Bu baxımdan 10 illər, bəlkə də əsirlər keçməklə hissə-hissə tədqiqinə, öyrənilməsinə və inkişafına baxmayaraq bu gün də aktual sayılan, ümumən nəqliyyatda təhlükəsinin təmini, qəzadan sovuşma və qəza fəsadlarının minimizasiyası bütün reallıqları ilə daim aktualdır.

Qəzadan sonra onun acı ağrılarının-yaralarının, ağır fəsadlarının, dəymiş ziyanın səngiməsi və bərpası daha çox həcmli iş-zəhmət və xərc tələb edir, nəinki qəzanın baş verməməsi üçün görülən qabaqlayıcı tədbirlər və işlər (H.Ə.Əliyev).

Dəniz nəqliyyatında qəzaların baş vermə səbəbləri, təhlili, nəticələrin çıxarılması, müvafiq rəhbər və normativ sənədlərin işlənərək tətbiqi bilavasitə təhlükəsiz üzüşə təminatlığı formalaşdırır. Bu zaman qarşıya qoyulan məsələnin həllinin praktik tərəfi, gəminin istismar dövrü ərzindəki idarəetmə üslubu və tətbiqi əsasında mənimsənilir. Beləliklə qeyd edə bilərik ki, gəminin təhlükəsiz idarə olunması aşağıdakıların öyrənilməsi, tədqiqi və tətbiqi əsasında formalaşır: naviqasiya, lotsiya, dəniz naviqasiya avadanlıqları, gəmi sürücülüyünün texniki vasitələri, naviqasiya hidrometeorologiyası, dəniz astronomiyası və s.

Qeyd olunanlara əsaslanaraq texniki yanaşma olaraq "Gəminin idarə olunması" anlayışını tam mənada formalaşdırmağa çalışaq: *"Gəminin verilmiş trayektoriya üzrə (düzxətli, əyri xətli) və sürətlə hərəkətinin təmininə onun idarə olunması deyilir"*.

Araşdırmaları davam etdirərək qeyd edək ki, tam təhlükəsiz və ya qəzasız istismar olunan nəqliyyat növü mövcud deyil. Hər bir hal nisbi olduğu kimi, nəqliyyat növləri arasında təhlükəsiz istismar məfhumu da, nisbi xarakter daşıyır. Gələcək tədqiqatlar nəqliyyatda təhlükəsizlik baxımından iki istiqamət üzrə, yəni qəzadan sovuşma imkanlığı və qəzadan sonra dərəcəsinin minimizasiya mümkünlüyü üzərində qurulur. Buna əsaslanaraq tədqiqatlar ilə məlum olmuşdur ki, nəqliyyat vasitələrinin təhlükəsizliyinin təmininə yönəldilmiş bütün tədbirləri iki qrup üzrə formalaşdırmaq olar:

1. **Nəqliyyatın aktiv təhlükəsizliyi.**
2. **Nəqliyyatın passiv təhlükəsizliyi.**

Formalaşdırılmış qruplar üzrə istifadə olunan terminologiyaya aydınlıq gətirmək üçün, ilk növbədə onların tərifi texniki və hüquqi yanaşmanı cəm şəkildə nəzərə almaq ilə təqdim olunur [1].

Aktiv təhlükəsizlik *– bura qəzanın baş verməməsi, qarşısının alınması, yan keçməsi və ya sovuşması məqsədli konstruksiya ilə nəzərdə tutulmuş mexanizmlər, qurğular, sistemlər, operativ müdaxilə vasitələri, eləcə də texnoloji proseslər, rəhbər-normativ sənədlər ilə təsdiqini tapmış tələblər və s. aid edilir.*

Passiv təhlükəsizlik *– bura qəzadan sonra onun ağırlıq-xəsarət dərəcəsinin aşağı olmasına, azaldılmasına, minimizasiyasına yönəldilmiş konstruksiya ilə nəzərdə tutulmuş elementlər, mexanizmlər, qurğular, sistemlər, operativ müdaxilə vasitələri, eləcə də texnoloji proseslər, rəhbər-normativ sənədlər ilə təsdiqini tapmış tələblər və s. aid edilir.*

Birinci halda nəqliyyat növündən asılı olmayaraq aktiv təhlükəsizliyə aiddir: ümumən sükun idarəetmə sistemi və mexanizmi, tormoz sistemi, güc-hərəkət sistemi, əlavə tormozlama və istiqamət dəyişmə sistemləri, xəbərdarlıq edici və məlumat verici cihazlar, təhlükəsizliyin təmini üzrə rəhbər və normativ sənədlər, təlimatlar və qaydalar və s.

Nəqliyyat vasitəsinin aktiv təhlükəsizliyi məqsədli, konstruksiyada nəzərdə tutulmuşlardan birincisi sükan idarəetmə sistemidir (şək.1). O, vəhdət təşkil edən sükan mexanizmindən, intiqalından, istiqamətləndirici, yönəldici və digər köməkçi elementlərdən ibarət olmaqla idarəedici, operator tərəfindən gəminin verilmiş istiqamət üzrə hərəkətin yönəldilməsi məqsədlidir (şək.2.). Sükan idarəetmə sisteminə əsasən aşağıdakı tələblər aid edilir [3,4]:

1. Hərəkətin verilmiş trayektoriya üzrə təmini;
2. İdarə olunmaya tətbiq qüvvəsi normadan artıq olmamalıdır;
3. Son vəziyyətlərə qədər döndərmə həddi normadan artıq olmamalıdır;
4. Sistemdə istifadə olunacaq gücləndiricilərin nasazlığı idarəetmə mümkünlüyü.



Şəkil 1. *Sükan idarəetmə komanda-nəzarət yeri*

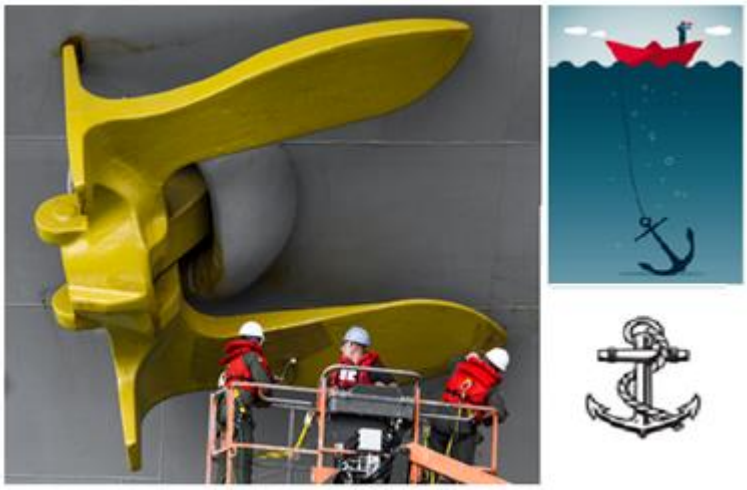
Təyinatından və yerləşmə yerindın asılı olaraq sükan idarəetmə sistemi tələblərinə aşağıdakılar da əlavə oluna bilər.

1. İstismar etibarlılığı, ağır istismar şəraitinə dözümlülüyü;
2. İdarəolunma rahatlığı və təhlükəsizliyi;
3. Kompakt ölçülüyü kiçik kütləliyi;
4. Xidmət və servis sadəliyi;
5. Tələb olunan məsafədə yerləşdirilmə imkanlığı, ehtiyacdan formalaşaraq təkrarlanma və bir neçə yerdən effektiv idarə olunma mümkünlüyü.



Şəkil 2. *Müxtəlif konstruksiyalı sükan idarəetmə sistemi*

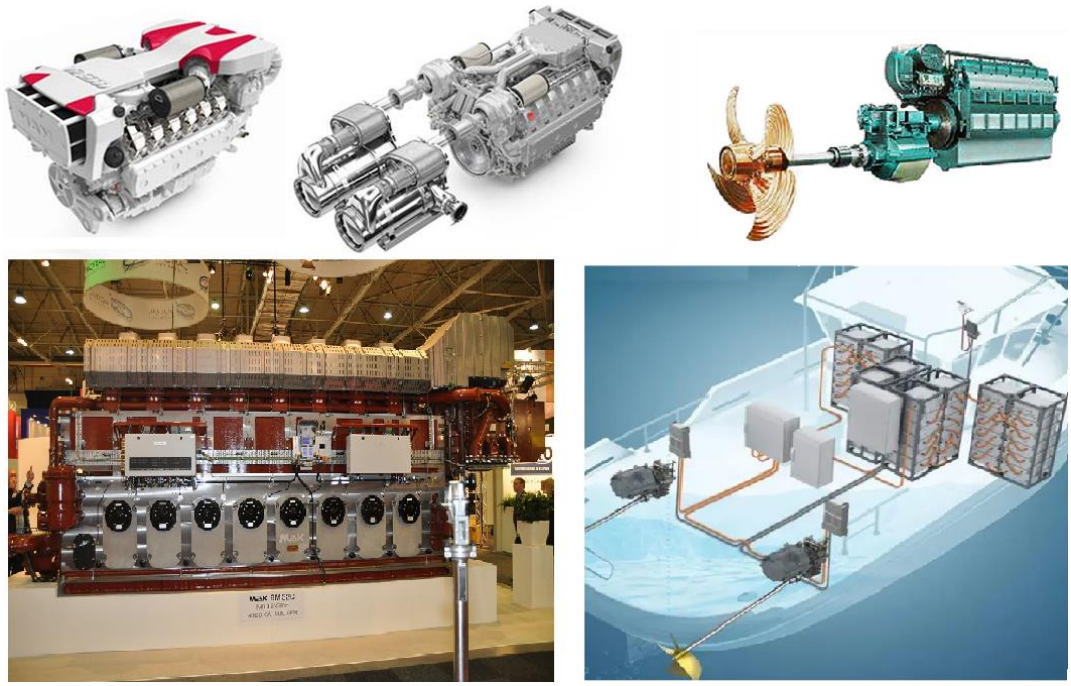
Gəmi konstruksiyasında nəzərdə tutulmuş digər aktiv təhlükəsizlik qurğusu lövbər sistemidir. Lövbər (akkeri - latın: ancora - yunanca) gəmini, sualtı qayığı, ponton körpünü, salı və ya digər üzən obyekti zəncir və ya kanat birləşməsi vasitəsilə bir yerdə tutub saxlamaq üçün nəzərdə tutulmuş xüsusi formalı tökmə, döymə və ya qaynaqlı konstruksiyadır. Ədəbiyyatlarda lövbərin tətbiqində əsas məqsədin, gəminin sabitləşdirilməsi və suda hərəkətinin məhdudlaşdırması niyyətli daşımaqla, tormozlama qurğusu olduğu göstərilir (şək.3).



Şəkil 3. *Gəmi lövbər sistemi*

Lövbərin yerdəyişmədən və ya torpaqla ilişmədən ayrılmadan qəbul edə biləcəyi qüvvəyə "tutma qüvvəsi" deyilir. Tutma qüvvəsinin lövbərin çəkisinə olan nisbəti, tutma qüvvəsi əmsalı adlanılır ki, bundan da sistem effektivliyinin qiymətləndirilməsində istifadə olunur. Lövbər ölçülərinin təyini üçün müxtəlif üsullar mövcuddur.

Növbəti konstruksiya ilə nəzərdə tutulmuş gəmi aktiv təhlükəsizlik qrupuna aid olan gəmi baş və köməkçi mühərriklər, energetik qurğuları və intiqalı sistemidir (şək. 4). Güc qurğusunun idarə olunması üçün üç yer nəzərdə tutulur, kapitan körpüsü, işə salma məntəqəsi və maşın bölməsi. Sistemin idarə olunmasında ən zəif kapitan körpüsü ən güclü isə maşın bölməsi sayələr. Bildiyimiz kimi gəmi, mühərrikdən bəhrələnən, avar vintlərinin fırlanma istiqamətindən və bucaq sürətindən asılı olaraq verilmiş sürət (dəyişən) və istiqamət (irəli-geri) üzrə hərəkətə gətirilir.



Şəkil 4. *Gəmi energetik qurğuları sistemi*

Güc-qurğu sistemi baxımından gəminin tormozu onun avar vintidir ki, bu zaman tormozlanma vintin hərəkət istiqamətinin əksinə fırlanması hesabına təmin olunur. Gəmi tam dayandıqdan sonra avar vintinin davamlı fırlanması gəminin əks istiqamətdə hərəkətinə səbəb olur. Beləliklə, vintin fırlanma reversivliyi ilə gəminin tam dayanması təmin olunduqda vintin hərəkəti məhdudlaşdırılır və tormozlanma təmin olunur.

Gəminin təhlükəsiz istismarı və eləcə də toqquşmadan sovuşması gəminin tormozlanması, yavaşıma-sürətlənərək hadisədən meyllənməsi, yan keçməsi mühərrik-avar vinti sistemi hesabına mümkün sayılır.

Yuxarıda qeyd olunanlara əsaslanaraq qeyd etmək olar ki, gəmidə konstruksiya ilə nəzərdə tutulmuş sükan, lövbər və güc qurğu sistemləri məhz gəminin aktiv təhlükəsizliyi sistemini verilmiş funksiyaları həddində təmin etməyə qadirdir, əgər idarə edici operator müvafiq təlimatlara sahibdir.

Bu gün gəmi layihələndirilməsində, tikilməsində və idarə olunmasında, sürücülükdə kifayət qədər elmi-texniki proqres mövcuddur. Elm-texnikanın ən yüksək nailiyyətlərindən, yüksək texnologiyalardan burada geniş istifadə olunur. Dəniz naviqasiyası cihaz sistemində əsaslı dərəcədə inkişaf, elektron kartoqraf, peyk naviqasiyası, idarəetmənin təkmilləşməsi, energetik qurğuların işinə nəzarət sistemlər və s. gəmi hadisələrinin qarşısının alınmasına yönəldilmiş tədbirlərdəndir. Tətbiq

olunmuş peyk GPS sistemi 100-dən 100 dəqiqlik ilə gəminin və gəmilərin yerini təyin etməyə imkan verir.

Su nəqliyyatında qəzalara səbəb olmuş "insan amili" altında özünə yer tapan qəza və qəza halları məsul işçinin nəzəri-praktiki biliyin kifayətsiliyi, dənizçinin yorğunluğu, qeyri səlahiyyətliliyi, məsuliyyətsizliyi və s. hallardır. Bu zaman naviqasiya təhlükəsi və bundan sovuşma üçün gəminin idarə olunması, sürücülüyün texniki vasitələrindən vaxtında, düzgün, dəqiq və səlis davranmama, istifadə olunmama faktlarının da mövcudluğu nəzərə alınır. Beləliklə hüquqi baxımdan göstərilən faktlar üzrə rəhbər və normativ sənədlərə riayət olunsaydı qəzanın sovuşması ehtimalı yüksək idi. SOLAS-74 (Dənizdə insan həyatının mühafizəsinə dair Beynəlxalq Konvensiya), 1966-cı il "Yük markası" üzrə beynəlxalq konvensiya, "Dənizdə gəmilərin toqquşmasının qarşısının alınmasına dair beynəlxalq qaydalar haqqında Konvensiya" bu və bu xüsusiyyətli qəzaların sovuşmasının tənini məqsədli beynəlxalq rəhbər-normativ sənədlər hüquqi sənəd olmaqla aktiv təhlükəsizliyə aid edilə bilər.

Qeyd etmək lazımdır ki, bir çox yüklərin su nəqliyyat vasitələrində daşınması tələblərinə nəzər saldıqda görürük ki, bunlar da bilavasitə gəmilərin istismar salamatlığı və təhlükəsizliyinə əsaslanaraq formalşdırılıb. Daşıma tələbləri üzrə normativ sənədlər və yüklərin gəmidə yer dəyişməsi ilə qəza hallarına əsaslanaraq qətiyyətlə qeyd etmək olar ki, yükün uyğunluğu, gəmi üzrə bölüşdürülməsi, yerləşdirilməsi və bərkidilməsi məhz qəzadan sovuşma məqsədli olmaqla aktiv təhlükəsizliyə aid edilir (şək. 5).



Şəkil 5. *Su nəqliyyat qəzalarında "insan faktoru"*

Aktiv təhlükəsizliyin bilavasitə qəzadan sovuşma təyinatlı olduğuna əsaslanaraq, passiv təhlükəsizliyə də qismən aydınlıq gətirərək bu istiqamətdə tədqiqatları davam edildiyini qeyd etməklə nəticəni formalaşdıraq.

Qeyd olunduğu kimi *"passiv təhlükəsizlik"* qəzadan sonra onun ağırlıq-xəsarət dərəcəsinin aşağı olmasına, azaldılmasına, minimizasiyasına yönəldilmiş konstruksiya ilə nəzərdə tutulmuşlar, gəminin və heyətin salamatlığı üzrə mübarizə metod və rəhbər-normativ sənədlər aid edilir (şək.6).

Qısa bir təhlil, gündəlik həyatımızda istismarçısı olduğumuz avtomobil nəqliyyatında də istifadəsi məcburi sayılan "təhlükəsizlik kəmərləri" qəzadan sovuşmaya yox, bilavasitə qəzadan sonra xəsarət dərəcəsinin aşağı olmasına xidmət edir. Nadir hallarda olsa da təhlükəsizlik kəmərinin mənfi fəsadları mövcuddur ki, bu da onun istifadəsini ikinci dərəcəli etmir (şək.7).



Şəkil 6. *Su nəqliyyat yerdəyişmə yanğın halları*



Şəkil 7. *Passiv təhlükəsizlik tədbir vasitələri*

Gəmidə quraşdırılan sürahilər, yanğın xəbərdarlıq və mübarizə vasitələri, xilas edici canlıqlar – dairələr, qayıqlar, pontonlar, əleyhqazlar, kayutaların yumşaq üzlükləri, fitlər, çıxış işarələri və bir çox bu xüsusiyyətlilər məhz passiv təhlükəsizliyə aidlər sayılır. Rəhbər-normativ sənədlərə gəldikdə isə qəza zamanı davranış, xilas olunma, yanğın söndürmə, gəmini o, cümlədən tullanma ilə tərk etmə qaydaları və bu xüsusiyyətli təlimlər-tədbirlər passiv təhlükəsizliyə aiddir [5].

Nəticə. 1. Nəqliyyatın təhlükəsizliyinin təminə yönəldilmiş bütün faktorların iki istiqamət - aktiv və passiv təhlükəsizlik üzrə qruplaşdırılması əsaslıdır. 2. Təhlükəsizliyin təminə yönəldilmiş normativ sənədlərin də müvafiq qaydada iki istiqamət üzrə hazırlanması dənizçilərin hazırlanmasında xüsusi əhəmiyyət kəsb edəcəyi danılmazdır.

Ədəbiyyat

1. Z.Ə. Rüstəmov, Ə.T. Şirəliyev. Yükdaşıma texnologiyası və donanmanın idarə olunması Bakı, ADDA, 2024., 237 səh.
2. Z.Ə. Rüstəmov Daşımaların təşkili və menecementi. Bakı, 2014, 210 səh.
3. Безопасность жизнедеятельности человека на морских судах: Справочник/Ю.Г. Глотов, В.А. Семченко, Т.Н. Сологуб и др. - М.: Транспорт, 2000. - 320 с.
4. Груздев Н.Г. Безопасность плавания. Учебник для курсантов военно-морских институтов. - СПб., 2002. - 211 с.
5. https://www.seaships.ru/resque.htm.

Məqalə qəbul olunub: 25.04.25
Tövsiyə edib: dos. Abbasov E.O.

UOT 656.6.052

NEFT VƏ QAZ YATAQLARININ TƏHLÜKƏSİZLİYİNƏ XİDMƏT GÖSTƏRƏN MÜASİR GƏMİLƏR

Temirbulatov E.M., Abbasov E.O.

"Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası"PHŞ
AZ1000, Bakı şəh., Z. Əliyeva küç., 18
E-mail: eldar.temirbulatov@gmail.com, abbasovelnur1980@mail.ru

Xülasə.. *Xəzər dənizində mövcüd neft qaz yataqlarında hidrokarbon ehtiyatlarının işlənməsini müxtəlif növ qurğular həyata keçcirsə də müasir gəmilərin tətbiqi danılmazdır. Hasil olunan enerji resursları sahil ölkələrinin, həm də ətraf regiona daxil olan ölkələrin inkişafında vacib rol oynayır Neft-qaz yataqlarının təhlükəsiz işlənməsi zamanı müasir gəmilərin öyrənilməsi çox aktualdır.*

Abstract. *In the development of hydrocarbon resources in the existing oil and gas fields in the Caspian Sea, although various types of devices are used, the use of modern ships is undeniable. The extracted energy resources play an important role in the development of both coastal countries and countries in the surrounding region. During the period of safe development of oil and gas fields, the study of modern ships is highly relevant.*

Аннотация. *При разработке ресурсов углеводородов на существующих месторождениях нефти и газа на Каспии, хотя и применяются различные типы устройств, применение современных судов неоспоримо. Добываемые энергетические ресурсы играют важную роль в развитии как прибрежных стран, так и стран окружающего региона. В период безопасной разработки нефтяных и газовых месторождений изучение современных кораблей весьма актуально.*

Acar sözlər: *dalğıc, neft-qaz, gəmi, sistem, xilasetmə, təhlükəsizlik*
Ключевые слова: *дайвинг, нефть и газ, корабль, система, спасение, безопасность*
Key words: *diving, oil and gas, ship, system, rescue, safety*

Giriş. Xəzər dənizində ölkəmizin daxili sularında təbii ehtiyatlar Azərbaycan Respublikasının iqtisadi potensialının formalaşması və daha da davamlı inkişafı üçün həlledici əhəmiyyətə malikdir. Burada müxtəlif növ faydalı qazıntılarla, xüsusən karbohidrogen xammalı ilə zəngin olan Xəzər hövzəsinin şelf zonasının təbii ehtiyatlarının inkişafı xüsusi rol oynayır. Bu təbii ehtiyatların tapılması və çıxarılması prosesində xüsusi ixtisaslaşdırılmış gəmilərin rolu böyükdür.

Əsas hissə. Neft-qaz yataqlarının işlənməsi və karbohidrogen məhsullarının əldə edilməsinə xidmət göstərən gəmiləri sadalamaq istəsək bu prosesin əvvəldən sona qədər necə aparılması və gəmilərin əməliyyatlarının şərhi daha detallı və konstruktiv yanaşma sərgiləməmizə vasitəçi olacaq.

Gəmilər təsnifatlanmasını daha yaxşı anlamaq üçün dəstək verdiyi əməliyyatlara nəzər salaq:

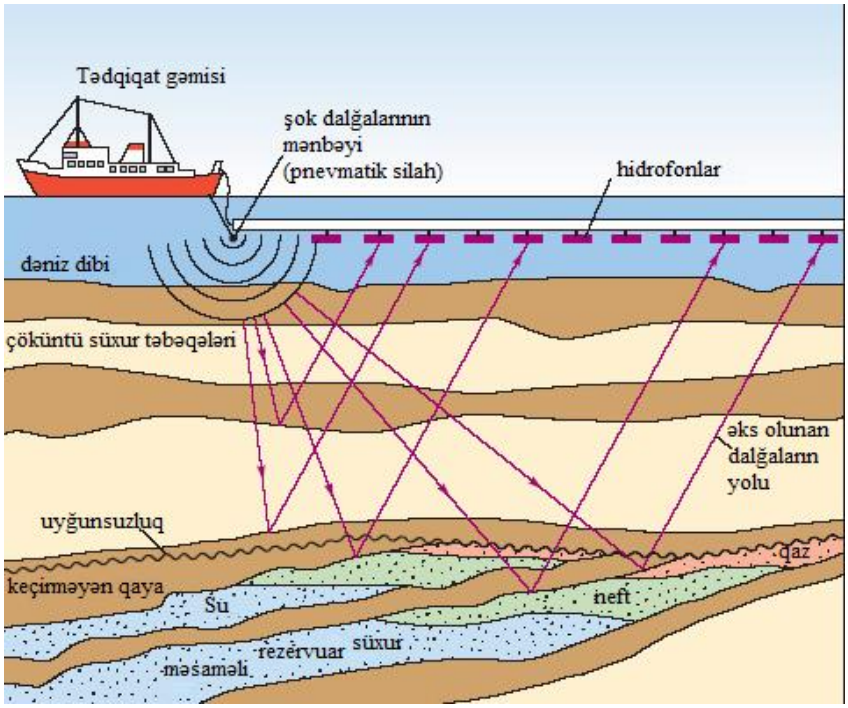
- Sualti əməliyyatlar, Dalğıc gəmiləri – (DSV - Diving Support Vessel);
- Seysmik araşdırmalar / Kəşfiyyat;
- Yüklərin çatdırılması;
- Yedəkləmə və lövbər işləri;
- Qəza axtarış gəmiləri (ERRV - Emergency rescue recvoery vessels), Yangınsöndermə gəmiləri (FİFİ - Fire Fighting System);
- Heyət dəyişdirilməsi (Crew trasnfer) gəmiləri;
- Xüsusi layihə gəmiləri (construction support vessel (floatel)), quyuya müdaxilə edən gəmilər well intervention vessel);

- Kran gəmiləri;
- Boru çəkən gəmilər;

Yataqlarin ilkin olaraq təyin edilməsində kəşfiyyat və tədqiqat (Research & Survey) gəmilərinin ərazini araşdırmaqları, suyun dibinin və sonrakı mərhəlrdə müxtəlif dərinliklrdə qrunt analizi aparmaları ilkin ehtimal olunacaq resurs haqda məlumat təmin edir.

Tədqiqat (Survey vessel) gəmilərinin təyinatına uyğun inşa olunmasına baxmayaraq, eyni sistem basqa tip gəmilərdə portativ olaraq quraşdırıla və eyni əməliyyatları yerinə yetirmək qabiliyyəti qazana bilər.

Bu əməliyyatlar bəzən yüksək dəqiqlik tələb etdiyyindən gəmi yerini dəqiq saxlamaqda kömək edən əlavə güc qurqlarından və Dinamik Mövqeləndirmə sisteminin (DPS - Dynamic positioning systems) müvafiq siniflərindən istifadə edilir. Yedəklədiyi qurğsunun cəkisinin yüngül olması baş mühərriklərin güclü olamasına ehtiyac məsələsini ortaya cixarır. Bu da öz novbəsində gəminin isitismar xərclərinə bilavasitə təsir edir.



Şəkil 1. *Tədqiqat gəmisi*

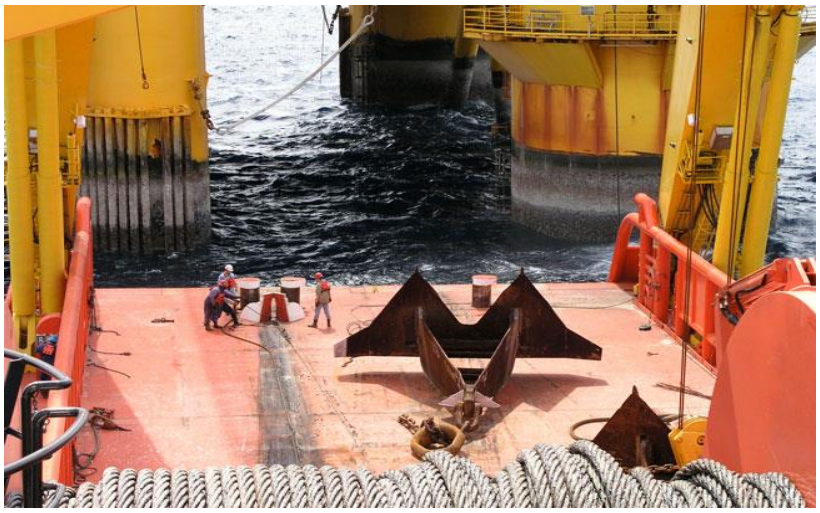
Lövbər işləri yedək gəmiləri (Anchor Handling Tug Supply -AHTS) müxtəlif ölçudə və gücdə olub əsas vəzifəsi Çəkmə tipli mobil dəniz qazma qurğusu (The jackup - type mobile offshore drilling unit (MODU)) barjaların bir yerdən başqa yerə aparılmasıdır. Burada yerdəyişmə lövbərlənən qurğuların löbərlərnin qaldırılması prosesini təmin edir.

Offşor dəniz əməliyyatlarında qurğularla toqquşmadan sonra 2-ci sayılan təhlükəli hallar buruğların yerləşməsi daha dəqiq desək lövbərləmə işləri zamanı baş verir.

Qurğuların lövbərləmə sisteminin müxtəlifliyi onların Lövbər quruluşunun - Şaquli ağırlıq lövbərləri (VLA -Vertical Load anchor), zəncir tipli lövbər (CTA - catenary type anchor) və enişli qrunta yeridilmiş plitə lövbərlər tipləri (SEPLA - suction embedded plate anchor) ilə xarakterizə olmunmaqla yanaşı lövbər qruluşu ilə qurğu arasında link rolunu oynayan bərkiditmə - tros kabel zəncir sistemləri ilə mahiyyətini və funksionalığını ortaya sərgiləmiş olur.

Qısa xarakterizə edilsə VLA tipli sistemlər lövbərləmə sistemini radisunu kiçik saxlamqla buruğun sabit mövqelənməsin yüksək gərginlik nəticəsində təmin edir və 400m-dən az dərinliklərdə

effektivliyini itirmiş olur. Daha bir mənfi cəhətinə gəldikdə isə lövbər xəttlərində müntəzəm olaraq yüksək gərginlikdə saxlanması və kiçik yerdəyişmələrin çətinliklə təmin olunmasıdır.



Şəkil 2. *Lövbər əməliyyatı*

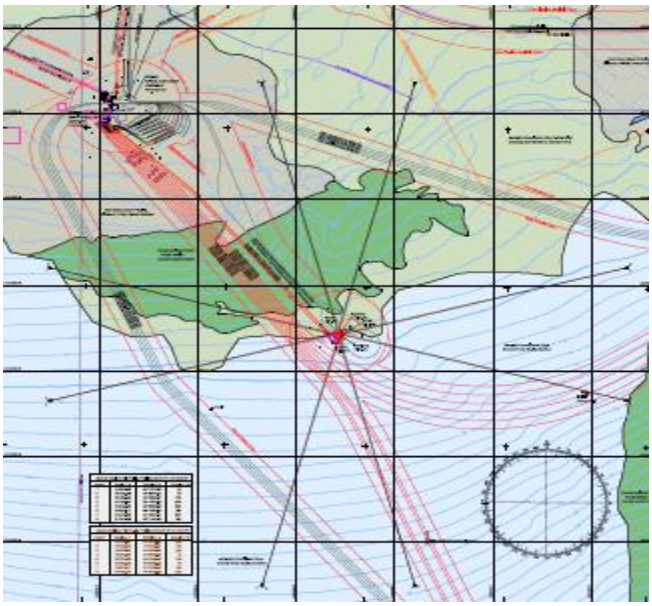
SEPLA tipli lövbərlər də dərin sularda isitismar olunmaqla yanaşı etbarlılıq baxımından daha uzun müddətlı istifadə yaralığı ilə neft-qaz sənayesində, əsasəndə FPSO (floating production storage and offloading - üzən istehsalın saxlanması və boşaldılması) və FSO (floating storage and offloading - üzən saxlama və boşaltma**)** tipli qurğularda istifadə olunmaqdadır. Bunların uzun müddətli yararlı istifadəsinə xələl gətirəcək əsas faktor quraşdırılmanın mürəkəbliyi və çəkilən xərclərin qeyri effektivliliyindədir.

Qeyd edilən hər iki 2 növ sistemin daha bir xüsussiyyəti Catenary tip lövbərlərdən fərqli olaraq yalnız öncədən quraşdırılma ilə mümkun ola bilər. Yəni sistem su altında quraşdırılır daha sonra buruq həmin əraziyə gətirilərək lövbərləmə sisteminə qoşulur.

Geniş istifadə olunan Catebary sistemli lövbərləmə Xəzər dənizində ən geniş isitfadə olunan tip kimi dayaz dərinlikli sulardan - 1000m-ə kimi dərinliklərdə rahat işləmə potesialı ilə yanaşı öncədən (pre lay) və conventional (yerində quraşdırmanın) üstünlüyünu özündə birləşdirmişdir. Həmçinin uzaq VLA ilə müqayisədə daha geniş radiuslu dipazonda isitismarına baxmayaraq xəttin üzərində quraşdırılmış əlavə buylar və yaxud yüngüllük (dynamo) verən xəttlər sayəsində kompleks sualtı infrastruturu olan ərazlərdə istifədə oluna bilər.

Bu lövbərlərin su dibinə qoyulması və oradan qaldırılması çox zaman yüksək gərilimli troslarla və uzun müddətli iş rejimi tələb olunur. Şəkil 3-də qurğunun lövbər sxeminin dəniz sualti qulğularına nisbətı təsvir olunmuşdur. Bu şəkildən təxmin etmək olar ki buruğun təhlükəsiz və effektiv yerləşdirilməsı üçün hansı komponentlərdən istifadə oluna bilər [1]. Misal üçün SE tərəfinin xətlərinin VLA - Dynamo sintezi, NE xəttlərini isə zəncir və ya trosdan istifadəsi optimal bir sintez kimi qəbul oluna blər.

AHTS – yedək gəmilərini daha bir əsas funkisyası, yəni yedək (toving) əməliyyatına qısa xülasə versək, obyektlərin fərq etməz buruq, barja, gəmi və ya hər hansi bir obyekt olsun bir yerdən başqa bir yerə daşınması zamanı gediləcək yola uyğun hesablamara yedək gücünün hesablanması keçid marşrutunun analizi və naviqasiya özəllikləri hesablanıb - analiz olunur.



Şəkil 3. *Sualtı qurğulara nisbətən lövbər sxemi*

Əməliyyatın standartları bir çox lövbərləmə əməliyyatlarında olduğu kimi Təsnifat cəmiyyətləri (RO - Recognized Organization) tərəfindən təyin edilmiş kriteriyaları əsasında aparılır.



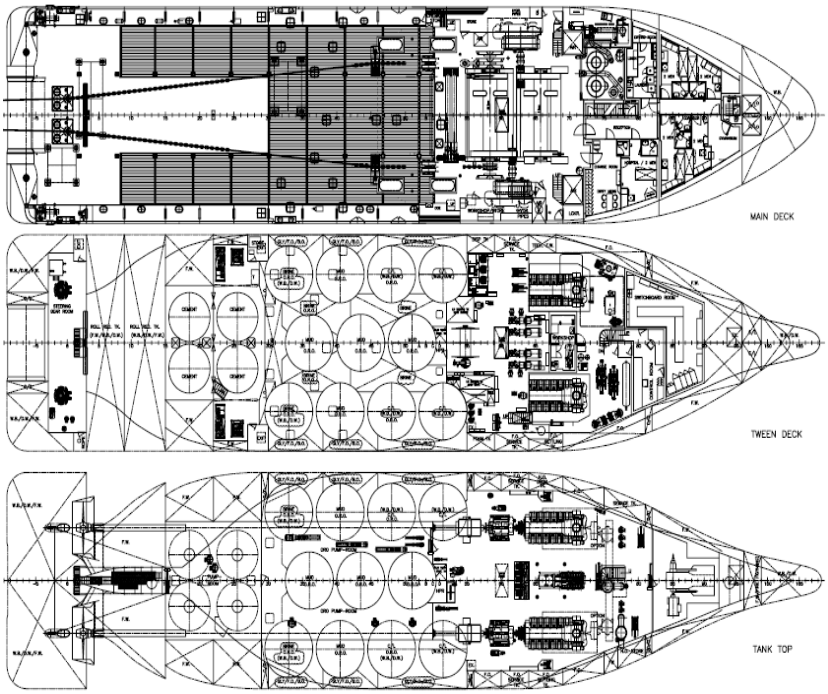
Şəkil 4. *Yedəkləmə əməliyyatı*

Yedəkləmə barədə daha dolğun məlumat üçün Norveç Veritasının (DNV -Det Norske Veritas) GL-ST-N001 təlmatına istinad etmək olar.

Təhcizat gəmiləri sayına görə ofşor sənayesində birinci yeri tutmaqdadır. Bu gəmilərin çox funksionallığı və ekspluatativ xərclərinin başqaları ilə müqayisədə əlverişli olduğundan xidmət göstərən donanmanın 70-90% hissəsini təşkil etməkdədir [2].

Platforma təchizat gəmiləri (PSV - platform supply vessel) çox funkionalliği ilə bir çox gəmilərin əməliyyat bacarığını - quru və yaş (Dry & wet) qalama yükləri, göyərtə yükləri, tank yükləri – yanacaq, su və kimyəi maddələr və başqa maye yüklər, yanğın söndürmə qabiliyyəti, xilasedici gəmilərin təsnifat tələblərini yerinə yetirdiyi üçün birinci yerdə olmaları təəccüb doğurmur. Bu çox funksionallıq gəmi və ya offshor operatorunun əməliyyatların labüdlüyündən doğan tələbdir.

Müsair AHTS (Anchor handling tug supply) gəmisnin çertyojunda çox şaxəli əməliyyat funkisonnalığı görə bilərik, bu tip gəmilər lövbər əməliyyatları və yedəkləmə ilə yanaşı mütəlif növ quru və maye yük daşıma qabiliyyətini özündə cəmləşdirir.



Dalğıc (DSV - Diving Support Vessel), Uzaqdan idarə olunan (ROV - Remotely Operated Vehicle), Kran gəmiləri – Sualtı quraşdırma proyektlərində əsas rol oynayır. Onlar sualtı boruların quraşdırılması və həmin boruların quyular arası və həmçinin sahilə çəkilməsini reallaşdırır.

Xəzər Dənizinə girişdə məhdudiyyət olması, böyük qabaritli gəmilərin hövzəyə daxil olmasını qeyri mümkün edir. Belə ki bu şlyuzların maksimal eni və digər texniki göstəricilərə görə gəmi ölçülərində aşağıdakı məhdudiyyətlər tətbiq olunur:

Maksimum uzunluq - 198m;

Maksimum en – 17,8m;

Orta suya oturum – 3,5m;

Bortun hündürlüyü – 14,5m.

Bu məhdudiyyət səbəbindən yerli Baki Gəmiqayırma zavodunda gəmiçiliyin inkişafına tohfə olaraq çox mürəkkəb dəniz quraşdırma əməliyyatlarını yerinə yetirə bilən "SCV Xankəndi" gəmisi Şah Dəniz konsorsimum tərəfindən maliyyələşdirilərək inşa edilmişdir.

Gəmilərin təhlükəsiz idarə olunması analizi carı xilasetmə və yanğın söndürmə əməliyyatlatını bu tip gəmilərin Enerji yataqlarında və qurğularında insan həyatını və təhlükəsizliyi təmin etmə aspektindən yüksək vurğulanır. ERRV və FİFİ gəmiləri xilasetmə əməliyyatlarına yerinə yetirmə üçün təsnifata və kriteriyalar uyğun inşa edilmiş və qoyulmuş standartlara cavab verə bilən gəmilərdi. Halbuki, İMO tərəfindən qoyulmus insan həyatını xilasetmə və yardım göstərmə tələbləri bütün gəmilərə şamil olmasına baxmayaraq bu tip gəmilər xüsusiləşdirilmiş avadanlıqlara malik olur, təhlükəsizliyin sığortası kimi qurğular ərazisində fəaliyyət göstərirlər.

ERRV gəmilərin xilasetmə qabiliyyətindən və tələb olunan zaman müddətində müəyyən miqdarda (200 və 300) xəsarət almış insanı gəmiyə mindirib tədbirlər görmə xüsusiyyətlərinə görən A, B və C tipli ERRV gəmiləri kimi klassifikasiya olunur [3].

Oxşar təsnifatlandırmanı FİFİ gəmiləri üçün də göstərmək olar, yanğın zamanı obyektə püskürulən suyun hündürlüyü və miqdarından asılı olaraq da bu tip gəmilər FİFİ1 və FİFİ2 kimi təsnifatlanır və qurğuların Qəza Çıxış Planı (Emergecny Response Plan) əsasında təhkim olunur.

Qeyd edilən 2 tip gəmilərin yataqlarda istifadəsi icbarı qaydada tələb olunmasa da, mövcud olan operativ risklər və əməliyyatlar qiymətləndirərək tənzimlənir. Qurğuların dayanıqlıq və zəifliyindən səbəb gətirilərək müvafiq limitlər qoyulur.



Şəkil 6. *Neft yataqlarında yanğınsöndürmə əməliyyatı*

Heyət daşıma gəmiləri (Crew boats) – personalın ofşora və geri daşınma əməliyyatı həyata keçirir. Heyət dəyişmə əsasən Crew boat və helikopterlər vasitəsilə icra edilir. Helikopterlərlə daşınmanın zaman və komfort baxımından üstünlükləri ilə birgə xərclərin çoxluğu və təhlükəlilik kimi dizadvantajları heyətin gəmilərlə daşınması məsələsini önə çıxarır.

Crew boat gəmilərin sürətli sistemlərlə təmin olunması zaman dezavantajını aradan qaldıraraq helikopter istifadəsini ikinci plana atmış oldu. Burada 2 faktor səmərilyiyinin artırılmasında əsas rol oynayır. Hazirda platformalara heyət daşıyan gəmilərin surəti 30-40 uzel təşkil edir. Bu gəmilər 150-200 nəfər sərnişin daşıma qabiliyyətindədirlər. Bu göstəricilər işləmə rayonundan, üzmə rejimindən və bir sira başqa gostəricilərdən asılı olaraq dəyişə bilir.

Boru düzən gəmilər. Flotellərin Quyu müdaxilə gəmilərini misal gətirmək olar ki, adlarından da göründüyü ki bu gəmilərlə əməliyyatlar xüsusi proyektlər zamanı aparılır. Boru düzən gəmilər xüsusi bölməsində bir-birini tikilən boruları suyun dibin oturudulub daimi olan istqamətdə uzadılaraq öncədən təyin olunmuş qurğuların qöşulmasını təmin edir.

Flotellər də həmçinin proyektlər zamanı qurğuda çalışan əlavə heyətin müvəqqəti olaraq yaşamsı üçun ayrılan gəmidir. Quyu müdaxilə gəmiləri isə quyudakı hasilat düşdüyü zaman xüsusiləşdirilmiş qurğular və kimyəvi maddələr vasitəsilə müdaxilə olunub hasilatı artırmağa xidmət edir. Bir çox əməliyyatların alternativi olduğu kimi bu əməliyyat da əlavə olaraq qurğulardan idarə oluna bilməsinə baxmayaraq gəmilərin istifadəsi bir sira üstünlüklər irəli qoymaqdadır [4].

Nəticə. Hazırda neft yataqlarının işlənməsi üçün kontinental şelfdə qaz, konstruksiyasına, ölçülərinə, komponentlərinə və istismar şəraitinə görə ənənəvi növlərdən fərqlənən müxtəlif texniki vasitələr və gəmilər kompleksi yaradılır və davamlı olaraq təkmilləşdirilir. Belə gəmilər gəmi enerjisi və texnoloji prosesləri idarə etmək üçün bir sıra sistemləri ehtiva edən obyektlərdir. İxtisaslaşdırılmış gəmilərin istismar xüsusiyyətləri ilə bağlı fövqəladə halların baş vermə ehtimalını aradan qaldırmaq üçün sistemə nəzarət alqoritmləri gəmiyə və onun avadanlıqlarına bütün növ nəzarət və narahatedici təsirlər zamanı yüksək keyfiyyət və performans göstəricilərini təmin etməlidir.

Ədəbiyyat

1. Александров В.Л., Матлах А.П., Нечаев Ю.И. Интеллектуальные системы в морских исследованиях и технологиях. – СПб.: СПб.: СПбГМТУ, 2001.-394 с.
2. Алешин Н.В., Ляховицкий А.Г., Царев Б.А. Методология инженерной и научной деятельности в морской технике. СПб.: СПбГМТУ, 2000. - 294.
3. Борисов Р.В., Симоненко А.С., Артюшков Л.С. Статика и динамика плавучих буровых установок: Учеб. пособие.- СПб.: СПбГМТУ, 2000. - 96 с.

Məqalə qəbul olunub: 25.04.25
Tövsiyə edib: prof. Rüstəmov Z.Ə.

GƏMİÇİLİK TEXNİKASI

UOT 681.5.01

İDARƏ TƏSİRİ MƏHDUD OLAN SİSTEMİN ROBAST XÜSUSİYYƏTLƏRİNİN TƏDQİQİ

Fərhadov V.Q., Mirzəquliyev R.E., Qocayeva A.B., Allahverdiyeva A.T.

"Azərbaycan Texniki Universiteti" PHŞ
AZ1073, Bakı şəh., H. Cavid pros., 37
"Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası" PHŞ
AZ1000, Bakı şəh., Z. Əliyeva küç.,18
E-mail: vahidf@mail.ru, aynuraaynura@mail.ru

Xülasə. *Praktikada fəaliyyət göstərən obyektlərin bir çoxu ikinci tərtib differensial tənliklərlə ifadə olunur. Bundan başqa, yüksək tərtibli xətti və qeyri-xətti tənlikləri işçi nöqtənin kiçik ətrafında daha aşağı, adətən, iki tərtibli tənliklərlə aproksimasiya etmək mümkün olur. Məqalədə nöqtəvi sürüşmə rejimində klassik üsullardan fərqli olaraq, idarə siqnalının tezliyini azaltmaqla yanaşı sistemin dəyişmə xəttinin yaxın ətrafı ilə hərəkətini təmin etmək mümkün olmuş, eyni zamanda tarazlıq nöqtəsinin kiçik ətrafında avtorəqslərin meydana çıxmasının qarşısı alınmışdır. Real şəraitdə idarə məhdud olduğundan bu hala uyğun tənzimləmə alqoritmi işlənilmişdir.*

Аннотация. *На практике функционирование объектов выражается дифференциальными уравнениями второго порядка. Более того, линейные и нелинейные уравнения высокого порядка могут быть аппроксимированы уравнениями более низкого порядка, обычно двух порядков, вокруг небольшой рабочей точки. В статье, в отличие от классических методов в режиме смещения точки, при снижении частоты управляющего сигнала удалось обеспечить движение системы в окрестности линии изменения и в то же время предотвратить появление авторефлексов в малой окрестности точки равновесия.*

Поскольку в реальных условиях управление ограничено, разработан алгоритм настройки, подходящий для данной ситуации.

Abstract. *In practice, many operating objects are expressed by second-order differential equations. In addition, it is possible to approximate higher-order linear and nonlinear equations by lower, usually second-order equations in a small neighborhood of the operating point. In the article, in contrast to classical methods, in the point-shift mode, it was possible to reduce the frequency of the control signal, ensure the movement of the system in a close neighborhood of the change line, and at the same time prevent the occurrence of auto-dances in a small neighborhood of the equilibrium point.*

Since the control is limited in real conditions, an appropriate adjustment algorithm was developed for this case.

Açar sözlər: *idarə təsiri, sistem, robast xussiyyəti, tənzimləmə alqoritmi, obyekt*

Ключевые слова: *эффект управления, система, свойство надежности, алгоритм регулирования, объек*

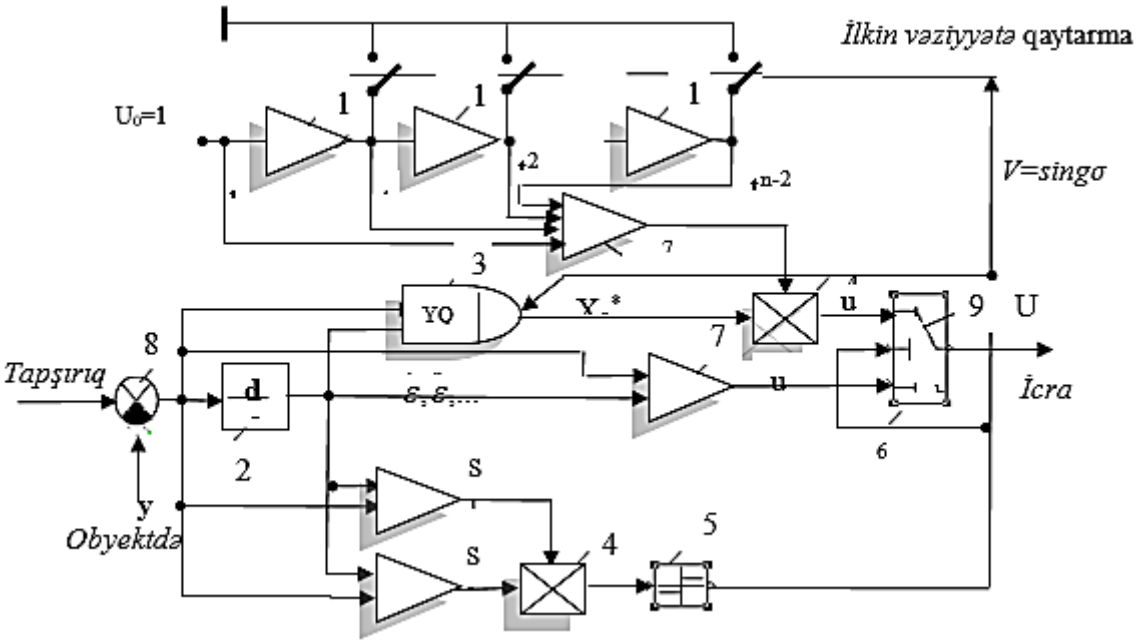
Key words: *control effect, system, robustness property, regulation algorithm, object*

Giriş. Praktikada fəaliyyət göstərən obyektlərin bir çoxu ikinci tərtib differensial tənliklərlə adekvat ifadə oluna bilir. Bundan başqa, yüksək tərtibli xətti və qeyri-xətti tənlikləri işçi nöqtənin kiçik ətrafında daha aşağı,adətən, $n = 2$ tərtibli tənliklərlə aproksimasiya etmək mümkün olur.

Deyilənləri nəzərə alaraq konkret tətbiq məqsədi ilə tənzimləyicinin sazlama parametrlrinin ümumi hal üçün alınmış ifadələrini $n = 2$ halı üçün sadələşdirməyə ehtiyac vardır [1-2].

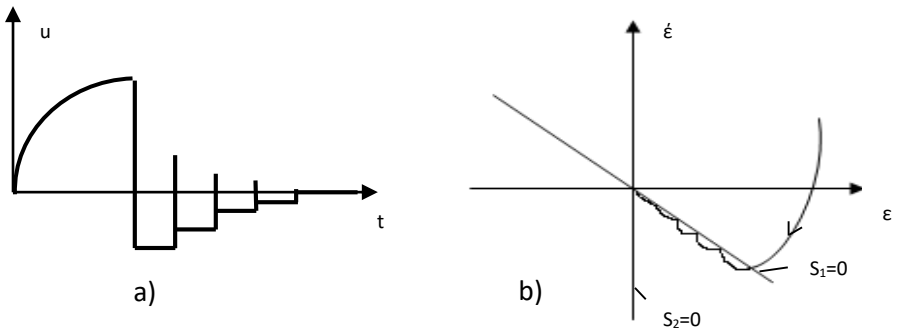
Giriş və çıxışa nəzərən birölçülü ikitərtibli obyektin vəziyyət dəyişənlərində yazılmış tənliyinə baxaq:

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



Şəkil 1. *Dəyişən strukturlu tənzimləyicinin arxitekturası*

Şəkildə:
1 – inteqrallayıcılar; 2 – (n – 1) sayda differensiallayıcı qurğular zənciri;
3 – yaddaş qurğusu; 4 – dəyişən siqnalları vurma qurğuları;
5 – siqnium rele; 6 – kommutator; 7 – gücləndiricilər;
8 – müqayisə elementi; 9 – açar.



Şəkil 2. *n = 2 halında sistemin dinamik xarakteristikaları*

burada $x = (x_1, x_2)^T$ - ikiölçülü vəziyyət vektoru; u - skalyar idarə siqnalıdır.
$n = 2$ qiymətində idarə qanunu aşağıdakı şəklə düşür [4,5]:

$$u = \begin{cases} -(k_1, k_2)x & \text{əgər} \quad \sigma > 0, \\ k_{11}x_{1s}^{*} = const & \text{əgər} \quad \sigma < 0, \end{cases} \tag{2}$$

burada $k_1,\ k_2 > 0$ - birinci strukturun gücləndirmə əmsalları; $k_{11} > 0$ - ikinci strukturun gücləndirmə əmsalı; $\sigma = s_1 s_2$ - dəyişmə funksiyası; $s_1 = c_1 x_1 + x_2,\quad s_2 = c_2 x_1 + x_2$ - dəyişmə xətləri; $x_{1s} = const$ trayektoriyanın $s_1 = 0$ xəttinin üzərinə düşmə nöqtəsinin absisidir.

Bu halda $n = 2$ cüt ədəd olduğundan k_1 və k_2 parametrlərini tapmaq üçün determinant tənliyi aşağıdakı şəklə gətirilir:

$$\boldsymbol{A}\, K_1^T = \eta. \tag{3}$$

burada $K_1 = (k_1, k_2)$,

$$\boldsymbol{A} = \begin{pmatrix} b_1 & b_2 \\ a_{12}b_2 - a_{22}b_1 & a_{21}b_1 - a_{11}b_2 \end{pmatrix},$$

$$\eta = \begin{pmatrix} a_{11} + a_{22} - 2h_1 \\ a_{12}a_{21} - a_{11}a_{22} + h_1^2 + \omega_1^2 \end{pmatrix};$$

$h_1,\ \omega_1$ - xarakteristik $det(pL - D) = 0$, $D = A - bK_1$, $b = (b_1, b_2)^T$ tənliyinin $p_{1,2} = h_1 \pm \omega_1 j$ kökünün qabaqcadan verilmiş həqiqi və xəyalı hissələridir [3,4].

Fərz edək ki, $\boldsymbol{A}$ matrisi cırlaşan deyil, yəni $det\boldsymbol{A} \neq 0$. Onda (3) tənliyinin həllindən birinci strukturun gücləndirmə əmsalını tapmaq olar:

$$K_1 = (k_1, k_2) = (\boldsymbol{A}^{-1}\eta)^T. \tag{4}$$

İkinci strukturun k_{11} gücləndirmə əmsalı ilə $s_1 = 0$ dəyişmə xəttinin bucaq əmsalı c_1 birlikdə təyin olunurlar.

Bu məqsədlə əvvəlcə (1) obyektinin fundamental matrisini tapaq. Mühəndis hesablamalarında əlverişli düsturlardan biri:

$$e^{-At} = \Phi(-t) = L^{-1}\left[(pI - A)^{-1}\right] = \begin{pmatrix} \Phi_{11}(-t) & \Phi_{12}(-t) \\ \Phi_{21}(-t) & \Phi_{22}(-t) \end{pmatrix}. \tag{5}$$

Bu ifadəni $n = 2$ halında $R(t) = 1$ və b = (b_1, b_2) olduğunu nəzərə alıb alarıq:

$$\mathrm{H} = \begin{pmatrix} H \\ h_2 \end{pmatrix} = \int_0^{t_s} \begin{pmatrix} b_1\Phi_{11}(-\tau) + b_2\Phi_{12}(-\tau) \\ b_1\Phi_{21}(-\tau) + b_2\Phi_{22}(-\tau) \end{pmatrix} d\tau.$$

Buradan

$$H = \int_0^{t_s} \left[\left(b_1\Phi_{11}(-\tau) + b_2\Phi_{12}(-\tau)\right)\right] d\tau,$$

$$h_2 = \int_0^{t_s} \left[\left(b_1\Phi_{12}(-\tau) + b_2\Phi_{22}(-\tau)\right)\right] d\tau.$$

Onda sazlama parametrlərini tapa bilərik:

$$K_2 = k_{11} = -\left(\int_0^{t_s} \left[\left(b_1\Phi_{11}(-\tau) + b_2\Phi_{12}(-\tau)\right)\right] d\tau\right)^{-1} \tag{6}$$

$$c_1 = \frac{\int_0^{t_s} [(b_1\Phi_{11}(-\tau) + b_2\Phi_{22}(-\tau))]\, d\tau}{\int_0^{t_s} [(b_1\Phi_{11}(-\tau) + b_2\Phi_{12}(-\tau))]\, d\tau}. \quad (7)$$

İkinci $s_2 = 0$ dəyişmə xətti $n = 2$ halında

$$s_2 = c_2 x_1 + x_2 .$$

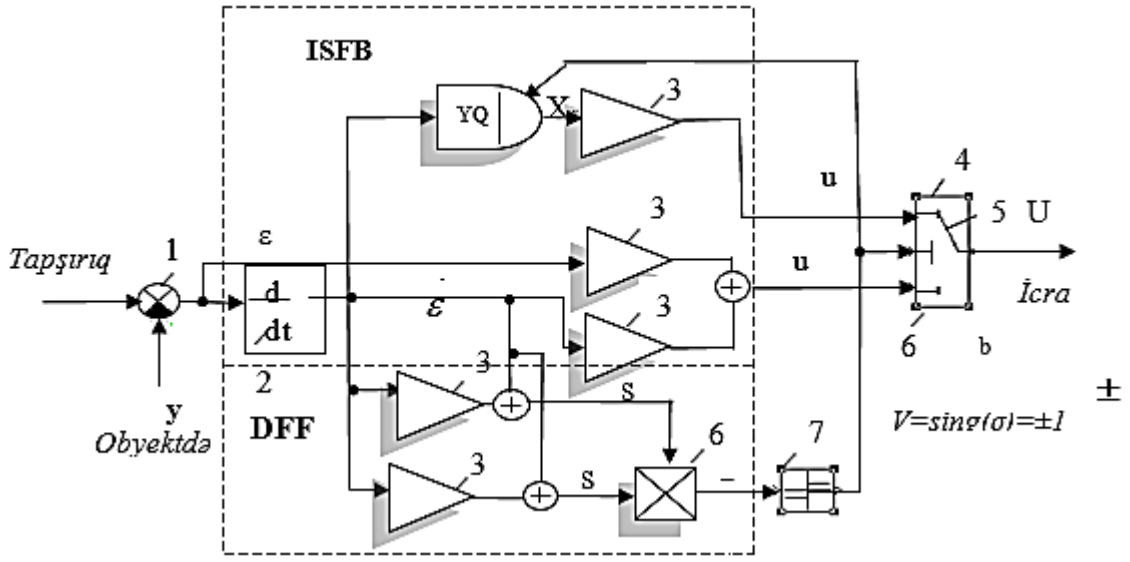
Bucaq əmsalı

$$c_2 = -\lim_{x\to 0}\left(\frac{dx_2}{dx_1}\right)_{u=k_{11}x_s^*} . \quad (8)$$

$n = 2$ halında tənzimləyicinin arxitekturası şəkil 3-də göstərilmişdir

Dəyişmə funksiyası σ > 0 olduqda əmr siqnalı $V = +1$ olur. Bu zaman 5 acarı *a* vəziyyətinə keçərək $u = u_1 = k_1\varepsilon$ idarə siqnalını obyektə qoşur; ε = *g* - *y* tənzimləmə xətasıdır; σ < 0 ⇒ $V = -1$ olduqda isə acar *b* vəziyyətinə keçərək obyektə dəyişən səviyyəli $u_2 = k_{11}x_s^*$ rele idarəsini qoşur.

Praktiki cəhətdən, qeyd etmək vacibdir ki, sistemi $\varepsilon_0 \in \{\varepsilon : \sigma > 0\}$ oblastından tarazlıq ε = 0 nöqtəsinə gətirmək üçün idarə siqnalı bir dəfə, $\varepsilon_0 \in \{\varepsilon : \sigma < 0\}$



***Şəkil 3**. Birölçülü ikitərkibli obyektlər üçün tənzimləyicinin arxitekturası*

Şəkildə İSFB – idarə siqnalını formalaşdıran blok; DFFB – dəyişmə σ funksiyasını formalaşdıran blok; YQ – yaddaş qurğusu; 1 – müqayisə elementi; 2 – differensiallayıcı qurğu; 3 – gücləndiricilər; 4 – kommutator; 5 – acar; 6 – vurma bloku; 7 – signium rele.

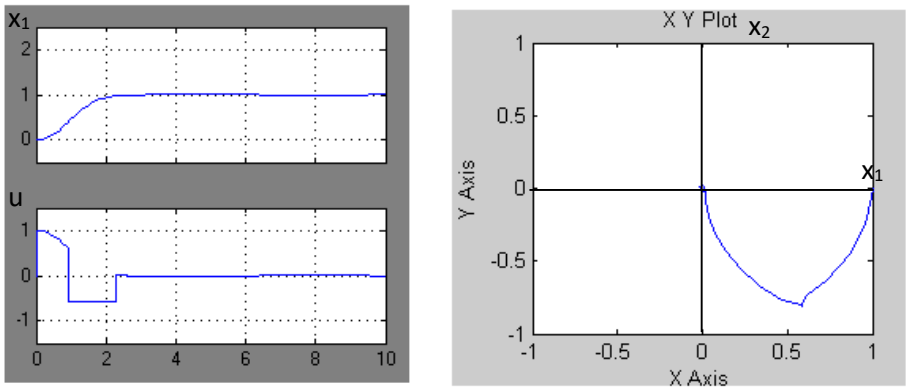
Tənzimləyinin k_{11} və c_1 sazlama parametrlərini dəyişməklə aşağıdaku rejimləri almaq mümkündür.

1. Finit rejimi. Bu rejimdə yuxarıda deyildiyi kimi, sistem tarazlıq nöqtəsinə idarə siqnalının bir və ya iki dəfə dəyişməsi nəticəsində gətirirlir. Belə stategiya yüksək cəldişləməni təmin edir.
2. Nöqtəvi sürüşən rejim. Bu rejimdə idarə siqnalının dəyişmə tezliyi klassik sürüşmə recimindəkinə nisbətən əhəmiyyətli dərəcədə aşağı olur ki, bu da icra orqanlarının etibarlılığına xələl gətirmir. Bununla sürüşən recimlərin tətbiq sahəsi artır.

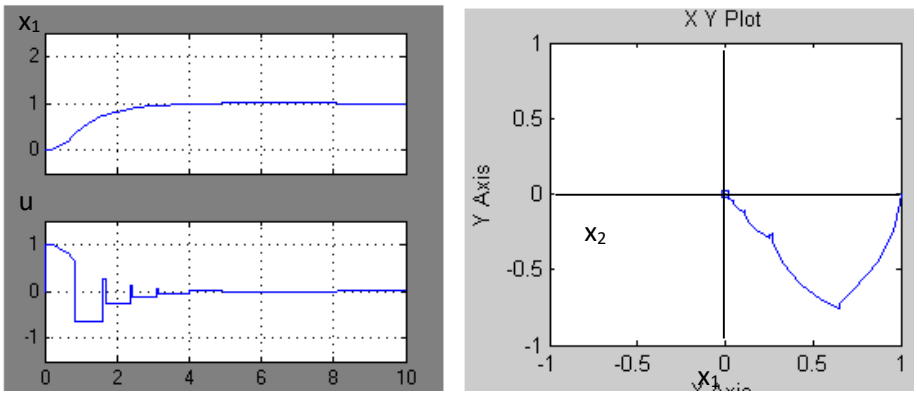
3. Adi sürüşən rejim. Bu recim keçən əsrin 60-cı illərindən məlum (Emelğənov, Utkin) olub idarə siqnalının tezliyi nəzəri olaraq sonsuzdur. Bu xüsusiyyət belə rejimlərin tətbiq sahəsini məhdudlaşdırır. Bundan başqa, həddə hərəkət asimtotik olduğundan cəldişləmə azalır [4,5].

Şəkil 4, a-v-də uyğun rejimlərdə idarə siqnalının dəyişməsi və faza portretləri göstərilmişdir.

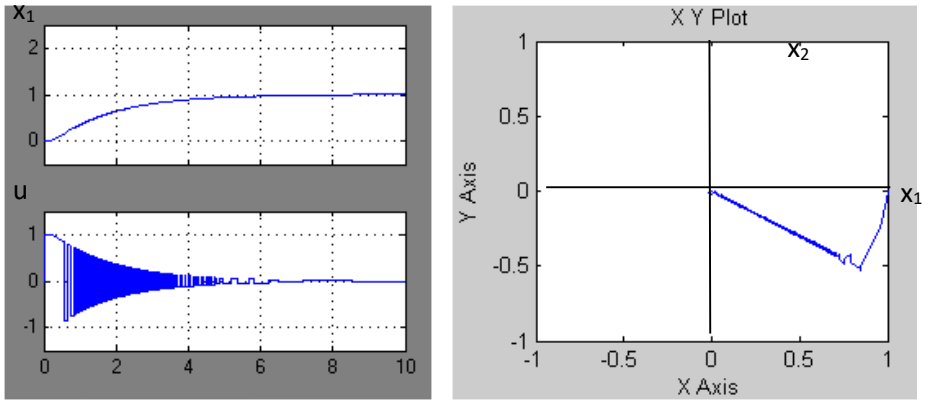
İdarəyə məhdudiyyət olduqda tənzimləmə alqoritminə baxaq. Real sistemlərdə enerji məhdud olduğundan obyektə yüksək qiymətli idarə siqnalları vermək mümkün olmur. Bu problem xüsusi ilə hərəkət edən obyektində və uçuş aparatlarında daha qabarıq sürətdə üzə çıxır.



a)



b)



v)

Şəkil 4. *Mövcüd rejimlərin dinamik xarakteristikaları*
a) finit rejimi; b) nöqtəvi sürüşən rejim; v) adi sürüşən rejim

Fərz edək ki, idarəyə məhdudiyyət mövcuddur: $-M \le U \le M$. Bu halda (7.19) iradə alqoritmini aşağıdakı kimi yazmaq olar:

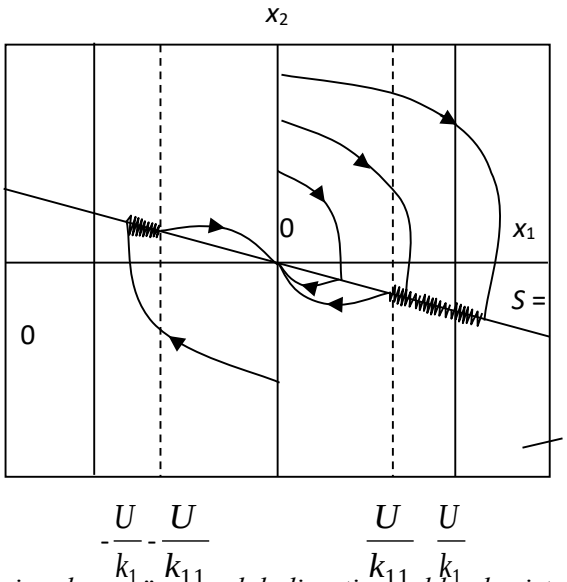
$$U_M = \begin{cases} M & \text{əgər } U \ge M, \\ U & \text{əgər } |U| < M, \\ -M & \text{əgər } U < -M. \end{cases}$$

Burada U (2) alqoritminə əsasən təyin olunur. Sadəlik üçün fərz edək ki, (2)-də $k_2 = 0$. Bu halda sistemin faza portreti şəkil 5-də göstərilmişdir. Şəkildən göründüyü kimi idarə siqnalı $|x_1| \le U/k_{11}$ zonasından kənara çıxdıqda sistem nöqtəvi sürüşmə rejiminə düşür. Bu halda faza müstəvisi üç oblasta bölünür:

$$|x_1| \in \left[\frac{M}{k_1}, \infty\right],$$

$$|x_1| \in \left[\frac{M}{k_{11}}, \frac{U}{k_1}\right],$$

$$|x_1| \in \left[0, \frac{M}{k_{11}}\right].$$



Şəkil 5. *İdarə siqnalına mövqe məhdudiyyəti qoyulduqda sistemin faza portreti*

Bu oblastlarda idarə siqnalı uyğun olaraq aşağıdakı qiymətləri alır:

$$U_M = -M, \qquad U_M = +M;$$

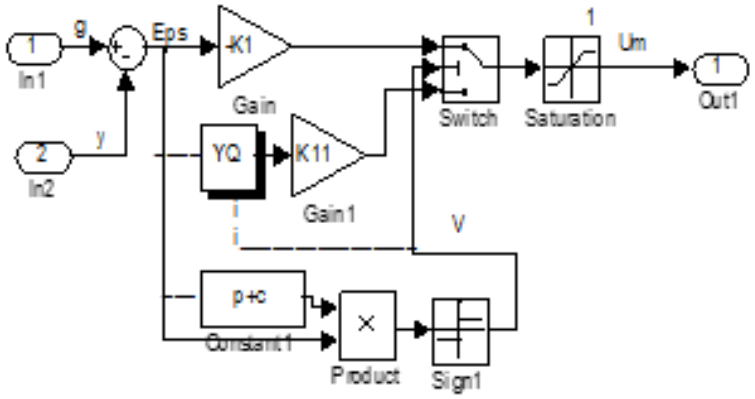
$$U_M = -k_1 x_1, \qquad U_M = +M;$$

$$U_M = -k_1 x_1, \qquad U_M = k_{11} x_{1s} = const.$$

$k_1 \to \infty$ halında $x_1 = \pm M/k_1$ xətti ordinat oxuna yaxınlaşır. Bu halda Musumakinin cəldişləməyə görə modifikasiya olunmuş optimal idarə alqoritmi alınır. Bu alqoritmə əsasən birinci

strukturun idarə siqnalı $U_M = -1$. Sistemin tarazlıq nöqtəsinin kiçik ətrafında saxlanması isə koordinat başlanğıcının kiçik ətrafında əks əlaqənin qoşulması hesabına təmin olunur. Bu isə bizim məsələdən fərqli olaraq qapalı sistemin xarakteristik *D* matrisinin dayanıqlı matris (Hurvis matrisi) olmasını tələb edir [4,5].

Giriş siqnalı doyma halına çıxan halda tənzimləyiginin struktur sxemi şəkil 6-da göstərilmişdir.



Şəkil 6. *İdarə siqnalına məhdudiyyət qoyulduqda tənzimləyicinin struktur sxemi*

Nəticə. Beləliklə, nöqtəvi sürüşmə rejimində klassik üsullardan fərqli olaraq, idarə siqnalının tezliyini azaltmaqla yanaşı sistemin dəyişmə xəttinin yaxın ətrafı ilə hərəkətini təmin etmək mümkün olmuş, eyni zamanda tarazlıq nöqtəsinin kiçik ətrafında avtorəqslərin meydana çıxmasının qarşısı alınmışdır. Real şəraitdə idarə məhdud olduğundan bu hala uyğun tənzimləmə alqoritmi işlənilmişdir.

Ədəbiyyat

1. King P.S. Sliding Mode Control. National University of Singapore. EE5104 Adaptive Control System AY2009/2010 , CA2 Mini –Procect. 2010, 23 pp.
2. Wu Q., Sepehri N., Thornton-Trump A.B. Lyapunov stability of an Inverted Pendulum Model. 1988 © TSI Press. Albuquerque NM USA. ISIAC 017.
3. No N.F., Wong Y.K., Rad A.B. Adaptive Fuzzy Sliding Mode Control Design: Lyapunov Approach // IEEE International Conference on Fuzzy System.2001, pp.6-11. (Control Conference. 2004. 5th Asian. Vol.3, 2004, pp.1502-1507).
4. Lagrat I., Ouakka H., Boumhidi I. Fuzzy Sliding Mode PI controller for Nonlinear Sistems / Proceedings of the 6th WSEAS International Conference on Simulation. Modelling and Optimization, Lisbon, Portugal. September 22-24. 2006, pp.534-539.
5. Li C.H., Li T.H., Chen C.Y. Design of Lyapunov Function Based Fuzzy Logic Controller for a Class of Discrete – Time Systems // International Curnal of Fuzzy Systema. Vol.9, №1, March. 2007.

Məqalə qəbul olunub: 16.04.25
Tövsiyə edib: prof. Qafarov A.M.

UOT 621.56

SÜNİ SOYUQLUQ AKKUMULYATORLU GƏMİ SOYUDUCU QURĞUSUNUN İŞ REJİMLƏRİNİN OPTİMALLAŞDIRILMASI

Əliyev N.S.

"Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası" PHŞ
AZ1000, Bakı şəh., Z.Əliyeva küç., 18
E-mail: nazim_alijew@yahoo.com

Xülasə. *Balıqçı və refrejerator gəmiləri üçün soyuducu qurğunun işinin optimallaşdırılması üsulları əlavə olaraq süni soyuqluğun akkumulyasiyası (yığılması) qurğularının daxil edilməsi ilə tədqiq edilmişdir. Mühitlərin birbaşa təması və buz istehsalı ilə işləyən soyuducu maşın əsasında soyuqluğun yığılması üçün yeni texnologiya hazırlanmışdır. Soyuducu agent kimi kristal hidratlar əmələ gətirməyən freon RC318 istifadə edilmişdir. Bunun əsasında birpilləli soyuducu maşının, sistemdə ekserji axınının azaldılmasından istifadə ilə, işi optimallaşdırılıb. Əldə edilən nəticələr göstərir ki, soyuducu avadanlıqların istismarı üçün enerji xərclərini azaltmaq və balıqçılıq gəmilərinin avtonomluğunu artırmaq üçün gəmilərdə soyuqluq yığılmasından istifadə aktual və perspektivlidir. Soyuqluq akkumulyatorunun soyuqluğun təminatı sisteminə qoşulmasının iki sxemi üçün optimallaşdırma aparılıb. Təklif olunan optimallaşdırma üsulları soyuducu qurğuların enerji sərfiyyatını hesabi yüklənmə səviyyəsinə endirməyə, akkumulyatorlardan soyuqluq istifadə edərək pik yüklənmələri kompensasiya etməyə imkan verir.*

Abstract*. The article studies the methods for optimizing the operation of a refrigeration unit for fishing and refrigerated vessels with the additional inclusion of artificial cold accumulation devices. A new technology for cold accumulation based on a refrigeration machine with direct contact of media and ice production has been developed. RC318, a freon that does not form crystal hydrates, was used as a refrigerant. Based on this, the operation of a single-stage refrigeration machine was optimized, calculated to reduce the exergy flow in the system. The data obtained indicate that the use of cold accumulation on ships is relevant and promising for reducing energy costs for the operation of refrigeration equipment and increasing the autonomy of fishing vessels. Optimization was carried out for two schemes for including a cold accumulator in the cold supply system. The proposed optimization methods make it possible to reduce the energy costs of refrigeration units to the level of estimated loads, and compensate for peak loads using cold from accumulators.*

Аннотация. *Исследованы способы оптимизации работы холодильной установки для рыбопромышленных и рефрижераторных судов с дополнительным включением устройств искусственной аккумуляции холода. Разработана новая технология аккумулирования холода на базе холодильной машины с непосредственным контактом сред и выработки льда. В качестве холодильного агента взят RC318 – фреон, не образующий кристаллогидратов. На основе этого была проведена оптимизация работы холодильной одноступенчатой машины, рассчитанная по снижению потока эксергии в системе. Полученные данные свидетельствуют о том, что применение аккумуляции холода на судах актуально и перспективно для снижения затрат энергии на работу холодильного оборудования и повышения автономности судов рыбопромыслового флота. Оптимизация проведена для двух схем включения аккумулятора холода в систему хладоснабжения. Предложенные методы оптимизации позволяют снизить энергозатраты холодильных установок до уровня расчетных нагрузок, а пиковые нагрузки компенсировать с помощью холода из аккумуляторов.*

Açar sözlər: *soyuqluğun yığılması, mühitlərin birbaşa təması ilə soyutma, refrejerator gəmisi, dəniz soyuducu qurğuları, enerji səmərəliliyi*

Key words: *cold accumulating, direct contact cooling, refrigerator ship, marine refrigeration units, energy efficiency*

Ключевые слова: *аккумулирование холода, охлаждение при непосредственном контакте сред, рефрижераторное судно, судовые холодильные установки, энергоэффективность*

Giriş. Dəniz gəmilərində soyuducu qurğuların geniş tətbiqi soyuqluğun istehsalı zamanı enerji istehlakının azaldılması və enerjiyə qənaət edən texnologiyaların axtarışı problemini qoyur. Bu, xüsusilə cilov və balıq emalı sektorundakı gəmilər üçün aktualdır: trol gəmiləri, üzən bazalar, refrejerator gəmiləri və s. Aşağı temperaturda soyuqluğun alınması yüksək enerji istehlakı tələb edir ki, bu da resursların əhəmiyyətli istehlakına və gəmilərin avtonomluqlarının azalmasına səbəb olur.

Soyuducu qurğuların istismarı zamanı itkiləri azaltmaq üçün ədəbiyyatda bir neçə üsul təqdim edilmişdir, onların əksəriyyəti soyuducu maşınların iş rejimlərinin dəyişdirilməsinə və əlavə avadanlıqların tətbiqinə aiddir. Məsələn, [1, 2] işlərində refrejerator gəmilərinin anbarlarında tələb olunan aşağı temperaturu saxlayan qurğuların sabit işləməsini təmin etmək üçün əhəmiyyətli yanacaq sərfiyyatını göstərən məlumatlar verilir. Refrejerator nəqliyyat gəmilərində yüklənmələrin (dondurulmuş və konservləşdirilmiş balıq məhsulları, meyvələr və s.) trümlarda və saxlama kameralarında saxlanmasını təmin edən soyutma sistemləri tərəfindən istehlak edilən elektrik enerjisinin istehsalı üçün yanacağın 10-20%-i sərf edilir. Hava soyuducularında (HS) böyük temperatur dəyişməsi və hava dövriyyəsi sayının yüksək olması HS-nun istilik və aerodinamik müqavimətini azaltmaqla ventilyatorlara sərf olunan gücü azaltmaq üçün əhəmiyyətli imkanları göstərir.

Enerji xərclərini azaltmağın başqa bir yolu, termoiqtisadi analiz [3] və ya ekserji analizi [4, 5] metodları əsasında soyuqdan istifadə edərək əlavə soyutmanın tətbiqi ilə soyuqluq akkumulyatorlarından istifadə etmək və soyuducu maşının iş rejimlərini optimallaşdırmaqdır.

Tətbiq olunan riyazi optimallaşdırma üsulları təsdiq edir ki, soyuducu qurğuların iş rejimlərində ilk növbədə idarəetmə alqoritmlərində onların işinin səmərəliliyini artırmağa imkan verən amillər mövcuddur. Məqalə [6] ehtimal olunan avadanlıq nasazlıqları və keyfiyyət xarakterli informasiyasıya haqqında məlumatı emal etməklə ammonyak soyuducu maşınının istismar parametrlərini intensivləşdirməsi metodu təqdim edir. Metodun əsası ammonyak soyuducu maşınının qeyri-normal istismar vəziyyətlərinin mənbəyi kimi müəyyən edilməsi və sonradan ammonyak soyuducu maşınının işə salınmasından əvvəl və onun işi zamanı qeyri-normal istismar vəziyyətlərinin müəyyən edilməsi üçün intellektual simulyasiya modelindən əldə edilmiş məlumatların istifadəsidir. Amma, ammonyak soyuducu maşınının əsas parametrlərinin göstəricilərinin xarici və daxili iş şəraitindən asılı olduğunu nəzərə almaq lazımdır, buna görə də istismar parametrlərinin müəyyən göstəricilərinin qəbuledilməsi qiymətləndirərkən bir sıra mürəkkəb texniki hesablamalar aparılmalıdır.

Göstərilən bütün üsulların təhlili nəticəsində gəmilərdə soyuducu qurğuların səmərəliliyini artırmaq üçün həm texniki, həm də riyazi üsulları əhatə edən bir üsul hazırlanmışdır.

Ən məntiqi yanaşma, yüklənmə azalması saatlarda soyuducu qurğuların intiqallarının gücündən istifadə etməklə süni soyuqluğun akkumulyasiyası (yığılması) və pik yüklənmə vaxtlarında akkumulya olunmuş soyuduqdan istifadə etməkdir. Bu, soyuqluğun təbii yığılma üsullarından istifadənin mümkün olmayan bölgələr üçün xüsusilə vacibdir. Məsələn, cənub dənizlərində balıqçı gəmilərinin işi.

İşin məqsədi süni soyuq yığılma sistemlərindən istifadə etməklə balıqçı gəmilərinin soyuducu qurğularının iş parametrlərini optimallaşdırmaqdır.

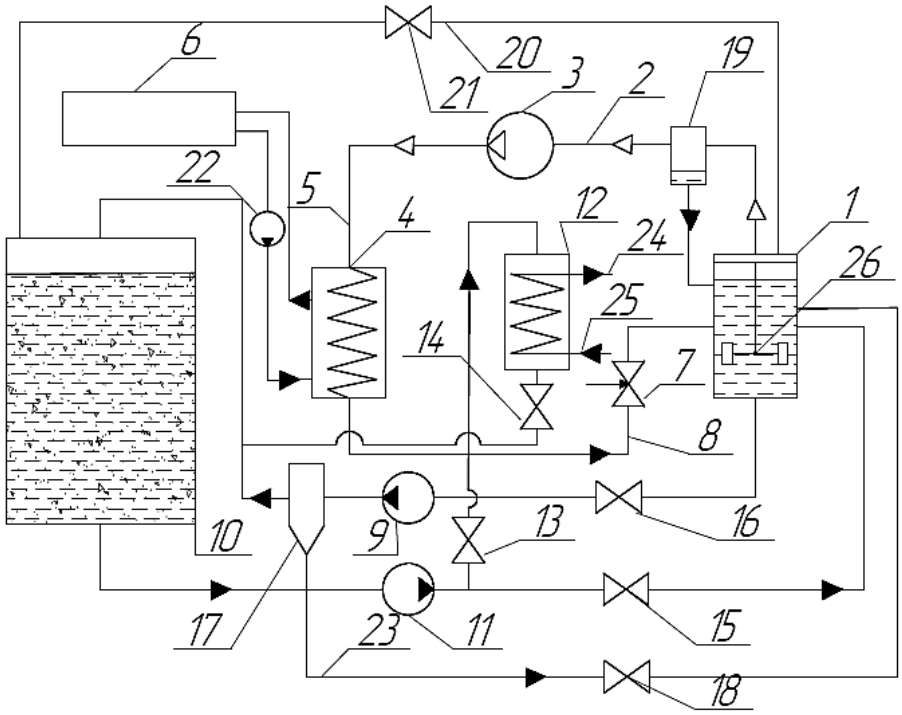
Aktuallıq enerji istehlakının azaldılması və dəniz soyuducu qurğuların istismarı xərclərinin azaldılması üsullarının yaradılmasındadır.

İşin yeniliyi enerji xərclərini azaltmaq üçün soyuqluğun yığılmasının yeni üsullarından və onların əsasında optimallaşdırma üsullarından istifadə edilməsi ilə bağlıdır.

Maddələrin birbaşa kontaktı ilə olan soyuducu qurğular əsasında soyuğun süni yığılma üsulu. Klassik bir soyuducu maşında, soyuducudan gələn istilik buxarlandırıcının istilik mübadiləsi divarı vasitəsilə soyuducu agentə ötürülür, bu da istilik mübadiləsi səthini məhdudlaşdırır, bunun nəticəsində soyutma qabiliyyəti birbaşa istilik ötürmə səthinin sahəsindən asılıdır. Bunu kompensasiya etmək üçün istilik mübadiləsi səthini mümkün qədər artırmaq lazımdır. Bununla birlikdə, kontakt səthini artırmaq və soyutma və buz əmələ gəlməsinin səmərəliliyini artırmaq üçün maddələrin birbaşa kontaktı, yəni soyuducu agentin və soyuqluq daşıyıcısının birbaşa qarşılıqlı əlaqəsi istifadə edilə bilər.

Freonu əsas götürsək, su ilə təmasda olduqda, müəyyən şərtlərdə kristal hidratlar və ya su buzu əmələ gəlir. Əmələ gələn buz yığılırsa və sonradan istifadə olunursa, sulu məhlul ilə kontaktda olan soyuducu agentin istiliyi udması hesabına soyuqluğun maşın üsulu ilə yığılması ideyası yaranır.

[7]-də hazırlanmış metod eyni prinsiplərə əsaslanır. Əsas kimi RC318 soyudu agenti kristal hidratların əmələ gəlməməsi, kristalizatorda buz əmələ gəlməsi zamanı yığılma və sonradan buzun soyuqluq daşıyıcısı axını ilə yuyulması səbəbindən götürülmüşdür, bu da daha sonra istehlakçını soyuqla təmin etməyə yönəldilmişdir. Qurğunun sxemi şəkil 1-də göstərilmişdir.



***Şəkil 1**. Soyuqluğun yığılması qurğusu:*
1 - kristalizator; 2 – sorma xətti; 3 - kompressor; 4 - kondensator; 5 – vurma xətti; 6 - ciller; 7 – tənzimləyici ventil; 8 – maye xətti; 9 – məhlulu və buzu qarışdıran nasos; 10 - yığılma çəni; 11 – məhlulun qaytarılması nasosu; 12 – istilikdəyişdiricisi;13–16, 18, 21 – bağlama ventilləri; 17 - hidrosiklon; 19 – maye ayırıcısı; 20 - tarazlama xətti; 22 - cillerin nasosu; 23 – soyuducu agentin qaytarılması xətti; 24, 25 – soyuqluğun təchizatı və qaytarma xətləri; 26 – qarışdırıcı

Soyuducu agent kondensatordan 4 tənzimləyici klapan 7 vasitəsilə kristalizatora 1 verilir, burada qaynayır, natrium xlorid məhlulundan istilik alaraq buz kristallarını əmələ gətirir, maye soyudu agentin daha kiçik bir hissəsi nasos 9 tərəfindən daşınır, daha böyük hissəsi isə buxar-maye qarışığı şəklində maye ayiricisina 19 daxil olur, burada maye soyuducu agent ayrılır. Sonra soyuducu agentin buxarı kompressor 3-də sıxılır və kondensator 4-də kondensasiya olunur, bundan sonra o, drossellənir

və kristalizator 1-ə daxil olur. Yaranan buz kristalları və maye soyudu agentin damcıları olan natrium xlorid məhlulu, açıq ventil 16 keçərək nasos 9 vasitəsilə hidrosiklon 17-yə verilir və burada qarışıqdan maye soyudu agent ayrılır bağlayıcı ventil 18-dən keçərək kristalizator 1-ə qaytarılır. Buzlu məhlul yuxarı hissədə buzun akumulyasiya çəni 10-a verilir, və onun yuxarı hissəsində yığilir. Yığılma rejimində 13 və 14-cü bağlama ventilləri bağlanır. Natrium xlorid məhlulu nasos 11 vasitəsilə akumulyasiya çəninin 10 aşağı hissəsindən götürülür və kristalizatora 1 verilir, burada yenidən buz əmələ gətirmək üçün soyuducu agent ilə qarışdırılır. İstehlakçıya soyuqluğu vermək rejimində ventillər 15 və 16 bağlanır, 13 və 14-cü ventillər açıqdır, isti məhlul yığılma çəninin 10 yuxarı hissəsinə verilir, burada buzla soyudulur və soyuq məhlul nasos 11 vasitəsi ilə istilikdəyişdiricisinə 12 yönəldilir, burada o istehlakçıdan istiliklə qızdırılır, sonra isə akumulyasiya çəni 10-a qaytarılır. Soyuducu agentin kondensasiya istiliyi kondensator 4-ə soyuq maye verən nasos 22 ilə təchiz edilmiş ciller 6 köməkliyi ilə aparılır. Kristalizator 1 və yığılma çəni 10-da təzyiqi bərabərləşdirmək üçün bərabərləşdirici xətt 20 ilə bağlama ventili 21 mövcuddur. Prosesi intensivləşdirmək üçün kristalizator 1-dəki məhlul daim qarışdırılır 26.

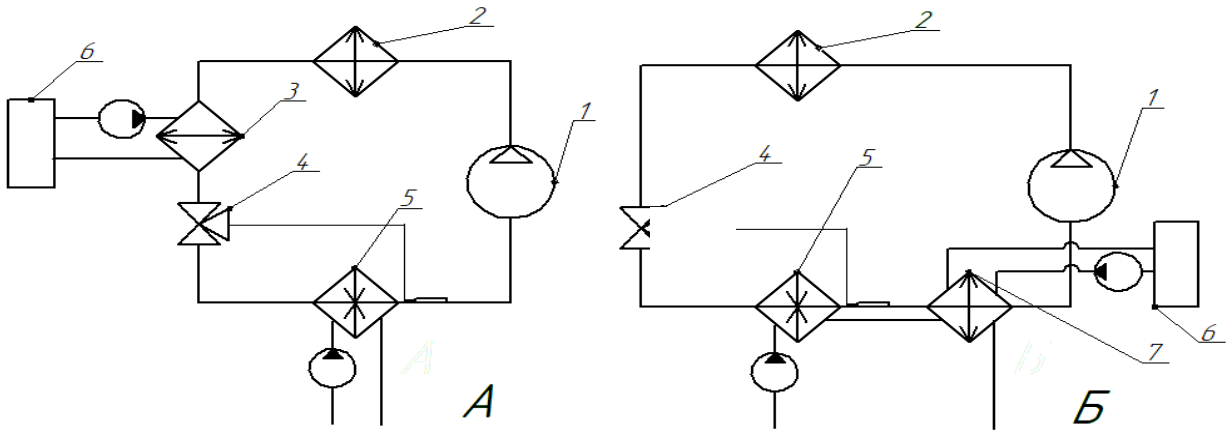
Bu üsuldan istifadə yığılma üçün enerji xərclərini kəskin azaltmağa imkan verir. Hesablama məlumatları sübut etdi ki, fazaların birbaşa kontaktı metodu məlum buz əmələgətirmə üsulları ilə müqayisədə 40% -dən çox enerjiyə sərfəlidir.

Gəmi sistemlərində belə konstruksiyaların istifadəsi soyuducu maşınların işini optimallaşdırmağa və onların enerji səmərəliliyini artırmağa imkan verir.

Süni soyuqluq yığılması qoşulması ilə soyuducu qurğuların işinin optimallaşdırılma modeli. Soyuducu qurğunun optimallaşdırılmasının iki sxemini nəzərdən keçirək (şəkil 2):

– pik yüklənmələrdə soyuducu agenti həddindən artıq soyutmaq üçün yığılmış soyuqdan istifadə edilir və bununla da məhsuldarlıq artır (şəkil 2, *A*);

– soyudulan obyektlərdə aşağı temperaturun saxlanması üçün yığılmış soyuqdan və bununla da qurğuda pik yüklənmələrin hamarlanması üçün istifadə olunur (şək. 2, *Б*).



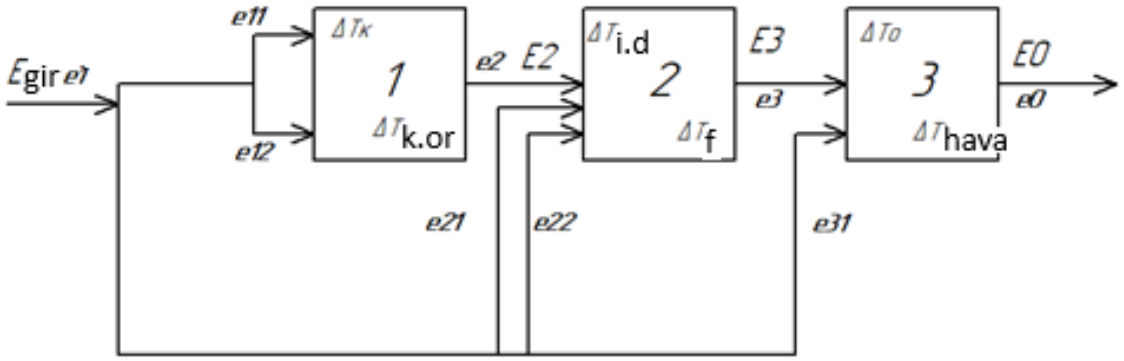
***Şəkil 2**. Soyuqluq akkumulyatorlu soyuducu qurğunun sxemləri:*
A – yığılmalanmış soyuqluq həddən artıq soyutma üçün istifadə olunur; Б – yığılmalanmış soyuqluq soyutma obyektlərində aşağı temperaturu saxlamaq üçün istifadə olunur; 1 - kompressor; 2 - kondensator; 3 – həddən artıq soyutma istilikdəyişdiricisi; 4 – termotənzimləyici ventil; 5 - buxarlandırıcı; 6 - soyuqluq akkumulyatoru; 7 – əlavə soyutmanın istilikdəyişdiricisi

Enerji soyuducu maşının müxtəlif elementlərinə verilir. Bu zaman işə və istiliyə enerji ötürülməsinin müxtəlif formaları kimi baxılır. Nəzərə almaq lazımdır ki, istilikdəyişdiricilərində və soyuqluğun akkumulyatorlarında istilik fərqli temperatur potensiallarında verilir. Buna görə enerji ötürülməsinin müxtəlif formalarını qiymətləndirmək üçün vahid meyar seçmək lazımdır. Belə bir

kəmiyyət kimi ekserji seçilə bilər. Soyuducu qurğunun ayrı-ayrı elementlərindəki itkilərə görə, faydalı effekt əldə etmək üçün verilən ekserjinin yalnız bir hissəsi istifadə edilə bilər.

Enerji parametrlərinə əsaslanan optimallaşdırma texnikasını nəzərdən keçirək. Bunun üçün termodinamik analizə əsaslanan iki optimallaşdırma üsulunu nəzərdən keçirəcəyik.

Optimallaşdırma sxemi şəkil 2-dəki sxemə uyğun şəkil 3-də göstərilmişdir, optimallaşdırma sxemi [3]-də göstərilən optimallaşdırmaya bənzəyir və onu süni soyuqluğun yığılmasını nəzərə almaqla təkrarlayır. 1-ci sahəyə buxarlandırıcı olmadan soyuducu qurğunun əsas sxemi (kompressor, kondensator, tənzimləyici ventil və kondensatoru soyutma suyu ilə təmin edən nasoslar) daxildir; sahə 2 – həddən artıq soyutma istilikdəyişdiricisi, istilikdəyişdiricinin qidalandırıcı nasosları, buz akkumulyatoru; sahə 3 – HS ventilyatorları.



***Şəkil 3**. Soyuducu agentin həddən artıq soyudulması ilə süni soyuq akkumulyatorlu birpilləli soyuducu qurğunun termodinamik diaqramı*

Hər bir zonada ona daxil olan avadanlığın dəyəri nəzərə alınır:

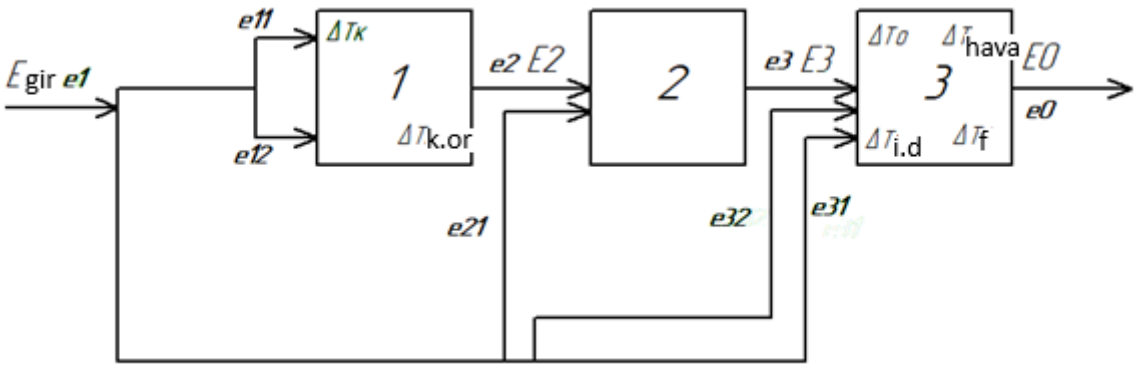
e11 - kompressor intiqalı üçün, e12 - kondensator ventilyatoru üçün, e22 - nasos üçün, e23 - buz akkumulyatoru üçün və e31 – hava soyuducusunun ventilyatoru üçün. Ekserjinin ötürülməsi həyata keçirilir: 1 - e2 bölgəsindən 2-ci bölgəyə, 2 - e3 bölgəsindən 3-cü bölgəyə. 2-ci bölgəyə ümumi daxil olan ekserji E2, 3-cü bölgəyə - E3-dür. Soyudulan mühitin ekserji artımı E0-ə bərabərdir, ekserjinin soyudan mühitə ötürülməsi e0-dir. İstilik dəyişdiricilərində müstəqil dəyişənlər kimi temperatur fərqləri və cihazlarda işçi agent ilə ətraf mühit arasında orta loqarifmik temperatur fərqləri qəbul edilir: $\Delta T_к$ – kondensatorda işçi agent ilə soyudan mühit arasında; $\Delta T_{к.or}$ – kondensatorun giriş və çıxışında orta soyutma; ΔT_f – istilikdəyişdiricisinə daxil olan və çıxan freonun; $\Delta T_{i.d}$ – istilikdəyişdiricisində işçi agent ilə soyudan mühit arasında; ΔT_{hava} – istilikdəyişdiricisinə daxil olan və çıxan soyuducu mühitin; ΔT_0 – hava soyuducusunda işçi cisim ilə soyudulan mühit arasında; $\Delta T_{h.s}$ – hava soyuducusuna daxil olan və hava soyuducusundan çıxan soyudulan mühit.

Optimallaşdırma meyarı olaraq enerji xərcləri seçilib:

$$U = E_{gir}(e11 + e12 + e21 + e22 + e31).$$

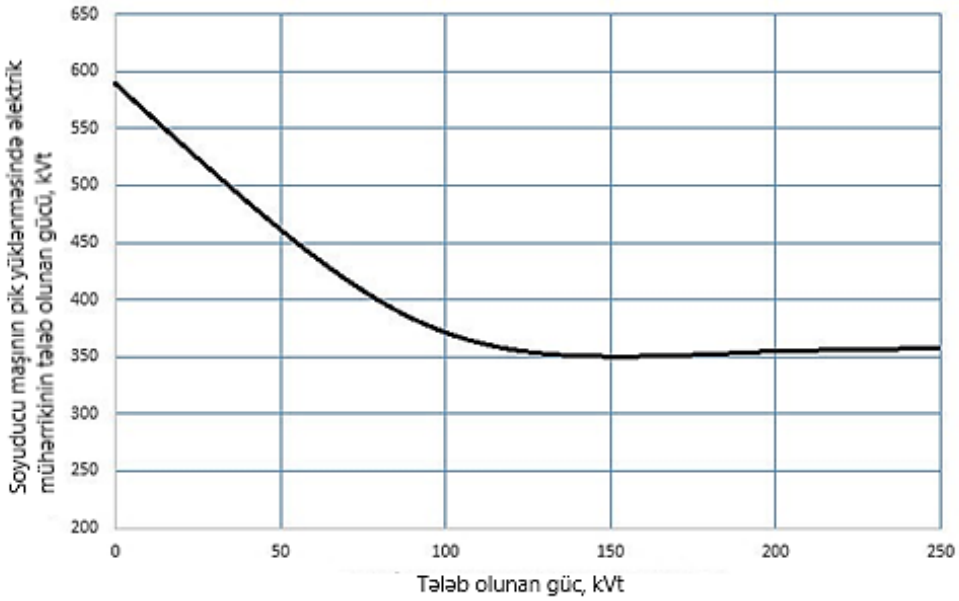
Şəkil 2, *Б* -dəki sxemə uyğun olaraq başqa bir optimallaşdırma sxemi şəkil 4-də göstərilmişdir və soyuducu qurğunun işini asanlaşdırmaq üçün akkumulya olunmuş soyuqluğun pik yüklənmələr zamanı soyuq ehtiyacını təmin etmək üçün istifadə edilməsi ilə fərqlənir.

Qəbul edilmiş optimallaşdırma meyarları birinci halda olduğu kimidir. Hesablama metodu tamamilə şəkil 4-dəki yeni sxemin nəzərə alınması ilə qalır. Bu halda optimallaşdırma üçün mühitlər arasında ekserji axınları daha mürəkkəb formaya malikdir.



***Şəkil 4**. Soyuducu obyektin əlavə soyudulması ilə süni soyuqluq akkumulyatorlu birpilləli soyuducu qurğunun termodinamik diaqramı*

Şəkil 5-də soyuq yığılması üçün enerji xərcləri nəzərə alınmaqla soyuducu maşın intiqalı üçün orta enerji xərclərinin həlli göstərilir. Optimallaşdırma obyekti kimi balıqların tutulması, dondurulması və saxlanması, balıq məhsullarının emalı üçün nəzərdə tutulmuş iri dondurucu balıq ovu trol gəmisi seçilmişdir. Seçilmiş gəmi balıqları saxlamaq üçün tutumu 2140 m3 və nəzərdə tutulan saxlama temperaturu -28°C olan iki anbardan istifadə edir. İki pilləli kompressor aqreqatının qaynama temperaturu –45°C və kondensasiya temperaturu 36°C olduqda soyuducu gücü 540 kVt, elektrik mühərriklərinin enerji istehlakı - 590 kVt-dır.



***Şəkil 5**. Soyuqluq akkumulyatorunun istifadəsi ilə soyuducu maşının enerji sərfiyyatı*

Qrafikə görə, 6 saat ərzində yığılma zamanı pik yüklənmələri örtmək şərtində akkumulyator gücünün soyuducu sisteminin gücünə optimal nisbəti 20-25% təşkil edir.

Nəticələr və müzakirə. Enerji sərfiyyatı ilə bağlı təqdim olunan metoda uyğun optimallaşdırma soyuqluq yaratmaq üçün ən əlverişli olan iki iş rejiminə gətirib çıxarır:

Birincisi - pik yüklənmələrin olduğu dövrlərdə, soyuducu qurğuda yığılmış soyuqluq vasitəsi ilə həddindən artıq soyutmanın artması ilə əlaqədardır ki, bu da xərcləri azaltmağa imkan verir, çünki

pik yüklənmələr zamanı soyuducu qurğunun məhsuldarlığı tənzimləyici ventildən sonra ballast buxarının azalması səbəbindən artır.

İkincisi - buxarlandırıcı ilə paralel olaraq soyuqluq akkumulyatorunun qoşulmasıdır, yəni pik yüklənmələrdə yığılmış soyuq istilik axınının bir hissəsini götürür, soyuducu maşına maksimum yükü azaldır.

Bu sxemlərin hər birinin öz üstünlükləri və mənfi cəhətləri var, lakin optimallaşdırma probleminin həlli akkumulyator ən sərfəli rejim üçün vaxtaşırı işləməli olduğunu göstərir. Üstəlik, yığılma müddəti istehlak müddətindən daha uzun olmalıdır.

Gəmi sistemlərində pik yüklənmələr ən böyük istilik axını dövrlərində, məsələn, ətraf mühitin temperaturu artdıqda və ya emal edilmiş məhsulların həcmi artdıqda baş verir. Sistemdəki pik yüklənmələr günün yalnız kiçik bir hissəsini təşkil edir, lakin onları örtmək üçün soyuducu qurğuları maksimum tutum üçün konstruksiya etmək lazımdır.

Yığılmadan istifadə edərək təklif olunan optimallaşdırma üsulları soyuducu qurğuların gücünü hesabi yüklənmələrin səviyyəsinə endirməyə və akkumulyatorun soyuğundan istifadə etməklə pik yüklənmələri kompensasiya etməyə imkan verir.

Yeni yanaşma yığım prosesi üçün enerji xərclərini və ümumiyyətlə, istismar xərclərini və soyuducu gəmilərdə soyuducu qurğuların ilkin dəyərini əhəmiyyətli dərəcədə azalda bilər.

Nəticə. Aparılmış tədqiqat və layihələndirmə tədqiqatları təsdiq edir ki, balıqçılıq gəmilərində proseslər üçün soyutma sistemlərində yeni yığılma üsullarından istifadə istismar xərclərini və soyuducu qurğuların qiymətini azaltmağa imkan verir. Təqdim olunan optimallaşdırma metodu, tətbiq sxemindən asılı olaraq, soyuqluq akkumulyatoru soyuducu maşının səmərəliliyini artırır və əlavə olaraq, işdə təqdim olunan birləşmə sxemlərinə uyğun pik yüklənmələrdə işləməyini təmin edir.

Optimallaşdırma onun tərkibinə daxil olan soyuqluq akkumulyatoru ilə soyuducu qurğunun parametrlərini optimallaşdırmağa imkan verir. Ən qənaətcil sxemi seçməyə imkan verən ən rasional əlaqə sxemlərindən ikisi təqdim olunur.

Ədəbiyyat

1. Радченко Н.И., Летош Е.В., Дорош В.С. Направления сокращения потребления топлива судовыми системами рефрижерации // Збірник наукових праць. 2007. № 1 (412). С. 97–101.
2. Дорош В.С. и др. Энергосберегающие воздухоохладители систем охлаждения рефрижераторных судов // Авиац.-косм. техника и технология. 2007. № 10. С. 179–183.
3. Крайнев А.А., Сериков С.А. Оптимизация режимов работы холодильной установки с аккумулятором естественного холода с использованием метода термоэкономического анализа // Вестн. Междунар. акад. холода. 2014. № 1. С. 55–58.
4. Харлампиди Д.Х., Тарасова В.А. Структурный термодинамический анализ парокомпрессорной холодильной машины // Техн. газы. 2012. № 5. С. 57–66.
5. Пархомов М.М. Эксергетический анализ парокомпрессионной холодильной установки // Науч. журн. НИУ ИТМО. Сер.: Холодильная техника и кондиционирование. 2010. № 2. С. 45–53.
6. Путилин С.С. Использование математических моделей и методов системного анализа для оптимизации управления работой аммиачной холодильной установки // Прикаспий. журн.: упр. и высок. технологии. 2013. № 3. С. 33–42.
7. Пат. 2766952 C1 Рос. Федерация, МПК F25D 3/00. Способ аккумулирования холода и устройство для его осуществления / Семенов А.Е., Андреев А.И. № 2021124868; заявл. 23.08.2021; опубл. 16.03.2022.

Məqalə qəbul olunub: 17.04.25
Tövsiyə edib: dos. İsmayılov A.Ş.

UOT 621.043

ÇOXYANACAQLI DİZEL MÜHƏRRİKLƏRİNİN GƏMİLƏRDƏ TƏTBİQ EDİLMƏSİNİN PROBLEMLƏRİ VƏ PERSPEKTİVLƏRİ

İsmayılov A.Ş.

"Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası" PHŞ
AZ1000, Bakı şəh., Z.Əliyeva küç., 18
E-mail: akif.ismayilov@asco.az

Xülasə. *Məqalədə gəmi dizel mühərriklərində istifadə olunan bəzi alternativ yanacaqlar haqqında, çoxyanacaqlı gəmi dizellərinin texniki və istismarla bağlı problemləri, üstünlükləri və gələcək perspektivləri, bu mühərriklərdə həm ənənəvi dizel yanacağının, həm də qaz yanacağının silindrə püskürülməsini təmin edən forsunkaların konstruksiyası və iş prinsipi, mühərrikdə müxtəlif növ yanacaqlardan istifadə etməyə imkan verən sıxma dərəcəsini avtomatik dəyişən porşenin konstruksiyası, SWOT təhlilinin gəmi dizel mühərrikləri və çoxyanacaqlı gəmi dizellərinə tətbiqi haqqında məlumatlar verilmişdir.*

Аннотация. *В статье излагаются сведения о некоторых альтернативных топливах, используемых в судовых дизелях, о технических и эксплуатационных проблемах, а также о преимуществах и перспективах многотопливных судовых дизелей, о конструкциях и принципах работы форсунок, обеспечивающих впрыск в цилиндр традиционного дизельного и газового топлива, о конструкции поршня, автоматически изменяющий степень сжатия, позволяющий использовать различные виды топлива, о применении анализа SWOT в судовые дизельные и многотопливные двигатели.*

Abstract. *The article presents information on some alternative fuels used in marine diesel engines, technical and operational problems, as well as the advantages and prospects of multi-fuel marine diesel engines, on the design and operating principles of injectors that provide injection of traditional diesel and gas fuel into the cylinder, on the design of a piston that automatically changes the compression ratio, allowing the use of different types of fuel, on the application of SWOT analysis in marine diesel and multi-fuel engines.*

Açar sözlər. *Çoxyanacaqlı gəmi dizelləri, problemləri, perspektivlər, dizel yanacağı, alternativ yanacaqlar, qaz yanacağı, sıxma dərəcəsi, porşen, SWOT təhlili*

Ключевые слова. *Многотопливные судовые дизели, проблемы, перспективы, дизельное топливо, альтернативное топливо, газовое топливо, степень сжатия, поршень, анализ SWOT*

Key words. *Multi-fuel marine diesel engines, problems, prospects, diesel fuel, alternative fuel, gas fuel, compression ratio, piston, SWOT analysis*

Giriş. Porşenli daxili yanma mühərrikləri hələ uzun müddət nəqliyyat, kənd təsərrüfatı və stasionar maşınların əsas energetik güc qurğusu kimi istifadə olunacaqdır. Bu zaman əsas üstünlüyün daha qənaətli olan mühərriklərə-dizel mühərriklərinə veriləcəyi ehtimal olunur. Ona görə də dizel mühərriklərinin texniki-iqtisadi və ekoloji göstəricilərinin yüksəldilməsi çox böyük əhəmiyyət kəsb edir. Hazırda dizel mühərrikləri parkı daha da genişləndirilir ki, belə bir şəraitdə bu problem daha da aktuallaşır.

Gəmilərdə də baş və köməkçi mühərriklər kimi əsasən dizel mühərrikləri daha geniş istifadə edilir. Aydınlaşdırılmışdır ki, hər il gəmi energetik qurğularında istifadə etmək üçün 400 *mln* tondan çox neft mənşəli yanacaqlardan istifadə olunur ki, onlar da öz növbəsində özlülükləri 2,5-dən 14 mm^2/s-ə qədər olan distillat və özlülükləri 40-dan 80 mm^2/s-ə qədər olan qalıq yanacaqlara bölünür [1,

səh. 108]. Məlumdur ki, hazırda gəmi şirkətlərində istismar xərclərinin böyük bir hissəsini yanacaqlara çəkilən xərclər təşkil edir. Odur ki, gəmilərdə istifadə olunan dizel mühərriklərində keyfiyyəti daha aşağı olan ucuz yanacaqlardan istifadə etməyə üstünluk verilir. Bu isə öz növbəsində onların resurslarının və ekoloji göstəricilərinin aşağı düşməsinə səbəb olur. Ona görə də, gəmilərdə istifadə olunan yanacaqların növünü seçərkən birinci növbədə gəmi dizellərinin texniki-iqtisadi göstəricilərinin azalmamasına, eləcə də yanacaq sistemlərinin modernləşdirilməsinə çəkilən xərclərin həddindən artıq artmamasına fikir vermək lazımdır. Bütün bunlar mühərriklərdə istifadə olunan dizel yancağının resursunun artırılmasını tələb edir. Lakin dizel yanacağının istehsalı xam neftdə olan ağır frasksiyanın miqdarından asılı olaraq məhduddur. Ona görə də gəmi dizel mühərriklərində digər alternativ yanacaqlardan (bitki yağlarının efirlərindən, aşağı oktan ədədli benzinlərdən, qaz kondensatı əsasında hazırlanmış yanacaqlardan və s.) istifadə olunması istiqamətində elmi-tədqiqat işləri aparılır.

Distillat yanacaqların özüalışma qabiliyyəti, buxarlanma və tam yanma keyfiyyəti daha yüksəkdir. Bu yanacaqlara dizel yanacaqları və azözlülüklü gəmi yanacaqları aiddir. Axırıncılar yüksək və orta dövrlü dizellərdə, həmçinin qazturbin mühərriklərində istifadə olunur və dizel fraksiyasına yüngül qazoyl fraksiyasının əlavə olunması ilə hazırlanır. Azözlülüklü gəmi yanacaqlarının setan ədədi dizel yanacağına nisbətən aşağı və tərkibindəki kükürdün miqdarı daha çox olur.

Qalıq yanacaqlara flot mazutu və ortaözlülüklü distillat yanacağın ISO 8217:2010 standartına uyğun qarışdırılması ilə alınan yanacaqlar aiddir.

Ətraf mühitin qorunması nöqteyi-nəzərindən ekoloji tələblərin getdikcə daha da sərtləşdirilməsi, o cümlədən, mühərriklərin f.i.ə.-nin və ekonomik effektivliyinin yüksəldilməsi tendensiyası dizel yanacağı ilə yanaşı mayeləşmiş təbii qazdan (MTQ) da istifadə olunması nəzərdə tutulan yeni güc qurğularının yaradılmasına səbəb oldu. Məlum olduğu kimi, MTQ yanarkən alınan yanma məhsulları ətraf mühitə daha az zərər verir. Bununla yanaşı gəmi dizellərinin gələcəkdə yalnız MTQ-yə keçirilməsi daha perspektiv hesab olunur. Gəmi dizel mühərrikinin MTQ ilə işləməsi gəminin tipindən də çox asılıdır. Belə ki, qaz daşıyan (qazovoz) gəmilərdə yanacağa olan tələbat artıq gəmi bortunda hazırdır və buxarlanmış qazdan istifadə etmək kifayətdir. Bu sistem baş gəmi dizelinə və köməkçi dizel-generatorlara həm qazın, əlavə olaraq, həm də ənənəvi dizel yanacağının verilməsini təmin edir.

Yuxarıda göstərilən yanacaqlardan başqa gəmi dizellərində digər alternativ yanacaqlardan: metanoldan, bioyanacaqlardan, qaz kondensatı əsasında hazırlanmış yanacaqlardan və hidrogendən də istifadə olunması perspektivlidir.

Müxtəlif yanacaq növlərindən istifadə olunması, öz növbəsində, gəmilərdə çoxyanacaqlı dizel mühərriklərinin yaradılması zərurətini yaradır. Belə mühərriklərdə distillat yanacaqlarla işləyən dizel mühərriklərindən fərqli olaraq əsasən yanacaqvermə aparaturunun: yüksək təzyiqli yanacaq nasosunun və forsunkanın konstruksiyalarının təkmilləşdirilməsinə ehtiyac olur.

Beləliklə, dizel mühərrikləri parkının genişləndirilməsi bir tərəfdən bu mühərriklərin texniki-iqtisadi göstəricilərinin yaxşılaşdırılmasını (yüksək üstəlik üfürmə tətbiq etməklə), digər tərəfdən isə dizel mühərriklərində daha yüngül alternativ yanacaqların tətbiq edilməsini tələb edir. Çoxyanacaqlı, ələlxüsus da sıxma dərəcəsini avtomatik dəyişən poşenli (SDADP) dizel mühərriklərində bu məsələ çox asanlıqla həll olunur. Belə ki, həmin mühərriklərdə sıxma dərəcəsi işə düşmə zamanı yüksək, nominal yük rejimlərində isə kiçik olur. Bu isə, həm yüksək üfürmə sistemi tətbiq etməyə, həm də yüngül yanacaqlardan istifadə olunmasına imkan verir. Lakin hələlik axıra qədər təkmilləşdirilmiş və istismarda olan SDADP-li mühərrik yoxdur. Odur ki, bu mühərriklərin yaradılması istiqamətində həm nəzəri, həm də eksperimental elmi-tədqiqat işləri yerinə yetirilməsi davam edir.

Beləliklə, qeyd etmək olar ki, yuxarıda şərh olunanlar məqalənin aktual məsələlərə həsr olunduğunu göstərir.

Əsas hissə. Çoxyanacaqlı gəmi dizelləri müxtəlif növ yanacaqlarla işləyə bilən dizel mühərrikləridir. Bu tip mühərriklər müasir gəmiçilikdə çeviklik və iqtisadi səmərəlilik məqsədilə inkişaf

etdirilməkdədir. Onlar həmçinin ətraf mühitə vurulan zərərli təsiri azaltmaqda da mühüm rol oynayırlar. Lakin çoxyanacaqlı gəmi dizelləri müxtəlif üstünlüklərlə yanaşı, bəzi texniki və istismarla bağlı problemlər də yaradır. Aşağıda bu problemlərin əsasları göstərilmişdir:

Texniki problemlər

1. Yanacaq uyğunluğu problemi:
   - Müxtəlif növ yanacaqların kimyəvi tərkibi fərqli olduğu üçün onların qarışdırılması çöküntü, qətran və digər çirkləndiricilərin yaranmasına səbəb ola bilər (məsələn, ağır mazut (HFO) ilə LNG və ya MGO (dəniz dizeli) arasında keçid zamanı problemlər yarana bilər).
2. İstilik dəyişiklikləri:
   - Müxtəlif yanacaq növlərinin yanma temperaturu fərqlidir. Bu, silindrlərdə qeyri-bərabər yüklənməyə, hətta daxili istilik gərginliklərinin yaranmasına səbəb ola bilər.
3. Yanma səmərəliliyi və korroziya:
   - Bəzi yanacaq növləri (xüsusilə də kükürd tərkibli yanacaqlar) mühərrikin daxili hissələrində korroziyanı artırır.
   - Yanma prosesində su buxarı ilə birləşərək turşular əmələ gətirə bilər (məsələn, H_2SO_4).
4. Avtomatlaşdırma və idarəetmə sistemləri:
   - Mühərrikin idarəetmə sistemi müxtəlif yanacaq növlərinə uyğun işləməlidir. Bu da kompleks sensorlar və proqram təminatı tələb edir.

İstismar problemləri

1. Başqa anacağa keçid protokolları:
   - Yanacaq növü dəyişdirildikdə, keçid düzgün həyata keçirilməzsə, mühərrik sönə bilər və ya zədələnə bilər (məsələn, ECA (Emission Control Area) zonasına daxil olan zaman aşağı kükürdlü yanacağa keçid zəruridir).
2. Logistika və saxlanma:
   - Müxtəlif yanacaqlar üçün ayrı-ayrı tanklar, borular və təmizləyici sistemlər tələb olunur. Bu da gəmi dizaynında əlavə yer və baxım tələb edir.
3. İşçi heyətin təcrübəsi:
   - Əgər heyət başqa yanacağa keçid və idarə olunma üzrə kifayət qədər təcrübəli deyilsə, əməliyyat səhvləri və qəza riski artır.
4. Digər potensial çətinliklər
   - Qiymət fərqləri: Hər yanacağın dəyəri və bazar qiyməti dəyişkən olduğundan, optimal istifadə üçün daim qiymət təhlili aparmaq lazımdır.
   - Ətraf mühit normativləri: Bəzi yanacaqlar müxtəlif bölgələrdə məhdudiyyətlərlə istifadə oluna bilər.

Çoxyanacaqlı gəmi dizel mühərriklərinin perspektivləri müasir dənizçilik sənayesində əhəmiyyətli dərəcədə artmaqdadır. Bu tendensiya həm iqtisadi, həm də ekoloji amillərlə bağlıdır. Aşağıda çoxyanacaqlı dizel mühərriklərinin **üstünlükləri və gələcək perspektivləri** göstərilmişdir:

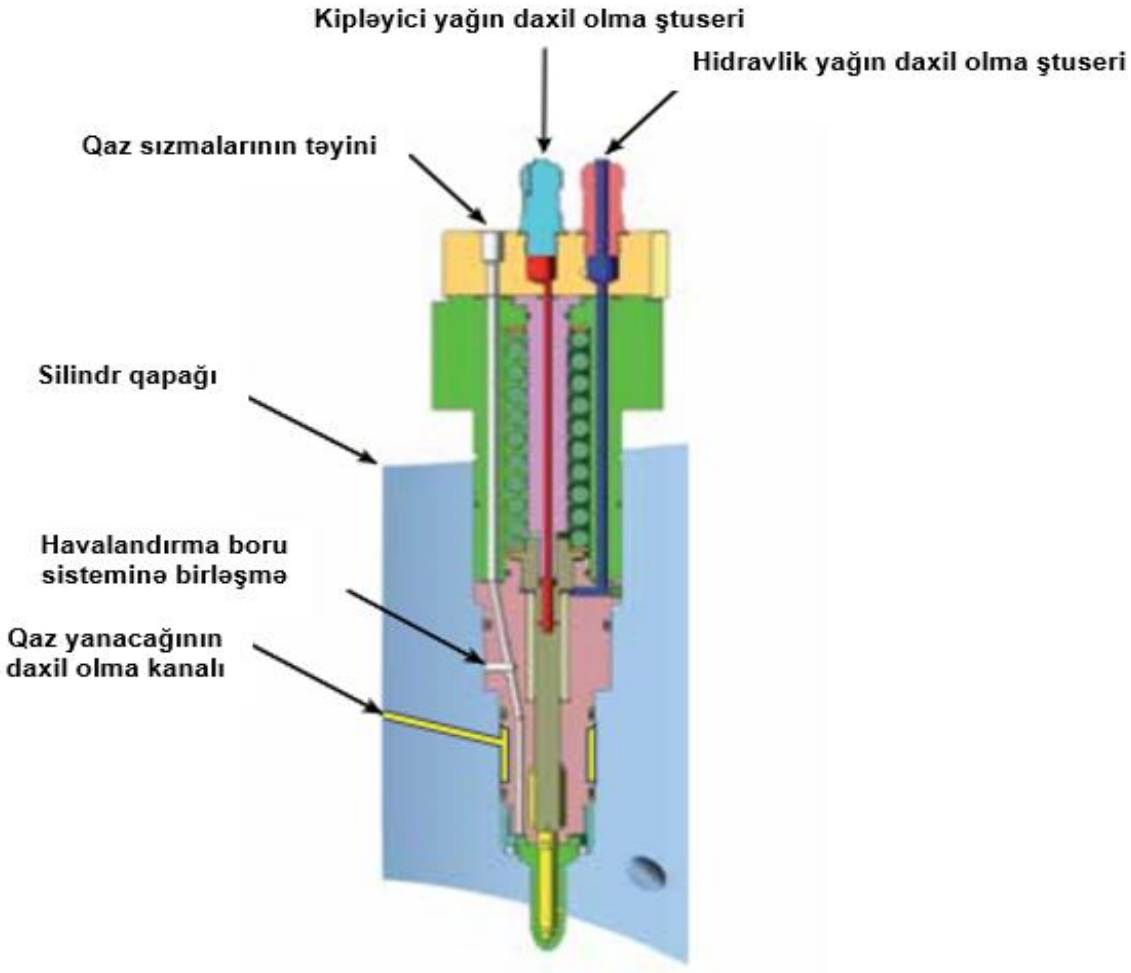
1. Ətraf Mühitə uyğunluq və tənzimləmələr
   - IMO-nun MARPOL Annex VI kimi beynəlxalq ətraf mühit tənzimləmələri emissiyaların (ətraf mühitə buraxılan zərərli maddələr və enerjilər) azaldılmasını tələb edir (SOx, NOx və CO_2).
   - Çoxyanacaqlı mühərriklər bu tələblərə cavab verərək, təmiz yanacaqlara, məsələn: LNG (mayeləşdirilmiş təbii qaz), metanol, bioyanacaqlar və s., keçidi asanlaşdırır.
2. Texnoloji Üstünlüklər
   - Müasir çoxyanacaqlı dizel mühərrikləri LNG, metanol, bio-dizel, hətta bəzi hallarda hidrogen kimi alternativ yanacaqlarla işləyə bilir.
   - İki yanacaqla (Dual-fuel) işləmə texnologiyası: Əsasən dizel yanacağı ilə işləyən, lakin alternativ yanacaqla işləmək ehtiyacı yarandıqda avtomatik keçid edə bilən sistemlər.
3. İqtisadi Effektivlik
   - Yanacaq qiymətlərindəki dalğalanmalara qarşı elastiklik.

- Uzunmüddətli perspektivdə alternativ yanacaqlar, xüsusilə mayeləşdirilmiş təbii qaz (LNG) və bioyanacaqlar, daha sərfəli ola bilər.

4. İstismar elastikliyi

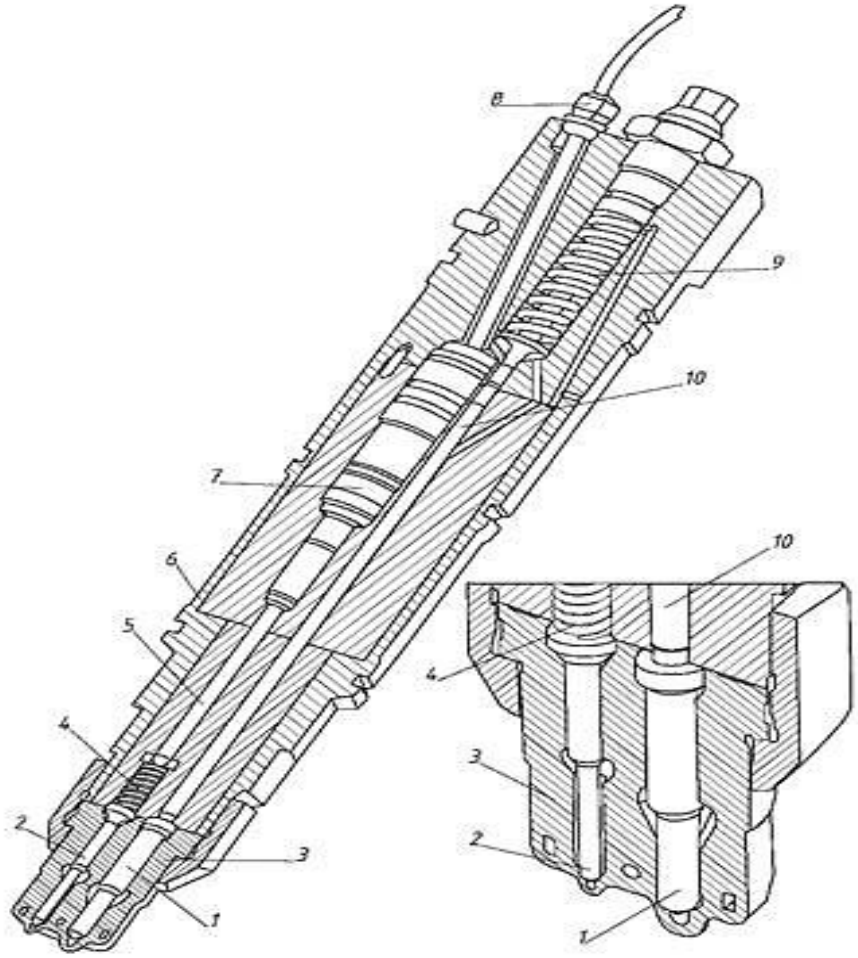
- Gəmi istənilən limanda mövcud olan yanacaqla işləyə bilər.
- Gələcəkdə yeni növ yanacaqların bazara daxil olması çoxyanacaqlı mühərriklərə keçidi daha mənalı edir.

Yuxarıda deyilənlərdən aydın olur ki, çoxyanacaqlı gəmi dizellərində konstruktiv dəyişikliklər başlıca olaraq yanacaqvermə aparaturunda, əsasən də forsunkalarda olur. Şəkil 1.-də yalnız qaz yanacağı ilə işləyən forsunka göstərilmişdir. Qeyd etmək lazımdır ki, yalnız qazla işləyən mühərriklərdə hava-qaz qarışığı qəğılcımın köməyi ilə alışdırılır. Şəkildən göründüyü kimi, yuxarı tərəfdən verilən kipləyici yağ hissələrin arasındakı boşluqlardan qazın sızmasının qarşısını almaq üçündür. Kipləyici yağ daxil olan yerdən sağdakı ştuserdən daxil olan hidravlik yağ qəbul olunmuş momentdə və təzyiqdə tozlandırıcının iynə klapanını yuxarı qaldıraraq qazın silindrə daxil olmasına imkan verir. Qaz yanacağı iynə klapanın ətrafındakı boşluğa forsunkanın aşağı hissəsindəki kanaldan daxil olur. Əgər tozlandırıcı yerləşən boşluqlardan qazın sızması baş verərsə qaz yanacağı daxil olan kanalın yuxarısında yerləşən kanaldan havalandırma boru sisteminə qaytarılır. Kipləyici yağ daxil olan ştuserin solunda yerləşən hissədə qaz sızmalarını təyin etmək üçün verici, silindr qapağında isə forsunkanın özü yerləşdirilmişdir.



Şəkil 1. *Qaz yanacağı üçün forsunka*

Şəkil 2-də qaz və dizel yanacaqlarını silindrə püskürmək üşün istifadə olunan forsunkanın konstruksiyası göstərilmişdir. Onu da qeyd edək ki, silindrə püskürülən dizel yanacağı çox az miqdarda (təxminən tsiklik yanacaq verilişinin 15-20%-i qədər) olur və qaz yanacağını yandırmaq üçün nəzərdə tutulur. Şəkildən göründüyü kimi, forsunkada tozlandırıcının iki ədəd iynə klapanı vardır. Bu iynə klapanlardan 1 mühərrik dizel rejimində işlədikdə dizel yanacağını püskürmək üçün, digər iynə klapanı 2 isə mühərrik qaz yanacağı ilə işlədikdə qaz yanacağını silindrə püskürmək üçündür.

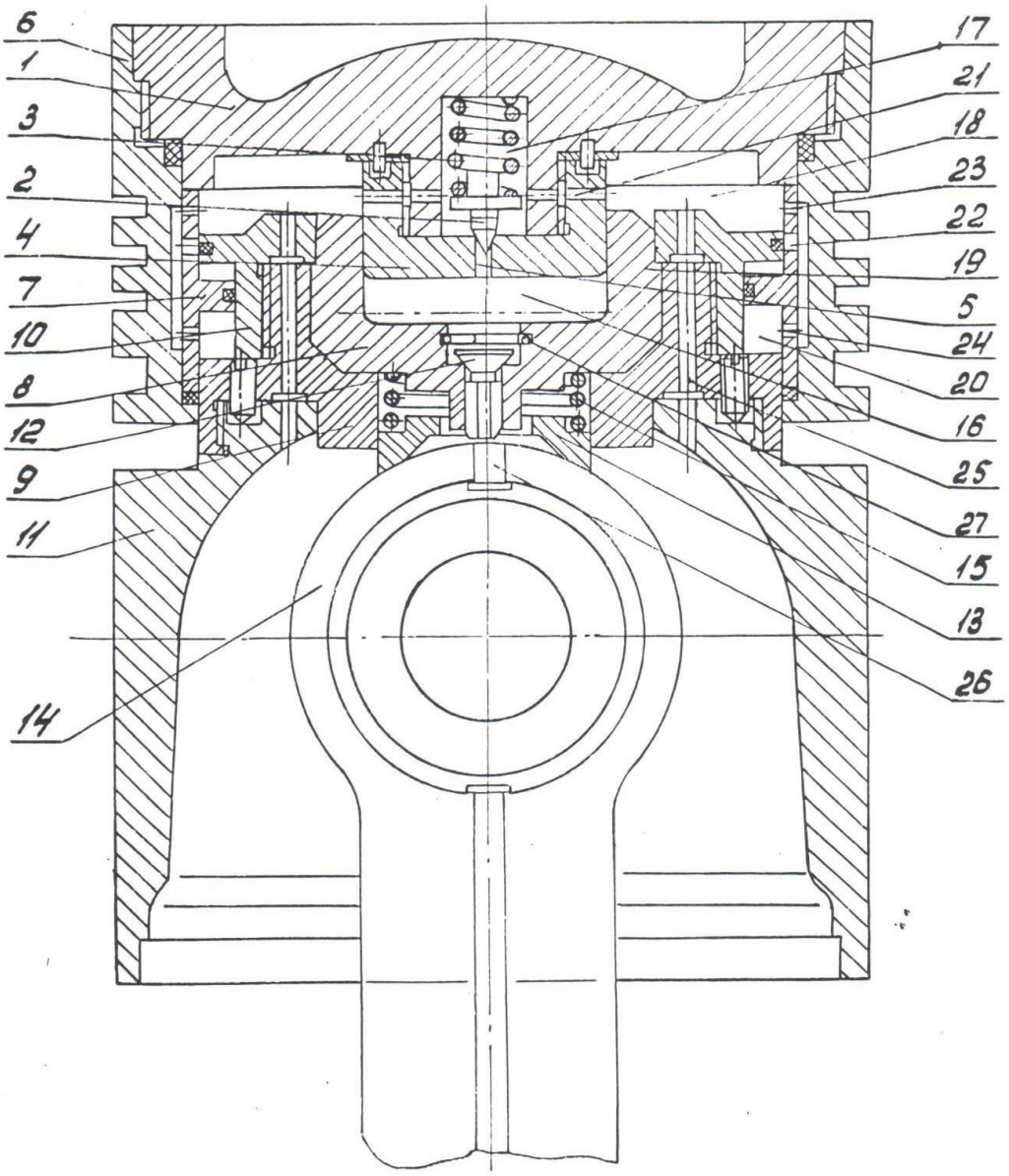


Şəkil 2. Qaz və dizel yanacaqları üçün forsunka

1-Dizel rejimi üçün tozlandırıcının iynə klapanı; 2-qaz yanacağı üçün tozlandırıcının iynə klapanı; 3-Tozlandırıcının gövdəsi; 4-qaz yanacağı üçün iynə klapanın yayı; 5-qaz yanacağı üçün iynə klapanın çubuğu; 6-forsunkanın gövdəsi; 7-qaz yanacağı üçün klapanın elektrohidravlik intiqalı; 8-elektrik ayrılma yeri; 9-dizel yanacağı üçün iynə klapanın yayı; 10-dizel yanacağı üçün iynə klapanın çubuğu

Mühərrik qaz rejimində işlədikdə belə dizel yanacağı sistemdə dövr edir. Bu həm tozlandırıcını soyutmaq, həm də qaz yanacağını alışdırmaq üçün silindrə az miqdarda alışdırma dizel yanacağını lazım olan anda silindrə püskürmək üçün nəzərdə tutulur. Mühərrik qaz yanacağı ilə işlədikdə iynə klapanının 2 açılması avtomatik, dizel rejimində isə iynə klapanın 1 açılması hidromexaniki idarə olunur. Fərdi şəkildə idarə olunan solenoid klapanı mühərrik qazla işlədikdə qazın silindrə verilmə momentini və püskürmə müddətini optimallaşdırmağa imkan verir. Baxılan konstruksiya NO_x-in miqdarının azalmasına imkan verir, belə ki, NO_x-in miqdarı silindrə qazı alışdırmaq üçün az miqdarda verilən dizel yanacağının miqdarından asılıdır.

Şəkil 3-də sıxma dərəcəsini avtomatik tənzimləyən porşenin konstruksiyası göstərilmişdir. Bu konstruksiyanın əsas üstünlüyü onun mühərrikin iş rejimlərinin dəyişməsinə çox həssas olmasıdır. Belə ki, hər bir tsikldə sıxma dərəcəsi mühərrikin iş rejimindən asılı olaraq maksimumdan minimuma qədər dəyişə bilər [2, səh. 82-90]. Bu, təklif olunmuş konstruksiyada nisbətən kiçik həcmə malik olan əlavə kameradan (16) istifadə olunması nəticəsində mümkün olur. Belə ki, porşen yuxarı ölü nöqtəyə doğru hərəkət edərkən, təxminən xaricetmə taktının yarısından başlayaraq, ətalət qüvvəsinin təsiri ilə başlıq hissəsi yuxarıya çəkilir, doldurucu klapan (12) açılır və mühərrikin yağlama sistemindən şatundakı (14) kanallar (26) vasitəsi ilə gələn yağ əlavə kameranı (16) doldurur. Əlavə kameranın diametri porşenin öz diametrindən təxminən üç dəfə kiçik olduğuna görə o, qısa bir müddətdə , daha doğrusu, hər bir tsikldə yağla dola bilir.



Şəkil 3. *Sıxma dərəcəsini avtomatik tənzimləyən porşenin konstuksiyası*

Qeyd etmək lazımdır ki, aşağı və xüsusi həcmlər yığmadan əvvəl yağla doldurulur. Həmin həcmlərdən yağ sızmalarının olmaması və qapağın (10) üzərindəki çıxıntıya görə yuxarı həcmdə həmişə yağ təbəqəsinin olması sayəsində aşağı və xüsusi həcmlər heç bir vaxt tamamilə boşalmır. Yuxarı həcmdə yağın miqdarı çoxaldıqda isə əlavə kanallar (25) vasitəsi ilə mühərrikin karterinə

qaytarılır. Mühərrikin iş rejimi dəyişdikdə, daha doğrusu, aralıq yük rejimində, sıxma dərəcəsinin aşağı həddi dəyişir, maksimum qiymət isə həmişə saxlanılır.

Beləliklə, sıxma dərəcəsi hər bir tsikldə avtomatik olaraq dəyişir (böyük yük rejimlərində) və mühərrikin bütün iş rejimlərində yanma prosesi maksimum sıxma dərəcəsi ilə başlayır. Çünki, hər bir tsikildə başlıq hissəsi ən kənar yuxarı vəziyyətdə olur. Odur ki, belə konstruksiyalı SDADP-li mühərriklərdə gilizin yuxarı hissəsində "quru" kəmər yaranmır və birinci kompressiya üzüyünün iş şəraiti yaxşılaşır.

Çoxyanacaqlı gəmi dizellərinə keçid texnologiyasının da **SWOT təhlili**ni vermək maraqlıdır. **SWOT təhlili** bir anlayışın, layihənin, texnologiyanın və ya təşkilatın **daxili və xarici vəziyyətini** təhlil etmək üçün istifadə olunan **strateji təhlil metodudur**. SWOT sözü dörd İngilis sözünün baş hərflərindən ibarətdir:

S- Strengths (Güclü tərəflər) – daxili müsbət cəhətlər;

W- Weaknesses (Zəif tərəflər) – daxili mənfi cəhətlər;

O- Opportunities (İmkanlar) – xarici pozitiv imkanlar;

T-Threats (Təhlükələr/Risklər) – xarici mənfi amillər.

SWOT təhlilini gəmi dizel mühərrikləri və çoxyanacaqlı gəmi dizellərinə tətbiq etsək aşağıdakıları qeyd edə bilərik:

- Gəmi dizel mühərrikləri üçün

Güclü tərəf (S): Müxtəlif yanacaqlarla işləyə bilmək və çeviklik;

Zəif tərəf (W): Mühərrikin quruluşunun daha mürəkkəb olması;

İmkan (O): Ekoloji standartlara cavab verə bilmək;

Təhlükə (T): Yeni texnologiyalara keçməklə (hidrogenə, elektrikə və s.) rəqabətə məruz qala bilmək.

- Çoxyanacaqlı gəmi dizelləri üçün

Güclü tərəflər (S): Müxtəlif yanacaq növləri ilə işləmə qabiliyyəti, yanacaq qiymət dəyişikliklərinə uyğunlaşma, ekoloji tələblərə cavab vermə potensialı, tənzimləyici sahələrdə işləmə rahatlığı;

Zəif tərəflər (W): Mühərrik quruluşunun mürəkkəbliyi, yüksək ilkin investisiya dəyəri, texniki xidmət və ehtiyat hissələri məsələləri, yanacağa keçid zamanı istismar riskləri;

İmkanlar (O): Yaşıl gəmiçiliyə keçid prosesinə dəstək, qlobal tənzimləyici dəyişikliklərə uyğunlaşma, gələcəkdə yeni yanacaq növlərinə adaptasiya, təmiz enerji proqramlarına daxil edilmə;

Təhlükələr (T): Alternativ texnologiyalarla rəqabət (elektrik, hidrogen və s.), qlobal yanacaq infrastrukturunun qeyri-bərabər inkişafı, texnologiyanın yayılması üçün ləng qərarvermə, standartlaşdırma və sertifikatlaşdırma çətinlikləri.

Nəticə. Çoxyanacaqlı gəmi dizellərinin perspektivləri, dünya gəmiçiliyində gedən texnoloji, ekoloji və iqtisadi dəyişikliklər fonunda olduqca geniş və ümidvericidir. Gəmiçilik sənayesi karbon emissiyalarını azaltmaq, yanacaq çevikliyini artırmaq və dəyişən tənzimləyici tələblərə cavab vermək üçün bu tip mühərriklərə daha çox yönəlir.

Çoxyanacaqlı gəmi dizellərinin gələcəkdə gözlənilən inkişaf istiqamətləri kimi aşağıdakıları göstərmək olar:

- Alternativ yanacaq texnologiyalarının inteqrasiyası (hidrogen, ammonyak və sintetik yanacaqlarla işləyə bilən mühərriklərin inkişafı);
- Daha yüksək səmərəlilik (istilikdən istifadə olunmaq faydalılığının artırılması, zəhərliliyin azaldılması üçün texnoloji təkmilləşdirmə);
- Avtomatlaşdırma və süni intellektin tətbiqi (yanacaq seçimi və keçidinin optimallaşdırılması üçün ağıllı idarəetmə sistemləri);
- Donanma miqyasında tətbiq (böyük ticarət donanmalarının çoxyanacaqlı sistemlərə kütləvi keçidi).

Ədəbiyyat

1. Жуков В.А., Гомбалевский А.Н. Перспективы многотопливных судовых дизелей. Сборник научных статей национальной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С.О. Макарова» том 1. Санкт-Петербург, 2022, с.107-110
2. 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.

Məqalə qəbul olunub: 17.04.25
Tövsiyə edib: prof. Qafarov A.M.

UOT 621.019

GƏMİ ELEKTRİK TƏCHİZAT SİSTEMİNDƏ GÜNƏŞ ENERJİSİNİN TƏTBİQİ İMKANLARI

Muradəliyev A.Z., Hüseynov K.Ş.

"Azərbaycan Elmi-Tədqiqat və Layihə-Axtarış Energetika İnstitutu" MMC
AZ1122, Bakı şəh., H.Zərdabi pr., 94
"Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası" PHŞ
AZ1000, Bakı şəh., Z.Əliyeva küç., 18
E-mail: aydin_murad@yahoo.com, kenanhuseynov885@gmail.com

Xülasə. *Hazırda yaşıl gəmiçilik dünyanın ən aktual mövzularından biridir. Avropa İttifaqı 2050-ci ilə qədər karbon qazı emissiyalarını 80-95% azaltmağı hədəfləyib ki, bu da bütün nəqliyyat sektorlarının qarşısında duran son dərəcə ağır bir vəzifə olacaq. Gəmi operatorları və sahibləri, gəmiqayırma zavodları öz gəmilərində ekoloji cəhətdən təmiz olan yaşıl enerji mənbələrinin tətbiqi barədə həll yolları axtarmağa başlayırlar. Bu həll yollarından biri də bərpa olunan enerji sistemlərinin tətbiqi vasitəsilə dəniz sahəsində ekoloji cəhətdən təmiz enerjinin alınması və ətraf mühitin çirklənməsinin qarşısının alınmasıdır. Gəmilərdə günəş panellərinin tətbiqi yanacaq sərfini azaltmağa və karbon qazı emissiyasını azaltmağa imkan verir. Həmçinin, günəş panellərinin gəmilərdə tətbiqi gəminin elektrik təchizat sisteminin enerji səmərəliliyini artırmağa imkan verir. Bu məqalədə günəş panellərinin hazırki vəziyyəti və gələcək modelləri haqqında məlumatlar verilməklə yanaşı, onların gəmilərdə tətbiqindən bəhs olunur. Həmçinin, məqalədə yüksək qiymətli neft məhsullarından istifadənin azaldılması və qaz emissiyalarının (tullantıların) minimuma endirilməsi məqsədi ilə günəşdən alınan enerjinin istifadəsi məsələləri də araşdırılmışdır. Bundan əlavə gəmilərdə günəş panellərinin tətbiqinin perspektivlərini təhlil edib, günəş panellərinin gəmilərdə tətbiqinin əsas üstünlüklərini və mənfi cəhətlərini nəzərdən keçirəcəyik.*

Аннотация. *В настоящее время более экологичное судоходство является одной из самых актуальных тем в мире. Европейский Союз стремится сократить к 2050 году выбросы углекислого газа на 80-95%, что станет чрезвычайно сложной задачей для всех транспортных секторов. Судовые операторы и судовладельцы, а также судостроительные заводы ищут пути применения на своих судах экологически чистых источников зеленой энергии. Одним из таких решений является получение экологически чистой энергии в морской зоне и предотвращение загрязнения окружающей среды за счет применения систем возобновляемой энергетики. Применение солнечных батарей на судах позволяет снизить расход топлива и снизить выбросы углекислого газа. Также применение солнечных батарей*

на судах позволяет повысить энергоэффективность системы электроснабжения корабля. Помимо предоставления информации о текущем состоянии и будущих моделях солнечных батарей, в этой статье рассматривается их применение на кораблях. Также в статье рассматривается использование солнечной энергии с целью снижения использования дорогостоящих нефтепродуктов и минимизации газовых выбросов (отходов). Кроме того, мы проанализируем перспективы использования солнечных батарей на судах и рассмотрим основные преимущества и недостатки использования солнечных батарей на судах.

Abstract. *Greener shipping is currently one of the most pressing issues in the world. The European Union has set a target of reducing carbon emissions by 80-95% by 2050, which will be an extremely difficult task for all transport sectors. Ship operators and owners, shipyards are starting to look for solutions to introduce environmentally friendly green energy sources on their ships. One of these solutions is to obtain environmentally friendly energy in the maritime sector and prevent environmental pollution through the use of renewable energy systems. The use of solar panels on ships allows to reduce fuel consumption and reduce carbon dioxide emissions. Also, the use of solar panels on ships allows to increase the energy efficiency of the ship's electrical supply system. This article provides information on the current state and future models of solar panels, as well as their application on ships. The article also examines the use of solar energy in order to reduce the use of high-cost petroleum products and minimize gas emissions (wastes). In addition, we will analyze the prospects for the application of solar panels on ships and consider the main advantages and disadvantages of the application of solar panels on ships.*

Açar sözlər: *gəmi elektrik təchizatı, dəniz nəqliyyatı, bərpa olunan enerji, günəş enerjisi,ekoloji dayanıqlılıq, hibrid enerji sistemləri*

Ключевые слова: *судовое электроснабжение, морской транспорт, возобновляемые источники энергии, солнечная энергетика, экологическая устойчивость, гибридные энергетические системы*

Key words: *ship power supply, maritime transport, renewable energy, solar energy, environmental sustainability, hybrid energy systems*

Giriş. Dünyada daim baş verən təbii proseslər nəticəsində yaranan enerji resursları dedikdə, bərpa olunan enerji mənbələri başa düşülür Bərpa olunan enerji mənbələri əsasən günəş, külək, geotermal, hidroenerji,biokütlə, dalğa enerjisi, qabarma və çəkilmə enerjisi kimi qruplaşdırılır. Bərpa olunan enerjini təbii mənbələrdən əldə edilə bilən və özünü daim yeniləyən bir enerji mənbəyi olaraq adlandırmaq mümkündür. Həmçinin, bərpa olunan enerji növləri ətraf mühitə zərər verən karbon emissiyalarını azaldır və enerji məsələsində xaricdən asılılığın azaldılması kimi məqamlar baxımından olduqca əhəmiyyətlidir. Beynəlxalq və regional təşkilatların hesabatları göstərir ki, bərpa olunan enerji bu sahədə ciddi miqdarda investisiya qoyuluşu təmin edilir və qlobal enerji sistemində bərpa olunan enerji mənbələrinin payı gündən-günə sürətlə artmaqdadır. Bərpa olunan enerji hazırda dünyada quraşdırılmış ümumi enerji istehsalının üçdə birini təşkil edir. 2018-ci ildə təbii qaz və bərpa olunan enerji mənbələrinin hesabına ilkin enerji istehlakı sürətlə artıb. Bununla bərabər, karbon emissiyaları 7 il ərzində ən yüksək artımla müşahidə olunub [1].

Bərpa olunan enerji mənbələrindən istifadə enerji artımına ikinci ən böyük töhfə hesab olunur. 2018-ci ildə bərpa olunan enerji həcmində əvvəlki illərə nisbətən 14.5% artım qeyd edilmişdir. BDT (Beynəlxalq Dəniz Təşkilatı) ətraf mühtin mühafizəsi və dənizin çirklənməsinin qarşısınınalınması ilə əlaqədar bir sıra ciddi ekoloji qaydalar hazırlayıb. Bu qaydalara misal olaraq yeni gəmilər üçün EEDİ (Enerji Effektivliyi Dizayn İndeksi) və ümumi tutumu 400-dən çox olan bütün gəmilər üçün GEEİP (Gəmi Enerji Effektivliyinin İdarəetmə Planı) və s. göstərmək olar. Günəş enerjisini əldə etmək üçün məşhur vasitələrdən olan günəş panelləri demək olar ki, bütün ölkələrdə geniş tətbiq olunur və ekoloji cəhətdən təmiz enerjinin alınmasında böyük əhəmiyyətə malikdir. Günəş panelləri günəş işığından alınan enerjini elektrik enerjisinə çevirir. Günəş işığı günəş panelinə dəydikdə,

elektronlarla qarşılıqlı əlaqədə olur, bu da elektronların mənfi qütbdən müsbət qütbə köçürülməsinə səbəb olur. Bu proses, iki qütb arasında potensial yük fərqinə səbəb olur və nəticə olaraq elektronlar günəş batareyasına qoşulmuş keçiricilərin yaratdığı elektrik dövrəsinə doğru istiqamətlənməyə başlayır [2].

- Bu zaman günəş enerjisi elektrik enerjisinə çevrilir. Bu enerji gəmilərdə istifadə olunan elektrik avadanlığını gücləndirmək üçün istifadə oluna bilər. Günəş panellərinin əsas xüsusiyyətləri aşağıdakılardır.
- **Səmərəlilik:** bu xüsusiyyət bir çox amillərdən asılıdır, misal olaraq, günəş işığının intensivliyi, batareyanın səthinə düşən şüaların düşmə bucağı, ətraf mühitin temperaturu və s.
- **Güc:** Günəş panellərinin gücü dedikdə onun müəyyən müddət ərzində istehsal edə biləcəyi elektrik enerjisinin miqdarı nəzərdə tutulur və Vatt (W) ilə ölçülür.
- **Gərginlik:** Günəş panellərinin gərginliyi tətbiq sahəsindən asılı olaraq dəyişilə bilər. Bu panellərin işə başlamazdan əvvəlki gərginliyi 30-40 V, işləmə gərginliyi isə18-22 V olur. Panellərin standart olaraq 12 V, 24 V və ya 48 V gərginlikləri istifadə olunur. Bu gərginlikləri əldə etmək üçün bir neçə günəş paneli bir biri ilə birləşdirilməlidir.
- **Ölçülər və forma:** Günəş panellərinin ölçüsü və forması konskruktiv icrasından və quraşdırılma yerindən asılıdır.ən geniş yayılmış günəş panelləri 60 və 72 hüceyrəli panellərdir. Formasına görə günəş panelləri düzbucaqlı, yumru, bütün həcmli və s. olurlar. Ən geniş yayılan forma düzbucaqlı panellərdir.

Gəmilərdə istifadə olunan günəş panelləri aşağıda qeyd olunan məqsədlər üçün istifadə oluna bilər:

- Elektrik işıqlanmasında və gəmidə istifadədə olan elektrik avadanlıqlarını enerji ilə təmin etmək üçün;
- Gəminin naviqasiya, kommunikasiya sistemini qidalandırmaq üçün;
- Gəmilərdə soyutma və havalandırma sistemlərinin işləməsini təmin etmək üçün;
- Sərnişin daşıyan kiçik və irihəcmli gəmilərdə istilik və sərinlətmə sistemlərinin qidalanmasını təmin etmək üçün;
- Quru yük, konteyner, neft və neft məhsulları daşıyan gəmilərdə, kran gəmilərində kiçik və orta güc tələb edən enerji tələbatçılarını elektrik enerjisi ilə təmin etmək üçün.

Gəmilərdə günəş panellərinin istifadəsi, ənənəvi enerji mənbələrinə nisbətən iqtisadi cəhətdən əlverişlidir. Günəş panelləri, əlavə yanacaq və enerji ehtiyatlarını minimuma endirərək, gəminin ümumi iqtisadi xərclərini əhəmiyyətli dərəcədə aşağı salır. Gəmidə ehtiyat qida mənbəyi kimi istifadə olunan akkumulyator batareyalarını dolurmaq üçün günəş panellərindən əldə olunan enerjinin istifadə etmək olar. Bu xüsusiyyət əsasən uzun müddətli səyahətlərdə olan və dəniz ekspedisiyaları gəmilərdə daha çox faydalı ola bilər. Bununla yanaşı günəş panellərinin istifadə yanacaq sərfiyyatına qənaət etməklə xərclərin dahada azalmasına gətirib çıxarır..Günəş enerjisindən istifadə edərək yanacaqa qənaət edilməsi kiçik bərələrə nisbətən böyük həcmli gəmilərdə nisbətən daha azdır. Bu məsələdən sonra tədqiqatçılar və texnologiya tərtibatçıları yanacaq sərfiyyatını azaldılması üçün hibrid sistemləri araşdırmağa başladılar. Baxmayaraq ki,hibrid sistemlər üçün müxtəlif konsepsiyalar və ideyalar 1990-cı ildən etibarən inkişaf etdi bu günə qədər heç bir ticarət okeanı gəmisində bu sistem tətbiq edilməmişdir [3].

Əsas hissə. Günəş enerjisinin dəniz əməliyyatlarına inteqrasiyası gəmilərin dənizlərdə naviqasiya üsullarında əsas dəyişikliyi göstərir. Əvvəllər emissiyaların və ətraf mühitə zərərin sinonimi olan gəmilər qeyri-adi transformasiyaya məruz qalmışdır. İndi günəşin yayılan gücü ilə onlar heç vaxt olmadığı kimi ekoloji davamlılığı qəbul edirlər. Müasir gəmilər göyərtələrində və strukturlarında strateji olaraq yerləşdirilmiş, günəş işığını təmiz bərpa olunan enerjiyə çevirən günəş panellərini nümayiş etdirirlər. Günəş texnologiyasının bu şəkildə tətbiqi ənənəvi yanacaq mənbələrindən qəti şəkildə uzaqlaşmaq deməkdir, təkcə xərclərə qənaət deyil, həm də ətraf mühitə

təsirin əhəmiyyətli dərəcədə azaldılması vəd edir.Günəş enerjisinin gəmi elektrik təchizatında istifadəsini mümkün edən əsas texnologiyalar bunlardır:

Hibrid sistemlər – dizel generatorları ilə birlikdə istifadə edilən kombinasiya olunmuş enerji sistemləri. Belə sistemlər günəş enerjisindən maksimum səmərə əldə etmək üçün müxtəlif enerji mənbələrinin sintezini təmin edir. Hibrid enerji sistemləri həmçinin elektrik akkumulyatorları ilə birləşdirilərək enerji saxlanmasını və sabit enerji təminatını mümkün edir.

Termal günəş sistemləri – suyun istiliyinin təmin olunması. Gəmilərdə isti su təminatı və bəzi istilik prosesləri üçün istifadə olunur. Bu sistemlər günəş enerjisindən istifadə edərək suyun qızdırılmasını təmin edir və bu yolla ənənəvi yanacaq sərfiyyatını azaldır.

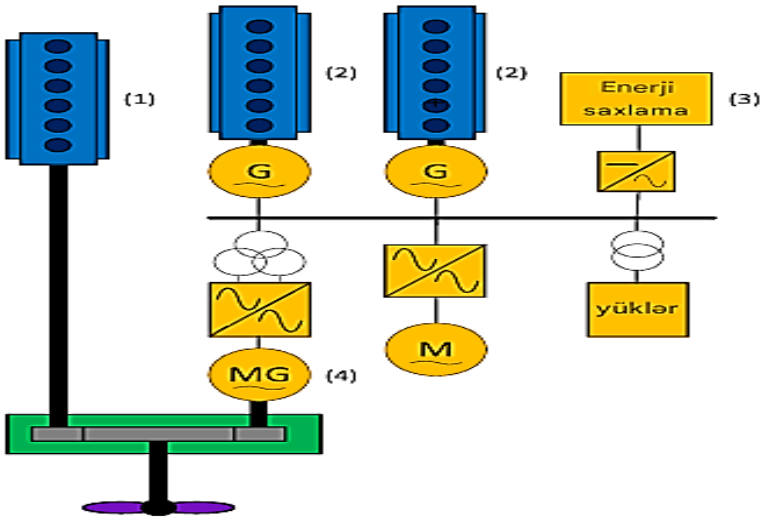
Fotovoltaik (PV) panellər – gündəlik enerji istehlakını qarşılamaq üçün. Bu panellər günəş işığını elektrik enerjisinə çevirərək, gəmi elektrik şəbəkəsinə qoşula bilir. Hazırda silisium əsaslı panellər daha geniş yayılmışdır, lakin yeni nəsil tandem və perovskit əsaslı panellər daha yüksək səmərəliliyə malikdir .

Günəş enerjisini dəniz gəmilərində alternativ yanacaq kimi tətbiq edərkən, panellərin effektiv yerləşdirilməsi və əlverişsiz hava şəraitində performans kimi texniki problemlər müəyyən edilmişdir. Böyük yük gəmilərində günəş inteqrasiyasının iqtisadi səmərəliliyi müzakirə mövzusu olaraq qalır [4].

Günəş panellərinin səmərəliliyinin və etibarlılığının yüksəldilməsi, onların reallaşdırılmasının genişləndirilməsi və performansı yaxşılaşdırmaq üçün yeni materialların tədqiqi bir çox tədqiqat və inkişafın diqqət mərkəzindədir. Bu faydalar təkcə gəminin əməliyyat səmərəliliyini artırmaqla yanaşı, daha ekoloji cəhətdən təmiz və məsuliyyətli dəniz təcrübələrinin qlobal axtarışına mühüm töhfə verir.

Hibrid mühərriklərə yanacaq elementlərinin daxil edilməsi günəş enerjisi ilə işləyən gəmilərin etibarlılığını artırmaq üçün innovativ yanaşmadır. Oksigen və hidrogen arasındakı kimyəvi reaksiya yanacaq hüceyrələri vasitəsilə elektrik enerjisi istehsal etmək üçün əsasdır. Yanacaq elementləri günəş panelləri və/və ya külək turbinləri ilə birlikdə gəmi mühərriklərini gücləndirmək üçün istifadə edilə bilər.

Hibrid mühərriklə hərəkət edən və hibrid enerji təchizatı ilə işləyən sistemlər, birbaşa mexaniki ötürücünün (1) maksimum səmərəliliyini və əsas mühərrik(lər)dən (2) alınan yanacaq enerjisi ilə enerji saxlama sistemindən (3) alınan elektrik enerjisinin çevikliyini birləşdirir. Aşağı dartıcı gücdə gəmini irəli aparmaq üçün elektrik ötürücü (4) istifadə edilə bilər və bu zaman əsas mühərrik (1) söndürülür. Elektrik ötürücü eyni zamanda generator funksiyasını da yerinə yetirə bilər. Tipik bir arxitektura aşağıda göstərilmişdir (şəkil 1).



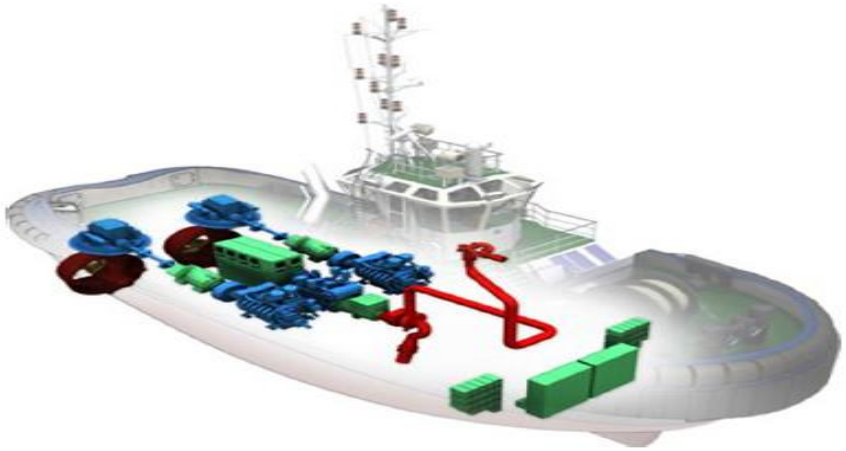
Şəkil 1. *Tipik hibrid hərəkət sistemində hibrid enerji təchizatı*

Hibrid hərəkət və hibrid enerji təchizatı ilk dəfə liman yedəklərində geniş şəkildə araşdırılmışdır. Bu araşdırmalardan sonra, Damen 2014-cü ildə hibrid hərəkət və hibrid enerji təchizatı ilə ilk yedəyi təqdim etdi. Gəminin ümumi təsviri şəkil 2-də göstərilmişdir.

Əlavə olaraq, hibrid hərəkət və hibrid enerji təchizatı Feadship tərəfindən 2015-ci ildə buraxılan Savannah yaxtasında tətbiq olunmuşdur. Müəlliflərin ən yaxşı məlumatlarına görə, hazırda yedəklər və yaxtalar hibrid hərəkət və hibrid enerji təchizatı kombinasiyasının araşdırıldığı və ya tətbiq edildiyi yeganə tətbiqlərdir [4].

Hibrid enerji sistemlərinin bir neçə növü vardır. *Günəş və dizel hibrid enerji sistemləri* günəş enerjisini və dizel generatorlarını birləşdirərək enerji təmin edir. *Külək və günəş hibrid enerji sistemləri* külək turbinləri və günəş panellərini birləşdirərək sabit enerji istehsalını təmin edir. Elektrik və daxili yanma mühərrikləri hibrid sistemləri avtomobillərdə və gəmilərdə istifadə olunur və yanacaq istehlakını azaldır. Bərpa olunan enerji və enerji saxlama hibrid sistemləri isə enerji saxlama cihazları ilə birləşdirilərək enerji təchizatının sabitliyini təmin edir.

Bu sistemlərin bir çox üstünlüyü vardır. Birincisi, müxtəlif enerji mənbələrinin birləşməsi sistemin səmərəliliyini artırır. İkincisi, bərpa olunan enerji mənbələri ilə ətraf mühitə təsir azalır. Üçüncüsü, hibrid sistemlər enerji təchizatının dayanıqlığını artırır və şəbəkə üzərindəki yükləri azaldır. Dördüncüsü, bu sistemlər uzun müddət ərzində əməliyyat xərclərini azaldır. Hibrid enerji sistemləri müxtəlif sahələrdə tətbiq olunur.



Şəkil 2. *Hibrid liman yedəkçisinin ümumi təsviri*

Bu sistemlərin tətbiqi, gəmi sahiblərinə ətraf mühitə zərərli təsirləri azaltmaqla yanaşı, yanacaq sərfiyyatını da azaldaraq əməliyyat xərclərini optimallaşdırmağa kömək edir. Hibrid enerji sistemlərinin üstünlükləri arasında ətraf mühitin qorunması, yanacaq iqtisadiyyatı, etibarlılıq və əməliyyat xərclərinin azalması yer alır [5]. Lakin, bu texnologiyaların tətbiqi yüksək ilkin maliyyətlər və müəyyən əməliyyat çətinlikləri ilə əlaqəlidir, xüsusilə enerji mənbələrinin mövcudluğu ilə bağlı məhdudiyyətlər yarana bilər. Buna baxmayaraq, gələcəkdə hibrid enerji sistemlərinin gəmi sənayesində daha geniş istifadə olunacağı və bu sahənin inkişafına mühüm təsir edəcəyi proqnozlaşdırılır.

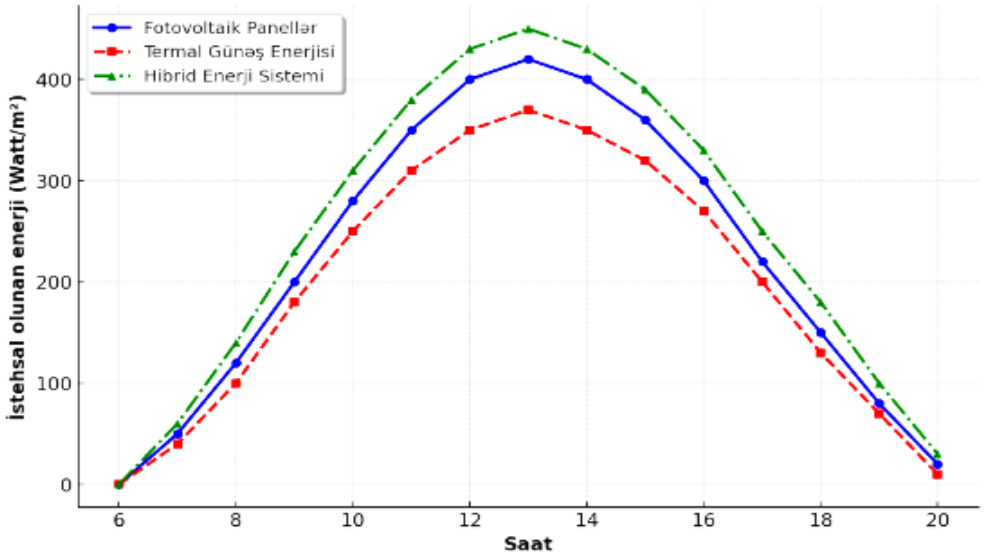
Termal günəş sistemləri günəş enerjisindən istifadə edərək istilik istehsal edən texnologiyalardır. Bu sistemlər, əsasən, isti su təminatı, istilik təchizatı və sənaye tətbiqlərində istifadə olunur. Bu tədqiqat işində termal günəş sistemlərinin işləmə prinsipləri, növləri və enerji effektivliyi araşdırılmışdır.

Termal günəş sistemləri günəş kollektorlarından ibarətdir. Bu kollektorlar günəş radiasiyasını qəbul edərək istiliyə çevirir və xüsusi istilik daşıyıcı maye vasitəsilə enerji saxlanma çəninə ötürür. İstilik saxlanma çəni qızdırılmış mayeni müəyyən müddət ərzində saxlayaraq isti su və ya istilik təminatında istifadə edir. İstilik daşıyıcı maye sistemdən asılı olaraq su, antifriz və ya hava ola bilər.

Sistemlər əsasən açıq və ya qapalı dövrəli ola bilər. Açıq sistemlərdə su birbaşa günəş kollektorlarında qızdırılır və istifadə edilir. Qapalı dövrəli sistemlərdə isə istilik antifriz mayesi ilə ötürülərək suyun qızdırılmasını təmin edir.

Termal günəş sistemləri passiv, aktiv, konsentrasiya edilmiş günəş enerjisi (CSP) sistemləri və hava əsaslı termal sistemlər olmaqla dörd əsas növə bölünür. Passiv sistemlərdə suyun və ya istilik daşıyıcı mayenin dövranı cazibə qüvvəsi hesabına baş verir. Aktiv sistemlərdə istilik daşıyıcı mayenin dövranı nasos və elektron idarəetmə sistemləri vasitəsilə təmin edilir. Konsentrasiya edilmiş günəş enerjisi sistemləri günəş enerjisini güzgülər və linzalar vasitəsilə bir nöqtəyə cəmləyərək yüksək temperatur əldə edir. Hava əsaslı termal sistemlər isə istilik daşıyıcı mühit olaraq hava istifadə edir və istiliyin ötürülməsi üçün ventilyasiya sistemləri ilə birləşdirilə bilər.

Fotovoltaik panellərin dəniz nəqliyyatında istifadəsi texnoloji tərəqqinin bir hissəsi olub, bir çox gəmi modelində sınandıqdan sonra effektivliyi sübut olunmuşdur. Gəmilərin günəş enerjisi üçün geniş səth sahəsinə malik olması bu sistemlərin istifadəsini daha da cəlbedici edir. Fotovoltaik panellər gəmilərin günəşə məruz qalan hissələrinə, xüsusilə də gəmi göyərtəsinə və yaşayış sahələrinin damına quraşdırılır. Fotovoltaik sistemlər adətən batareyalarla birlikdə istifadə olunur ki, bu da gəminin gündüz topladığı enerjidən gecə saatlarında istifadə etməsinə imkan yaradır. Fotovoltaik panellər gəmilərdə dizel-elektrik sistemləri ilə birlikdə istifadə edilərək yanacaq istehlakını azalda bilər. Fotovoltaik panellərin istifadəsi karbon emissiyalarını azaldaraq dəniz ekosistemlərinin qorunmasına kömək edir. Alternativ enerji mənbəyi kimi istifadə edildikdə dizel yanacaq sərfiyyatı azalır. Fotovoltaik sistemlər səs-küssüz işlədiyi üçün dəniz məhluqlarının narahat edilməsinin qarşısını alır. Fotovoltaik panellərin istifadəsi bir çox üstünləyə malik olsa da, bəzi problemlərlə də rastlaşılır. Fotovoltaik sistemlərin hava şəraitindən asılı olması buludlu hava və ya gecə saatlarında enerji istehsalının dayanmasına səbəb olur. Bu problemi aradan qaldırmaq üçün enerjinin batareyalarda saxlanması vacibdir [6]. Böyük panellər iri gəmilər üçün üstünlük yaratdığı halda, kiçik gəmilərdə yer məhdudiyyəti problemi ortaya çıxa bilər.



Şəkil 3. *Fərqli günəş enerji sistemlərinin gün ərzində istehsalı*

Qrafikdə üç fərqli enerji mənbəyi vardır [7]:

- Fotovoltaik Panellər (Mavi xətt) – Günəş işığını elektrik enerjisinə çevirir.
- Termal Günəş Enerjisi (Qırmızı xətt) – Günəş istiliyindən istifadə edərək enerji istehsal edir.
- Hibrid Enerji Sistemi (Yaşıl xətt) – Hər iki sistemi birləşdirərək daha stabil və yüksək enerji istehsalı təmin edir.

Enerji İstehsalının Saatlara Görə Analizi:

- Səhər saatları (06:00 - 09:00): Hər üç sistemin istehsal etdiyi enerji azdır, çünki günəş hələ tam yüksəlməyib.
- Günorta saatları (12:00 - 15:00): Bütün sistemlər üçün pik nöqtədir, enerji istehsalı maksimum səviyyəyə çatır.
- Axşam saatları (16:00 - 20:00): Günəş batmağa başladıqca istehsal tədricən azalır.
- Gecə saatları: Fotovoltaik və termal sistemlər enerji istehsal etmir, lakin hibrid sistemlərdə enerji saxlama batareyaları vasitəsilə müəyyən dərəcədə istifadə mümkündür.

Qrafikdən aydın görünür ki, təklif edilən günəş enerji sistemləri arasında daha çox effektivlik göstərən hibrid enerji sistemidir. Hibrid enerji sistemi digər sistemlərə nisbətən aşağıdakı üstünlüklərə malikdir:

- Daha yüksək enerji səmərəliliyi – Həm elektrik, həm də istilik enerjisi istehsal olunur.
- Yanacaq sərfiyyatının azalması – Alternativ enerji mənbələrinin istifadəsi dizel yanacağına ehtiyacı minimuma endirir.
- Çeviklik və dayanıqlılıq – Gəminin enerji tələbatına uyğun müxtəlif enerji mənbələrindən istifadə imkanı yaradır.
- Ətraf mühitə təsirin azaldılması – Karbon emissiyası və digər çirkləndirici faktorlar azalır.
- Uzunmüddətli iqtisadi fayda – Başlanğıc investisiyalar yüksək olsa da, uzunmüddətli dövrdə qənaət təmin edilir.

Gəmilərdə hibrid enerji sistemlərinin quraşdırılması müxtəlif üsullarla həyata keçirilir. Bu proses gəminin ölçüsü, enerji tələbatı və istismar şəraitinə görə dəyişə bilər [8].

1. Modulyar günəş panellərinin göyərtəyə inteqrasiyası. Fotovoltaik panellər gəminin göyərtəsinə və ya üst konstruksiyasına inteqrasiya edilir. Bu yanaşma aşağıdakı üstünlüklərə malikdir:

- mövcud sahədən səmərəli istifadə – göyərtə geniş sahə təmin etdiyi üçün panellərin quraşdırılması daha rahatdır.
- aşağı texniki xidmət tələbi – günəş panelləri statik olduğu üçün onların baxımı minimaldır.
- enerji hasilatının artırılması – optimal yerləşdirmə ilə maksimum günəş işığından istifadə edilir.

2. Günəş panellərinin yelkənlərə və üst konstruksiyalara inkişafı. Bəzi gəmilərdə yelkənlər və ya digər şaquli səthlər günəş panelləri ilə təchiz edilir. Bu metod aşağıdakı üstünlükləri təmin edir:

- günəş işığından daha yaxşı istifadə – fərqli bucaqlarda günəş şüalarını qəbul etmək imkanı yaradır.
- dizayn çevikliyi – gəminin aerodinamik xüsusiyyətlərini qoruyaraq enerji istehsalını artırır.
- sabit enerji təchizatı – sürətlə hərəkət edən gəmilərdə daha effektiv ola bilər.

3. Termal günəş kollektorlarının quraşdırılması. Termal günəş enerjisi sistemləri əsasən aşağıdakı üsullarla quraşdırılır:

- günəş kollektoru panelləri – gəminin göyərtəsində yerləşdirilir və suyun qızdırılması üçün istifadə olunur.
- inteqrasiya olunmuş istilik dəyişdiriciləri – günəşdən alınan istilik gəminin isitmə və su təchizatı sistemlərinə yönəldilir.
- buxar turbinləri ilə birləşmə – günəş enerjisi ilə əldə edilən istilik turbinlərin işlədilməsi üçün istifadə oluna bilər.

4. Hibrid enerji idarəetmə sistemi. Hibrid enerji sistemlərinin səmərəli işləməsi üçün müasir idarəetmə sistemləri tətbiq edilir. Bu sistemlər aşağıdakı funksiyalara malikdir:

- avtomatik enerji balanslaşdırma – hansı enerji mənbəyinin daha səmərəli istifadə ediləcəyini müəyyənləşdirir.
- real vaxt rejimində enerji istehlakının izlənməsi – gəminin enerji ehtiyaclarına uyğun tənzimlənir.
- batareya sistemləri ilə inteqrasiya – artıq enerji akkumulyatorlarda saxlanılır və ehtiyac olduqda istifadə olunur.

Gəmilərdə hibrid enerji sistemlərinin, xüsusilə **termal günəş enerjisi və fotovoltaik panellərin birlikdə istifadəsi**, enerji səmərəliliyini artıraraq yanacaq sərfiyyatını azaldır və ekoloji təsirləri minimuma endirir [9]. Gələcəkdə bu texnologiyanın inkişafı və geniş tətbiqi dəniz nəqliyyatında ekoloji dayanıqlılığı təmin etməyə kömək edəcəkdir.

Gəmilərdə günəş panellərinin quraşdırılması zamanı elektrik quraşdırma işləri.Bir gəmidə günəş panellərinin quraşdırılması yalnız ixtisaslı işçilər tərəfindən həyata keçirilə bilən elektrik işlərini tələb edir. Bu zaman gəmidə titrəmələr, havanın və suyun duzluluğu, temperaturun dəyişməsi və başqaları kimi quraşdırma xüsusiyyətlərini nəzərə almaq lazımdır.

Gəmidə günəş panellərinin quraşdırılmasına hazırlıq daxildir [10]:

- Quraşdırma dizaynının və təhlükəsizlik tələblərinin öyrənilməsi.
- Gəmidə günəş panellərinin harada quraşdırılacağının müəyyən edilməsi.
- Lazımi avadanlıq və materialların seçilməsi və sifarişi.

Gəmidə günəş panellərinin quraşdırılması aşağıdakı addımları əhatə edir:

- Səthin quraşdırılması üçün hazırlanması. Günəş panellərini quraşdırmadan əvvəl onların quraşdırılması üçün səthi hazırlamaq lazımdır. Bunu etmək üçün səthi kirdən və örtüklərdən təmizləmək, bərkidicilərin və batareyaların özlərinin yaxşı yapışmasını təmin etmək lazımdır.
- Bağlayıcıların və günəş panellərinin quraşdırılması. Səthi hazırladıqdan sonra bağlayıcıları və günəş panellərini quraşdırmağa başlaya bilərsiniz. Bağlayıcılar batareyaların gəmiyə etibarlı və etibarlı şəkildə bağlanmasını təmin etməlidir. Günəş panellərini quraşdırarkən, onların qayıqda harada quraşdırılacağını, həmçinin maksimum işləmə səmərəliliyi üçün istiqamət və meyl bucağını nəzərə almaq lazımdır.
- Şarj tənzimləyiciləri, çeviricilər, batareyalar kimi əlavə elementlərin quraşdırılması. Gəmidə günəş panellərinin səmərəli işləməsi üçün şarj tənzimləyiciləri, çeviricilər və batareyalar kimi əlavə elementlərin quraşdırılması tələb oluna bilər. Doldurma tənzimləyiciləri batareyanın doldurulmasına nəzarəti təmin edir , invertorlar günəş panellərindən birbaşa cərəyanı qayığın elektrik avadanlığını gücləndirmək üçün istifadə edilə bilən alternativ cərəyana çevirir və batareyalar gecə və ya pis hava şəraitində qayığa etibarlı, fasiləsiz enerji verir.

Günəş panellərinin birləşdirilməsi aşağıdakı addımları əhatə edir:

- Günəş panellərinin şarj tənzimləyicisinə qoşulması. Günəş panellərini şarj tənzimləyicisinə qoşmaq üçün müvafiq kəsikli kabellərdən istifadə etməlisiniz. Bundan əlavə, kabellərin gəmidə etibarlı və etibarlı şəkildə bağlanmasını təmin etmək lazımdır.
- Yük tənzimləyicisinin gəminin enerji təchizatı sisteminə qoşulması. Günəş panellərini şarj tənzimləyicisinə birləşdirdikdən sonra, şarj tənzimləyicisini gəminin enerji təchizatı sisteminə qoşmaq lazımdır. Bu, etibarlı və təhlükəsiz əlaqəni təmin etmək üçün əlavə elektrik işləri tələb edə bilər.

Gəmidə günəş panelləri quraşdırarkən elektrik işləri apararkən, müvafiq qoruyucu geyim və ayaqqabı geyinmək, müvafiq alət və avadanlıqlardan istifadə etmək, avadanlığın lazımi şəkildə torpaqlanmasının təmin edilməsi kimi bütün zəruri təhlükəsizlik tədbirlərinə əməl edilməlidir. Qeyd etmək lazımdır ki, gəmidə günəş panelləri quraşdırarkən elektrik quraşdırma işləri mürəkkəbdir və peşəkar yanaşma və ixtisaslı mütəxəssislər tələb edir. Buna görə, bir gəmidə günəş panellərinin təhlükəsizliyini və etibarlılığını təmin etmək üçün yalnız təcrübəli və ixtisaslı mütəxəssislərlə əməkdaşlıq aparılmalıdır.

Nəticə. Günəş enerjisinin gəmi elektrik təchizat sisteminə inteqrasiyası, sürətlə inkişaf edən texnologiyalar sayəsində getdikcə daha effektiv və iqtisadi cəhətdən sərfəli həll yoluna çevrilir. Bu yanaşma dəniz nəqliyyatı sahəsində ekoloji təsirlərin minimuma endirilməsinə və enerji səmərəliliyinin artmasına töhfə verir. Hibrid enerji sistemlərinin tətbiqi günəş enerjisinin daha səmərəli istifadəsini mümkün edir. Belə sistemlər dizel mühərrikləri ilə günəş enerjisini birləşdirərək yanacaq sərfiyyatını azaldır, karbon emissiyasını minimuma endirir və enerji mənbələrinin daha çevik

idarə olunmasını təmin edir. Günəş panelləri ilə dəstəklənən hibrid sistemlər həm dəniz ekosisteminin qorunmasına, həm də uzunmüddətli istismarda iqtisadi səmərəliliyin artmasına səbəb olur.

Hibrid sistemlərin istifadəsi səs-küyü və vibrasiyanı azaltdığı üçün sərnişin gəmilərində və tədqiqat gəmilərində rahatlığı artırır. Bundan əlavə, dizel mühərriklərin istismar müddəti uzandığına görə texniki xidmət xərcləri azalır. Beynəlxalq Dəniz Təşkilatının (IMO) emissiya tələblərinə uyğunluq təmin edildiyi üçün bu sistemlər gələcəkdə daha geniş yayılacaqdır. Ümumilikdə, hibrid enerji sistemlərinin tətbiqi dəniz nəqliyyatında ekoloji, iqtisadi və texniki baxımdan mühüm üstünlüklər yaradır. Bu texnologiyaların inkişafı və tətbiqinin genişlənməsi yaşıl enerji keçidinə və dəniz sənayesinin davamlı inkişafına töhfə verəcəkdir.

Gələcəkdə bu texnologiyaların daha çox yayılacağı və inkişaf edəcəyi gözlənilir. Günəş enerjisi və hibrid sistemlərin birgə istifadəsi dəniz nəqliyyatında yaşıl enerji keçidini sürətləndirərək gəmiçilik sənayesində inqilabi dəyişikliklərə səbəb olacaqdır.

Ədəbiyyat

1. Əmrəliyev A.B., Abdulova N.A., Abdullayeva S.C., Məmmədova Ş.T. "Azərbaycanda qeyri-ənənəvi enerji mənbələri və onların istifadəsi imkanları" // "Energetikanın Problemləri". Bakı: 2012, №2. s.79-86.
2. Sultanov E.F., İsmayılov S.S. "Gəmilərdə alternativ enerji mənbələrindən istifadə imkanlarının araşdırılması"/ ADDA Elmi əsərlər №2, Bak; 2021, səh. 151-157
3. Internal Maritime Organization, "Marine Casualties and Incidents" Incident Data," GISIS Mar. Casualties Incidents, March, 2020, Accessed: Oct. 19, 2020. [Online]. Available: https: //gisis. imo.org/Public/MCI/Default.aspx.
4. T. Salameh, M. A. Abdelkareem, A. Olabi, E. T. Sayed, M. Al-Chaderchi, and H. Rezk, "Integrated standalone hybrid solar pv, fuel cell and diesel generator power system for battery or supercapacitor storage systems in khorfakkan, united arab emirates," International Journal of Hydrogen Energy, vol. 46, no. 8, pp. 6014–6027, 2021.
5. M. M. S. Khan, M. O. Faruque, and A. Newaz, "Fuzzy logic-based energy storage management system for mvdc power system of all electric ship," IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 32, no. 2, pp. 798–809, 2017.
6. V.J. Jimenez, H. Kim, and Z.H. Minima review of ship energy efficiency research and directions towards emission reduction in the maritime industry, Journal of Cleaner Production, 2022, 366: 132888.
7. Васильев, Ю.С. Экология использования возобновляющихся энергоисточников / Ю.С. Васильев, Н.И. Христанов. – Ленинград: Издательство ЛГУ, 1991. – 343с.
8. Применение солнечных батарей на объектах морской инфраструктуры / С.В. Кононенко [и др.] // Вестник АГТУ. Сер.: Морская техника и технология. - 2018. - № 3. – С.101-106.
9. Доля ветряной и солнечной энергии в производстве электроэнергии. [Электронный ресурс]. URL: https://yearbook.enerdata.ru/renewables/wind-solar-share-electricity-production. html (дата обращения: 12.12.2018)
10. Радченко, П.М Морской плавучий ветропарк / П.М. Радченко // Малая энергетика. - 2011.- № 3-4. - С. 28-36.

Məqalə qəbul olunub: 15.04.25
Tövsiyə edib: dos. Sultanov E.F.

UOT 621.311

İXTİSASLAŞDIRILMIŞ GƏMİLƏRDƏ ELEKTRİK AVAR QURĞULARININ TƏTBİQİNİN MƏQSƏDƏUYĞUNLUĞUNUN ANALİZİ

Sultanov E.F., Səlimova A.K., Məmmədov E.M.

"Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası"PHŞ
AZ1000, Bakı şəh., Z.Əliyeva küç., 18
E-mail: elshen_sultanov@mail.ru, afag_sk@mail.ru, emilmemmedoglu@gmail.com

Xülasə. *Məqalədə elektrik mühərriki sistemli elektroenergetik qurğu variantlarının (ənənəvi baş dizel mühərriki və vahid elektroenergetik sistemə əsaslanan) texniki-iqtisadi və texniki-istismar xarakteristikaları təhlil olunmuşdur. Həmçinin ixtisaslaşdırılmış gəmi nümunəsində hər iki variantın əsas üstünlükləri və çatışmazlıqları verilmişdir.*

Аннотация. *В статье проанализированы технико-экономические и эксплуатационные характеристики вариантов электростанций судов с гребной электрической установкой (на базе главного дизеля и единой электроэнергетической системы). В статье также приведены основные преимущества и недостатки обоих вариантов на примере специализированного судна.*

Abstract. *In the article analyzes the technical, economic and technical-operational characteristics of the* ***variants*** *of the electric power plant with an electric motor system (based on a traditional main diesel engine and a single electric power system). The article also presents the main advantages and disadvantages of both variants on the example of a specialized ship.*

Açar sözlər: *gəmi, elektrik hərəkəti sistemi, vahid elektrik enerjisi sistemi, ənənəvi elektrik elektroenergetik qurğu, köməkçi gəmi, gəminin əsas ölçüləri*

Ключевые слова: *судно, система электродвижущие, единая электроэнергетическая система, традиционная электроэнергетическая установка, вспомогательный флот, главные размерения судна*

Key words: *ship, electric propulsion plant, integrated electric power system, traditional electric power installation, auxiliary ship, ship main dimensions*

Giriş. Avar elektrik qurğularına (AEQ) verilən tələblər Dəniz Registr Qaydalarında da öz əksini tapmışdır. Buna görə məqalədə spesifik xarakterli tələblərə nəzər yetirəcəyik. AEQ sxemlərində dəniz şəraitinə uyğun quruluşda, daha etibarlı elementlər tətbiq edilməlidirlər. Baş generatorların sayı, qurğunun etibarlılığını və davamlılığının təmin olunması üçün kifayət olmalıdır. Okean gəmilərində onların sayı 3-dən az olmamalıdır və ya qurğunun GEES-in generatorlarından qidalanması mümkün olmalıdır. Bu zaman hər bir avar elektrik mühərrikinin (AEM) qidalanması ən azı iki ümumgəmi təyinatlı generatordan yerinə yetirilməlidir. AEQ-un elementlərinin quruluşu, gəminin kren və differentinin buraxıla bilən hədlərdə olduğu zaman, etibarlı işləməsini təmin etməlidir. AEQ etibarlı mühafizə vasitələri ilə təmin edilməlidirlər.

Son onillikdə müxtəlif məqsədlər üçün guraşdırılan elektrikli hərəkətverici sistemləri (EHS) gəmilərdə getdikcə daha geniş şəkildə istifadə olunmağa başladı [1,2].

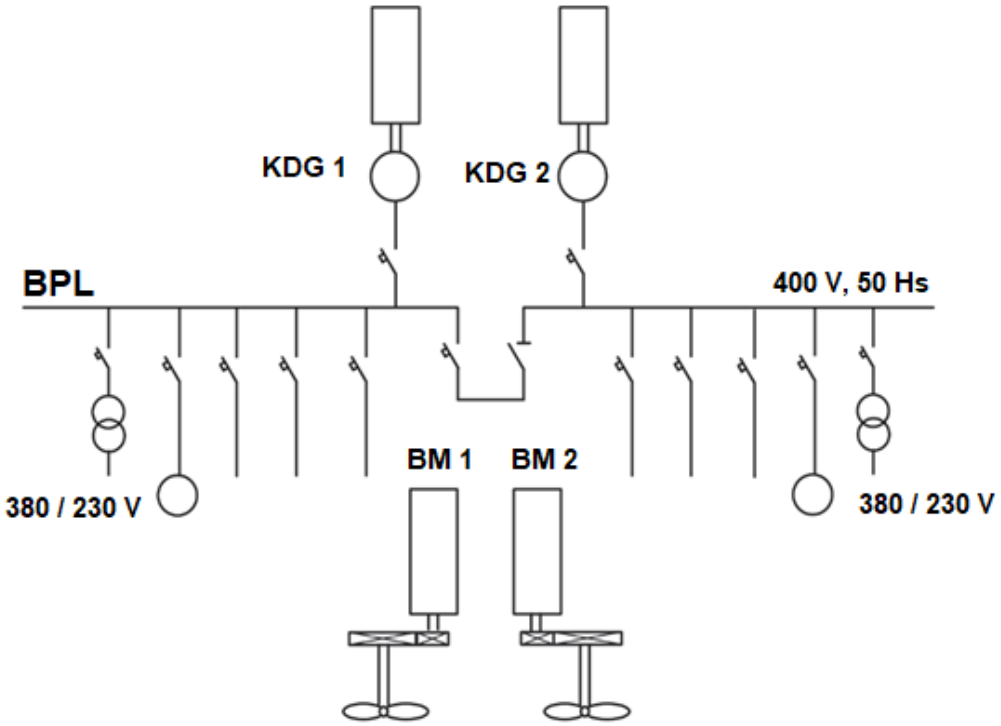
Dizel mühərriklərə əsaslanan ənənəvi hərəkətverici sistemləri ilə müqayisədə, EHS-in vintinə fırlanma momentinin birbaşa ötürülməsi faktoru bir sıra üstünlüklərə malikdir. Üstünlüklərin arasında aşağıda göstərilənləri vurğulamaq lazımdır:

- gəminin manevr qabiliyyətinin yüksəldilməsi;
- istismar xərclərinin azaldılması;
- təmir müddətinin azaldılması;

- atmosferə atılan zərərli emissiyaların azaldılması;
- fraksiya rejimlərində elektrik stansiyasının səmərəliliyinin artırılması;
- gəmidə avadanlıqların daha rasional yerləşdirilmə imkanı;
- elektroenergetik qurğuların (EEQ) etibarlılığının artırılması.

Qeyd etmək lazımdır ki, çəki, ölçü və qiymət göstəriciləri baxımından EHS ilə vahid elektroenergetik sistemi (VEES) ənənəvi qurğulardan əhəmiyyətli dərəcədə aşağıdır. Bununla əlaqədar olaraq, EEQ növünü seçərkən vacib məsələ EHS-in müəyyən bir gəmidə, xüsusən də məhdud əsas ölçüləri ilə xarakterizə olunan köməkçi donanma gəmilərində istifadə imkanlarının texniki-iqtisadi təhlilidir [3,4].

Aşağıda köməkçi gəmisinə tətbiq edilən ənənəvi EEQ və VEES-nin müqayisəli təhlili verilmişdir. Ənənəvi EEQ şəkil 1-də göstərilmişdir. EEQ gəminin elektrik enerjisi sistemindən (GEES) və baş energetik qurğularından ibarətdir [5,6].



Şəkil 1. *Ənənəvi gəmi elektrik stansiyasının sadələşdirilmiş diaqramı*

GEES iki gəmi elektrik stansiyasından (GES) ibarətdir: köməkçi və qəza. Köməkçi gəmi elektrik stansiyasına köməkçi dizel generatorları (KDG) və baş paylayıcı lövhə (BPL) daxildir. Elektroenergetik sistem 400 V gərginlik üçün nəzərdə tutulmuşdur. Qəza elektrik stansiyasına qəza paylayıcı lövhə (QPL) və qəza dizel-generatorundan (QDG) ibarətdir.

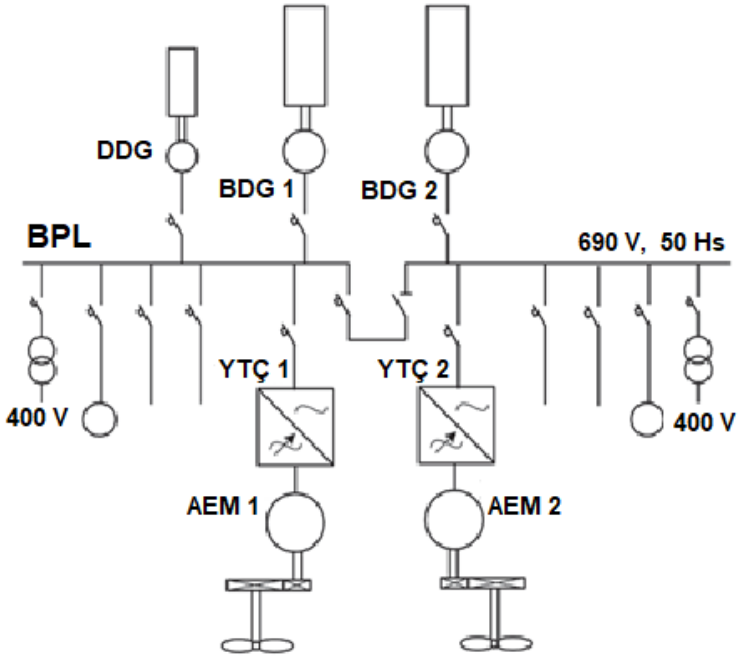
Əsas energetik qurğusu iki orta sürətli əsas dizel mühərrikindən BM 1, BM 2 və avar valına qoşulmuş iki reduksiya qutusundan və sabit addımlı vintdən ibarətdir [6,7].

VEES – nə əsaslanan elektroenergetik qurğuların struktur sxemi şəkil 2–də göstərilmişdir.

VEES – nin tərkibinə iki gəmi elektrik stansiyası daxildir: əsas və qəza elektrik stansiyası.

Əsas gəmi elektrik stansiyası əsas dizel generatordan, dayanacaq dizel generatordan və 690 V gərginlikli baş paylayıcı lövhədən ibarətdir.

EHS, yarımkeçirici tezlik çeviriciləri (YTÇ) ilə təchiz edilmiş iki avar elektrik mühərrikindən (AEM) ibarətdir. Avar elektrik mühərrikləri (AEM) alçaldıcı reduktorlar vasitəsilə sabit addımlı vinti idarə edir.



Şəkil 2. *VEES-nə əsaslanan elektroenergetik qurğunun struktur sxemi*

Cədvəl 1

Elektroenergetik qurğuların funksional imkanlarının müqayisəli təhlili

№	Parametrin adı	Qiyməti	
		Ənənəvi elektroenergetik qurğular	EHS-li vahid elelktroenergetika sistemi
1	Fırlanma sürətinin tənzimi diapazonu	30-dan 100-ə qədər	-100-dən + 100-ə qədər
2	Fırlanma momenti üzrə artıq yükləmə qabiliyyəti	10%	25-150%
3	Revers	əks hava ilə tormozlanmadan istifadə edərək baş mühərrikinin reversi nəticəsində əks istiqamətdə işəsalma	Hamar, məhdudiyyət yoxdur
4	Hərəkət sisteminin işəsalma və reverslərinin sayı	baş mühərrikin işəsalma silindrlərində sıxılmış havanın miqdarı məhdudlaşır	Limitsiz
5	Baş (avar) mühərrikinin dayandığı zaman fırlanma momenti	Yoxdur	Fırlanma momenti ilə cərəyan altında dayanma nominalın 100%-nə qədər mümkündür
6	Avar valının sürətlənməsinin intensivliyi	Aşağı. Baş mühərrik sıxılmış hava ilə işə salınır. BM sürətlənməsi fırlanma momentinin tədricən artması ilə həyata keçirilir	Yüksək. Avar mühərrikinin sürətlənməsi daha sürətli olur, çünki avar mühərriki bütün tezlik diapazonunda maksimum fırlanma momenti ilə işləyir.
7	Gəminin sürətlənməsinin intensivliyi	Aşağı. Baş mühərrikin güc yığması prosesi məhduddur	Yüksək. AEM-in güc yığması prosesi məhdud deyil

Yarımkeçirici tezlik çeviriciləri (YTÇ) aktiv düzləndirici və avtonom invertora əsaslanır. Nəzərdən keçirilən EHS-nin özəlliyi ondan ibarətdir ki, avar elektrik intiqalının baş paylayıcı lövhəyə qoşulması güc ötürücü transformatorlardan istifadə edilmədən həyata keçirilir [7,8].

Avar elektrik mühərriki qismində sabit maqnit qütblü və hava-su soyutma sistemli asinxron və ya sinxron tipli orta sürətli elektrik mühərrikindən istifadə etmək mümkündür.

Vahid elektroenergetika sistemi olan gəmilərdə, quraşdırılmış avadanlıqların miqdarı artır. Bununla belə, EHS-li Vahid elelktroenergetika sistemi avadanlığının gəminin bütün ərazisində yerləşdirilməsi daha yumşaq (çevik) və rasionaldır.

Ənənəvi EEQ və EHS-li Vahid elelktroenergetika sisteminin funksional imkanlarının müqayisəli təhlili cədvəl 1-də verilmişdir.

Funksionallıq və idarəetmə xüsusiyyətləri baxımından elektrik hərəkət sistemi ənənəvi elektroenergetik qurğudan əhəmiyyətli üstünlüyə malikdir. Elektrik hərəkət sistemində minimum fırlanma tezliyi, AEQ işədüşmə və reverslərinin sayı ilə bağlı heç bir məhdudiyyət yoxdur və buna görə də gəminin manevr qabiliyyəti əhəmiyyətli dərəcədə yüksəkdir. Elektrik hərəkət sistemində fırlanma momenti əhəmiyyətli dərəcədə yüksək yüklənmə qabiliyyətinə malikdir. Avar mühərriki momentinin sürətləndirmə imkanına görə, elektrik hərəkət sistemi olan gəmilər buz şəraitində işləyə bilər.

İlkin hesablamalara görə, ənənəvi elektroenergetik qurğulardan elektrik hərəkət sistemi olan VEES keçid zamanı qiymət artımı seçilmiş avadanlıq növündən və istehsalçıdan asılı olaraq təxminən 25-45% təşkil edə bilər. Ənənəvi elektroenergetik qurğuların və elektrik hərəkət sistemi ilə VEES-nin çəki və ölçü xüsusiyyətlərinin müqayisəli təhlili cədvəl 2-də verilmişdir.

Cədvəl 2

Elektroenergetik qurğuların çəki və ölçü xüsusiyyətlərinin müqayisəli təhlili

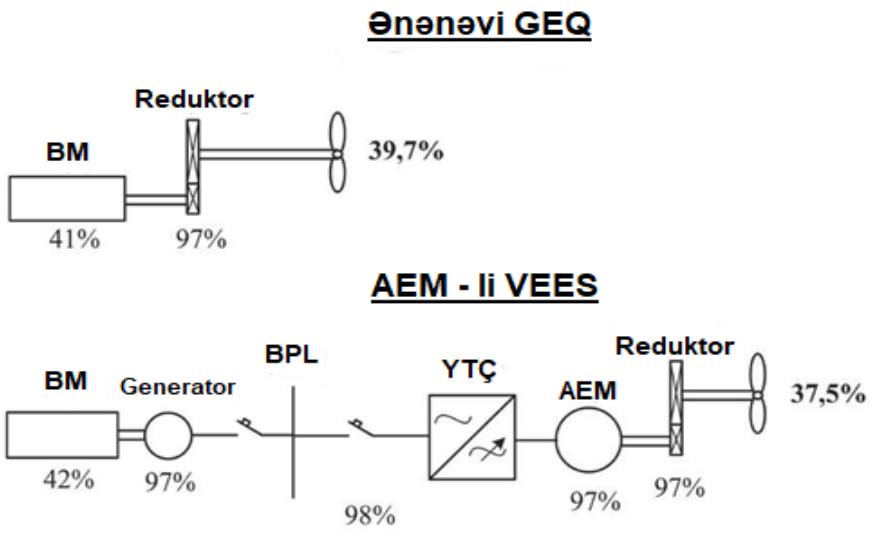
Parametrin adı	**Qiyməti**	
	Ənənəvi EEQ (%)	EHS ilə VEES (%)
Avadanlıqların həcmi	100	160–180
Avadanlığın çəkisi	100	150–170

Ənənəvi elektroenergetik qurğularından EHS ilə VEES-ə keçid zamanı avadanlıqların həcminin artması təxminən 60-80%, çəki artımı isə təxminən 50-70% olacaqdır. Bununla belə, gəmidə avadanlıqların daha optimal yerləşdirilməsi imkanı sayəsində bu çatışmazlıq əhəmiyyətli dərəcədə azaldıla bilər. Qeyd etmək lazımdır ki, EHS ilə VEES - dən istifadə edərkən FİƏ-nın artması səbəbindən yanacaq çənlərinin həcmini 20%-ə qədər azaltmaq mümkündür [8,9].

Dizel mühərrikinin sabit fırlanma sürəti ilə işləməsi və yükün daha məhdud diapazonda dəyişməsi səbəbindən EHS ilə VEES - də baş mühərrikin silindr-porşen qrupunun aşınması daha azdır. İstismar təcrübəsi göstərir ki, EHS ilə VEES-li gəmilərdə texniki xidmətin əməyinin intensivliyi ənənəvi qurğularla müqayisədə 10% azaldıla bilər.

Enerjini tam sürət rejimində ilkin mühərrikdən avar vintinə ötürərkən ənənəvi elektrik stansiyasının FİƏ təxminən 40%, elektrik hərəkət sistemi ilə VEES-n FİƏ təxminən 37% təşkil edir. Nominal yüklənmədə səmərəlilik fərqi 3% -dən çox deyil.

Tam iş rejimində ənənəvi elektroenergetik qurğunun və EHS ilə VEES enerji diaqramları Şəkil 3-də təqdim edilmişdir.



Şəkil 3. *Nominal yüklənmə zamanı ənənəvi EEQ və EHS ilə VEES energetik diaqramları*

Ənənəvi GEQ və AEQ olan VEES–nin bütün pay yükləri diapazonunda FİƏ müqayisəli təhlili cədvəl 3–də verilmişdir.

Cədvəl 3

Müxtəlif EEQ –nın FİƏ-nın müqayisəli təhlili

BM yükü	**FİƏ**	
	Ənənəvi GEQ (%)	EHS ilə VEES (%)
100%	37%	36,5%
80%	39%	37%
60%	34%	35%
40%	30%	33%
20%	işləyə bilməz	34%

Fraksiyalı yük rejimində ənənəvi qurğunun FİƏ əhəmiyyətli dərəcədə azalır, AEQ – lu VEES olan gəmilərdə isə demək olar ki, dəyişməz qalır. Bu onunla bağlıdır ki, yük azaldıqda bir DG-nin söndürülməsi, qalanının isə nominal yüklənmə rejimində işləməsi mümkündür. Bundan əlavə, qeyd etmək lazımdır ki, EHS ilə VEES Vahid Elektrik Enerjisi Sistemində baş mühərriklər generatorda sabit fırlanma tezliyi ilə işləyir və yük azaldıqda onların FİƏ addımı sabit vintlərdə vint xarakteristikasına uyğun işləyən baş mühərriklərə nisbətən daha az dərəcədə azalır [10,11,12].

Gəminin istismar modelindən asılı olaraq, EHS ilə VEES tətbiqinin iqtisadi effekti fərqli ola bilər. EHS ilə VEES avadanlığının texniki istismarı xərclərinin azalması 10%-ə çata bilər. Bir pilot (losmeyster) gəmidə EHS ilə VEES istifadə edərkən, avadanlığın quraşdırılması üçün əlavə xərclərin ödənilməsi müddəti 5-7 ildən çox deyil.

Nəticə.

1. EHS–li VEES-nin əsas çatışmazlığı, seçilmiş avadanlıq növündən və istehsalçıdan asılı olaraq EEQ avadanlığının dəyərinin təxminən 25-45% artmasıdır.
2. EHS–li VEES daha yüksək çəki və ölçülərə malikdir, lakin VEES avadanlığını gəmidə daha yumşaq və rasional şəkildə yerləşdirmək mümkündür ki, bu da bu çatışmazlığı qismən kompensasiya edir.
3. Funksionallıq və idarəetmə xüsusiyyətləri baxımından EHS ənənəvi EEQ-dan əhəmiyyətli

üstünlüyə malikdir. EHS-də minimum fırlanma tezliyinə heç bir məhdudiyyət qoyulmur, vintin reversini həyata keçirmək daha asandır və fırlanma momenti üçün artıq yüklənmə qabiliyyəti daha yüksəkdir.

4. Ənənəvi EEQ ilə müqayisədə, elektrik hərəkət sistemləri bir qədər yüksək etibarlılığa malikdir, bu da gəmilərin istismarında yerli və xarici təcrübə ilə təsdiqlənir.
5. Tam sürət rejimində enerjini əsas mühərrikdən avar vintinə ötürərkən ənənəvi elektroenergetik qurğunun FİƏ bir qədər aşağıdır, təxminən 40% təşkil edir, EHS ilə VEES-nin FİƏ 37% təşkil edir, lakin fraksiya yüklərində EHS-nin FİƏ ənənəvi elektroenergetik qurğunun FİƏ-nı əhəmiyyətli dərəcədə üstələyir.
6. ilə VEES olan EHS – li gəmilərdə texniki xidmətin əmək intensivliyi ənənəvi elektroenergetik qurğularla müqayisədə 10% azaldıla bilər. EHS ilə VEES -in ümumi istismar xərcləri ənənəvi EES-dən 10% aşağıdır ki, bu da əlavə xərcləri 5-7 il ərzində geri qaytarmağa imkan verir.

Ədəbiyyat

1. Sultanov E.F. “Gəmi elektrik avadanlığının texniki istismarı”, Dərslik./ E.F. Sultanov., E.M. Məmmədov – Bakı ADDA, 2018.-284 s.
2. Григорьев А. В. Комплексный подход при создании судовых электроэнергетических систем и установок / А. В. Григорьев, И. М. Васин, В. А. Хомяк // Судостроение. ─ 2008. ─ № 2. ─ с. 30–31.
3. Григорьев, Е.А. Глеклер // Эксплуатация морского транспорта: ежекварт. сб. науч. ст. ─ СПб.: Тип. «Феникс», 2008. ─ Вып. № 3 (53). ─ с. 68–70.
4. Григорьев А.В. Схемные решения перспективных низковольтных судовых систем электродвижения / А. В. Григорьев, В. В. Романовский, Р. Р. Зайнуллин // Эксплуатация морского транспорта: ежекварт. сб. науч. ст. ─ СПб.: Тип. «Феникс», 2010. ─ Вып. № 4 (62). ─ с. 76–78.
5. Опыт эксплуатации электроэнергетической установки гидрографического судна «Вайгач» / А.В. Григорьев [и др.] // Судостроение. ─ 2010. ─ № 6. ─ с. 29–31.
6. Григорьев А. В. Электроэнергетические установки танкеров-газовозов / А.В. Григорьев, Р.Р. Зайнуллин // Судостроение. ─ 2010. ─ № 3. ─ с. 39–42.
7. Григорьев А.В. Опыт проектирования электроэнергетической установки грузопассажирского парома / А. В. Григорьев, Д. В. Умяров // Судостроение. ─ 2010. ─№ 2. ─ с. 29–31.
8. Григорьев А.В. Судовая система электродвижения нового поколения / А. В. Григорьев // Морской флот. ─ 2012. ─ № 2. ─ с. 38–40.
9. Григорьев А.В. Судовые многоканальные электроэнергетические установки / А.В. Григорьев, Ю.А. Кулагин // Эксплуатация морского транспорта: ежекварт. сб. науч. ст. ─СПб.: Тип. «Феникс», 2012. ─ Вып. № 4 (70). ─ с. 50–55.
10. Григорьев А. В. Системы электродвижения судов специального назначения / А. Григорьев, Гурьев // Информационный морской журнал. ─ 2013. ─ № 2 (20). ─ с. 120–122.
11. Григорьев А. В. Судовые комбинированные пропульсивные комплексы нового поколения / А.В. Григорьев, Е.А. Глеклер // Морской вестник. ─2013. ─Спецвып. 2 (11). ─ с. 49–50.
12. Григорьев А.В. Судовые системы электродвижения на базе кольцевых электродвигателей / А.В. Григорьев, Ю.А. Кулагин, С.М. Малышев // Морской вестник. ─ 2013. ─ Спец. вып. 2 (11). ─ с. 60–61.

Məqalə qəbul olunub: 16.04.25
Tövsiyə edib: prof. Lazımov T.M.

UOT 628.3

GƏMİ KÖMƏKÇİ SÜKAN QURĞULARININ ELEKTRİK MÜHƏRRİKİNİN TEZLİK ÇEVİRİCİSİ İLƏ İDARƏ OLUNMASININ ÜSTÜNLÜKLƏRİ

Sultanov E.F., Məmmədov E.M., İsmayılov S.S.

"Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası" PHŞ
AZ1000 Bakı şəh., Z.Əliyeva küç.,18
E-mail: elshen_sultanov@mail.ru, emilmemmedoglu@gmail.com, sahib-ismayil@bk.ru,

Xülasə. *Gəmi köməkçi sükan elektrik intiqalında istifadə olunan tezlik çeviricilərinin xüsusiyyətlərindən və elektrik intiqalının sürəti tənzim olunan köməkçi sükan qurğusunun xarakteristikalarından bəhs olunur. Həmçinin gəmi köməkçi sükan elektrik intiqalının sürətinin tənzimi üçün istifadə olunan matris tipli tezlik çeviricilərinin üstünlükləri qeyd edilmişdir.*

Аннотация. *Рассмотрены особенности преобразователей частоты, применяемых в электроприводах судовых подруливающих устройств и характеристики подруливающего устройства с регулируемым электроприводом. Также отмечены преимущества преобразователей частоты матричного типа, используемых для регулирования скорости электропривода подруливающего устройства судна.*

Abstract. *The article talks about the characteristics of the frequency converters used in the electric drive. of the ship's auxiliary steering and the characteristics of the auxiliary steering device controlled by the regulation of the speed of the electric drive. The article also mentions the advantages of matrix-type frequency converters used for speed regulation of the ship's auxiliary steering electric drive.*

Açar sözlər: *gəmi, köməkçi sükan, mühərrik, elektrik intiqalı, tezlik çeviricisi*

Ключевые слова*: судно, подруливающее устройство, двигатель, электропривод, частотный преобразователь*

Key words: *ship, bow thruster, motor, electrical drive, frequency convertor*

Giriş. Gəmilərin manevretmə qabiliyyətini artırmaq üçün əsas sükan qurğusundan başqa, əlavə idarəetmə vasitələrindən də istifadə edilir. Əlavə idarəetmə qurğuları, əsasən, gəminin körpüyə yan alması, dar kanallarda hərəkəti və manevr rejimlərində tətbiq edilir. Əlavə idarəetmə vasitələrinə burun hissəsinin sükanı, istiqamətləndirici başlıqlar, aktiv sükanlar, köməkçi sükan qurğusu və köməkçi sükan başlıqları aiddir. Köməkçi sükan qurğusu, əsasən, gəminin burun, bəzən isə arxa hissəsində yerləşdirilir. Bu qurğu gəminin diametral müstəvisinə perpendikulyar, içərisində avar vintli, və ya pərli hərəkətverici olan borudan ibarətdir. Gəmilərdə istifadə olunan müxtəlif işçi mexanizmlərin normal iş şəraiti onları hərəkətə gətirən elektrik intiqallarından asılıdır. Müasir dövrdə layihələndirilən və hazırlanan gəmilərin elektrik intiqallarının idarəetmə sistemlərinin təkmilləşdirilməsinə tələblər artır. Hal-hazırda istismarda olan gəmilərin böyük hissəsində elektrik intiqallarının avtomatik idarəetmə sxemlərində istifadə olunan rele-kontaktor sisteminin uzunmüddətli işləməsi yükdən və qoşulma tezliyindən asılıdır. Gəminin köməkçi sükan qurğusu gəminin yanalma və digər əməliyyatlar prosesində manevr etməsini təmin edir [1,2].

Köməkçi sükan qurğusunun idarə olunması iki istiqamətdə həyata keçirilir:

1. Sabit sürətlə fırlanan vintin addımını tənzim etməklə;
2. Sabit addımlı vintin hərəkətə gətirən elektik mühərrikinin sürətini tənzim etməklə.

Elektik intiqalının sürətini tənzim etmək üçün faza rotorlu asinxron elektrik mühərrikindən istifadə olunur.

Burada rotor dövrəsinə qoşulmuş müqavimət vasitəsi ilə mühərrikin sürəti tənzim olunur, eyni zamanda da mühərrikin işə düşmə cərəyanının məhdudlaşdırılması təmin edilir. Lakin dövrlər sayının tənzim edilməsi prosesi enerji itkilərinin yaranması ilə xarakterizə olunur, bu da iqtisadi baxımdan əlverişli hesab olunmur. Eyni zamanda sürətin tənzimi pilləli şəkildə həyata keçirilməsi baxımından, tənzimin keyfiyyəti də qənaətbəxş sayılmır [2,3].

Əsas hissə. Elektik mühərrikinin sürətini tənzim etmək üçün istifadə olunan digər bir üsül tezlik çeviricisindən istifadə etməklə qısa qapanmış rotorlu asinxron mühərrikin sürətinin tənzim olunmasıdır. Tezlik çeviricisindən istifadə edərkən, elektrik intiqalında həm iqtisadi cəhətdən əlverilşli qurğudan istifadə olunması, həm mühərrikin sürətinin tələb olunan tənzim diapazonunda idarə olunması, həm də mühərrikin işə düşmə cərəyanının məhdudlaşdırılması nəzərə alınmalıdır.

Göstərilən funksiyaları yeninə yetirmək üçün şəbəkəyə bir başa qoşulmuş tezlik çeviricisinin (ŞBTÇ) bəzi xüsusiyyətləri ilə tanış olaq (şəkil 1).

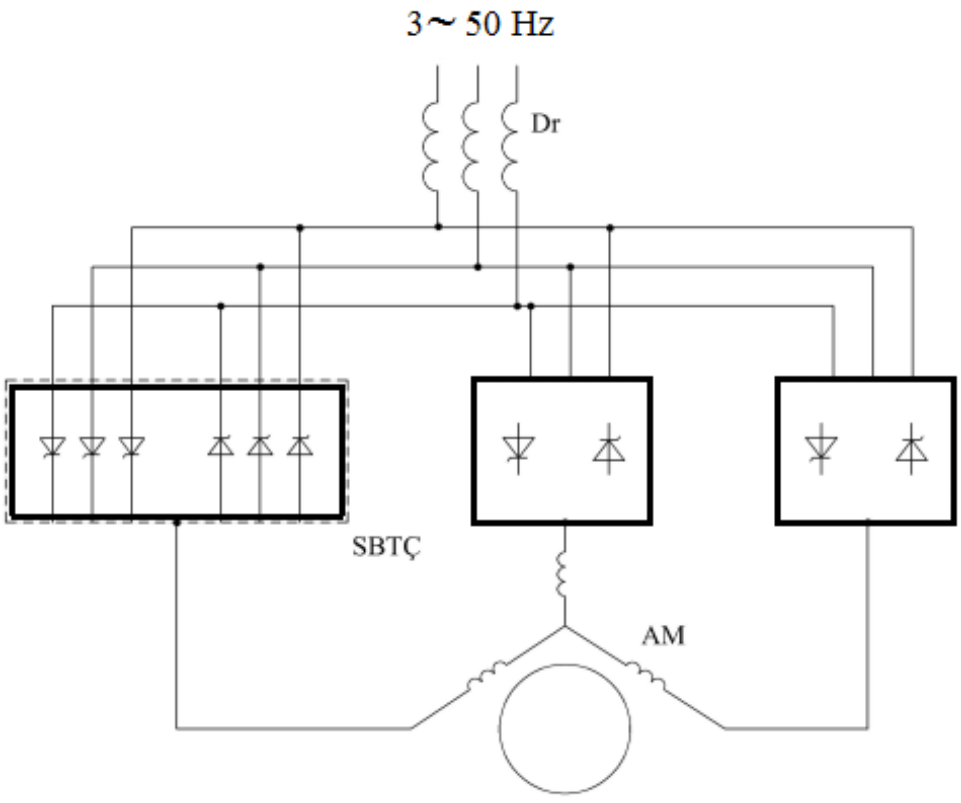
Tezlik çeviricisi hər fazada 6 ədəd tiristor olmaqla, ümumi 18 ədəd tiristorlardan ibarətdir. Bu tezlik çeviricisində tiristorlar təbii kommutasiya prosesi nəticəsində bağlanırlar. Ona görə də belə tezlik çeviricisinin çıxış tezliyi şəbəkə tezliyindən az olur (5÷30)Hs. Qısa qapanmış rotorlu asinxron elektrik intiqallarının sürətini aşağı tezlik diapazonunda idarə etmək üçün bu tezlik çeviricilərindən geniş istifadə edilir [4].

Tezlik çeviricisinin çıxış tezliyi

$$f_2 = \frac{mf_1}{2(n-1)+m}\ ; \qquad (1)$$

ifadəsi ilə təyin olunur. Burada: n - çıxış gərginliyi əyrisində düzləmiş yarımdalğaların sayı; m - şəbəkənin fazalar sayıdır.

Bu tezlik çeviriciləri şəbəkə tezliyindən aşağı tezliklərdə istifadə olunduğu üçün onların gücü idarə etdiyi elektik mühərikinin gücündən kiçik olur.



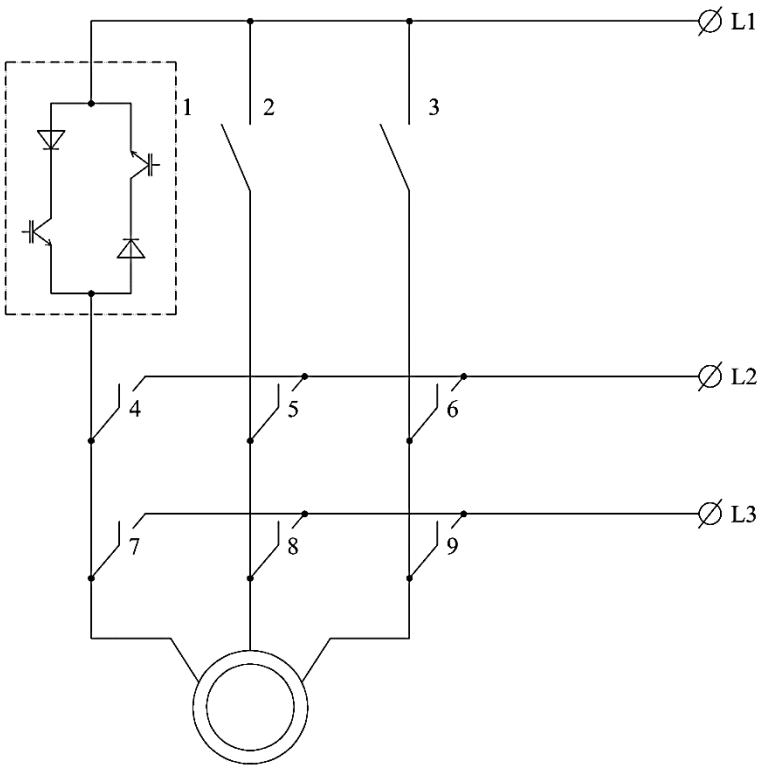
Şəkil 1. *Şəbəkəyə birbaşa qoşulmuş tezlik çeviricisi*

Qeyd etmək lazımdır ki, belə tezlik çevirciləri tezliyi çevirməklə yanaşı eyni zamanda mühərrikin güc dövrəsində cərəyansız kommutasiya prosesini də həyata keçirirlər. Lakin mühərriki tezlik çeviricisinin maksimal tezliyinə uyğun gələn sürətdən şəbəkəyə bir başa qoşduqda mühərrikdə böyük cərəyan sıçrayışı alınır. Bu halın qarşısını almaq üçün xüsusi tədbirlər görülməlidir (məsələn, gərginliyi dəyişməklə keçid prosesini həyata keçirmək).

Digər tezlik çeviricilərindən biri şəbəkəyə birbaşa qoşulmuş matris tipli tezlik çeviricisidir (MTC). Bu tezlik çeviricisinin güc dövrəsi və mühərrikə qoşulma sxemi şəkil 2-də verilmişdir. Burada (1÷9) açarlarının hər biri iki ədəd IGBT tipli bipolyar tranzistorlardan yığılmışdır və nəticədə tezlik çeviricisində 18 ədəd tranzistordan istifadə olunur. Tranzistorlar tam idarə oluna bilmə qabiliyyətinə (həm açılma həm də bağlanma) malikdirlər [4,5].

Bu tranzistorlar əks paralel şəkildə qoşulduqları üçün enerjini həm mühərrikə həm də tormoz rejimində isə enerjini şəbəkəyə ötürə bilirlər. MTC- nin əsasən aşağıdakı üstünlüklərini qeyd etmək olar:

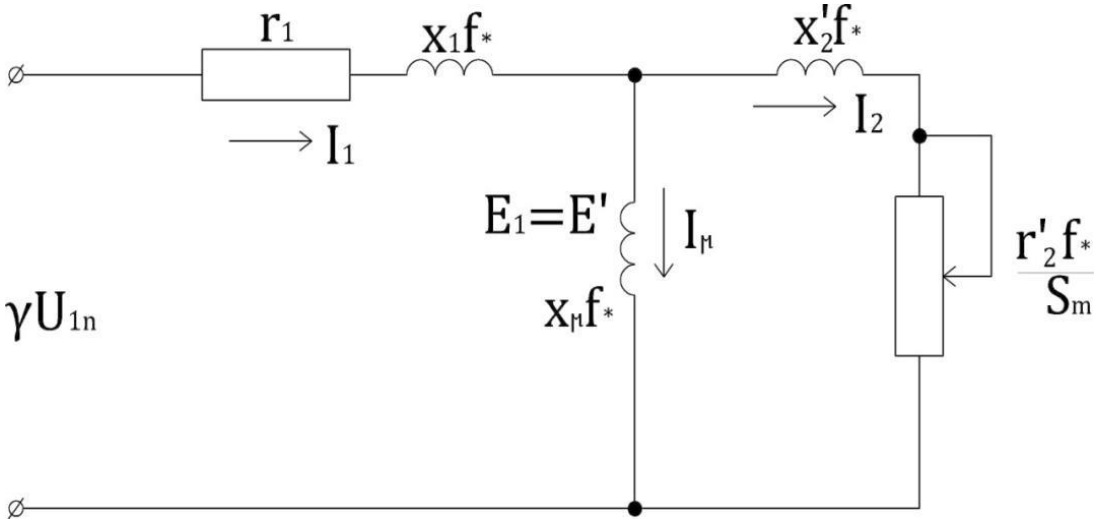
- çıxış tezliyinin sıfırdan şəbəkə tezliyinə qədər və ondan yuxarı hədlərdə tənzim olunması;
- yüksək faydalı iş əmsalına ($\eta = 0.98$) və güc əmsalına malik olması ($\cos\varphi = 0.95$) ;
- əlavə qurğuları tətbiq etmədən enerjini şəbəkəyə ötürə bilməsi;
- cərəyanın yüksək harmoniklər vasitəsi ilə təhrif olunmasının 8%-dən çox olmaması.



Şəkil 2. *Asinxron mühərrikin matris tipli tezlik çeviricisi vasitəsi ilə idarə olunması*

Tezlik çeviricisindən qida alan asinxron mühərrikin sürəti tənzim olunarkən mühərrikin statoruna verilən gərginliyin həm qiyməti həm də tezliyi işçi mexanizmin xarakteristikasından asılı olaraq müəyyən bir qanunla dəyişməlidir. Əvvəlcə ümumi halda tezlik vasitələri ilə idarə olunan asinxron elektik intiqalının elektromexaniki və mexaniki xarakteristikaları ilə tanış olaq. Şəbəkə tezliyini dəyişməklə idarə olunan asinxron mühərrikin əvəz sxeminə baxaq (şəkil 3). Burada

$f_* = \frac{f_1}{f_{1n}} = \frac{\omega_1}{\omega_{1n}}$ statorun nisbi tezliyi olub stator gərginliyinin tezliyinin (f_1) nominal şəbəkə tezliyinə (f_n) nisbətidir. $S_m = \frac{f_2}{f_{1n}} = \frac{\omega_1 - \omega}{\omega_{1n}}$ mütləq sürüşmə olub rotorun nisbi tezliyini göstərir. $\gamma = \frac{U_1}{U_{1n}}$ stator gərginliyinin nisbi qiymətidir. $x_\mu f_*, x_1 f_*, x_2^{'} f_*$ - müxtəlif tezliklərdə induktiv müqavimətlərdir.



Şəkil 3. *Şəbəkə tezliyini dəyişməklə idarə olunan asinxron mühərrikin əvəz sxemi*

Əvəz sxemindən istifadə edərək aşağıdakı ifadələri almaq olar [3]:

$$I_1 = U_{1n}\gamma\sqrt{\frac{C(S_m)}{B(f_*;S_m)}}\ , \tag{2}$$

$$I_2^{'} = U_{1n}\gamma\frac{S_m}{\sqrt{B(f_*;S_m)}}\ , \tag{3}$$

$$I_\mu = U_{1n}\gamma\sqrt{\frac{D(S_m)}{B(f_*;S_m)}}\ , \tag{4}$$

$$E_1 = E_1^{'} = U_{1n}\gamma\sqrt{\frac{A(S_m)}{B(f_*;S_m)}}\ , \tag{5}$$

Bu ifadələr əsasında aşağıdakı parametrləri təyin edək:
Hava məsafəsində maqnit seli

$$\Phi = \frac{U_{1n}\gamma}{C_1 f_{1n}}\sqrt{\frac{A(S_m)}{B(f_*;S_m)}} \tag{6}$$

Mühərrikin elektromaqnit momenti

$$M = \frac{m_1 U_{1n}^2 \gamma^2}{\omega_{1n}} \cdot \frac{r_2^{'} S_m}{B(f_*;S_m)}\ , \tag{7}$$

Kritik moment

$$M_{kr} = \frac{3U_{1n}^2\gamma^2}{2\omega_{0n} f_*\left[r_1 + \sqrt{r_1^2 + (x_1 + x_2^{'})^2 f_*^2}\right]} \tag{8}$$

(2), (3) və (7) ifadələrində aşağıdakı şərti işarələr qebul olunmuşdur;

$$A(S_m) = r_2'^2 + x_2'^2 S_m^2;$$

$$B(f_*; S_m) = (b^2 + c^2 f_*^2) S_m^2 + 2 r_1 r_2' f_* S_m + (d^2 + e^2 f_*^2) r_2'^2;$$

$$C(S_m) = a^2 + (1 + (\tau_2)^2 S_m^2) \ ;$$

$$D(S_m) = a^2 + \tau_2^2 S_m^2 \ ;$$

$$a = \frac{r_2'}{x_\mu}; \ b = r_1(1 + r_2); \ c = x_\mu r; \ d = \frac{r_1}{x_\mu}; e = 1 + r_1;$$

$$\tau_1 = \frac{x_1}{x_\mu}; \ \tau_2 = \frac{x_2'}{x_\mu} \ ; \ \tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_1 \tau_2;$$

Bu şərti işarələri (2) və (7) ifadələrində nəzərə alaq

$$I_1 = U_{1n} \gamma \sqrt{\frac{a^2 + (1 + \tau_2)^2 S_m^2}{(b^2 + c^2 f_*^2) S_m^2 + 2 r_1 r_2' f_* S_m + (d^2 + e^2 f_*^2) r_2'^2}} \ , \tag{9}$$

$$M = \frac{3 U_{1n}^2 \gamma^2}{\omega_{1n}} \cdot \frac{r_2' S_m}{(b^2 + c^2 f_*^2) S_m^2 + 2 r_1 r_2' f_* S_m + (d^2 + e^2 f_*^2) r_2'^2} \ , \tag{10}$$

Mütləq sürüşmənin ifadəsinə əsasən

$$S_{\text{m}} = \frac{\omega_1 - \omega}{\omega_{1n}} \ ;$$

buradan

$$\omega = \omega_{1n} (f_* - S_m) \ , \tag{11}$$

(9), (10) və (11) ifadələrindən istifadə edərək mühərrikin tezliyin müxtəlif qiytmətlərində elektromexaniki $\omega(I_1)$ və mexaniki $\omega(M)$ xarakteristikalarını qurmaq olar [5,6].

Parametrləri aşağıda verilmiş "General Əsədov" tipli sərnişin gəmisinin köməkçi sukan elektrik intiqalı üçün $\omega(I_1)$ və $\omega(M)$ xarakteristikalarını tezliyin müxtəlif qiymətləri üçün quraq:
N_{2n} = 400 kVt; I_1 = 794 A; U_{1n} = 380 V; n_n = 980 dövr/dəq; r_1=0,008 Om ; x'_1=0,036 Om
R_2=0,0128 Om ; x'_1=0,048 Om; X_μ=2 Om ; ω_{1n}=108 1/s

$\omega(I_1)$ və $\omega(M)$ xarakteristikalarını qurmamışdan əvvəl köməkçi sukan elektrik intiqalı üçün tezlik və gərginlik arasındakı asılılığı müəyyən edək. Kostenko düsturuna əsasən

$$\frac{U_1}{U_{1n}} = \frac{f_1}{f_{1n}} \sqrt{\frac{M_{S_1}}{M_n}} \ ; \tag{12}$$

Köməkçi sukan qurğusu ventilyator xarakterli yükə uyğun olduğundan

$$M_S = M_n \left(\frac{\omega}{\omega_{1n}} \right)^2 = M_n \left(\frac{f_1}{f_{1n}} \right)^2; \tag{13}$$

Bu ifadəni (12)-da nəzərə alsaq

$$\frac{U_1}{U_{1n}} = \frac{f_1}{f_{1n}} \sqrt{\left(\frac{f_1}{f_{1n}} \right)^2} = \frac{f_1^2}{f_{1n}^2} \ ;$$

Beləliklə, ventilyator xarakterli yük üçün

$$\gamma = f_*^2$$

asılılığından istifadə edilməlidir. Müxtəlif tezliklər üçün bu asılılığın qiymətləri cədvəl 1-də verilmişdir:

Cədvəl 1

f_1, Hs	50	30	25	20	10	5	Qeyd
f_*	1	0,6	0,5	0,4	0,2	0,1	$f_{1n} = 50\ Hs$
γ	1	0,36	0,25	0,16	0,04	0,01	

4125*0.36^2*0.0128*u/((0.000068+0.072*0.6^2)*u^2+0.0002*0.6*0.36*u+(0.000016+1.03*0.6^2)*0.000164)

(9), (10) və (11) ifadələrindəki şərti işarələrin qiymətləini hesablayaq:

$$\tau_1 = \frac{x_1^{'}}{x_\mu} = \frac{0.036}{2} = 0.018\ ; \tau_2 = \frac{x_2^{'}}{x_\mu} = \frac{0.048}{2} = 0.024\ \ ;$$

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_1\tau_2 = 0.018 + 0.024 + 0.018 \cdot 0.024 = 0.0424;$$

$$a = \frac{r_2^{'}}{x_\mu} = \frac{0.0128}{2} = 0.0064\ ; b = r_1(1+\tau_2) = 0.008(1+0.024) = 0.082;$$

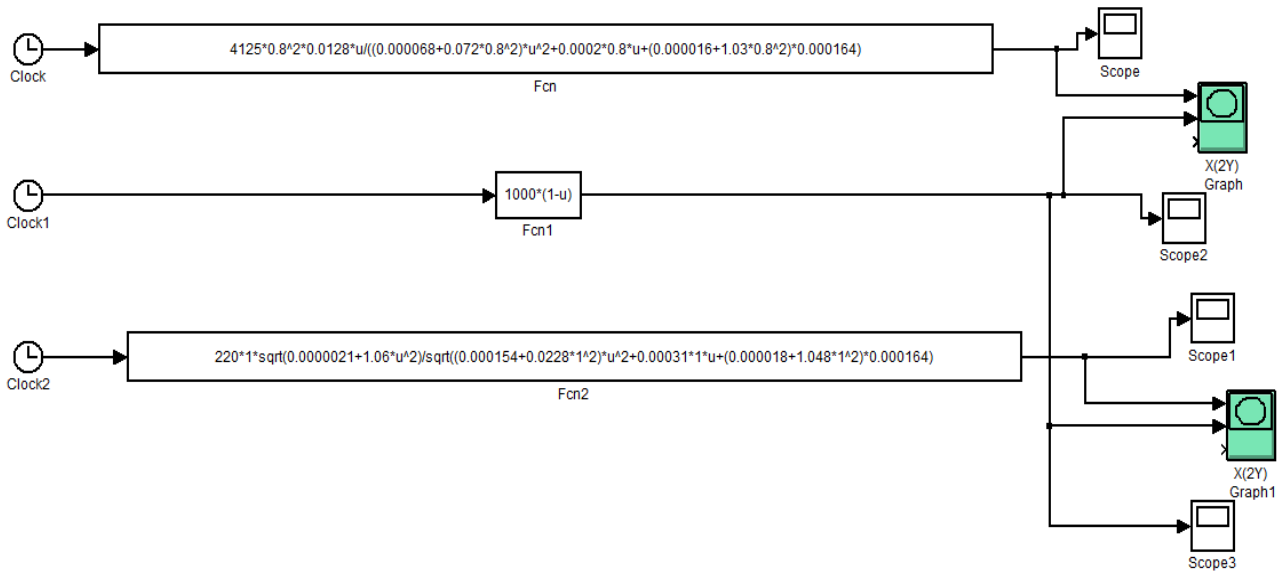
$$c = x_\mu \tau = 2 \cdot 0.0424 = 0.0848\ ;\ d = \frac{r_1}{x_\mu} = \frac{0.008}{2} = 0.004\ ;$$

$$e = 1 + \tau_1 = 1 + 0.018 = 1.018;$$

Şərti işarələrin qiymətlərini nəzərə alaraq I_1, M və ω üçün aşağıdakı ifadələri yazaq:

$$\left.\begin{aligned} I_1 &= 380\gamma\sqrt{\frac{0.00004 + 1.049 S_m^2}{(0.000068 + 0.072 f_*^2) S_m^2 + 0.0002 f_* S_m + (0.000016 + 1.03 f_*^2) \cdot 0.000164}} \\ M &= 4125\gamma^2 \frac{0.0128 S_m}{(0.000068 + 0.072 f_*^2) S_m^2 + 0.0002 f_* S_m + (0.000016 + 1.03 f_*^2) \cdot 0.000164} \\ \omega &= 105(f_* - S_m) \end{aligned}\right\} \quad (14)$$

(14) ifadələrini Matlab/Simulink alt proqramından istifadə edərək hesablayaq. Hesablamanı şəkil 4-də təsvir edilmiş blok-sxem əsasında aparaq.



Şəkil 4. *Matlab/Simulink paketində hesablanmanın aparılması blok-sxemi*

Hesablama zamanı f_* və γ üçün cədvəl 1-dəki qiymətlərdən istifadə etmək olar. Lakin köməkçi sükan elektrik intiqalının işçi mexanizminin (oxlu nasosun) $M_S = f(\omega)$ asılılığı praktikada (13) ifadəsindən fərqlənmir. Buna səbəb sürətin dəyişməsi ilə nasosun faydalı iş əmsalının böyük həddlərdə dəyişməsidir.

Bu dəyişənləri nəzərə almaq üçün oxlu nasosun universal işçi xarakteristikalarından istifadə edək. Oxlu nasosun bir sürət üçün işçi xarakterisitikaları [1,2] -də verilmişdir. Oxşarlıq tənliklərindən [3] istifadə edərək başqa sürətlər üçün işçi xarakteristikaları quraq. Bu məqsədlə

$$Q = Q_n\left(\frac{n}{n_n}\right);\quad H = H_n\left(\frac{n}{n_n}\right)^2;\quad N = N_n\left(\frac{n}{n_n}\right)^3 \tag{15}$$

ifadələrindən istifadə edək. Burada n_n - nasosun nominal fırlanma sürəti;

Q_n , H_n , N_n - uyğun olaraq nasosun nominal sürətdə məhsuldarlığı təzyiqi və gücüdür. Hesablamaların nəticəsini cədvəl 2-yə yazaq.

Cədvəl 2

Q/Q_n	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,1	1,2	1,4	$n = n_n$
H/H_n	2,22	1,56	1,4	1,28	1,15	1,0	0,9	0,75	0,2	
Q/Q_n	0	0,18	0,36	0,54	0,72	0,9	0,99	1,08	1,26	$n = 0.9n_n$
H/H_n	1,8	1,26	1,13	1,04	0,93	0,81	0,73	0,61	0,162	
Q/Q_n	0	0,16	0,32	0,48	0,64	0,8	0,88	0,96	1,12	$n = 0.8n_n$
H/H_n	1,43	0,998	0,896	0,82	0,74	0,64	0,58	0,48	0,128	
Q/Q_n	0	0,14	0,28	0,42	0,56	0,7	0,77	0,84	0,98	$n = 0.7n_n$
H/H_n	1,09	0,76	0,69	0,63	0,56	0,49	0,44	0,37	0,098	
Q/Q_n	0	0,12	0,24	0,36	0,48	0,6	0,66	0,72	0,84	$n = 0.6n_n$
H/H_n	0,8	0,56	0,5	0,46	0,4	0,36	0,32	0,27	0,072	
Q/Q_n	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,55	0,6	0,7	$n = 0.5n_n$
H/H_n	0,555	0,39	0,35	0,32	0,288	0,25	0,225	0,188	0,05	
Q/Q_n	0	0,08	0,16	0,24	0,32	0,4	0,44	0,48	0,56	$n = 0.4n_n$
H/H_n	0,36	0,25	0,224	0,21	0,184	0,16	0,144	0,12	0,032	
Q/Q_n	0	0,06	0,12	0,18	0,24	0,3	0,33	0,36	0,42	$n = 0.3n_n$
H/H_n	0,199	0,14	0,13	0,12	0,1	0,09	0,081	0,07	0,018	

Şəkil 5-də cədvəl 2 əsasında nasosun müxtəlif fırlanma sürətləri üçün $H-Q$ xarakteristikaları çəkilmişdir. Burada eyni zamanda faydalı iş əmsalının nasosun məhsuldarlığından asılılıq əyrisi $\eta^*(Q^*)$ və hidravlik sistemin xarakteristikası $H^2 = Q^{*2}$ -da təsvir edilmişdir. Şəkil 5-də təsvir edilmiş universal işçi xarakteristikalardan istifadə edərək oxlu nasosu fırladan nominal gücü 400 kVt, nominal sürəti $n_n = 980$ dövr/dəq olan elektrik mühərriki üçün aşağıdakı parametrləri hesablayaq cədvəl 3-ə yazaq.

Cədvəl 3

n / n_n	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0.3	0,2	Qeyd
n, $d/dəq$	980	882	784	686	588	490	392	294	196	
$(n / n_n)^2$	1	0,729	0,512	0,343	0,216	0,125	0,064	0,027	0,008	
N, kvt	220	160,4	112,6	75,5	47,5	27,5	14,1	5,91	1,76	
$n_{müh}$	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,935	0,93	0,92	N_n = 400 kVt
η^*_{nas}	1	0,98	0,94	0,87	0,8	0,7	0,6	0,47	0,3	n_{0n} = 980 d/dəq
η_{nas}	0,88	0,86	0,83	0,77	0,7	0,62	0,53	0,414	0,264	ω_{0n}=104,7 1/s
N_{el}, kvt	266	198,4	144,3	104,3	72,2	47,2	28,5	15,4	7,2	U_{1n} =380 V
M_{el}, Nm	2595	2150	1753	1449	1170,2	917	687	498,4	349,5	f_{n0} = 50 Hs
M_{kr}, Nm	4125	3440	2805	2318	1872	1467	1099	794	559	
f_*	1	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	
γ	1	0,81	0,65	0,52	0,41	0,31	0,215	0,14	0,085	

Cədvəldəki hesabı parametrlər aşağıdakı ifadələr vasitəsilə hesablanmışdır.

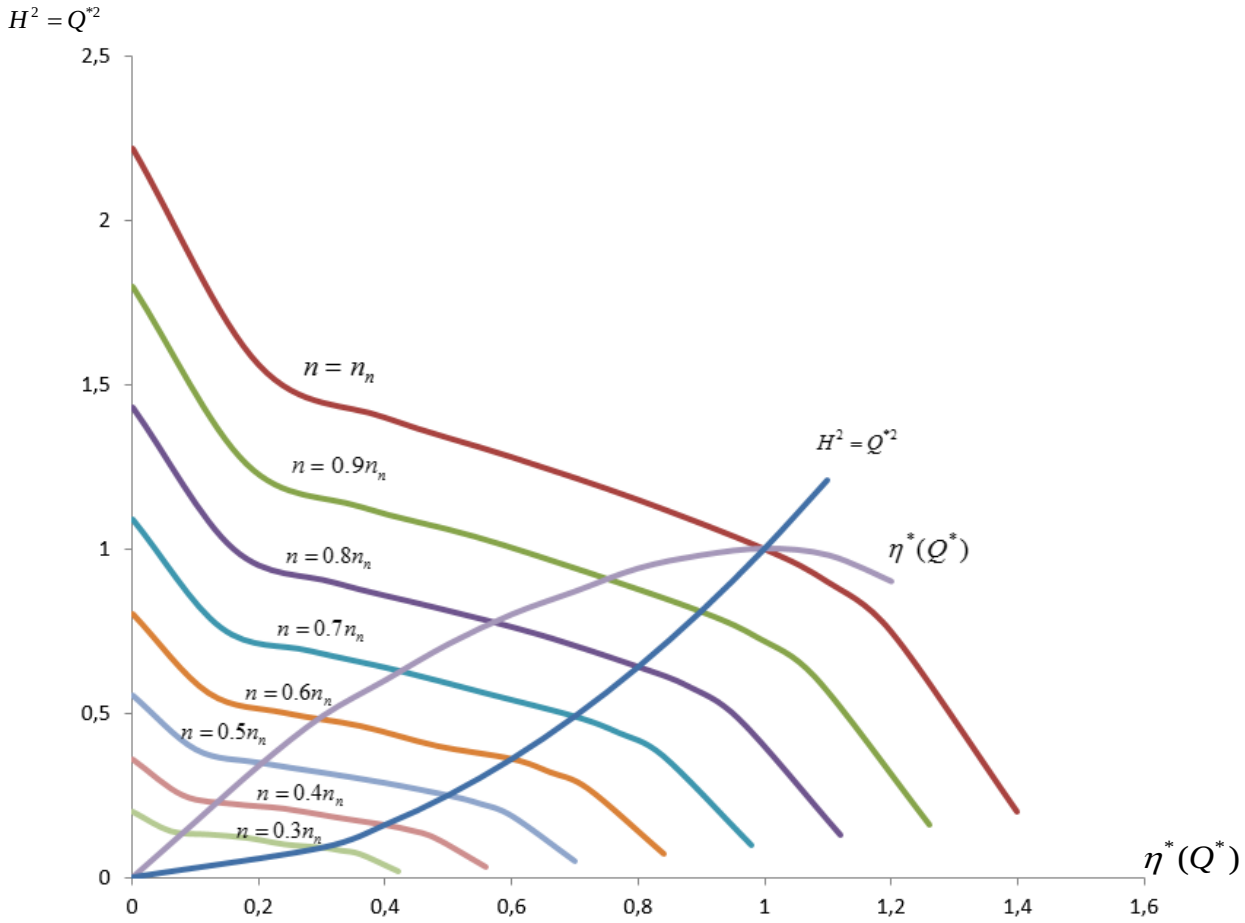
$$N = N_n\left(\frac{n}{n_n}\right)^3, \text{ kvt}; \qquad \eta_{nas} = \eta_{nasnom}\eta^*_{nas} = 0.88\eta^*_{nas};$$

$$N_{el} = \frac{N}{\eta_{muh}\,\eta_{nas}}, \text{ kVt}; \qquad M_{el} = \frac{30N_{el}}{\pi n}, \text{ Nm};$$

$$M_{kr} = \lambda M_{el} = 1.6M_{el}, \text{ Nm}; \qquad f_* = \frac{f_1}{f_{1n}};$$

(8) ifadəsinə əsasən

$$\gamma = \sqrt{\frac{M_{kr}\,2\omega_{0n}\,f_*\left[r_1 + \sqrt{r_1^2 + \left(x_1 + x_2^{'}\right)^2 f_*^2}\right]}{3U_{1n}^2}};$$



Şəkil 5. *Aparılmış hesabatın nəticələrinə əsasən nasosun H-Q xarakteristikası*

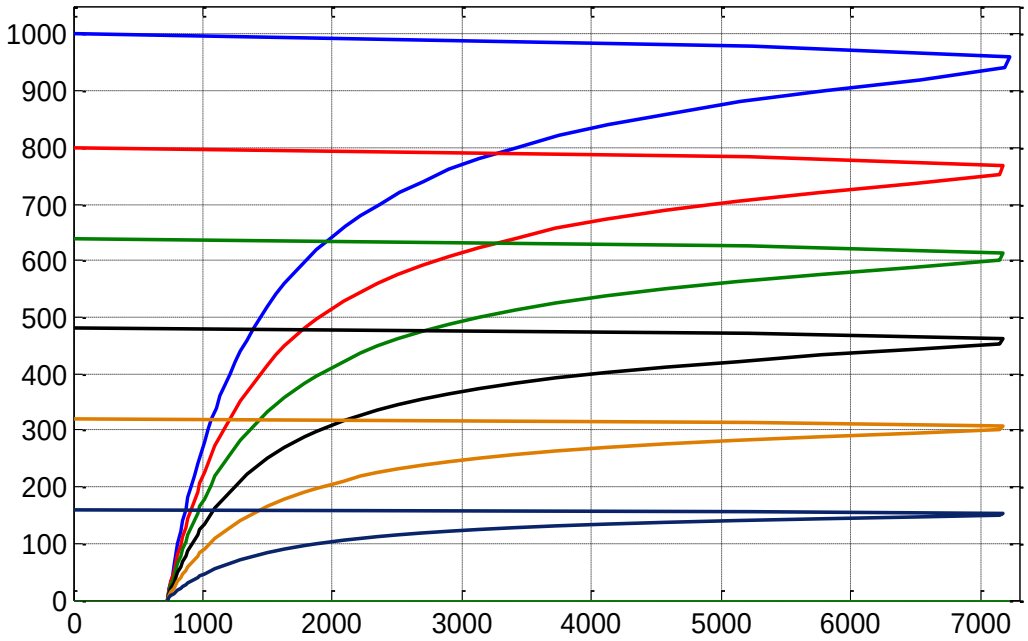
Şəkil 6-da (14) tənlikləri əsasında tezliyin müxtəlif qiymətləri üçün hesablanmış mühərrikin mexaniki xarakteristikaları və cədvəl 3-ə əsasən nasosun $M_S(n)$ asılılığı təsvir edilmişdir. Burada kiçik xəta ilə qəbul edilmişdir ki, $M_S \approx M_{el}$.

Şəkil 7-də (14) tənlikləri əsasında tezliyin müxtəlif qiymətləri üçün hesablanmış mühərrikin elektromexaniki xarakteristikaları $n(I_1)$ təsvir edilmişdir. Qurulmuş xarakteristikaların təhlili göstərir ki, $\frac{M_{kr}}{M_S} = const$ şərti daxilində mühərrikin sürətini müəyyən tənzim diapazonunda tənzim etmək olar. Lakin tezliyin hər hansı bir maksimal qiymətinə uyğun gələn mexaniki xarakterisitikadan təbii mexaniki xarakterisitikaya diskret keçid prosesi mühərrikdə cərəyanın təkanı ilə müşahidə olunur [7,8].

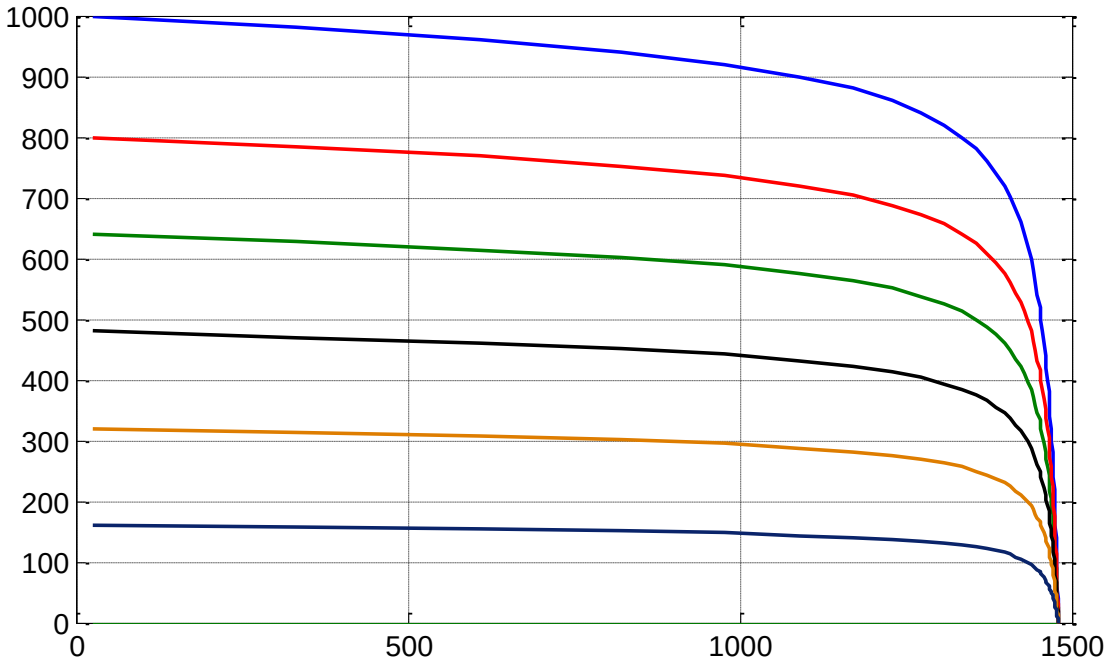
Ona görə də mühərrikdə cərəyanın bu təkanını azaltmaq üçün aşağıdakı tədbirlərin görülməsi təklif olunur:

1) Mühərrikin sürəti şəbəkəyə bir başa qoşulmuş tezlik çeviricisi ilə tənzim olunarsa, onda tezliyin maksimal qiymətinə uyğun gələn sürətdən sonra (f =30 Hs) təbii mexaniki xarakteristikaya keçidi gərginliyi dəyişməklə həyata keçirilməlidir.

2) Mühərrikin sürəti matris tipli tezlik çevirici vasitəsilə həyata keçirilərsə, onda maksimal sürətdən sonra təbii mexaniki xarakteristikaya keçidi tezliyi və gərginliyi dəyişməklə həyata keçirilməli.



Şəkil 6. *Tezliyin müxtəlif qiymətləri üçün nasosun mexaniki xarakteristikaları*



Şəkil 7. *Tezliyin müxtəlif qiymətləri üçün nasosun elektromexaniki xarakteristikaları*

Nəticə. Beləliklə, gəmi köməkçi sükan qurğusunun elektrik intiqalının işə buraxılması və sürətinin tənzim olunması üçün istifadə oluna biləcək tezlik çeviricilərinin xüsusiyyətləri geniş təhlil olunmuşdur. Köməkçi sükan qurğusunun oxlu nasosunun universal (H - Q) xarakteristikaları qurulmuş və bu xarakteristikalar əsasında nasosun $M_s = f(n)$ asılılığının qurulması göstərilmişdir. Gəmi köməkçi sükan elektrik intiqalının efektiv idarə olunması üçün *matris tipli tezlik çeviricilərinin* istifadə olunması təklif edilmişdir.

Ədəbiyyat

1. H. A. Mehdiyev, Z. Ə. Həsənov, T.H. Şabanov "Avtomatlaşdırılmış gəmi elektrik intiqalları". Bakı, "Nurlan", 2005-ci il, 358 səh.
2. Sultanov E.F., Abdullayev A.N. Müasir gəmi elektrik intiqalları, dərslik, Bakı, ADDA mətbəəsi, 2018 il.- 438 səh.
3. А. А. Суптель Асинхронный частотно-регулируемый электропривод: Учеб. пособие. Чебоксары: Изд-во Чуваш, ун-та. 2000. 164 с.
4. Сидоров С. Матричный преобразователь частоты- объект скалярного управления, Силовая электроника, N3, 2009. - 5 ст.
5. Ю.А. Фролов, "В.Н. Хохловский (Редактор перевода)". Руководства по решениям в автоматизации, "Shenider Electric", Москва 2011, 323 стр.
6. В.И. Лихошерст «Полупроводниковые преобразователи электрической энергии с импульсным регулированием» Екатеринбург, УГТУ, 2000 г. 116 ст.
7. Sultanov E.F., Həsənov E.A., İsmayılov S.S., Mammadov E.M. Transient process of electrical drive of a ship mooring controlled by a frequency converter // International Journal on "Technical and Physical Problems of Engineering" (IJTPE). – 2023. Issue 56, Volume 15, Number 3, – p. 290-297.
8. Sultanov E.F., Məmmədov E.M. Həsənov E.A., İsmayılov S.S. 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). – 2023. Issue 56, Volume 15, Number 3, – p. 303-308.

Məqalə qəbul olunub: 17.04.25
Tövsiyə edib: prof. Qafarov A.M.

UOT 62.83.52

GƏMİ GÖYƏRTƏ MEXANİZMLƏRİNİN ELEKTRİK İNTİQALLARINDA TƏTBİQ OLUNAN ASİNXRON MÜHƏRRİKLƏRİN GƏRGİNLİYİNİN TƏNZİMLƏNMƏSİNİN TƏHLİLİ

Sultanov E.F., Bayramova İ.P., Həsənov E.A.

"Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası" PHŞ
AZ1000, Bakı şəh., Z.Əliyeva küç., 18
E-mail: elshen_sultanov@mail.ru, genclik76@mail.ru, hasanov.079@mail.ru,

Xülasə. *Məqalədə sənayenin müxtəlif sahələrində o cümlədən gəmi göyərtə mexanizmlərində istifadə olunan asinxron elektrik mühərriklərinin fırlanma sürətinin tənzimlənməsi üçün istifadə edilən gərginlik tənzimləyicilərində elektrik enerjisinin keyfiyyət göstəricilərinin effektiv dərəcədə yaxşılaşdırılmasından bəhs olunur. Həmçinin asinxron mühərriklərin cərəyanının gərginliyinə görə tənzimlənməsi ilə məqsədəuyğun tətbiq sahəsinin qiymətləndirilməsindən bəhs edilir.*

Аннотация. *В статье рассматривается эффективное повышение показателей качества электроэнергии в регуляторах напряжения, используемых для регулирования частоты вращения асинхронных электродвигателей, применяемых в различных отраслях промышленности, в том числе в судовых палубных механизмах. В статье также обсуждается оценка целесообразности применения асинхронных двигателей с регулированием тока в зависимости от напряжения.*

Abstract. *İn article discusses the effective improvement of power quality indicators in voltage regulators used to regulate the rotation speed of asynchronous electric motors used in various industries, including shipboard mechanisms. The article also discusses the assessment of the appropriate application area of asynchronous motors by adjusting the current according to the voltage*

Açar sözlər: *gəmi, elektrik intiqalı, asinxron mühərrik, gərginlik, tənzimləməsi*

Ключевые слова: *судно, электрическая приводы, асинхронный двигатель, напряжение, регулирование потеря*

Key words: *ship, electric drive, asynchronous motor, voltage, regulation*

Giriş. Asinxron maşınlar dünyada ən çox inkişaf tapmış elektrik maşınlarıdır. Onlar əsas etibari ilə elektrik mühərrikləri kimi xalq təsərrüfatının bütün sahələrində geniş miqyasda istifadə edilir və elektrik enerjisini mexaniki enerjiyə çevirən ən əsas çeviricilərdir. Hazırda asinxron mühərriklər dünyada istehsal olunan elektrik enerjisinin yarıdan çoxunu sərf edir və əksər mexanizmlərin elektrik intiqalı kimi çox geniş tətbiq edilir. Buna səbəb asinxron mühərriklərin quruluşunun sadəliyi, başqa mühərriklərə nisbətən ucuz başa gəlməsi, etibarlı işləməsi və F.İ.Ə-nın yüksək olmasıdır.

Çox nadir hallarda asinxron maşından elektrik generatoru kimi də istifadə olunur. Bundan başqa asinxron maşın gərginlik və faz tənzimləyicisi, tezlik və faz çevricisi və s. bu kimi müxtəlif rejimlərdə də işlədilir.

Son vaxtlar, əsas etibarilə məişət elektrik avadanlıqları üçün birfazalı asinxron mühərriklərin tətbiqi geniş vüsət almışdır. Hazırda texnikanın bir çox sahələrində külli miqdarda müxtəlif modifikasiyalı asinxron maşınlar, o cümlədən, icra mühərrikləri, taxogeneratorlar, selsinlər, dönən (fırlanan) transformatorlar və s. geniş miqyasda tətbiq edilir.

Dünyanın bir sıra ölkələrində asinxron maşınların istehsalına, istismarına və təkmilləşdirilməsinə böyük fikir verilir [1,2].

Bu səbəbdən də hal-hazırda asinxron mühərriklər dünyada istehsal olunan elektrik enerjisinin yarıdan çoxunu sərf edir və əksər mexanizmlərin elektrik intiqalında geniş tətbiq edilir. Buna səbəb asinxron mühərriklərin quruluşunun sadəliyi, başqa mühərriklərə nisbətən iqtisadi cəhətdən əlverişli olması, işləmə etibarlığının və f.i.ə.-nin yüksək olmasıdır. Elektrik maşınları cərəyanın növündən asılı olaraq, sabit və dəyişən cərəyan maşınlarına ayrılır. Dəyişən cərəyan maşınları isə elektromaqnit sisteminin xüsusiyyətlərindən asılı olaraq asinxron, sinxron və kollektorlu maşınlara ayrılır. Təcrübələr göstərir ki, asinxron maşının generator rejimində istifadəsi nadir hallarda baş verir. Bundan başqa, asinxron maşın gərginlik və faza tənzimləyicisi, tezlik və faza çeviricisi və s. bu kimi müxtəlif rejimlərdə də işlədilir [1,2].

Əsas hissə. Asinxron elektrik mühərriklərinin daha aktual və prioritet istiqamətli olması onların tənzimləmə diapazonunun tələblərini ödəməsi, enerji səmərəliliyinin artırılması imkanları və qidalandırıldığı şəbəkə ilə elektromaqnit uyğunlaşmanın yaxşılaşdırılmasının təmin edilməsi ilə əlaqədardır.

Ümumi sənaye mexanizmində enerji səmərəliliyinin artırılması texnoloji əməliyyatları yerinə yetirərkən elektrik intiqalında itkilərin azalması ilə bağlıdır. Belə elektrik intiqalları işəsalma, dayandırma rejimlərində (kranlar, liftlər və digər dəzgahları göstərmək olar) yaxud yavaş dəyişən yüklə (nasoslar, ventilyatorlar, kompressorlar, nəqliyyatlar və s.) uzun müddətli rejimlərdə işləyən elektrik idarəediciləridir [5].

Elektrik intiqalında yaranan itkilərinin azaldılması hesabına elektrik enerjisinə əhəmiyyətli dərəcədə qənaət etmək mümkündür. Kinematik əlaqəli elektrik intiqallarında yüklənmələrin mühərriklər arasında bərabər paylanması, həmçinin onlarda itkiləri minimuma endirməyə imkan verir.

Enerjiyə qənaətin əsas istiqamətlərindən biri də sürəti tənzim olunmayan elektrik intiqallarından tənzimlənə bilən elektrik intiqallarına keçidin yaradılmasıdır. Bu proses elektrik

enerjisinə qənaət etməyə həm iqtisadi, həm də istehsal olunan xammalın və ona sərf edilən enerjinin məhsuldarlığı baxımından ən müasir texnoloji prosesin təkmilləşdirilməsinə əhəmiyyətli təsiri göstərir. Enerjiyə qənaət məqsədilə hazırda bütün sənaye müəssisələrində tezlik çeviricili asinxron elektrik intiqalları da geniş tətbiq olunurlar. Buçeviricilərinin tətbiqi sayəsində elektrik enerjisinə qənaət etməyə, istismar xərclərini azaltmağa, avadanlığın etibarlılığını artırmağa, mühərriklərin və mexanizmlərin xidmət müddətini, məhsuldarlığını artırmağa və elektrik intiqallarının intellektual idarəetmə sistemlərini həyata keçirməyə imkan verir [1,2].

Məqalədə effektivliyin artırılmasını sübut edən şəbəkə gərginliyinin sinusoidal formasının yaxşılaşdırılması üçün bəzi üsullar nəzərdən keçirilmişdir. Çoxpulslu sxemlərin, şəbəkə reaktorlarının, passiv süzgəcli kompensasiyaedici qurğuların panlaşdırma qurğularının, aktiv gərginlik düzəldicilərinin tətbiqi. Elektrik enerjisinin keyfiyyətinin yüksəldilməsi üçün göstərilən üsulların köməyi ilə hesablamaların nəticələri verilmişdir.

Xüsusi texniki vasitələrdən istifadə edilməsi elektrik intiqalında enerji itkilərinin minimuma endirilməsini təmin edir. Təsnifat Cəmiyyətinin (Dəniz registri) tələblərinə əsasən (Hissə XI/2.3.2.1) gərginlik altında olan elektrik avadanlığı hissələrinin izolyasiya materialları asbest tərkibli və dielektrik möhkəmliyə malik olmalıdır. Həmçinin səthi ilə sızma cərəyanlarına qarşı davamlı, nəmlikdən və yağdan qorunmuş, eyni zamanda xüsusi möhkəmliyə malik olmalıdırlar [3].

İndiki zamanda yüklənmə qabiliyyətinə uyğun olaraq mühərrikdə gərginliyi tənzimləyən qurğuların köməyindən istifadə olunur. Bir qayda olaraq, tiristorlu gərginlik tənzimləyicisi vasitəsi ilə mühərrikin statoru ilə şəbəkə qoruyucusu, yaxud enerji qənaət rejimi tezlik çevricisi arasında əsaslı xüsusi gərginlik tənzimləyiciləri ilə təmin olunur.

Birinci halda tiristorlu gərginlik tənzimləyicisi enerjiyə qənaət funksiyasından başqa işədüşmə və tormozlama rejimlərinin idarə edilməsinin daha əhəmiyyətli funksiyalarını yerinə yetirir, bəzən momenti və sürəti nizama salır, mühafizəni və diaqnostikanı həyata keçirir, eyni zamanda bütövlükdə idarəedicinin texniki səviyyəsini yüksəldir .

Elektrik mühərrikində hər hansı nasazlığın yaranması zamanı statorun faza dolaqlarının EHQ-ləri saz vəziyyətdəkinə nisbətən öz qiymətlərini müxtəlif dərəcədə dəyişirlər. Deməli, asinxron mühərrikin nasaz olmasını müəyyən etməkdən ötrü mühərrikin statorunda faza dolaqlarının EHQ-lərinə ayrı-ayrılıqda nəzarət etmək lazımdır [3].

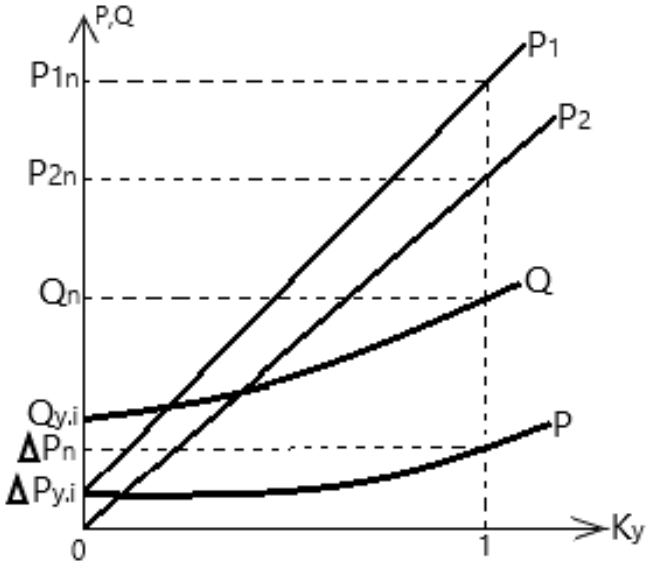
İkinci halda, enerjiyə qənaəti rejimi tezlik çeviricisinin əlavə seçimi kimi nəzərdən keçirilir və bunlar yalnız istehsal olunan çevricilərindər bəzi növlərində mövcuddur.

Bu cür qurğuların tətbiqinin çox funksionallığı nəzərə alınmaqla dəyişən yüklənməyə malik olan elektrik intiqalları üçün, hətta onların nisbətən yüksək dəyərə malik olsa belə, iqtisadi cəhətdən məqsədəuyğun hesab edilir.

Ümumi sənaye mexanizmlərində əksərən elektrik intiqallarının gücünün 2-3 dəfə artırılaraq müəyyən həddə çatdırılması zərurəti yaranır. Bundan başqa texnoloji xarakterinə görə bəzi mexanizmlərin elektrik intiqalları istehsal dövrü müddətində bir hissəsi ehtiyac olmadan işləyir. Bu zaman ümumi və reaktiv güc itgilərinin asılılıqları şəkil 1-də əks olunmuşdur. Şəkildə eyni zamanda asinxron mühərrikin (AM) bütün itkiləri nəzərə alınmaqla güclənmə əmsalının tam gücdən asılılıq əyrilərini xarakterizə edən qrafikləri də əks olunmuşdur [4,5].

Göstərilən əyrilərin xüsusiyyətləri ondan ibarətdir ki, normal sürət intervalında işləyərkən yüklənmiş AM enerji sərfiyyatını azaltmağa imkan verir, tənzimləyici $U_1 < U_{1nom}$ kimi yarımkeçirici gərginlik tənzimləyicisindən istifadə edərək onun işini təmin etmək mümkündür [4].

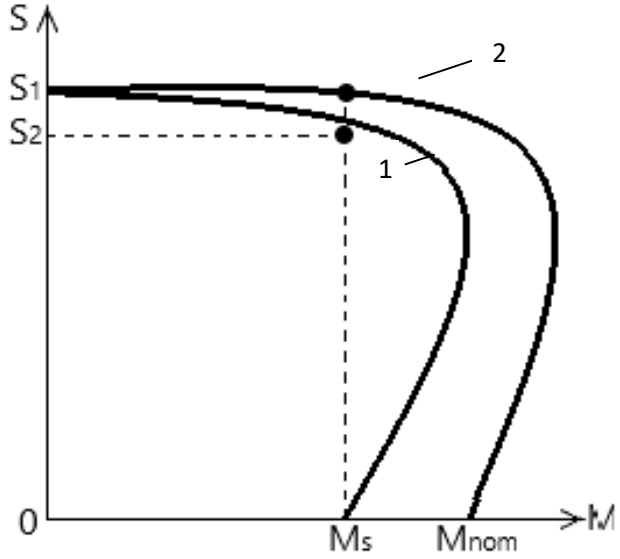
Belə ki, əgər $U_1 = U_{1nom}$ olarsa xarakteristik əyrilərdə U_1–mühərrikinə qoşulmuş gərginliyin 1-ci harmonikasının mövcud qiymətidir; U_{1nom}–şəbəkənin nominal gərginliyinin növbəti qiymətidir.



Şəkil 1. *Asinxron mühərrikin aktiv və reaktiv güc itkisinin yüklənmədən asılılıq xarakteristikası*

Belə rejimdə şəkil 2-də göstərilmiş AM-in 1-əyrisi təbii, 2-əyrisində isə tənzimlənmə xarakteristikasının gərginlik çevricisindən asıllığıdır. Gərginlik çeviricisinin parametirləri bunlardan ibarətdirlər:

- M_{nom}- mühərrikin nominal momenti;
- M_S - statik yük momenti;
- S_1, S_2 -verilmiş M_S momenti müddətində təbii və tənzimləyici sürüşmə xarakteristikalarıdır.



Şəkil 2. *Gərginlik tənzimləyicisinin qidalanma zamanı təbii (1) və tənzimləmə (2) xarakteristikaları*

Stator sarğılarının qidalanma gərginliyinin müxtəlif qiymətlərində sürüşmənin miqdarının dəyişməsi şəkil 3-də göstərilmişdir. Stator gərginliyi dəyişdikdə, I_2' və I_1' cərəyanlarının qiyməti dəyişdiyi üçün dəyişənlərin itkilərinin qiymətləri də dəyişirlər.

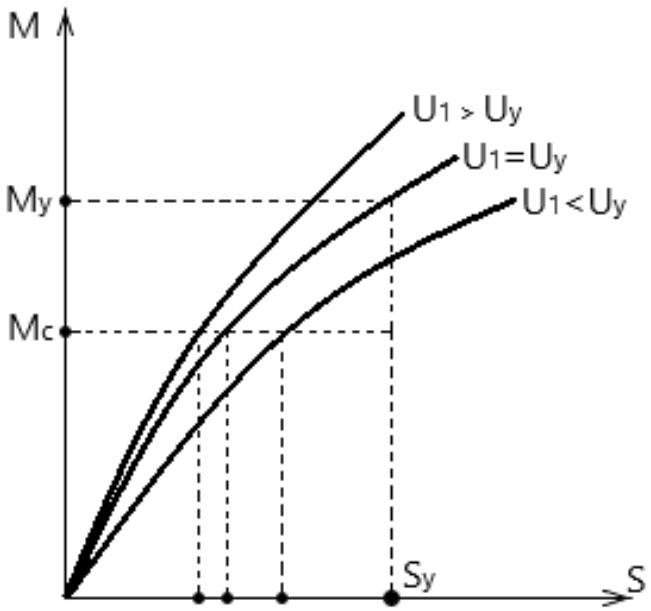
K_Y-nin dəyişməməsi sayəsində I_2' cərəyanı iki kəmiyyətin təsiri sayəsində dəyişir:

U_1 - gərginliyinin və S- sürüşmə əmsalının dəyişməsi sayəsində.

Mühərrik daha yüksək mexaniki xarakteristikaya malik olduğuna görə U_1 sürüşmə gərginliyi azalır və r_2'- müqavimət artır. Burada fərq yalnız ondan ibarətdir ki, mühərriklər hazırlanan zaman öz kütləvi ölçü göstəriciləri azaltmaq cəhdləri bir sıra asinxron mühərriklərdə özlərini göstərir, mühərrikin reaktiv gücü daha az gərginlikdə işləyə bilir. Məsələn, K_Y=1 olduqda $Q_{y.i}$ və Q_n əyriləri gərginliyin aşağı qiymətlərində kəsişirlər [6,7].

Bu hal daha kiçik güclü asinxron mühərriklər üçün tətbiq edilir və gücü 15 kVt-dan çox olan mühərriklərdə də özünü göstərə bilir. Mühərrikdə elektromaqnit itkiləri aşağıdakı düsturla ilə hesablanır:

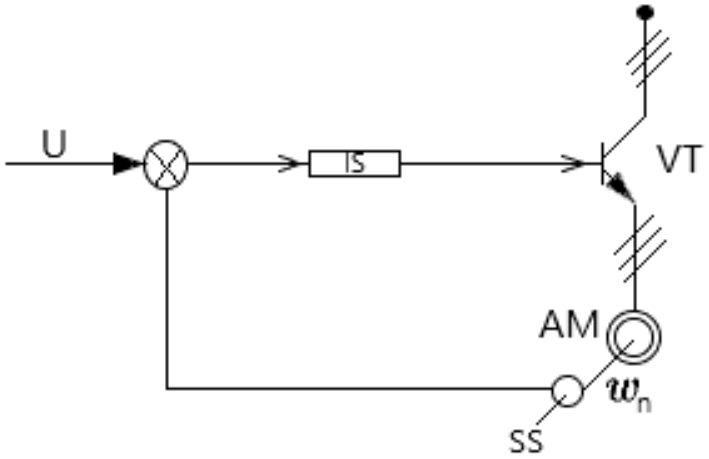
$$\Delta P_{EM} = \Delta P_{1M} + \Delta P_{2M} + \Delta P_{1S} \quad (1)$$



Şəkil 3. *Stator gərginliyinin S sürüşmənin dəyişməsindən asılılıq qrafiki*

Beləliklə, enerji sərfiyyatının optimallaşdırılması sistemdə sürət tənzimləyicisinin olması və güc strukturundan istifadə etməklə "yarımkeçirici çeviricilərdə" avtomatik sürətin tənzimlənməsi sisteminin yaradılması zamanı daha sadə şəkildə həyata keçirmək olar [7,8].

Yarımkeçirici çeviricilərdə sürətin tənzimlənməsi sxemi şəkil 4-də göstərilmişdir.



Şəkil 4. *Asinxron mühərrikin yarımkeçiricilər əsasında sürətinin avtomatik tənzimləmə sistemi*

SS – sürət sensoru; İS – idarə sistemi; ω_n – AM verilmiş sürəti, ω – AM mövcud sürətidir.

Əgər $M_S < S_t/S_n$ olarsa, onda mühərrik optimal sürüşmə ilə işləyər. Bu halda bir qədər mis və polad statorun itkiləri, elektromaqnit itkiləri azalır, sürəti isə artmağa başlayır. Bu prosesin belə tənzimlənməsi AM sürətinin yarımkeçirici çevrici vasitəsi ilə idarə edilməsini təmin edir, itkiləri azalır, enerjinin qiyməti nəzərə çarpacaq dərəcədə yüksəlir.

Yarımkeçirici elementlərin idarə edilməsi alqoritmləri elektrik enerjisinin tələb olunan keyfiyyət göstəricilərini təmin edir və bu da vahidə yaxın güc əmsalını və şəbəkənin gərginliyinin harmonik tərkib hissələrinin yol verilən ümumi əmsalını əldə etməyə imkan verir.

Qeyd etmək lazımdır ki, sürətin tənzimi zamanı mühərrikin yüklənmə qabiliyyətini sabit saxlamaq üçün tezliyi dəyişməklə yanaşı stator dolağına verilən gərginliyin qiymətini də dəyişmək lazımdır. Gərginlik və tezliyin dəyişmə qanunu Kostenko düsturu ilə müəyyən edilir [8,9]:

$$\frac{U_{1i}}{U_n} = \frac{f_i}{f_n}\sqrt{\frac{M_{st.i}}{M_{st.n}}} \tag{2}$$

Elektrik intiqalının nəzəriyyəsidən məlum olduğu kimi bir çox mexanizmlərin statik müqavimət momenti mexanizmə fırlanma hərəkəti verən mühərrikin bucaq sürətindən (ω) asılıdır [9].

$$M_{st} = M_0 + (M_n - M_0)^{\alpha} \tag{3}$$

burada: $M_0 -$ statik müqavimət momentinin bucaq sürətindən asılı olmayan hissəsi; $\alpha -$ statik müqavimət momentinin bucaq sürətindən asılılığının dərəcəsini bildirən göstəricidir.

Mexanizmlərin əsas hissəsi üçün $\alpha = 0 \div 2$. Əgər M_0 nəzərə almasaq (3) düsturunu aşağıdakı kimi yazmaq olar.

$$M_{st} = C\omega^{\alpha} = C_1 {f_i}^{\alpha} \tag{4}$$

burada: C və C_1 sabit kəmiyyətdir. Əgər (4)-ün qiymətini (2) düsturuna tətbiq etsək, alarıq:

$$\frac{U_{1i}}{U_n} = \frac{f_i}{f_n}\sqrt{\left(\frac{\mathrm{f_i}}{\mathrm{f_n}}\right)^{\alpha}} = \left(\frac{f_i}{f_n}\right)^{\frac{2+\alpha}{2}} \tag{5}$$

$$U_i = U_n \varphi_i^{\alpha_1} \tag{6}$$

burada: $\varphi_i = \frac{f_i}{f_n}$ – mühərrikə verilən cərəyanın tezliyinin dəyişməsinin nisbi qiymətini, $\alpha_1 = \frac{2+\alpha}{2}$ - mühərrikə verilən cərəyanın tezliyinin dəyişməsi ilə gərginliyin dəyişmə dərəcəsini göstərir.

Nəticə. Beləliklə, aparılmış təhlillərdən məlum olmuşdur ki, asinxron mühərriklər üçün yarımkeçirici gərginlik tənzimləyicisi sisteminin tətbiqi zamanı elektrik enerjisinə qənaəti asinxron mühərrikinin stator dövrəsinə daxil edilmiş çeviricinin sürətli dəyişməsini təmin etmək üçün o qədər də əhəmiyyətli deyil. Bu səbəbdən də gələcəkdə enerjiyə qənaət məqsədilə sənayenin müxtəlif sahələrində o cümlədən gəmi göyərtə mexanizmlərində istifadə olunan asinxron elektrik mühərriklərinin fırlanma sürətinin tənzimlənməsi üçün tezlik çeviricili asinxron elektrik intiqalları da geniş tətbiq olunması təklif olunur.Bu çeviricilərin tətbiqi elektrik enerjisinə qənaət etməyə, istismar xərclərini azaltmağa, avadanlığın etibarlılığını artırmağa, mühərriklərin və mexanizmlərin xidmət müddətini, məhsuldarlığını artırmağa və elektrik intiqallarının intellektual idarəetmə sistemlərini həyata keçirməyə imkan verir.

Ədəbiyyat

1. E.F. Sultanov, İ.P. Bayramova, S.S. İsmayılov. "Elektrik maşınları". Bakı, ADDA 2023-324 səh.
2. Osmanov S. "Elektrik maşınları", II- hissə / S.Osmanov. – Bakı: - 2013. - 256 s.
3. Sultanov E.F. "Gəmi elektrik maşınlarında stator sarğılarının izolyasiyasının korlanması səbəblərinin araşdırılması"/.E.F. Sultanov, S.S. İsmayılov, E.M. Məmmədov // Energetikanın problemləri, - Bakı: -2020. №4, - səh. 69-73
4. Sultanov, E. F. "Gəmi elektronikası və güc çeviriciləri". Dərs vəsaiti / E. F. Sultanov, F.V. Məmmədova – Bakı: ADDA, 2020. – 170 s.
5. Həsənov, Z. Ə. "Güc elektronikası və intiqalın idarə edilməsi". Dərs vəsaiti / Z. Ə. Həsənov, S. Ə. Xanəhmədova – Bakı: ADNSU, – 2018. – 120 s.
6. Ильинский Н.Ф., Сарбатов Р.С., Безяев В.Г. Научно-технические аспекты проблемы повышения эффективности использования энергии в массовом электроприводе//Автоматизированный электропривод. – М.: Энергоатомиздат, 1986, стр. 11–18.
7. Юхимчук В.Д. "Технология производства электрических машин": учебное пособие, Харьков, 2006. -543 с.
8. Энергосберегающий асинхронный электропривод: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений/И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов, В.Н. Поляков; Под ред. И.Я. Береславского. –М.: Издательский центр «Академия», 2004–256 стр.
9. Москаленко В.В. Электрический привод. Учебник для студентов высших учебных заведений / В.В.Москаленко. – М.: Академия, – 2000. – 368 с.

Məqalə qəbul olunub: 21.04.25
Tövsiyə edib: dos. İsmayılov A.Ş.

GƏMİÇİLİKDƏ TƏBİƏT ELMLƏRİNİN PROBLEMLƏRİ

ORCID 0000-0003-0386-7438

NANOHİSSƏCİKLƏRİN ALINMASINDA ZOL-GEL TEXNOLOGİYASI YANAŞMASI

Əhmədova R.H., Muxtarova G.S.

Akademik Y.H.Məmmədəliyev adına Neft-Kimya Prosesləri İnstitutu
AZ1025, Bakı şəh., Xocalı pr., 30
E-mail: rena_ax@rambler.ru

Xülasə. *Təqdim olunan məqalədə nanohissəciklərin zol-gel texnologiyası ilə alınma metodikasının üstünlükləri müzakirə edilmiş, bu üsulun müxtəlif mərhələlərinin (ilkin maddələrdən gelə qədər) sxemi göstərilmişdir. Eyni zamanda tədqiqatçı tərəfindən zol-gel üsulunun istifadəsi ilə sintez edilmiş bəzi katalizatorlar haqqında məlumat verilmiş, onların iştirakı ilə aparılan proseslərdən bəhs edilmişdir.*

Аннотация. *В представленной статье рассматриваются преимущества метода получения наночастиц с использованием золь-гель технологий, а также показана схема различных стадий данного метода (от исходных материалов до геля). В то же время представлена информация о некоторых катализаторах, синтезированных с использованием золь-гель метода, и обсуждены процессы, осуществляемые с их участием.*

Abstract. *The presented article discusses the advantages of the method of obtaining nanoparticles using sol-gel technology and depicts the scheme of the various stages of this method (from precursors to the gel). At the same time, information about some catalysts synthesized by the researcher using the sol-gel method and the processes carried out with their participation are provided.*

Açar sözlər: *nanohissəciklər, katalizator, zol-gel texnologiyaları, üsul, proses*
Ключевые слова: *наночастицы, катализатор, золь-гель технологии, метод, процесс*
Key words: *nanoparticles, catalyst, sol-gel technology, method, process*

Giriş. Hazırda nanomaterial hissəciklərinin sintezi üçün buxar fazanın sıxılması, plazma, elektrokimyəvi, mexaniki legirləmə və zol-gel kimi müxtəlif üsullardan istifadə olunur. Adı sadalanan bu metodlar sırasından zol-gel metodu əsasən sənaye tətbiqi üçün istifadə olunur. Unikal xassələrinə və xüsusiyyətlərinə görə bu üsul sənaye miqyasında eyni ölçülü yüksək keyfiyyətli nanohissəciklər istehsal etməyə qadirdir. Bu metoddan istifadə etməklə ərintiləri daha asanlıqla istehsal etmək mümkündür, belə ki, müxtəlif materialların nanohissəcikləri eyni anda sintez olunur. Ərintinin iki və ya daha artıq metallik nanohissəcikləri bir mərhələdə yerinə yetirilir. Elektrokimyəvi və plazma üsullarının tətbiqi ərintilərin alınmasına istiqamətlənsə də, zol-gel metodu ilə sənaye miqyasında nanomateriallar sintez etmək mümkündür. Həm də ənənəvi üsullarla müqayisədə bu metoddan istifadə etdikdə istehsal dəyəri daha ucuz başa gəlir. Zol-gel metodu yüksək təmiz (99.99% təmizlik) eynicins kompozit və nanomateriallar almağa imkan verir. Üsulun digər metodlardan fərqli daha bir üstünlüyü onun nanomaterialları daha aşağı temperaturda alınmasını təmin etmə mümkünlüyüdür. Belə ki, qeyd olunan üsul vasitəsilə keramik və nanomaterialların sintezi 70º və 320ºC temperatur intervalında (müqayisə üçün digər üsullarda bu göstərici 1400-3600ºC-dir) həyata keçirilir. Zol-gel metodu kimyəvi prosesdir ki, burada müxtəlif dönməz proseslərin vasitəsilə məhsul istehsal olunur [1-3].

Zol-gel metodunun əsasını ilkin maddələrdən bircinsli zolun alınması və onun sonradan gelə çevrilməsi təşkil edir. Sonra gelin tərkibindən həlledici kənarlaşdırılır və qalan gel qurudulur.

Qurudulmuş gelin xassələri qurudulma metodundan asılıdır. Müxtəlif üsullarla qurudulmuş gellər səthlərin örtülməsi, tikinti izolyasiya materiallarının və xüsusi geyimlərin istehsalında istifadə olunur. Qeyd etmək lazımdır ki, xüsusi dəyirmanlarda geli xırdalamaqla nanohissəciklər almaq mümkündür.

Əsas hissə. Şəkildə zol-gel prosesinin ilkin maddədən aerogelin alınmasına qədər müxtəlif mərhələlərinin icmalı göstərilmişdir. Binar və üçlü hibrid sistemlərin sintezi üçün müxtəlif kimyəvi tərkibli duzların qarışığından istifadə edilir. İlkin duzlardan hər biri unikal reaksiya sürətinə malikdir. Duzların reaksiya sürəti pH, qatılıq, həlledicinin növü və temperatur kimi fərqli faktorlardan asılıdır. Yuvacıqların sıxlığından əmələ gələn polimer gel üçölçülü struktura malikdir və boşluqların birləşməsi ilə formalaşır. Gel quruduqdan sonra bərk və sərt struktur alınır. Qeyd etmək lazımdır ki, gelin qurudulma şəraitlərinə nəzarət etməklə nanoölçülü məsaməliliyə nail olmaq olar. Adi məsaməliliklə müqayisədə nanoməsaməliliyin üstünlüyü çox böyük xüsusi səth sahəsinin olması ilə izah edilir. Məsələn, nanoməsaməli karbon materialları hidrogenin saxlanması üçün istifadə olunur, ona görə hidrogen karbon materialının məsaməliliyində udulur və saxlanılır [4-6].



Şəkil 1. *Zol-gel prosesinin müxtəlif mərhələlərinin (ilkin maddədən aerogelə qədər) sxemi*

Şəkil 1-ə əsasən zolun əmələ gəlməsi hidroliz mərhələsindən keçməklə baş verir. Zoldan gelin alınması kondensləşmə ilə olur, aerogel, kserogel və kriogelin əmələgəlməsi qocalma və qurudulma mərhələlərindən keçir. Belə ki, gelin superkritik şəraitdə qurudulmasından aerogel, termiki qurudulmasından kserogel, donaraq qurudulmasından isə kriogel əmələ gəlir. Nəhayət, son məhsul bu gellərin közərdilməsi mərhələsindən alınır.

Zol-gel üsulunun kimyasına gəldikdə, metal alkoksidin aktivliyi, su/alkoksid nisbəti, məhlulun pH-ı, temperatur, həlledicinin təbiəti və istifadə olunan aşqar da daxil olmaqla hidroliz və kondensasiya reaksiyalarına (zol-gel prosesi) təsir edən bir neçə parametr var. Başqa bir mülahizə ondan ibarətdir ki, hidroliz və kondensasiya reaksiyalarının sürətinə və həcminə nəzarət etmək üçün tez-tez katalizatorlar əlavə edilir. Bu emal parametrlərini dəyişdirməklə müxtəlif mikrostrukturlara və səth kimyasına malik materiallar əldə etmək olar. "Zol"un sonrakı işlənməsi müxtəlif formalarda keramika materiallarının hazırlanmasına imkan verir. "Zol" qəlibə töküldükdə nəm "gel" əmələ gələcək. Əlavə qurutma və termiki işlənmələr vasitəsilə "gel" sıx keramika və ya şüşə hissəciklərinə çevrilir. Yaş "gel"dəki maye superkritik şəraitdə çıxarılarsa, "aerogel" adlanan yüksək məsaməli və olduqca aşağı sıxlıqlı material əldə edilir [5,6]. Alınan gellərin son məhsula çevrilməsi isə qeyd olunduğu kimi qurudulma mərhələsindən keçməklə həyuata keçirilir.

Beləliklə, zol-gel kimyası müxtəlif spektrdə materialların alınması üçün incə yanaşmadır. O, müxtəlif kimyəvi xassələr, həmçinin geniş spektr nano-/mikrostrukturların yaradılma mümkünlüyünü təklif edir. Yaradılan materiallar eyni zamanda biotibb sahəsində də tədqiq edilmiş və məlum olmuşdur ki, onlar əhəmiyyətli dərəcədə potensiala malikdirlər. son dövrlərdə işlənib-hazırlanmış maraqlı sahələrdən biri də hibrid materialları ilə əlaqəlidir. Onların qeyri-adi kompozit xüsusiyyətlərinin alınması üçün zol-gel kimyasından istifadə edilir. Zol-gellərin daha bir maraqlı xüsusiyyəti onların adi olmayan morfologiyasına əsaslanır ki, bu da mikro- və nano miqyaslarda mümkündür. Belə ki, müxtəlif uzunluqlara, geometriyaya baxmayaraq, məsamələr kimyasını nəzarətdə saxlamaq zol-gel texnologiyası ilə mümkün olmuşdur [5,6].

Nəticə. Qeyd etmək lazımdır ki, Neft-kimya Prosesləri İnstitutunun "Katalitik krekinq və piroliz" laboratoriyasında da zol-gel üsulu ilə müxtəlif müxtəlif oksidlərin (Al_2O_3, ZrO_2/γ-Al_2O_3) sintezinə nail olunmuşdur. Alınan katalizatorların fiziki-kimyəvi xüsusiyyətləri müasir aparatların (rentgen-faza, skanedici elektron mikroskopu, element analizi, termoqravimetrik analiz) istifadəsi ilə tədqiq edilmiş və müəyyən edilmişdir ki, məsələn Al_2O_3 nümunəsində γ-Al_2O_3 kristalitlərinin difraksiya maksimumları göstəricilərinə görə ölçüləri 4-6 nm-dir. Bu katalizatorların iştirakı ilə müxtəlif şəraitlərdə (əsasən temperaturu dəyişməklə) heksan və düz qovulma benzininin izomerləşmə prosesləri tədqiq edilmişdir.

Ədəbiyyat

1. Feinle A., Elsaesser M.S., and Hüsing N. Sol-gel synthesis of monolithic materials with hierarchical porosity // Chemical Society Reviews, 2016, v. 45, no. 12, p. 3377–3399.
2. Liao Y., Xu Y., Chan Y. Semiconductor nanocrystals in sol-gel derived matrices // Physical Chemistry Chemical Physics, 2013, v.15, no.33
3. Adam F., Chew T. S., Andas J. "A simple template-free sol-gel synthesis of spherical nanosilica from agricultural biomass // Journal of Sol-Gel Science and Technology, 2011, v.59, no. 3, p. 580–583
4. Bokov D., Turki Jalil A., Chupradit S. Nanomaterial bu sol-gel method: Synthesis and application // Advances in Material Science and Engineering, 2021, 21 p.
5. Araoyinbo A. O., Abdullah M. M. A. B., Salleh M. A. A. M., and etc. Phase study of titanium dioxide nanoparticles prepared via sol-gel process // İOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, v. 343, Article ID 012011
6. Guzel G. K., Deveci H. Synergistic effects of silica aerogels/ xerogels on properties of polymer composites: a review // Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 2020 v. 89, p. 13–27
7. Babalı R.Ə., Babayeva F.Ə., Əhmədova R.H. və digərləri. Zol-gel üsulu ilə sintez edilmiş Pd/ZrO_2/γ-Al_2O_3 katalizatorunun iştirakında heksanın izomerləşməsi / Ümummilli lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 100-cü ildönümünə həsr olunmuş tələbə və gənc tədqiqatçıların IV beynəlxalq elmi konfransı, 2023, 12-26 aprel, Bakı, Azərbaycan, s. 504-506
8. Babayeva F.A., Ahmadova R.H., Suleymanova T.İ. and etc. Synthesis of γ-Al_2O_3 catalysts for the isomerization process of C_6-C_7 alkanes by the sol-gel method // Modern research in science and education. Proceedings of II international scientific and practical conference, 12-14 october, 2023, Chicago, USA, p. 117-123
9. Babayeva Farida, Ahmadova Rana, Yunusov Sahib and etc. İnvestigation of the isomerization process of primary refining gasoline with the participation of 3%NiO/γ-Al_2O_3·ZrO_2 catalyst / Neft kimyası və kimya texnologiyası kafedrasının 80 illik yubileyinə həsr olunmuş "Kimya və kimya texnolo-giyasında müasir yanaşmalar" mövzusunda Respublika elmi konfransının materialları, 14 dekabr, 2023, Bakı, Azərbaycan, s. 54-55

Məqalə qəbul olunub: 21.04.25
Tövsiyə edib: prof. Həsənov V.H.

ORCID 0000-0003-2186-6877

GƏMİNİN SAYA OTURMASININ QARŞISINI ALMAQ ÜÇÜN GÖRÜLƏN TƏDBİRLƏR

[1,2]Həsənov V.H., [1]Əliyev Ə.Ş., [1]İmanova A.Y.

[1] "Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası"PHŞ
AZ1000, Bakı şəh., Z.Əliyeva küç.,18
[2]Azərbaycan Texnıkı Unıversıtet
AZ1148, Bakı şəh., H.Cavid pr., 25
E-mail: ali.aliyevv@outlook.com

Xülasə. *Bu məqalədə gəmilərin saya oturması hadisələrinin dəniz təhlükəsizliyinə yaratdığı risklər, səbəb olduğu maliyyə itkiləri və ekoloji problemlər müzakirə olunur. Qeyd olunan problemlərin qarşısının alınması üçün gəminin kil altı dərinliyinin (KAD) idarə olunması, müasir naviqasiya texnologiyaları və risk qiymətləndirmə metodologiyalarına əsaslanan əsas tədbirlər məqalədə öz əksini tapır. KAD-in efektiv monitorinqi, ECDIS (Elektron xəritə sistemi), AIS (Avtomatik tanınma sistemi) və GNSS (Qlobal naviqasiya peyk sistemi) kimi naviqasiya sistemlərdən əldə edilən real vaxt rejimində məlumatlarla birlikdə, dayaz sulardan təhlükəsiz keçidi təmin edir. Bundan əlavə, heyətin hazırlığı və vəziyyət fərqindəliyi kimi insan faktorları da gəminin saya oturmasının qarşısının alınmasında mühüm rol oynayır. Nəticə olaraq bu məqalə, qeyd olunmuş hesablamaların bütün gəmilər tərəfindən vaxtında və düzgün aparılaraq, dənizçilik texnologiyalarının və qabaqcıl naviqasiya təcrübələrinin inteqrasiya ilə dəniz təhlükəsizliyinin və əməliyyat səmərəliliyinin artırılmasına töhfə verməyi hədəfləyir.*

Abstract. *This article discusses the risks posed by ship grounding incidents to maritime safety, the financial losses they cause, and the environmental problems they generate. To prevent these issues, the article highlights key measures based on the management of the Under Keel Clearance (UKC), modern navigation technologies, and risk assessment methodologies. Effective monitoring of UKC, along with real-time data obtained from navigation systems such as ECDIS, AIS, and GNSS, ensures safe passage through shallow waters. Additionally, human factors such as crew training and situational awareness play a crucial role in preventing ship grounding In conclusion, this article aims to contribute to enhancing maritime safety and operational efficiency by ensuring that the mentioned calculations are conducted timely and accurately by all ships, integrating maritime technologies and advanced navigation practices.*

Аннотация. *В данной статье рассматриваются риски, связанные с посадкой судов на мель, их влияние на безопасность судоходства, финансовые потери и экологические проблемы. Для предотвращения этих инцидентов в статье выделяются ключевые меры, основанные на управлении минимальным запасом под килем (ЗПК), современных навигационных технологиях и методологиях оценки рисков. Эффективный мониторинг ЗПК, наряду с данными в режиме реального времени, полученными из навигационных систем, таких как ECDIS, AIS и GNSS, обеспечивает безопасное прохождение мелководных участков. Кроме того, человеческие факторы, такие как подготовка экипажа и ситуационная осведомленность, играют решающую роль в предотвращении посадки судов на мель. В заключение, данная статья направлена на повышение безопасности судоходства и эффективности операций путем своевременного и точного проведения упомянутых расчетов всеми судами, а также интеграции морских технологий и передовых навигационных практик.*

Açar sözlər. *gəmilərin saya oturması, kil altı dərinlik (KAD), squat effekt, təhlükəsizlik tədbirləri, qarşı tədbirlər*

Key words. *ships' grounding, under keel clearance (UKC), squat effect, safety measures, preventative measures*

Ключевые слова. *посадка судов на мель, запасом под килем (ЗПК), эффект скучивания, меры безопасности, профилактические меры*

Giriş. Dəniz nəqliyyatının təhlükəsizliyi qlobal ticarət və ətraf mühitin qorunması baxımından böyük əhəmiyyət kəsb edir. Müasir dövrdə gəmilərdə innovativ texnologiyalardan isdifadə edilməsinə baxmayaraq gəmi qəzaları hələ də bəzən qaçınılmaz olur. Gəmilərdə baş verən qəzaların nəticəsində heyətə, gəmiyə, daşınılan yükə və ətraf mühitə ciddi şəkildə zərər gəlir. Bu qəzalardan ən aktual olanlardan biri də gəmilərin saya oturması hadisəsidir. Gəmilərin saya oturması ciddi fəsadlara səbəb ola bilər,hansı ki gəmi strukturunun zədələnməsi, yük itkisi, maliyyə zərərləri və ekoloji çirklənmə riski yaradır. Bu cür hadisələrin qarşısının alınması üçün naviqasiya texnologiyalarının təkmilləşdirilməsi, heyətin peşəkar hazırlığı və qabaqlayıcı tədbirlərin gücləndirilməsi vacibdir. Saya oturma hallarının baş vermə səbəbləri müxtəlif amillərlə bağlıdır. Bunlara suyun dərinliyinin düzgün qiymətləndirilməməsi, hava və hidroloji şəraitin nəzərə alınmaması, insan faktoru və texniki nasazlıqlar daxildir. Araşdırmalar nəticəsində məlum olmuşdurki, gəmilərin saya oturması hadisələrinin 90%-i gəmi sürücülərinin səhvləri hesabına olmuşdur. Bu səbəbdən, müasir gəmiçilikdə riskləri minimuma endirmək üçün etibarlı naviqasiya sistemlərindən istifadə və təhlükəsizlik qaydalarına riayət etmək əsas prioritetlərdən biridir [1-3]

Gəminin saya oturmasının qarşısının alınmasını nəzərdən keçirərkən, gəminin kil altı dərinliyini nəzərə almaq ən önəmli məqamlardan biridir. Mövcud vəziyyət gəminin minimal kil altı dərinliyini təmin edə bilmərsə, gəmi nəticədə saya otura bilər. Buna görə də, növbə köməkçiləri mövcud vəziyyətlər üçün kil altı dərinliyi hesablamağı bacarmalıdır.

Kil altı dərinlikni hesablayarkən aşağıdakı hallar nəzərə alınmalıdır:

1. Gəminin suya oturumun dalğaların təsirindən artması:

$$\triangle T_1 = 0.6\ H\ , \tag{1}$$

burada, H-Dalğanın hündürlüyü; $\triangle T_1$ -gəminin suya oturumunun dəyişməsidir.

2. Gəminin suya oturumun dəniz sıxlığının fərqinə görə artması: İlk öncə gəminin şirin su ehtiyatını (FWA) hesablamalıyıq. Bu söz dənizçilik terminalogiyasında Fresh Water Allowance (FWA) kimi adlandırılır. Gəminin şirin sudan duzlu suya və ya əksinə keçərkən gəminin suya oturumunun artıb-azalmasına onun şirin su ehtiyatı deyilir:

$$FWA = \frac{\triangle}{40\ x\ TPC} \tag{2}$$

burada, $\triangle$-gəminin su basımı; TPC- (Tons per centimetre) gəminin suya oturumunun 1 santimetr dəyişməsi üçün lazım olan çəkinin miqdarıdır:

$$\triangle T_2 = \frac{FWA\ x\ (\rho 1 - \rho 2)}{25} \tag{3}$$

burada $\triangle T_2$ -gəminin suya oturumunun dəyişməsi; ρ – dəniz suyunun sıxlığıdır: FWA-şirin su ehtiyatıdır [4,5].

3. Gəminin suya oturumun squat effektə görə artması. Squat effekt nədir? Gəmi su üzərində hərəkətdə olan zaman, o qarşısındakı suyu geriyə doğru itələyir. Gəminin sualtı hissəsində boşluq yaranmaması üçün digər tərəflərdən su həmin əraziyə daxil olmalıdır. Bu proses getdikcə sürətlənir və nəticədə təzyiq fərqi yaranır. Bu təzyiq fərqinə görə gəmi şaquli olaraq daha da aşağı düşür. Nəticədə gəmi ya burun hissəyə yada arxa hissəyə meyilli olur. Ümumi olaraq gəminin sürətinin

artması nəticəsində onun kil altı dərinliyinin azalmasına squat deyilir. Buna görə də gəmi dayaz sularda düzgün seçilməyən sürətlə hərəkət edərsə o zaman nəticədə o saya otura bilər.

Nə üçün son 40 ildə squat effekt çox ciddi bir məsələ oldu? Squat effekt hər zaman kiçik və aşağı sürətli gəmilərdə olmuşdur. Sadəcə keçmişdə gəmilərin ölçüsünün və sürətlərinin kiçik olmasına görə onlara squat sadəcə santimetrlərlə təsir görsədirdi və bu kiçik dəyişim əhəmiyyətli dərəcədə hesab olunmadığından squat effekt nəzərə alınmırdı.

Baxmayaraq ki, 1960-ci illərin ortalarından artıq gəmilərin ölçülərində böyümə baş verdi, hansıki 350000 ton yük götürmə qabiliyyətinə malik super tankerlər tikilməyə başladı. Bu tip supertankerlər limanlara daxil olarkən artıq onların kil altı dərinliyi təxminən 1.0-1.5 metr arası dəyişir. Yalnızca gəmilərin ölçüsü yox, son illərdə artıq onların xidməti sürətlərində də inkişaf olmuşdur. Misal üçün kontainer gəmilərinin sürəti 16 düyündən 25 düyünə qədər qalxmışdır.

Gəmilərin dizaynında və onların xidməti sürətlərində olan bu dəyişikliklər artıq squat effektinin böyüməsinə səbəb oldu. Ona görədə, xüsusilədə dar keçidlərdə üzərkən təhlükəsiz sürət doğru seçilməlidir [6].

Squat effektin məzmununu daha aydın başa düşmək üçün "QE2" gəmisinin saya oturma hadisəsini aşağıda qeyd etmək olar.

"QUEEN ELIZABETH 2" gəmisi 07.08.1992-ci ildə Rhode adasının Martha Vineyard sahilinə yaxın ərzadisə saya oturmuşdur. İstintaq araşdırılmaları nəticəsində bəlli olmuşdurki gəmidə isdifadə edilən naviqasiya xəritəsi vaxtında yenilənməmiş və buna görə də həmin ərazidəki suyun dərinliyi növbə köməkçiləri tərəfindən düzgün qiymətləndirilə bilməmişdir. Uyğun təyin edilməyən sürət squat effekti artırmış və nəticə olaraq gəmi saya oturmuşdur. Bundan əlavə çoxlu saya oturma hadisələri olmuşdurki, lakin onlar rəsmi olaraq qeydə alınmayıb.[7]

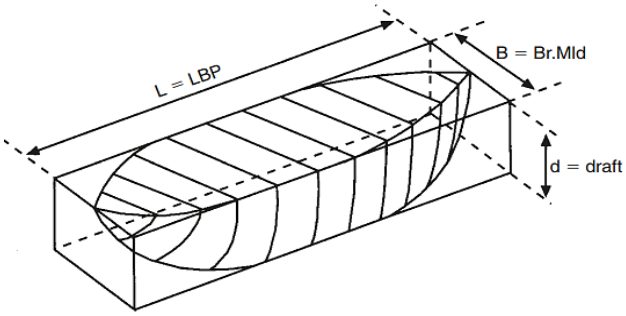
Aşağıdakı hallar gəminin dayaz sulara girdiyinin göstəriciləridir:

a) dalğaların əmələ gəlməsi xüsusilə gəminin burun hissəsində artır;
b) manevr etmə azalır və gəmi daha gec reaksiya verməyə başlayır;
c) kapitan körpüsündəki exalotun göstəriciləri tez-tez dəyişəcəkdir;
d) pərlərin fırlanma dövr sayı(RPM) azalmağa başlayır. Əgər gəmi açıq dənizdədirsə, yəni suyun enində məhdudiyyət yoxdursa bu zaman pərlərin fırlanma dövrlərinin sayının azalması normal vəziyyətin 15%-i qədər azalacaqdır. Əgər gəmi dar keçiddədirsə, bu zaman pərlərin dövrlərinin sayının azalması normal vəziyyətin 20%-i qədər azalacaqdır.
e) gəminin sürətində azalma olacaqdır. gəmi açıq dəniz şəraitində olarsa, bu azalma 35 faizə qədər ola bilər. əgər gəmi çay və ya kanal kimi dar keçidlərdədirsə, bu azalma 75 faizə qədər ola bilər.
f) gəmi bir anda vibrasiya etməyə başlaya bilər. bunun səbəbi, gəminin gövdə tezliyinin gəmi ilə əlaqəli başqa bir tezliklə rezonans olmasına səbəb olan daxil edilmiş suyun effektləridir.
g) gəmi dərin sulardan dayaz su şəraitinə keçdikcə istənilən gəmi hərəkətləri əyilmələr, qalxıb-düşmələr və s. azalacaqdır. bunun səbəbi, gəmi dar keçidlərə keçdiyi zaman gəminin kil-altında qalan su hissəsi yastıq işini yerinə yetirir və bu zaman yuxarıda sadalanan hərəkətlər azalır.
h) gəmi dayaz sulara keçdiyi zaman, suyun səthində palçıqlı bir görüntü yarana bilər. bunun səbəbi gəminin pərlərinin suyun dibi ilə çox yaxın təmasda olmasından qaynaqlanır.
i) gəminin dönmə radiusu artır. dayaz sularda dönmə radius 100%-ə qədər arta bilər
j) gəminin tormozlanma vaxtı və tormozlanma məsafəsi dərin sulara nisbətən artır.
k) sükanın effektivliyi azalır.

Squat effektə təsir edən amillər hansılardır? Əsas amil gəmi sürətidir (Vk). Squat sürətin kvadratına görə təxminən dəyişir. Başqa sözlə, nümunə götürə bilərik ki, sürəti yarıya endirsək, squat effekt dörd dəfə azalar. Bu kontekstdə sürət (Vk) gəminin suya nisbətən sürətidir, başqa sözlə, axıntının sürətinin gəmiyə təsiri nəzərə alınmalıdır. Digər mühüm amil blok əmsalıdır (Cb). Squat birbaşa blok əmsalı (Cb) ilə dəyişir. Buna görə də, neft tankerləri sərnişin laynerlərinə nisbətən daha çox squat effektə məruz qalır. Bloklama faktoru 'S' isə nəzərə alınmalı başqa bir amildir. Bu, gəminin orta hissəsinin suya batmış en kəsiyinin kanal və ya çay daxilindəki suyun en kəsiyinə olan nisbətidir

(şəkil 1). Gəmi açıq dənizdə olarsa, suyun təsirinin eni hesablana bilər. Bu, supertankerlər üçün təxminən 8,25b, ümumi yük gəmiləri üçün təxminən 9,50b, konteyner gəmiləri üçün təxminən 11,75 gəmi eninə qədər dəyişir.

Ancaq burada başqa bir sual yaranır. Blok əmsalı nədir? Gəminin hər hansı konkret su oturumundakı blok əmsalı, həmin su oturumundakı su basımı həcminin eyni ümumi uzunluğa, enə və dərinliyə malik düzbucaqlı blokun həcminə nisbətidir:

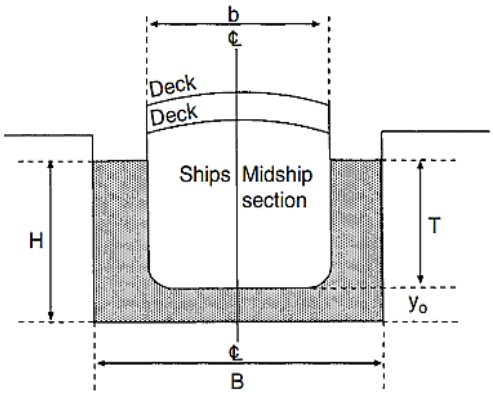


Şəkil 1. *İşarələnmiş hissənin su basım həcminin, eni, uzunluğu və dərinliyi gəminin parametrləri ilə eyni olan kvadratın həcminə olan nisbəti*

$$C = \frac{\triangle}{L \times B \times draft} \tag{4}$$

burada △ - gəminin həcmi su basımı; L-gəminin perpentikulyarları arasındakı uzunluq; B-gəminin eni; d- gəminin suya oturumudur.

İndi isə 2-ci şəkildə gəmi məhdud sularda olan zaman ona təsir edən "bloklanma faktoru"na nəzər yetirək.



Şəkil 2. *Statik vəziyyətdə olan bir gəmi dar keçid və kanalda*

$$\text{Bloklanma faktoru} = S = \frac{b \times T}{B \times H} \tag{5}$$

burada, S=bloklama faktoru; b - gəminin eni; B - çayın və ya kanalın eni; H - suyun dərinliyidir.

Beləliklə, açıq və məhdud dəniz şəraiti üçün gəmiyə təsir edən maksimal squat effektini aşağıdakı kimi hesablaya bilərik.

Açıq və məhdud dəniz şəraiti üçün maksimum squat:

$$\delta = \frac{C \times S^{0.81} \times V^{2.08}}{20} \tag{6}$$

Burada qeyd olunan düstur hesablama baxımından çətin olduğundan bu düsturu aşağıdakı kimi qısalda bilərik. Sadəcə burada kanallarda və dar keçidlərdə təsir edən bloklanma faktoru nəzərə alınmır.

Yalnız açıq dəniz şəraiti üçün maksimum squat:

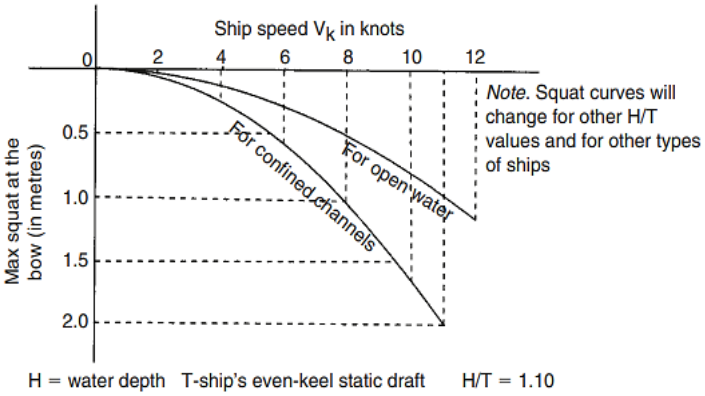
$$\delta = \frac{C \times V^2}{100} \tag{7}$$

Yalnız qapalı sular üçün maksimum squat:

$$\delta = \frac{C \times V^2}{50} \tag{8}$$

Göründüyü kimi, squat effekt gəminin sürəti ilə düz mütənasibdir. Buna görə də dayaz sularda hərəkət edərkən gəminin sürəti ciddi şəkildə nəzarətdə saxlanılmalıdır.

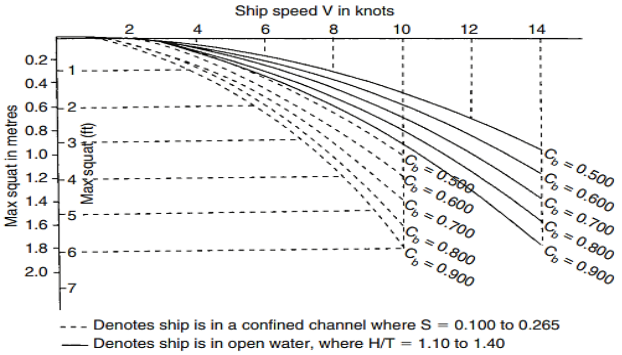
İndi isə squat effektinə qrafiki nəzər salaq. Dedik ki,squat gəmiyə dayaz və dərin sularda təsir edir. Ona görə də squatın hər iki versiyada təsiri eyni ola bilməz. Squatın dayaz sularda təsiri gəmiyə daha çoxdur (şəkil 3):



Şəkil 3. *250 000 tonluq supertanker üçün maksimum squat ilə gəminin sürəti arasında olan mütənasiblik.*

burada, H-suyun dərinliyi; T- gəminin suya oturumudur; H/T nisbəti 1.10 olaraq qeyd olunub.

İndi isə müxtəlif tipli gəmilər üçün qrafikə nəzər salaq (şəkil 4):



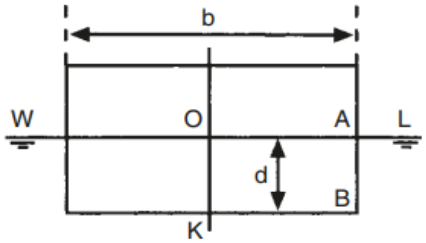
Ship type	*Typical C_b, fully loaded*	*Ship type*	*Typical C_b, fully loaded*
ULCC	0.850	General cargo	0.700
Supertanker	0.825	Passenger liner	0.575 to 0.625
Oil tanker	0.800	Container ship	0.575
Bulk carrier	0.775 to 0.825	Coastal tug	0.500

Şəkil 4. *Müxtəlif tipli gəmilər üçün dayaz sularda və açıq dənizdə maksimum squat*

Burada S (bloklama faktoru) 0.100 ilə 0.265 arası dəyişir və bu o deməkdirki gəmi dayaz sulardadır. H/T nisbəti isə 1.10 ilə 1.40 arası dəyişir bu isə gəminin açıq dəniz şəraitində olduğunu görsədir.

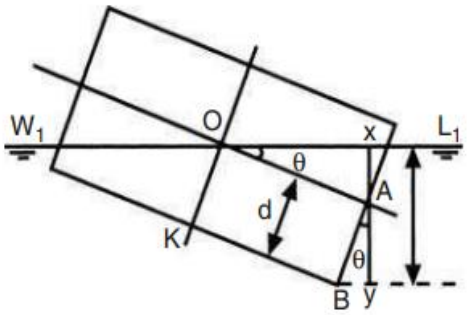
Squat effektin gəmilərə olan təsirlərini dolğun analiz etdikdən sonra kil altı dərinliyin hesablamasına davam edilə bilər [8].

4. Gəminin suya oturumunun kren bucağına görə artması. Bu məsələni aydın başa düşmək və hesablamaları düzgün edə bilmək məqsədi ilə qutu formalı gəmi modelinə baxaq. Qutu formalı gəmidə suya oturum su xəttindən gəminin dib hissəsinə qədər olan məsafədir. Bu tip gəmi su üzərində tarazlıq vəziyyətində olduğu halda sağ və sol bortlar üçün suya oturum eyni olur. Şəkil 5-də gəminin suya oturumunu "d", enini isə "b" hərfi ilə işarələyək.



Şəkil 5. *Qutu şəkilli gəmi (a)*

İndi isə eyni gəminin α dərəcədə sağ borta əyildiyi hala baxaq. Bu zaman gəminin suya oturumu artacaqdır. Şəkil 6-da gəminin yeni suya oturumu "D" hərifi ilə işarələyək [9].



Şəkil 6. *Qutu şəkilli gəmi kren vəziyyətində (b)*

OXA üçbucağında:

$$OA = \frac{1}{2}b \text{ və bucaq } AXO = 90° \tag{9}$$

$$AX = \frac{1}{2}b \sin\theta \tag{10}$$

ABY üçbucağında:

$$AB = d \text{ və bucaq } AYB = 90° \tag{11}$$

$$AY = d\ x\ cos\theta \tag{12}$$

$$D = XY = AX + AY \tag{13}$$

$$D = \frac{1}{2}b\ x\ \sin\theta + d\ x\ \cos\theta \tag{14}$$

$$Gəminin \text{ yeni suya oturum} = \frac{1}{2}b\ x \sin\theta + d\ x \cos\theta \tag{15}$$

Nəticə. Bütün bu hesablamaları etdikdən sonra səfər edəcəyimiz yolda və təyinat limanındakı minumum dərinliyi müvafiq xəritədən götürürük. Gəmimizin maksimum suya oturumunun üzərinə yuxarıda qeyd etdiyim bütün suya oturumun artması hallarını gəlirik və xəritədəki minumum dərinlikdən bu nəticəni çıxırıq. Aldığımız nəticə gəminin səfər boyu minumum kil altı dərinliyini verəcəkdir. Əgər kil altı dərinlik kifayət qədərdən az olarsa o zaman kapitan lazımi tədbirləri görməlidir.

Əlavə olaraq qeyd etmək lazımdırki ki, müəyyən bir vəziyyət üçün maksimum gəmi squatını hesablaya bilsək, aşağıdakı üstünlüklər əldə edilə bilər :

1. Gəmi sürücüsü öz gəmisinin təhlükəsizliyini təmin etmək üçün hansı sürəti azaltmalı olduğunu biləcək.

2. Gəmi zabitləri gəmini əlavə bir neçə santimetrə qədər yükləyə bilərlər (əlbəttə ki, yük xəttinin hədlərini aşacaq qədər istisna olmaqla). 100 000 ton dwt tanker əlavə 30 sm ilə yüklənirsə və ya SD14 ümumi yük gəmisi əlavə 20 sm yüklənirsə, onların dwt-inə əlavə 3 faiz təsir təşkil edir. Bu, gəmilərə əlavə qazanc imkanı yaradır. Əlbətdəki qeyd etmək lazımdırki, bu zaman gəmi sürücüsü bütün ehtimallar üçün kil altı dərinlikni hesablamış olacaq.

3. Əgər dayaz suda həddindən artıq squat səbəbiylə gəmi saya oturarsa, böyük təmir xərclərindən başqa, gəminin "xidmətdən kənar" olduğu vaxt var. Bu vaxt gəminin, gəmini icarəyə götürən şəxs üçün işləyə bilmədiyi zaman hesab olunur."Xidmətdən kənar" olmaq həqiqətən çox baha başa gəlir, çünki qazanc itkisi gündə 100 000 dollardan çox ola bilər.

4. Gəmi saya oturduqda hər zaman neft və neft məhsullarının dənizə sızması ehtimalı var və nəticədə neftin çirklənməsinə görə kompensasiya iddiaları və hadisədən sonra təmizləmə əməliyyatları üçün ödənişlər tələb olunur. Əgər gəmiyə təsir edən squat effekt öncədən proqnozlaşdırıla bilərsə bu zaman qeyd olunan xərclərdən qaçınmaq olar.

Ədəbiyyat

1. Goerlandt, F., Montewka, J. (2015). Maritime Transportation Risk Analysis: Review and Analysis in Light of Some Foundational Issues. Reliability Engineering & System Safety, 138, 115-134.
2. IMO (International Maritime Organization). (2020). Navigation and Collision Avoidance -ECDIS, AIS & GNSS Applications.
3. Шарлай Г.Н. - Управление И Маневрирование Морским Судном – 2007
4. Bertram, V. (2011). Practical Ship Hydrodynamics (2nd ed.). Butterworth-Heinemann
5. Dand, I. W. (2003). Squat Predictions for Underkeel Clearance. Marine Technology, 40(1), 42-51.
6. Barrass, B., & Derrett, D. R. (2011). Stability for Masters and Mates (6th ed.). Elsevier
7. https://www.nautinst.org/resources-page/grounding-of-qe2.html
8. Brooks, N., & Wotherspoon, B. (2002). The Role of Squat Effect in Modern Vessel Design and Operation. International Maritime Conference Proceedings
9. Krata, P., & Szlapczynska, J. (2012). Under Keel Clearance as a Safety Criterion for Ship's Navigation in Shallow Waters. Proceedings of the International Conference on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation.

Məqalə qəbul olunub: 22.04.25
Tövsiyə edib: dos. Abbasov E.O.

ORCİD 0000-0003-2186-6877

İNTELLEKTUAL MATERİALLARIN MÜASİR UÇAN APARATLARDA TƏTBİQİ

[1,2] Həsənov V.H., [3]İmanov E.A., [3]Süleymanov T.A., [1]Həsənova L.A.

[1] "Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası"PHŞ
AZ1000, Bakı şəh., Z.Əliyeva küç., 18
[2]Azərbaycan Texnıkı Unıversıtet
AZ1148, Bakı şəh., H.Cavid pr., 25
[3]H.Əliyev adına Hərbi İnstitut
AZ1018, Bakı şəh., P.Həşimiov küç., 9
E-mail: vgasanov2002@yahoo.com, elmanimanov350@gmail.com

Xülasə. *Məqalədə intellektual materialların müasir aviasiyada tətbiqini və onların üstünlüklərini araşdırmışıq. Müasir aviasiya sahəsində sürətli texnoloji inkişaf həm təyyarə dizaynında, həm də material seçiminin optimallaşdırılmasında mühüm rol oynayır. İntelektual materiallar və ya ,,ağıllı materiallar,, son illərdə aviasiya texnologiyasında tətbiq edilən yenilikçi texnologiyalar arasında xüsusi diqqət çəkir. Bu materiallar xarici şəraitin dəyişikliklərinə reaksiya verə bilən, çevik, yüngül və davamlı xüsusiyyətlərə malikdir.*

Nəticə etibarilə, intelektual materialların müasir aviasiyada tətbiqi, gələcəkdə daha təhlükəsiz, daha yüngül və səmərəli uçuşların təmin edilməsində mühüm addım olaraq qiymətləndirilir. Təklif edilən intelektual materiallar ətraf mühiti çirkləndirmir və bir çox üstünlüklərə malikdir.

Аннотация. *В статье рассмотрели применение интеллектуальных материалов в современной авиации и их преимущества. В области современной авиации быстрое технологическое развитие играет важную роль как при проектировании самолетов, так и при оптимизации выбора материалов. Среди инновационных технологий, применяемых в авиационной технике в последние годы, особое внимание привлекают интеллектуальные материалы или «умные материалы». Эти материалы обладают гибкими, легкими и прочными свойствами, способными реагировать на изменения внешних условий.*

В результате применение интеллектуальных материалов в современной авиации считается важным шагом в обеспечении более безопасных, легких и эффективных полетов в будущем. Предлагаемые интеллектуальные материалы не загрязняют окружающую среду и имеют множество преимуществ.

Abstract. *In the article, we have examined the application of intellectual materials in modern aviation and their advantages. In the field of modern aviation, rapid technological development plays an important role both in aircraft design and in the optimization of material selection. Intellectual materials or "smart materials" draw special attention among the innovative technologies applied in aviation technology in recent years. These materials have flexible, light and durable properties that can react to changes in external conditions.*

As a result, the application of intellectual materials in modern aviation is considered an important step in ensuring safer, lighter and more efficient flights in the future. The proposed intellectual materials do not pollute the environment and have many advantages.

Açar sözlər: *intellektual material, nano material, sensor, fibier-optik sensorlar, maqnetoreoloji maye, elektroreoloji maye,*

Ключевые слова: *интеллектуальный материал, наноматериал, датчик, оптоволоконные датчики, магнитореологическая жидкость, электрореологическая жидкость*

Key words: *ıntellectual material, nano material, sensor, fiber-optic sensors, magnetorheological fluid, electrorheological fluid*

Giriş. Aerokosmik sənayedə intelektual materialların tətbiqi müasir texnolgiyanın inkişafında inqilabi dəyişikiklərə səbəb olmuşdur. Bu materiallar, sensorlar və aktuatorlar kimi funksional komponentlər vasitəsilə ətraf mühiti hiss etmək, analiz etmək və dəyişkən şərtlərə avtomatik cavab vermək qabliyyətinə malikdir. Onların tətbiqi aviasiyada konstruksiyaların çəkisinin azalmasına və təhlükəsizlik səviyyəsinin yüksəldilməsinə kömək edir.

İntelektual materiallar sayəsində təyyarələrə öz vəziyyətini "hiss etmək" və potensial struktur problemlərini vaxtında aşkar etmək imkanı verir ki, bu da xidmət müddətini uzadır və təmir xərclərini azldır. Bu texnologiyalar həmçinin aviasiyanın ekoloji izini azaltmaq üçün mühüm rol oynayır, çünki yanacaq sərfiyyatının optimallaşdırılmasına və karbon emissiyalarının azalmasına şərait yaradır. İntelektual materialların təyyarədə tətbiq edilməsi şəkil 1-də göstərilib [1].



Şəkil 1. *İntelektual materialların təyyarədə tətbiq edilməsi*

İntelektual materiallar aviasiyada ilk dəfə XX əsrin əvvələrində tətbiq edilməyə başlamışdır. Bu, xüsusən Wright qardaşlarının 1903-cü ildə həyata keçirdikləri ilk mühərrikli uçuşdan sonra baş verən texnoloji inkişaflarla əlaqədardır.

Wright qardaşlarının uçuş idarəetmə sistemi ilə bağlı 1906-cı ildə patent aldılar, bu da intellektual mülkiyyətin aviasiyada rəsmi olaraq qeydiyyata alınması və istifadəsinin başlanğıcı hesab edilə bilər. Onlar qanadın əyilməsi sistemi kimi yeni aerodinomik həllər tətbiq etmişdilər ki, bu da təyyarələrin sabitliyini artırdı. Bu cür yeniliklərin patentləşdirilməsi intellektual mülkiyyət hüququnun aviasiyada istifadəsini rəsmi hala gətirdi.

İntelektual materiallar əsasən XX əsrin sonlarına doğru daha çox aviasiyda tətbiq edilməyə başlamışdır. Bu materiallar, xarici mühitin təsirindən, öz xüsusiyyətlərini dəyişə bilən "ağıllı" materiallar kimi təsvir edilir. Onlar aviasiyada performansı artırmaq, çəkini azltmaq, yanacaq sərfiyyatını azaltmaq və təhlükəsizlik səviyyəsinin yüksəltmək məqsədilə istifadə olunmağa başlamışdır.

İntelektual materiallar ,,forma yaddaş ərintiləri,, texnologiyaları aviasiyada ilk istifadəsi 1980-1990-cı illərədən başlamışdır. Bu materiallar deformasiya olunduqda müəyyən bir temperaturda öz ilkin formasına qayıda bilər. Məsələn, uçuş aparatlarında hərəkət edən elementlər, qanadların uçları və digər hissələrdə tətbiq olunur. İntelektual kompozit materiallar da aviasiyada geniş tətbiq tapmışdır. Materiallar özlərini elektromaqnit dalğaları, temperatur dəyişikliyi və ya mexaniki yükləməyə cavab olaraq dəyişə bilər[2].

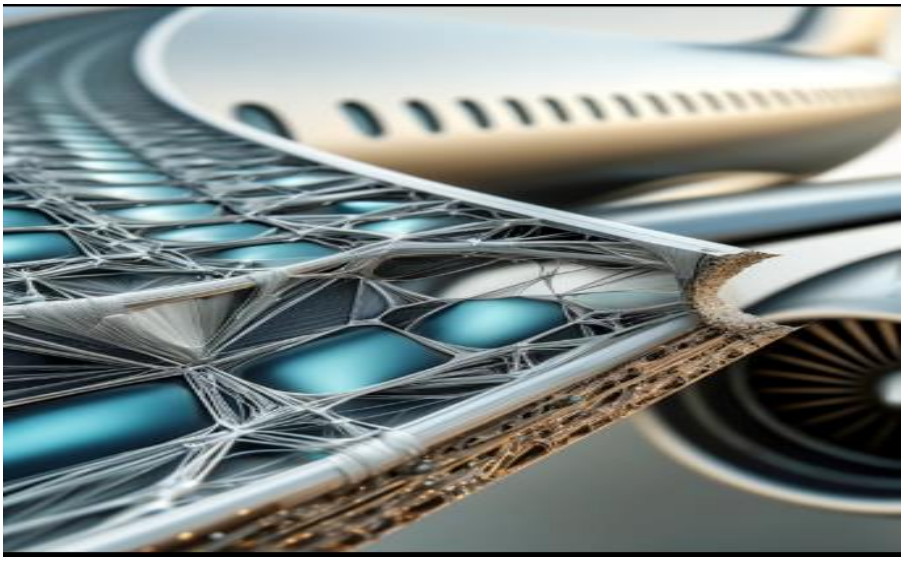
İntelektual materialların təsnifatı. İntelektual materiallar müasir təyyarələrin konstruksiyasında istifadə olunan ən perespektivli texnelogiyalardan biridir. Struktur Sağlamlıq

Monitorinqi sistemləri təyyarələrin strukturu boyunca yerləşdirilən sensorlar vasitəsiylə real vaxt rejimində strukturun vəziyyətini izləyir. Piezoelektrik və fibier-optik sensorlar, strukturuna daxil edilmiş çatlar, təzyiq və ya hər hansı digər mexaniki gərginliklər haqqında məlumat toplayaraq, təmir ehtiyacnı vaxtında müəyyənləşdirir. Bu sistem təhlükəsizliyi artırmaqla yanaşı, həm də texniki xidmət xərclərini azaltmağa kömək edir [4].

Özünü təmir etmə texnologiyaları aviasiyada texniki xidmət və təmir işlərini asanlaşdırmaq üçün perespektivli yanaşmalardan biridir. Bu texnologiyaların tətbiq edildiyi materiallar mikro çatların və ya zədələrin meydana gəlməsi zamanı avtomatik olaraq özlərini bərpa edə bilirlər. Bu, xüsusiylə təyyarənin struktur komponentlərinin davamlığı və etibarlığı üçün əhəmiyyətlidir.

Nəticədə, təyyarələrin strukturları daha yüngül və daha davamlı olur.

Son illərdə aviasiyada intelektual polimerlər və nano – materiallar inkişaf etdirilməyə başlamışdır ki, bunlar təyyarələrin və pilotsuz uçan aparatların aerodinamik xüsusiyyətlərini artırmağa və onların strukturunu optimallaşdırmağa imkan verir. İntelektual materialların təyyarə qanadında tətbiq edilməsi şəkil 2-də göstərilib. Ümumiyyətlə, intelektual materiallar aviasiyyada texnoloji inqilabın bir hissəsi kimi tətbiq olunmağa davam edir və bu sahədə gələcəkdə də daha çox yeniliklər olacağı gözlənilir.



Şəkil 2. *İntelektual materialların təyyarə qanadında tətbiq edilməsi*

İntelektual materiallar özlərinin xarici təsirlərə reaksiya verə bilmə qabliyyətinə görə müxtəlif kateqoriyalara bölünür:

Piezoelektrik materiallar – mexaniki stress nəticəsində elektrik cərəyanı yarada bilən və ya tərsinə, tətbiq olunan elektrik sahəsi nəticəsində mexaniki deformasiyaya məruz qalan materiallardır. Piezoelektrik materiallar müəyyən mexaniki təzyiqlər altında elektrik yükü yaranmasına səbəb olan materialdır. Bu materiallar xarici mexaniki təsirlər (məsələn: sıxılma, əyilmə və ya gərilmə) nəticəsində elektrik yükləri toplayır və eyni zamanda onlara elektrik gərginliyi tətbiq edildikdə mexaniki vibrasiya və ya hərəkət yaradırlar [6].

Piezoelektrik materiallar əsasən kristal strukturlu materiallara, məsələn, kvars, keramik materiallar bəzi polumerlər və s. daxildir. Onlar bir çox tətbiq sahələrində, o cümlədən sensorlar, aktuatorlar, ulturosonik qurğu və yüksək dəqiqlik texnikalarda geniş istifadə edilir. Piezoelektrik və maqnetoreoloji materiallar səs-küy və vibrasiya ilə bağı problemlərin həlli üçün aviasiyada geniş istifadə olunur. Təyyarə mühərriklərinin vibrasiyasını azaltmaq üçün aktiv vibrasiya nəzarət sistemləri yaradılır. Bu sistemlər vibrasiyanı real vaxtda təyin edərək, qarşılama siqnalları göndərir

və vibrasiya səviyyəsini azaldır. Bununla həm sərnişinlər üçün daha rahat uçuş təmin olunur, həm də təyyarənin xidmət müddəti uzadılır.

Piezoelektrik Materialların davamlı olaraq, bu materialların tətbiq sahələrini və iş prinsipini daha dərindən nəzərdən keçirək.

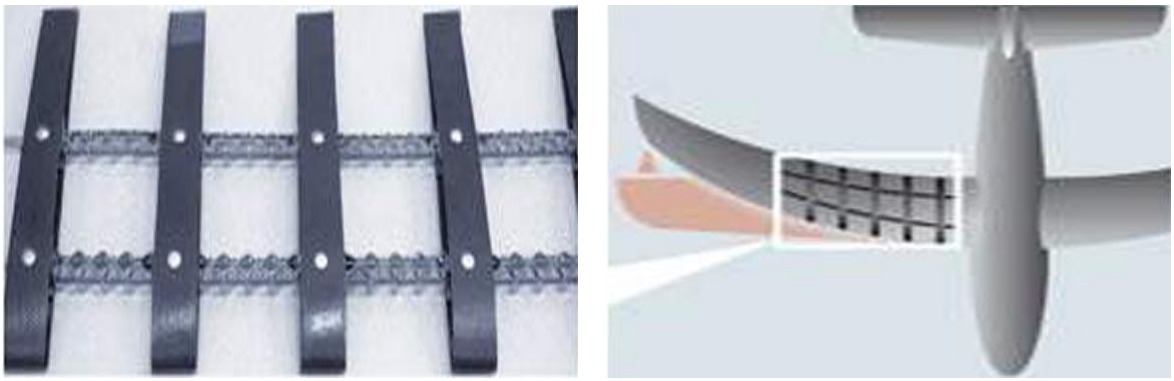
İş prinsipi: Piezoelektrik Materialların mexaniki təsirə məruz qaldıqda onların molekulyar strukturu deformasiyaya uğrayır və bu zaman materialın içərisində müsbət və mənfi yüklərin ayrılması baş verir. Bu fenomen piezoelektrik effekt adlanır və iki istiqamətdə işləyir.

- Birbaşa Pyezoelektrik Effekt-mexaniki gərginlik effekt gərginliyi yaradır.
- Əks Pyezoelektrik Effekt-elektrik gərginliyi materialda mexaniki deformasiyaya səbəb olur.

Pyezoelektrik materiallar aerokosmik sahədə tətbiq: Onlar əsasən sensorlar, aktuatorlar və vibrasiyaya nəzarəti sistemlərində istifadə olunur.

- Sensorlar: Piezoelektrik materialların təzyiq, güc və titrəmələri ölçən sensorlarda istifadə olunur. Məsələn təyyarə, avtomobil mühərriklərində, mikrofonlarda və akselerometrlərdə.
- Aktuatorlar: Elektrik enerjisini mexaniki hərəkətə çevirir.

Forma Yaddaşlı Materiallar – Bu materiallar istilik tətbiq ilə əvvəlki formasını bərpa edə bilən xüsusiyyətə malikdir. Aviasiyada formaya yaddaş materialları əsasən qanad strukturların özünü təmir etməsi və vibroizolyasiya sistemində tətbiq olunur. Formayaddaşlı materialdan PUA-nın qanadının əyilməsi şəkil 3-də göstərilib [3].



Şəkil 3. *Formayaddaşlı materialdan PUA-nın qanadının əyilməsi:*
a) əvvəlki vəziyyət; b) əyilmiş vəziyyət.

Forma yaddaşlı materialları əsasən nikel-titan ərintilərdən hazırlanır, lakin bəzi digər kompozitlər də istifadə olunur, məsələn, mis, alüminium və dəmir əsaslı ərintilər[5].

Forma Yaddaşlı Materialları qanadların aerodinomik parametrlərinin dəyişdirilməsi üçün istifadə olunur. Bu materialların tətbiqi qanadların şəklini çevik şəkildə dəyişərək hava müqavimətini azaltmağa və yanacaq sərfiyyatını optimallaşdırmağa imkan verir.

Forma Yaddaşlı Materialları əsasında işləyən aktuatorlar mexaniki komponentlərdən daha az yer tutur və daha az çəkili olur, buda təyyarələrin çəkisini azalmasına və effektiviyinin artırılmasına səbəb olur.

Forma yaddaşlı materialların aerokosmik sahədə tətbiqi. Uçuş aparatlarının qanadlarının və digər struktur komponentlərinin şəklinin aktiv şəkildə dəyişdirmək üçün istifadə olunur;

- Sızdırmazlıq sistemləri bu sistemlər aerokosmik sənayedə hermetik sızdırmazlıq təmin edən sistemlərdə də istifadə olunur. Məsələn, mühərriklərin müxtəlif hissələrində sızmaların qarşısını almaq üçün;
- Zərbəyə davamlılıq və öz -özünə bərpa, aerokosmik strukturlara düşən zərbələr nəticəsində bu materiallar bükülmə və deformasiya ilə qarşılaşdıqda, yenidən ilkin formalarını bərpa edə bilir.

Bu materiallar həm də kosmosda sərt mühitlərə qarşı dayanıqlı olduqları üçün və ağırlığı azaltmağa kömək etdikləri üçün aerokosmik texnelogiyalar üçün ideal seçimdir.

Maqnetoreoloji və Elektroreoloji Mayelər – Bu mayelər elektrik və ya maqnit sahəsi tətbiq ilə öz viskozitesini (xarici təsirdən aslı olaraq axıcılığın dəyişə bilən maddə) dəyişə bilən materiallardır. Bu cür materiallar, əsasən, vibrasiya amortizatorları və aktuatorlar kimi dinamik idarə olunan sistemlərdə istifadə olunur.

Maqnetoreoloji mayelər - maqnit sahəsinin təsiri altında axıçılığını sürətlə dəyişdirə bilən mayedir. Onlar əsasən dağınıq maqnit hissəciklərdən ibarət kolloid məhluldan ibarətdir və maqnit sahəsinə məruz qaldıqda, hissəciklər düzümlü zəncirlər əmələ gətirir. Bu proses mayenin axıcılığını ciddi şəkildə azaldır və onu demək olar ki, qatı hala gətirə bilir.

Maqnetoreoloji mayelərin aerokosmik sahədə tətbiqi: Vibirasiya idarəetmə sistemləri aerokosmik texnikalarda,xüsusən də mühərriklər və qanad sisitemlərində vibrasiyaların qarşısını almaq üçün amortizatorlarda istifadə olunur. Maqnit sahəsinin dəyişdirilməsi ilə sisitemin sərtliyini və vibirasiyalara olan reaksiya sürətini tənzimləmək mümkündür.

- Aktiv dayaq sisitemləri uçuş aparatlarının stabilizasiyası və strukturun optimallaşdırılması üçün istifadə edilən aktuator və dayaq mexanizmlərində maqnetoreoloji mayelərdən istifadə edilir.

- Maqnetoreoloji mayelər əyləc mexanizmlərində istifadə olunur,beləliklə,idarə olunan şəkildə sürəti tənzimləmək mümkün olur.

Elektroreoloji Mayelər – elektrik sahəsinin təsir ilə axıcılıq xüsusiyyətlərini dəyişir.Bu mayelər əsasən dielektrik materiallardan və mayedən ibarətdir.Onlar yüksək elektrik sahəsinə qaldıqda hissəciklər arasında elektrostatik qüvvələr yaranır və mayenin strukturu dəyişərək axıcılığı azalır.

Elektroreoloji mayelərin aerokosmik sahədə tətbiqi: Aerokosmik texnologiyalarda elektroreoloji mayelər vibrasiyanın qarşısını almaq üçün istifadə olunur, xüsusən də kosmos gəmilərində və peyklərdə.

- Elektrik sahəsinə cavab verən elektroreoloji mayelər aerokosmik texnologiyalarda zərbələrin və ya mexaniki yüklərin azalması üçün istifadə olunur.

Hər iki növ mayenin üstünlükləri yüksək reaksiya sürəti və idarə oluna bilmə qabliyyətidir. Onlar kosmik gəmilərdə, peyklərdə və digər aerokosmik qurğularda vibrasiyaların idarə olunmasında və strukturun sabitliyinin qorunmasında vacib rol oynayır.

İntellektual Materialların gələcək inkişaf perspektivləri. İntellektual Materialların aviasiyada tətbiqi sahəsində tədqiqatlar davam edir və gələcəkdə onların istifadəsi daha geniş miqyas alacaq. Xüsusilə, adabtiv qanad sistemlərinin daha da təkminləşdirilməsi, təyyarələrin çəkisinin daha da azaldılması və yanacaq səmərəliyinin artırılması kimi məqsədlər qarşıda duran əsas hədəflərdəndir. Həmçinin, intelektual materialların müxtəlif fəzalar arasında keçid etmə qabliyyətinin inkişaf etdirilməsi onların daha mürəkkəb funksiyalar yerinə yetirməsinə imkan verəcəkdir[7]. Bu materialların inkişaf perespektivləri bir neçə əsas istiqamətdə təkminləşdirilə bilər:

A. Nanomateriallar. Nanoölçülü strukturlar intellektual materialların xüsusiyyətlərini təkminləşdirmək üçün istifadə olunur. Bu, daha yüngül, daha davamlı və daha funksional materialların yaradılmasına imkan verəcək. Nanoelektronika, tibbi texnelogiyalar və enerjiyə qənat edən cihazlar üçün yeni imkanlar yaradacaq.

B. Binik materiallar. Təbii materialların xüsusiyyətlərini təkrarlayan və ya təkmilləşdirən İntelektual materiallar yaradılacaq. Bu materiallar insan toxumalarını təqlid edə və ya onlardan daha yaxşı performans göstərə bilər, protezlər və bioloji qurğular üçün.

C. Enerji istehsalı və saxlanması. Ağıllı materiallar daha effektiv enerji saxlanma sistemləri üçün istifadə edilə bilər. Məsələn, intellektual batareyalar öz şəraitinə uyğun enerji istehsalını tənzimləyə bilər, bu da enerjiyə qənaət etmək və dayanıqlı enerji sistemləri yaratmaq üçün imkanlar açacaq.

D. Sensor texnologiyaları. İntellektual materiallar öz ətraf mühitini dərk edən və ona uyğunlaşa bilən sistemlər üçün istifadə edilə bilər. Məsələn, avtomatik idarə olunan nəqliyyat vasitələri və ağıllı evlər üçün inkişaf etdirilmiş sensorlar bu texnologiyalar əsasında qurulacaq.

E. İntellektual geyimlər. Gələcəkdə intellektual tekstil materialları geyimlərə inteqrasiya edilərək insanların sağlamlığını izləyəcək, ətraf mühitə uyğunlaşacaq və hərəkətləri tənzimləyəcək.

J. İnsan-kompüter qarşılıqlı əlaqəsi. İntellektual materiallar insanlarla kompüterlər arasındakı qarşılıqlı əlaqəni daha təbii və intuitiv edəcək. Həssas sensorlar, toxunma texnologiyaları və virtual reallıq sistemlərində bu materiallar daha böyük rol oynayacaq.

Bu perspektivlərdən çıxış edərək, intellektual materialların gələcəkdə çoxşaxəli texnoloji, tibb, energetika və digər sahələrdə əsas inkişaf mənbələrindən biri olacağı gözlənilir

Nəticə. İntellektual Materiallar müasir aviasiyanın gələcək inkişafında böyük rol oynayır. Onlar təyyarələrin effektivliyini artırmaq, təhlükəsizliyi yüksəltmək və texniki xidmət xərclərini azaltmaq üçün əvəzolunmaz vasitələrdəndir. Həmçinin intelektual materialların tətbiqi yanacaq qənaitini artıraraq xərcləri azaldır, ekoloji davamlığı dəstəkliyər. Bu materilların daha geniş miqyasda tətbiqi və tədqiqatlarının davam etdirilməsi aviasiya sənayesinə innovativ və dayanıqlı həllərə gətirəcəkdir.

Ədəbiyyat

1. Mayılov M. V., Zərbaliyev V. Z. İntellektual sistemlər və texnologiyalar, Bakı 2016, “MSV NƏŞR“ nəşriyyatı, Dərs vəsaiti, 256 səhifə.
2. Новицкий В. «Камень преткновения» в физике!. http://www.nit.kiev.ua, 12 август 1999.
3. Воронина Е.Н., Галанина Л.И., Зеленская Н.С.Механизмы ядерных реакций при взаимодействии космической радиации с материалами и наноструктурами// Известия Российской Академии Наук. Серия физическая. 2009 г. С.208-2012
4. Молодцов Е.В., Минаков В.Т., Турченков В.А. Некоторын вопросы обеспечения неметаллическими материалами авиационно-космической техники// Материалы и технологии для авиационно космической техники. 2005 г. С.28-29
5. Хасанов О.Л., Двилис Э.С., Хасанов А.О. Легкий композиционный материал для космической техники. 2015 г. С.6
6. https://worldofmaterials.ru/spravochnik/special-materials/142-intellektualnye-materialy (23.12.17)
7. https://ru.wikipedia.org/wiki/Умные_материалы (23.12.17)

Məqalə qəbul olunub: 22.04.25
Tövsiyə edib: prof. Məmmədov A.T.

Orcid.org/0009-0004-6465-4756

VAKUUMDA DUZSUZLAŞDIRMANIN İSTİLİK MÜBADİLƏSİ PARAMETRLƏRİNƏ TƏSİRİ

[1]Həziyev Ə.R., [1,2]Həsənov V.H, [1.3]Bayramova F.İ.

[1]Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası,
AZ1000, Bakı şəh., Z.Əliyeva küç., 18
[2]Azərbaycan Texnıkı Unıversıtet
AZ1148, Bakı şəh., H.Cavid pr.25
E-mail: vgasanov2002@yahoo.com, alihuseyn.haziyev@asco.az

Xülasə. *Qlobal istiləşmə və su mənbələrinin quruması dünyanın bir sıra ölkələrini dəniz suyunu içməli su halına gətirməyə vadar edir. Məsələn, İndoneziya, Malayziya, Sinqapur və İsrail dövlətlərində əhalinin içməli suya olan tələbatının bir hissəsi dəniz suyunun emalı hesabına ödənilib. İsraildə içməli suyun 40 faizi dəniz suyunun duzsuzlaşdırılması hesabına reallaşdırılıb. Vakuum–utilizasiyalı suşirinləşdirici qurğunun istilik sxeminin nümunəsinə nəzər yetirsək qurğunun istismar müddətindən, gəminin üzmə rayonundan və ya stasionar qurğular üçün zavodun yerləşdiyi yerdən asılı olaraq istilik mübadiləsi parametrlərinin dəyişdiyini görə bilərik. Baş mühərriki soyudan qızmış suyun buxarlandırıcıda işçi maye kimi istifadə olunmasını nəzərə alsaq, suşirinləşdirici qurğunun məhsuldarlığının mühərrikin iş rejimindən və dəniz suyunun temperaturundan asılı olduğunu demək mümkündür.*

Аннотация. *Глобальное потепление и высыхание водных источников вынуждают ряд стран мира перерабатывать морскую воду в питьевую. Например, в Индонезии, Малайзии, Сингапуре и Израиле часть потребностей населения в питьевой воде удовлетворяется за счет переработки морской воды. 40 процентов питьевой воды в Израиле производится путем опреснения морской воды. Если рассмотреть пример схемы теплоснабжения вакуумно-утилизационной опреснительной установки, то можно увидеть, что параметры теплообмена изменяются в зависимости от периода работы установки, района плавания судна или места расположения установки для стационарных установок. Учитывая, что в качестве рабочего тела в испарителе используется нагретая вода от охлаждения главного двигателя, можно сказать, что эффективность опреснительной установки зависит от режима работы двигателя и температуры забортной воды.*

Abstract. *Global warming and the drying up of water sources are forcing several countries around the world to convert seawater into drinking water. For example, in Indonesia, Malaysia, Singapore and Israel, part of the population's drinking water needs are met through seawater treatment. In Israel, 40 percent of drinking water is produced through desalination of seawater. If we look at an example of a heating scheme for a vacuum-utilization desalination plant, we can see that the heat exchange parameters change depending on the operating period of the plant, the sailing region of the ship, or the location of the factory for stationary plants. Considering that the heated water from cooling the main engine is used as the working fluid in the evaporator, it can be said that the efficiency of the desalination plant depends on the engine operating mode and the temperature of the seawater.*

Açar sözlər: *vakuumda duzsuzlaşdırma, buxarlandırıcı, istilik mübadiləsi, şirin su*
Ключевые слова: *вакуумное опреснение, испаритель, теплообмен, пресная вода*
Key words: *vacuum desalination, evaporator, heat exchange, fresh water*

Giriş. Hazırda insan fəaliyyətinin bir çox sahələrində şirin su çatışmazlığı müşahidə olunur. Kiçik şəhərləri, kəndləri, dəniz sahillərində yerləşən ərazilərdəki fabrik və zavodları şirin su ilə təmin

etmək üçün müxtəlif növ suşirinləşdirici qurğulardan istifadə olunur. Bu qurğulardan həm də uzun müddət səfərdə olan gəmilərdə istifadə olunur, çünki uzaq səfərlər zamanı lazımi miqdarda şirin su ehtiyatını gəmiyə qəbul etmək demək olar ki mümkün deyil. Belə suşirinləşdirici qurğulardan biri də "D" tipli qurğudur. Bu suşirinləşdirici qurğu gəmilərdə istifadə olunan daxili yanma mühərriklərində yanmanın baş verməsi səbəbindən qızmış detalların soyudulması üçün istifadə edilən suyun utilizasiyası ilə işləyir. Belə bir sistem mühərrikin növündən asılı olaraq 1000 kVt gücə saatda təqribən 600 - 1200 litr təmiz su istehsal etmək qabiliyyətinə qadirdir. Əksər gəmilər üçün bu göstəricilər şirin su ehtiyaclarını tam ödəyir [1].

"D" tipli suşirinləşdirici qurğu sayəsində nəqliyyat gəmilərində içməli və texniki məqsədlər üçün istifadə edilən şirin suya olan tələbat qarşılanır. Bu qurğu sabit təzyiq altında işləyir və gündə 25 tona qədər şirin su istehsal edə bilir. Bu tip suyun duzsuzlaşdırılması qurğuları hazırda nəqliyyat gəmilərində geniş istifadə olunur. Buxarlandırıcı kameranın istilikmübadilə hissəsi dəniz suyunun qaynadılması prosesinin baş verdiyi şaquli şəkildə quraşdırılmış mis – nikel borulardan ibarətdir. Bu borulardan gələn buxar buxarlanma kamerasına verilir, oradan isə jalüz tipli separatordan keçərək kondensatora daxil olur. Bu qurğunun jalüz separatoru və buxarlandırıcı kameranın hündürlüyünün çox olması duzluluq səviyyəsi aşağı olan təmiz su əldə etməyə imkan verir [1].

Kondensator vasitəsilə vurulan suyun bir hissəsi buxarlandırıcıya verilir, digər hissəsi isə ejektorda işçi maye kimi istifadə olunur. Ejektor buxarlandırıcı kameradan duzlu suyu xaric etmək üçün nəzərdə tutulmuşdur. Dəniz suyunun normaldan aşağı temperaturda qaynaması üçün burada işçi vakuum təmin edilməlidir. Sistemdə vakuum parametrləri birbaşa mühərrikin blokunu soyudan soyuducu suyun temperaturundan asılıdır, beləliklə, soyuducu suyun temperaturu nə qədər aşağı olarsa, təzyiq vakuuma bir o qədər yaxınlaşır. Gəminin baş mühərrikindən 60 - 80° C temperaturda çıxan soyuducu su, buxarlandırıcı istilik batareyasında istilik mənbəyi kimi istifadə olunur. Təmiz su çənə daxil olmadan əvvəl o, xüsusi nümunələr götürülən şirin su kollektoruna daxil olur. Əgər suyun duzluluq dəyəri normadan artıq deyilsə, alınan su şirin su çəninə daxil olur. Bu tip suyun duzsuzlaşdırılması qurğusu tam avtomatlaşdırılmışdır və insan əməyi tələb etmir. Kondensatorun giriş və çıxışında soyuducu dəniz suyunun temperaturu, buxarlandırıcının giriş və çıxışında mühərrikin blokunu və silindr qapağını soyudan suyun temperaturu, buxarlandırıcı kamerada vakuum, qidalandırıcı suyun axını və suyun duzluluğu kimi məlumatlar rəqəmsal olaraq izlənilir.

Metodlar və materiallar. Şəkil 1 və şəkil 2-də verilmiş istilik sxemi vasitəsi ilə suşirinləşdirici qurğunu, istilik mübadiləsi prosesini, işçi mayenin dövr etdiyi müxtəlif boru kəmərlərini və müxtəlif təyinatlı nasosları görə bilərik. Şəkil 1–də göstərilən sxemdən bir qədər fərqli olaraq, buxarlandırıcıda suyu qızdırmaq üçün daxili yanma mühərrikini soyudan suyun əvəzinə elektrik istilik dəyişdiricisindən istifadə etmək də mümkündür (şəkil 2). Bu istilik sxeminin müsbət tərəfi ondan ibarətdir ki, yalnız açıq dənizdəki gəmilərdə deyil, həm də quruda stasionar suşirinləşdirici qurğularda istifadə edilə bilər. Suşirinləşdirici qurğu dəniz suyunun buxarlanmasının adiabatik üsulundan istifadə edir ki, bunun sayəsində çox aşağı təzyiqdə olan su dərhal buxara çevrilir və oradan qurğunun digər hissəsinə keçir [2].

Suşirinləşdirici qurğunun məhsuldarlığını tapmaq üçün düstur:

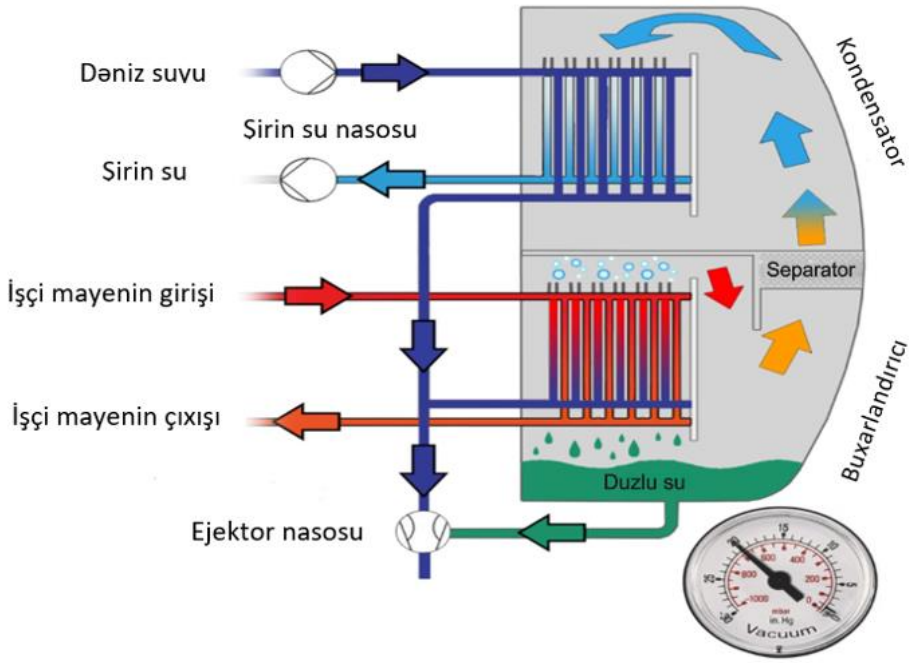
$$G = \frac{Q}{(1+\omega)\cdot C\cdot(t_{or}-t_1')+r} \quad (1)$$

Burada Q – suyun buxarlanması üçün lazım olan istilik miqdarı, ω – üfürmə əmsalı, C – qidalandırıcı suyun istilik tutumu, r – xüsusi buxarlanma istiliyi, t_{or} – ikinci dərəcəli buxarın orta temperaturu, t_1' – qurğunun kondensatorundan çıxan dəniz suyunun temperaturu [2].

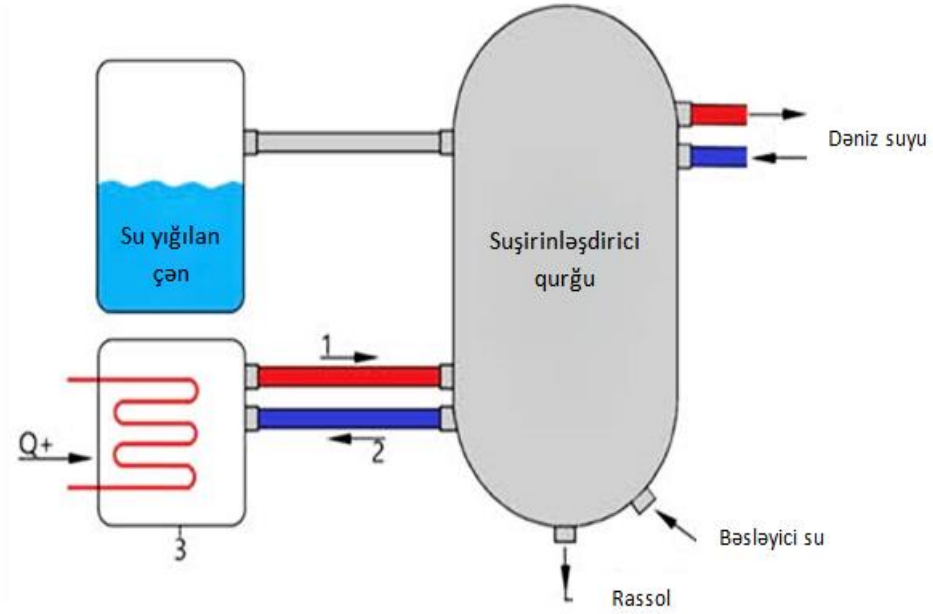
Qızdırıcı suyun orta temperaturunu tapmaq üçün düstur:

$$t_{or} = \frac{t'+t''}{2} \quad (2)$$

Burada t' – qızdırıcı suyun temperaturu, t" - buxarlandırıcının çıxışında qızdırıcı suyun temperaturu [2].



Şəkil 1. *Vakuum – utilizasiyalı suşirinləşdirici qurğunun sxemi*



Şəkil 2. *Elektrik qızdırıcısından istifadə edən qurğunun sxemi*

Çıxışda suyun temperaturunu tapmaq üçün düstur:

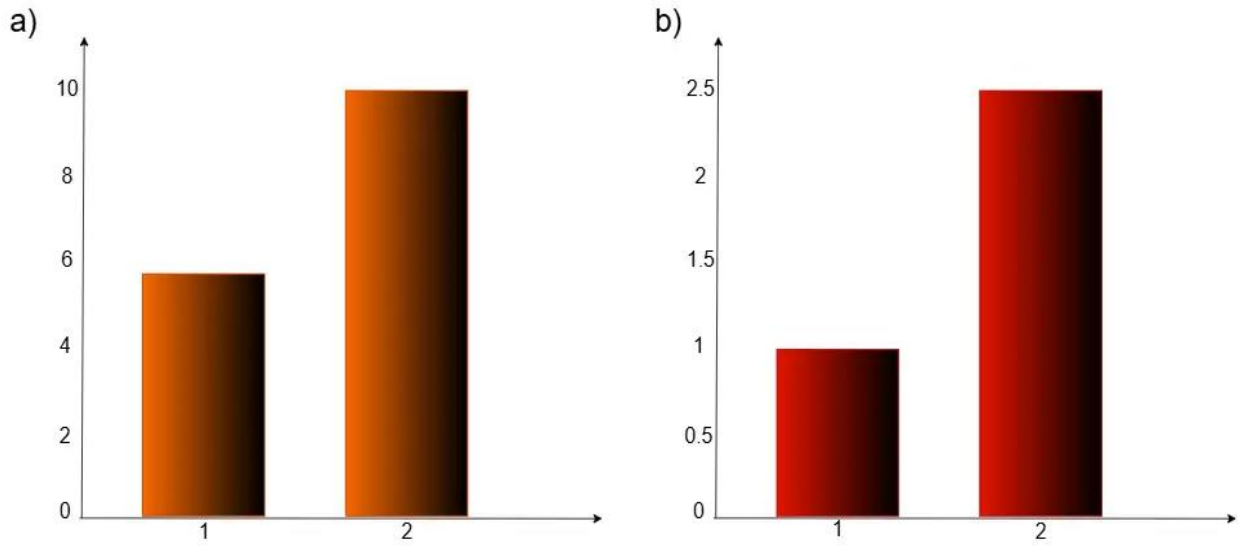
$$t^{"} = t' - \delta \quad (3)$$

Burada t' - qızdırıcı suyun temperaturudur. Qiyməti şəraitdən asılı olaraq, mühərrikin iş rejimindən asılı olaraq dəyişir, δ - qızdırıcı suyun temperaturunun azalması, bu əmsal qızdırıcı suyun qurğuya

daxil olana qədərki istilik itkisini xarakterizə edir. Bu tip qurğular üçün 8-10 °C – yə bərabər qəbul edilir.

Nəticə. Qurğuya girişdə işçi suyun temperaturu gəminin baş mühərrikini soyudan suyun istiliyinə bərabərdir (itkilər nəzərə alınmadıqda) və buna görə də işçi mayenin temperaturu bilavasitə istifadə olunan mühərrikin növündən və iş rejimindən asılıdır. Mayedən gələn istilik tam istifadə edilmir, ancaq qismən istifadə olunur. Buradan belə nəticə çıxır ki, qurğunun məhsuldarlığı təkcə istilik istehlakı ilə deyil, nasoslara sərf olunan elektrik enerjisinin istehlakı ilə də xarakterizə olunur. Dənizlərin və okeanların səthində tropiklərdə temperaturun illik dəyişməsi 5°C-dən, mülayim və arktik zonalarda isə 10-15°C-dən çox deyil. Buradan belə çıxır ki, suşirinləşdirici qurğunun istismarı zamanı dəniz suyunun temperaturu üzmə rayonundan və ilin vaxtından asılı olaraq dəyişə bilər. Bu göstərici suşirinləşdirici qurğunu layihələndirərkən nəzərə alınmalıdır, çünki dəniz suyunun temperaturu həm kondensatorda buxarın soyudulması, həm də buxarlandırıcıda suyun qızdırılması ilə bağlı qurğunun bir çox xüsusiyyətlərinə təsir göstərir. Suşirinləşdirici qurğunun məhsuldarlığı onun 1 saat ərzində nə qədər şirin su hasil edə bilməsidir. Sanitariya normalarına görə, bu qurğunun məhsuldarlığı gəminin və onun heyətinin gündəlik su sərfiyyatından 1,5-2 dəfə yüksək olmalıdır. Bu məqalədə istilik sxemi nəzərdən keçirilmişdir, burada qızdırıcı su əsas mühərrikin soyudulmasından əldə edilən artıq qızdırılmış su deyil, istilik mübadilə qurğusu vasitəsilə məcburi qızdırılma yolu ilə əldə edilir. Belə bir istilik sxemi elektrik enerjisinə çıxışın olduğu, lakin istilik resurslarına çıxışın olmadığı yerlərdə tətbiq edilə bilər. Bu istilik diaqramı sayəsində istilik mübadiləsi prosesinin bəzi parametrlərinin nəzəri hesablamalarını aparmaq və içməli, həmçinin sənaye suyu tələbatınıza uyğun gələn ən uyğun qurğunu seçmək mümkündür.

Şəkil 3–də “D” tipli suşirinləşdirici qurğuların işçi tsiklinin müqayisəsi göstərilmişdir. Burada qızdırıcı suyun istehlakı və buna müvafiq olaraq qurğunun istehsal etdiyi şirin suyun miqdarı, yəni qurğunun məhsuldarlığı verilmişdir. Adətən mühərriki soyudan su çıxışda 60-80 ºC temperatur intervalında qəbul edildiyi üçün iki temperatur şəraitində işçi tsiklin müqayisəsinə baxılmışdır.



Şəkil 3. *Suşirinləşdirici qurğuların işçi tsiklinin müqayisəsi*
a – qızdırıcı suyun istehlakı, b – məhsuldarlıq
1 – buxarlandırıcının girişində qızdırıcı suyun temperaturu 60°C,
2 - buxarlandırıcının girişində qızdırıcı suyun temperaturu 80°C

Müzakirə. “D” tipli suşirinləşdirici qurğunun istifadə perspektivləri ondan ibarətdir ki, o, tam avtomatlaşdırılmışdır. Başqa sözlə, bu qurğu ümumi çərçivədə quraşdırma şəklində, öz xidməti cihazları və hissələri ilə birlikdə gətirilir. Bütün iş rejimi xüsusi cihazların, məsələn, termometrlərin

nəzarəti altında həyata keçirilir. Onlar həm buxarlandırıcının girişində və çıxışında, həm də kondensatorun çıxışında qızdırıcı suyun və dəniz suyunun temperaturunu ölçürlər [3]. Vakuum duzlu suyun duzsuzlaşdırılması üsuluna qaynama və kondensasiya kameralarının hidrostatik nasosla vurulması, buxarlandırıcıda duzlu suyun qaynadılması, kondensatorda su buxarının kondensasiyası və yığılmış kondensasiya olunmayan qazların çıxarılması daxildir. Hidrostatik nasosda buxarlandırıcı və kondensator kameraları müvafiq olaraq duzlu su və şirin su ilə doldurulur. Duzlu suyun qaynadılması duz konsentrasiyası doyma nöqtəsinə çatana qədər və ya kondensasiya olunmayan qazların ümumi təzyiqi həddə çatana qədər buxarlandırıcının duzlu su ilə vaxtaşırı doldurulması davam edir. Kondensasiya olunmayan qazlar, müvafiq olaraq, duzlu su və şirin su ilə buxarlandırıcı və kondensatordan çıxarılır. Buxarlandırıcıda rassolun duzluluğu artdıqda buxarlandırıcı kamera ətraf mühitlə əlaqələndirilir. Buxarlandırıcı və kondensator kameraları arasındakı buxar boru kəmərində və drenaj xəttində qoruyucu klapanlar quraşdırılmalıdır [4]. Vakuum yaratmaq üçün əsasən aşağıdakı növ nasoslardan istifadə olunur: vintli vakuum nasosları; ejektor nasosları. Vakuum nasosunun işləmə prinsipi qaz, buxar və ya hava qarışığının işçi kameradan çıxarılmasıdır. Nasosun təmin etməli olduğu iki vacib şərt, qaz mühitini lazımi məkandan vuraraq müəyyən bir dərinlikdə vakuum yaratmaq və istismar müddəti üçün bu vəziyyəti saxlamaqdır. Bu şərtlərdən biri yerinə yetirilmədikdə, əlavə vakuum nasosu quraşdırılmalıdır. Buna görə də, tələb olunan təzyiqə çatmaq mümkün olmadıqda, ilkin vakuum pompası işə salınır. Vakuum nasosunun yaratdığı vakuumun dərinliyi nasos komponentlərinin yaratdığı iş sahəsinin hermetiklik dərəcəsindən asılıdır. İş sahəsinin yaxşı bağlanmasını təmin etmək üçün xüsusi yağlardan istifadə olunur [4]. Bu, boşluqları möhürləyir və mükəmməl bir sızdırmazlığı təmin edir. Vakuum nasosunun işləmə prinsipində heç bir yağ istifadə edilmirsə, ona quru nasos deyilir. Quru vakuum nasosları üstünlük təşkil edir, çünki onlar yağ dəyişikliyi və ya başqa texniki xidmət tələb etmir.

Ədəbiyyat

1. Həziyev, Ə.R. Gəmi suşirinləşdirici qurğuların məhsuldarlığının təkmilləşdirilməsi // - Sumqayıt: Doktorantların və gənc tədqiqatçıların XXVII Respublika elmi-texniki konfransının (NASCO XXVII) materiallar toplusu, Mühəndislik bölməsi, -2025. №1, - s. 281-285.
2. Həsənov, V.H. Gəmi duzsuzlaşdirma qurğusunda istilikmübadiləsinin analizi / V.H.Həsənov, Ə.R.Həziyev, A.S.Ömərov [və b.] // Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyasının elmi əsərləri, - Bakı: - 2024. №1, - s. 176-180.
3. Həsənov, V.H. Gəmidə suyun təmizlənməsinin müasir üsulları / V.H.Həsənov, F.Ə.Həsənli, Ə.R.Həziyev [və b.] // Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyasının "Su nəqliyyatının problemləri" mövzusunda professor-müəllim heyətinin XVIII Beynəlxalq elmi-texniki konfransının məruzə materialları, - Bakı: 2023. - s. 205-208.
4. F. Dargam, E. Perz, S. Bergmann, E. Rodionova, Supporting operational decisions on desalination plants from process modelling and simulation to monitoring and automated control with machine learning (Spain, 2020)

Məqalə qəbul olunub: 23.04.25
Tövsiyə edib: dos. İsmayılov A.Ş.

*УДК 621.565.954.6 PACS: **44.05.+e***

СРАВНЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАСЛООХЛАДИТЕЛЯ СУДОВЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ С СЕГМЕНТНЫМИ И ВИНТОВЫМИ ПЕРЕГОРОДКАМИ

Ибрагимли Э.Н.

“Азербайджанская Государственная Морская Академия”ПЮЛ
AZ1000, г. Баку, уль. З. Алиева, 18
E-почта: ibraqimli93@mail.ru

Xülasə. *Məqalədə gəmilərin baş mühərrikinin dizel yağ soyuducu aparatlarında səmərəliliyinin artırılması məsələsinə baxılmışdır. Gəmi istilik mübadilə aparatının boru arası fəzasında baş mühərrikin dizel yağının soyudulması üçün seqment və vintli şəbəkələrinin konstruksiyaları və onların yerləşdirilməsi ilə istilik prosesinin paylanmasının tədqiqi ücün CFD komputer modelləşdirilməsindən istifadə edilmişdir.*

Aparılan tədqiqatlar göstərir ki, əsas tədbiq edilən seqmentli şəbəkələrin konstruksiya və yerləşməsinin dəyişməsi ilə 8-10%, eyni ilə vintli şəbəkələrdə isə 18-20% civarında səmərəliliyin artırılması əldə edilmişdir. Bununla, baş mühərrikin dizel yağının soyudulmasını tam təmin etmək üçün soyutma prossesinin (istilik vermə və istilik ötürmə), yəni Re və Nu kriteriyalarının dəyişilməsi həm seqmentli, həm vintli şəbəkələrdə müqayisəli səmərəliliyin artırılması üçün parametrlərin assılıqları alınmışdır.

Beləliklə, vintli ara kəsmə şəbəkələri ilə dizel yağının soyutma rejiminin tam tələblərə uyğun tənzimlənməsinin əldə edilməsi mümkün olmuşdur. Vintli şəbəkə ilə dizel yağının tam soyudulmasını təmin edilməklə, təxminən dizel yağ soyuducusunun iqtisadi səmərəliliyi 1.5-2 dəfə artırmaq mümkün ola bilər.

Аннотация. *В статье рассмотрена задача, повышение эффективности охлаждения дизельного масла для главного двигателя судна. С помощью компьютерного моделирования CFD исследованы конструкции сегментных и винтовых перегородок охлаждения дизельного масла главного двигателя в межтрубном пространстве судового теплообменного аппарата и распределение теплового процесса с их размещением.*

Проведенные исследования показывают, что за счет изменения конструкции и расположения основных сегментированных перегородок, достигается повышение эффективности на 8-10%, а на винтовых перегородках на 18-20%. При этом, изменяя критерии теплового процесса (охлаждение и теплообмен), т.е. Re и Nu. Для полного обеспечения охлаждения дизельного топлива судового теплообменного аппарата, были получены зависимости параметров. Для сравнения повышение эффективности охлаждения дизельного топлива главного двигателя судового теплообменного аппарата, как в сегментных, так и в винтовых перегородках.

Таким образом, можно было регулировать режим охлаждения дизельного топлива в соответствии с конкретными требованиями с винтовыми промежуточными перегородками. Обеспечив полное охлаждение дизельного топлива винтовой перегородкой, можно повысить экономическую эффективность маслоохладителя дизельного топлива примерно в 1,5-2 раза.

Abstract. *In this paper is considered the issue of increasing the efficiency of cooling the diesel oil of the main engine of the ship. With the help of CFD computer simulation, the designs of segmental and helical baffles for cooling diesel oil of the main engine in the annular space of the ship shell and tube heat exchanger and the distribution of the thermal process with their placement were studied.*

The conducted studies show that by changing the design and configuration of the main segmental baffle, an increase in efficiency by 8-10% was achieved and for helical baffle by 18-20%. At the

same time, by changing the criteria of the thermal process (cooling and heat exchange), i.e. Re and Nu, to fully ensure the cooling of diesel fuel for marine shell and tube heat exchanger, the dependences of the parameters were obtained. For comparison, the increase in the efficiency of cooling diesel fuel of the main engine of the marine shell and tube heat exchanger, both in segmental and helical baffles.

Thus, it was possible to adjust the mode of cooling of diesel fuel in accordance with specific requirements with helical intermediate baffles. By providing complete cooling of diesel fuel with a helical baffle, it is possible to increase the economic efficiency of a diesel fuel oil cooler by about 1.5-2 times.

Açar sözlər: *seqmentli şəbəkə, gəmi istilik mübadilə aparatları, vintli şəbəkə, istilik vermə əmsalı, səmərəlilik, prosesin optimallaşdırılması*

Ключевые слова: *сегментная перегородка, судовые кожухотрубчатые теплообменные аппараты, винтовая перегородка, коэффициент теплоотдачи, эффективность, оптимизация процесса*

Key words: *segmental baffle, marine shell and tube heat exchangers, helical baffle, heat transfer coefficient, effectiveness, process optimization*

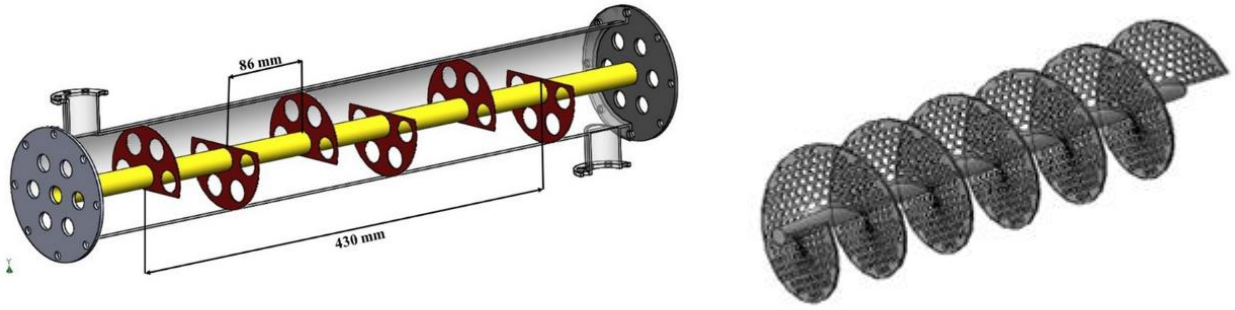
Введение. Размер вырезки и расположение перегородки имеет существенное влияние на обмен теплового процесса судовых теплообменных аппаратов (СТА). Повышение эффективности применения новой перегородки варьируется в пределах 15 – 45% .

Для охлаждения дизельного масла главного двигателя (СТА) применятся морская вода, которая имеет склонность к сильному загрязнению теплообменной поверхности [1,2,3]. В этом случае рекомендуется применять срез перегородки в межтрубном пространстве не более 25% от внутреннего диаметра кожуха аппарата [4,5].

Оптимальный шаг перегородки находится, как правило, в диапазоне 0,3 – 0,6 от внутреннего диаметра кожуха аппарата. К недостаткам односегментных перегородок можно отнести наличие разновидных потоков жидкости между трубным пучком и кожухом, а также значительное гидравлическое сопротивление. Если перепад давления, вызванный сегментными и винтовыми перегородками слишком большой или необходимо больше поддержек трубного пучка, чтобы предотвратить вибрацию, можно использовать несколько сегментных и винтовых перегородок.

Постановка задачи. Для определения эффективности от использования перегородки винтовой формы необходимо сравнить характеристики судовых кожухотрубчатых теплообменных аппаратов с винтовой перегородкой и с наиболее часто на сегодняшний день применяемыми - сегментными. Модель сегментной и винтовой перегородки представлена на рисунке 1 (а,б).

Перегородки могут быть сегментированными или непрерывными в зависимости от перепада давления и эффективности. В этом исследовании геометрия перегородок, такая как сегментная перегородка с сечением 30^0 (СП-30), сегментная перегородка с сечением 60^0 (СП-60), винтовая перегородка с сечением 30^0 (ВП-30) и винтовая перегородка с сечением 60^0 (ВП-60) берется для анализа производительности СТА. Кожухотрубный СТА с различной геометрией перегородки моделируется с использованием компьютерной программы FLUENT для выбора наилучшей возможной геометрии. Спецификация конструкции СТА представлена в таблице 1. Для расчетного исследования выбрана модель с числом численной сетки 0,48 млн. Малый шаг сетки обеспечена вблизи стенки жидкой области с четырехугольными и шестиугольными элементами.



а) сегментная перегородка б) винтовая перегородка

Рис. 1. *Модель сегментной и винтовой перегородки маслоохладителя (СТА)*

Для данного исследования рассматривается метод k-ε с условием прилипания вблизи стенки. СТА и перепад давления можно рассчитать по соотношению, приведенному [6,7] в уравнениях (1) и (2) можно использовать для определения перепада давления, коэффициенты трения и теплоотдачи соответственно.

$$f = \frac{2\Delta P_0}{\rho u^2}\frac{d_0}{l} \quad (1)$$

$$Nu = \frac{\alpha d_0}{\lambda} \quad (2)$$

где ΔP_0 - перепад давления на межтрубном пространстве, ρ - плотность дизельного масла, d_0 - внешний диаметр трубного пучка, l - эффективная длина СТА, α-коэффициент теплоотдачи, λ-коэффициент теплопроводности. Коэффициент трения f можно рассчитать по корреляции, полученной по экспериментальному результату, u-средняя скорость потока дизельного масла [7].

$$f = C_1 Re^{m_1} \quad (3)$$

где C_1 - константа коэффициента трения, которую можно выбрать из таблицы 2 на основе числа Рейнольдса. Число Нуссельта можно рассчитать по соотношению, приведенному ниже [7].

$$Nu = C_2 Re^{m_2} Pr^{1/3} \quad (4)$$

где C_2 - константа числа Нуссельта, которую можно выбрать из таблицы 3 в зависимости от конфигурации перегородки. Коэффициент трения и коэффициент теплоотдачи можно рассчитать по уравнениям. (2) и (4) соответственно [8].

Таблица 1

Технические характеристики СТА

Характеристики	Размеры
Внутренний диаметр трубы (d_i)	0,016 м
Наружный диаметр трубы (d_o)	0,02 м
Длина трубки (L)	0,150 м
Количество трубок (N)	142
Толщина перегородки	0,01 м
Равноудаленная опора (измеряется от осевой линии перегородки)	0,1 м
Наружный диаметр кожуха (D_o)	0,184 м
Внутренний диаметр кожуха (D_i)	0,640 м
	0,620м

Таблица 2

Корреляция для коэффициента трения

СТА	C_1	m_1	Число Рейнолдса
Винтовой	3,76	-0,578	<1960
	0,316	-0,251	>1960
Сегментный	2,79	-0,269	<752
	1,41	-0,167	>752

Таблица 3

Корреляция для числа Нуссельта

СТА	C_2	m_2
Винтовой	0,0599	0,669
Сегментный	0,0889	0,717

Анализ полученных результатов. Программа CFD (FLUENT) использовался для оценки изменения температуры на межтрубном пространстве и на стороне трубы. На рис. 1 показано изменение температуры при различных температурах на входе со стороны межтрубного пространства и со стороны трубы.

Результат показывает, что винтовая перегородка с разрезом перегородки 30^0 более эффективно, чем другие модели. По результатам, полученным с помощью CFD, было проведено теоретическое исследование теплообменника с сегментными и винтовыми перегородками.

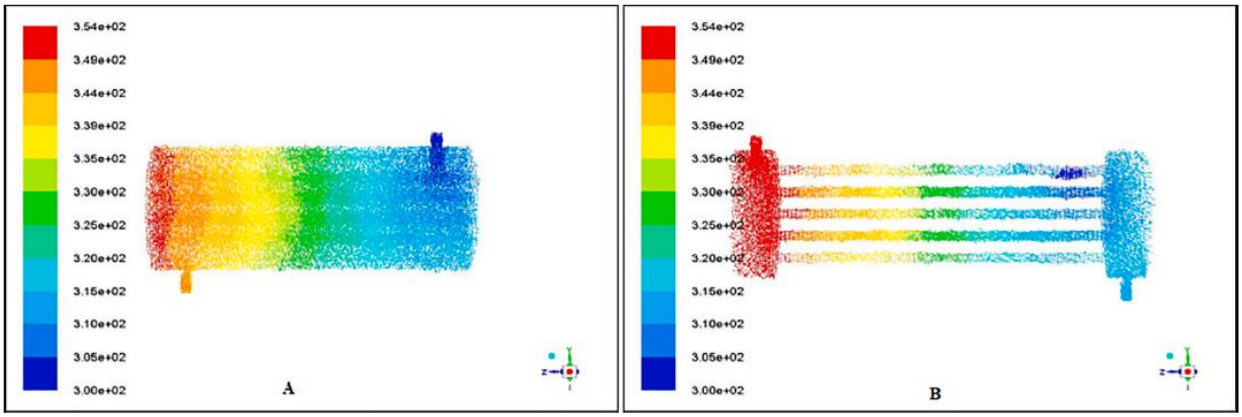


Рис. 2. *Изменение температуры со стороны межтрубного пространства (A) и со стороны трубы (B)*

В этом исследовании также сравниваются винтовая и сегментарная перегородки, винтовая перегородка с углом подъема 25^0 берется и сравнивается с сегментной перегородкой с точки зрения эффективности, перепада давления и числа Нуссельта. Рис. 2 показывает, что перепад давления для сегментной перегородки больше, чем для винтовой перегородки. Хотя коэффициент теплопередачи у сегментной перегородки больше, чем у винтовой перегородки.

Было выявлено что, охлаждение масла в СТА с предлагаемой винтовой перегородкой происходит интенсивнее. Таким образом, применение винтовой перегородки повышает интенсивность теплоотдачи. Увеличение эффективности теплообменного аппарата с винтовой перегородкой достигается за счёт равномерного распределения потока по межтрубному пространству и исключения застойных зон – основной причины низкой эффективности кожухотрубчатых теплообменных аппаратов.

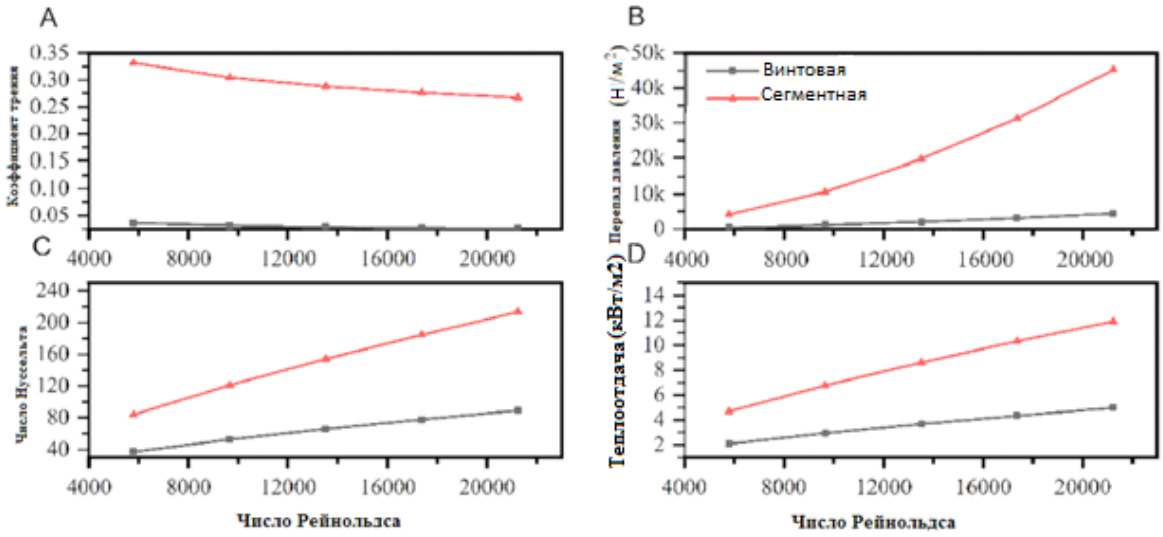
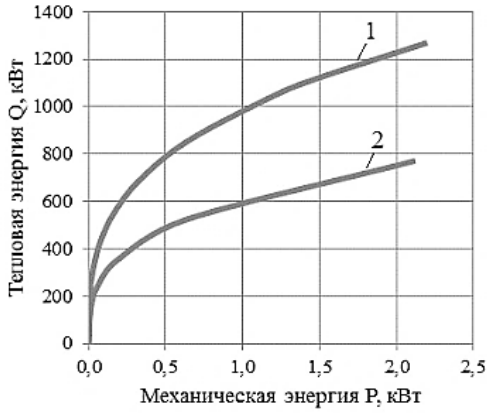


Рис. 3. *Влияние числа Рейнольдса на A) коэффициент трения B) перепад давления C) число Нуссельта (D) коэффициент теплоотдачи*

На основе полученных результатов были построены графики зависимости тепловой энергии Q, передаваемой от одного теплоносителя к другому, от механической энергии P, затрачиваемой на прокачку теплоносителя через межтрубное пространство для двух типов теплообменных аппаратов. Графики представлены на рисунке 3.



1 –с винтовой перегородкой;
2 – с сегментными перегородками

Рис. 4. *График зависимости тепловой энергии от механической энергии с винтовыми(1) и сегментными(2) поперечных перегородок СТА*

Заключение. В результате решения поставленной задачи были определены все основные параметры, характеризующие работу СТА: скорость, давление, температура, коэффициенты трения и теплоотдачи. Охлаждение эффективности дизельного масла главного двигателя на выходе для модели с винтовой перегородкой составила 18-20%, для модели с сегментными перегородками 8-10%.

Выявлено что, охлаждение дизельного масла в аппарате с предлагаемой винтовой перегородкой происходит интенсивнее. Применение винтовой перегородки повышает интенсив-

ность теплоотдачи. Увеличение эффективности теплообменного аппарата с винтовой перегородкой достигается за счёт равномерного распределения температурного поля потока масла по межтрубному пространству и исключения застойных зон .

Литература

1. Гасанов В.Г., Ибрагимли Э.Н. Исследование оптимальных условий эксплуатации труб судовых теплообменых аппаратов//Материалы I Международной научно-практической конференции «Проблемы устойчивого развития морской отрасли», 3-5 ноября 2021г., Херсон, Украина, с.211-214.
2. Гасанов В.Г., Ибрагимли Э.Н. Оптимальный режим нанесения силикатного покрытия на поверхность теплообменной трубы//ADDA, “Texniki və təbiət elmlərinin innovativ inkişaf perspektivləri” beynəlxalq elmi-texniki konfransının materialları (25-26 noyabr 2021), Bakı, s.130-133.
3. Гасанов В.Г., Ибрагимли Э.Н. Регулирование влияния конструкции перегородки на тепловые процессы труб судовых теплообменных аппаратов//ADDA-nın Elmi əsərləri, № 1, səh.114-117, 2021, Bакı, Azərbaycan.
4. Четверткова, О.В., Ризванов Р.Г., Чернятьева Р.Р. Влияние расстояния между поперечными перегородками и высоты выреза перегородки на тепловую эффективность кожухотрубчатого теплообменника //Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2015.№6. С.452-465. URL: http://ogbus.ru/issues/6_2015/ogbus_6_2015_p452-465_ChetvertkovaOV_ru. pdf
5. Четверткова, О.В., Ризванов Р.Г. Влияние конструктивных параметров на эффективность теплообмена в межтрубном пространстве кожухотрубчатого теплообменника // Инновации и наукоемкие технологии в образовании и экономике: сборник материалов VIII Всероссийской научно-методической конференции (с международным участием). – В 2-х частях. – Ч.1. – Уфа: РИЦ БашГУ, 2012. – С. 87-91.
6. S.K. Shinde, M.H. Pancha, S. Pavithran, Improved performance of helixchanger over segmental baffle heat exchanger using kern's method, Int. J. Adv. Eng. Technol. 5 (1) (2012) 29
7. B. Peng, et al., An experimental study of shell-and-tube heat exchangers with continuous helical baffles, J. Heat Transfer 129(10) (2007) 1425–1431.
8. A. El Maakoul, et al., Numerical comparison of shell-side performance for shell and tube heat exchangers with trefoil-hole, helical and segmental baffles, Appl. Therm. Eng. 109 (2016) 175–185.

Məqalə qəbul olunub: 22.04.25
Tövsiyə edib: dos. İsmayılov A.Ş.

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: 22.05.25. Çapa imzalanıb 23.06.25.
Format 60x84 $^{1}/_{8}$. F.ç.v.25,8. Sifarış №33
Kağız əla növ. Tiraj 60 nüsxə. Qiyməti müqavilə ilə.

"Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası" PHŞ-nin mətbəəsi