“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-2024

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

Redaksiya heyəti

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

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

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

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

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

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

t.e.d., prof. N.Ş.İsmayılov
(məsul katib)

Bölmələr üzrə redaktorlar:

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

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

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

4. Gəmiçilikdə təbiət 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, 2024

MÜNDƏRİCAT

GƏMİQAYIRMA VƏ GƏMİ TƏMİRİ TEXNOLOGİYASI

Məmmədov A.T., İsmayılov N.Ş., Sadıqov V.B., Məmmədov E.D., Orucov F.S. Gəmiqayırma üçün legirli poladlar istehsalında innovativ texnologiyaların imkanları..... 7
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..... 14
Əziz S.Ş. 32CrMoV12-10 markalı poladların honlama ilə emalında ölçü dəqiqliyinin formalaşması..... 21
Гафаров А.М., Ханкишиев И.А., Гафаров В.А., Пашазаде С.Г. Исследования динамических характеристик процесса наружного хонингования при обработке высокоточных деталей судовых машин и механизмов..... 28
Məmmədov A.T., Babayev A.İ., İsmayılov N.Ş., Hüseynov M.Ç. Ferroərintilər istehsalının vəziyyəti və perspektivləri..... 33
Məmmədov A.T., Babayev A.İ., İsmayılov N.Ş., Hüseynov M.Ş., Quliyev F.T. Yerli resurslar əsasında legirli poladlar və ferroərintilər istehsalı üçün Azərbaycan Respublikasında xammal ehtiyatlarının analizi 38
Мамедов А.Т., Исмаилов Н.Ш., Ханкишиев И.А., Келбиев Ф.М., Бабаев Л.В. Перспективы применения металлургических продукций Азербайджана в судостроении и судоремонте..... 44
Sylvio Simon, Yusubov N.D., Əmirli S.F. Hidroabraziv emalın gəmiqayırmada tətbiqi..... 47
Yusubov N.D., Abbasova H.M., Hüseynov R.Ə., Dadaşov R.Y., Cabbarov R.C. Mexaniki emal texnoloji proseslərinin riyazi modelləşdirilməsi..... 52

GƏMİÇİLİK VƏ SU NƏQLİYYATININ İSTİSMARI

Kuznetsov A.L., Semenov A.D. Digital methods of sea container terminals' design..... 62
Гулиев Н.Н. Анализ принципа работы микроволновых систем контроля позиции на современных судах, оснащенных системой динамического позиционирования (DП)... 71
Rüstəmov Z.Ə., Rüstəmova N.Z. Xəzərdə mütərəqqi konteyner daşımaları..... 77
Temirbulatov E.M., Abbasov E.O. Xəzər dənizində neft platformaları və üzən qurğuların təsnifatı..... 87

GƏMİÇİLİK TEXNİKASI

Akhundov E.F., Amirbayov A.H. Researching of the main factors that affect the flow of liquid moving in different modes in pipelines 93
Əliyev N.S. Soyuducu agentlərin qarışığı ilə işləyən aşağı temperaturlu soyuducu qurğu..... 98
Fərhadov V.Q., Qocayeva A.B., Bayramova İ.P. Qeyri-müəyyənlik şəraitində tənzimləyicilərin sintezi məsələsi..... 105
Fərhadov V.Q., Qocayeva A.B., Mirzəquliyev R.E., Bayramova İ.P. Dəyişən strukturlu və məntiqi idarəetmə alqoritmlərinin işlənilməsi..... 113
İsmayılov A.Ş., Əliyev Ə.A. Baş gəmi dizelinin istismar parametrlərinin dəyişməsinin mühərrikin göstəricilərinə təsirinin nəzəri tədqiqi..... 122

Lazimov T., Sadigov A. Research of dependence of transitional voltages at switching-off high-voltage MSC on capacitance of substation busbars…….. 130
Muradəliyev A.Z., Hüseynov K.Ş. Gəmi elektrik təchizatı sisteminin etibarlılığının və təhlükəsizliyinin təhlili üsulları..... 136
Sultanov E.F., Həsənov E.A., Qurbanov A.T. Gəmi elektrik intiqallarının effektiv idarəolunmasının xüsusiyyətləri..... 143
Sultanov E.F., Həsənov E.A., Əlicanov R.R. Asinxron intiqallı avtomatlaşdırılmış gəmi yedək bucurqadının dinamiki rejimlərinin Matlab/Simulink proqramında tədqiqi..... 148
Sultanov E.F., Səlimova A.K., Məmmədov E.M., İsmayılov S.S.. Avar elektrik qurğularında tətbiq edilən yüksək gərginlikli tezlik çeviricilərinin analizi..... 155

GƏMİÇİLİKDƏ TƏBİƏT ELMLƏRİNİN PROBLEMLƏRİ

Алиева И.К., Алиев Х.М. Прочность полимерных композиций в постоянном электрическом поле…… 162
Həsənov V.H., Məlikov F.Ə., Axundova G.A. Dəniz nəqliyyatında baş verən qəzaların tədqiqi 171
Həsənov V.H., Həziyev Ə.R., Ömərov A.S., Həsənova L.A. Gəmi duzsuzlaşdırma qurğusunda istilik mübadiləsinin analizi..... 176
Həsənov Y.N. Temperaturun ölçülməsi və fundamental fiziki sabitlər. Geri dönməzliyin baş verməsi və temperaturun dinamik əsasları..... 181
Həsənov Y.N. Avoqadro sabitini təyin etmək üçün müasir metodlar və onların dəqiqliyini artırmaq perspektivləri..... 185
Həsənov V.H., Süleymanov T.A., İmanov E.İ., İmanova A.Y. Peyk rabitə sistemləri..... 191

CONTENT

SHIPBUILDING AND SHIP REPAIR TECHNOLOGY

Mammadov A.T., Ismayilov N.Sh., Sadigov V.B., Mammadov E.D., Orujov F.S. Opportunities of innovative technologies in the production of alloy steel for shipbuilding…….. 7
Bogatenkov S.A., Sazonova N.S., Yusubov N.D., Abbasova H.M., Dadashov R.Y., Badalova B.B. Artificial intelligence for computer-aided design of multi-tool operations….. 14
Aziz S.Sh. 32CrMoV12-10 branded steel honing shaping measurement accuracy in recycling 21
Gafarov A.M., Khankishiev I.A., Gafarov V.A., Pashazade S.G. Research of the dynamic characteristics of the external honing process when processing high-precision parts of ship machines and mechanisms..... 28
Mammadov A.T., Babayev A.İ., Ismayilov N.Sh., Huseynov M.Ch. State and prospects of ferroalloy production…… 33
Mammadov A.T., Babayev A.İ., Ismayilov N.Sh., Huseynov M.Ch., Guliyev F.T. Analysis of raw material reserves of the Republic of Azerbaijan for the production of alloyed steel and ferroalloys..... 38
Mamedov A.T., Ismailov N.Sh., Khankishiev I.A., Kelbiev F.M., Babaev L.V. Prospects for the application of metallurgical products of Azerbaijan in shipbuilding and ship repair…… 44
Sylvio S. Yusubov N.D., Amirli S.F. Application of hydro abrasive processing in shipbuilding 47
Yusubov N.D., Abbasova H.M., Huseynov R.A., Dadashov R.E., Jabbarov R.J. Mathematical modelling of technological processes in mechanical processing…… 52

SHIPPING AND EXPLOITATION OF WATER TRANSPORT

Kuznetsov A.L., Semenov A.D. Digital methods of sea container terminals' design……. 62
Guliev N.N. Analysis of the operating principle of microwave position control systems on modern ships equipped with a dynamic positioning (DP) system…….. 71
Rustamov Z.A., Rustamova N.Z. Advanced container shipping in the Caspian Sea..... 77
Temirbulatov E.M., Abbasov E.O. Classification of oil platforms and floating facilities in the Caspian Sea..... 87

SHIPPING TECHNIQUE

Akhundov E.F., Amirbayov A.H. Researching of the main factors that affect the flow of liquid moving in different modes in pipelines …… 93
Aliyev N.S. A low-temperature refrigeration unit working with a mixture of refrigerants..... 98
Farhadov V.G., Gojayeva A.B., Bayramova I.P. The problem of regulatory synthesis under uncertainty..... 105
Farhadov V.G., Gojayeva A.B., Mirzaguliyev R.E., Bayramova I.P. Development of variable structure and logical control algorithms..... 113
Ismayilov A.S., Aliyev A.A. Theoretical study of the effect of changing the operating parameters of the main marine diesel engine on the engine indicators..... 122
Lazimov T., Sadigov A. Research of dependence of transitional voltages at switching-off high-voltage MSC on capacitance of substation busbars……..… 130

Muradaliyev A.Z., Huseynov K.Sh. Methods of analysis the reliability and safety of ship power supply……..... 136
Sultanov E.F., Hasanov E.A., Gurbanov A.T. Features of efficient management of ship electrical drives……..…… 143
Sultanov E.F., Hasanov E.A., Alijanov R.R. Matlab/Simulink program study of dynamic modes of asynchronous transmission automated ship towing rocker…..... 148
Sultanov E.F., Salimova A.K., Mammadov E.M., Ismayilov S.S. Analysis of high voltage frequency converters applied in paddle electrical installations..... 155

NATURAL SCIENCE PROBLEMS IN NAVIGATION

Alieva I.K., Aliev Kh.M. Stability of stable electric field of polymer composites…… 162
Hasanov V.H., Malikov F.A., Akhundova G.A. Investigation of accidents in ship transport..... 171
Hasanov V.H., Haziyev A.R., Omarov A.S., Hasanova L.A. Analysis of heat exchange in a ship desalination plant..... 176
Hasanov Y.N. Measurement of temperature and fundamental physical constants. The emergence of irreversibility and the dynamic basics of the temperature..... 181
Hasanov Y.N. Modern methods for determining Avogadro's constant and prospects for improving their accuracy..... 185
Hasanov V.H., Suleymanov T.A., Imanov E.I., Imanova A.Y. Satellite communication systems 191

GƏMİQAYIRMA VƏ GƏMİ TƏMİRİ TEXNOLOGİYASI

UOT 621.746

GƏMİQAYIRMA ÜÇÜN LEGİRLİ POLADLAR İSTEHSALINDA İNNOVATİV TEXNOLOGİYALARIN İMKANLARI

Məmmədov A.T., İsmayılov N.Ş., Sadıqov V.B., Məmmədov E.D., Orucov F.S.

"Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası"PHŞ
AZ1000, Bakı şəh., Z.Əliyeva küç., 18
E-mail: nizism@mail.ru

Xülasə. *Gəmiqayırma üçün legirli poladlar istehsalında maye metalın sobadankənar emalının innovativ texnologiyalarının imkanları qiymətləndirilmişdir. Gəmiqayırma üçün legirli poladlar istehsalının mənimsənilməsində əsas vəzifələr müəyyən olunmuşdur.*

Gəmiqayırma poladının vanadiumla səmərəli legirlənməsi nəzəri və texnoloji cəhətdən əsaslandırılmışdır. Legirli poladın elektrik sobalarında əritmə proseslərinin xüsusiyyətləri müəyyən edilmişdir. Legirli poladın yüksək keyfiyyətini təmin etmək üçün soba-çalov qurğusunda sobadankənar emalın innovativ texnologiyaların tətbiqinin məqsədəuyğunluğu elmi və texnoloji cəhətdən əsaslandırılmışdır.

Müəyyən olunmuşdur ki, müasir elektroəritmə və maye metalın sobadankənar emalının innovativ texnologiyaları gəmiqayırma təyinatlı yüksək keyfiyyətli legirli poladlar istehsalı üçün geniş imkanlara malikdir. Gəmiqayırma üçün legirli poladın fasiləsiz tökmə, yayma və termiki emal proseslərinin dərindən araşdırılması növbəti tədqiqatların predmeti kimi hədəflənmişdir.

Abstract. *The possibilities of innovative technologies of liquid metal out-of-furnace processing in the production of alloy steels for shipbuilding have been evaluated. The main tasks for the development of the production of alloy steels for shipbuilding have been determined.*

Effective alloying of shipbuilding steel with vanadium is theoretically and technologically justified. The characteristics of alloy steel melting processes in electric furnaces have been determined. In order to ensure the high quality of alloy steel, the expediency of applying innovative technologies of out-of-furnace processing in the furnace-chamber unit is scientifically and technologically justified.

It has been determined that the innovative technologies of modern electromelting and non-furnace processing of liquid metal have wide possibilities for the production of high-quality alloy steels for shipbuilding. Investigation of continuous casting, rolling and thermal treatment processes of alloy steel for shipbuilding is targeted as the subject of further research.

Аннотация. *Оценены возможности инновационных технологий внепечной обработки жидкого металла при производстве легированных сталей для судостроения. Определены основные задачи по освоению производства легированных сталей для судостроения.*

Теоретически и технологически обосновано экономное и эффективное легирование судостроительной стали ванадием. Определены особенности процессов плавки легированных судостроительных сталей в электропечах. Для обеспечения высокого качества легированной стали научно обоснована целесообразность применения инновационных технологий при внепечной обработке в агрегате печь-ковш.

Определено, что современная технология электроплавки и инновационные способы 0внепечной обработки жидкого металла имеют широкие возможности для производства вы-

сококачественных легированных судостроительных сталей. Предметами дальнейших исследований указаны исследования процессов непрерывной разливки, прокатки и термической обработки легированных сталей для судостроения.

Açar sözlər: *gəmiqayırma, legirli poladlar, elektroəritmə, sobadankənar emal*
Key vords: *shipbuilding, alloy steels, electromelting, non-furnace processing*
Ключевые слова: *судостроение, легированные стали, электроплавка, технологии внепечной обработки*

Giriş. Aparılan araşdırmalar göstərmişdir ki, "Baku Steel Company" MMC-də fasiləsiz tökmə üsulu ilə pəstahların yüksək keyfiyyətinin təmin edilməsi əsasən metal şixtənin düzgün seçilməsi, elektroqövs sobasında əritmədə termodinamik parametrlərin idarə olunması, habelə zərərli aşqarların maye metaldan effektiv kənarlaşdırılması ilə əlaqədardır (1,2).

Əvvəlki tədqiqatlarımızda metal tullantıları və metallaşdırılmış yuvarlardan istifadə etməklə elektropoladəritmə prosesinin termodinamik parametrləri qiymətləndirilmiş və maye metaldan zərərli aşqarların (P və S) effektiv kənarlaşdırılması yolları göstərilmişdir (3,4).

Maye metalda karbon və oksigenin konsentrasiyalarının nizamlanması əsasında qaynama prosesində üfürülən qaz təzyiqinin seçilməsi əsaslandırılmışdır; pəstahların termiki emalında yüksək mexaniki xassələrə nail olmaq üçün poladın vanadiumla səmərəli və qənaətli legirlənməsi təklif olunmuşdur (5,6).

Bu tədqiqatın məqsədi gəmiqayırma üçün legirli polad pəstahları istehsalında maye metalın sobadankənar emalının innovativ texnologiyalarının imkanlarını qiymətləndirməkdir.

Gəmiqayırma üçün legirli polad pəstahları istehsalının mənimsənilməsi üçün aşağıdakı **əsas vəzifələr** müəyyən olunmuşdur:

1. Poladın vanadiumla səmərəli legirlənməsinin nəzəri-texnoloji əsaslandırılması.
2. Legirli poladın əritmə proseslərinin xüsusiyyətlərinin müəyyən edilməsi.
3. Legirli poladın sobadankənar emalının xüsusiyyətlərinin müəyyən edilməsi.

1. Poladın vanadiumla səmərəli legirlənməsinin nəzəri-texnoloji əsaslandırılması. Müəyyən edilmişdir ki, gəmiqayırma üçün poladın keyfiyyətinin radikal yaxşılaşdırılması üçün ən effektiv üsullarından biri poladın legirlənməsidir. Legirləmə prosesinin sistemli təhlili əsasında poladın vanadiumla səmərəli legirlənməsinin nəzəri və texnoloji əsaslandırılması aparılmışdır (7, 8).

Təyin olunmuşdur ki, gəmiqayırma üçün polad pəstahların hazırlanması üçün geniş istifadə olunan azkarbonlu poladlar artmış tələblərə cavab vermir və onlardan istifadə edilməsi çox vaxt gəmi gövdə konstruksiyalarının xidmət müddətinin qısalmasına gətirib çıxarır. Gəmiqayırma poladlarının istismar xassələrinin artırılması səmərəli legirləmə, innovasiyalı üsullarla sobadankənar emal və sonra da pəstahların termiki emal ilə əldə edilə bilər.

Məlumdur ki, nikel və molibdenli poladlar daha yüksək mexaniki xassələrə malikdir, lakin bu legirləyici elementlər aztapılan və bahalı olduqlarından kütləvi gəmiqayırma pəstahları istehsalı üçün tövsiyə edilə bilməz.

Tədqiqatlar göstərmişdir ki, vanadiumla mikrolegirləmə zamanı gəmiqayırma üçün poladın bir sıra fiziki-mexaniki, texnoloji və istismar xassələri xeyli yaxşılaşır. Odur ki, vanadiumla səmərəli mikrolegirlənmiş gəmiqayırma poladının istifadəsi daha perispektivli hesab olunmuşdur. Bunu həm də vanadiumlu poladın ucuz başa gəlməsilə izah etmək olar.

Vanadium maye metalın kristallaşması prosesində ilkin dənələri xırdalayır, poladın tabəksiltmə kövrəkliyini aşağı salır, möhkəmliyini və plastikliyini artırır. Belə xüsusiyyətlərinə görə məsul pəstahların hazırlanmasında vanadium geniş istifadə olunur.

Beləliklə, yüksək möhkəmliyə, kifayət qədər plastikliyə, korroziyaya davamlılığa, habelə yaxşı qaynaqlanma qabiliyyətinə malik, üstəlik vanadiumla qənaətlə legirlənmiş poladının işlənməsi və tətbiqi perspektivli hesab olunmuşdur.

2. Legirli poladın əritmə proseslərinin optimallaşdırılması. Elektrik poladının əritmə prosesinin riyazi modellərinin xüsusiyyətləri araşdırılmışdır. Göstərilmüşdir ki, məsələnin qoyuluşundan asılı olaraq elektrik poladının əridilməsində statik, dinamik və kombinə olunmuş modellər tətbiq oluna bilər.

Müəyyən edilmişdir ki, əritmənin parametrləri və təsir edən amillər arasında funksional əlaqəni ifadə edən tənliklər sistemi - determinə olunmuş riyazi modellər istifadə edilə bilər. Modelləşdirmə nümunəsi kimi metal tullantılar əsasında elektrik poladəritmə prosesində yaranan posanın optimal miqdarının hesablanması metodikası təklif olunmuşdur.

Göstərilmişdir ki, son onillikdə fasiləsiz tökmə pəstahları üçün poladəritmə üsullarından elektropoladəritmə üsulu birinci yerə çıxmışdır. Hazırda polad istehsalında elektrik poladının xüsusi çəkisi 90%-ə qədər artmışdır. Bu isə elektrometallurgiyanın şəksiz üstünlüklərilə əlaqədardır.

Gəmiqayırma üçün legirli poladın əridilməsi "Baku Steel Company" MMC şəraitində 60 tonluq elektrik sobalarında aparıla bilər və şixtənin əsas metallik hissəsini ГОСТ 2787-63 üzrə polad tullantıları təşkil etməlidir. Tullantıların qabarit ölçüləri tələbata görə 600×350×250 mm-dən çox olmamalıdır.

Müəyyən edilmişdir ki, elektrik əritməsi və soba-çalov qurğusunda emal texnologiyalarının tətbiqi tullantılardan maksimum istifadə olunmasına şərait yaradır. Lakin şixtə materiallarının seçilməsində **aşağıdakı tövsiyələri** nəzərə almaq lazımdır:

–azkarbonlu və azlegirli gəmiqayırma poladları əridərkən şixtə materiallarında legirləyici elementlərin miqdarı minimum olmalıdır; məlum kimyəvi tərkibə malik olan şixtə materiallarından istifadə olunmalıdır;

–gəmiqayırma üçün poladın əritmə prosesi kükürd və fosforun minimum miqdarına malik şixtədən istifadə olunmasını tələb edir; metallik şixtədə pas və qeyri-metalların miqdarı minimum olmalıdır;

–istifadə olunan ferroərintilər, saflaşdırıcı və modifikatorlar təmiz və qurudulmuş halda olmalıdır.

Tövsiyə olunmuşdur ki, gəmiqayırma poladının əridilməsi zamanı yalnız Si75 markalı elektrotermiki ferrosilisiumdan istifadə olunmasına üstünlük verilsin (PCT 1415-95). Ferromanqanın üç növündən istifadə etmək tövsiyə olunmuşdur: karbonlu ferromanqan Mn5 və ya Mn6 (PCT 5165-95), elektrotermiki ferromaqnan Mn0, Mn1, Mn2 (PCT 4755-95) və metallik manqan Mn00; Mn0; Mn1; Mn2 (RST 6008-95).

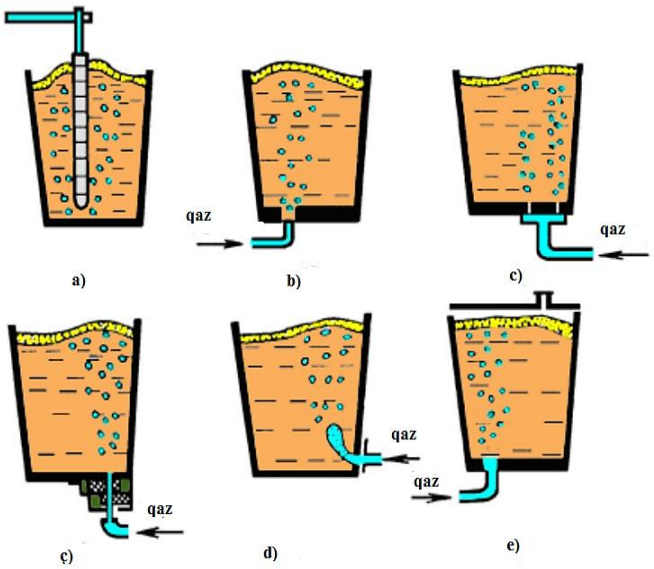
Gəmiqayırma üçün legirli elektrik poladını saflaşdırmaq üçün silikomanqan – SiMn 20, Si Mn 17 və Si Mn 14 (PCT 4756-95), silikokalsium, habelə silikosirkonium istifadə etmək tövsiyə olunmuşdur. Metalın son saflaşdırılma prosesi soba-çalov qurğusunda təkrar alüminiumla (PCT 295-96) reduksiya etməklə aparılmalıdır. Soba-çalovda həmçinin ferroborun (10-12% bor) az miqdarda əlavəsi (0,001% B) poladın mexaniki xassələrini və tablanma qabiliyyətini yaxşılaşdıran modifikator kimi istifadə edilməsi təklif olunmuşdur.

3. Legirli poladın sobadankənar emalının xüsusiyyətləri. Legirli poladın kimyəvi tərkibi və temperaturunun lazımi həddə çatdırılmasının bilavasitə sobada yerinə yetirilməsi əritmə müddətinin uzanması, aqreqatın məhsuldarlığının azalması və legirləyici elementlərin yanmasına gətirib çıxarır. Odur ki, innovativ metallurji texnologiyalar əsasında sobadankənar emal nəinki gəmiqayırma poladının keyfiyyətini əhəmiyyətli yüksəltməyə, eləcə də prinsipcə yeni xassələrə malik polad almağa imkan verir.

Gəmiqayırma poladlarının tələb olunan keyfiyyətini təmin etmək üçün sobadankənar emalın aşağıdakı innovativ üsullarını tətbiq etmək təklif olunmuşdur:

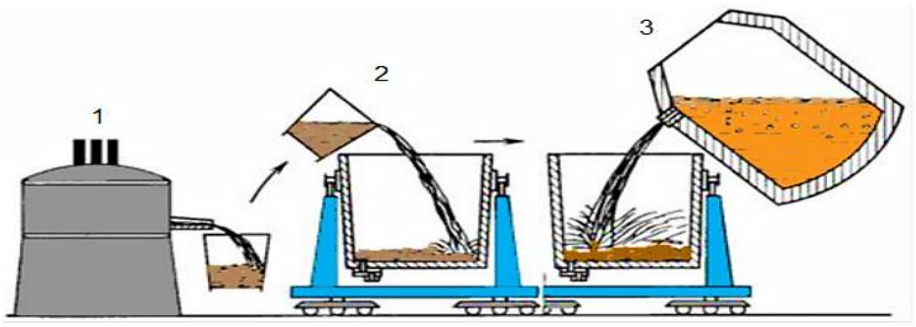
- maye metalın vakuumla emalı və təsirsiz qazla üfürülməsi;
- maye metalın sintetik posa, maye və bərk posa qarışıqları ilə emalı;
- maye metalın dərinliyinə müxtəlik reagentlərin daxil edilməsi.

Təsirsiz qazla poladın üfürülməsini soba-çalovda həyata keçirmək təklif olunmuşdur. Təsirsiz qaz qismində əsasən arqon istifadə etmək və üfürməni əsasən çalovun dibindən müxtəlif üsullarla həyata keçirmək olar (şəkil 1).



Şəkil 1. Çalovda maye metalın üfürülməsi üsulları:
a – daldırılma furma vasitəsilə; b – məsaməli blok vasitəsilə; c – çalovun dibində məsaməli tikişlər vasitəsilə; ç – şiberli tıxac vasitəsilə; d – çalovun yan divarı vasitəsilə; e – SAB üsulu ilə

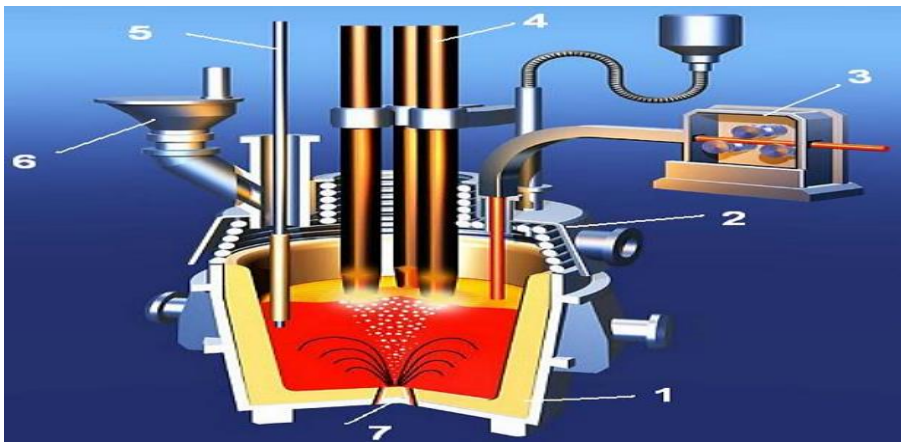
Maye metalın üfürülməsi zamanı arqonun sərfini 0,5-2,5 m^3/t həddində saxlamaq tövsiyə olunur. Təsirsiz qazla üfürməni vakuumla birlikdə tətbiq etdikdə arqonun sərfinin aşağı həddi götürülməlidir. Təsirsiz qazla üfürmə və sintetik posa ilə emal qeyri-metal birləşmələrin daha səmərəli ayrılmasına gətirib çıxarır. Kükürd, fosfor və oksigenin posaya tam keçməsini intensivləşdirmək üçün metalın maye sintetik posa ilə qarışdırılması tətbiq oluna bilər (şəkil 2).



Şəkil 2. Poladın maye sintetik posa ilə emalının texnoloji sxemləri:
1 – sintetik posa əritmək üçün qövslü elektrik sobası; 2 – polad tökmə çalovuna sintetik posanın tökülməsi; 3 – poladın buraxılması

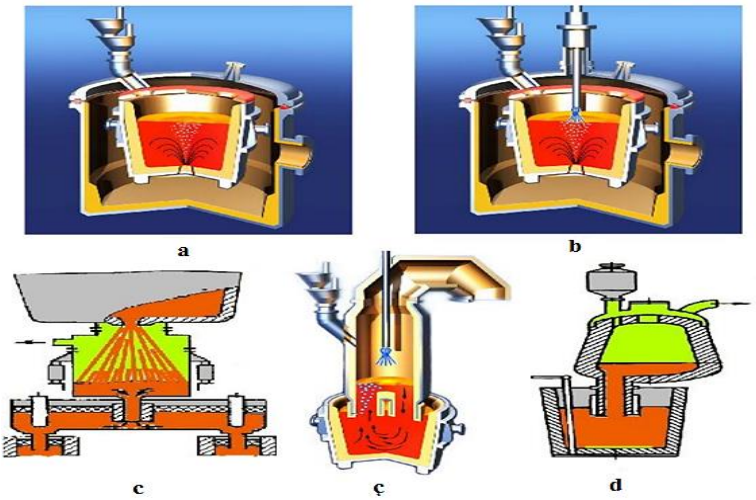
Maye metalda kükürdün miqdarını azaltmaq və oksigensizləşdirmək üçün əhəng-gilli posa, defosforasiya üçün əhəng-dəmirli posa, oksigen və oksid birləşmələrinin miqdarını azaltmaq üçünsə turş posa istifadə oluna bilər. Bu emal zamanı maye posa maye polad şırnağına verilməlidir. Sintetik posa əvvəlcədən əridilmiş və ~1600°C-dək qızdırılmalıdır. Sintetik posanın sərfi metalın kütləsinin 5-6%-i həddində götürülməlidir. Sintetik posa ilə emal müddəti metalın çalova buraxılma müddətilə məhdudlaşır.

Soba-çalov aqreqatında saflaşdırıcı və modifikatorun polada fasiləsiz verilməsi üçün xüsusi tərkibli ovuntudan hazırlanmış məftil istifadə etmək təklif edilir. Ovuntu məftilin ərintiyə daxil edilməsi istiqamətləndirici boru üzrə xüsusi traybaparatın köməyilə həyata keçirilir. Belə qurğulardan biri - SMS Mevas firmasının istehsalı olan soba-çalov qurğusunun sxemi şəkil 3-də təqdim olunmuşdur.



Şəkil 3. Soba-çalov qurğusunun sxemi:
1 – çalov, 2 – qapaq-tağ, 3 – məftil vermək üçün trayb-aparat, 4 – elektrodlar, 5 – arqon şırnağında silikokalsium ovuntusunu üfürmək üçün furma, 6 – səpilən ferroərinti və flüslərin verilməsi üçün tərtibat, 7 – arqon üfürmək üçün məsaməli tıxac

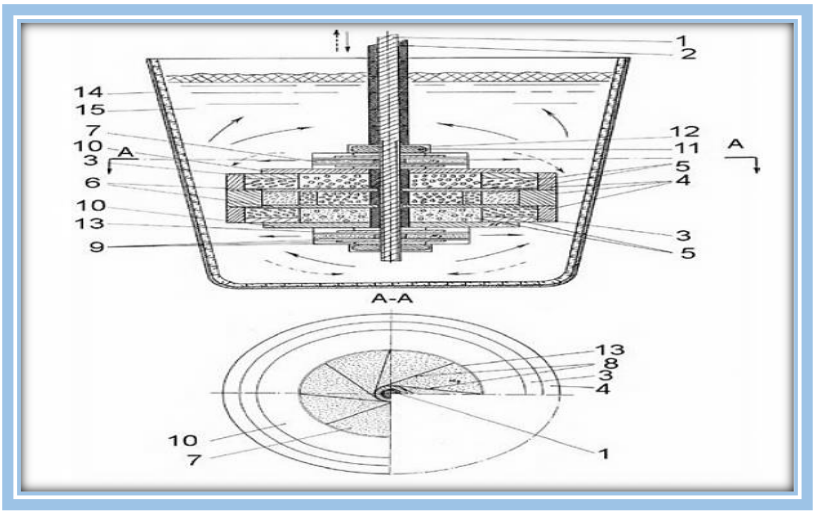
Poladın vakuumla emalı üçün bir neçə texnoloji sxem təklif olunur (şəkil 4): kameralı vakuumlama, poladın karbonsuzlaşdırılması, şırnaqlı vakuumlama, sirkulyasiyalı vakuumlama və paylı vakuumlama. Texnoloji cəhətdən sadə və etibarlı olduğundan karbonsuzlaşdırmaqla şırnaqlı vakuumlama gəmiqayırma üçün legirli poladın sobadankənar emalında daha səmərəli üsul kimi təklif edilir.



Şəkil 4. Poladın vakuumlaşdırılması sxemi:
a) kameralı vakuumlama; b) poladın karbonsuzlaşdırılması; c) şırnaqlı vakuumlama; ç) sirkulyasiyalı vakuumlama; d) paylı vakuumlama

Növbəti mərhələdə gəmiqayırma üçün legirli poladın sobadankənar emalının daha bir innovativ üsul - çalovda **impulslu-dinamik tərtibat (İDT)** tətbiq etmək tövsiyə olunur (şəkil 5). İDT poladın emalı üçün lazım olan materiallarla doldurulmuş kasetlərdən ibarətdir.

Materiallar kasetdə müvafiq qaydada düzülmüş və bir-birindən əriyən arakəsmələrlə ayrılmışdır. İDT poladın oksigensizləşdirilməsi, legirlənməsi, saflaşdırılması, modifisirləşdirilməsi, qazsızlaşdırılması, posanın ayrılması, kimyəvi tərkib və temperaturun bərabərləşdirilməsi kimi əməliyyatları yerinə yetirməyə imkan verir.



Şəkil 5. İmpulslu-dinamik tərtibatın sxemi:
1 – polad içlik; 2 –istiyədözümlü hörgülü oymaqlar; 3 – üfüqi divarlar; 4 – yığılan qabıq; 5 – reagentlərdən üzükvari elementlər; 6 – arakəsmələr; 7 – maqnezium qatı; 8 – istiqamətləndirici elementlər; 9 – istilik ekranı; 10 – alüminium lövhələr; 11 – dayaq; 12, 13 – qoruyucu qabıq; 14 – poladtökücü çalov; 15 – ərinti

İmpulslu-dinamik tərtibatda metalın çalovda qarışdırılması şırnaqlı-burulğanlı axınların reaktiv enerjisi hesabına həyata keçirilir. İntensiv qarışma fəal reagentlərin (Mg və ya Ca) oksidləşməsinin ekzotermik reaksiyaları əsasında gedir. Nəticədə çalovun bütün həcmində poladın səmərəli saflaşdırılması və homogenləşməsi təmin olunur.

Bu tərtibat vasitəsilə poladın emal müddəti 10 dəqiqədən çox olmur. İDT maye metal tökülmüş çalova xüsusi qaldırıcı mexanizm və ekran modulunun köməyilə daxil edilir. Emal müddətində çalovda metalın əlavə qarışdırılmasını təmin etmək üçün İDT ardıcıl olaraq metalda qaldırılıb endirilir. Çalovda sintetik posalarla maye poladın emalı posa-metal fazasında olan zərərli qatışıqların posaya keçmə prosesini intensivləşdirir.

Gəmiqayırma poladlarının sobadankənar emalında aşağdakı posalar istifadə oluna bilər: fosforun miqdarını azaltmaq üçün maye əhəng-dəmirli posalar; əsasi poladda oksigen və oksidli qeyri-metal ünsürlərin miqdarının azaldılması üçün turş posalar; kükürdsüzləşmə və metalın oksigen-sizləşdirilməsi üçün maye əhəng-gil torpaqlı posalar.

"Baku Steel Company" MMC şəraitində aşağıdakı tərkibli sintetik posanı istifadə etmək tövsiyə olunur, %: CaO 50–55; Al_2O_3 38–43; SiO 8-10; MgO 6-8; və (FeO+MnO) 1,0–1.5-dən az. Posanın qızdırılma temperaturu ~ 1500°...1600°C, posanın sərfi maye metalın kütləsinin 3–5%, yəni 3-10 kq/t tövsiyə olunur. Bu tərkibli sintetik posa ilə emaldan sonra metalda kükürdün miqdarı 0,002–0,010% həddində proqnoz edilir. Sintetik posada FeO-nun miqdarı çox az olduğundan metalın oksidləşməsi 1,5–2 dəfə azalır. Sintetik posa ilə emaldan sonra maye metalda qeyri-metal ünsürlərin miqdarı təxminən 2 dəfə azalır.

Nəticə. Beləliklə, gəmiqayırma üçün legirli polad pəstahları istehsalında maye metalın sobadankənar emalının innovativ texnologiyalarının imkanları qiymətləndirilmişdir. Gəmiqayırma üçün legirli polad pəstahlar istehsalının mənimsənilməsi üçün əsas vəzifələr müəyyən olunmuşdur.

Gəmiqayırma poladının vanadiumla səmərəli legirlənməsi nəzəri və texnoloji cəhətdən əsaslan-dırılmışdır. Legirli poladın elektrik sobalarında əritmə proseslərinin xüsusiyyətləri müəyyən

edilmişdir. Legirli poladın yüksək keyfiyyətini təmin etmək üçün soba-çalov qurğusunda sobadankənar emalın innovativ texnologiyaların tətbiqinin məqsədəuyğunluğu elmi və texnolji cəhətdən əsaslandırılmışdır.

Beləliklə, müasir elektroəritmə və maye metalın sobadankənar emalının innovativ texnologiyaları gəmiqayırma üçün yüksək keyfiyyətli legirli poladlar istehsalı üçün geniş imkanlara malikdir. Gəmiqayırma üçün legirli poladın fasiləsiz tökmə, yayma və termiki emal proseslərinin araşdırılması növbəti tədqiqatların predmeti ola bilər.

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

Ədəbiyyat

1. Mammadov A.T., İsmailov N.Ş., Huseynov M.Ç., Guliyev F.T. Structural changes in thermal hardening of construction reinforcing steels // Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції “Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» Том 2, 26 - 27 травня 2022 р. м. Чернігів, с.18-20
2. Mammadov A.T., İsmailov N.Ş., Huseynov M.Ç., Guliyev F.T. Some aspects of modeling of the steel-making process // матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції “Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» Том 2, 26 - 27 травня 2022 р. м. Чернігів, с.20-21
3. Məmmədov A.T., İsmayılov N.Ş., Hüseynov M.Ç., Quliyev F.T., Orucov F.S., Süleymanov M.Ə. “Baku Steel Company” MMC şəraitində gəmiqayırma poladlarının istehsalının təşkili üçün tövsiyələr” // Ümummilli lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 99-cu il dönümünə həsr olunmuş “Su nəqliyyatının problemləri” mövzusunda XVII Beynəlxalq elmi-texniki konfransın məruzə materialları, Bakı-2022, s.31-33
4. Quliyev F.T., Məmmədov A.T., İsmayılov N.Ş., Hüseynov M.Ç. “Baku Steel Company” MMC-də keyfiyyətin idarə olunmasının bəzi məsələləri // Ümummilli lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 99-cu il dönümünə həsr olunmuş “Su nəqliyyatının problemləri” mövzusunda XVII Beynəlxalq elmi-texniki konfransın məruzə materialları, Bakı-2022, s.110-114
5. Мамедов А.Т., Исмаилов Н.Ш., Гусейнов М.Ч., Гулиев Ф.Т. Особенности трудных соединения для нефтегазовой промышленности // сборник статей LXIII международный научно-практическая конференции "World science: problems and innovations", состоящего 30 марта 2022, в г. Пенза, Российская Федерация, с.57-60
6. Мамедов А.Т., Исмаилов Н.Ш., Гусейнов М.Ч., Гулиев Ф.Т. Критерии выбора внепечной обработки трубной стали для нефтегазовой промышленности / Машины, агрегаты, и процессы, проектирование, создание и модеризации: Материалы международной научно-практической конференции. – Санкт – Петербург: НИУМС, 2022, №5, с.48-50
7. Мамедов А.Т., Исмаилов Н.Ш., Гусейнов М.Ч., Гулиев Ф.Т. Основные виды дефектов при термической обработке труб для нефтегазовой промышленности и способы их устранения // Сборник статей XV Всероссийской научно-практической конференции. Пенза, МИНС “Наука и Просвещение”, 2022, 164 с
8. Мамедов А.Т., Исмаилов Н.Ш., Гусейнов М.Ч., Гулиев Ф.Т. Опыт производства горячекатанных труб для нефтегазовой промышленности с применением операции нормализации. Машины, агрегаты и процессы. Проектирование, создание и модернизация: Материалы международной научно-практической конференции. – Санкт-Петербург: НИЦ МС, 2022. – №6 с.43-47

Məqalə qəbul olunub: 01.04.24
Tövsiyə edib: dos. Xankişiyev İ.A.

УДК 621.941.01

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ МНОГОИНСТРУМЕНТНЫХ ОПЕРАЦИЙ

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

[1]Южно-Уральский Государственный Университет
Россия, Челябинск, прос. Ленина, 76
[2]Азербайджанский Технический Университет
AZ1073, 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, bahar_b@aztu.edu.az

Аннотация. *Автоматизированное проектирование операций на токарных станках с использованием нескольких позиций, суппортов и инструментов затруднено из-за отсутствия методов искусственного интеллекта для минимизации рисков, связанных с ошибками персонала. Целью работы является разработка метода искусственного интеллекта для автоматизированного проектирования операций, выполняемых на токарных станках по критерию производительности. На основе применения эвристического метода искусственного интеллекта и технологий цифрового двойника разработаны алгоритмы автоматизированного проектирования операций, выполняемых на токарных станках. Результаты исследования реализованы на примере проектных операций, выполненных на многошпиндельных горизонтальных токарных станках. Применение результатов исследований в системах автоматизированного проектирования (САПР) позволяет минимизировать риски, связанные с ошибками персонала.*

Xülasə. *İşçilərin səhvləri ilə bağlı riskləri minimuma endirmək üçün süni intellekt üsullarının olmaması səbəbindən bir neçə mövqe, support və alətlərdən istifadə edərək torna dəzgahlarında əməliyyatların layihələndirilməsinin avtomatlaşdırılması çətindir. İşin məqsədi məhsuldarlıq meyarına uyğun olaraq torna dəzgahlarında yerinə yetirilən əməliyyatların avtomatlaşdırılmış layihələndirilməsi üçün süni intellekt metodunu hazırlamaqdır. Məqalədə süni intellektin evristik metodu və rəqəmsal əkiz texnologiyalarının tətbiqi əsasında torna dəzgahlarında yerinə yetirilən əməliyyatların avtomatlaşdırılmış layihələndirilməsi alqoritmləri işlənib hazırlanmışdır. Tədqiqatın nəticələri çoxşpindelli üfüqi torna dəzgahlarında həyata keçirilən layihələndirmə əməliyyatları nümunəsi ilə reallaşdırılmışdır. Tədqiqatların nəticələrinin avtomatlaşdırılmış layihələndirmə sistemlərində (ALS) tətbiqi işçilərin səhvləri ilə bağlı riskləri minimuma endirməyə imkan verir.*

Abstract. *Automated design of operations on lathes using multiple positions, carriages and tools is difficult due to the lack of artificial intelligence methods to minimize the risks associated with personnel errors. The aim of the work is to develop an artificial intelligence method for computer-aided design of operations performed on lathes according to the performance criterion. Based on the application of the heuristic method of artificial intelligence and digital twin technologies, algorithms for computer-aided design of operations performed on lathes have been developed. The results of the study are implemented using the example of designing operations performed on multi-spindle horizontal turning machines. The application of the research results in computer-aided design (CAD) systems allows minimizing the risks associated with personnel errors.*

Ключевые слова: *автоматические токарные станки, автоматизированное проектирование операций, режимы резания, производительность, цифровые двойники*

Açar sözlər: *avtomat torna dəzgahları, əməliyyatların avtomatlaşdırılmış layihələndirilməsi, kəsmə rejimləri, məhsuldarlıq, rəqəmsal əkizlər*

Key words: *automatic lathes, computer-aided design of operations, cutting conditions, productivity, digital twins*

Четвертая промышленная революция (Индустрия 4.0) предполагает новый подход к производству, основанный на массовом внедрении информационных технологий в промышленность, масштабной автоматизации бизнес-процессов и распространении искусственного интеллекта [1]. Информационные технологии (ИТ) позволяют увеличить эффективность профессиональной деятельности и уменьшить затраты, поэтому инвестиции в ИТ постоянно растут [2 - 5]. Несмотря на ожидаемые результаты, процент неудач в ИТ-проектах остается высоким. Более четверти проектов являются неудачными, так как они были заброшены или отменены, а более половины выполнены с превышением стоимости, сроков и/или с отсутствием обещанной функциональности [6, 7]. Одной из причин такого положения является недостаточное внимание к влиянию рисков, связанных с ошибками персонала [8]. Эффективным инструментом для сведения к минимуму влияния данных рисков является применение методов искусственного интеллекта [9].

Повышение производительности операций механической обработки – одна из первоочередных задач машиностроительного производства. Один из путей решения этой задачи - использование возможностей токарных автоматов – одной из традиционных групп автоматизированного оборудования, имеющих широкое применение для изготовления большой и разнообразной номенклатуры деталей в крупносерийном и массовом производстве. Конструктивные особенности этих станков позволяют обеспечить производительность обработки во много раз выше, чем на других группах оборудования благодаря тому, что обработка ведется одновременно на всех позициях автомата, а также обеспечивается автоматизация всех основных и вспомогательных движений, включая подачу, установку и закрепление заготовки, освобождение и выдачу обработанного изделия.

Однако, в результате обследования ряда предприятий, оказалось, что основное время при изготовлении однотипных деталей может различаться в 1,5 – 2 раза. В результате анализа причин такой ситуации в числе других выявились различия в параметрах применяемых инструментов и структурах наладок, отличающихся планами обработки поверхностей, распределением инструментов по позициям станка и способам замены инструментов [10, 11].

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 и искусственного интеллекта [9, 12].

Постановка задачи исследования. 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 [13]. Другие предлагают ограниченную многокритериальную оптимизацию параметров процесса токарной обработки с помощью генетического алгоритма и методов оптимизации роя частиц [14, 15]. Также применяются методы измерения и оптимизации точности для многошпиндельных станков [16].

Особенностью многоинструментной многосуппортной многопозиционной обработки является то, что переходы выполняются параллельно, что предъявляет специфические требования к проектированию по сравнению с одноинструментной последовательной обработкой,

которая реализована на поточной линии, или на станке с ЧПУ. При последовательной обработке повышение производительности на отдельно взятом переходе приводит к уменьшению времени в целом по технологическому процессу. При параллельной многопозиционной обработке уменьшение времени операции в целом возможно только путем сокращения времени обработки на лимитирующем переходе, при этом на остальных переходах время обработки может быть даже увеличено до времени лимитирующего перехода, поскольку это не приведет к увеличению времени операции в целом.

Базой для проектирования оптимальной структуры наладки является современная теория точности многоинструментной многосуппортной обработки, принципы и методология прогнозирования точности которой заложены А.А. Кошиным [17, 18].

В настоящее время решены отдельные этапы оптимизации структуры наладки. В работе [10] приведена методика проектирования планов обработки поверхностей, которая дает возможность рассчитать количество переходов, глубины резания на каждом переходе и промежуточные квалитеты, обеспечивающие максимальную производительность многопроходной обработки поверхностей на токарных автоматах. В работе [11] приведена методика, которая дает возможность рассчитать вариант размещения инструментов по позициям токарного многошпиндельного автомата, позволяющая увеличивать производительность операции, с одной стороны, благодаря учету положительного влияния совместной работы инструментов продольного и поперечного суппортов на точность выполняемого размера, с другой стороны, путем увеличения концентрации переходов с целью увеличения количества одновременно обрабатываемых деталей.

Применение САПР ТП позволяет проектировать операции, выполняемые на токарных автоматах и полуавтоматах по критерию производительности [12]. Однако при этом предъявляются повышенные требования к уровню квалификации персонала, так как, с одной стороны он должен знать особенности операций, выполняемых на токарных автоматах и полуавтоматах, с другой стороны, должен быть квалифицированным пользователем САПР ТП.

Для минимизации рисков, связанных с ошибками персонала целесообразно применять методы искусственного интеллекта [19] и технологии цифровых двойников [20].

Целью работы является разработка эвристического метода искусственного интеллекта для автоматизированного проектирования операций, выполняемых на токарных автоматах и полуавтоматах по критерию производительности.

Для достижения этой цели решаются следующие задачи:

1. Разработка эвристического метода искусственного интеллекта для автоматизированного проектирования операций, выполняемых на токарных станках.
2. Реализация метода на примере проектирования операций, выполняемых на токарных многошпиндельных горизонтальных автоматах

Исходной информацией для исследования является сетевая модель структуры операции, которая представляет собой совокупность взаимосвязанных моделей цифровых двойников. Пример сетевой модели планов обработки поверхностей для детали (рис. 1) приведен на рис. 2. Модель детали, включающая описание обрабатываемых поверхностей, приведена в таблице 1. Модель заготовки (диаметр прутка 40 мм, квалитет точности 12). Цифровые двойники, представляющие собой узлы сетевой модели, описаны в таблице 2.

Таблица 1

Модель детали

№ поверхности	Квалитет заготовки	Квалитет детали	Напуск, мм	Длина резания, мм
1	12	9	4	20
2	12	-	-	20

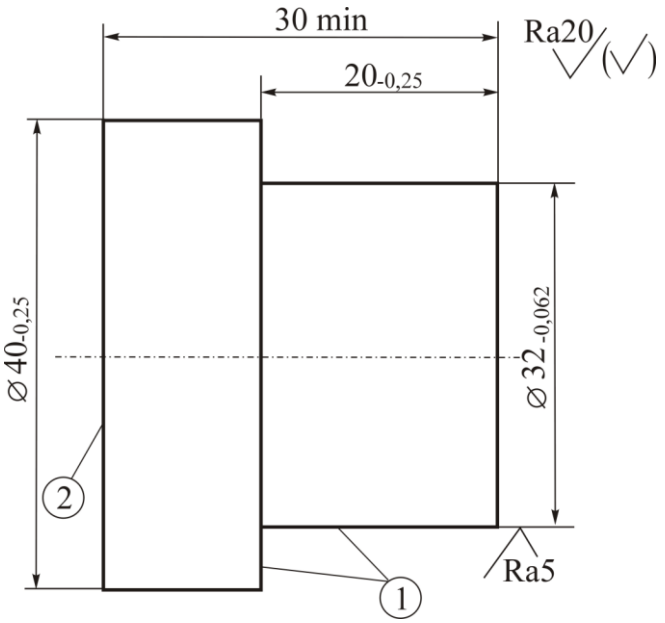


Рис. 1. *Чертеж детали*

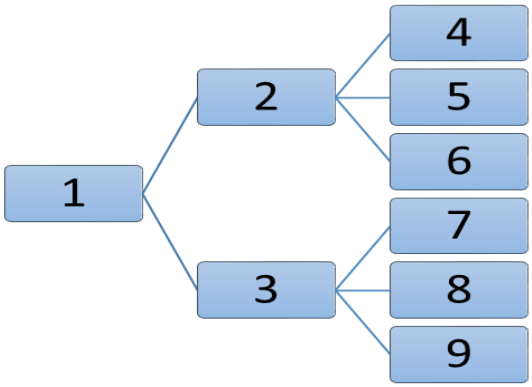


Рис.2. *Сетевая модель планов обработки поверхностей*

Таблица 2

Цифровые двойники сетевой модели планов обработки поверхностей

№	Содержание
1	Модель заготовки (диаметр прутка 40 мм, квалитет точности 12)
2	Обработка поверхности №1
3	Обработка поверхности №2
4	Обработка поверхности №1 за один переход
5	Обработка поверхности №1 за два перехода
6	Обработка поверхности №1 за три перехода
7	Обработка поверхности №2 за один переход
8	Обработка поверхности №2 за два перехода
9	Обработка поверхности №2 за три перехода

На основе анализа параметров инструментов и вариантов размещения их по позициям автомата разработана структура цифровых двойников для САПР операций, выполняемых на токарных автоматах (таблица 3). Кодификатор инструментов приведен в таблице 4.

Таблица 3

Структура цифровых двойников для САПР операций, выполняемых на токарных автоматах

Параметры инструмента	Номер инструмента					
	1	2	3	4	5	6
Номер позиции						
Номер суппорта						
Глубина резания, мм						
Квалитет заготовки						
Квалитет детали						
Длина резания, мм						

Таблица 4

Кодификатор инструментов

Номер инструмента	Название инструмента
1	Проходной резец №1
2	Проходной резец №2
3	Проходной резец №3
4	Канавочный резец №1
5	Канавочный резец №2
6	Отрезной резец

В системах искусственного интеллекта поиск решений выполняется в пространстве состояний. При этом под состоянием понимается некоторый момент решения задачи. Кроме того, используется оператор, который обозначает действие или допустимый ход в задаче из множества возможных состояний [9]. Для поиска оптимальных планов обработки поверхностей детали состояние – это вершина сетевой модели возможных планов обработки поверхностей (см. табл. 2). Среди всех состояний выделяют начальное и целевое состояние. Задача заключается в том, чтобы перевести начальное состояние в целевое.

Для поиска оптимальных планов обработки поверхностей оператор – это допустимый ход в результате проверки значений вершин уровня. Например, если наиболее эффективной является обработка поверхности №1 за три перехода [21], то данная вершина №6 помечается (рисунок 3). На втором этапе размещаются инструменты по позициям автомата. Если позиция свободна, то на нее размещается инструмент и данная вершина помечается (см. рис.3).

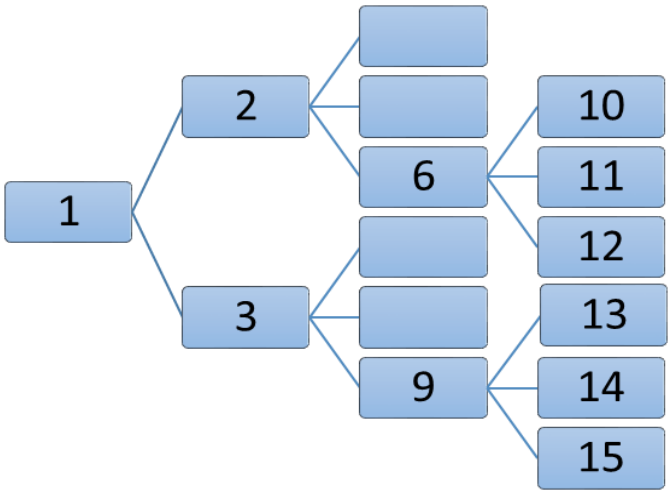


Рис. 3. *Результаты работы эвристического метода искусственного интеллекта*

В результате реализации метода определяются оптимальные планы обработки поверхностей и размещаются инструменты по позициям автомата. При этом сохраняются только пути, ведущие к найденным состояниям, например, 6 и 9. Другие пути и состояния забываются. Такие методы называются эвристическими. Таким образом формируется целевое состояние, цифровой двойник которого представлен в таблице 5.

Таблица 5

Цифровой двойник для САПР операции, выполняемой на шести шпиндельном токарном автомате

Параметры инструмента	Номер инструмента					
	1	2	3	4	5	6
Номер позиции	1	2	3	4	5	6
Номер суппорта	1	1	1	2	2	2
Глубина резания, мм	3,5	0,3	0,2	_	_	_
Квалитет заготовки	12	11	10	_	_	_
Квалитет детали	11	10	9	_	_	_
Длина резания, мм	10	10	10	6	7	7

Выводы. На основе применения эвристического метода искусственного интеллекта и технологий цифровых двойников разработаны алгоритмы автоматизированного проектирования операций, выполняемых на токарных станках. Результаты исследования реализованы на примере проектирования операций, выполняемых на токарных многошпиндельных горизонтальных автоматах.

Применение результатов исследования в системах автоматизированного проектирования (САПР) позволяет минимизировать риски, связанные с ошибками персонала. Результаты исследования реализованы в САПР операций, выполняемых на токарных многошпиндельных горизонтальных автоматах, и используются в Южно-Уральском государственном университете и Азербайджанском техническом университете.

References

1. Что такое индустрия 4.0 и что нужно о ней знать. – URL: https://trends. rbc.ru/trends/industry/5e740c5b9a79470c22dd13e7
2. Gartner-Inc, "Gartner Says Global IT Spending to Grow 1.1 Percent in 2019," available from Gartner, Inc, 2019.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. 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.
7. StandishGroup, "The chaos report," United States of America, 2019
8. 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

9. Модели и методы искусственного интеллекта: учеб. пособие / Т. Г. Пенькова, Ю. В. Вайнштейн. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2019 – 116 с.
10. Bogatenkov, S. A., Sazonova, N. S., Yusubov, N. D., et al. (2021). Increasing the productivity of multitool machining on automated lathes by optimizing the machining plan. Russian Engineering Research, 41(11), 1071-1074.
11. Bogatenkov, S. A., Sazonova, N. S., Guzeev, V. I., et al. (2021). Increasing the productivity of multitool machining on automated lathes by optimizing the tool positions. Russian Engineering Research, 41(11), 1075-1079.
12. 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.
13. 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
14. 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
15. 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
16. Temchin G.I. Multi-tool setups. Theory and calculation. - M. Mashgiz, 1963. – 543 p.
17. 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.
18. 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.
19. Модели и методы искусственного интеллекта: учеб. пособие / Пенькова, Ю. В. Вайнштейн. – Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2019 – 116 с.
20. 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.
21. Machining on lathes: adjustment, cutting modes: Handbook / Under the general editorship of A.A. Koshin. - Chelyabinsk: City-Print, 2012. - 744 p.

Məqalə qəbul olunub: 01.04.24
Tövsiyə edib: dos. Xankişiyev İ.A.

UOT 621.923.5

32CrMoV12-10 MARKALI POLADLARIN HONLAMA İLƏ EMALINDA ÖLÇÜ DƏQİQLİYİNİN FORMALAŞMASI

Əziz S.Ş.

Azərbaycan Texniki Universiteti
AZ1073, Bakı şəh., H.Cavid pr., 25
E-mail: sarvan_e@hotmail.com

Xülasə. *Məqalədə yüksək dəqiqlikli maşın detallarının istehsalı üçün seçilmiş 32CrMoV12-10 markalı poladların fiziki-mexaniki xüsusiyyətləri əsasında honlama əməliyyatı tətbiqinin texnoloji imkanları araşdırılmış və emal zamanı ölçü dəqiqliyinə təsir edən əsas amillər təyin edilmişdir. Optimal ölçü dəqiqliyinin formalaşması üçün honlama prosesinin əsas giriş parametrlərinin (başlığın irəli-geri–$V_{i\text{-}g}$ və firlanma–V_f hərəkət sürətləri, xüsusi təzyiq–$P_{x.t}$, bülövün dənəvərliyi–Z və emal müddəti–T) təyini üzrə aparılmış təcrübələrin nəticələri göstərilmişdir. Bu əməliyyatının əsas xüsusiyyətləri əsasında detalın ölçü dəqiqliyinə təsir edən əsas amillər təyin edilmiş, keyfiyyətə təsir edən faktorlar müəyyənləşdirilmiş və emalın optimal şəraiti seçilmişdir. Yüksək keyfiyyətli daxili silindrik səthlərin alınması üçün texnoloji üsulların seçilməsi, səthin formalaşma xüsusiyyəti və emal rejmi parametrlərinin secilməsinin ümumi qanunauyğunluğu araşdırılmışdır.*

Abstract. *In the article technological possibilities of application of honing operation based on the physical and mechanical properties of 32CrMoV12-10 brand steels, which selected for the production of high-precision machine parts were investigated and the main factors affecting measurement accuracy during processing were determined. The results of the experiments conducted on determining the main input parameters of the honing process (forward-reverse-Vi-g and rotational movement speeds of the head-Vf, specific pressure-Px.t, granularity of the stone-Z and processing time-T) are shown for the formation of optimal measurement accuracy. Based on the main features of this operation, the main factors which affect to the measurement accuracy of the part were determined, the factors affecting the quality were determined, and the optimal processing conditions were determined. For obtaining high-quality internal cylindrical surfaces the selection of technological methods, the characteristics of surface formation and the general regularity of selection of processing mode parameters were investigated.*

Аннотация. *В статье были проанализированы технологические возможности применения операции хонингования на основе физико-механических свойств сталей марки 32CrMoV12-10, выбранной для производства деталей машин повышенной точности. Для формирования оптимальной точности измерений показаны результаты проведенных экспериментов по определению основных входных параметров процесса хонингования (скорости возвратно-поступательного-$V_{i\text{-}g}$ и вращательного-V_f движения головки, удельное давление-$P_{yд}$, зернистость брусков-Z и время обработки-T). На основе главных особенностей этой операции установлены основные факторы, влияющие на точность измерения деталей, определены факторы, влияющие на качество, и определены оптимальные условия обработки. Исследованы общие закономерности выбора технологических методов получения высококачественных внутренних цилиндрических поверхностей, особенности формирования поверхности и параметров режимов обработки.*

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

Açar sözlər: *kələ-kötürlük, honlama, bərklik, xüsusi təzyiq, ölçü dəqiqliyi*
Key words: *surface roughness, honing process, hardness, special pressure, accuracy*

Giriş. Fiziki-kimyəvi və mexaniki, habelə texnoloji və istismar xassələrini araşdırdığımız 32CrMoV12-10 poladı (Annealed HB Max.229) UNI EN ISO 4957: 2002 (International Standard ISO 4957 was prepared by Technical Committee ISO/TC 17, Steel, Subcommittee SC 4) üzrə istehsal olunur. Baxılan polad legirli konstruksiya poladları qrupuna aiddir, əsas legirləyici element xrom götürülmüş, digər elementlərlə qənaətlə legirlənməsi bu polada yüksək fiziki-mexaniki və istismar xassələri, o cümlədən yüksək bərklik və deməli, yeyilməyə davamlılıq verir. Legirləyici elementlər karbid əmələ gətirənlər (Mn, Cr, Mo, V, S) və karbid əmələ gətirməyənlər (Ni, Si, P və s.) olmaqla iki qrupa bölünürlər. 32CrMoV12-10 markalı poladın tədqiqindən məlum olur ki, Cr və Mo-lə legirlənmiş yaxşılaşdırılan poladların tablandırmadan sonra bərklikləri eyni olsa da, karbonun miqdarının artırılması, tabəksilmədən sonra bərkliyin yüksəlməsinə səbəb olur.

Qüvvədə olan DIN 1.2312 Tool-Steel və ГОСТ 8732-78 standartlarına uyğun olaraq, 32CrMoV12-10 poladı qızmar-yayılma halında çox geniş diapazonda buraxılır. Müxtəlif texniki məqsədlər və xüsusi istifadə üçün nəzərdə tutlmuş bu hissələrin konstruktiv ölçüləri də müxtəlif götürülür. 32CrMoV12-10 poladının bərkliyi termiki emala uğradılmazdan əvvəl 229 HB təşkil edir. Poladın xassələrini idarə etmək və termiki emal rejimlərini seçmək üçün böhran nöqtələri böyük əhəmiyyət kəsb edir. 250 °C-də 32CrMoV12-10 poladı tabəksiltməyə uğradıldıqdan sonra bərkliyi 489 HB (50,5 HRC) qiymətləndirilir ki, bu da çox yaxşı göstərici hesab olunur.

Əsas hissə. Honlama kimi çox incə texnoloji əməliyyatın daha yüksək dəqiqliklə aparılması üçün materialın standart üzrə verilmiş kimyəvi tərkibindən əlavə olaraq, onun həm də həqiqi kimyəvi tərkibi müəyyənləşdirilməlidir ki, bunu da Almaniyanın "BRUKER" firmasının istehsalı olan Ultra-Compact Metal Analyzer Q-2-İON stasionar spektroskopik qurğusu vasitəsilə nəzarət edilmişdir və alaınmış fərq buraxılabilən həddi aşmamışdır. Cədvəl 1-də 32CrMoV12-10 markalı poladının DIN 1.2312 Tool-Steel standartı üzrə kimyəvi tərkibi verilmişdir.

Cədvəl 1

32CrMoV12-10 markalı poladının kimyəvi tərkibi, %

C	Si	Mn	S	P	Ni	Cr	Mo	V
≤0,35	≤0,20	≤0,20	≤0,001	≤0,005	≤0,30	2,8-3,2	0,7-1,2	0,15-0,35

Maşın hissələrinin honlama əməliyyatı ilə emalı texnoloji proses kimi səth və səth qatına qoyulmuş keyfiyyətin yüksək dəqiqliklə formalaşdırılması məqsədi ilə həyata keçirilir. Honlama əməliyyatı zamanı baş verən fiziki-mexaniki hadisələr və texnoloji qanunauyğunluqları analiz etməklə belə nəticəyə gəlmək olar ki, səthin formalaşması prosesi əsasən məmuldakı xətaların aradan qaldırılması zamanı və onun qismən növbəti emal mərhələsinə ötürülməsi ilə həyata keçirilir. Bu amillərin təsir intensivliyi detal və hon başlığının hərəkət sxemindən, kontakta girən bülovün dənəvərliy dərəcəsindən və təzyiqin qeyri-bərabər paylanmasından, kəsmə qüvvələrinin təsir xarakterindən və s. asılıdır [1, 5]. Emalın mümkün ola biləcək ən kiçik kəsmə qüvvələrilə aparılması məqsədilə, honlama prosesinin əsas giriş parametrlərinin (başlığın irəli-geri–$V_{i\text{-}g}$ və fırlanma–V_f hərəkət sürətləri, xüsusi təzyiq–$P_{x.t}$, bülövün dənəvərliyi–Z və emal müddəti–T) kəsmə qüvvəsi təşkiledicilərinə təsiri analiz edilmişdir.

Cədvəl 2-də daha geniş istehsal sahələrində istifadədə olan St40 və St45 markalı poladların xüsusi əhəmiyyət daşıyan və spesifik istismar sahələrdə (məsələn, hərbi maşınqayırma, kosmik cihazqayırma) işlədilən 32CrMoV12-10 markalı poladın honlama ilə emalında yonqarçıxarma (ρ) xüsusiyyətləri gösrərilmişdir. Göründüyü kimi, maksimum çox yaxın emal şərtləri altında belə, 32CrMoV12-10 markalı poladın honlanması nisbətən fərqli xarakter daşıyır.

Cədvəl 2

32CrMoV12-10 markalı poladın emalolunma xüsusiyyəti

materialın markası	əməliyyat	V_f	$V_{i.g}$	$P_{x.t}$, MPa	ρ, q/dəq	bülövün dənəvərliyi
		m/dəq				
St40, St45	ilkin	30-40	8-11	0,8-0,9	1.1	AC 80/63 (16)
32CrMoV12-10	ilkin	45-50	10-13	0,8-0,9	0.9	AC 80/63 (16)

Honlama zamanı metalçıxarma zonasında detalla alət arasındakı araboşluq ölçüsünün artması ilə əlaqədar olaraq, oxboyu istiqamətdə materialın çıxarılmasında qeyri-stabillik yaranır. Bülövün tədricən yeyilməsilə kontakt şəraitinin dəyişməsi, xüsusi təzyiqin azalması və nəticə olaraq forma xətasının bərpa intensivliyinin azalması müşahidə olunur. Bu səbəbindən abraziv dənəciklər vasitəsilə detala göstərilən qüvvənin təsir xarakteri pozulur, detalla hon başlığının real kontakt sahələri dəyişir və nəticə etibarı ilə detalın səth qatının ayrı-ayrı nöqtələrində metalçıxarma intensivliyi qeyri-bərabər paylanaraq, onun profilinin dəyişməsinə səbəb olur [2, 6]. Bu baxımdan müasir istehsal sahəsində mütərəqqi emal üsullarından istifadə edilməsinə baxmayaraq, daha yüksək ölçü dəqiqliyi və səht keyfiyyəti əldə etmək, həmçinin məhsuldarlığı artırmaq məqsədilə honlama əməliyyatının yeni üsullarının işlənməsi və bu üsulun konstruktiv-texnoloji imkanlarının öyrənilməsi zərurəti yaranmaqdadır. Beləliklə, emal prosesi və texnoloji qanunauyğunluqların öyrənilməsi səthlərin son keyfiyyət göstəricilərinin formalaşdırılması prosesinin ümumi mənzərəsini daha tam və dəqiq təsvir etməyə, emal prosesinin təkmilləşdirilməsinə, eləcə də hissələrin etibarlığı və uzunömürlüyünü yüksəldən səthin tələb olunan keyfiyyətinin təmin edilməsinə imkan verir [12, 14].

Honlama əməliyyatının tətbiqi əsasında aparılmış çoxsaylı tədqiqatlar hazırlanma texnoloji proseslərindəki fərqlilikdən irəli gələrək, tamamilə eyni konstruksiyalı hissələrin çox vaxt müxtəlif etibarlığa malik olduğunu göstərir. Bu da istismar parametrlərinin texnoloji üsullarla idarə edilməsi zərurətini yaradır və yüksək dəqiq maşın detallarının emalında daha qabarıq şəkildə özünü göstərir [11]. Səth qatından incə material qatının honlama əməliyyatı ilə çıxarılması prosesinin çətinliyi emalın narın abrazivlərlə (Z_{min}=50/40, Z_{max}=400/315) yerinə yetirilməsində, həmçinin çoxsaylı funksional və təsadüfi faktorların təsiri şəraitində yerinə yetirilməsindədir. Göstərilən faktorlardan ən əsası kəsici dənəciklərin, yəni honlama alətindəki abrazivlərin həndəsi formasının müxtəlifliyidir. Emal zamanı abraziv dənəciklərin səthlə qarşılıqlı görüşməsi mürəkkəbləşir ki, bu da honlama prosesi parametrlərinin səthin keyfiyyət və ölçü dəqiqliyinə təsirinin daha dərindən tədqiq olunması zərurətini yaradır.

Hissə və hon başlığının ilkin forma xətalarının dəqiqliyə təsir dərəcəsinin yoxlanılması göstərir ki, bülövlərin profili emal dəqiqliyinə həlledici təsir göstərir. Honlama zamanı ən vacib məqamlardan biri də detalların həndəsi xətalarının əvvəlki əməliyyatdan sonrakına köcürülməsidir ki, bu proses "irsiyyət" qanunu üzrə bütün emal proseslərində müşahidə olunur və sonuncu texnoloji əməliyyatda ən minimal qiymətini alır [8, 10]. Müəyyən edilmişdir ki, başlanğıc xəta nə qədər böyük olarsa, onun bərpası da bir o qədər intensiv gedər. Bərpa intensivliyinin qiyməti detalın yuvasının oxunun buraxılabilən əyilməsinə qoyulan şərtlər sərtləşdikdə əhəmiyyətli dərəcədə azalır.

Qrafik 1, 2 və 3-də müvafiq olaraq, detalların əyrioxluq ($\Delta_ə$), konusluq (Δ_k) və ovallıq (Δ_o) qiymətlərinin emal müddəti (T)-dən aslılı olaraq dəyişməsi qrafik formada göstərilmişdir. Burada, 1 və 2 uyğun olaraq, başlanğıc əyriliyi müxtəlif olan detallardır.

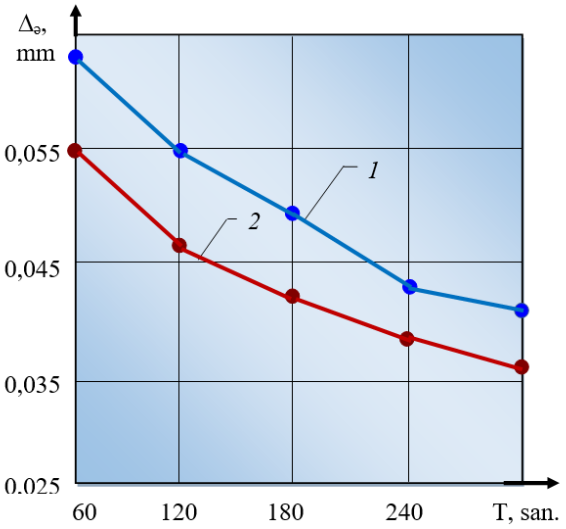
Şpindeli şaquli yerləşən və pəstahı sükunətdə olan detalın emalında hon başlığının irəli-geri və fırlanma hərəkət sürətləri nisbətini iz spiralının nəzəri qalxma bucağı (α) müəyyən edir. α=12°-22° inervalında götürülməsi ($\mathrm{tg}\,\alpha = \frac{V_{i.g}}{Vf}$=0,2-0,4) çoxsaylı təcrübələrə əsalanır. α bucağının azalması ilə emal keyfiyyəti yüksəlir, amma məhsuldarlıq azalır. Daxili silindrik səthlərin honlama əməliyyatı ilə emalında kəsmə sürəti (V_k) fırlanma (V_f) və irəli-geri ($V_{i.g}$) hərəkət sürətlərinin həndəsi cəmi olaraq

müəyyənləşdirilir. Göstərilmiş hərəkət sürətlərinin təyin edilməsi üçün aşağıdakı düstür əsas kimi qəbul edilir:

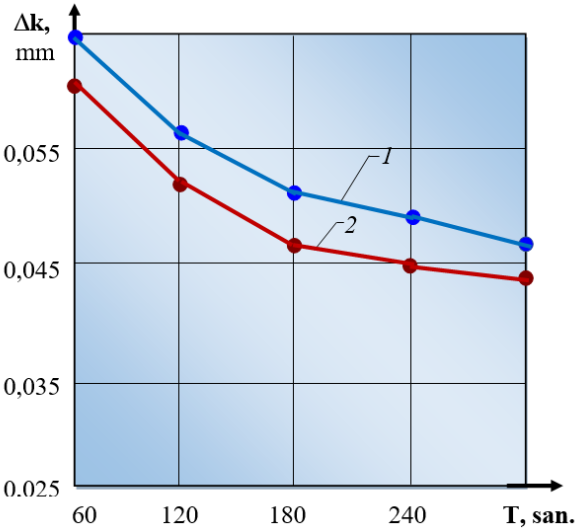
$$V_k = \sqrt{V_f^2 + V_{i.g}^2} = V_f k; \quad \left(k = \sqrt{1 + \left(V_{i.g}/V_f\right)^2}\right) \qquad (1)$$

$V_f/V_{i.g}$ nisbəti adətən 1÷4 intervalında götürülür. Bəzən isə bu nisbət 8÷9-a qədər də arta bilər. Şəkil 1-də bülöv daşının səth üzərində yaratdığı çarpaz izlər (crosshatach) və emal edilmiş səthdə kələ-kötürlüyün formalaşmasının texniki mənzərəsi göstərilmişdir.

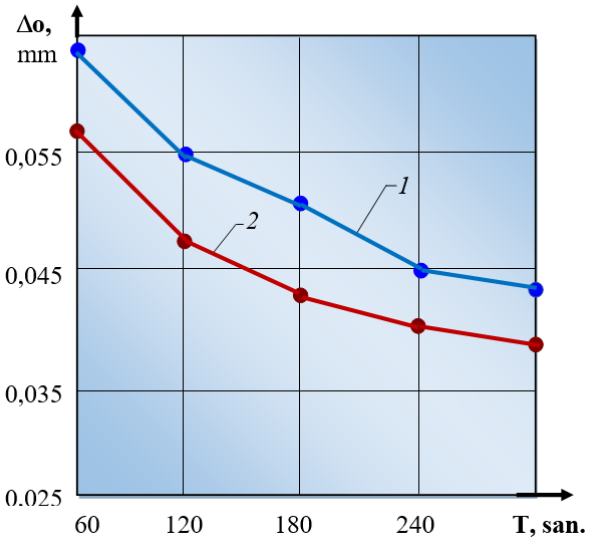
Yuxarı sinifli kələ-kötürlük (Ra=0.63÷0.04) əldə etmək üçün honlama başlığının hər iki hərəkətinin - fırlanma və irəli-geri hərəkətlərinin uzlaşdırılması tövsiyə edilir. Bu hərəkətlərin toplanması zamanı honlama alətinin müxtəlif sahələri üçün hər bir zaman anında dalğa uzunluğu ilə fərqlənən mürəkkəb trayektoriya yaranır.



Qrafik 1. *Əyrioxluq qiymətinin ($Δ_ə$) emal müddətindən (T) aslılığı;*
(1, 2 - uyğun olaraq, başlanğıc əyriliyi müxtəlif olan detallar)

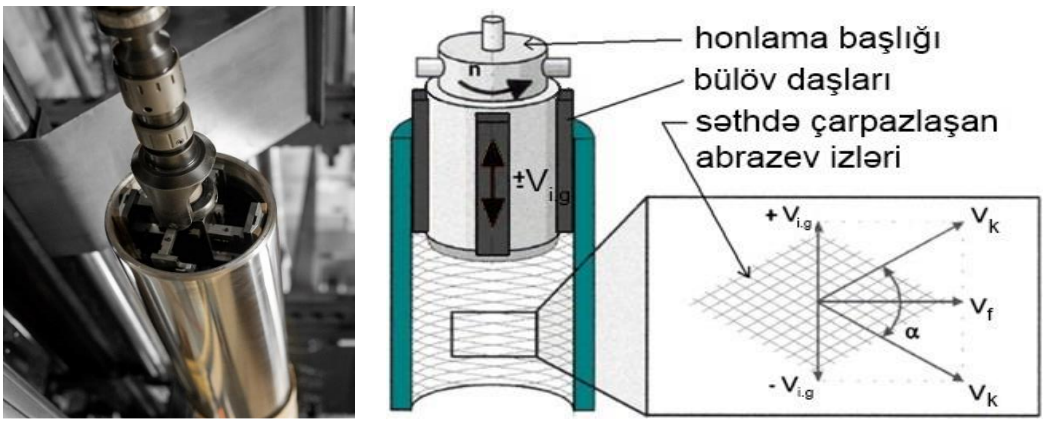


Qrafik 2. *Konusluq qiymətinin ($Δ_k$) emal müddətidən (T) aslılığı;*
(1, 2 – uyğun olaraq, başlanğıc əyriliyi müxtəlif olan detallar)



Qrafik 3. *Ovallıq qiymətinin (Δ_o) emal müddətindən (T) aslılığı;*
(1, 2 – uyğun olaraq, başlanğıc əyriliyi müxtəlif olan detallar)

Bütün emal üsullarında olduğu kimi, daxili silindrik səthlərin honlama əməliyyatı ilə emalında səthin keyfiyyət göstəriciləri həm səthin mikrohəndəsəsi, həm də səth qatı materialının mikrobərkliyi ilə xarakterizə olunur. Bu baxımdan səth keyfiyyətinin tədqiqi məqsədilə honlama əməliyyatı zamanı yaranan qüvvələrin araşdırılması zərurəti yaranır. Honlama əməliyyatında ümumi kəsmə qüvvəsi (R) əvəzləyicisini P_x, P_y və P_z təşkiledici qüvvələri vasitəsilə $R = \sqrt{P_x^2 + P_y^2 + P_z^2}$ kimi təyin etmək olar. P_x qüvvəsi üfüqi istiqamətdə yönələrək veriş hərəkətini, P_y qüvvəsi detalın oxuna perpendikulyar istiqamətdə yönələrək, texnoloji sistemin (DTAP) sərtliyini, P_z qüvvəsi isə baş hərəkət istiqamətində yönələrək, burucu momenti təyin etmək üçün hesablanılır [7, 9]. Təcrübi olaraq sübut olunmuşdur ki, P_x – oxboyu, P_y – radial və P_z – tangensial kəsmə qüvvələri $P_z : P_y : P_x = 1 :$ 0,42-0,45 : 0,18-0,20 nisbətlərində dəyişirlər [3, 4]. Kəsmə rejimi elementləri, detalın fiziki-mexaniki göstəriciləri, sürtmə başlığının həndəsi parametrləri və s. amillər dəyişdikdə bu nisbət də müəyyən qədər dəyişəcəkdir. Şəkildə şaquli yerləşmiş hon başlığı göstərilmişdir. Göründüyü kimi, başlığın kombinəedilmiş fırlanma və irəli-geri hərəkəti abraziv dənəciklərin emal edilən səth üzərində xırda gedişli izlər salıb. Ümumi kəsmə sürəti-V_k irəli-geri-$V_{i.g}$ və fırlanma-V_f hərəkət sürətlərinin toplanmasından əmələ gəlir və səthin formalaşmasına ciddi təsir göstərir [18, 19].



Şəkil. *Emal edilən səth üzərində çarpaz izlərin (crosshatach) formalaşma sxemi*

Təcrübələrin nəticələri göstərir ki, optimal markalı bülöv daşlarının seçilməsi hesabına ölçü dəqiqliyini 1,2-1,3, məhsuldarlığı 1,2-1,4 dəfə artırmaq, səthin kələ-kötürlüyünü isə 1,3-1,5 dəfəyə qədər artırmaq mümkündür. Honlama əməliyyatının kinematik və dinamik xüsusiyyətlərinin təhlili, prosesin əsas parametrlərinin müəyyən olunması, texnoloji amillərin səthin formalaşmasına və emal prosesinin gedişinə təsir dərəcəsinin təyin olunması həm ölçü, həm də forma dəqiqliyinin yüksəlməsinə müsbət təsir göstərir.

Honlama başlığının irəli-geri hərəkət sürətinin artımı kəsmə qüvvəsinin hər iki təşkiledicisinin azalmasına səbəb olur. Məlumdur ki, kəsmə qüvvəsinini radial-P_r və oxboyu-P_o təşkiledicilərinin işi əsasən detal və alətinin nisbi yerdəyişmə sürətləri, yəni emal prosesində kontaktda olan səthlərin bir-birinə nəzərən nisbi sürətindən asılıdır [16, 17]. Sadalananlar kontakt zonasında temperaturun dəyişməsinə, bu da öz növbəsində ölçü dəqiqliyinin dəyişməsinə gətirib çıxarır.

Nəzəri və eksperimental tədqiqatlar əsasında deyə bilərik ki, honlamadan əvvəl və sonra detalların konusluq və diametr parametrləri arasındakı əlaqə təkcə hon alətinin formasından asılı olmayaraq, statistik xarakter daşıyır. Emaldan əvvəl və sonra detalların müvafiq parametrləri arasındakı korrelyasiya əmsallarının nisbətən böyük qiymətləri, bu parametrlər üçün irsi xarakter daşıyan və texnoloji amillərlə fiziki olaraq şərtlənən kifayət qədər determinasiya etmiş əlaqələrin təsirini göstərir. Honlama başlığının profili və emalın giriş parametrlərindəm asılı olaraq, konusluq 35-70%, ölçü xətası isə 50-85% həddlərində dəyişir.

Ölçü dəqiqliyinin artırılması məqsədi ilə honlama prosesi parametrlərinin əsaslandırılmış seçilməsi üçün əsas forma xətalarının yaranma qanunauyğunluqlarının müəyyənləşdirilməsinə ehtiyac yaranır. Forma xətalarının yaranmasına honlama rejimlərinin təsiri üzrə təcrübi tədqiqatlar, baxılan prosesin texnoloji amillərdən heç birinin forma xətalarının yaranmasına birmənalı təsirinin olmadığını göstərir [13, 15]. Lakin rejimlərin tədqiq olunan hədləri emal zamanı forma xətalarının azalmasına kömək edən daha məqsədəuyğun rejimləri və emal şərtlərini seçməyə imkan verir. Bir qayda olaraq, detal səthinin forma xətası hər növbəti əməliyyatdan sonra qanunauyğun şəkildə azalır. Bu cür xətaların azalması prosesi sonsuz xarakter daşımır. Elə emal şəraiti var ki, tətbiq edilən texnoloji proses səthin forma göstəricilərinin artırılmasını təmin edə bilmir. Sonuncu müsaidənin tamamlama əməliyyatında alınmış xətadan daha kiçik ola biləcəyi yüksək dəqiqlikli avadanlıqlarının hazırlanması üçün daha vacibdir.

Tədqiqatların nəticələri göstərir ki, irəli-geri hərəkət sürətinin ($V_{i.g}$) tədqiq olunan diapazonlarda (10-15 m/dəq) tənzimlənilməsi ona gətirib çıxarır ki, tamamlanmış yuvanın konusluğu istər ilkin, istərsə də yekun sürtmə zamanı 1,3...1,6 dəfə azalır. Yuvanın ovallığı isə demək olar ki, eyni həddlərdə qalır. Müəyyən edilmişdir ki, alətinin kiçik uzunluğunda əyrilik artır, böyük olmayan gedişli kiçik uzunluğunda isə emal edilən yuva çəlləkvari formaya malik olur. Dəqiqlik göstəricisi üzrə ən yaxşı nəticələr alətin uzunluğunun emal edilən detalın uzunluğunun 15-25 faizi nisbətlərində əldə edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, yuvaların əyriliyinin 0,025-0,035 mm-ə qədər azaldılması üçün honlamanın üç əməliyyatını aparmaq lazımdır, ovallıq və konusluq üçün isə iki əməliyyatın aparılması kifayətdir.

Deşiklərin incə emalı üçün tətbiq edilən honlama əməliyyatında yaranan kəsmə qüvvələri formalaşan səthin keyfiyyət və dəqiqlik göstəricilərin araşdırılması və tədqiqi zamanı vacib aspektlərindən biri sayılır. Yüksəkdəqiqlikli detalların istehsalı zamanı tətbiq edilən texnoloji əməliyyatlar üçün seçilmiş alət və texnoloji-təchizat vasitələrinin konstruksiyaları kifayət qədər sərt və istiliyə, həmçinin vibrasiyaya davamlı olması kəsmə qüvvələrinin araşdırılması baxımından zəruri hesab edilir.

Hissələrin ölçü dəqiqliyinin formalaşması, texnoloji əməliyyatın etibarlığı, texnoloji sistemin sərtliyinin qiymətləndirilməsi, eləcə də emal prosesində yaranan qüvvələrin mənşəyini müəyyən etməyi tələb edir. Kəsmə qüvvələrinin təşkiledicileri birbaşa prosesin giriş parametrləri (V_{i-g}, V_f, $P_{x.t}$, Z və T), materialın fiziki-mexaniki gösəriciləri, əsasən də bərkliyi, hon başlığının konstruktiv-texnoloji xüsusiyyətləri, xüsusən də bülövün markası (AC20, APB) və SYM-nin növü (67% kerosin,

33% motor yağı) və ilə bağlıdır. Hissənin ölçü dəqiqliyi honlama prosesinin müxtəlif texnoloji parametrlərinin kəsmə qüvvəsinin təşkiledicilərinə təsiri, eləcə də kəsmə qüvvəsinin təşkiledicilərin minimal qiymətlərini təmin edilməsi bu parametrlərin optimallaşdırılması zərurətini yaradır. Eksperimental tədqiqatların nəticələri göstərir ki, hətta ən incə honlamada belə kəsmə qüvvələri sabit qalmır. Buna prosesin gedişi zamanı emal şərtlərinin fasiləsiz olaraq dəyişməsi, eləcə də, yonqarkəsmə işinin özü də dövri olaraq təsir göstərir.

Nəticə. Yüksək keyfiyyətli maşın detallarının istehsalı üçün seçilmiş 32CrMoV12-10 markalı poladın əsas metallurji xüsusiyyətləri əsasında honlama əməliyyatının tətbiq şərtləri müəyyənləşdirilmişdir. Ümumiləşdirilmiş məlumatlar əsasında honlama əməliyyatına təsir göstərən xarici və daxili amillər, eləcə də prosesin əsas giriş və çıxış parametrləri təyin edilərək, yüksək ölçü dəqiqliyinin təmini üçün optimal emal şəraiti seçilmişdir.

Honlama əməliyyatının tətbiqindən sonra ölçü dəqiqliyinə və səth keyfiyyətinin formalaşma qanunauyğunluğuna təsir göstərən faktorlar müəyyənləşdirilmişdir. Daha yüksək səth əldə edilməsi üçün zəruri olan şərtlərin qəbul edilməsi və qarşıda duran texniki problemlərin həlli yolları seçilmişdir. Belə bir qənaətə gəlinmişdir ki, honlama prosesi zamanı detalların səthinin formalaşma qanunauyğunluğu özlüyündə heç bir qarşılıqlı əlaqəsi olamayan çoxsaylı faktorlardan asılıdır, bu da prosesin idarəedilməsini xeyli dərəcədə çətinləşdirir. Buna görə də optimal emal şərtlərinin təyini üçün yüksək dəqiqlikli detallarının emal edilən səthlərinin tələb olunan dəqiqliyinin əldə edilməsini təmin edən müasir tədqiqat metodlarından istifadə baxılan prosesin təkmilləşdirilməsi üçün ən vacib şərtlərdən biridir.

Ədəbiyyat

1. Barylski, A., Piotrowski, N. Non-conventional approach in single-sided lapping process: kinematic analysis and parameters optimization: [Electronic resource] / The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. − Gdansk, 2018.
2. Bozina Perovic. Handbuch werkzeugmaschinen. Berechnung, Auslegung und konstruction. Hanser-Verlang. München Wien, 2006, 832 s.
3. 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
4. Əziz S.Ş. Daxili silindrik səthlərin sürtmə əməliyyati ilə emalının əsas xüsusiyyətləri // AMA Xəbərləri, 2018, №3. s.44-50
5. Gleason, E.A. Viewpoint: Soft Metal Gains Hulk-Like Strength: [Electronic resource] / Physics 12, 125. – November 11, 2019.
6. Jianxiu, S., Rui, X., Yipu, W., Jiejing, L., Haixu, L. Study on Lapping Paste of 6H–SiC Single-Crystal Substrate in Tribochemical Mechanical Lapping: [Electronic resource] /Journal of The Institution of Engineers India, 2020.
7. Lishtenberger H. Spanmeugenleistung beim Flachlappen. "Werkstattstechnik und Maschenbau", 1955, Ir, 45, Heft 4, 8c.
8. Nərimanov V. Ə. Cihazqayırma texnologiyasının əsasları. Bakı: Müəllim, 2006, 456 s.
9. Pursche G. Einflubgroben des Lappdemisches beim Flarhlappen. "Fertidungstechnik und Betrieb, 1995, Bd. 15, 1, 4c.
10. Rəsulov N.M. Maşın istehsal texnologiyası, Bakı: Təhsil, 2010, 432 s.
11. Ümid Y.M., Xəlilov Ə.H. Maşınqayırma texnologiyasının əsasları. Bakı: AzPİ, 1987, 121 s.
12. Yusubov N.D., Abbasova H.M. Full-factor matrix model of accuracy of dimensions performed on multi-purpose CNC machines. Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) = Metal Working and Material Science, 2021, vol. 23, no. 4, pp. 6–20. DOI: 10.17212/1994-6309-2021-23.4-6-20. (In Russian).

13. Yusubov N.D., Abbasova H.M. Model of machining process control on multi-tool single-carriage adjustments // MACHINE SCIENCE. - 2023.- № 1 – P. 22-27
14. 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.
15. 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.
16. Гафаров А.М. Ротационное хонингование. Баку, Элм, 1999, 132 с.
17. Кремень, З.И. Выбор оптимальных условий абразивной доводки металлов // − Москва: Вестник машиностроения, − 1999. №5, − 4 с.
18. https://www.researchgate.net/publication/303696075_Potentials_for_Improving_Efficiency_of_Combustion_Engines_Due_to_Cylinder_Liner_Surface_Engineering
19. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0257897212010651

Məqalə qəbul olunub: 01.04.24
Tövsiyə edib: dos. Xankişiyev İ.A.

УДК 621.9.026

ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА НАРУЖНОГО ХОНИНГОВАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ВЫСОКОТОЧНЫХ ДЕТАЛЕЙ СУДОВЫХ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

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

[1] ПЮЛ «Азербайджанская Государственная Морская Академия»
AZ1000, г. Баку, ул. З. Алиевой, 18
[2]Азербайджанская Государственная Нефтяная Компания
AZ1029, г. Баку, прос. Г. Алиева, 121
E-mail: aydin.qafarov@hotmail.com, isaq_x@mail.ru, pasazade.selim@gmail.com

Аннотация. *В статье исследуется влияния различных технологических параметров операции наружного хонингования на изменения сил резания при обработке высокоточных деталей судовых машин и механизмов. Анализируются полученные закономерности.*

Xülasə. *Məqalədə gəmi maşın və mexanizmlərinin yüksək dəqiqliyə malik məsul detallarının xarici xoninqləmə əməliyyatı ilə emalı zamanı yaranan kəsmə qüvvələrinin müxtəlif texnoloji parametrlərdən asılı olaraq dəyişməsi xüsusiyyətləri tədqiq edilir. Alınan nümunələr təhlil edilir.*

Abstract. *The article examines the influence of various technological parameters of the external honing operation on changes in cutting forces when processing high-precision parts of ship machinery and mechanisms. The obtained patterns are analyzed.*

Ключевые слова: *суда, машины, механизмы, деталь, наружное хонингование, обработка, силы резания, параметры, изменения*

Açar sözlər: *gəmi, maşın, mexanizm, detal, xarici xoninqləmə, emal, kəsmə qüvvələri, parametrlər, dəyişmə*

Key words: *ships, machines, mechanisms, part, external honing, processing, cutting forces, parameters, changes*

Введение. Силы резания, возникающие в процессе механической обработки, являются важными аспектами при анализе точностных и качественных показателей поверхностей деталей машин. Для процессов, применяемых при изготовлении высокоточных деталей, необходимо исследовать силы резания с целью создания достаточно жестких, виброустойчивых конструкций режущих инструментов и технологической оснастки. Анализ исследуемого процесса резания материалов требует знания сил, возникающих в процессе обработки.

Для дальнейшей оценки точностных параметров изготавливаемых деталей необходимо изучить, технологической надежности процесса, жесткости технологической системы и др. [1], [2].

Известно, что составляющие силы резания непосредственно связаны с параметрами режимов резания, конструктивно-технологическими параметрами режущего инструмента, твердостью обрабатываемого материала и др. Поэтому исследования влияния вышеуказанных факторов процесса на составляющие силы резания необходимо, особенно при разработке новых технологических процессов, таким как наружное хонингования.

Постановка задачи. Результаты многочисленных исследований показывают, что силы резания не являются стабильными показателями, так как условия резания в процессе работы непрерывно изменяются. Кроме того, и сам процесс стружкообразования имеет циклический характер. При наружном хонинговании к основным фактором, влияющим на составляющие силы резания $P_{ок}$ и $P_{ос}$ отнасятся, удельное давление $P_{уд}$, зернистость алмазных брусков З, скорость возвратно-поступательного движения $V_{в.п}$ и окружная скорость $V_{ок}$. Влияние смазывающей-охлаждающей среды на силы резания можно учитывать введением в полученные зависимости определенных поправочных коэффициентов.

Экспериментальное исследование влияния параметров процесса наружного хонингования проведены согласно методике, изложенный в работе [3], с применением ортогонального планирования второго порядка.

Параметры процесса наружного хонингования ($P_{уд}$, З, $V_{в.п}$, $V_{ок}$) варьировались на пяти уровнях. В табл. приведены кодированные и соответствующие им натуральные значения факторов.

Таблица

Кодированные значения факторов	Натуральные значения факторов			
	$P_{уд}$, МПа	З, мкм	$V_{в.п}$, м/с	$V_{ок}$, м/с
-1,414	0,32	100/80	0,07	0,20
-1	0,40	125/100	0,10	0,25
0	0,60	160/125	0,17	0,38
+1	0,80	200/160	0,24	0,51
+1,414	0,88	250/200	0,27	0,56

В результате расчетов для кодированных значений факторов была получена следующая модель процесса наружного хонингования, характеризующая влияние факторов $P_{уд}$, З, $V_{в.п}$, $V_{ок}$ на силу резания $P_{ок}$.

$$\hat{y}_{P_{ок}} = 1314{,}43 + 54{,}11X_1 + 43{,}24X_2 - 24{,}71X_3 - 26{,}12X_4 + +1{,}73X_1X_2 + 1{,}47X_1X_3 - 2{,}31X_1X_4 + 1{,}21X_2X_3 - 2{,}29X_2X_4 - -3{,}12X_3X_4 - 0{,}42X_1^2 + 12{,}11X_2^2 - 1{,}21X_3^2 - 8{,}41X_4^2. \quad (1)$$

Исследования уравнения (1) по соответствующим критериям показала адекватность модели для уровня значимости $\alpha = 0{,}05$. Уравнение (1) после преобразований для натуральных значений факторов имеет вид.

$$P_{ок} = 1143{,}1 + 249{,}51P_{уд} - 0{,}183 - 240{,}22V_{в.п.} + 63{,}98V_{ок} + +0{,}97P_{уд} \cdot З + 1{,}61P_{уд}V_{в.п.} - 1{,}41P_{уд}V_{ок} - 65{,}42{P_{уд}}^2 - 25{,}813^2 - -4{,}31{V_{в.п.}}^2 - 12{,}21{V_{ок}}^2. \quad (2)$$

В результате оптимизации определена рациональные параметры процесса наружного хонингования, обеспечивающие минимальные составляющие силы резания $P_{ок}$: $P_{уд} = 0{,}65$ МПа; $З = 160/125$; $V_{в.п.} = 0{,}24$м/с; $V_{ок} = 0{,}46$ м/с.

Используя экспериментальных данных и метода ортогонального планирования второго порядка, для кодированных X_1, X_2, X_3, X_4 и натуральных значений факторов $P_{уд}, З, V_{в.п.}, V_{ок}$ получены модели изменения силы резания $P_{ос}$ от параметров процесса наружного хонингования.

Уравнение, характеризующие влияния $P_{уд}, З, V_{в.п.}$ и $V_{ок}$ на $P_{ос}$ для кодированных значений факторов имеет вид

$$\hat{y}_{ос} = 812{,}24 + 41{,}43X_1 + 26{,}37X_2 - 21{,}12X_3 - 31{,}12X_4 + +1{,}23X_1X_2 - \\ -1{,}26X_1X_3 + 4{,}31X_1X_4 + 0{,}22X_2X_3 - 1{,}15X_2X_4 + +1{,}81X_3X_4 - 16{,}41X_1^2 + \\ +1{,}52X_2^2 - 3{,}41X_3^2 - 12{,}14X_4^2. \quad (3)$$

После соответствующих преобразований уравнение (3) для натуральных значений факторов принимает следующий форму

$$P_{ос} = 610{,}21 + 505{,}12P_{уд} + 1{,}423 - 216{,}51\,V_{в.п.} + 161{,}21V_{ок} - 1{,}71P_{уд}З + \\ +2{,}27P_{уд}\,V_{в.п.} - 3{,}41P_{уд}V_{ок} - 1{,}313V_{в.п.} + 2{,}01\,ЗV_{ок} - 3{,}11V_{в.п.}V_{ок} - 205{,}02{P_{уд}}^2 - \\ -11{,}03\,З^2 - 87{,}11{V_{в.п.}}^2 - 21{,}31{V_{ок}}^2. \quad (4)$$

В результате расчетов определены следующие рациональные параметры процесса наружного хонингование, обеспечивающие минимальные величины $P_{ос}$:

$$P_{уд} = 0{,}64\text{ МПа}; З = \frac{160}{125};\ V_{в.п.} = \frac{0{,}24\text{м}}{\text{с}};\ V_{ок} = 0{,}45\text{ м/с}.$$

Анализ полученных результатов. При помощи полученных уравнений были рассчитаны величины составляющих сил резания $P_{ок}$, $P_{ос}$ в зависимости от технологических факторов $P_{уд}, З, V_{в.п.}, V_{ок}$.

На рис. 1 приведены зависимости составляющих сил резания от удельного давления $P_{уд}$ при различных величинах окружной скорости резания $V_{ок}$. Исследования показали, что при начальном периоде обработки наружным хонингованием с увеличением $P_{уд}$ составляющие силы резания изменяются по линейному закону. Однако с дальнейшим ростом удельного давления $P_{уд}$, линии, характеризующие изменения $P_{ок}$ и $P_{ос}$, имеют наибольший угол наклона. Как известно, с возрастанием $P_{уд}$ увеличивается сопротивление резания из-за повышения объема снимаемого материала. Кроме того, внедрение вершин абразивных зерен в поверхность обрабатываемой детали непосредственно зависит от приложенной к ним нагрузки, т.е. от удельного давления $P_{уд}$. Поэтому, чем бльше удельные давление, тем больше величина составляющих сил резания $P_{ок}$ и $P_{ос}$.

Удаление материала поверхностного слоя при наружном хонинговании происходит за счет микрорезания единичными абразивными зернами и при определенных критических значениях глубины внедрения, стабилизируется съем стружки.

Известно [4], что в зависимости от фактического отношения глубины внедрения абразивного зерна в материал, к радиусу округления вершины зерна, абразивное воздействие на обрабатываемую поверхность может происходить в виде упругого или пластического деформирования, а также возникать микрорезания. Поскольку одно и то же абразивное зерно в зависимости от величины внедрения в материал может оказывать упругое или пластическое деформирование, либо производить микрорезание. Кроме того, учитывая тот факт, что параметры единичных абразивных зерен имеют разные величины и неодинаковые формы, вполне очевидно насколько сложно определение условия абразивного воздействия на поверхностный

слой при наружном хонинговании. Результаты экспериментальных исследований показывают, что с увеличением зернистости алмазных брусков составляющие силы резания возрастают (рис 2).

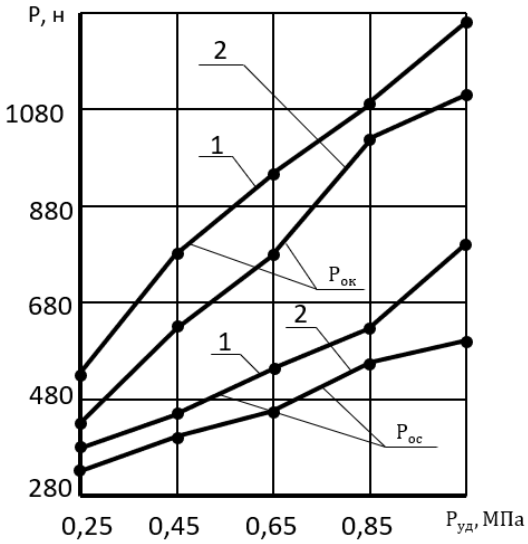


Рис 1. *Изменения величин сил резания P в зависимости от уделного давления* $P_{уд}$. *1,2 – соответственно при* $V_{ок} = 0{,}24$ м/с *и* $V_{ок} = 0{,}46$ м/с.

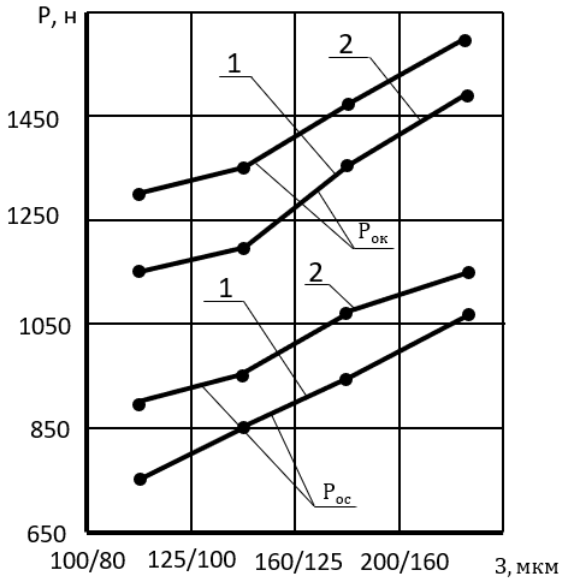


Рис 2. *Изменения величин сил резания P в зависимости от зернистости алмазных брусков З: 1,2 – соответственно при* $P_{уд} = 0{,}65$ МПа *и* $P_{уд} = 0{,}85$ МПа.

Указанная закономерность вполне очевидна. Так как с увеличением зернистости брусков увеличивается коэффициент трения абразивных зерен по обрабатываемому материалу и возрастает толщина снимаемого слоя, ухудшаются условия пластического деформирования поверхности материала, происходит дополнительное снятие металла. Следует отметить, что рост толщины материала поверхностного слоя при абразивной обработке естественно и площадь поперечного сечения при определенных углах резания не изменяет условие обработки. Необходимо учитывает и тот факт, что при больших мало зависит от толщины снимаемого материала.

С увеличением скорости возвратно-поступательного движения $V_{в.п.}$, снижается влияние контактного давления абразивных зерен брусков на единицу площади обрабатываемой поверхности, что приводит к снижению составляющих сил резания $P_{ок}$ и $P_{ос}$ (рис. 3).

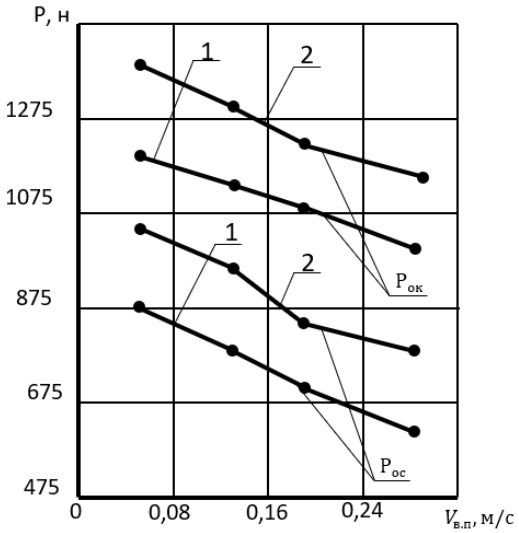


Рис 3. *Изменения величин сил резания P в зависимости от возвратно-поступательного движения* $V_{в.п.}$*; 1,2 – соответственно при* $P_{уд} = 0{,}65$ МПа *и* $P_{уд} = 0{,}85$ МПа.

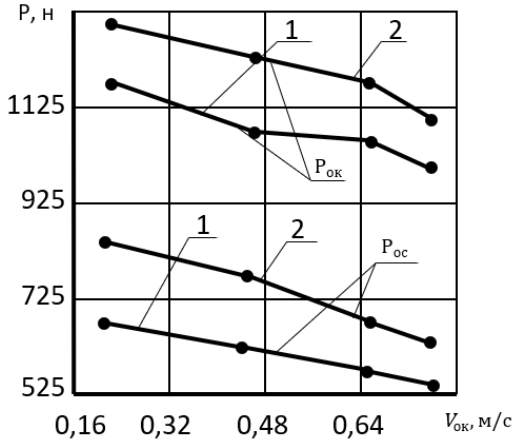


Рис 4. *Изменения величин сил резания P в зависимости от окружной скорости* $V_{ок}$*; 1,2 – соответственно при* $P_{уд} = 0{,}65$ МПа *и* $P_{уд} = 0{,}85$ МПа.

Результатами исследований [5] установлено, что при малом давлении абразивного зерна на обрабатываемый материал происходит скольжение зерна по поверхности материала, уменьшается его внедрение в металл, увеличивается передний угол, снижается толщина снимаемого слоя и уменьшается напряжение микрорезания. Из вышеизложенного следует, что при абразивном воздействии на поверхность обрабатываемой детали большую роль играет сила трения. Кроме того, из-за разновысотности зерен часть из них оказывает пластическое, часть-упругое воздействия на поверхностный слой. В связи с этим, очень важна создания необходимого условия для эффективного абразивного воздействия как при изменения скорости возвратно-поступательного движения $V_{в.п.}$, так и окружной скорости резания $V_{ок}$. Результаты экспериментальных исследований показывают, что с увеличением окружной скорости резания $V_{ок}$, составляющие силы резания $P_{ок}$ и $P_{ос}$ уменьшаются (рис. 4). Известно [4], что с увеличением окружной скорости уменьшаются сечения единичных срезов, снижаются эффективность

контактных связей с обрабатываемым материалом и условия внедрения алмазных зерен в поверхностны слой ослабляются. Совместное действие этих факторов приводит к снижению силрезания при увеличении окружной скорости.

Выводы. Результаты работ по моделированию процесса наружного хонингования, а также анализ результатов экспериментальных исследований показывают, что указанным процессом можно управлять и достигнуть таких условий, при которых обеспечиваются минимальные составляющие силы резания.

Литература

1. Гафаров, А.М. Исследования динамических особенностей процесса наружного хонингования при обработке высокоточных деталей судовых машин и механизмов / А.М. Гафаров, И.А. Ханкишиев, С.Г. Пашазаде //Технологоия машинстроения, -Москва: -2023. N4,-с. 10-14.
2. 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 машинстроения, - Москва: -2023. N6,-с. 486-490.
3. Гафаров, А.М. Ротационное хонингование / А.М. Гафаров, Г.М. Бабаев. – Баку: Наука, -2000, -132 с.
4. Гафаров, А.М. Технологические способы повышения износастойкости деталей машин / А.М. Гафаров. -Баку: Наука, -1998. -318 с.
5. Сулейманов, П.Г. Повышение надежности машин и оборудования, эксплуатируемых в экстремальных условиях / П.Г. Сулейманов. -Баку: Наука, -2018. -308с.

Məqalə qəbul olunub: 01.04.24
Tövsiyə edib: dos. Xankişiyev İ.A.

UOT 621.742

FERROƏRİNTİLƏR İSTEHSALININ VƏZİYYƏTİ VƏ PERSPEKTİVLƏRİ

[1]Məmmədov A.T., [1]Babayev A.İ., [2]İsmayılov N.Ş., [1]Hüseynov M.Ç.

[1]Azərbaycan Tezxniik Universiteti
AZ1073, Bakı şəh., Hüseyn Cavid pros. 25
[2]"Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası" PHŞ
AZ1000, Bakı şəh., Z. Əliyeva küç. 18

Xülasə. *Məqalədə Müstəqil Dövlətlər Birliyi (MDB) ölkələrində ferroərintilər istehsalının cari vəziyyəti araşdırılır. Qeyd olunur ki, ferroərintilər istehsalının bu günkü durumu polad istehsalının inkişafı ilə birbaşa əlaqədardır. Məhz buna görə də polad istehsalının MDB ölkələrində sürətlə inkişafı ferroərintilər istehsalının da artırılmasını tələb edir.*

Məqalədə ferroərintilər istehsalının inkişaf yolları göstərilmişdir: bu yollar, filiz xammalının dəyərindən tutmuş, yeni tip proses və aqreqatların, bərpaedicilərin və s. tətbiqinin innovativ texnologiyalarının işlənməsilə birbaşa əlaqədardır.

Rusiya Federasiyasının timsalında MDB ölkələrində ferroərinti istehsalının dinamikası təhlil edilmiş və bu sahənin inkişaf istiqamətləri müəyyən edilmişdir. Göstərilmişdir ki, ferroərintilər istehsalının Azərbaycanda sürətli inkişafı ölkənin polad istehsalı sahəsində qarşıya qoyulan

planlarının həyata keçirilməsinə böyük töhfə verə bilər. Gələcəkdə məhz bu kontekstdə metallurgiya sənayesinin inkişafı Dövlər Proqramlarında öz əksini tapa bilər.

Abstract. *The article examines the current state of ferroalloy production in the countries of independent states (CIS). It is noted that the current state of ferroalloy production is directly related to the development of steel production. In this regard, the accelerated development of steel production in the CIS requires an increase in the volume of ferroalloy production.*

The ways of developing the production of ferroalloys, which are directly related to the cost of ore raw materials, the development of innovative technologies, the introduction of new types of processes, units and reducing agents, etc., are shown. An analysis of the production of ferroalloys was made using the example of the Russian Federation and the directions for the development of this industry in the CIS were determined.

Accelerated development of ferroalloy production can make a great contribution to the implementation of steel production plans. In this context, the development of the metallurgical industry in the future will be reflected in State Programs.

Аннотация. *В статье рассматривается текущее состояние производство ферросплавов в странах независимых государств (СНГ). Отмечается, что сегодняшное состояние производства ферросплавов прямо связано с развитием производства сталей. В связи с этим ускоренное развитие производства стали в СНГ требует повышение обьема производства ферросплавов.*

Показаны пути развития производства ферросплавов, которое прямо связано со стоимостью рудного сырья, разработкой инновационных технологий, внедрением новых типов процессов, агрегатов и восстановителей и т.д. Произведен анализ производства ферросплавов на примере Российской Федерации и определены направления развития этой отрасли в СНГ.

Ускоренное развитие производства ферросплавов может дать большой вклад при осуществлении поставленных перед собой планов по производству стали. В таком контексте найдет свое отражение на Государственных Программах развитие металлургической промышленности в будущем.

Açar sözlər: *ferroərintilər, polad istehsalı, bərpaedicilər, metal filizləri*

Key words: *ferroalloys, reducing agents, steel production, metal ores*

Ключевые слова: *ферросплавы, восстановители, производства стали, металлические руды*

Giriş. Rusiya və MDB ölkələrində ferroərintilər istehsalının cari vəziyyəti araşdırılmışdır. Göstərilmişdir ki, ferroərintilər istehsalının durumu poladəritmə sahəsinin inkişafı ilə birbaşa bağlıdır. Odur ki, poladəritmənin həcminin artması qaçılmaz olaraq ferroərintilər istehsalı həcminin artmasına gətirib çıxarır [1].

Müəyyən olunmuşdur ki, son 10 il ərzində polad istehsalının ümumi həcmi orta hesabla 30% artmışdır. Daxili bazarda ferroərintilərin əsas istehlakçıları - Rusiya metallurgiya müəssisələri sadalanmış və digər ölkələrin istehsalçılarında (Çin, Hindistan, Avropa Birliyi, ABŞ, Yaponiya) ferroərintilərin istehsal və istehlakının sturukturu araşdırılmışdır.

Aşkar olunmuşdur ki, son illər MDB ölkələrində ferroərintilər istehsalının artımı poladəritmənin artımını xeyli üstələyir, burada artım 40%-ə yaxındır.

Ferroərintilər istehsalı sahəsinin **əsas inkişaf yolları** göstərilmişdir:

- filiz xammalının maya dəyərinin məhsulun dəyərində payının azaldılması;
- bərpaedici və enerji sərfinə qənaət, daha ucuz filiz xammalının istifadəsi;
- yeni tip proses və aqreqatların tətbiqi;
- ferroərintilərin digər alternativ növlərinin işlənməsi;
- klassik proseslərin innovativ proseslərlə əvəzlənməsi və s.

Belə proseslərə misal olaraq sabit cəryanla işləyən sobalarda əritmənin genişləndirilməsi göstərilmişdir. Bu proses xırda ucuz bərpaedici (məsələn, antrasit) ilə kombinasiyada qıt olan tikəli daş kömür əvəzinə, ferroxrom istehsalı üçün xammal qismində hazırlanmış, xırda xrom filizini istifadə etməyə imkan verir.

Oksigen reaktorunda əritmə prosesi də perspektivli texnologiya kimi təqdim olunur. Bu prosesin əsasında aqreqatın öz daxilində karbon oksidinin bərpa (reduksiya) proseslərinin gedişində ayrılan oksigenin qazşəkilli oksigenlə yandırılması prinsipi durur.

Həmçinin ferroərinti məhsulunun alternativ növlərinin istifadəsinin genişləndirilməsi mümkündür. Belə material kimi karbonlu kalsium misal gətirilir, bu ərinti poladəritmə istehsalında kalsium karbidini əvəzləyə bilər.

[2] saylı işdə ferroərintilər istehsalı üçün xammal bazasının inkişafında yeni tendensiya və iqtisadi imkanlar araşdırılır. Məqalədə iqtisadi inkişafın müasir mərhələsi - **neosənayeləşmənin** formalaşması şəraitində ferroərinti istehsalının artan rolu əsaslandırılmışdır.

Ferroərinti istehsalının inkişafının **əsas tendensiyaları** aydınlaşdırılmışdır:

- istehsalın konsentrasiyasının artması;
- ferroərintilərin istehlakının durmadan artması;
- ferroərinti istehsalında dayanıqlı inkişafın əsas faktoru kimi mineral xammal bazasının xüsusi rolu və inteqrasiya proseslərinin inkişafı.

Məqalədə xammal mənbələrinin qıtlığını aradan qaldırmaq üçün ferroərinti istehsalçıları tərəfindən aparılan tədbirlər sistemləşdirilmişdir. Nadir torpaq elementləri (NTM) əsasında ferroərinti məhsulu istehsalının zəruriliyi və yüksək texnoloji materiallar istehsalının qeyri-müəyyənliyi şəraitində iqtisadi əsaslandırmaya yeni metodik yanaşmanın işlənməsi vacibliyi əsaslandırılmışdır.

Konkret ferroərinti zavodunun timsalında qərar qəbul etmək üçün binominal ağac və Blek-Şoulz modeli istifadə etməklə real opsionlar metodu ilə NTM (RZM) əsasında liqatur istehsalının səmərəliliyi təyin olunmuşdur.

Beləliklə, müəlliflər Rusiyada ferroərinti istehsalının vəziyyətini təhlil edərək aşağıdakı **tendensiyaları qeyd etmişlər:**

- istehsalın konsentrasiyasının güclənməsi;
- ferroərintilərin istehsalının durmadan artması;
- ferroərinti satışı sturukturunda bazarın payının azalması;
- xammal mənbələri ilə təminatın aşağı düşməsi;
- əlavə xammal mənbəyi kimi texnogen yataqların rolunun artması;
- inteqrasiya proseslərinin inkişafı;
- şəbəkə prinsipi ilə istehsal fəaliyyətini təşkil edən sturukturlar - klasterlərin yaranması.

[3] saylı işdə ferroərinti istehsalının texnoloji modernizasiyası şəraitində resurslara qənaət etməklə ferroərinti istehsalının bəzi aspektləri araşdırılır. Məqalədə ferroərinti istehsalının texnoloji modernizasiyasının vacibliyi əsaslandırılır və göstərilir ki, onun əsasında resurslara qənaətli texnologiyaların geniş miqyasda tətbiqi durmalıdır.

Material xərclərini səmərəli idarəetmənin təşkili aləti kimi qənaətli istehsal texnologiyası ***(lean-technoloji)*** araşdırılmışdır. Konkret ferroərinti zavodunda istehsal prosesininin təkmilləşdirilməsi istiqamətlərinin axtarış alqoritimi işlənib hazırlanmışdır. Axtarış alqoritimi vastəsilə ferroərinti zavodunda optimallaşması tələb olunan bir sıra istiqamətlər müəyyən olunmuşdur:

- qeyri-likvid məhsulun əmələ gəlməsi;
- texnoloji tullantılar və istehsal itkilərinin böyük həcmi.

Ferroərinti istehsalı müəssisələrində resurslara qənaət probleminin həllinə yönəlmiş elmi əsaslandırılmış tədbirlər təklif olunmuşdur.

[4] saylı iş Rusiya metallurgiysasının xammal təhlükəsizliyi probleminə həsr olunmuşdur. Göstərilmişdir ki, orta müddətli perspektivdə Rusiyanın qara metallurgiyasını xammal təminatı ilə bağlı ciddi sarsıntılar gözləyir. Məqalədə Rusiya Federasiyası dünyada metal məhsulu istehsal edən

nəhəng istehsalçı kimi səciyyələndirilir. Rusiya qara metallurgiyasının 1997-2007-ci illər arasında əmtəəlik polad və filiz istehsalının dinamikası təhlil olunmuşdur.

Göstərilmişdir ki, dünya iqtisadi böhranından əvvəlki 2007-ci ildə Rusiya dünyada metal məhsulu ixracı və polad istehsalının həcminə görə müvafiq olaraq 3 və 4-cü yerləri tutmuşdur. 2000-2007-ci illərdə Rusiya metal məhsulunun ixrac və idxal dinamikası təhlil olunmuş və göstəricilərin daim artım dinamikası (müvafiq olaraq 7.7 və 2.3-dən 26.2 və 13.6 mlrd. dollara qədər artım) müşahidə olunmuşdur.

Aparılmış təfərrüatlı təhlil əsasında belə qənaətə gəlinmişdir ki, Rusiya qara metallurgiyasının xammal bazası getdikcə tükənir və bu perspektivdə istehsalın artmasına mənfi təsir göstərə bilər.

Məqalə xammal bazası ayrıca olaraq dəmir, manqan və xrom filizləri yataqlarının sənaye ehtiyatlarını qiymətləndirməklə yekunlaşmış və belə nəticə çıxarılmışdır: mövcud durumda ortamüddətli perspektivdə Rusiyanın qara metallurgiya sənayesində xammal təminatı ilə əlaqədar katastrofik və geridönməz proseslər baş verəcəkdir. Bu proseslərin aktivləşmə zonaları qismində Ural və Sibir reginları proqnozlaşdırılır.

Bu məsələyə həsr olunmuş daha bir neçə önəmli ədəbiyyat mənbəyini [5-15] şərh edək. Bu ədəbiyyat siyahısında [5] saylı işdə Polyar və Pripolyar Ural regionunda qara metallurgiyanın inkişaf perspektivlərindən söz açılmış və inkişafın əsas amili kimi xammal bazasının tükənməsinə diqqət yetirilmişdir.

Rusiyanın Çelyabinsk vilayətində dəmir-filiz xammal bazasının durumu və inkişaf yolları [6] saylı məqalədə ətraflı şərh olunmuşdur. Göstərilmişdir ki, son onillikdə bu regionda dəmir filizi xammalının ehtiyatları durmadan tükənir, çıxarılan filizin kefiyyəti pisləşir və əmtəəlik konsentrat alınması daha böyük xərclər hesabına başa gəlir.

[7]-ci tədqiqat işi də Ural regionu dağ-mədən və metallurji müəssisələrin xammal bazasının inkişaf perspektivlərinə həsr olunmuşdur. Məqalədə metallurgiya kompleksinin son onillikdə xamalla təchizatının pisləşdiyi qənaətinə gəlinmiş və "təkrar yataqların" və ya texnogen resursların dövriyyəyə cəlb olunması zərurəti vurğulanmışdır.

Uzaq Şərq vilayətində 2009-2017-ci illər dövründə qara metallurgiya sənayesinin problemləri araşdırılmış, mövcud vəziyyətin icmalı aparılmış və perspektivlər işıqlandırılmışdır [8, 9]. Ural Federal Dairəsinin mineral xammal təhlükəsizliyi [10] işində təhlil olunmuşdur. Sadalanan işdə də dağ-mədən və metallurgiya kompleksinin xammal bazasının təchizat perspektivləri pessimist qiymətləndirilmişdir.

Ukraniyanın Dnepropetrovsk vilayətinin dağ-mədən və metallurji kompleksinin durumu [11] işində araşdırılmışdır. Təhlil göstərmişdir ki, dünya metallurgiyasına xas olan trendlər Ukrayna metallurgiya kompleksindən də yan keçməmişdir. Göstərilmişdir ki, dəmir, manqan, xrom və titan filizlərinin "yoxsulluğu" ucbatından yüksək keyfiyyətli legirli poladların istehsalı bir sıra çətinliklərlə üzləşmişdir.

Rusiya qara metallurgiyasının mineral xammal bazasının sənaye mənimsənilmə vəziyyəti və problemləri [12] işində təhlil olunmuşdur. Göstərilmişdir ki, qara metallurgiyanın mineral xammal bazası tükənmək üzrədir və bu sahədə yeni yanaşmalar və innovativ texnologiyaların tətbiqinə ehtiyac vardır.

[13] işində yeni iqtisadi şəraitdə Uzaq Şərqdə manqan və dəmir filiz yataqlarının mənimsənilmə vəziyyəti təhlil olunmuşdur. Göstərilmişdir ki, Rusiyanın mərkəzi regionlarında yataqlar tükənmək üzrədir və indi Uzaq Şərq regionunda yataqların mənimsənilməsinə daha böyük diqqət yetirilməlidir. [14] işində yenə (artıq 2017-ci ildə) Rusiya Federasiyasında qara metallurgiyanın xammal təhlükəsizliyi məsələsinə araşdırılmışdır.

Beləliklə, bu məsələyə son illərdə çoxsaylı tədqiqat işlərinin həsr olunması metallurgiya sənayesinin mineral xammal ehtiyatlarla təchizat probleminin aktuallığından xəbər verir. Rusiya kimi zəngin faydalı qazıntı ehtiyatları və nəhəng metallurgiya ölkəsi üçün aktual olan bu problem, əlbəttə ki, məhdud ehtiyatlara malik Azərbaycan üçün də aktuallıq kəsb edir.

2022-ci ildə müəlliflər kollektivi tərəfindən hazırlanmış "Rusiya qara metallurgiyası sənaye kompleksinin xammal bazası" adlı irihəcmli monoqrafiya [15] bu kontekstdə xüsusi maraq doğurur. Monoqrafiyada son onillikdə bu sahədə aparılmış tədqiqat nəticələri ümumiləşdirilmiş və sistemləşdirilmişdir.

Nəticə. Rusiya Federasiyası timsalında MDB məkanında legirli polad və ferroərintilər istehsalının xammal bazasının vəziyyəti və perspektivləri təhlil olunmuş, bu aktual elmi-texniki problemin həlli yolları müəyyən edilmişdir. Son illər bu sahədə aparılmış tədqiqat işləri, məqalələr və monoqrafiyalarda əks olunan nəticələr təhlil olunmuşdur.

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

Ədəbiyyat

1. Павлов А.В., Островский Д.Я., Аксенова В.В., Бишенов С.А. Текущее состояние производства ферросплавов в России и странах СНГ // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия, Том. 63, №8, (2020). http:doi.org/10.17073/0368-0797-2020-8-600-605
2. Романова О.А., Позднякова Е.А. Развитие сырьевой базы ферросплавного производства: новые тенденции и экономические возможности // Экономика региона, 2013, №1, с.167-177
3. Позднякова Е.А. Политика ресурсосбережения в рамках технологической модернизации ферросплавного производства // Экономика региона, 2011, №2, с.163-167
4. Чернобровин В.П. Сыревая безопасность черной металлургии России // Пространство и время, 2011, №3, 3/5
5. Анисимова А.Б. Перспективы развития черных металлов Полярного и Приполярного Урала. 2009
6. Жилин И.В., Плохих Н.А. Пути развития железорудной базы Челябинской области. 2005
7. Волков Ю.В., Славиковский О.В., Соколов И.В., Смирнов А.А. Перспективы развития сыревой базы горно-металлургических предприятий Урала. 2007
8. Архипов Г.И. Развитие черной металлургии на Дальнем Востоке. 2009
9. Архипов Г.И. Проблемы далневосточной черной металлургии: обзор состояние и перспективы. 2017
10. Пахомов В.П., Душин А.В. Оценка минерально-сыревой безопасности Уральского Федерального Округа. 2008
11. Мосур П.М., Чоха А.Н. Горно-металлургический комплекс Днепропетровской области. 2010
12. Дунаев В.А. Состояние и проблемы промышленного освоения минерально-сыревой базы черной металлургии России. 2004
13. Архипов Г.И. Освоение железо и марганцеворудных месторождений Дальнего Востока в новых экономических условиях. 2000
14. Чижиков А.Г., Черноусов П.И., Чижикова И.К. Сырьевая безопасность предприятий черной металлургии в РФ. // НИТУ МИСиС, ООО УралМетКом. 2017
15. Гальянов А.В., Яковлев В.Л. Сырьевая база промышленного комплекса черной металлургии России // Монография. Инфра Инженерия, 2022, 340с.

Məqalə qəbul olunub: 01.04.24
Tövsiyə edib: dos. Xankişiyev İ.A.

UOT 621. 746

YERLİ RESURSLAR ƏSASINDA LEGİRLİ POLADLAR VƏ FERROƏRİNTİLƏR İSTEHSALI ÜÇÜN AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASINDA XAMMAL EHTİYATLARININ ANALİZİ

Məmmədov A.T., Babayev A.İ., İsmayılov N.Ş., Hüseynov M.Ş., Quliyev F.T.

Azərbaycan Texniki Universiteti
AZ1078, Bakı şəh., H.Cavid pros., 25
E-mail: nizism@mail.ru

Xülasə. *Məqalədə legirli poladlar və ferroərintilər üçün Azərbaycan Respublikasında mövcud olan xammal resurslarının yataqları və onların yerləşdiyi ərazilər təhlil olunur. Göstərilir ki, ölkədə qara və əlvan metalların yerli resurslar əsasında istehsalı üçün kifayət qədər mürəkkəb tərkibə malik olan filiz yataqları vardır.*

Eyni zamanda ferroərintilər istehsal etmək üçün Azərbaycanda kvars qumu yataqları, həm də digər legirli elementlərin filizlərinin yataqları vardır. Onlardan istifadə edərək lazımi həcmdə mürəkkəb tərkibli ferroərintilər istehsalı etmək olar. Bu ferroərintilərin istehsalı üçün bərpaedici kompenent kimi ölkədə kifayət qədər neft koksu da vardır.

Göstərilən resursların bazası əsasında legirli poladlar və ferroərintilərin istehsalının təşkili mümkündür və bunun üçün innovativ texnologiyaların istifadəsi ilə güclü yerli istehsal sahələrinin yaradılması qurulması dövrümüzün aktual məsələlərindən biridir.

Abstract. *The article analyzes the deposits of raw materials available in the Republic of Azerbaijan for the production of alloy steels and ferroalloys and their location. It is shown that the country has ore deposits of sufficiently rich composition for the production of ferrous and non-ferrous metals based on local resources.*

It is indicated that Azerbaijan also has deposits of quartz sand for the production of ferroalloys, as well as deposits of ores of other alloying elements. With their help, it is possible to produce ferroalloys of complex composition and in the required volume. The country has enough petroleum coke as a regenerative component for the production of ferroalloys.

It has been suggested that on the basis of these resources it is possible to organize and master the production of alloy steels and ferroalloys. It has been confirmed that the creation of powerful local production using innovative technologies is one of the urgent tasks of the metallurgists of the republic.

Аннотация. *В статье анализируются имеющиеся в Азербайджанской Республике месторождения сырьевых ресурсов для производства легированных сталей и ферросплавов и их расположение. Показано, что в стране имеются месторождения руд достаточно богатого состава для производства черных и цветных металлов на основе местных ресурсов.*

Указано, что Азербайджане также имеются месторождения кварцевого песка для производства ферросплавов, а также месторождения руд других легирующих элементов. С их помощью можно производить ферросплавы сложного состава и в необходимом объеме. В стране достаточно нефтяного кокса как регенеративного компонента для производства ферросплавов.

Выдвинуто предположение, что на базе указанных ресурсов можно организовать и освоить производство легированных сталей и ферросплавов. Подтверждено, что создание мощных локальных производств с использованием инновационных технологий является одной из актуальных задач металлургов республики.

Açar sözlər: *yerli resurslar, filiz yataqları, legirli poladlar, ferroərintilər, xammal ehtiyatları*
Key words: *local resources, ore deposits, alloy steels, ferroalloys, raw material reserves*

Ключевые слова: *местные ресурсы, рудные месторождения, легированные стали, ферросплавы, сырьевые запасы*

Giriş. Azərbaycan Respublikasında yerli xammal yataqları barədə tərəfimizdən aparılan araşdırmalar ölkədə legirli poladlar və ferroərintilər istehsalının mənimsənilməsi üçün müəyyən zəmin olduğunu göstərir. Lakin problemin köklü surətdə həll edilməsi üçün xeyli dərin nəzəri tədqiqatların və innovativ texnoloji proseslərin işlənməsinə ehtiyac vardır (1,2).

Aşağıda verilən məlumatlar əsasında yerli xammal resurslarının ölkə regionlarında paylanma mənzərəsi təsvir olunmuşdur.

Dəmir filizləri bu gün də sənaye və iqtisadi inkişafın əsas dayaqlarından biri sayılır. Hazırda Azərbaycanın ərazisində 3 dəmir filizi yatağının sənaye əhəmiyyətli ehtiyatları təsdiq edilmişdir. Onlar Daşkəsən filiz rayonunda yerləşməklə Daşkəsən, Cənubi Daşkəsən və Dəmir kobaltlı-maqnetit yataqları ilə təmsil olunur.

Daşkəsən qrupu (Daşkəsən, Cənubi Daşkəsən, Dəmir) yataqları bazasında Daşkəsən filizsaflaşdırma kombinatının fəaliyyəti bərpa olunacağı təqdirdə ölkəmiz 70–80 il müddətində etibarlı xammal ehtiyatı ilə təmin edilə bilər.

Xromit filizləri. Geoloji-axtarış işləri nəticəsində Kəlbəcər rayonu ərazisində Göydərə qrupu xromit filizi, Laçın rayonu ərazisində isə İpək qrupu xromit filizi təzahürləri aşkar olunmuşdur.

Göydərə xromit yatağı İstibulaqsu çayının suayrıcında, Kəlbəcərin rayon mərkəzindən 20 km şimal-qərbdə yerləşir. Xromit filizində xrom oksidinin miqdarı 43,5–52,6%; Cr_2O_3: FeO – nisbəti 3,5–4,0 arasındadır ki, bu da sənayenin tələbinə tam cavab verir.

İpək xromit yatağı Laçın rayonunun Ipək kəndi yaxınlığında yerləşir. Burada xrom oksidinin miqdarı (Cr_2O_3) – 25,0-39,5% təşkil edir. Bu yataqda xrom filizləşməsinin yayılma sahəsi 500 kv. km-ə qədərdir.

Əlvan və nadir metallar. Azərbaycan ərazisində əlvan metallardan mis, qurğuşun, sink, kobalt, civə, sürmə filizlərinin yataqları əsasən Balakən-Zaqatala, Gədəbəy, Qarabağ və Ordubad filiz rayonlarında cəmlənmişdir.

Balakən-Zaqatala filiz rayonunda misin əsas ehtiyatları mis-kolçedan, kolçedan-polimetal tipli, Qarabağ və Ordubad filiz rayonlarında isə əsasən mis-porfir, molibden-mis-porfir və qızıl-mis-kolçedan tipli yataqlarda cəmləşmişdir. Sənaye ehtiyatları təsdiq edilmiş Qaradağ mis-porfir yatağı ölkənin ümumi filiz ehtiyatlarının 4,7%-ni təşkil edir.

Balakən-Zaqatala filiz rayonunda üç kolçedan-polimetal yatağında - nəhəng Filizçay, orta miqyaslı Kasdağ və Katex yataqlarında misin sənaye ehtiyatları təsdiq edilmişdir. Saqator mis-sink, Mazımçay mis-kolçedan və Aşağı Karabçay kolçedan-polimetal yataqlarının ehtiyatları da sənaye əhəmiyyətlidir. sahə balansında qeydə alınmış və proqnoz ehtiyatları hesablanmışdır.

Misin sənaye ehtiyatları Qaradağ mis-porfir yatağı ilə yanaşı Qarabağ filiz rayonunda yerləşən Qızılbulaq qızıllı mis-kolçedan yatağında və Vejnəli qızıl yatağında təsdiq edilmişdir. Qarabağ filiz rayonunda Dəmirli mis-porfir, Gədəbəy filiz rayonunda Gədəbəy mis-kolçedan yataqları sənaye ehtiyatlarına malikdir.

Naxçıvan zonasında Göydağ, Diaxçay, Misdağ-Şələlə mis-porfir, Ağyurd qızıl, Nəsirvaz-Ağdərə polimetal yataqlarında misin böyük ehtiyatları hesablanmışdır.

Gədəbəy filiz rayonunda əsasən mis-porfir, qismən mis-kolçedan yataqları inkişaf tapmışdır. Gədəbəydə Qaradağ mis-porfir yataqlarının ehtiyatları sahə balansına götürülmüşdür. Gədəbəy filiz rayonu mis-porfir, mis-kolçedan, mis-qızıl filizlərinə görə ən perspektiv rayonlardan biridir.

Mis filizlərinin ehtiyatına görə **Qarabağ filiz rayonu** da perspektivli hesab olunur. Bu filiz rayonunda əsasən mis-porfir, qızıl-mis-kolçedan və digər filiz növləri geniş yayılmışdır. Ağdərə rayonunda Qızılbulaq qızıl-mis-kolçedan yatağının sənaye ehtiyatları Dövlət balansına götürülmüşdür. Bu yataqda misin orta miqdarı 1,38% təşkil edir.

Daşkəsən filiz rayonunda mis-porfir və mis-kolçedan filizlərinə görə perspektivli Qoşqarçay və Qoşqardağ sahələri aşkar olunmuşdur.

Naxçıvan MR ərazisində Ordubad filiz rayonunda sənaye ehtiyatları təsdiq olunmuş Parağaçay mis-molibden yatağında mədənin fəaliyyəti bərpa oluna bilər. Mədənin etibarlı xammalla təchiz edilməsi üçün, istismar kəşfiyyatının və yatağın ətrafında planlı şəkildə axtarış işlərinin davam etdirilməsi zəruri hesab olunur.

Naxçıvan ərazisində sənaye əhəmiyyətli mis yataqlarından Ordubad filiz rayonu yüksək perspektivli hesab edilir. Bu ərazidə Parağaçay, Misdağ, Göydağ, Göygöl, Şəlalə, Diaxçay, Kotam-Kilit filiz sahələrində çoxsaylı mis-molibden təzahürləri aşkar edilmişdir. Culfa rayonunda Xanağa-Ordubad filizləşmə sahəsində süxurlarda xeyli miqdarında proqnoz resursları gözlənilir.

Qurğuşun və sinkin ehtiyatları təsdiq edilmiş polimetal filiz yataqları aşağıdakılardır: Filizçay, Kasdağ, Katex, Mehmana və Gümüşlük. Qazax filiz rayonunda Şəkərbəy, Naxçıvanın Ordubad filiz rayonunda Nəsirvaz-Ağdərə polimetal filiz yataqlarının qurğuşun ehtiyatları sənaye əhəmiyyətli hesab olunur.

Avropa və dünyanın ən iri yataqları sırasına daxil olan Filizçay kolçedan-polimetal yatağının sənaye ehtiyatları təsdiq edilmişdir. Yataq 95 mln. ton filiz ehtiyatına malikdir.

Filizdə əsas qiymətli komponentlər mis (filizdə orta miqdarı 0,59%), sink (3,63%), qurğuşun (1,43%), gümüş (44,2 q/t), bismut, kadmium, kobalt, selen, tellur, indium və s. ibarətdir ki, onların da sənaye ehtiyatları hesablanmışdır. Bu filizlərin texnoloji xüsusiyyətləri filizsaflaşdırma fabrikində qurğuşun-sink, mis və pirit konsentratlarının alınması və onların metallurji emalına imkan verir.

Filizçay yatağının ehtiyatları dağ-mədən müəssisəsinin yüksək rentabelli fəaliyyətini 60 ildən artıq müddətə təmin edə bilər. Filizçay yatağının həndəvərində Kasdağ və Katex polimetal, Saqator mis-sink və Mazımçay mis-kolçedan filiz yataqları yerləşir. Bu yataqlarda nəzərdə tutulan ehtiyatlar ölkə metallurgiya kompleksinin əlavə xammal bazası kimi çıxış edə bilər.

Qurğuşun və sink filiz yataqlarından biri Qarabağ filiz rayonunda, Ağdərə şəhərindən 25 km cənub-qərbdə Mehmana yatağıdır. Yatağın filizlərində qurğuşunun orta miqdarı 6,87%; sink isə 2,9% təşkil edir. Filizdə gümüş, kadmium, qızıl, selen və tellurun yüksək miqdarı qeydə alınmışdır.

Naxçıvan MR ərazisində sənaye ehtiyatları təsdiq edilmiş qurğuşun-sink yataqları Şərur və Ordubad rayonlarında yerləşirlər. Şərur rayonundakı Gümüşlük yatağı üzrə əsas faydalı komponentlər qurğuşun və sink, kadmium, qallium və gümüşdür.

Balakən-Zaqatala filiz rayonunda Saqator mis-sink yatağı, Naxçıvan MR-da Nəsirvaz-Ağdərə polimetal yataqlarında sinkin sənaye ehtiyatları ehtiyatları hesablanmışdır.

Polimetal filiz yatağı. Azərbaycan, eləcə də bütün Qafqazın ən böyük polimetal filiz yatağı Filizçay yatağıdır. Filizçay yatağında 80-dən artıq mineralın ehtiyatları müəyyən edilmişdir. Onlara mis, qurğuşun, gümüş və kükürdlə yanaşı, qızıl, bismut, kobalt, kalium, selen və tellur kimi qiymətli komponentlər aiddir. Balakən-Zaqatala filiz rayonu Filizçay, Kasdağ, Katex, Saqator, Karabçay kolçedan-polimetal yataqları sənaye üçün perspektivli hesab oluna bilər.

Təkcə Mazımçay mis-kolçedan yatağının ehtiyatı 350 min ton qiymətləndirilir. İlkin hesablamalara görə bu yataqlardan ildə 25,4 min ton mis, 32,6 min ton qurğuşun, 80 min ton sink, 1,05 ton qızıl, 85 ton gümüş hasil edilə bilər. Ehtiyatlar regionda dağ-mədən və metallurgiya kompleksini yaratmağa imkan verir.

Kobaltın təsdiq edilərək dövlət balansında qeydə alınmış sənaye ehtiyatları Daşkəsən filiz rayonunda Hamamçay və Dəmir yataqlarında, Balakən-Zaqatala filiz rayonunda Filizçay yatağında cəmləşmişdir. Daşkəsən yatağının istismarı dövründə Qoşqarçay vadisinə 90 mln. tondan artıq tullantılar yığılmışdır ki, bu tullantıların tərkibində külli miqdarda qiymətli kobalt vardır.

Ordubad filiz rayonunda da bir sıra mis-kobalt və molibden təzahürləri aşkar edilmişdir ki, onlardan da ən böyük maraq doğuranı Kotam və Kilit təzahürləridir.

Kotam mis-kobalt təzahürü xalkopirit-pirit tərkiblidir. Filizldə kobaltın miqdarı 0,06–0,3%, nikel-0,1%, mis - 0,3–1,12% arasında dəyişir. Kilit mis-kobalt təzahürü kobalt və nikel, pirit-xalkopirit tərkiblidir və elementlərin orta miqdarı: kobalt -0,028–0,115%, mis - 0,07–0,43%-dir.

Respublikada yüksək keyfiyyətli poladlar və ferroərintilər istehsalı üçün xammal bazası olaraq Şimali Daşkəsən kobalt yatağının ehtiyatları maraq doğurur.

Molibden. Molibdenin dövlət balansında qeydə alınmış ehtiyatları Ordubad filiz rayonunda Parağaçay yatağında cəmləşir. Ordubad filiz rayonunda Göydağ, Diaxçay, Misdağ-Şəlalə və Qarabağ filiz rayonunun Dəmirli mis-porfir yataqlarında yanaşı komponent kimi molibden ehtiyatları qiymətləndirilərək proqnoz resursları hesablanmışdır.

Alüminium xammalı. Respublika ərazisində əvvəllər aparılmış geoloji-kəşfiyyat işləri ilə Zəylik alunit filizləri yatağı aşkar edilmiş və kəşfiyyatı aparılmışdır. Yataq Daşkəsən rayonunda, Quşçu körpüsündən 18 km məsafədə yerləşir. Filizlər əsasən alunitdən və kvarsdan ibarətdir. Alunitin miqdarı 10–80% arasında dəyişməklə, yataq üzrə orta miqdarı 53%-dir. Alunit filizləri Respublika üzrə ümumi filiz ehtiyatlarının 29,7% -ni təşkil edir.

Zəylik alunit yatağı Gəncə gil-torpaq kombinatının mineral-xammal bazası kimi 1964-cü ildən istismar olunur. Hər il alunitdən 200 min ton gil-topraq, 385 min ton sulfat turşusu, 78 min ton kalium gübrəsi alınırdı. Bu yatağın ən cəlbedici amillərindən biri də odur ki, alunit filizlərinin tərkibində nüvə reaktorlarında, təyyarə və raket texnikasında, ərinti birləşmələrində istifadə edilən vanadium və qallium metalları vardır.

Kvars qumları. Şüşə istehsalı üçün xammal kimi 5 yatağın (Hacıvəli, Hökməli, Şərqi Zeyid, Yasamal və Zeyid) ehtiyatları Dövlət balansında qeydə alınmışdır.

Böyük Qafqazın cənub yamacında, Qax rayonu ərazisində böyük kvars yatağı aşkar edilmişdir. Təsnifat mərhələsi və laboratoriya təhlillərindən sonra ilkin göstəricilərinə görə, onun ağ kvars olduğu qənaətinə gəlinmişdir. İlkin laboratoriya təhlillərindən sonra kavarsın şəffaf şüşə istehsalı üçün yararlı olacağı proqnoz edilir.

Azərbaycanda kəşf edilmiş yetərli qədər kvars qumu yataqları vardır. Abşeron yarımadası, Quba-Qusar zonasında da kvars qumu yataqları mövcuddur.

Daş kömür. Qarabağ bölgəsində daş kömür yataqları da mövcuddur. Belə ki, Tərtər rayonunun Çardaqlı kəndində 8,5 milyon ton daş kömür ehtiyatı olan yataq dövlət qeydiyyatına alınmış və sənaye əhəmiyyətli hesab olunur.

Neft koksu. Statistik məlumatlara görə Azərbaycanda cari ildə 290.000ton neft koksu istehsal olunmuşdur. Məlumdur ki, neft koksu ferroərintilər istehsalı üçün önəmli komponent – reduksiyaedicidir.

İndi isə **Daşkəsən yatağından** götürülmüş və əsasən kvarsdan ibarət olan qum nümunələrini kimyəvi tərkibinə nəzər yetirək ***(cədvəl 1).*** Cədvəldən görünür ki, yatağın müxtəlif sahələrindən götürülmüş nümunələrin tərkibi xeyli müxtəlifdir. Belə ki, nümunələrin tərkibində 7 elementin oksidləri vardır. Təmiz kvars qumu almaq məqsədilə aparılmış zənginləşdirmədən sonra bəzi nümunələrdə SiO_2-nin miqdarı 98%-dən çox olmuşdur.

Qeyd edək ki, bu alınmış nəticələr ilkin yaxınlaşmada laboratoriya analizlərinin nəticələridir. Əlbəttə, məsələyə daha innovartiv yanaşma və zərif tədqiqatlar daha keyfiyyətli komponentlərin əldə olunmasına imkan verəcəkdir.

Yeri gəlmişkən, 2011-ci ildə tərəfimizdən Quba rayonunun Qarabulaq çayı (Buduq kəndi) həndəvərində yataqdan götürülmüş kvars qumu nümunələrində SiO_2-nin miqdarı 99,8-dən (zənginləşdirmə aparmadan) çox olmuşdur. Analiz kənar təşkilat – AMEA-nın Geologiya və Geofizika İnstitutu Analitik Mərkəzi tərəfindən aparılmışdır.

Cədvəl 1

Daşkəsən yatağından götürülmüş nümunələrin analiz nəticələri

Yatağın adı	Nümunəni nömrəsi	Spektral analiz, %							Kim-yəvi analiz, %	Türkiyədə kimyəvi analiz, %			
		SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	MnO	MgO	SO_2	TiO_2	SiO_2	SiO_2	Al_2O_3	TiO_2	CaO
Əyriboyun qaya	1	52,3	13,37	1,205	0,052	0,052	0,172	0,300	91,7	82,49	10,91	0,39	0,14
Əyriboyun qaya	2	49,1	18,00	2,614	0,024	0,049	0,213	0,198	88,2	74,29	16,48	0,44	0,012
Əyriboyun qaya	3	44,7	17,46	1,783	0,012	0,054	0,165	0,400	89,2	75,07	15,49	0,49	0,35
Əyriboyun qaya	4	81,6	15,98	1,179	0,260	0,112	0,246	0,519	93,2	77,13	16,36	0,57	0,29
Əyriboyun qaya	5	95,2	3,40	1,022	0,065	0,073	0,111	0,494	97,2	92,83	3,55	0,76	0,17
Əyriboyun qaya	6	82,6	19,86	0,258	0,022	0,047	0,089	0,512	95,9	79,98	15,81	0,68	0,013
Əyriboyun qaya	7	94,8	4,05	0,634	0,045	0,085	0,165	0,500	97,2	97,79	1,22	0,47	0,014
Əyriboyun qaya	8	96,0	1,53	2,069	0,076	0,030	0,257	0,345	94,7	97,96	0,73	0,33	0,011
Əyriboyun qaya	9	78,6	20,31	0,327	0,018	0,047	0,166	0,886	93,8	87,13	9,13	0,34	0,014
Əyriboyun qaya	10	92,9	5,05	1,884	0,075	0,064	0,108	0,314	96,1	90,39	6,72	034	0,25
Əyriboyun qaya	11	90,2	8,24	1,172	0,073	0,039	0,132	0,303	92,9	88,32	8,25	0,29	0,023
Əyriboyun qaya	12	91,5	5,56	2,157	0,061	0,091	0,249	0,369	94,6	98,03	0,99	0,41	0,011
Əyriboyun qaya	13	81,3	17,40	1,222	0,038	0,040	0,081	0,410	92,7	77,49	15,61	0,29	0,013
Əyriboyun qaya	14	76,0	21,40	2,173	0,042	0,052	0,269	0,451	88,6	69,81	19,65	0,53	0,10
Əyriboyun qaya	15	75,9	21,90	2,189	0,012	0,030	0,165	0,330	89,9	70,09	20,56	0,43	0,032
Əyriboyun qaya	16	75,9	22,30	1,310	0,029	0,062	0,364	0,497	90,7	71,29	19,68	0,58	0,011
Damcılı qaya	17	51,3	42,20	0,510	0,003	0,046	0,496	0,722	83,5	41,16	41,81	0,81	0,063
Əyriboyun qaya	18	98,0	1,20	0,406	0,174	0,028	0,064	0,375	98,2	96,07	0,87	0,38	0,032

Cədvəl 2

Ferrosilisiumun texniki xarakteristikası

Məhsulun adı	Standart	Markası	Tərkibində miqdarı %							Ölçüləri, mm
			Si	C	S	P	Al	Mn	Cr	
Ferrosilisium (FeSi)	ГОСТ 1415-93 (ИСО 5445-80)	FeSi 75	74-80	0,1	0,02	0,04	3,0	0,4	0,3	10-100

Qeyd: Sifarişçinin tələbi əsasında fraksiya ölçüləri dəyişə bilər.

Cədvəl 2-də nümunə kimi yerli resurslar əsasında Sumqayıt Kimya Texnologiyaları Parkının "Əlvan metallar və ferroərintilər" zavodunda istehsal olunmuş ferrosilisumun kimyəvi tərkibi verilmişdir. Qeyd edə bilərik ki, bu ferrosilisumun istehsalında yerli kvars qumu ($SiO_2 \approx 98\%$) və bərpaedici kimi neft koksundan istifadə edilmişdir (3-5).

Həmin zavodda istehsal olunan müxtəlif markalı ferrosilisium ölkəmizdə polad istehsalı, həm də digər ölkələrin, o cümlədən ABŞ-nin istehsal sahələrində müvəffəqiyyətlə tətbiq olunur. Bu gün ferroərintilərin satış bazarı çox geniş, istehsalı isə yüksək rentabellidir.

Nəticə. 1. Beləliklə, aparılmış təhlil göstərir ki, Azərbaycan Respublikasında legirli polad və ferroərintilər istehsalının təşkili üçün lazımi yerli xammal resursları və maddi-texniki baza mövcuddur. Sənaye ehtiyatları təsdiq olunmuş filiz və qeyri-filiz yataqları ölkə ərazisinin müxtəlif regionlarında yerləşir. Bu ehtiyatlar qara və əlvan metallurgiyanın ölkə hüdudlarında tam texnoloji zəncirdə təşkil edilməsi üçün kifayət qədər geniş imkanlara malikdir.

2. Legirli polad və ferroərintilərin yerli resurslar əsasında istehsalı üçün innovativ texnologiyaların işlənməsi və tətbiqi üzrə dərin nəzəri və eksperimental tədqiqatların aparılması davam etdirilməlidir.

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

Ədəbiyyat

1. Рахманов С.Р., Тополев В.Л., Гасик М.И., Мамедов А.Т., Азимов А.А. Процессы и машины электрометаллургического производства. Монография. Баку-Днепр: «Системные технологии» - издательство «Сабах», 2017, 568с.
2. Nəsirov S.M., Qasımov S.Ə., Məmmədov M.B. Polad, əlvan metallar və ferroərintilər istehsalı. İqtisad Universiteti nəşriyyatı, Bakı, 2005, 156s.
3. Тополев В.А., Рахманов С.Р., Мамедов. А.Т. и др. Основы технической эксплуатации металлургического оборудования. Том 4, часть 4. Устройство и эксплуатация основного оборудования сталеплавильных цехов. Баку-Днепр, АзТУ-НМетАУ, 2022, 694с.
4. Гладких В.А., Гасик М.И., Овчарук А.Н., Пройдак Ю.С. Проектирование и оборудование электросталеплавильных и ферросплавных цехов. Учебник. Днепр. Системные технологии, 2004, 736с.
5. Гасик М.И., Куцин В.С. и др. Под ред. к.т.н. Куцина В.С. Никопольские ферросплавы. К 75-летию академика НАН Украины М.И. Гасика. Днепр: «Системные технологии», 2004, 272с.

Məqalə qəbul olunub: 01.04.24
Tövsiyə edib: dos. Xankişiyev İ.A.

УДК 621. 742

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРОДУКЦИЙ АЗЕРБАЙДЖАНА В СУДОСТРОЕНИИ И СУДОРЕМОНТЕ

Мамедов А.Т., Исмаилов Н.Ш., Ханкишиев И.А., Келбиев Ф.М., Бабаев Л.В.

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

Аннотация. *В статье рассматриваются перспективы развития металлургии в Азербайджане в контексте возможности применения продукций отечественных металлургических предприятий в судостроении и судоремонте. Показано, что в настоящее время продукция отечественных металлургических предприятий в основном удовлетворяют потребности строительной отрасли и нефтегазовой промышленности.*

Учитывая, что в Баку функционирует крупный судостроительный завод и судоремонтные предприятия и их потребности в металлических изделиях огромные, то обеспечение этой отрасли металлопродукцией отечественного производства в условиях рыночной экономики – насущная необходимость. В связи с этим, показаны пути дальнейшего развития металлургии в Азербайджане в контексте ее перенаправления на выпуск металлических изделий для нужд судостроения и судоремонта.

Xülasə. *Məqalədə Azərbaycanda metallurgiyanın inkişaf perspektivləri kontekstində ölkə metallurgiya müəssisələrinin məhsullarının gəmiüayırma və gəmi təmirində tətbiqi imkanlarına baxılır. Göstərilir ki. hazırda ölkə metallurgiya müəssisələrinin məhsulları inşaat sektoru və neft-qaz sənayesinin tələblərini ödəyir.*

Bakı şəhərində iri gəmiqayırma və gəmi təmiri zavodlarının fəaliyyət göstərdiyi və sahənin metal məmulatlara tələbatının çox böyük olduğunu nəzərə alsaq, onda bazar iqtisadiyyatı şəraitində bu müəssisələrin ölkədə istehsal olunan metal məhsulları ilə təmin olunması qaçılmaz zərurətdir. Bununla əlaqədar olaraq gəmiqayırma və gəmi təmirinin ehtiyacları üçün metal məmulatların istehsalı və istehlakı Azərbaycanda metallurgiya sənayesinin sonrakı inkişafı üçün zəmin yarada bilər.

Abstract. *The article examines the prospects for the development of metallurgy in Azerbaijan in the context of the possibility of using products of domestic metallurgical enterprises in shipbuilding and ship repair. It is shown that currently the products of domestic metallurgical enterprises mainly satisfy the needs of the construction industry and the oil and gas industry.*

Considering that a large shipbuilding plant and ship repair enterprises operate in Baku and their needs for metal products are enormous, then providing this industry with domestically produced metal products in a market economy is an urgent need. In this regard, ways of further development of metallurgy in Azerbaijan are shown in the context of its redirection to the production of metal products for the needs of shipbuilding and ship repair.

Ключевые слова: *металлургия, судостроение, судоремонт, листы, прокаты, сортовые заготовки*

Key words: *metallurgy, shipbuilding, ship repair, sheets, rolled products, billets*

Açar sözlər: *metallurgiya, gəmiqayırma, gəmi təmiri, vərəqlər, yayıqlar, çeşidli pəstahlar*

Введение. В настоящее время для развития металлургии в Азербайджане созданы хорошие возможности. Все достижения металлургической промышленности Азербайджана связаны с именем Общенационального Лидера Гейдара Алиева.

Именно под его руководством в 2001 году был пущен в эксплуатацию крупнейший в Закафказии металлургический завод «Baku Steel Company» по выпуску арматурной и другой строительной продукции. Завод работает по технологии вторичной обработки металлургических отходов - дуплекс процессом. Плавка металла производится в 60 тонных дуговых электрических печах фирмы Сименс, обработкой жидкого металла в печь-ковше с последующей непрерывной разливкой. В настоящее время более 40 видов продукции завода идет на экспорт [1-3].

Распоряжением Президента Азербайджанской Республики господина Ильхама Алиева в 2013-ом году был создан Азербайджанский Металлургический Комплекс, включающий в себя Дашкесанский ГОК и комплекс по производству 1,0 млн. тонн стали в г. Гяндже.

В настоящее время в Гяндже и Сумгаите успешно функционируют алюминиевые заводы, выпускающие разнообразную высококачественную металлургическую продукцию. В Сумгаитском Технологическом Парке также действуют несколько заводов, выпускающих продукции из черных и цветных металлов.

Все новые заводы оснащены самыми современными оборудованиями с числовым программным управлением, технологические процессы которых полностью автоматизированы и механизированы.

Несмотря на все эти успехи в металлургической промышленности республики существуют ряд проблем, решение которых могут ускорить внедрение инновационных технологий и повысить удельный вес металлических продукций в общем объеме.

В настоящее время флагман Азербайджанской металлургии ЗАО «Baku Steel Company» успешно внедряет технологию непрерывной разливки заготовок для получения слябов и блюмов. Слябы идут на производство сортовых прокатов и листов, а из блюмов прокатывают трубы различного назначения, преимущественно для нефтегазовой промышленности.

Основное содержание. Однако задержки с внедрением инновационных процессов при выплавке стали приводит зачастую к выпуску некондиционной продукции. Анализ таких дефектных продукций показывает, что у них присутствуют дефекты в основном металлургического характера, связанные с отсутствием селективного подбора шахты, некачественным проведением внепечной обработки жидкой стали, применением открытой разливки стали в кристаллизатор машины непрерывной разливки заготовок, которая приводит к вторичному окислению жидкого металла и т.д.

Помимо них, инновации при электросталеплавлении основаны на внедрении физических методов воздействия на жидкий металл: например, электромагнитное перемешивание, вибрационное обработка металла в кристаллизаторе, ковшевое вакуумирование и т.д.).

В настоящее время коллектив металлургов Азербайджанской Республики работает над внедрением этих новшеств при электросталеплавлении, который позволит выйти на высокий уровень управления качеством выпускаемой продукции [4-6].

В этом контексте уместно отметить необходимость расширения номенклатуры металлопродукции, выпускаемых отечественными предприятиями для удовлетворения потребностей предприятий судостроения и судоремонта. При этом необходимо расширить прокатное производство металлургических предприятий для выпуска листов и сортовых заготовок различного назначения (двутавров, швеллеров, угольников и т.д.), идущих на строительство и ремонт судов.

Цветная металлургия нашей страны, в особенности металлургия алюминия имеет хорошую сырьевую базу и предприятия данной отрасли выпускают качественные продукции для энергетического комплекса. Назрело время расширить номенклатуры продукции из цветного металла и для судостроения и судоремонта.

Известно, что на водном транспорте применяется широкий ассортимент продукций из цветного металлов. Это листы, трубы, гнутые и прессованные заготовки для отделки помещений и теплообменников, применяемых в судовых конструкциях.

Поэтому и в этом направлении предстоит перед нашими металлургами серьезные задачи решения потребностей отечественного судостроения и судоремонта. Решение данной задачи своими силами позволит снизить себестоимость техники для судового транспорта и ограничить зависимость этой отрасли от зарубежных стран в условиях рыночной экономики.

В заключении можно отметить, что перед металлургической промышленностью Азербайджана, как суверенной страны стоит очень важная задача для удовлетворения потребностей в металлопродукциях всех отраслей, в том числе судостроения и судоремонта.

Для комплексного решения этой проблемы необходимо принимать новую Государственную Программу, предусматривающую ускоренное развитие металлургии в Азербайджане. Среди проблем, существующих в металлургической промышленности страны, особое место необходимо отводить производству неметаллоемких продукций из легированных сталей и композиционных материалов.

На фоне вышеуказанных проблем **выделяем следующие задачи,** которые **требуют безотлагательного решения.**

1. Необходимо создать неметаллоемкие металлургические продукции и производство специальных сплавов.

2. Для удовлетворения потребности республики в различных инструментах создать производство твердых сплавов и сверхтвердых материалов.

3. Создать производство легких и прочных композиционных и керамических материалов с применением технологий SPS и инжекционного формования, т.е. так называемый технологии МИМ.

4. Произвести реконструкцию литейных заводов и цехов республики с применением специальных видов литья для повышения производительности и качества отливок.

5. Для удовлетворения потребности алюминиевых заводов Гянджи и Сумгаита создать технологические процессы, обеспечивающие повышение качества алунитовой руды.

6. Создать специальную самостоятельную организацию, занимающиеся исследованием и внедрением наноматериалов и функциональных покрытий.

7. Построить новый завод по производству порошковых материалов и изделий из них для удовлетворения потребностей республики.

8. Создать специальный научно-технологический центр, занимающимся проблемами металлургической промышленности.

9. В связи с ускоренным развитием золотодобывающей отрасли, в АзТУ осуществить прием студентов по специальности «Ювелирное дело».

10. Разработать технологию синтеза наноразмерных алюминидов, боридов и твердых сплавов методом SPS.

Таким образом, решение вышеперечисленных проблем позволит получить реальный технико-экономический эффект и ускорит внедрение инновационных металлургических технологий и способствует развитию материаловедческой науки в нашей стране.

Заключение. 1. Представлены возможности Азербайджанской металлургии для решения проблем по удовлетворению потребностей предприятий судостроения и судоремонта в металлургических продукциях.

2. Показаны пути расширения возможностей металлургической промышленности для удовлетворения потребностей в металлопродукциях судового транспорта и обоснована необходимость принятия новой государственной программы по развитию металлургической промышленности Азербайджана.

Данная работа выполнена при финансовой поддержке Фонда науки Азербайджана – Грант № AEF-MCG-2023-1(43)-13/01/1-M-01

Литература

1. Kərimov R.İ. Elektroəritmə və fasiləsiz tökmə polad pəstahların resurslara qənaətli texnologiyasının nəzəri əsaslandırılması və tətbiqi. Texnika üzrə elmlər doktoru dissertasiyası. Bakı, 2021, 320 s.
2. Шахов С.И., Смоляков А.С., Егармин Е.В., Керимов Р.И. Реконструкция действующей сортовой МНЛЗ «Baku Steel Company» с целью литья круглых заготовок для нужд трубной промышленности // Сб. трудов XIV Конгресса сталеплавильщиков // Журнал электросталь, с. 516-520.
3. Kerimov R.T. Improving steel metting intensity on the process of electro-smelting from waste and pellets (HBI). Eastern-europen journal of enterprise tech nolopies. ISSN 1729-3774-3/1(99), p. 35-42.
4. Керимов Р.И., Шахов С.И. Усовершенствование встроенного электромагнитного перемешивания в кристаллизаторе блюмовых МНЛЗ // Черная металлургия, Москва, 2019, № 2, с. 57-62.
5. Kərimov R.İ. Kristallaşdırıcıda elektropoladların titrəyişlə emalı // Maşınşünaslıq, № 1, 2018, s. 53-56.
6. Керимов Р.И. Опыт внедрения физических методов при внепечной обработке электростали. Технология машиностроения и материаловедения (ISSN 2542-2146). Материалы международной научно-практической конференции, Новокузнецк, 2019, № 3, с. 73-82.

Məqalə qəbul olunub: 01.04.24
Tövsiyə edib: dos. Xankişiyev İ.A.

UOT 621.9

HİDROABRAZİV EMALIN GƏMİQAYIRMADA TƏTBİQİ

[1]Sylvio Simon, [2]Yusubov N.D., [2]Əmirli S.F.

[1]Brandenburg Texniki Universiteti Cottbus-Senftenberg
Universitaetplatz1, 03046 Cottbus
[2]Azərbaycan Texniki Universiteti
AZ 1073, Bakı şəh., H.Cavid pr., 25
E-mail: sylvio.simon@b-tu.de, nizami.yusubov@aztu.edu.az
samir.amirli@b-tu.de

***Xülasə**. Məqalədə müasir gəmiqayırma və gəmi təmiri sənayesində innovativ texnologiyaların tətbiqini nəzərə alaraq, istehsal proseslərinin məhsuldarlığının artırılması üçün hidroabraziv kəsmə texnologiyasından geniş istifadə etmək təkıif olunur. Belə ki, hidroabrazivlə gəmi gövdə detallarının kəsilməsi gəmi təmir texnologiyasının məhsuldarlığının artırılması üçün imkanlar yaradır.*

***Abstract.** In the article, taking into account the introduction of innovative technologies in the modern shipbuilding and ship repair industry, it is envisaged to widely use water jet cutting technology to increase the productivity of manufacturing processes. Thus, the cutting of ship hull components with water jet creates opportunities to increase the productivity of repair technology in ship repair.*

Аннотация. *В статье учитывая внедрение инновационных технологий в современное судостроение и судоремонтную отрасль, предлагается широко использовать технологию гидроабразивной резки для повышения производительности производственных процессов. Таким образом, резка судовых корпусных деталей гидроабразивом создает возможности повышения производительности судоремонта.*

Açar sözlər*: hidroabraziv emal, su təzyiqi, abraziv dənəsi, kələ-kötürlük, mikrobərklik, forma xətaları*

Key words*: water jet processing, water pressure, abrasive grain, roughness, micro hardness, shape defects*

Ключевые слова: *гидроабразивная обработка, давление воды, абразивное зерно, шероховатость, микротвёрдость, погрешности формы*

Giriş. Müasir gəmiqayırma və gəmi təmiri sənayesində yeni innovativ texnologiyaların tətbiqi imkan verir ki, istehsal prosesinin məhsuldarlığını və iqtisadi səmərəliliyini artırmaq mümkün olsun. Belə ki, yeni innovativ texnologiyalardan biri kimi pəstahların hidroabraziv kəsmə üsulu ilə emalı prosesini göstərmək olar. Hidroabrazivlə kəsmə prosesi müasir dövrdə xüsusi yaradılmış rəqəmli proqramla idarə olunan, mütərəqqi konstruksiyalı dəzgahlar vasitəsi ilə həyata keçirilir ki, bu da istehsal prosesində gəmi detallarının sayından asılı olmayaraq, səmərəliliyin artırılmasına imkan yaradır. Hidroabraziv üsulla pəstahların qalınlığı 50 mm-ə qədər olan detalların istehsalında geniş tətbiq olunduğu üçün gəmiqayırmada, eləcə də təmir dövründə yeyilmiş, korroziyaya uğramış hissələrin hazırlanmasında səmərəli texnoloji proses sayılır [1-7].

Hidroabrazivlə pəstahların kəsmə üsulu digər mexaniki və istilik-fiziki üsullardan fərqli cəhəti ondan ibarətdir ki, bu prosesdə kəsmə əməliyyatı abraziv dənələri qarışığından ibarət nazik su şırnağından olan kəsici mühitlə həyata keçirilir. Kəsmə əməliyyatı yüksək təzyiqlə verilən suyun axması ilə aparıldığı üçün pəstahın kəsilən səthində ciddi struktur çevrilmələri baş vermir. Verilmiş texnoloji prosesdə yonqarəmələgəlmə prosesi soyuducu mühitdə getdiyi üçün pəstahın səthində temperatur deformasiyaları müşahidə olunmur, ona görə də onların kəsilməsində pəstahda forma deformasiyaları baş vermir ki, bu da bir sıra texnoloji əməliyyatların aradan qaldırılmasına səbəb olur. Ona görə də, hidroabrazivlə gəmi hissələri pətahlarının kəsilməsi (emalı) səmərəli texnoloji proses sayılır [1, 8-10].

Aparılmış tədqiqatlar göstərir ki, hidroabrazivlə pəstahların emalı mütərəqqi texnoloji proses olmasına baxmayaraq, bu əməliyyatın da müəyyən çatışmayan cəhətləri vardır. Məsələn, hidroabrazivlə kəsmədə pəstahın qalınlığından asılı olaraq, kəsilən səthin perpendikulyarlığının təmin olunması, kəsilən səhthin dalğavarililiyi, kələ-kötürlüyün qeyri-bərabər paylanması, emal olunmuş səthdə mikrobərkliyin dəyişməsi və s. kimi problemlərin yaranması bir sıra mənfi nəticələrə gətirib çıxarır. Bu baxımdan hidroabrazivlə pəstahların kəsilmə prosesinin bir sıra texnoloji amillərdən, rejim parametrlərindən, eləcə də materialların tərkibindən asılı olaraq, tətbiq olunması gəmiqayırmanın aktual problemlərindən biri sayılır[11-14].

İşin məqsədi hidroabrazivlə pəstahların kontur ölçülərinin kəsilməsi zamanı formalaşan texnoloji səthlərdə yaranan kələ-kötürlük, mikrobərklik və forma xətalarının müxtəlif amillərdən asılı olaraq yaranması və paylanmasının araşdırılmasıdır.

Tədqiqatın metodikası. Avropa standartlarına uyğun olaraq (EN 100290) qalınlığı 15 mm olan isti halda yayılmış polad təbəqələrin nümunələrinin hidroabrazivlə kəsilməsi texnologiyasına baxılmışdır. Götürülmüş polad təbəqənin axma həddi 750N/mm^2 –dir. Təcrübələr standart meyllənmələri olan EN 10025 üzrə hazırlanmış X10Gr Ni189 (EURONORM88 standartlar üzrə) polad təbəqə üzərində aparılmışdır. Pəstahların hidroabrazivlə kəsilməsi Brandenburq Texniki Universitetinin (Almaniya) "Metalkəsən dəzgahlar" kafedrasında FLOW-Cut modelli proqramla idarə olunan hidroabraziv kəsmə (doğrama) dəzgahında yerinə yetirilmişdir. Kəsmə əməliyyatında su şırnağının abrazivlə qarışığının təzyiqi 2500 bar götürülmüşdür. Tərtib olunmuş təcrübənin

proqramına əsasən, abraziv materialı olaraq "qranit dənələri" götürülmüşdür. Abraziv dənələrinin ölçüsü 80 mesh (80 mesh= 0,77mm) qəbul edilmiş və 1 litr suya 85 qr abraziv qarışdırılmış məhlulla poladların kəsilməsi icra olunmuşdur. Götürülmüş abraziv dənələrinin kimyəvi tərkibi aşağıdakılardan ibarətdir:

- SiO_2 - 36,0%
- Al_2O_3 -23,0 %
- Fe_2O_3 -32,0 %
- $Ti0_2$ -1,0 %
- MnO -1,0 %
- CaO - 1,5 %
- MgO - 6,0 %

Abraziv dənələrinin bərkliyi Moos şkalası üzrə 7 ÷7,5 bərabərdir. Qranit qumunun fiziki xassələri aşağıda verilmişdir.

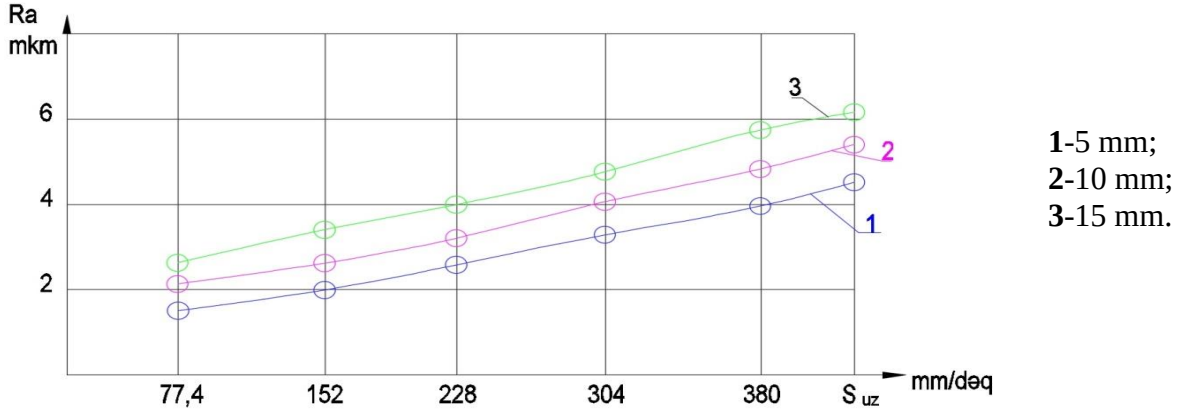
• Kütləvi sıxlıq: 2,4 kq/dm³.
• Xüsusi çəkisi: 4,10 kq/dm³.
• Moos bərkliyi: 7-7,5 Mohs.
• Ərimə nöqtəsi: 1315°.
• Təbii quruluş forması: iti.

Mənbə:https://www.cltradeservices.de/?gclid=Cj0KCQjwib2mBhDWARIsAPZUn_nSAPS9okqfAMnT4ZaKpye_y1p3slklDsfzZv_A0ytCCPCObUrg76UaAjJIEALw_wcB)

Pəstahların kəsilməsi uzununa verişin müxtəlif qiymətlərində, yəni S_{uz} =77,4 mm/dəq; 152 mm/dəq; 228 mm/dəq; 301 mm/dəq və 380 mm/dəq rejimlərində aparılmışdır. Kəsilmiş nümunələrdə uzununa verişin qiymətlərindən asılı olaraq, yaranan kələ-kötürlüyün R_a və R_z parametrləri, eləcə də səthdə yaranan mikrobərkliklər tədqiq olunmuşdur.

Alınmış nəticələrin araşdırılması. Aparılmış tədqiqatlardan məlum olmuşdur ki, götürülmüş EURONORM88 poladının emalında (pəstahın qalınlığı 5 mm, 10 mm və 15 mm arasında dəyişmişdir, polad Almaniya standartına DİN 59200 uyğundur) pəstahların qalınlığının dəyişməsi ilə əlaqədar hidroabrazivlə kəsmədə alınan kələ-kötürlüklər xeyli fərqlənir.

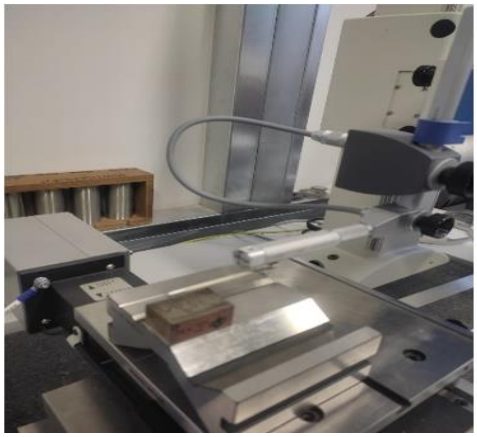
Məsələn, pəstahın qalınlığı 5 mm olan kəsilmiş səthlərdə R_a –nın qiyməti veriş hərəkətinin sürətinin 77,4 mm/dəq –dən 380 mm/dəq qədər dəyişməsindən asılı olaraq, 1,86 mkm-dən 5,2 mkm-ə qədər yüksəlir. Digər qalınlıqlı pəstahların da hidroabrazivlə emalında alınan kələ-kötürlüyün nəticələri qrafiki olaraq şəkil 1-də verilmişdir.



Şəkil 1. *Digər qalınlıqlı pəstahların hidroabrazivlə kəsilməsində alınan kələ-kötürlüyün nəticələrinin qrafiki*

Şəkil 1-də verilən 1-ci qrafik qalınlığı 5 mm olan pəstahın kəsilməsində, qrafik 2- qalınlığı 10 mm olan pəstahın kəsilməsində, qrafik 3- isə qalınlığı 15 mm olan pəstahın müxtəlif veriş hərəkətləri ilə emalda alınan kələ-kötürlüyün orta hündürlüyünü ifadə edir.

Kəsilmiş nümunələrdə R_a -nın qiyməti pəstahın qalınlığının orta kəsiyində ölçmələrlə müəyyən edilmişdir. Məsələn, qalınlığı 5 mm olan pəstahın 2,5 mm hündürlüyündə, qalınlığı 10 mm olan pəstahın 5 mm-lik hündürlüyündə və 15 mm olan pəstahın 7,5 mm hündürlüyündən keçən səth üzrə kələ-kötürlüklər müəyyən edilmişdir. Misal olaraq, pəstahın kələ-kötürlüyünün JENOPTİK cihazında ölçülməsi üçün yerləşdirilməsi və ölçülməsi şəkil 2-də göstərilmişdir.



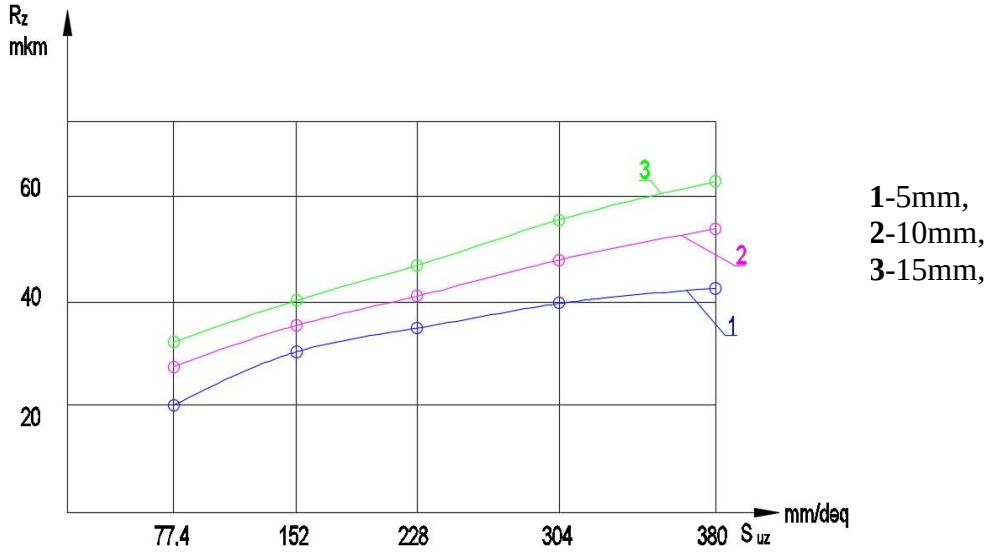
Şəkil 2. *Pəstahın kələ-kötürlüyünün JENOPTİK cihazında yerdəyişdirilməsi və ölçülməsi*

Ölçmənin metodikasının belə seçilməsi onunla izah edilir ki, hidroabraziv kəsmədə yonqar çıxarmanın ilk anında pəstahın səthinə yönəlmiş abraziv dənələri kəsmə şəraitindən asılı olaraq səthin başlanğıc və sonunda yaranan kələ-kötürlükləri qeyri-sabit edir. Aparılmış təcrübələrdən məlum olmuşdur ki, hidroabrazivlə kəsmədə pəstahın dərin qatlarında abraziv dənələrinin çıxardığı qatlar və onların formaları sabitləşir, ona görə də kələ-kötürlük xeyli azalmağa doğru gedir.

Şəkil 1-dən göründüyü kimi, pəstahın qalınlığı artdıqca kələ-kötürlüyün orta hündürlüyü R_a yüksəlməyə başlayır. Məsələn, əgər qalınlığı 5 mm olan pəstahı 77,4 mm/dəq sürəti ilə kəsdikdə səthdə yaranan kələ-kötürlük (1-ci qrafik) R_a =1,86 mkm olduğu halda , pəstahın qalınlığı 10mm olduqda həmən rejimdə R_a =2,35 mkm alınır (2-ci qrafik), pəstahın qalınlığı 15mm olduqda isə eyni rejimlə kəsilmiş səthdə R_a=3,1mkm (3-cü qrafik) alınır. Təcrübələr göstərir ki, bu tendensiya verişin qiymətinin artırılmasından asılı olaraq, pəstahın qalınlığı artdıqca kəsmədə yaranan kələ-kötürlüyün qiymətinin (şəkil 1-də 1, 2 və 3-cü qrafiklər) müvafiq olaraq yüksəlməsinə səbəb olur. Bu da onunla izah edilir ki, veriş hərəkətinin sürəti artdıqca vahid zamanda abraziv dənələrinin çıxartdığı yonqarın həcmi artır və nəticədə kələ-kötürlüyün orta hündürlüyü yüksəlir.

Aparılmış tədqiqatlardan məlum olmuşdur ki, hidroabrazivlə kəsmədə pəstahın qalınlığından asılı olaraq, formalaşan səthdə kələ-kötürlüyün maksimal hündürlüyü R_z də müxtəlif qiymətlər alır. Şəkil 3-də verilmiş əyrilər kələ-kötürlüyün maksimal hündürlüyünün dəyişməsinin kəsilən pəstahların qalınlığından və uzununa verişdən asılılığını ehtiva edir. Burada 1-ci əyridə göstərilən kələ-kötürlüyün maksimal hündürlüyünün R_z dəyişməsi qalınlığı 5 mm olan pəstahın kəsilməsini, 2-ci əyri pəstahın qalınlığının 10 mm ölçüsündə kələ-kötürlüyün maksimal hündürlüyünün dəyişməsini, 3-cü əyri pəstahın qalınlığının 15 mm ölçüsündə hidroabrazivlə kəsmədə yaranan kələ-kötürlüyün maksimal hündürlüyünün dəyişməsini xarakterizə edir.

Bütün hallarda R_z kələ-kötürlüyün maksimal hündürlüyü uzununa veriş hərəkətinin aşağı qiymətində (S_{uz} = 77,4 mm/dəq) minimal qiymət alır. Məsələn, S_{uz} = 77,4 mm/dəq ilə 5 mm qalınlığında olan pəstahların səthində kələ-kötürlüyün maksimal hündürlüyü R_z =20,5mkm, pəstahın qalınlığı 10 mm olduqda R_z =26,8 mkm, 15 mm-lik pəstahda R_z =32,5 mkm olur. Aparılmış tədqiqatlar göstərir ki, hidroabrazivlə pəstahların kəsilməsi prosesində kəsilmiş səthin kələ-kötürlüyünün həddi ölçüləri onların qalınlığından çox asılıdır. Pəstahların qalınlığı artdıqca hidroabraziv emalın kəsmə rejimlərinin təyin olunması tələb olunan kələ-kötürlüyün maksimal qiymətinin azaldılması imkanlarını nəzərə alaraq həll edilməlidir. Pəstahların qalınlığı yüksəldikcə hidroabrazivlə kəsmədə uzununa verişin qiymətinin minimuma endirməklə kəsilən səthin vahid sahəsinə düşən abraziv dənələrinin sayını artırmış oluruq ki, bunun da nəticəsində kələ-kötürlüyün maksimal hündürlüyünü azalda bilərik. Nəticədə, pəstahın kəsilmiş səthində vahid səviyyəyə düşən abraziv dənələrinin sayının artırılması hesabına emal olunmuş səthin mikrobərkliyinin yüksəlməsinə nail olunur ki, bu da gəmi gövdə hissələrinin hazırlanmasında mühüm rol oynayır.



Şəkil 3. *Kələ-kötürlüyün maksimal hündürlüyünün dəyişməsinin kəsilən pəstahların qalınlığından və uzununa verişdən asılılığı*

Nəticə. 1. Gəmiqayırma və gəmi təmiri sənayesində pəstahların (hissələrin) yüksək məhsuldarlıqla kəsilməsi üçün hidroabraziv kəsmə üsulunun tətbiq olunması həm texnoloji baxımdan, həm də iqtisadi nöqteyi-nəzərdən məqsədə uyğun sayılır.

2. Hidroabrazivlə gəmi hissələrinin emalında pəstahların qalınlığından asılı olaraq, kəsilmiş səthin kələ-kötürlüyünün dəyişməsini tələb olunan hədlər daxilində təmin olunması üçün uzununa verişin sürətinin minimuma endirmək tövsiyə olunur.

3. Pəstahların emalı zamanı hidroabraziv üsulunun tətbiq olunması imkan verir ki, kəsilmiş səthlərdə materialın fiziki-mezaniki göstəricilərini abraziv dənələrinin kəsmədə yaratdığı zərbə qüvvələrinin hesabına yüksəltmək mümkün olsun.

Ədəbiyyat

[1] Amirov F.G., Simon S., Steffen W., Amirli S.F., Frana K. Determining the Accuracy of Water Pressure Processing using 3D Scanning. *Herald of the Azerbaijan Engineering academy*, 2021, vol. 13, no. 3, pp. 38–44.

[2] Барсуков Г.В. Исследование погрешности формы при резании листовых материалов гидроабразивной струей. Сб. тр. междунар. науч.-техн. конф. Фундаментальные и прикладные проблемы технологии машиностроения. «Технология -2003», 2003, с. 449–455.

[3] Барсуков Г.В. Повышение эффективности процесса гидроабразивной обработки. Орел, 2006. 411с.

[4] Fritz Schulz. Fertigungstechnik. Springer, 2015, vol. 11, p. 408.

[5] Игнатова А.М., Балабанов С.К., Игнатов М.Н. Исследование зонированности поверхности гидроабразивного реза конструкционной стали обыкновенного качества методом анализа изображений, Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. 2019, т. 21, № 1, с. 83–90, doi: 10.15593/2224-9877/2019.1.12

[6] Aurich J., Dornfeld D., Arrazola P., Franke V., Min S. Burrs—Analysis, control and removal, Berkeley. University of California Berkeley, 2009.

[7] Wälder K., Wälder O. Statistische Methoden der Qualitätssicherung, München, Wien, Carl Hanser Verlag, 2013.

[8] Marcel Kolb. Wasserstrahlschneiden. Materialbearbeitung mit einem Hochdruckwasserstrahl, 2006, p. 70.
[9] Michaela Hörbinger. Wasserstrahlschneiden. Verfahrensmöglichkeiten und Vergleich mit alternativen industriellen Trennverfahren, 2011, p. 25.
[10] Risse. Fertigungsverfahren der Mechantronik, Feinwerk- und Präzisionsgerätetechnik. Springer, 2012, p. 138.
[11] Tamarkin M.A., Tikhonov A.A. Tishchenko E.E. Metal removal in hydroabrasive machining. Russian Engineering Research, 2014, vol. 34, no. 3, pp. 175–177.
[12] Тамаркин М.А., Шевцов С.Н., Клименко А.А. Моделирование процесса единичного взаимодействия гранулы свободного абразива и обрабатываемой детали. Автоматизация и современные технологии, 2005, № 5.
[13] Will, Dieter/Gebhardt, Norbert. Hydraulik. Grundlagen, Komponenten, Schaltungen. 4, revised edition. Berlin Heidelberg. Springer, 2008, p. 44.
[14] Zeng J., Munoz J. P. Intelligent Automation of AWJ Cutting for Efficient Production. Proc. of the 12th Int. Symp on Jet Cutting Technology, BHRA. Rouen, France, 1994, pp. 401–408.

Məqalə qəbul olunub: 01.04.24
Tövsiyə edib: dos. Xankişiyev İ.A.

UOT 621.941.01

MEXANİKİ EMAL TEXNOLOJİ PROSESLƏRİNİN RİYAZİ MODELLƏŞDİRİLMƏSİ

[1]Yusubov N.D., [1]Abbasova H.M., [2]Hüseynov R.Ə., [1]Dadaşov R.Y., [2]Cabbarov R.C.

[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, abbasova.heyran@aztu.edu.az, dadashov@aztu.edu.az, rovshan.cabbarov@asco.az

Xülasə. *Məqalədə mexaniki emal texnoloji proseslərinin riyazi modelləşdirilməsi məsələsinə baxılmışdır. Qeyd edilmişdir ki, mexaniki emal texnoloji proseslərinin riyazi modelləşdirilməsi maşınqayırma texnologiyasında mühüm yer tutur. Mexaniki emal dəqiqliyi nəzəriyyəsinin riyazi modellərin maksimum sadələşdirilməsi ilə belə inkişaf etdirilməsi, onların əsasında hazırlanmış layihələndirmə üsulları həddindən artıq çətin, əməktutumlu olur. Bu məqsədlə, emalın layihələndirilməsinin müasir nəzəriyyəsini inkişaf etdirərkən, onun həyata keçirilməsi üçün dərhal kompüter texnologiyalarına diqqət yetirilməsi əhəmiyyətlidir. RPİ dəzgahlarında emalın dəqiqliyinə təsir edən əsas tədqiqat işləri araşdırılmış, bu sahədə problemli məsələlər təhlil edilmişdir. Təhlillərin nəticələri əsasında hazırda müasir RPİ dəzgahlarında üstyonuş kəskisi ilə konusvari səthlərin kontur emalı üçün yerinə yetirilən ölçülərin səpələnmə sahələrinin, texnoloji sistemin kompleks xarakteristikasını nəzərə almaqla, riyazi modellərinin işlənməsi, həllini gözləyən məsələlərdən biri kimi təqdim edilmişdir.*

Abstract. *The article discusses the issue of mathematical modeling of technological processes of mechanical processing. It was noted that mathematical modeling of technological processes of mechanical processing occupies an important place in mechanical engineering technology. The development of the theory of mechanical processing accuracy even with the maximum simplification of mathematical models, the design methods based on them are extremely difficult and labor-intensive.*

For this purpose, when developing the modern theory of machining design, it is important to immediately pay attention to computer technologies for its implementation. The main research works affecting the accuracy of processing on CNC machines were investigated, problematic issues in this field were analyzed. Based on the results of the analysis, the development of mathematical models of the scattering fields of the dimensions performed for the contour machining of conical surfaces with turning tool on modern CNC machines, taking into account the complex characteristics of the technological system, was presented as one of the issues waiting to be solved.

Аннотация. *В статье рассмотрен вопрос математического моделирования технологических процессов механической обработки. Отмечено, что математическое моделирование технологических процессов механической обработки занимает важное место в технологии машиностроения. Развитие теории точности механической обработки даже при максимальном упрощении математических моделей, делает методы проектирования, построенные на их основе, чрезвычайно сложными и трудоёмкими. С этой целью, при разработке современной теории проектирования обработки, важно сразу обратить внимание на компьютерные технологии, необходимые для её реализации. Рассмотрены основные исследовательские работы, влияющие на точность обработки на станках ЧПУ, проанализированы проблемные вопросы в этой области. На основании результатов анализа задача разработки математических моделей полей рассеяния размеров, выполняемых при контурной обработке конических поверхностей проходным резцом на современных станках с ЧПУ, с учетом комплексной характеристики технологической системы, была представлена как одна из проблем, ожидающих решения.*

Açar sözlər: *emal dəqiqliyi, texnoloji proses, riyazi modelləşdirmə, təkalətli emal, çoxalətli emal, emal xətası*

Key words: *processing accuracy, technological process, mathematical modeling, single-tool processing, multi-tool processing, processing error*

Ключевые слова: *точность обработки, технологический процесс, математическое моделирование, одноинструментная обработка, многоинструментная обработка, погрешность обработки*

Giriş. Maşınqayırma texnologiyasında emal dəqiqliyi təsadüfi və qanunauyğun amillərin bütün kompleksi, onların qarşılıqlı təsiri və qarşılıqlı fəaliyyəti ilə əvvəlcədən müəyyən edilir: kəsici alətin ölçü yeyilməsi (Δ_{yey}), texnoloji sistemin bəndlərinin temperatur deformasiyaları ($\sum \Delta_{Tem}$) və həndəsi qeyri-dəqiqliyi ($\sum \Delta_{Dəz}$), texnoloji sistemin elastiki yerdəyişmələri (Δ_y), pəstahın dəzgahda yerləşdirilməsi ($\sum \Delta\varepsilon_{yer}$) və onun yerinə yetirilən ölçüyə sazlanması (Δ_{saz}) xətaları, emal paylarının səpələnməsi və pəstahların fiziki-mexaniki xassələri və s. Emal dəqiqliyi əhəmiyyətli dərəcədə kəsmə rejimlərindən də asılıdır [1-6].

Emal dəqiqliyinin ədədi xarakteristikası, real hissənin ölçüləri və forması ilə hissənin cizgisində göstərilən ideal konstruksiyası arasındakı uyğunsuzluq dərəcəsini xarakterizə edən emal xətasıdır. Emal xətasının bütün elementar təşkiledicilərini iki qrupa bölmək olar:

- kəsmə rejimlərindən asılı olmayan və ya zəif asılı olan elementar təşkiledicilər:

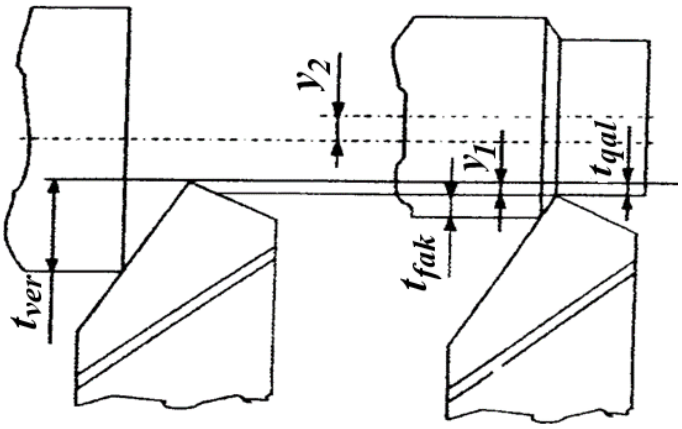
$$\Delta_{yey}, \sum \Delta_{Tem}, \sum \Delta_{Dəz}, \sum \Delta\varepsilon_{yer}, \Delta_{saz};$$

- kəsmə rejimləri ilə tamamilə müəyyən edilən təşkiledici: Δ_y .

Birinci qrup emal xətaları texnoloji prosesin layihələndirilməsi üçün nəzərdə tutulmuş imitasiya (simulyasiya) modelini hazırlayarkən, maraq doğurmur. Bu komponentlər imitasiya (simulyasiya) modelində sabitlər kimi iştirak edir, onların qiymətləri isə geniş istinad ədəbiyyatından götürülür [7-11]. Ümimiyyətlə, müxtəlif mənbələrdə bu təşkiledicilər ilə bağlı geniş tədqiqatlara rast gəlmək olar. Bu səbəbdən, emalın layihələndirilməsi mərhələsində bu xətalar verilə bilər.

Emal dəqiqliyinin modelləşdirilməsində xüsusi yeri kəsmə qüvvəsinin təsiri altında texnoloji sistemin elastik yerdəyişmələri nəticəsində yaranan Δ_y elementar xətası tutur. Bu xətanın qiyməti kəsmə rejimləri və texnoloji sistemin xüsusiyyətləri ilə müəyyən edilir və buna görə də riyazi təsviri tələb edən əsas idarəetmə obyektini təmsil edir.

Emal dəqiqliyinin modelləşdirilməsinin əsasları A.P.Sokolovski [12] və K.V.Votinov [13] tərəfindən qoyulmuşdur. Bu məsələlərin sonrakı tədqiqi B.S.Balakşin [14], V.S. Korsakov [15], L.P.Medvedev [16], K.S.Kolev [17], B.M.Bazrov [18] tərərindən yerinə yetirilmişdir.



Şəkil 1. *Təkalətli emalda texnoloji sistemin elastiki yerdəyişmələri sxemi [15]*

Kəsmə qüvvəsinin təsiri altında texnoloji sistemin bəndləri ilkin (yüklənməmiş) vəziyyətindən yerlərini dəyişir ki, bu da son nəticədə sazlama ilə müəyyən edilmiş alətin kəsici tilinin və pəstahın emal edilən səthinin qarşılıqlı vəziyyətinin pozulmasına səbəb olur. Kəsmə prosesinə xas olan yüklər diapazonunda texnoloji sistemin xətti elastik deformasiyaya uğrayan sistem olduğunu fərz edərək, alətin və pəstahın qarşılıqlı yerdəyişməsinin qiymətini təyin etmək üçün sxem təklif edilir (şəkil 1): $\boldsymbol{y = y_1 + y_2}$**,** bununla da emal şəraitindən asılı olaraq, diametrik istiqamətdə ölçünün təhrifini hesablamağa imkan yaranmışdır.

Bu düsturun digər tədqiqatçılar tərəfindən əldə edilmiş müxtəlif modifikasiyaları cədvəl 1-də verilmişdir [12, 14, 15-22]. Bunlardan K.S. Kolevin (7) düsturunu vurğulamaq lazımdır. Burada ilk dəfə olaraq kəsmə prosesinin dinamikası nəzərə alınır. Həmçinin B.M. Bazrovun metodoloji yanaşması da diqqətdən yayınmamalıdır (düstur 8). O, deformasiya əlaqəli koordinat sistemləri metodunu təklif etmişdir. Bu metod pəstahın vektor təsviri və onun bütün mümkün dönmələrinin matris təsvirinə əsaslanaraq, texnoloji sistemin hər bir elementi üçün bütün sərtlik kompleksini (koordinat və dönmə) nəzərə alaraq istənilən nöqtədə ölçü təhrifini hesablamağa imkan verir.

Texnoloji sistemin dekompozisiyasını onun tərkib elementləri ilə deyil, alt sistemlər səviyyəsi ilə məhdudlaşdıran Koşin A.A. texnoloji sistemin deformasiya olunan hissələrinin yerdəyişmə balansını nəzərə almaq imkanını saxlayaraq ölçü təhrif modelini əhəmiyyətli dərəcədə sadələşdirdi.

Pəstah dəstini emal edərkən kəsmə qüvvəsi kəsmə dərinliyinin qeyri-bərabərliyi (dəstdəki pəstahların ölçülərinin dəyişkənliyi ilə əlaqədar) və pəstah materialının mexaniki xüsusiyyətlərinin qeyri-sabitliyi nəticəsində dəyişir. Kəsmə qüvvəsinin qeyri-sabitliyi elastik yerdəyişmənin qiymətində və nəticədə dəstdəki hissənin ölçüsündə dəyişkənliyə səbəb olur. B.S. Balakşin emal xətasını hesablayarkən emal payı dəyişmələrinin nəzərə alınması prinsipini formalaşdırmışdır [14]. 2-ci cədvəldə səpələnmə sahəsinin qiymətinin hesablanması üçün müxtəlif tədqiqatçıların düsturları seçimi göstərilmişdir [12-15, 21, 23].

A.A. Koşin [21] tərəfindən təklif olunan yerinə yetirilən ölçünün səpələnmə sahəsi modelini qeyd etmək lazımdır. Burada, ənənəvi olaraq nəzərə alınan emal payının rəqsindən (dəyişməsindən) və emal olunan materialın möhkəmlik xüsusiyyətlərinin səpələnmələrindən başqa, ilk dəfə texnoloji sistemin sərtliyinin səpələnməsi nəzərə alınır. Nəticədə, bu model dəzgah sahəsində hissələrin dəstində yerinə yetirilən ölçülərin səpələnmə sahəsini təsvir edir.

Cədvəl 1

Təkalətli emalda ölçünün təhrifi (forma xətası)

№	Mənbə	Model	Nəzərə alınan amillər
1	A.P.Sokolovski [12]	$\varepsilon = \frac{\Delta_p}{\Delta_h} = \frac{j}{\lambda C_p} \cdot \frac{1}{S^q}; \lambda = \frac{P_y}{P_z};$ $\Delta_p = t_{max} - t_{min};$ $\frac{1}{j} = \frac{1}{j_{sup}} + \left(\frac{A}{L}\right)^2 \frac{1}{j_{qa}} + \left(\frac{B}{L}\right)^2 \frac{1}{j_{aa}}$	$j_{sup}; j_{qa}; j_{aa}$ - support, qabaq aşıq və arxa aşığın sərtlikləri; L, A, B - hissənin uzunluğu və kəskidən dayaqlara qədər olan məsafə.
2	B.S. Balakşin [14]	$y = \left(1 - \frac{x}{L}\right)^2 \frac{P\xi}{j_{qa}} + \left(\frac{x}{L}\right)^2 \frac{P\eta}{j_{aa}} + \frac{P\gamma}{j_h} + \frac{P\alpha}{j_{sup}} + \frac{P\beta}{j_{al}}$	P- ekvivalent kəsmə qüvvəsi; $\alpha, \beta, \gamma, \eta, \xi$- müvafiq qovşaqda ekvivalent qüvvənin təsir əmsalı; $j_{qa}; j_{aa}; j_h; j_{sup}; j_{al}$ - qabaq aşıq və arxa aşığın, hissənin, support və alətin sərtlikləri.
3	P.I.Yaşeriçın [19]	$\Delta_h = \frac{\lambda C_{p_z} S^{y_{p_z}}}{j_c} (t_{max} - t_{min});$ $\frac{1}{j_{sis}} = \frac{1}{j_{sup}} + \left(1 - \frac{x}{L}\right)^2 \frac{1}{j_{qa}} + \left(\frac{x}{L}\right)^2 \frac{1}{j_{aa}}$	x - kəskidən şpindelə qədər olan məsafə.
4	V.S.Korsakov [15]	$y = y_1 + y_2 = P_y \left(\frac{1}{j_p} + \frac{1}{j_{al}}\right)$	$j_p; j_{al}$ – “pəstah-tərtibat-dəzgah qovşağı” və “alət-tərtibat-dəzgah qovşağı” sistemlərinin sərtlikləri.
5	L.P.Medvedev [16]	$\Delta_h = \frac{2C_{P_y} t^{x_{P_y}} S^{y_{P_y}}}{j_\Sigma}$	j_Σ - texnoloji sistemin ümumi (tam) sərtliyi.

Cədvəl 1-in ardı

№	Mənbə	Model	Nəzərə alınan amillər
6	S.P.Troşenski [20]	$y_{\text{h}} = \dfrac{P_y h^2 \pm f(P_z)h^2 - P_x rh}{\Phi_{\text{h}}};$ $y_{\text{al}} = \dfrac{\left(P_y - P_x a/b - P_z m/n\right)n^2}{\Phi_{\text{al}}};$ $A = \dfrac{t}{t + y_{\text{al}} + y_{\text{h}}}; \omega_z = \Delta_0(1-A)^i$ $\omega_h = \dfrac{H_1 - H_2}{H_2}\omega_z \cdot \dfrac{z_{\max}}{\Delta_0}$	y_h, y_{al} - hissənin və kəskinin yerdəyişməsi; r, h - kəskinin radiusu və şpindelə qədər olan məsafə; a, b, m, n – supportda kəskinin koordinatları; ω_z, ω_h - emal payının qeyri-bərabərliyi və materialın qeyri-bircinsliyi səbəbindən forma xətası; Δ_0 – pəstahın forma xətası; H_1, H_2 – pəstahın bərklik diapazonu; z – emal payı.
7	K.S.Kolev [17]	$\Delta = P_{\text{eyi}}\left(\dfrac{l^3\mu}{3EI} + \dfrac{1}{j_{\text{sup}}} + \dfrac{1}{j_{\text{qa}}}\right)$ $\mu = \dfrac{1-\alpha}{(1-\alpha-\beta)(1-\alpha+\beta)}$ $\alpha = \dfrac{Sl}{a\pi};\ \ a = \dfrac{4EI}{\pi d^2 \rho};\ \ \beta = \dfrac{T' f}{2\pi}$	j_{sup}; j_{qa} – supportun və qabaq aşığın sərtlikləri; E, I – elastiklik modulu və inersiya momenti; l – hissənin çıxımı; μ – dinamiklik əmsalı; T', f - hissənin əsas vibrasiya növünün dövrləri və kəsmə qüvvəsinin pulsasiya (dövrü dəyişmə) tezliyi; d, ρ - hissənin diametri və materialın sıxlığı.
8	B.M.Bazrov [18]	$\Delta\overline{R}_i = \overline{R}_i - \overline{R}_i^{\Phi} = \Delta\overline{R}_i^{sta} + \Delta\overline{R}_i^{\text{din}}$ $\overline{R}_i = \overline{r}_{i-1} + M_{ij}\overline{r}_{ij}$ $M_{ij} = M_x(i;j)M_y(i;j)M_\tau(i;j)W_\omega(i;j)$ $y_i = \dfrac{N_i}{j_i}$	$\overline{R}_i$ - hissə nöqtələrinin radius vektorları; $\overline{R}_i^{sta}, \overline{R}_i^{\text{din}}$ - radius-vektorun statik və dinamik təhrifi; M_{ij} - koordinat sistemlərinin dönmə matrisləri; N_i, j_i - i-ci dayaq (istinad) nöqtəsinin reaksiya qüvvəsi və sərtliyi.

Cədvəl 1-in ardı

№	Mənbə	Model	Nəzərə alınan amillər
9	A.A. Koşin [21]	$y = \frac{C_{P_y} t^{x_{p_y}} S^{y_{P_y}}}{j_{y01}};$ $x = \frac{C_{P_{xy}} t^{xx_{p_{xy}}} S^{y_{P_{xy}}}}{j_{x01}}$	y, x – təkalətli emalda Y və X oxları üzrə ölçülərin təhrifi; S – uzununa supportun verişi; t – uzununa supportda kəsmə dərinliyi; j_{01} - 0 və 1 altsistemlərin ümumi (cəm) sərtliyi.
10	V.İ. Quzeyev [22]]	$\Delta_\phi = R_k + \frac{\frac{P_y}{j_y} - \frac{dy}{dx}\frac{P_x}{j_x}}{\sqrt{1+\left(\frac{dy}{dx}\right)^2}} \cos^{-1} \times$ $\times \left[arstd \frac{\frac{dy}{dx}\frac{P_y}{j_y} + \frac{P_x}{j_x}}{R_k \sqrt{1+\left[\frac{dy}{dx}\right]^2} \pm \frac{P_y}{j_y} \mp \frac{dy}{dx}\frac{P_x}{j_x}} \right] - R_k^i$	Təkalətli kontur emalı R_k - hissənin baxılan kəsiyində emal olunan səthin əyrilik radiusu; R_k^i -kəsikdə $\Delta\zeta$ qədər yerini dəyişən emal olunan səthin əyrilik radiusu; $\Delta\zeta$ - emal olunan səthin meylinin bucaq koordinatı; $\frac{dy}{dx}$ - emal olunan səthi təsvir edən $y = f(x)$ funksiyasının xüsusi törəmələri.

Cədvəl 2

Təkalətli emalda ölçülərin səpələnmə sahələri

№	Mənbə	Model	Nəzərə alınan amillər
1	A.P. Sokovski [12]	$\Delta_{üx} = \Delta_{st} + \Delta_{saz\,al};$ $\Delta_{üeds} = \Delta_{eps} + \Delta_{bdəy};$	Δ_{st} – sistematik təşkiledicilər (deformasiya, temperatur, yeyilmə); $\Delta_{saz\,al}$ - sazlama xətası; $\Delta_{üds}, \Delta_{eps}, \Delta_{bdəy}$ - elastik deformasiya-lardan səpələnmə (ümumi, emal payı və bərklik-dən dəyişmə (rəqs)).
2	B.S. Balakşin [14]	$\varepsilon = \frac{\omega_p}{\omega_h}; \Delta = \Delta_{yer} + \Delta_{sts} + \Delta_{dins};$ $\Delta y_h = \frac{P_{max} - P_{min}}{j}$	ω_p, ω_h - pəstah dəstinin və hissələrin ölçülərinin səpələnmə sahələri; Δ - hissələr dəstinin emal xətası; $\Delta_{yer}, \Delta_{sts}, \Delta_{dins}$ - yerləşdirmə, statik və dinamik sazlama xətaları.
3	V.S. Korsakov [15]	$\Delta y = t_{QAL_{max}} - t_{QAL_{min}} =$ $= \left(C_{max} t^{x_p}_{ver_{max}} - C_{min} t^{x_p}_{ver_{min}}\right)\left(\frac{1}{j_p} + \frac{1}{j_{al}}\right)$	$t^{x_p}_{ver_{max}}, t^{x_p}_{ver_{min}}$ - emal paylarının rəqsi (dəyişməsi)
4	K.V.Votinov [13]	$\Delta_{din} = q_{xkq}\left(K_S t + K_N \Delta t\right) S^{y_p}$	q_{xkq} - xüsusi kəsmə qüvvəsi; K_S, K_N - ölçünün təhrifi əmsalı; Δ_{din} - "dinamik səhv"
5	A.Q. Kosilova [23]	$\Delta_{\Sigma} = \frac{2}{k}\sqrt{(k_2\Delta_{eld})^2 + (k_3\Delta_{saz})^2 + (k_4\Delta_{ayey})^2 + (k_5\sum\Delta_{dez})^2 + (k_6\sum\Delta_{idef})^2}$	$\Delta_{yer}, \Delta_{eld,}, \Delta_{saz}, \Delta_{ayey}, \sum\Delta_{dez}, \sum\Delta_{idef}$ - elastiki deformasiyalar, sazlama, alətin yeyilməsi, dəzgah, istilik deformasiyaları xətaları; k_i – təsir əmsalları.
6	A. A. Koşin [21]	$\Delta y = \frac{C_{P_y} t^{x-1} S^{y_{P_y}}}{j_{y01}}\left[\omega t + x_{P_y}\Delta t\right];$ $\Delta x = \frac{C_{P_x} t^{x_x - 1} S^{y_{P_x}}}{j_{x01}}\left[\omega t + x_{P_{xy}}\Delta t\right]$	$\omega = \Delta j + \nu$ - texnoloji sistemin xassələrinin tam qeyri-sabitliyi.

V.S. Korsakov [15] təkalətli torna emalı zamanı yerinə yetirilən ölçünün (düstur 3) xətasını təyin etmək üçün asılılıqlar təklif etmişdir. O, xətanın (verilmiş kəsikdə yerinə yetirilən ölçünün səpələnmə sahəsinin) qiymətini kəsmə dərinliyinin ən böyük və ən kiçik qiymətləri arasındakı qalıq (elastik yerdəyişmələr səbəbindən çıxarılmayan) fərq kimi təyin etməyi təklif etdi. Bununla belə, bu asılılıq yalnız emal olunan materialın bərkliyini və emal payının dəyişməsini (rəqsini) nəzərə alır. Bu amillər isə elastik yerdəyişmələrin (deformasiyaların) səpələnməsini müəyyən edən bütün amillər deyil.

K.V. Votinov səpələnmə sahəsi modelinə emal payının dəyişməsi (rəqsi) ilə müəyyən edilən ənənəvi komponentlə yanaşı, kəsmə dərinliyi ilə müəyyən edilən yeni amil də daxil etdi (düstur 4) [13]. Lakin bu düsturdakı əmsallar eksperimental olaraq müəyyən edilir və buna görə də bütün asılılıq empirik xarakter daşıyır.

Hal-hazırda şaquli çoxşpindelli yarımavtomat və müasir RPİ dəzgahlarında dönmə supportlarından istifadə edərək, üstyonuş kəskisi ilə konusvari səthlərin kontur emalı geniş istifadə olunur. Belə əməliyyatların avtomatlaşdırılmış layihələndirilməsi müvafiq riyazi modellərin olmaması səbəbindən çətinləşir. Dönmə (universal) supportları ilə konik səthi emal edərkən, texnoloji sistem bəndlərinin elastik yerdəyişmələrinin qeyri-sabitliyi ilə əvvəlcədən müəyyən edilmiş ölçülər istiqamətində elastik yerdəyişmələrin qiymətlərinin proqnozlaşdırmağa imkan verən matris riyazi modelinin qurulması məqsədə uyğun olardı. Belə modelin istifadəsi şaquli çoxşpindelli yarımavtomat dəzgahlarında və müasir RPİ dəzgahlarında əməliyyatların avtomatlaşdırılmış layihələndirilməsi imkanlarını genişləndirir [24, 25].

Çoxalətli emal. Dəqiqlik nəzəriyyəsinin daha da təkmilləşdirilməsi çoxalətli çoxsupportlu emal xüsusiyyətlərinin onda əks olunması ilə həyata keçirilmişdir. A.A. Koşin və onun davamçıları çoxalətli emal zamanı ölçü xətalarının hesablanması üçün müxtəlif düsturlar təklif etmişlər. Çoxalətli emalın layihələndirilməsinin hesablama nəzəriyyəsinin yaradılması zamanı A.A. Koşin [21] və N.D. Yusubov [1-2, 5] ilk növbədə, yerinə yetirilən ölçülərin təhrif edilməsi və onların səpələnmə sahələrinin modellərinin çoxalətli sazlamaların strukturunu (uzununa supportun və eninə supportun müxtəlif növ alətlərini, uzununa və eninə supportların eyni zamanda işləməsini və s.) nəzərə alan kompleks riyazi modellərinin işlənməsinin zəruri olduğunu göstərmişlər. N.D. Yusubov göstərmişdir ki, müasir çoxşpindelli və çoxsupportlu RPİ dəzgahlarında çoxalətli emalın layihələndirilməsi nəzəriyyəsi alətlərin əyri xətli trayektoriya üzrə hərəkət imkanları, eləcə də sazlamadakı alətlərin ixtiyari fəza yerləşməsi nəzərə alınmaqla sazlamadakı alətlərin qarşılıqlı qüvvə təsiri balansı əsasında qurulmalıdır. Bu səbəbdən, ilk növbədə, fəza yerləşməli alətlərli çoxalətli sazlamalarda sazlamadakı bütün alətlərin kəsmə qüvvəsinin bütün təşkiledicilərinin eyni zamanda təsirini və texnoloji sistemin bütün koordinat istiqamətləri üzrə elastiki yerdəyişmələrini nəzərə alan emal xətaları modellərinin olması zəruridir. Bunun üçün isə fəzada maddi cisimlər sisteminin qarşılıqlı elastiki qüvvə təsirini təsvir edən matris nəzəriyyəsi əsasında analitik mexanika aparatı əlverişli hesab olunur. Bununla da o, çoxalətli emalın matris dəqiqlik nəzəriyyəsinin yaradılması zərurətini göstərmiş və bu nəzəriyyəni yaratmışdır.

Beləliklə, emal dəqiqliyi modelinin işlənməsində iki əsas amil var: kəsmə qüvvələri və texnoloji sistemin elementlərinin elastikliyi. Çoxalətli emalda kəsmə qüvvələri kompleksi fəaliyyət göstərir. Bu qüvvələrin təsiri sxemi sazlamanın strukturu tərəfindən verilir, yəni kəsən alətlərin emal olunan pəstaha nisbətən yerləşdirilməsi sxemi ilə, onların tipi və hər bir alətdə kəsmə dərinliyi ilə. N. D. Yusubov tərəfindən işlənmiş çoxalətli emalın dəqiqlik matris modelləri çoxalətli sazlamanın strukturunu təsvir edir və bütün əsas təsiredici amilləri nəzərə alır. Bu səbəbdən çoxalətli emalın layihələndirilməsinin hesabı nəzəriyyəsinin əsasını təşkil edir. Lakin burada da işlənmiş modellərin sistematikası və onların çoxalətli sazlamalar təsnifatı ilə müqayisə edilməsi göstərir ki, dəqiqliyin proqnozlaşdırma ilə qiymətləndirilməsinin analitik modelləri texnoloji keçidlərin üst-üstə salınmasının bütün variantlarını nəzərə almır [26].

H.M. Abbasova çoxalətli emalın dəqiqlik modellərinin alqoritmik eyniliyi və onların struktur şəffaflığı tələblərini yerinə yetirmək məqsədi ilə çoxalətli emalın dəqiqliyinin bölümlü-matris modellərini işləmişdir. Həmçinin çoxsupportlu çoxalətli sazlamalar üçün emal dəqiqliyinin ümumiləşdirilmiş bölümlü-matris modelinin alınmasına cəhd etmişdir [26].

Nəticə. 1. Mexaniki emal texnoloji proseslərinin riyazi modelləşdirilməsi maşınqayırma texnologiyasında mühüm yer tutur. Bu baxımdan mexaniki emalın dəqiqlik nəzəriyyəsinin inkişafı, bununla da riyazi modelləşdirmə ilə proseslərin təsviri məsələsi mühüm məsələ kimi aktualdır.

2. Emalın mürəkkəbliyi və çoxfaktorlu təbiəti elədir ki, riyazi modellərin maksimum sadələşdirilməsi ilə belə, onların əsasında hazırlanmış layihələndirmə üsulları həddindən artıq çətin, əməktutumlu olur. Bu halda əməliyyatların praktik layihələndirilməsi üçün kompüter texnologiyasından istifadə tələb olunur. Buna görə də, emalın layihələndirilməsinin müasir nəzəriyyəsini inkişaf etdirərkən, onun həyata keçirilməsi üçün dərhal kompüter texnologiyalarına diqqət yetirmək məsləhətdir.

3. Müasir RPİ dəzgahlarında üstyonuş kəskisi ilə konusvari səthlərin kontur emalı üçün yerinə yetirilən ölçülərin səpələnmə sahələrinin, texnoloji sistemin kompleks xarakteristikasını nəzərə almaqla, riyazi modellərinin işlənməsi hazırda həllini gözləyən məsələlərdən biridir.

Ədəbiyyat

1. Юсубов, Н.Д. Многоинструментная обработка на станках - автоматах токарной группы (Матричная теория точности многоинстументной обработки на современных станках с ЧПУ токарной группы) / Н. Д. Юсубов. – Саарбрюккен: AV Akademikerverlag Gmbh & Co. KG / LAP LAMBERT Academic Publishing, – 2013, – 256 с.
2. Юсубов, Н. Д. Основы матричной теории точности многоинструментной токарной обработки (Принципы и структура теории, проектирования и управления процессами многоинструментной обработки) / Н. Д. Юсубов. – Саарбрюккен: OmniScriptum GmbH & Co. KG / LAP LAMBERT Academic Publishing, – 2013. – 216 с.
3. Yusubov, N., Abbasova, H., Khankishiyev, İ. Entwicklung einer Projektierungstheorie für die Mehrwerkzeugbearbeitung mit den Möglichkeiten der modernen CNC-Werkzeugmaschinen // – Germany: Forschung im Ingenieurwesen, – 2021. No.85, – p. 661–678.
4. Юсубов Н.Д. Матричные модели точности обработки в одноинструментной токарной обработке // Технология машиностроения. Москва. 2009 г. № 1, с. 41-45
5. Юсубов Н. Д. Обобщение теории точности многоинструментной токарной обработки. Баку, Эльм, -2007. 362 с.
6. Юсубов Н.Д. Матричные модели точности в многоинструментных двухсуппортных наладках // Вестник машиностроения. Москва, 2009. № 3. С. 52 – 54.
7. Базров, Б.М. Основы технологии машиностроения. Учебник для вузов. / Б.М. Базров. – Москва: Машиностроение, – 2005. – 736 с
8. Yusubov, N. Model of machining process control on multi- tool single-carriage adjustments / N. Yusubov, H. Abbasova // Machine Science. – 2023. – Vol. 12, No. 1. – P. 22-27. – EDN FUCHCT.
9. On the matrix generalization of the theory of machining accuracy / N. Yusubov, H. Abbasova, R. Dadashov, I. Salmanov // Machine Science. – 2022. – Vol. 11, No. 2. – P. 23-36. – EDN MESFXB.
10. Юсубов Н.Д., Аббасова Х.М. Полнофакторная матричная модель точности выполняемых размеров на многоцелевых станках с ЧПУ // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2021. – Т. 23, № 4. – С. 6–20. – DOI: 10.17212/1994- 6309-2021-23.4-6-20.

11. Юсубов Н.Д. Повышение эффективности многоинструментной обработки на станках автоматах токарной группы: Автореф. дисс. … докт. техн. наук. – Баку: 2009. – 45 с.
12. Соколовский А.П. Расчеты точности обработки на металлорежущих станках. - М.: Машгиз, 1952. - 286 с.
13. Вотинов К.В. Жесткость станков / Под ред. А.П.Соколовского. - Л.: Машгиз, 1940. - 85 с.
14. Балакшин Б.С. Основы технологии машиностроения. - М.: Машиностроение, 1969.- 559 с.
15. Корсаков В.С. Точность механической обработки,- М.: Машгиз, 1961.-379с.
16. Медведев Л.П. Точность обработки в мелкосерийном производстве. -М.: Машиностроение, 1973.- 120с.
17. Колев К.С., Горчаков Л.М. Точность обработки и режимы резания.-М.: Машиностроение, 1976.- 144с.
18. Базров Б.М. Расчет точности машин на ЭВМ. - М.: Машиностроение, 1984.-256 с.
19. Ящерицын П.И., Рыжов Э.В., Аверченков В.И. Технологическая наследственность в машиностроении. –Минск: Наука и техника, 1977-256 с.
20. Трошенский С.П. Расчет точности обработки на металлорежущих станках.- М.: Машиностроение, 1964.- 203 с.
21. Кошин, А. А. Теория точности и оптимизация многоинструментной токарной обработки: / диссертация доктора технических наук, специальность 05.02.08 – Технология машиностроения. / − Челябинск, 1997. − 290 с.
22. Гузеев, В.И. Теория и методика расчета производительности контурной обработки деталей разной точности на токарных и фрезерных станках с ЧПУ: Автореф. дисс. … докт. техн. наук. – Челябинск, 1994. − 33 с.
23. Косилова А.Г. Точность обработки, заготовки и припуски в машиностроении // Справочник технолога.-М.: Машиностроение, 1976.-288 с.
24. Сазонова Н. С. Повышение производительности и точности обработки на токарных многошпиндельных вертикальных полуавтоматах путем управления технологическими параметрами: Дис. …канд. техн. наук: Челябинск, -1996, -191 с.
25. Моделирование искажения выполняемых размеров в одноинструментной обработке с поворотного суппорта / Н. Д. Юсубов, С. А. Богатенков, Н. С. Сазонова [и др.] // Автоматизированное проектирование в машиностроении. – 2023. – № 15. – С. 42-46. – DOI 10.26160/2309-8864-2023-15-42-46. – EDN ETKOGA.
26. Abbasova, H.M. Müasir RPİ çoxməqsədli dəzgahlarında çoxalətli emalın məhsuldarlığının yüksəldilməsi: / 3313.01-“Maşınqayırma texnologiyası” ixtisası texnika elmləri sahəsi üzrə fəlsəfə doktoru dis. avtoreferatı. / – Bakı, 2021. – 31 s.

Məqalə qəbul olunub: 01.04.24
Tövsiyə edib: dos. Xankişiyev İ.A.

GƏMİÇİLİK VƏ SU NƏQLİYYATININ İSTİSMARI

UTC 656.615

DIGITAL METHODS OF SEA CONTAINER TERMINALS' DESIGN

Kuznetsov A.L., Semenov A.D.

Admiral Makarov State Maritime University of Maritime and Inland Shipping
Russia, Saint-Petersburg, Dvinskaya st., 5/7
E-mail: kaf_pgt@gumrf.ru; asemyonov054@gmail.com

Abstract. *The significant changes in the directions of world trade that are taking place today are changing the scheme of main and feeder routes accordingly, disconnecting some regions with ports serving them from cargo traffic and requiring the development of ports in other regions. In order to adequately respond to emerging global challenges, seaports must be created and modernized, and this must be done quickly. The significant capital intensity of the implementation of any solutions related to seaports as key transport infrastructure facilities and the high cost of possible strategic mistakes associate design procedures with an extremely high risk, which can be eliminated only with a rationally justified and comprehensive analysis of possible options. At the same time, the complexity and dimensionality of the tasks associated with the design and development of the port makes this analysis extremely time-consuming and expensive. On the other hand, the development of information technologies, computer technology and the theory of artificial intelligence makes it possible to use the scientific and practical potential created by them in this field of activity. In this article, the authors describe the general approach and practical results achieved in the automation of technological design of sea container terminals.*

Xülasə. *Bu gün dünya ticarətinin istiqamətlərində baş verən mühüm dəyişikliklər müvafiq olaraq əsas və qidalanma marşrutlarının sxemini dəyişir, bəzi regionları onlara xidmət edən limanlarla yük daşımalarından kəsir və digər regionlarda limanların inkişafını tələb edir. Yaranan qlobal çağırışlara adekvat cavab vermək üçün dəniz limanları yaradılmalı, modernləşdirilməli və bunu tez bir zamanda həyata keçirməlidir. Nəqliyyat infrastrukturunun əsas obyektləri kimi dəniz limanları ilə bağlı hər hansı qərarların həyata keçirilməsinin əhəmiyyətli kapital tutumu və mümkün strateji səhvlərin yüksək qiyməti layihə prosedurlarını son dərəcə yüksək risklə əlaqələndirir ki, bu da yalnız rasional əsaslandırılmış və hərtərəfli təhlillə aradan qaldırıla bilər mümkün variantlardır. Eyni zamanda, limanın dizaynı və inkişafı ilə bağlı vəzifələrin mürəkkəbliyi və ölçüsü bu təhlili çox vaxt aparan və bahalı edir. Digər tərəfdən, informasiya texnologiyalarının, kompüter texnologiyalarının və süni intellekt nəzəriyyəsinin inkişafı onların yaratdığı elmi və praktiki potensialdan bu fəaliyyət sahəsində istifadə etməyə imkan verir. Bu məqalədə müəlliflər dəniz konteyner terminallarının texnoloji dizaynının avtomatlaşdırılmasında əldə edilən ümumi yanaşma və praktiki nəticələri təsvir edirlər.*

Аннотация. *Происходящие сегодня значительные изменения направлений мировой торговли соответствующим образом меняют схему магистральных и фидерных маршрутов, отключая от грузопотока одни регионы с обслуживающими их портами и требуя развития портов других регионов. Для адекватного ответа на возникающие глобальные вызовы морские порты должны создаваться и модернизироваться, и делать это быстро. Значительная капиталоемкость реализации любых решений, связанных с морскими портами как ключевыми объектами транспортной инфраструктуры, и высокая цена возможных стратегических ошибок связывает проектные процедуры с крайне высоким риском, который можно исключить лишь при рационально обоснованным и всестороннем анализе возможных вариантов. В*

то же время, сложность и размерность связанных с проектированием и развитием порта задач делает это анализ крайне трудоемким и дорогостоящим. С другой стороны, развитие информационных технологий, вычислительной техники и теории искусственного интеллекта позволяет использовать созданный ими научно-практический потенциал и в указанной сфере деятельности. В данной статье авторы описывают общий подход и практические результаты, достигнутые в автоматизации технологического проектирования морских контейнерных терминалов.

Key words: *technological design, port, container terminal, simulation, scenario planning, automation*

Açar sözlər: *proseslərin dizaynı, dəniz limanı, konteyner terminalı, simulyasiya modelləşdirmə, ssenari planlaşdırılması, avtomatlaşdırma*

Ключевые слова*: технологическое проектирование, морской порт, контейнерный терминал, имитационное моделирование, сценарное планирование, автоматизация*

Introduction. Most of the well-known models of seaport development consider transitions from one stage to another through the specialization of the terminals included in them and the expansion of the serviced hinterland [1-2]. Despite the fact that these models were created as a way to describe the general mechanisms of port development, they are all based on the assumption of continuous economic development of the region.

At the same time, economic crises, epidemics, geopolitical confrontations and wars can significantly hinder the development of individual regions. In some cases, this leads to the fact that ports that have moved to a certain stage of development are forced to retreat back to the previous stage. For example, a specialized container terminal will have to return to handling general or even bulk cargo. In classical models, reverse transitions between the stages of port development caused by certain crisis phenomena are not considered. Such a "regression" model is conventionally shown in fig. 1.

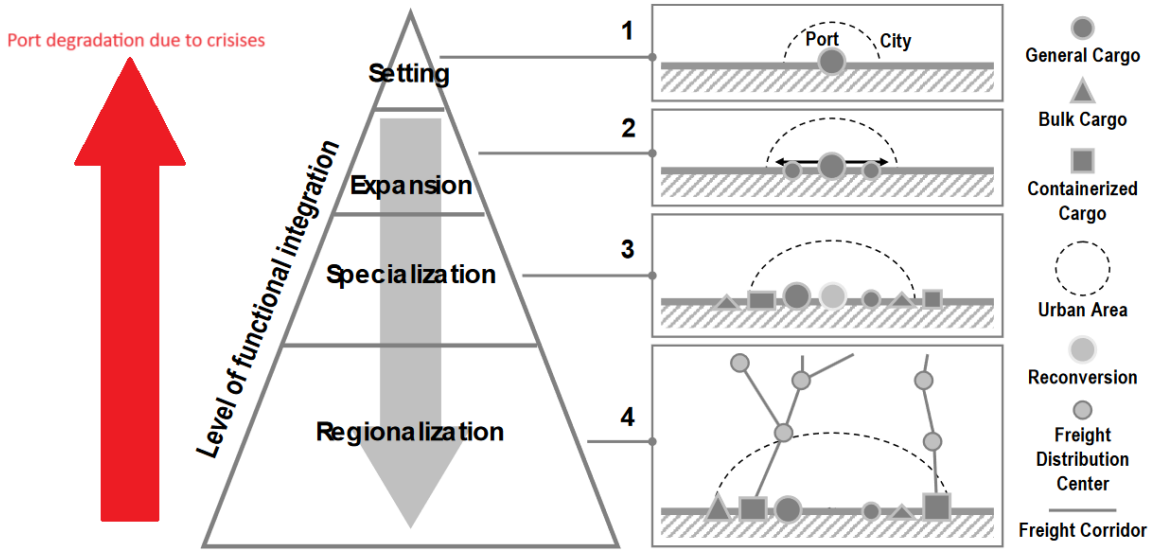


Figure 1. *The Notteboom and Rodrigue Port Development Model, Complemented by the Reverse Direction*

For an individual port, a crisis can be not only the force majeure circumstances listed above, but also the appearance of a strong competitor in the near coast, leading to the loss of cargo traffic. An example of this kind of crisis is the competition between the ports of Guangzhou and Hong Kong (fig. 2).

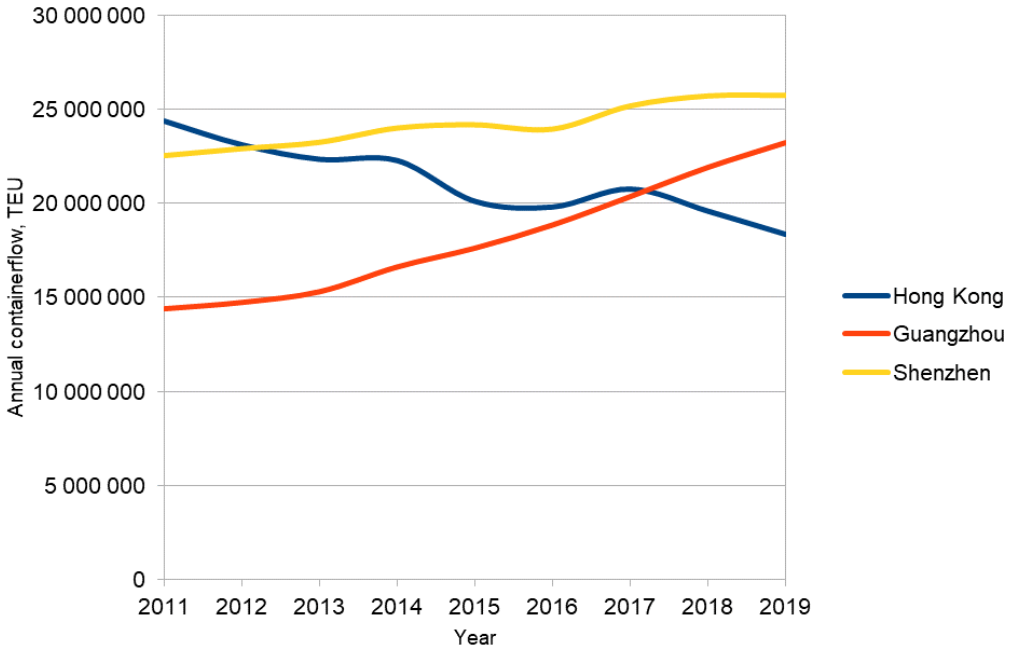


Figure 2. *Changes in container flows in the ports of the Pearl River Delta [3]*

The mirror change in the dynamics of container turnover between the two competitors makes it possible to assume that the ports of Shenzhen and Guangzhou take away the cargo flows of Hong Kong's container terminals [4]. In such a situation, Hong Kong's terminals urgently need to look for solutions to maintain their current position or to move to a new stage of development, to a new strategy. Such an event can be called a bifurcation point, after which a change in the system occurs [5]. An example of such a bifurcation point in Russian ports is the change in port container turnover over the past few years (fig. 3).

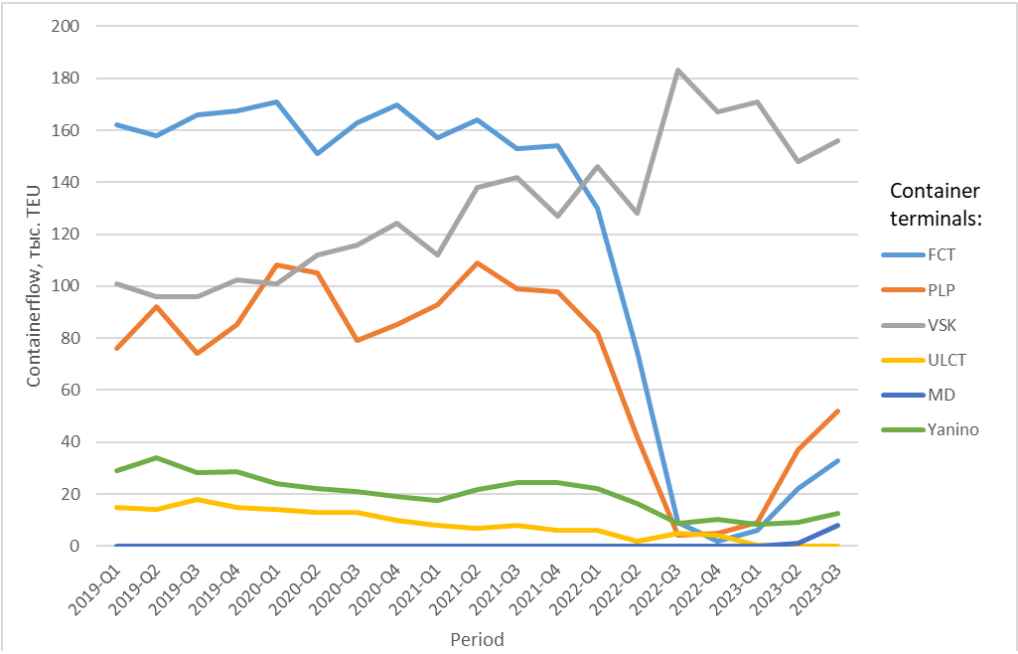


Figure 3. *Changes in the container ship of container terminals in Russia [6]*

At the same time, a sharp change in the container turnover of the ports of the Far East led to significant problems in servicing vessels, which manifested themselves in the formation of queues in the roads of domestic and foreign ports (fig. 4).

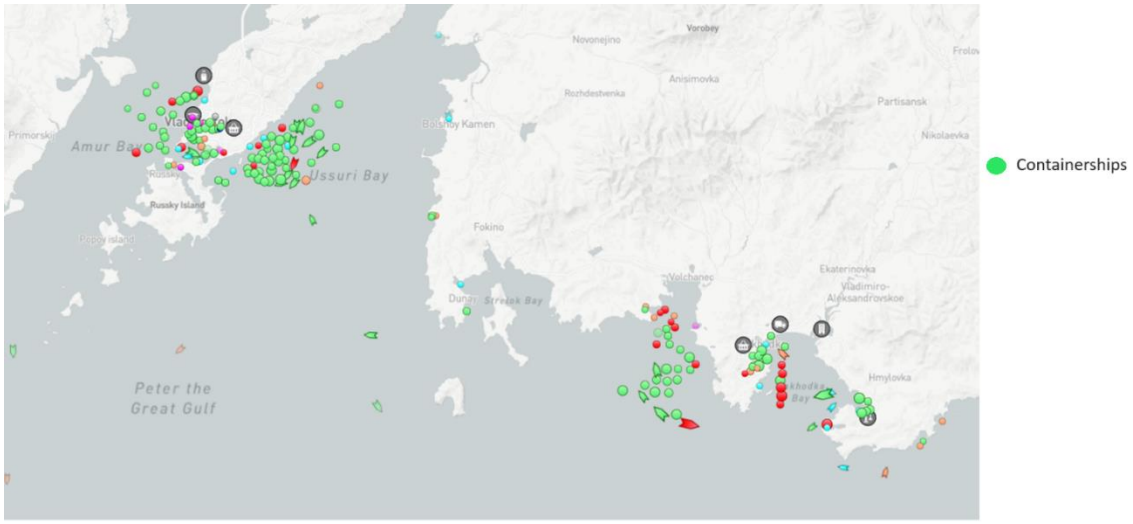


Figure 4. *Queues at the ports of the Far East [7]*

Such an impact of crises on the development of ports makes it relevant to develop and actively implement scenario planning methods in the practice of transport companies and government organizations. These methods should be based on a comparative analysis of a large number of scenarios for several decades ahead, thereby forming a means of supporting strategic decisions on the development of transport infrastructure [8-9]. Such an approach can be applied at the stage of forming a business idea. At the same time, the time-consuming scenario planning procedure is accompanied by an equally time-consuming terminal design procedure, which cannot be carried out with sufficient accuracy for each variant being compared. The separation of these procedures in time and their implementation for a small number of variants practically deprives the designer and the customer of the opportunity to objectively quantify a representative number of event scenarios.

The reason for this is the complexity of the designed object, which consists of a large number of elements, for each of which there are many options for structural solutions. At the same time, design organizations, as a rule, strive to make "optimal decisions". However, the strict mathematical meaning of the word "optimal" is "the best of all possible options" [10]. As a consequence, in order to make an optimal decision, it is necessary to compare all possible options of all possible solutions (figure 5).

Solving such a complex task is characterized by high labor intensity and time costs, usually beyond the scope of most projects. In order to eliminate this contradiction and provide an opportunity to quantitatively compare various scenarios of container terminal operation at the early stages of planning, it is necessary to solve the problem of qualitatively improving the efficiency of methods of technological design of container terminals. The current level of development of computer science allows us to put forward a hypothesis that this problem can be solved by creating a digital tool that reduces the labor intensity of designing a container terminal.

To solve this problem, it is necessary to solve several specific tasks:

1. to analyze the existing practice and features of the design of container terminals;
2. to develop methods of computer-aided process design;
3. to develop algorithms for automatic generation of container terminal plan options.
4. to develop an algorithm for generating project documentation.

This paper examines the general approach and proposes solutions to the problems listed above.

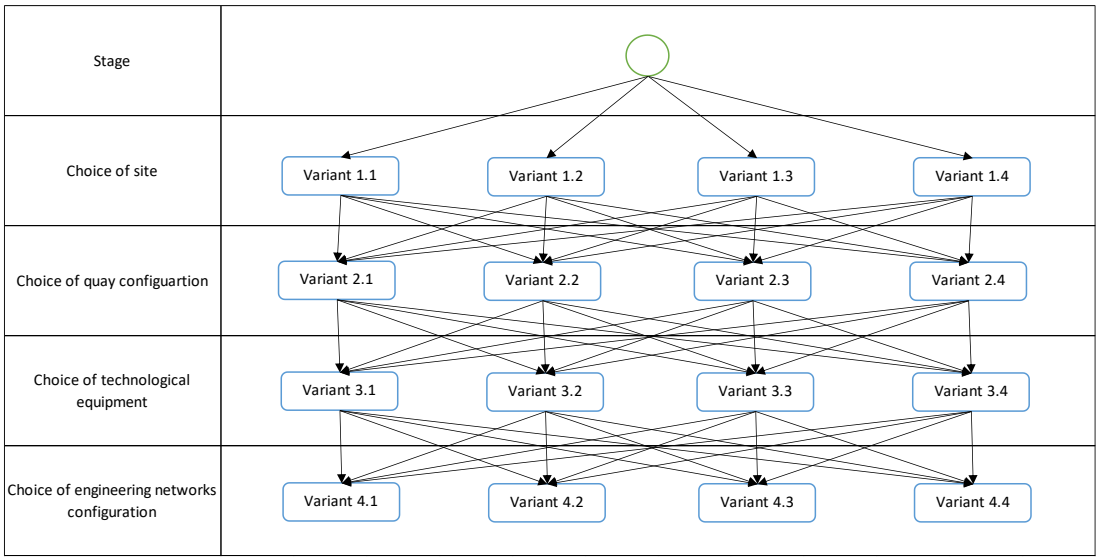


Figure 5. *Illustration of the number of comparison options*

Methods and materials. One of the most time-consuming tasks in design is the collection and analysis of raw data. In order to create a terminal that meets market conditions, it is necessary to have an idea of the composition of vessels calling at the port, the distribution of their handling time, as well as their technical characteristics. The technical characteristics of the vessels are difficult to determine, since a large number of vessels of various types can enter the port. In addition, the port can be designed for ships that do not yet exist. To simplify the search for such data, a knowledge base is provided in the toolkit being developed. It contains information on a group of ports located in separate seas and for each port separately, as well as empirical dependencies of the characteristics of ships depending on their deadweight [11-12]. Such a knowledge base allows you to reduce the time to search for information and make it more objective.

The selected initial data make it possible to perform technological calculations, which are the basis for the design of a container terminal, as well as to determine its general layout [13]. These calculations typically determine the following characteristics:

- number of berths;
- one-time storage capacity;
- number of handling equipment;
- number of railway tracks;
- number of entrance and exit gates;
- structure and number of personnel;
- CFS capacity;
- number of truck gates in the CFS.

At the same time, in the modern practice of designing seaports, technological design is understood not as the performance of calculations regulated by regulatory documents, but rather as the design of business processes and the determination of the required amount of required technological resources (fig. 6).

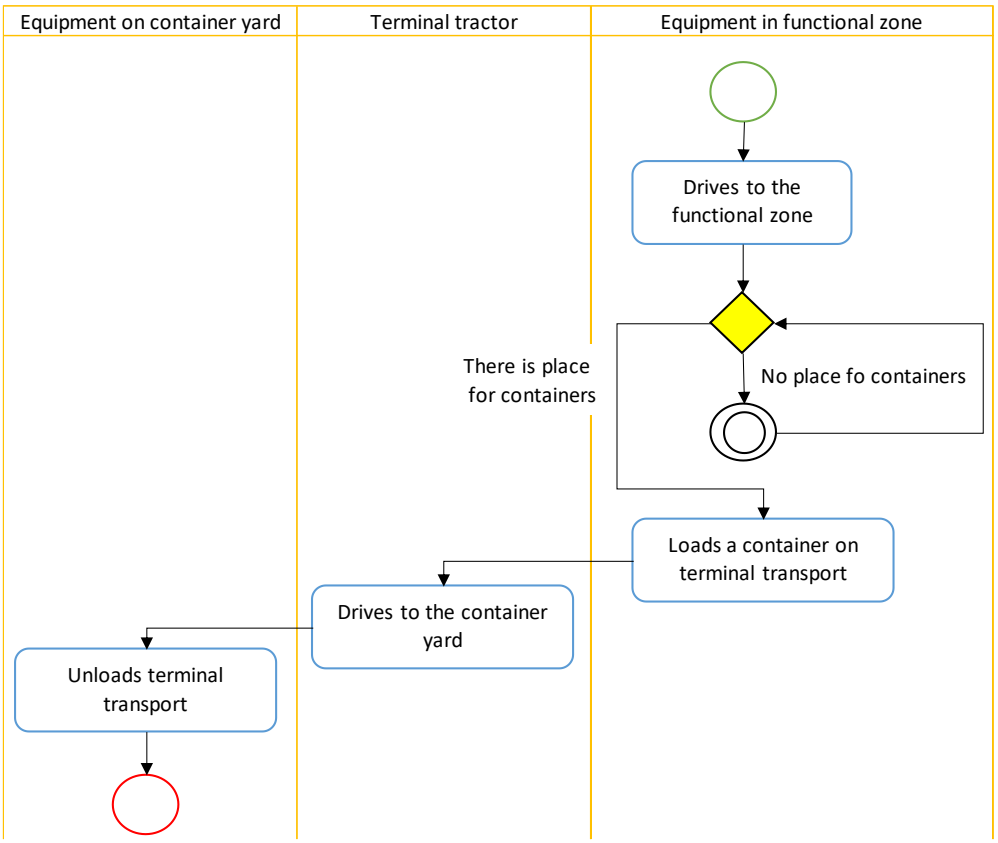


Figure 6. *Example of a formalized business process description*

It is the business processes of the terminal that form the requirements for the infrastructure and superstructure that the terminal needs to perform its main functions. In this regard, the developed toolkit includes a library of typical business processes performed at a container terminal, an interactive editor of these processes, as well as algorithms for calculating the required amount of resources based on the theory of queuing. The performed technological calculations make it possible to generate the general shape of the container terminal in the form of a sketch located on an arbitrary territory that is free from the restrictions. An example of such a sketch is shown in fig. 7.

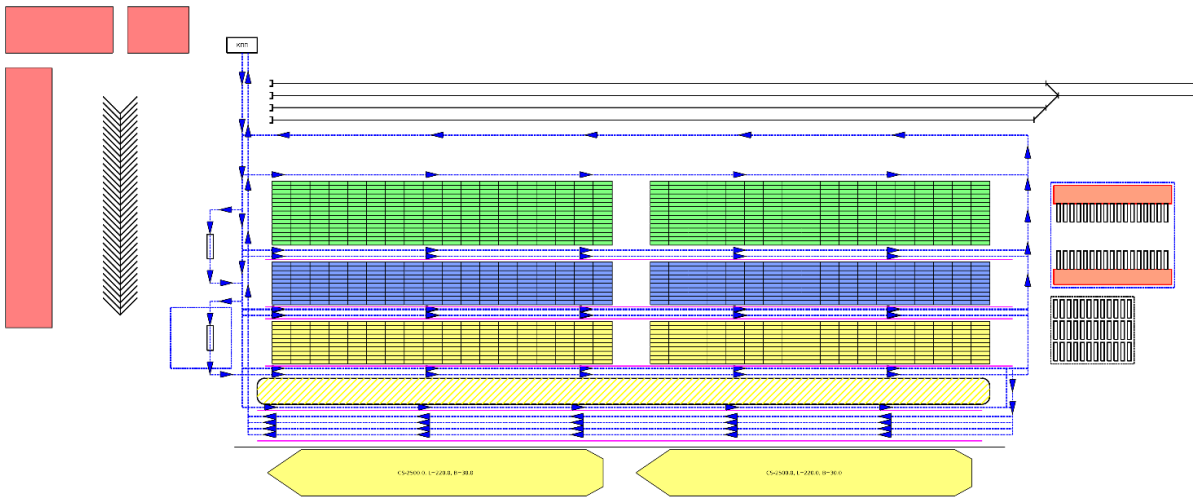


Figure 7. *An example of a general view of the generated plan of a container terminal*

The developed sketch of the master plan is used only at the initial stages of design. At later dates, this sketch needs to be reformatted to accommodate a specific area bounded by the natural shape of the surface, existing objects, and property rights to the territory. As an aid to generating a terminal plan in such conditions, it is necessary to develop an algorithm based on computational geometry methods. This algorithm is based on a method for determining the configuration of a container yard. To create options for the location of the container yard, the developed tool provides an interface in which the user limits the location of the container site [14]. Based on the selected boundaries, variants of container locations are generated, parallel to each line of this boundary (Fig. 8).

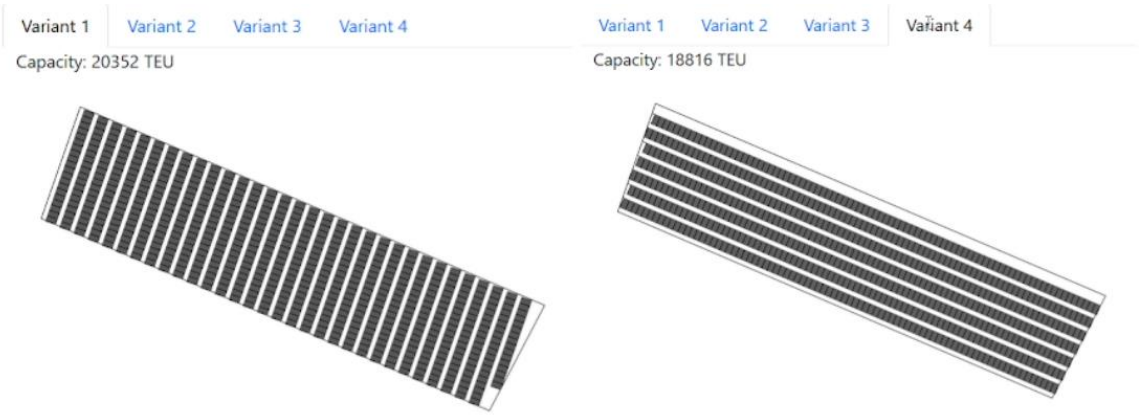


Figure 8. *Generated variants of the container yard plan*

To accommodate the necessary buildings and other elements of the terminal, the developed algorithm is supplemented by methods based on Voronoi diagrams and methods for solving the problem of packing in a backpack [15]. Once the terminal position has been chosen, it is necessary to design the approach channels, access roads, and roads. To perform these calculations, data on the Earth's surface published by international geographical societies are used [16]. The user specifies the start and end points of the designed path, as well as intermediate points, if necessary. The method, based on the wave pathfinding algorithm, generates a route that corresponds to the selected objective function: shortening the path or minimizing costs (fig. 9).

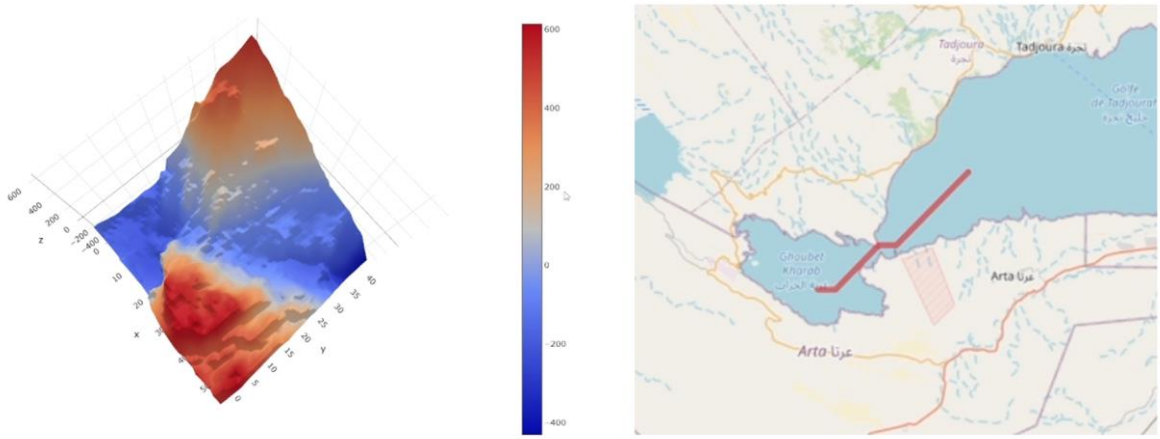


Figure 9. *Example of a generated approach channel plan*

The presented algorithms make it possible to determine the general appearance of a container terminal in a certain area.

Results. The developed plan of the container terminal must be checked as a full-fledged system. You need to make sure that there are no elements that limit the bandwidth of the terminal. It is difficult to accomplish this task by a general revision of the solution, since such a review can only identify some qualitative characteristics, but not compare them quantitatively. At the same time, quantitative comparison is much simpler. In order to perform such a numerical comparison, it is necessary to conduct simulation modeling of the developed terminal project. Simulation allows you to see how the terminal will behave in a particular scenario. The simulation model is based on the business processes formulated at the technological design stage and data on the variation in the time of technological operations collected from existing container terminals (fig. 10).

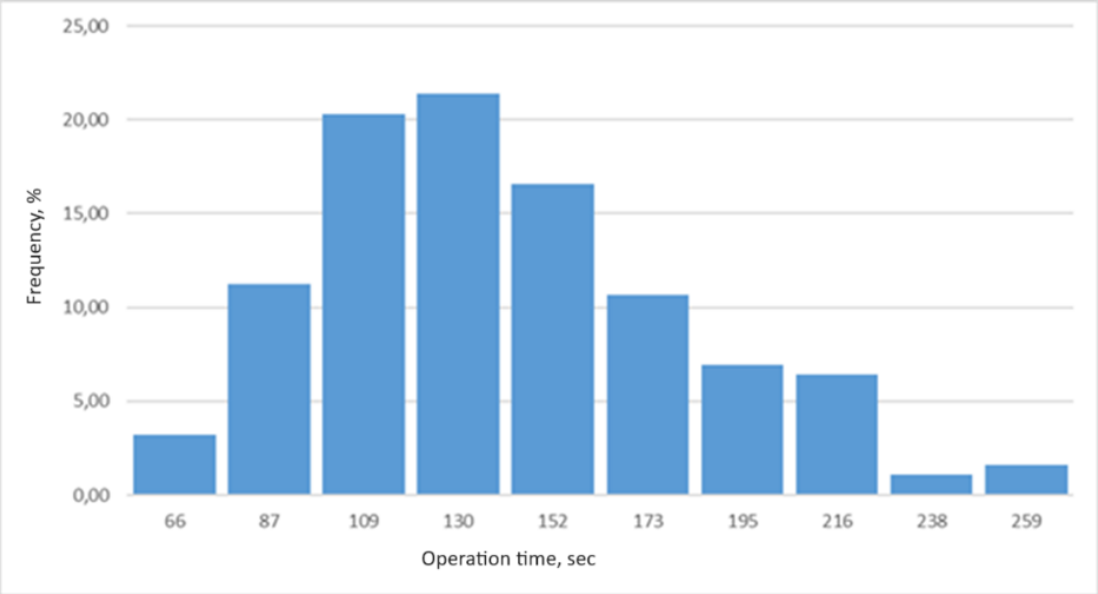


Figure 10. *Example of a histogram of the distribution of the time to perform an operation*

The results of the simulation are the key performance indicators that the terminal achieved in the experiment, as well as the dynamics of queue changes at each operation. This information allows you to determine which solutions need to be changed to improve the efficiency of the terminal. To do this, users need to go back a few steps to reconsider their decision. The completed calculations, formed plans and sections are compiled into an explanatory note, which can be handed over to the members of the group working on scenario planning for subsequent decisions.

Konclusions. 1. The development of ports is a non-linear transition between stages of development.

2. The transition from one stage to another is associated with the emergence of a crisis or bifurcation point.

3. When designing container ports, it is necessary to take into account the different scenarios of the bifurcation point sequences.

4. To simplify the procedure for conducting scenario analysis, a method of digital design of container terminals has been developed, which is based on the methods of computer science, methods of queuing theory, computational geometry and simulation modeling.

References

1. Notteboom T. E., Rodrigue J. P. Port regionalization: towards a new phase in port development //Maritime Policy & Management. – 2005. – T. 32. – №. 3. – C. 297-313.
2. Bird, J. (1980) Seaports and seaport terminals (London, Hutchinson University Library).

3. Lloyd's List's One Hundred Ports. URL: https://lloydslist.com/one-hundred-container-ports-2020/port-data
4. Loughlin P. H., Pannell C. W. The Port of Hong Kong: past successes, new realities and emerging challenges //FOCUS on Geography. – 2010. – Т. 53. – №. 2. – С. 50.
5. Galin A. V. Prognozirovaniye napravleniya razvitiya porta: monografiya [Forecasting the direction of port development: a monograph] / A. V. Galin — St. Petersburg: Izd-vo GUMRF im. adm. S.O. Makarova, 2016 — 152 p.Global Ports. "Reports and results". URL: https://www.globalports.com/en/investors/reports-and-results/
6. MarineTraffic. URL:
7. https://www.marinetraffic.com/en/ais/home/ centerx:132.5/ centery: 42.9/ zoom:10 (Дата доступа: 27.09.2022).
8. Cornelius P., Van de Putte A., Romani M. Three decades of scenario planning in Shell //California management review. – 2005. – Т. 48. – №. 1. – С. 92-109.
9. Vecchiato R. Scenario planning, cognition, and strategic investment decisions in a turbulent environment //Long Range Planning. – 2019. – Т. 52. – №. 5. – С. 101865.
10. Rao S. S. Engineering optimization: theory and practice. – John Wiley & Sons, 2019.
11. Lamont-Smith B. et al. PIANC WG235 Oceangoing Ship Data for Port Planning and Design //Ports 2022. – 2022. – С. 428-434.
12. Kuptsov Nikolay Vladimirovich Issledovanie aktual'nykh izmerenii bulkerov dlya tekhnologicheskogo proektirovanii morskogo portov [Study of actual dimensions of bulk carriers for technological design of seaports] // Bulletin of the State University of Maritime and River Fleet named after Admiral S. O. Makarov — 2017 — No. 2 (42) — P. 323-336.
13. SP 350.1326000.2018 Standards for Technological Design of Seaports. Moscow: Standartinform, 2018. – I, 226 p.
14. Kuznetsov A.L., Kirichenko A.V., Sampiev A.M., Semenov A.D. Automation of Terminal Capacity Calculation Based on Data on Territory Boundaries / Kuznetsov A.L., Kirichenko A.V., Sampiev A.M., Semenov A.D. // Marine Intelligent Technologies. 2023; No. 2, part 1, pp. 269-273. https://doi.org/ 10.37220/MIT.2023.60.2.033.
15. De Berg M. Computational geometry: algorithms and applications. – Springer Science & Business Media, 2000.
16. Kuznetsov A.L., Kirichenko A.V., Starichenkov A.L., Semenov A.D. Avtomatizatsiya raschetov podkhodnogo kanal morskoy port [Automation of calculations of the approach canal of the sea port]. 2022; No. 4, part 1, pp. 236-240. https://doi.org/10.37220/MIT.2022.58

Məqalə qəbul olunub: 02.04.24
Tövsiyə edib: t.ü.f.d. Nəbiyev H.N.

УДК 656.6.052

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

Гулиев Н.Н.

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

Аннотация. *В статье анализируются микроволновые системы контроля позиции судов (СКПС), оснащённых системами динамического позиционирования (DP). Рассматривается надежность микроволновых СКПС, которые напрямую взаимосвязаны со способностью удерживать позицию и курс судна при заданных условиях окружающей среды и эксплуатации. К судам, оснащённым системой DP, имеются строгие требования относительно параметров СКПС из-за преимуществ, которые они имеют для определённых видов операций. Эти операции, включающие в себя техническое обслуживание нефтегазовых месторождений, переброска экипажа нефтяных платформ, а также для операций по удержанию судна во время строительства подводных объектов и т д. В статье показана модель микроволновой СКПС Radius, которая установлена на многофункциональном судне "Ханкенди", занимающегося поддержкой строительства подводных объектов нефтегазовой промышленности Азербайджана.*

Xülasə. *Məqalədə dinamik mövqesaxlama (DP) sistemləri ilə təchiz olunmuş gəmilər üçün mikrodalğalı mövqeyə istinad sistemləri (MİS) təhlil edilir. Mikrodalğalı MİS-nin etibarlılığı, verilmiş ətraf mühit və istismar şəraitində gəminin mövqeyini və kursunu saxlamaq qabiliyyəti ilə birbaşa əlaqəsi nəzərdən keçirilmişdir. DP ilə təchiz edilmiş gəmilər müəyyən əməliyyat növləri üçün üstünlüklərə malik olduqları üçün MİS-nin parametrləri ilə bağlı ciddi tələblərə malikdirlər. Bu əməliyyatlara neft və qaz yataqlarına texniki qulluq, neft platformalarının heyətinin yer dəyişməsi, sualtı qurğuların tikintisi zamanı gəmilərin mövqedə saxlanılması əməliyyatları və s. daxildir. Məqalədə Azərbaycanda neft-qaz sənayesi üçün sualtı qurğuların tikintisində iştirak edən, müxtəlif təyinatlı "Xankəndi" gəmisində quraşdırılmış mikrodalğalı MİS Radius modeli göstərilir.*

Abstract. *The article analyses microwave position reference systems (PRS) for vessels equipped with dynamic positioning (DP) systems. The reliability of microwave PRS, directly related to the ability to maintain a vessel's position and heading under given environmental and operational conditions, is considered. DP-equipped vessels have stringent requirements regarding the parameters of the PRS because of the advantages they have for certain types of operations. These operations which include oil and gas field maintenance, oil platform crew transfer, and for vessel containment operations during construction of subsea facilities etc. The article shows a model of microwave PRS Radius, installed on the multi-purpose vessel "Khankendi", which is engaged in supporting the construction of subsea facilities for the oil and gas industry in Azerbaijan.*

Ключевые слова: *динамическое позиционирование (DП), морская индустрия, системы контроля позиции (СКП), подводные объекты, позиция судна, спутниковая система DGPS, лазерная система, микроволновые системы*

Açar sözlər: *dinamik mövqesaxlama (DP), dəniz sənayesi, mövqeyə istinad sistemləri (MİS), sualtı qurğular, gəminin mövqeyi, peyk sistemi, lazer sistemi, mikrodalğalı sistem*

Key words: *dynamic positioning (DP), maritime industry, position control systems (PCS), underwater objects, ship position, satellite system, laser system, microwave systems*

Введение. Первая специально разработанная микроволновая СКПС, которую также называют референс системой, используемая в морской индустрии для определения местоположения, появилась на рынке в 1972 году и была частично связана с голландской компанией Delta Works. Эта система после нескольких модификаций до сих пор используется как Artemis Mk6. В настоящее время используются две другие, более совершенные микроволновые системы позиционирования. Их внедрение устранило некоторые недостатки более раннего оборудования. Сегодня надежные микроволновые СКПС широко используются в морской индустрии для проведения операций с высокой степенью риска в сложных метеорологических условиях.

Основная часть. Четкая, достоверная и постоянная информация о местоположении, необходима судам оснащенным динамическим позиционированием (DP). Некоторые операции DP требуют точности позиционирования до 2х метров. Для достижения высокой точности, системе управления DP требуются высокочастотные данные ежесекундно. Надежность информации с СКПС имеет высокое значение в этих операциях, так как работы с DP ведутся в процессе связанными с рисками для человеческой жизни, судна и окружающей среды [1]. Все суда DP оснащены СКПС, эти системы предназначены для определения местоположения, и являются независимыми от обычного навигационного комплекса судна. На судах DP обычно используются пять типов СКПС (см.рис.1), гидроакустическая система (HPR), механическая система (Taut Wire), спутниковая система DGPS, лазерная системы (Fanbeam, CyScan и т д.) и микроволновые системы (Radius, Radascan и т д.) [2].



Рисунок 1. *Различные типы СКПС (референс систем) используемые на судах DP*

Системы управления DP "объединяют", или комбинируют, данные позиций от двух или более СКПС систем. Если в DP включена только одна СКПС, то она проверяется, фильтруется и используется. Если доступны две или более, то система должна использовать обе в равной степени или в соответствии с их индивидуальными характеристиками.

Во всех современных системах DP может быть выбрана опция средневзвешенного значения, при которой отдельные СКПС взвешиваются обратно пропорционально дисперсии или "разбросу" данных о позиции; чем выше вес для отдельной системы отсчета позиции, тем больше влияние этой системы при расчете позиции [3].

Ранние системы управления DP не имели возможности учитывать ошибки измерений, кроме как с помощью интегральных условий контроллера. Современные системы способны улучшать работу станции с помощью фильтра Кальмана (см.рис.2), который представляет собой модель измерений данных для улучшения текущей работы.

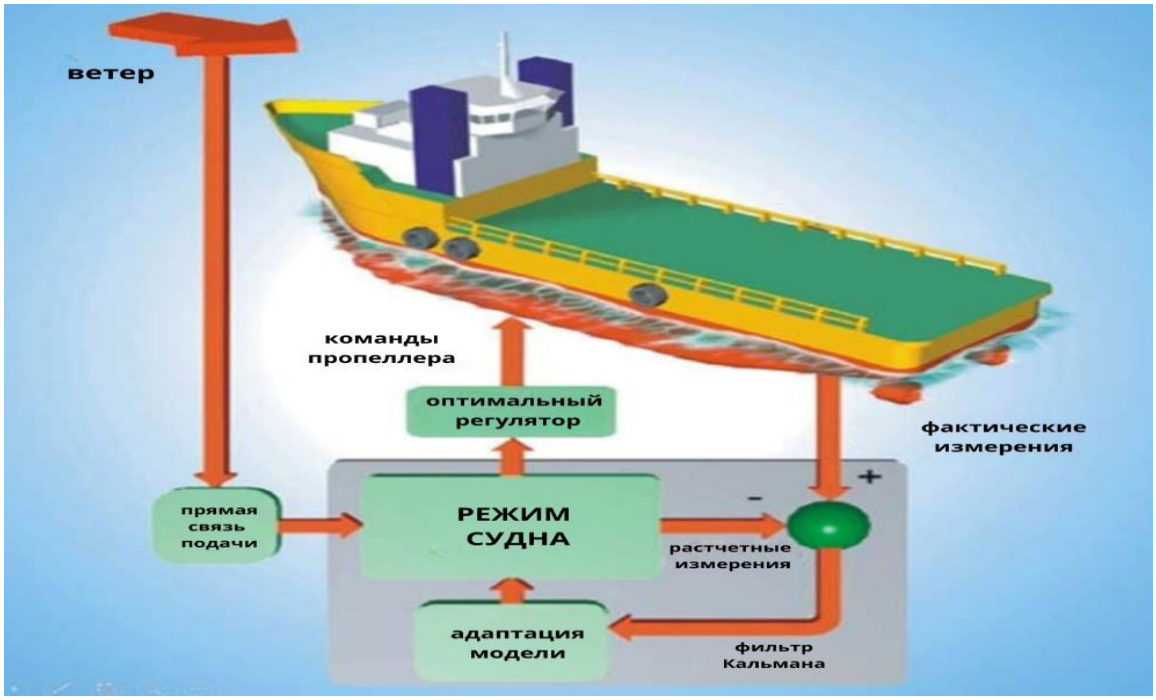


Рисунок 2. *Фильтр Кальмана*

Для любых операций, требующих резервирования DP (оборудование класса 2 или 3), необходимо использовать три СКПС. Двух систем недостаточно, так как в случае отказа одной из них противоречивые системы будут создавать помехи, в то время как три системы обеспечивают то, что, если будут помехи или ошибки в одной из СКПС соответственно DP будет полагаться на среднюю достоверность, оставшиеся двух систем. При наличии трех СКПС, оператор DP должен выбрать системы, различного характера позиционирования. Это снижает вероятность отказа в общем режиме, когда одна ошибка может привести к потере позиции. [4]

На протяжении десятилетий радар является основной технологией для современной морской безопасности и навигации. Технологии на основе микроволновых систем пользуется доверием моряков во всем мире. Очевидно, что появление технологий глобальной спутниковой систем позиционирования (GPS) оказывает все большее влияние и представляет собой важным функциональным дополнением к традиционному радару. Однако в качестве систем позиционирования для судов с возможностями динамического позиционирования радар никогда не играл значительной роли. Сам радар, практически не используется в системах удержания станции под управлением DP, только различные виды микроволновых СКПС используются для позиционирования. В то время как GPS практически всегда является наиболее предпочтительной системой, даже при наличии дополнительных акустических, лазерных или механических СКПС для достижения требуемой резервации. В отличии от лазерных СКПС, преимущества микроволновых СКПС, в том, как независимость от сложных погодных условий и способность обеспечивать локальные измерения на значительной дальности. В список микроволновых СКПС систем на сегодняшний день входят такие системы, как Radius, RaadaSacan, XPR,

Artemis. В каспийском регионе, на судах нефтегазового флота более популярным микроволновым СКПС является Radius, в статье приведён подробный анализ системы Radius 1000Q, который установлен на многоцелевом судне "Ханкенди", самого мощного судна в регионе, который вовлечен в строительство многих подводных объектов в Каспийском море.

Развитие микроволновой и твердотельной техники привело к внедрению в морскую промышленность системы определения местоположения малого радиуса действия, как Radius (см. рис. 3). Созданная компанией Konsberg Seatex AS в начале XXI века, новая система не имеет движущихся частей и предлагает несколько улучшений по сравнению с предыдущей версией. Система состоит из установленного на судне интеррогатора, рабочей станции и транспондеров в качестве целей.

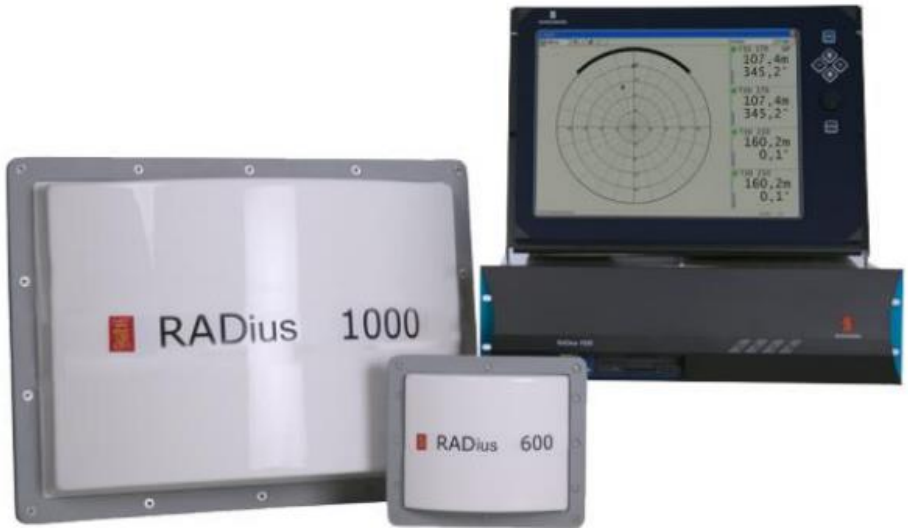


Рисунок 3. *Компоненты системы Raduis*

Система работает в частотном диапазоне 5,51-5,61 ГГц, чтобы уменьшить проблемы с помехами от морских радаров. Интеррогатор работаетна непрерывной волне с частотной модуляцией. Транспондер отражает обратно принятый сигнал с добавленным идентификационным номером. Сигнал принимаемый интеррогатором, имеет частотный сдвиг, пропорциональный расстоянию между интеррогатором и транспондером и позволяет точно определить дальность. Еще одним усовершенствованием системы Radius, является возможность работы с несколькими транспондерами/целями (до 5) для повышения надежности за счет исключения помех позиций. Система Radius была разработана как дополнение к дифференциальной GPS (DGPS). При приближении судна к морской установке если часть неба закрыта, то ошибочная конфигурация DGPS может снизить точность определения местоположения. DGPS будет иметь помехи от ограниченного обзора неба при перемещении вблизи сооружения. Это может быть решающим, когда коррекция DGPS находится на минимуме и наиболее важный сектор спутника исчезает за сооружением. Наоборот, система Radius увеличивает свою производительность по мере приближения судна к транспондерам, расположенным на конструкции. На расстоянии 200 м от целей точность Radius равна точности DGPS. На рисунке 4, показаны взаимодополняющие характеристики системы DGPS и системы Radius. Система способна идентифицировать транспондеры и измерять дальность бесперебойно до 1000 метров. Ближе 500 метров от целей становятся доступны угловые измерения. Обеспечивается высокая точность и доступность ближе 200 метров от транспондеров.

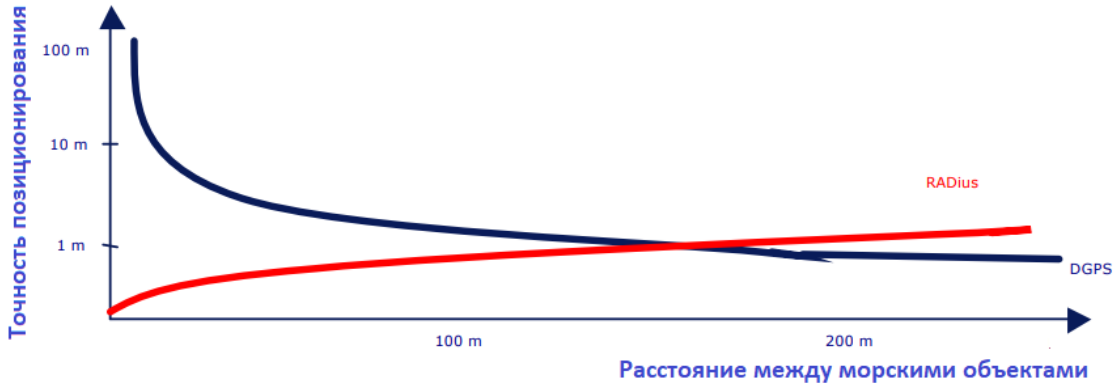


Рисунок 4. *Характеристики системы DGPS и системы Radius*

Каждый интеррогатор и транспондер имеют угол раскрытия 90° в горизонтальной и вертикальной плоскости во избежание потери сигнала при работе судна в неспокойном море. Рабочий угол может быть увеличен почти до 180° путем добавления второго интеррогатора. Погрешность измерения угла и расстояния составляет соответственно 0,25° и 0.25 м. Система обменивается данными с сопутствующим оборудованием по пять интерфейсов RS232C/RS422 и портами Ethernet. Radius доказал свою пригодность к использованию даже в суровых условиях Северного моря. СКПС Radius предназначена для работы вблизи сооружений или других судов. Использование идентифицируемых транспондеров исключает риск отслеживания ложных эхо-сигналов или ошибку в выборе транспондеров.

Система Radius может работать с автоматическим поиском транспондеров, если заранее не известно какие транспондеры установлены на конструкции, или же необходимо вручную выбрать транспондеры, которые нужно отслеживать, и система автоматически начнет вычислять пеленг и дистанцию до транспондера (см.рис.5).



Рисунок 5. *Выбор необходимых транспондеров для позиционирования.*
(источник: скриншот с многофункционального судна "Ханкенди", с СКПС Radius 1000Q. 21.02.2024)

Как видно из рисунка 5, для отслеживания выбраны три частоты транспондеров. Два (180 и 198) включены в DP (синий цвет), в то время как 160 выбрана только для отслеживания, но не включен в DP (серый цвет). При выборе номера, который идентифицирует цель в списке транспондеров, можно посмотреть не только текущий статус измерений транспондера, но и

историю записи данных о пеленге, дистанции и качестве отраженного сигнала измеренный активным интеррогатором (см. рис. 6). Периоды с недостоверными измерениями обозначаются пробелами в диапазоне данных.

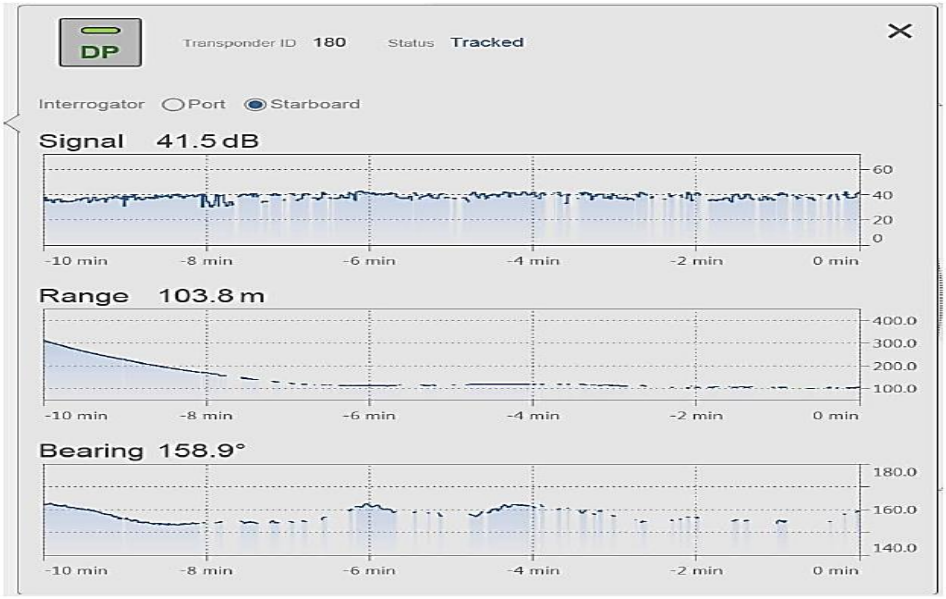


Рисунок 6. *График записи пеленга, дистанции и качества сигнала транспондера. (источник: скриншот с многофункционального судна "Ханкенди", с СКПС Radius 1000Q. 21.02.2024)*

Выводы. Годы непрерывных разработок привели к внедрению уникальных микроволновых технологий. В морской отрасли широко используются системы точного позиционирования для выполнения операций с высокой степенью риска. Безопасность персонала и окружающей среды зависит от надежности таких систем. Микроволновые системы играют особую роль, поскольку они способны работать в самых неблагоприятных условиях. Они распространены и работают в качестве системы относительного позиционирования во многих частях мирового океана, благодаря возможности использования в любых погодных условиях. СКПС Radius является новой системой относительного позиционирования, опыт показывает, что благодаря своей твердотельной технологии система работает адекватно и обеспечивает надежное позиционирование для систем DP, выполняющая все требований IMCA, относящиеся к системам определения относительного местоположения.

Литература

1. Шостак В.П. Динамическое позиционирование плавучих объектов. Чикаго, Мегатрон, 2010, 130 с.
2. Hubert Faÿ. Dynamic Positioning Systems: Principles, Design and Applications. — Editions OPHRYS, 1990, 189 p.
3. İMO MSC Circular 645, Guidelines for vessels with dynamic positioning systems. The International Marine Contractors Association. 1994, 20 p.
4. D. J. Bray. DP Operator's Handbook. 3rd edition. Nautical Institute publication (UK). 2020, 142p.

Məqalə qəbul olunub: 02.04.24
Tövsiyə edib: t.ü.f.d. Nəbiyev H.N.

UOT 656.612

XƏZƏRDƏ MÜTƏRƏQQİ KONTEYNER DAŞIMALARI

Rüstəmov Z.Ə., Rüstəmova N.Z.

"Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası" PHŞ
AZ1000, Bakı şəh., Z. Əliyeva küç., 18
Bakı Gəmiqayırma Zavodu
E-mail: rzao@mail.ru , rustamova.narmin@gmail.com

Xülasə. *Məqalədə mövcud bərə vaqon-konteyner daşımalarının təhlilinə əsaslanaraq, gəminin məhsuldarlığının artırılması məqsəd kimi qəbul olunmuşdur. Beləliklə, vaqon-konteyner daşımalarında faydasız yük sayılan vaqonların konteynerlər ilə əvəzi, mütərəqqi yüklənmə dizaynı və texnologiya təklif olunur. Vaqonsuz, bərə konteyner daşımalarının tətbiqi ilə gəmi səmərəliliyinin və məhsuldarlığının əsaslı artımı sübuta yetirilmişdir.*

Abstract. *The article considers increasing vessel productivity as a goal by analyzing existing ferry wagon-container transportation. Thus, considering the carriages to be useless cargo, it is proposed to replace them with containers, progressive design and technology for loading the vessel. It has further been proven to significantly improve the efficiency and productivity of ships through the use of wagonless ferry container transport.*

Аннотация. *В статье в качестве цели рассматривалось повышение производительности судов, путём анализа существующих паромных вагона-контейнерных перевозок. Таким образом, считая бесполезным грузом вагонов предлагается заменить их на контейнеры, прогрессивный дизайн и технология по погрузке судна. Далее доказана существенное повышение эффективности и производительности судов, путём применения без вагонных паромных контейнерных перевозок.*

Açar sözlər: *gəmi, qapıdan-qapıya, vaxtında, logistik, texnoloji, vaqon, konteyner*
Key words: *ship, door-to-door, just-in-time, logistics, technological, wagon, container*
Ключевые слова: *судно, «от двери до двери», «точно в срок», логистическое, технологическое, вагонное, контейнерное*

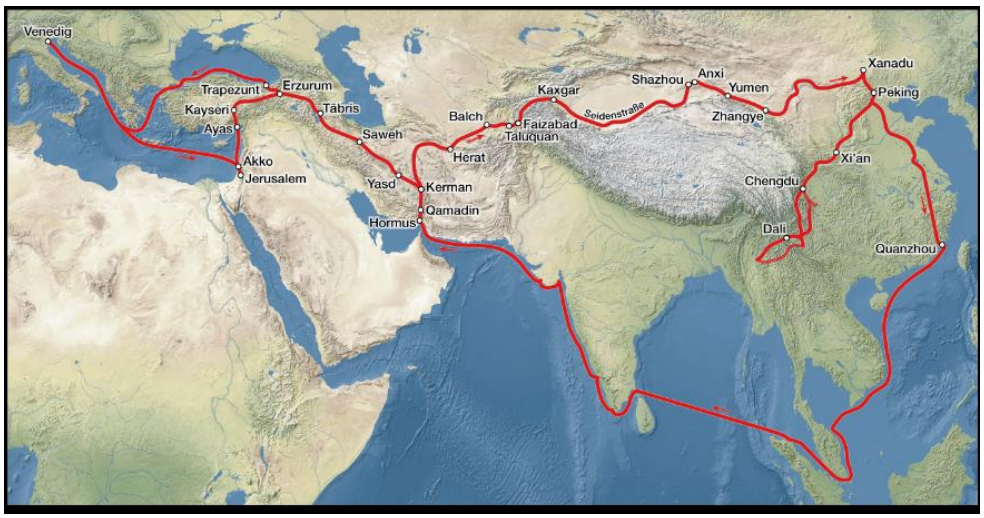
Giriş. Nəqliyyat insanın fiziki yerdəyişmə tələbini təmin etməklə, fəaliyyətin əsas vasitəsinə çevrilmişdir. Fikir yetirək, televiziya ekranları bizi dünyanın əl çatmaz yerlərinə aparır və biz orada müvafiq həyat tərzi ilə yaşayan insanları görürük. Lakin bundan fərqli olaraq nəqliyyat «səmərəli fəza» formalaşdırır. Nəticədə, görüntülər, əl çatmaz resurslar bəşəriyyətin səmərəli istifadəsinə yönəldilmiş olur. Nəqliyyat vasitəsi ilə biz görüntüləri maddi və mənəvi varlıqla dəyişdirmə iqtidarında oluruq. Bu baxımdan, nəqliyyatın ümumi iqtisadi fəaliyyətin tərkib hissəsinə çevrildiyi əsaslıdır. Deməli nəqliyyatdan səmərəli istifadə də, əsaslıdır. Beləliklə, nəqliyyat sərnişin və/və ya yükün müvafiq olaraq minmə məntəqəsindən düşmə məntəqəsinə və/və ya istehsalçıdan istehlakçıya yerdəyişməsini təmin etməklə əsasən aşağıdakı növlərə bölünür: Su nəqliyyatı, dəmiryol nəqliyyatı, avtomobil nəqliyyatı, hava nəqliyyatı və boru nəqliyyatı.

Məsələnin qoyuluşu. Praktik olaraq qeyd oluna bilər ki, bu nəqliyyat növlərindən heç biri (avtonəqliyyat istisna olmaqla, müstəsna hallarsız) tam şəkildə ***qapıdan-qapıya*** çatdırma tsiklini təmin etməyə qadir deyildir. Qapıdan-qapıya daşımanın təmininə yalnız bir və ya bir neçə nəqliyyat komplekslərinin qarşılıqlı əlaqəli işinin təşkili sayəsində nail olunur. Odur ki, ***effektiv*** daşıma əlaqələrin daha ***yüksək anlaşılma, optimal logistik-texnoloji təminatı və icra dəqiqliyi*** ilə qurulmasını tələb edir. Bu baxımdan, nəqliyyatın qarşılıqlı-əlaqəli fəaliyyətinin təşkili, nə qədər çətin

olsa da, elmi-texniki nailiyyətlər əsasında optimal logistik-texnoloji baza üzərində qurulmalıdır. Onda əldə olunmuş yüksək nəticə bəşəriyyətin sosial-iqtisadi inkişafı üçün bir o qədər də, əhəmiyyətli olur.

Keçmişdən gələcəyə yolunun əbədiliyi, Bəşəriyyətin inkişaf tendensiyası sübuta yetirib ki, inkişaf səviyyəsindən asılı olmayaraq hər bir dövlətin fiziki, maddi, siyasi, iqtisadi, mənəvi, elmi, mədəni, intellektual və ilaxir inkişafı nəqliyyatın inkişaf səviyyəsindən funksional asılılığı aksiomaya çevrilmişdir. Dövlət quruculuğunda və onun dünyaya inteqrasiyasında nəqliyyatın müstəsna rolunu görüb və bu haqda ən yüksək səviyyəli ixtisasçılardan və siyasətçilərdən belə, texniki-elmi-siyasi uzaqgörənliyindən məharət ilə istifadə etməyi bacarmaq hər şəxsiyyətə nəsib olmur. Nadir Şəxsiyyət, Azərbaycan Respublikasının Prezidenti Heydər Əlirza oğlu Əliyev "TRACECA" layihəsi məsələsini, bəlkə də, onun hüdudları çərçivəsindən 100-1000 illər qabağı görmək ilə həll etdi və əbədiləşdirdi.

Keçmişə nəzər salsaq görərik ki, "Qədim İpək Yolunun" quru yolu ilə olan ana xətti Azərbaycanın cənub hissəsindən keçmiş və onun bir neçə qolu şimali hissəni də əhatə edərək bəzi şəhərlərini (Dərbəndi, Bakını və s.) ipək istehsal-istehlak karvanına qovuşdurmuşdu (şək.1).



Şəkil 1. *Əsasən quru yol üzərində qurulmuş "İpək yolu"*

Beləliklə, "İpək Yolunun" bərpasının layihəsi haqda fikirlər formalaşdığı bir dövrdə tarixi öz fenomen biliyinə tabe etdirərək, yenidən qurma işlərinin heç bir kəsin görə bilmədiyi, hətta təsəvvür etmədiyi halda, onun bu gününü və sabahını görmək sənə nəsib olmadığı kimi formalaşdırmaq yalnız Dahi Şəxsiyyətə, Heydər Əlirza oğlu Əliyevə xarakterikdir.

Siyasətçi yox və məhz nəqliyyatçı olduğum üçün qeyd edirəm. 7-8 sentyabr 1998-ci il tarixində Azərbaycanda, Bakıda H.Ə.Əliyevin təşəbbüskarlığı, mən deyərdim layihəsi, təkidi və iddiası ilə keçirilən forum "Qədim İpək Yolunun" nəinki bərpa bünövrəsini qoydu, onu "sonsuzluğa" qədər əbədiləşdirdi və geri dönməz etdi. Beləliklə, "Qədim İpək Yolunun", "keçmişdən-gələcəyə" aparan yolun bünövrəsini "Bakıdan" keçməklə əsrarsız və xətasız dərin özüllər üzərində quran H.Ə.Əliyev onun, bir çoxlarının qeydindən fərqli olaraq, təkcə region dövlətləri üçün deyil, bütün dünya uçun əhəmiyyət kəsb etdiyinin və əbədiliyinin "aksiomasını" yazdı və 1000 il öncədən təsdiqlətdirdi [1,2].

İnkişafda olan nəqliyyat sistemi əlaqələri, daşımaların məhsuldarlığı baxımından nəqliyyat dəhlizlərinin və qovşaqlarının yaradılmasını tələb edir və reallaşdırır. Nəticədə kifayət qədər şəhərlərdə nəqliyyat qovşaqları və ya əksinə nəqliyyat qovşaqlarında şəhərlər yaranmış, iriləşmiş, inkişaf etmiş və bu gün də nəqliyyat fəaliyyətindən gələn gəlirdən bəhrələnməkdədir. Bu şəhərlər sırasına: İngiltərə - London; Fransa – Marsel, Paris; Almaniya – Frankfut-Mayndə, Hamburq, Bremen; İspaniya – Bilbao, Barselona; İtaliya – Venesiya, Milan; Niderland – Ranstad (Ranştadt)

şəhərlər birliyi (Rotterdam, Amsterdam, Utrext, Leiden və Haqa şəhərləri), ABŞ – Nyu-York, Sietl, Çikaqo, Los-Anceles, San-Fransisko və s.

Zaman keçdikcə, nəqliyyat iqtisadi fəaliyyətin əsasını təşkil edərək onun, ayrılmaz hissəsinə çevrilmişdir. Daşımaların effektivliyi üzərində bərqərar olan "Nəqliyyatın iqtisadi coğrafiyası" elminə əsaslanan Azərbaycanın Real Dövlət başçısı, prezident İlham Heydər oğlu Əliyev Respublikada bütün bəşəriyyət üçün effektiv, faydalı və səmərəlikli ola bilən və biləcək "nəqliyyat dəhlizlərinin" formalaşması, yaradılması, bərpası və fəaliyyəti vacibliyini zamanın aktual məsələsinə çevirdi.

Beləliklə, tarixən özününkü olmuş Cənubi və Qərbi Azərbaycan torpaqları (o, cümlədən bütöv Zəngəzur) iddiasında olmayan Azərbaycan, onun prezidenti İ.H.Əliyev, mövcud şimal↔cənub, şimali şərq↔qərb (orta Avropaya Gürcüstan ərazisindən) və perspektiv cənubi şərq↔qərb (cənubi Avropaya şərti Ermənistan ərazisindən) istiqamətlərində "Zəngəzur dəhlizinin" bərpasına, fəaliyyətinə və inkişafına tam əminlik yaratdı. O, dünyada yarana biləcək münaqişələrin (Rusiya-Ukrayna və İzrail-Qəzza zolağı) təsirindən bəzi nəqliyyat dəhlizlərinin uğursuzluğunun və etibarsızlığının bərqərar olacağına əsaslanmadan, "İpək Yolunun" inkişafı reallığına üstünlük verdi. Prezident İ.H. Əliyev nəqliyyatın müstəsna rolunu yüksək qiymətləndirərək üçüncü, "Zəngəzur dəhlizinin" bərpasını Respublikanın "məqsədlərindən" biri kimi təsdiqlətdi (10 noyabr 2020-ci il bəyannaməsi, 9-cu bənd).

İ.H. Əliyev mümkün məhdudiyyətlərə sinə gərməkdə davam edərək, kifayət qədər yüksək əhəmiyyət kəsb edəcək "Zəngəzur dəhlizinin" bərqərar olmasına, əsas dövlətlər ilə həmrəyliyə malik oldu. O, ardıcıl olaraq Avropa dövlətləri başçıları və xüsusən də, Türkiyə, Rusiya və Çin Xalq respublikasının rəhbərləri ilə bir çox mühüm məsələlərin həllini razılaşdırdı. AR Prezidenti, yüksək alicənablıq göstərərək 100 ildən çox müddətdə Azərbaycana qarşı düşmənçilik abı-havası ilə yaşayan, mümkün qədər başqaları sayəsində işğalçılığa, terrorçuluğa və ölümə-itimə səbəb olan "Ermənistanında" dəhlizdən bəhrələnəcəyinə tam zəmin yaratdı. İ.H.Əliyev "Sözümüz İmzamızdır" işlətdiyi ifadə reallıqda da, ali "kəlam" kimi təsdiqini tapdı.

Lakin, qeyd olunanların tam əksi olaraq "Ermənistan" rəhbərliyi, rəsmi "10 noyabr 2020-ci il" sənədlərə həkk olunmuş imzasını danmaqda davam edir (müvəqqəti). Yəqin ki, Ermənistan rəhbərliyi bəzi qərb dövlətlərindən pərdə arxası danışıqlar ilə "Zəngəzur dəhlizinin" fəaliyyətində arzuolunmaz, şəxsi maraq sahibli başçılardan bəhrələnmək istəyir. Normal düşüncəyə malik və dövlətçilikdə marağı ola biləcək Ermənistan rəhbərliyi, Azərbaycan Respublikasının prezidentinə arxalanma labüdlüyünü sabaha saxlamazdı.....

Müəyyən iradəsizliklərə əhəmiyyət verməyən, "Zəngəzur dəhlizinin" bərpası məqsədinə nail olmaq üçün, həlli tələb olunan konkret məsələləri tam əminlik ilə formalaşdıran Prezident İ.H.Əliyev, onun mərhələli həllinə üstünlük verdi və fəaliyyətə başladı. Beləliklə, Xəzərdən keçmək ilə Bakı (Ələt) limanına çatdırılan yük qatarlar vasitəsi ilə, Zəngəzur dəhlizi", Naxçıvan, Türkiyə və Avropa dövlətlərinin hamısına birbaşa çatdırılma imkanını qazanır.

Bildiyimiz kimi, müasir dünya nəqliyyatı iki prinsipi rəhbər tutur: ***"qapıdan-qapıya" (from door to door) və "vaxtında" (just in time)*** sxemi üzrə tam nəql olunma dövrəsini təmin etmək. Yəni, mal istehsalçının və ya yük sahibinin anbarının qapısından, istehlakçının və ya yükalanın anbarının qapısına qədər daşınma prinsipi. Bu halda nə yük sahibi, nə də yük alan daşınma prosesinin təşkilində iştirak etmir. Onlar, yalnız xərcləri ödəyirlər. Deməli "Zəngəzur dəhlizinin" bərpası nəqliyyat dəyişmələrini minimuma, bununla əlaqəli yük aşırma əməliyyatları və vasitələrini, əlavə işçi qüvvəsini və vaxt sərfiyatını, sənədləşməni və digər köməkçi əməliyyatları ixtisara salmış olur. Bu da öz növbəsində nəqliyyat xərclərinin və çatdırma müddətinin minimizasiyası ilə, yüksək səmərəlilik formalaşdırır [1,3,4].

Arxaya nəzər salsaq görərik ki, ölkələr arasında sıx iqtisadi əlaqələr çox qədim dövrlərdən qurulmağa başlamışdır. O, dövrlərin ümumi mənzərəsi, səhrada qiymətli yüklə səfərdə olan dəvə karvanları və ya yollar boyunca uzanan faydalı mallarla dolu arabalar (şək.2).



***Şəkil 2**. Keçmiş dövrlərin ümumi mənzərəsi*

Zamanın bütün mümkün risklərinə varmadan, ticarət yolları qurudan və dənizdən keçirdi. Hər iki nəql variantı bir çox təhlükələrlə dolu idi. Quldur və piratlar hücumlarından tutmuş, yüklərə ziyan yetirə biləcək sonsuz təbiət fəlakətlərinə qədər dəyişən səyahət şəraiti, cəsarətli səyahətçilər üçün əlverişli deyildi. Hər an onlar, hər şeyin itməsi və ya müflisləşmə ilə üz-üzə gələ bilirdilər. Ona görə də nəqliyyatın təhlükəsizliyi məsələsi onları xüsusi narahat edirdi. Yükü dağıdıcı təsirlərdən qorumaq üçün, nələrdən istifadə olunmurdu! Kövrək əşyalar çox təbəqəlı əskilərə bükülürdü, mallar taxta yeşiklərə yerləşdirilirdi və xüsusi qiymətli əşyalar üçün "qutular" hazırlanırdı. Təbii ki, bu yanaşmalar qeyri-kamil olmaqla kifayət qədər etibarlı sayılmırdı.

Qeyd olunanlar və məhz insanların gələcəkdə təhlükəsiz, etibarlı və zəmanətli mal tədarükünü təşkil etmək istəyi, unikal konteynerlərin formalaşmasına və istifadəsinə təkan verdi.

Konteynerin ixtirası! Amerikalı Malkolm Maklin ümumiyyətlə konteynerin ixtiraçısı və konteyner daşımalarının atası hesab olunur. Onun konteyner daşımalarını necə icad etməsi hekayəsi artıq yükdaşıma sənayesində əfsanəyə çevrilib. Böyük uğurundan çox-çox əvvəl Maklin 30-cu illərdə sadəcə bir yük maşını sürücüsü və kiçik bir nəqliyyat şirkətinin rəhbəri idi. O, fəhlələrin bir-bir pambıq kisələrini boşaltdığını görəndə düşündü, hər şeyi bir anda, bəlkə də birbaşa maşına yükləmək daha asan olacaq. Amma bu ideyanın həyata keçməsinə təxminən 20 il qalırdı. Bu müddət ərzində avtomobil daşımaları on dəfə artdı və konteynerlər meydana çıxana qədər gələcək ixtiraçı artıq 1700-dən çox yük maşınına sahib idi. Nəql olunma artdıqca, nəqliyyat probleminin həllinə ehtiyac daha da aktuallşırdı. Beləliklə, Malkolm Maklin planını həyata vəsiqə qazandı – o, port yükləmə texnologiyasının təkmilləşdirilməsi üzərində də işlədi.

Dövrün məşhur mühəndisi Keith Tantlingerin köməyi ilə 35 fut uzunluğunda hazırlanmış konteynerlər, xüsusi kilidləmə dizaynı ilə də təmin olunmuşdu. Konteynerlərin möhkəm və etibarlılığı ilə seçilərək müştərinin bütün tələblərinə cavab verirdi.

Niyə bu xüsusi seçim və yanaşma geniş vüsət aldı? Çox sadədir - Malcolm hərtərəfli vahid həll təklif etdi: o, təkcə konteynerin özünü deyil, konteyner gəmisini və konteyner aşırma maşınını icad etdi və ən əsası, konteyner daşımalarının tam işləyən modelini yaratdı. Konteynerlərin dəniz gəmisinə ilk yüklənməsi 1956-cı ildə Texas ştatına (Hyuston) malların çatdırılması üçün Nyu-Cersi ştatının Newark limanında baş verdi. O, uzunluğu 35 fut olan 58 konteynerdən ibarət idi. Məhz o andan etibarən konteyner dövrü rəsmi olaraq başladı (şək.3).



Şəkil 3. *Konteynerin kəşfi*

Konteynerlər haqqında bəzi faktlar:

1. Dəniz ticarətinin başlanğıcından 1950-ci illərin ortalarına qədər mallar qutularda, barellərdə və çantalarda gəmilərlə daşınırdı. 20-ci əsrin əvvəllərində bir yük gəmisinin yüklənməsi prosesi bir həftə davam edə bilərdi!

2. Sürücü Malkolm Maklin 1934-cü ildə avtomobil yolu ilə yük daşımaları sahəsində öz biznesini inkişaf etdirməyə başladı və 1950-ci ilə qədər ABŞ-da beşinci ən böyük nəqliyyat şirkətinin rəhbərinə çevrildi.

3. Yük daşımalarında daha mütərəqqi, daha səmərəli yollar axtaran McLean yük maşını və gəmidə daşına biləcək standart ölçülü konteyner yaratmağa qərar verir.

4. Daha sonra McLean, malları oğurluqdan qorumaq üçün davamlı, suya davamlı, möhkəm kilidli olan konteynerlərin ilk modellərini sınaqdan keçirməyə başladı.

5. McLean neft tankeri alır, onu moderinləşdirir və neft çənlərindən əlavə 58 konteynerlə yükləyir. Dəyişdirilmiş gəminin ilk səyahəti uğurlu olur.

6. 1957-ci ilə qədər Mclean 33 futluq konteynerlər üçün dünyanın ilk konteyner gəmisini və avtomobil konteyner platformasının yaradır. Gəminin yüklənməsi üçün yalnız 2 işçi komandası lazım olur və prosesi saatda 30 ton sürətlə tamamlayır - bu, sensasiya oldu!

7. McLean patentlərinə əsasən, 20 və 40 futluq konteynerlər standartlaşdırır və 20 futluq konteynerin tutumu yük həcmi üçün ölçü vahidi oldu - 20TEU.

8. Bu gün dünyada bütün malların təxminən 90%-i konteynerlərdə daşınır.

Təhlillər göstərir ki, konteyner daşımalarının tətbiqi işin son məqsədi deyil. Konteyner daşımalarında ***logistik-texnoloji*** təkmilləşmə vaxt itkisinin, işçi qüvvəsi və səmərəsiz yek dövriyyəsinin azalmasına, bu da öz növbəsində konteyner daşımalarının effektivliyinin, kommersiya niyyətli yük vahidlərinin, nəql olunma məhsuldarlığının və maddi-iqtisadi səmərəliliyin artırılmasına səbəb olur.

Beləliklə, gəmi daşımalarında səmərəli konteyner daşımalar təşkili bütün nəqliyyat sistemində səmərəli daşımalara qarantdır. Bəzən, səmərəlik baxımından 800-1000 ədəddən az konteyner daşımalarında xüsusi "konteynerdaşıyan" gəmidən istifadənin effektiv olmaması bildirilir. Əlbəttə ki, bu yanaşma konteyner axını çox və daşıma məsafəsi kifayət qədər uzaq olduğu halda daha əsaslıdır. Lakin xətti daşımalarında konteyner axının sabitliyi, fasiləsizliyi əsas göstəricidir. Xəzərdə məsafənin qıssa və qatarla çatdırma miqdarı məhdud, təxminən 42-44 ədəd 40 TEU konteyner olduğundan, onların bərələrdə daşınma məcburiliyi nəzərə alınaraq mütərəqqi forma təklif olunur. Təklif olunan mütərəqqi üsulun üstünlüyü, bərə daşımalarının universallığının artırılmasına yönəldilmişdir. Deməli

konteyner daşımalarında, qismən geniş çeşidli yüklər üçün də istifadəsi mümkün ola biləcək gəmilərin istismarı daha əhəmiyyətlidir [1,5,6].

Xəzərdə, tələbatdan yaranaraq bərə gəmisinin təmiz yük götürmə qabiliyyətini ciddi azaldan "–0"-lı yük sayılan vaqonlar üzərində, kommersiya niyyətli 40 futluq konteyner daşımalarının təkmilləşdirilməsi reallıqdan formalaşır.

Deməli, Xəzərdə gəmi-bərə daşımaları məhsuldarlığının artırılması istiqamətində də mövcud imkanlardan logistik-texnoloji və perespektivli konteyner daşımalarının innovotiv təşkili zamanın tələbidir. Araşdırmalar göstərir ki, dəniz daşımalarının təşkilində xüsusi yerə malik olan gəminin ***"yük planına"*** qoyulan tələblərin əsasını, onun ***"yükgötürmə"*** və ***"yüktutumu"*** imkanlarından maksimum istifadədir. Reallıq, Xəzərdə gəmi konteyner daşımalarının tətbiqi, xüsusi həcmə və çəkiyə malik qatarlar dövriyyəsindən istifadəni arzuolunmaz edır.

Diqqət, Xəzərdə bərə konteyner daşımalarında təxminən 22 ton cuvarında və 67,2 m^3 (14•3,2•1,5 m və daha çox) həcmə malik 40-42vaqon, gəmilərdə səmərəsiz yük (ballast yükü) kimi dövriyyədədir. Məlum olub ki, 40-42 ədəd vaqon üzərində 40 futluq konteyner daşımaları zamanı, ümumi çəkisi 924 ton və müvafiq olaraq 2822 m^3 həcmə malik qatardan istifadə olunur. Buna müvafiq, sərf olunan gəmi nəqliyyat xərcləri (yanacaq, istismar materialları, işçi qüvvəsi və s.), vaqonlar dövriyyəsi problemi iqtisadi səmərəsizliyin əsasını formalaşdırır. Digər tərəfdən yaxın gələcəkdə, göstərilən istiqamətdə, konteyner axını çoxalacağı təqdirdə bizim qabaqcadan hazırlığımız da, əsaslıdır. Xəzərin bir sahilindən 3-4 qatar yükünün o birinə, 3-4 gəmi əvəzinə bir gəmi ilə çatdırılmasının nə dərəcədə effektiv olacağının sübuta ehtiyacı yoxdur.

Qeyd olunan səmərəsiz vaqon - tonnajın (tutumun) konteynerlər ilə əvəz olunması, ümumi konteyner sayının ən azı 2-3 dəfə artırılmasına, müvafiq olaraq rentabelliyin də 2 və daha çox artmasına imkan verir. Səfərə çıxan gəminin kommersiya niyyətli yük həcminin artırılması sərfəli yük dövriyyəsinin, bununla da, limanın, gəmiçiliyin və xüsusən də yük sahibinin maraqlarının artırılmasına təkan verir.

Təhlillər göstərmişdir ki, Çin Respublikasının Sian şəhərindən yola çıxan 55 ədəd 40 futluq konteynerdən ibarət blok qatar Qazaxıstan Respublikasının Aktau limanından, onlara məxsus "Sunkar" fider (konteynerdaşıyan) gəmisi vasitəsilə Bakı Limanına çatdırılıb (şək.4).



***Şəkil 4**. Çinin Sian şəhərindən Bakı limanına çatdırılan konteynerlər*

Azərbaycan tərəfi, bu istiqamətdə konteyner axınının fasiləliyinin və məhdudluğunun reqionda sırf konteynerdaşıyan üçün səmərəsizliliyinə əsaslanaraq, mövcud bərələrdən, vaqon-platforma üzərində konteyner daşımalarının təşkilinə üstünlük vermişdi. Beləliklə, 52 vaqon-çən daşıma imkanlı Ropaks bərələrində ("Ak. ZƏRİFƏ ƏLİYEVA" və "AZƏRBAYCAN"), mövcud yüklənmə texnologiyasına (yük planına) əsaslanaraq vaqon-platforma üzərində konteyner daşımaları müqayisəli təhlilə cəlb olunur [7].

Müqayisədə Ropaks gəmilərində vaqon-platforma üzərində və vaqonsuz konteyner daşımaların təşkili nəzərdən keçirildi. Vaqonsuz metod ilə gəminin maksimum yükgötürmə qabiliyyəti həddində, kifayət qədər çox sırf konteyner daşınma imkanı və müvafiq texnologiyanın (yük planının) işlənməsi tələbatı araşdırıldı.

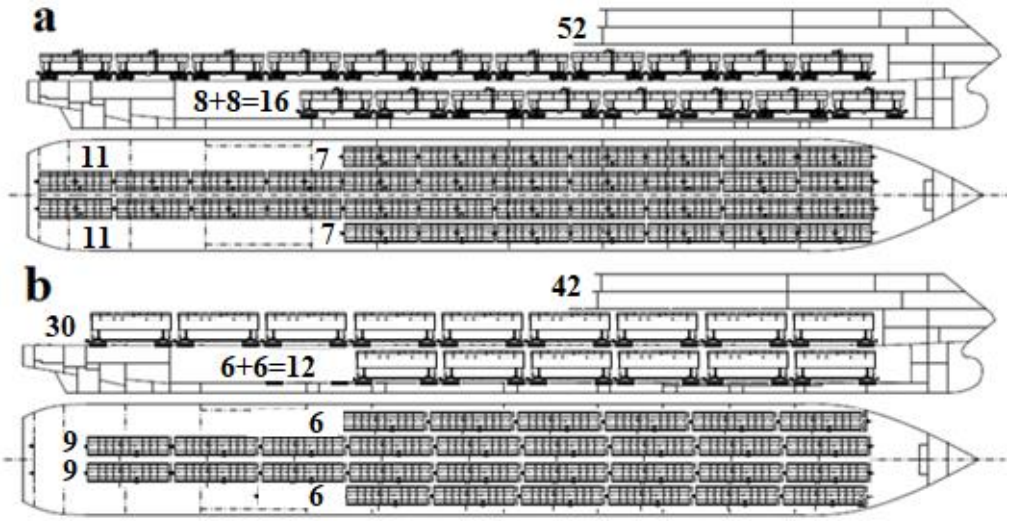
Təhlillərə əsasən, yükün növünə müvafiq ixtisaslaşan "Konteynerdaşıyanlardan" istifadə yalnız konteyner axının çoxluğu və fasiləsizliyi təmin olunduqda səmərəlidir və gələcəkdə buna tələbatın olacağını söyləsək yanılmarıq. Bu baxımdan reallıq nəzərə alınmaqla konteynerlərin daşınmasında daha geniş istifadəli "Ropaks" bərələrin istismarında yükgötürmədən maksimum istifadə məqsədli təkmil ***logistik-texnoloji*** prinsplərin tətbiqinə üstünlük verildi. Beləliklə, yeni, müvafiq yüklənmə texnologiyası (yük planı) ilə təminatı zamanı gəmilərdə konstruktiv dəyişikliyə ehtiyac olmasa da, liman texnoloji vasitələrinin əməliyyata müvafiq təkmilləşməsi tələb oluna bilər (şək. 5).



Şəkil 5. *Liman yükləmə-boşaltma vasitələri: a – liman kranı; b - liman yükaşırıcıları; c – avto-elektro yükləyicilər*

Şəkildən göründüyü kimi liman konteyner aşırmalarında "liman kranları" – şək.4a, daha yüksək məhsuldar "liman yükaşırıcıları" – şək.4b və "avto - elektroyükləyici" – şək.4c istifadəsinə ehtiyac yaranır. Qeyd edək ki, tətbiqi tövsiyə olunan "liman yükaşırıcıları" – şək.4b, yükün fəzada yerdəyişmə parametrlərindən asılı olaraq bir konteyner tsiklinin 2, daha az dəqiqəyə təminatına və işinin paralel təşkilinə imkan yaradır.

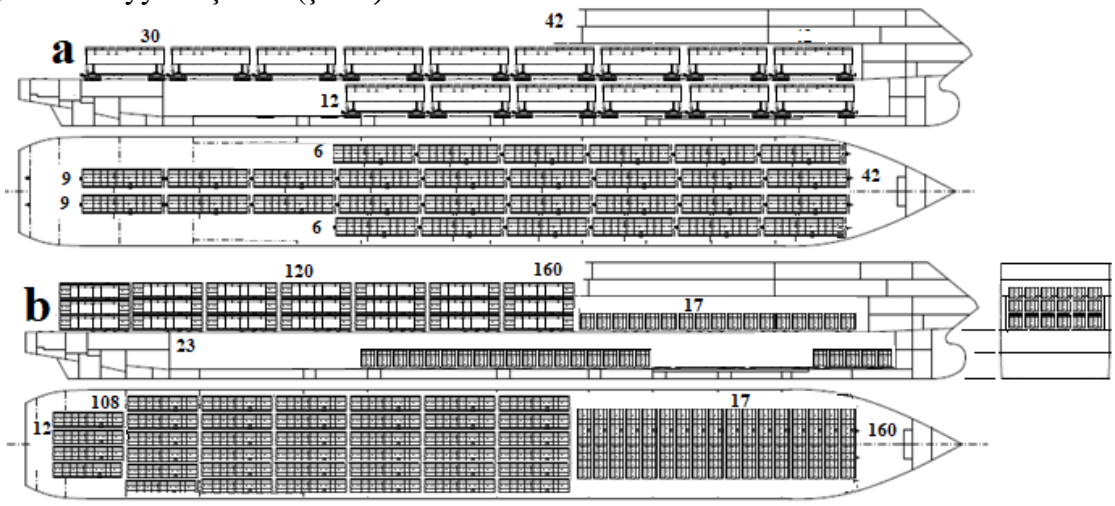
Araşdırmalarla fəaliyyətdə olan "Ropaks" tipli bərənin praktiki tətbiqindən bəhrələnərək təklif olunan mümkün varianta diqqət yetirərək "0"-lı yük sayılan vaqonların konteynerlə əvəzi nəticəsində arta biləcək konteyner sayını və gəmi məhsuldarlığını nəzəri əsaslandıraq (şək.6).



Şəkil 6. *Ropaks gəmisinin mövcud yüklənmə sxemi: a – 52 ədəd vaqon-çən; b – 42 ədəd vaqon-platforma və 40 futluq konteyner ilə*

Şəkil 5a-da, Ropaks bərəsinin aşağı 16 və üst göyərtəsində 36, ümumilikdə 52 vaqon-çən (12 metrlik) yerləşdirildiyi sxem. Vaqon-çənləri müvafiq olaraq üzərində 40 futluq konteyner olan 14 metrlik vaqon-platforma ilə əvəz olunur (şək.5b). Beləliklə, aşağı iki sıra 12 (6+6) və yuxarı göyərtədə 4 sıra 30 (2•9+2•6), ümumilikdə 42 ədəd vaqon-platforma yüklənmə imkanı olduğu müəyyənləşir. Hər vaqon üzərində 1 ədəd 40 TEU konteyner nəzərə alınsa, onların ümumi sayı 42 ədəd (84 ədəd 20 TEU) təşkil edər.

Qeyd olunduğu kimi, gəminin məhsuldarlığının artırılması məqsədi ilə dövriyyədə olan "0"-lı yük saydığımız 42 ədəd vaqon-platformanı, hər biri 22 tondan ümumi 924 ton yükü ixtisara salaq. Gəminin dedveytinə (5756ton), maksimum ehtiyat yük miqdarına (555 ton) və buraxıla bilən təmiz yük götürmə qabiliyyətinə (5201 ton) əsaslanaraq mümkün konteyner tutumunu qrafiki olaraq müqayisəli müəyyənləşdirək (şək.7).



Şəkil 7. *Ropaks gəmisinin müqayisəli mütərəqqi yüklənmə sxemi: a – mövcud, 42 ədəd vaqon-platforma konteyner ilə; b – mütərəqqi üsul, 160 ədəd sırf 40 futluq konteyner ilə*

Beləliklə, şəkil 6a-da üst göyərtədə 30 və alt göyərtədə 12, ümumilikdə 42 vaqon-platforma üzərində 40 futluq konteyner daşımalarının dizayni göstərilmişdir. Tədqiqatın məqsədi səmərəsiz və kommersiya niyyətli olmayan 42 ədəd vaqon-platforma (924 ton) ixtisara salınır. Əvəzində, şəkil 6b-də gəminin təmiz yük götürmə (5201 ton) imkanına əsaslanaraq, hamısı kommersiya niyyətli yük

olmaq ilə, üst göyərtədə 147 ədəd, aşağı göyərtədə 23 ədəd (46 ədəd 20 futluq), ümumilikdə 160 ədəd 40 futluq (4800 ton) konteynerin yerləşdirilməsinin dizaynı təqdim olunur. Məlum məsələdir ki, dizayn şərtidir və onun təsdiqlənməsi müvafiq yük planının işlənməsini tələb edir. Faktiki olaraq müəyyən edilmişdir ki, vaqonların konteynerlər ilə əvəzi, hətta göyərtə üzərində 1 yarus düzüldüyü təqdirdə belə onların sayını 42 ədəddən, 100-110 ədədə qaldırmaq mümkündür. Lakin, gəminin buraxıla bilən təmiz yük götürmə qabiliyyəti təxminən 170 ədəd 40 futluq konteyner daşımasına tam imkan verir (30•170 = 5100ton) deyə, son nəticə "yük planının" işlənməsi ilə əsasını tapacaq.

Alınmış nəticələrin analizi. Nəzəri və təcrübi biliklərə istinadən, tərəfimizdən təklif olunan Xəzərdə konteyner daşımalarının mütərəqqi metodunun qrafik təsviri, onun xüsusi əhəmiyyət kəsb etdiyini təsdiqlədi. Vaqonların səmərəli yük ilə əvəz olunması ilə, saydığımız mütərəqqi metodun nəqliyyat vasitəsi, gəminin məhsuldarlığına təsirini araşdıraq.

Bu baxımdan nəqliyyat gəmisinin verilmiş dövr (zaman-müddət) üçün məhsuldarlığı (W_d) onun icra etdiyi səfərlərin sayının (Z_d), faktiki daşıdığı yükün miqdarına (Q_f) olan hasili ilə müəyyənləşdirilə bilər.

$$W_d = Q_f \bullet Z_d \ , \tag{1}$$

burada Q_f – gəminin faktiki daşıdığı yükün miqdarı, t;

Z_d – gəminin verilmiş dövr, ərzində icra etdiyi səfərlərin sayı.

$$Q_f = Q_t \bullet \gamma_s \ , \tag{2}$$

burada Q_t – gəminin təmiz yükgötürmə qabiliyyəti, t;

γ_S - gəminin təmiz yükgötürmə qabiliyyətindən istifadə əmsalı;

Gəminin təmiz yükgötürmə qabiliyyəti, dedveyt-ehtiyat yük fərqi.

$$Q_t = D - Q_e \ , \tag{3}$$

burada D – gəminin dedveyti, t;

Q_e – gəminin ehtiyat yükü, t;

Konteyner daşımalarının təşkili baxımından gəminin faktiki yük götürmə qabiliyyəti, aşağıdakı kimi təyin oluna bilər:

$$Q_{fk} = Q_k \bullet N_{fk} \ , \tag{4}$$

burada Q_{fk} – gəmidə faktiki konteynerlərin ümumi kütləsi, t;

Q_k – bir konteynerin kütləsi, t;

N_{fk} – gəmiyə faktiki yüklənən konteynerlərin sayı, ədəd;

Gəminin verilmiş dövr ərzində icra etdiyi reyslərin sayı aşağıdakı kimi təyin olunması əsaslı sayılır:

$$Z_d = \frac{T_i}{t_{ts}} = \frac{T \cdot \alpha}{t_{yol} \cdot (n-1) + t_{lm} \cdot n} \ , \tag{5}$$

burada T_i - gəminin istismar günləri, təqvim dövründə;

t_{ts} - tamamlanmış nəqliyyat tsiklinə sərf olunan vaxt, s;

T - təqvim dövründə, cari ildə gəmi (istehsalat) günlərinin ümumi sayı;

α - gəminin təqvim dövründəki gəmi günlərindən istifadə əmsalı, $\alpha = \frac{T_i}{T}$;

t_{yol} - gəminin iki liman arası keçidə sərf etdiyi orta vaxt;

n - nəqliyyat tsikli dövründə xidmət olunan limanların orta sayı, n≥2;

t_{lm} - nəqliyyat tsikli dövründə gəminin liman ərazisində orta olma vaxtı, .

Daşınan faktiki yükün qiymətinin (2) və reyslərin sayının (3) təyini ifadələrini düstur 1-də nəzərə alsaq, onda gəminin verilmiş dövr üçün məhsuldarlığı aşağıdakı kimi təyin olunar:

$$W_d = Q_f \cdot Z_d = \frac{Q_t \cdot \gamma_s \cdot T_i}{t_{yol}(n-1)+t_{lm} \cdot n} \quad (6)$$

Konteyner daşımaları üzrə gəminin verilmiş dövr üçün məhsuldarlığı (W_{dk});

$$W_{dk} = Q_{fk} \cdot Z_d = \frac{Q_k \cdot N_{fk} \cdot T_i}{t_{yol}(n-1)+t_{lm} \cdot n} \quad (7)$$

Vaqon-platforma-konteyner daşımaları üzrə gəminin verilmiş dövr üçün məhsuldarlığı (W_{dvpk}):

$$W_{dvpk} = \left(Q_{fvk} - Q_{fv}\right) \cdot Z_d = \frac{\left(Q_{fvk}-Q_{fv}\right) \cdot N_{fvk} \cdot T_i}{t_{yol}(n-1)+t_{lm} \cdot n} = \frac{Q_k \cdot N_{fvk} \cdot T_i}{t_{yol}(n-1)+t_{lm} \cdot n} \quad (8)$$

Düsturlarda (7 və 8) hər iki hal üçün əksini tapmış, limanlar arası keçid vaxtını(18 saat), gəminin istismar günlərini (1 gün) və limanlar sayını dəyişməz (2) qəbul edərək şərti qəbul olunmuş hal üçün məhsuldarlığı müqayisəli təhlil aparılmışdır. Nəticədə mələm olmuşdur ki, sırf konteyner daşımaları ilə gəminin məhsuldarlığı 70-72% yüksəlir.

Nəticə. 1. Xəzər dəniz daşımalarının rentabelliyi konteyner daşımalarının fasiləsizliyinin təminatı ilə əlaqəlidir.

2. Xəzər dəniz daşımalarında konteynerlərin vaqon üzərində olmaqla bərələrdən (o, cümlədən Ropaks) istifadə ilə təminatı, səmərəsiz yük vahidlərinin (vaqonların) dənizlə hər iki istiqamətə nəqli iki səfərlərdən birini ballast gedişinə bərabərləşdirir.

3. Xəzər dəniz daşımalarında bərələrdən (o cümlədən Ropaks) konteynerlərin vaqonsuz daşınma metodundan istifadəsi gəmi məhsuldarlığını 70-72%, konteyner sayını isə 4 dəfə artırmağa imkan verir.

4. Xəzər dəniz daşımalarında bərələrdən (o cümlədən Ropaks) konteynerlərin vaqonsuz daşınma metodikası müvafiq yük planının işlənməsini reallaşdırır.

5. Vaqonların gəmi dövriyyəsindən azad olunaraq məqsədyönlü tətbiqi səmərəliyini artırır.

Ədəbiyyat

1. Z.Ə. Rüstəmov, Ə.T. Şirəliyev. Yük daşıma texnologiyası və donanmanın idarə olunması. Bakı: ADDA, 2024, 236s.
2. Z.Ə.Rüstəmov. Daşımaların təşkili və menecementi, Bakı, 2014. 210 səh.
3. Ə.T.Şirəliyev, S.E. Kərimov. "Gəminin yük planı". Bakı, ADDA, 2018, 252 səh.
4. В.И. Снопков. «Технология перевозки грузов морем» С-Пб, «Мир и Семья» 2001. 560с.
5. https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BE%D0%BD%D1%82%D0%B5%D0%B9%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%BD%D1%8B%D0%B5_%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B2%D0%BE%D0%B7%D0%BA%D0%B8
6. https://unotrans.com/cases/stati/kontejnernye-morskie-perevozki-chto-nuzhno-znat-chtoby-izbezhat-oshibok-i-lishnih-rashodov.html.
7. Bakı gəmiqayırma zavodu, Ropaks bərəsinin "yük planının" qrafik təsviri, yüklənmə üzrə təlimat, 44 s. Bakı, 04.12.2023.

Məqalə qəbul olunub: 02.04.24
Tövsiyə edib: t.ü.f.d. Nəbiyev H.N.

UOT 656.6.052

XƏZƏR DƏNİZİNDƏ NEFT PLATFORMALARI VƏ ÜZƏN QURĞULARIN TƏSNİFATI

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 stasionar platformalar və üzən qurğular neft hasilatında mühüm əhəmiyyət kəsb edir. Bu nəhəng və mürəkkəb qurğu və avadanlıqların öyrənilməsi və daha da təkmilləşdirilməsi çox aktual məsələdir. Neft-qaz hasilatı platforma və qurğularının xüsusiyyət və texniki xarakteristikaları, habelə təsnifat əlamətləri ətraflı təhlil edilmişdir.*

Abstract. *Oil platforms and floating facilities in the Caspian Sea are of great importance in oil production. The study and further improvement of these facilities and equipment's are a very actually issue. Oil and gas production facilities are extensively analyzed in the article.*

Аннотация. *В эффективной добыче нефти на Каспии важное значение имеют нефтяные стационарные платформы и плавучие сооружения. Изучение особенностей и дальнейшее совершенствование этих крупных и сложных сооружений и оборудования, является весьма актуальным вопросом. В статье подробно анализируются особенности, технические характеристики, а также признаки классификации объектов добычи нефти и газа на Каспийском бассейне.*

Acar sözlər: *platforma, üzən qurğular, hasilat, lövbərləmə, neft yataqları*

Key words: *platform, floating rig, production, anchor, oil field*

Ключевые слова: *платформа, плавучие установки, добыча, якорь, нефтяные месторождения*

Giriş. Xəzər dənizində neft-qaz sektorunda enerji resurslarının işlənməsində müasir qurğuların tətbiqi qaçılmazdır. Bu qurğular dənizdə müxtəlif platformalarda quraşdırılır. Əsas tip olaraq və xüsusən də karbohidrokarbon istehsalını və ötürülməsini yerinə yetirən qurğular "sabit" və "üzən" tiplərə bölünür.

Əsas hissə. Sabit qurğular dəniz dibinə bilavasitə və ya köməkçi qurğularla montaj edilən qurğulara aiddir. Bu qurğular dəniz dibinin müxtəlif təbəqələrindən hidrokarbon məhsullarını əldə edərək sahil və ya başqa üzən qurğulara ötürür. Sabit qurğuların təsnifatlanmasında suyun dərinliyi ən əsas faktor kimi götürülür.

Sabit qurğular ilə eyni funksiyanı yerinə yetirən, başqa sözlə, neft-qaz yataqlarının qazılmasını və faydalı məhsulun əldə edilməsini təmin edir. Məhsulun ötürülməsini təmin edən üzən qurğular isə ya yuxarıda qeyd edilən sistemə oxşar lövbərləmə, yaxud da Dinamik mövqe saxlama sistemi (DPS) funksiyalarında istifadə olunur və qazma və saxlama əməliyyatlarını yerinə yetirirlər.

Sabit qurğular bunlardır:

№1, №2 - Standart sabitləşmiş istehsalat platforması (suyun dərinliyinə görə forması təyin olunur);

№3 - Uyğunlaşdırılmış Qala tipli istehsalat platforması;

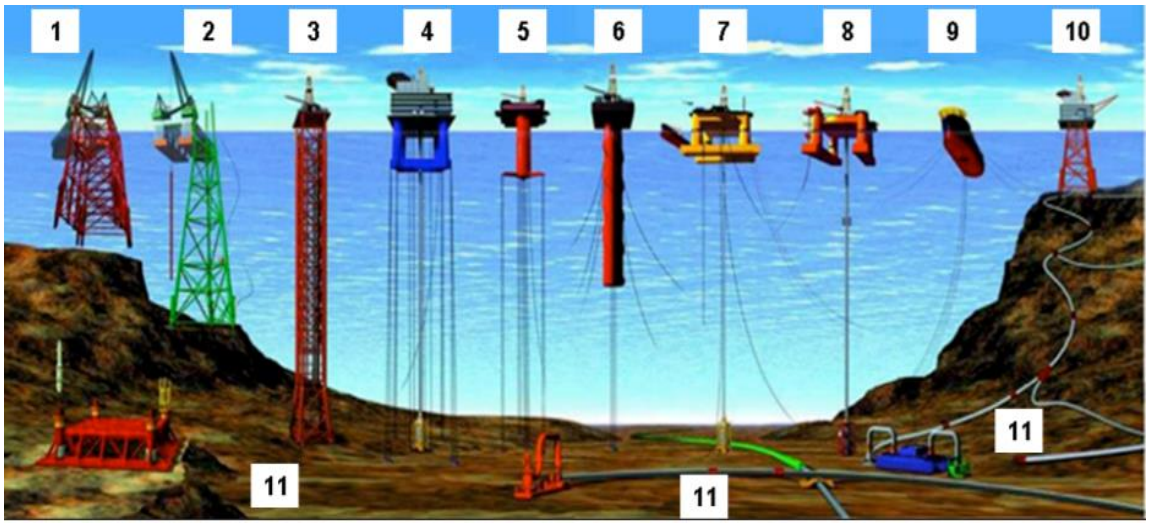
№4, №5 - Gərilməli bağlanılmış istehsalat platforması;

№6 - Şpat tipli istehsalat platforması;

№7, №8 - Yarım Dalma Qazma Qurğusu;

№9 - Üzən İstehsalat saxlama və boruatma qurğusu;

№10 - Sualtı bitirmə və əsas vahidə bağlanma qurğusu;
№11 - Sualtı sistemlər və axın xətləri.



Şəkil 1. *Neft-qaz hasil edən qurğular*

Bunlardan əlavə, şəraitə uyğun olaraq Qazaxstanda Kaşaqan yatağında suyun dərinliyi səbəbindən Süni ada və Azərbaycan geniş infrastruktura görə Neft Daşları kompleksi də neft və qaz emalı prosesində sabit qurğular sisteminə daxil olur.

Üzən qurğuları təsnif etsək, buraya əsasən Qazma gəmiləri (Drill ship), Qaldırımlı platformalar (Jack up), barjalar və özü hərəkət edən Yarım dalma qurğuları (DP sistemli) aid etmək olar.

Yuxarıda qeyd etdiyimiz və qisa xülasəsini verdiyimiz Neft-qaz yataqlarında karbohidrogen ehtiyatları işlənməsini müxtəlif növ qurğular həyata keçirsə də, Xəzər dənizində mövcüd olan qurğu və sistemləri ətraflı araşdımağa ehtiyac vardır.

Dənizdə təbii ehtiyatların işlənməsində bir çox xarici olkə şirkətləri pay bölgüsünə sahib olsa da, operator kimi bu öhdəliyi Böyük Britaniyanın BP və Azərbaycan Respublikasının Dövlət Neft Şirkəti SOCAR icra edir. 2018-2020-ci illərdə bir sıra müstəqil və müştrək şirkətlər kimi (JV – Joint Venture) Equinor, TOTAL, JOCAP, KOC kəşfiyyat və qazıntı işlərinə başlamışlar.

Xəzər dənizindən neft çıxarılma prosesi XIX əsrdən başlanmasına baxmayaraq 1949-cu ildə əsası qoyulmuş Neft Daşları və ətrafındakı bir çox platforma və yataqların hasilatını özündə mərkəzləşdirib emal edərək sahilə ötürən böyük bir kompleksin ixrac etdiyi hidrokarbon miqdarını yalnız 1997-ci ildən Azəri – Çıraq - Günəşli yatağında quraşdırılan qurğular dəfələrlə üstələməyə başladı.

Bu yataqda müxtəlif illərdə bir neçə neft-qaz platformaları tikilib və hazırda da tikilməkdədir. Qeyd etdiyimiz ildə Çıraq platformasından sonra 2005-ci ildə Mərkəzi Azəri (CA – Central Azeri) və Qərbi Azəri (West Azeri), 2006-cı ildə Şərqi Azəri (EA – East Azeri) və həmçinin Şah Dəniz yatağında Şah Dəniz Alfa (SDA), 2008-ci ildə Dərin Sulu Günəşli (DWG – Deep water Guneshli), 2014-cü ildə Qərbi Çıraq (West Chirag) və 2018-ci ildə Şah Dəniz Bravo (SDB) platfomraları quraşdırılaraq, dünyanin ən böyük, daha öncə isitismarda olmamış Sanqaçal terminalına ötürən çox mürəkkəb sualtı sistemlərlə aralarında qoşulmuş sualti qurğu və borularala təchiz olunub sahilə ötürülməkdədir.

Bu qurğuların sahildən məsafəsi, komlektasiyası, funksiyası və quruluşu çox müxtəlifdir. Belə kiçik Şah Dəniz Alfa ilkin olaraq 3 ayaqlı Jack up Barja təsnifatına uyğun inşa olunsa da, sonradan əsaslı modifkasiya nəticəsində dəniz dibinə bərkidilmiş platformaya çevirilmişdir. Eyni funksiyanı,

yəni qaz emalı və otürülməsi funksiyasını yerinə yetirən Şah Dəniz Bravo platforması isə muasir qurğu olaraq Yaşayış (Living quarter) və Hasilat (Production quarter) kimi 2 hissədən ibarət olub, hidrokarbon emalında bir sıra yenilikləri əhatə edir.



Şəkil 2. *ŞDB – Qaz emalı qurğusu (Şah Dəniz Bravo platforması)*

Əsas müzakirə mövzüsu neft yataqlarında xidmət göstərən gəmilərin təhlükəsiz idarə olunması olduğundan, hövzədə geniş istifadə olunan DP Qazma Gəmiləri, Yarımdalma və Qaldırımlı platformalar (Jack up) və qurğularının da fəaliyyətini də analiz etmək və funksiyalarını gözdən keçirtmək yerinə düşərdi.

Neft və qaz qazma qurğuları olmalarına baxmayaraq, platformalardan fərqli olaraq daima sabit yerdə olmayan, qeyd etdiyimiz bu iki növ qurğu özüyeriyən və ya yedəkləmə olduğundan Beynəlxalq Dəniz Təşkilatı - İMO ilə tərtib olunan MODU (Mobil ofşor qazma qurğusu - Mobile Offshore Drillining Unit- Code) kodeksi tələbləri ilə tənzimlənir. Bu qeyd etdiyimiz qurğuların özüyeriyən - idarəetmə sistemli növlərinə xarici sularda rast gələndə də, Xəzər dənizində ancaq yedəklənərək yer dəyişmə edən - lovbərlənən yarimdalma və qaldırımlı platformalar (Jack up) sistemli qurğulara rast gəlirik.

Yuxarıda bəhs edilən qurğuların əsas məqsədi kəşfiyyat quyuları qazmaq, neft və qaz rezervuarlarını təyin etmək (Exploration – Drilling – Completion) və onları hasilat üçün hazır hala gətirməkdən ibarətdir.

Daha sonrakı mərhələ rezervuarların infrastrukturun komplektasiyasından asılı olaraq ya sualtı borularla ana xətlərə qoşulma və ya birbaşa üzərində platforma qurularaq hasilatı həyata keçirmək olur.

Qeyd olunan təfsilatdan Mobil ofşor qazma qurğularının hidrokarbon yataqlarının işlənməsində həmçinin gəmi kimi təsnifatlanmasında irəli gələn prosesi necə keçirilməsinin qeyd etmək yerinə düşərdi.

Bu qurğular adətən 4 və ya 6 sütunlu (ayaqlı - leg) olub, hər birində 2 lövbər sistemi ilə təchiz olunurlar.

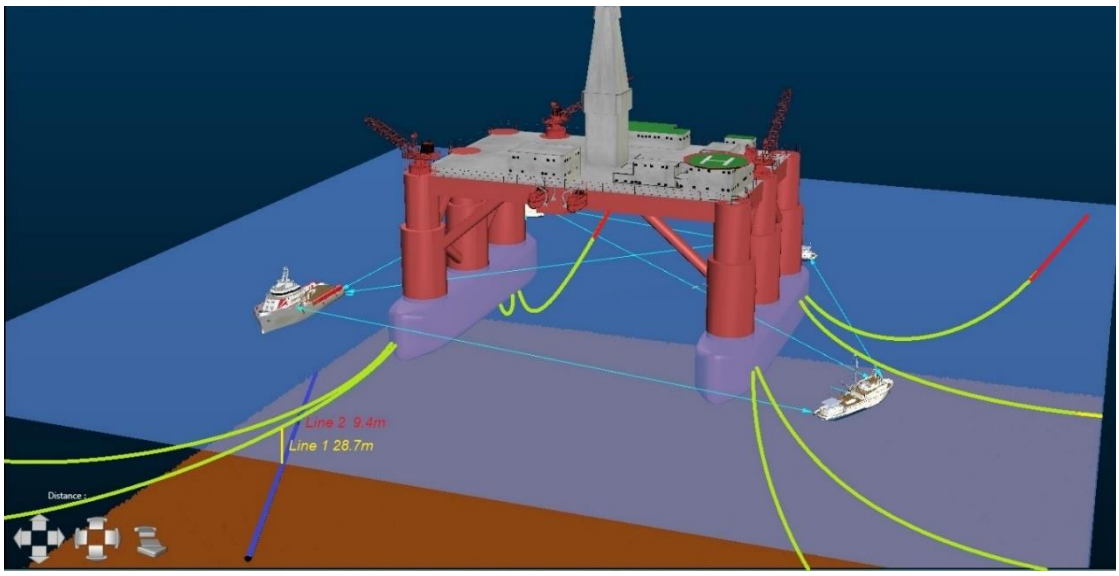
Platformaların Drilling – Qazma/Production – Hasilat, Mobil ofşor qazma qurğuların isə Exploration – Kəşfiyyat/Drilling – Qazma əməliyyatlarında fərqlilik görünsə də, ümumi olaraq plarformalar kəşfiyyat, MODU-lar isə hasilat əməliyyatlarında məhdudlaşan müxtəliflik, onlara

xidmət göstərən gəmilərin təhkim olunmasına və işləməsinə təsir göstərir. Belə ki, sözü gedən MODU-ların hərəkətini və gedəcəyi mövqedə sabitləşməsini ancaq AHT(S) - Lövbər işləmə Yedəkləmə gəmiləri təmin edir. Bu prosesin aydın olması üçün aşağıdakı təfsilata ehtiyac duyulur.



Şəkil 3. *Neft platformasının yedəyə alınması*

İlk olaraq MODU-nun gedəcəyi yer təyin olunur, meteoroloji göstəricilər (qalma müddətindən və yerindən asılı olaraq bu operator və ya sifarişçi və Bayraq Admisntrasiyası tərəfindən irəli sürülə bilər). Batimetriya məlumatları əldə edilir və analiz edilir. Meteo göstəricilər 1-10-25-50-100 illik kriteriyalara bölünür, hesablamalar nəticəsində sözü gedən ərazidə tələb olunana vaxt intervalında maksimal müxtəlif istiqamətlər üçün külək, dalğa və axın göstəriciləri təqdim olunur.



Şəkil 4. *Neft platforması ilə əlaqə xətləri*

Batimetriya və meteo göstəriciləri MODU-nun uyğun parametrləri ilə Mooring Analysis (Barkidilmə Analizi) aparılmasında əsas faktordur. Qurğuların bərkidilmə təlimatı və kriteriyalar

təsnifat cəmiyyətləri (DNV- GL) və yaxud Beynəlxalq qəbul olunmuş araşdırma institutları (APİ- American Petroleum İnstitute) tələbləri əsasında icra olunur.

Bu hesablamalara təsir göstərən kritik faktorlar yuxarıda qeyd olunanlar ilə yanaşı qurğunun quruluşu, dənizçilik keyfiyyət və əmsalları, lövbər-bərkitmə sistemləridir (tipi, ölçüsü, çəkisi və s). Bu komplektasiyanın sistemli şəkildə inteqrasiya edilməsi təhlükəsiz yedəkləmə və yerləşdirmə əməliyyatı üçün əsas təminatdır.

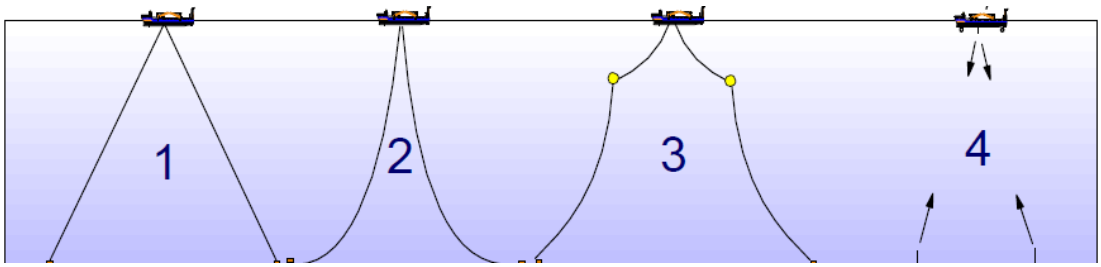
Bu əməlyyatın yerinə yetirilməsi əsas müzakirə mövzusu olduğundan əməliyyatla geniş və yaxından tanış olma böyük bəhrə vermiş olar.

Lövbərləmənin əsas funkisyası - üzən qurğunu mövqedə saxlama prosesi, nəzarətli və məhdud yerdəyişmə, təsir edən amillər isə - dərinlik, batimetriya, qrunt xassələri, külək, dalğa, axın, duzlulq, dəniz sirkulyasiyası, balıqçılıq kimi faktorlarla səciyyələnir.

Hər bir sferada olduğu kimi, qurğuların lövbərləmə prosesində ideal xüsusiyyətə malik sistem tətbiqi qeyri mümkündür. Ona görə də sistemin seçimində bu nüanslar nəzərdən kecirilərək optimal variantın tətbiqinə başlanılır.

Lövbərləmə (Mooring) dizaynına daxildir:

- lövbərləmə funksiyaları və məhdudiyyətlər;
- lövbərləmə sistemləri, komponentləri və quruluşu and ardıcılığı;
- ətraf mühit şəraiti və xüsusiyyətləri;
- dizayn qanunları və metodologiyası;
- lövbərləmə inkişafı;
- quraşdırılması;
- periodik yoxlamalar, texniki xidmət və təmir;
- xərclər (kapital-CAPEX və əməliyyat -OPEX)



Şəkil 5. Neft platformalarına xidmət göstərən gəmilərin lövbərə durma qaydaları:
1- tarım lövbərləmə, 2- Catenary (kateneriya), 3- üzmə qabiliyyətli sistemli kateneriya, 4- dinamik mövqe saxlama

Nəticə. Beləliklə, qeyd edilən məsələlərin lazımi şəkildə qiymətləndirilməsindən sonra qazma əməliyyatı keçiləcək qurğunun hansı mövqe tutma konsepsiyasından istifadə edəcyi müyyənləşdirilir: Sadalanan mövqe saxlama metodlarının hamısının istifadəsi sualtı infrastrukturla sıx əlaqəli olsa belə, bu metodların hər hansı birinin üstünlüyünə ümumi olaraq yanaşmaq düzgün sayılmaz. Misal üçun 1-ci şəkildəki tipdən sualtı infrastruktur qurğudan uzaq məsafə olanda isitfadə etmək məqsədə uyğun olsa da yüksək dalğalı və küləkli ərazilərdə effektivliyini itirir.

Eyni avantajları №2 təyin etmək istəsək uzun məsafələrə və marjinal hava şəraitinə malik və sualtı qurgularsız bölgələrdə istifadə geniş yayılmaqdadır. №3 gəmini analiz etsək, bir öncəki növ ilə bir çox umumi parametrləri bölüşsədə qəliz infrastrukturlu yerlərdə də istifadə edilə bilər, lakim dezavataj kimi quraşdırılma prosesinin qəlizliyini göstərə bilərik.

№4 əsasən istismarı o biri sistemlərlə müqayisədə daha dərin sularda işləmə qabiliyyəti və sualtı quğulara potensial zədəlmədən uzaqdır. Oxşar qazma prosesini yerinə yetirəcək digər sistemlərə nəzərən məsrəfli sistem sayılır. Beləliklə, sadalanan sistemləri daha detallı izah etmək olar. Bunların istifadəsi müxtəlif komponentlərin – lövbər xəttinin qurğuya uyğun olan istənilən ölçüdə zəncir, tros, kabel və propilen materiallardan istifadə olunur. Eləcə də dənizçilikdə mövcud olan çeşidli lövbər tiplərinə də geniş yer ayırmaq olar.

Ədəbiyyat

1. Борисов Р.В., Макаров В.Г. Морские инженерные сооружения. 4.1. Морские буровые установки. Учебник. - СПб.: Судостроение, 2003. - 535с.
2. Борисов Р.В., Симоненко А.С., Артюшков Л.С. Статика и динамика плавучих буровых установок: Учеб. пособие. - СПб.: СПбГМТУ, 2000. - 96 с.
3. Валуйкин И.Л., Могутин Ю.Б. Технические средства для добычи нефти и газа // Машиностроение. Энциклопедия. Расчет и конструирование машин. Раздел IV. Корабли и суда. Т. IV-20. Проектирование и строительство кораблей, судов и средств океанотехники. Кн. 2. - СПб.: Политехника, 2004. - с. 821 - 831.

Məqalə qəbul olunub: 02.04.24
Tövsiyə edib: t.ü.f.d. Nəbiyev H.N.

GƏMİÇİLİK TEXNİKASI

UOT 621.01

RESEARCHING OF THE MAIN FACTORS THAT AFFECT THE FLOW OF LIQUID MOVING IN DIFFERENT MODES IN PIPELINES

Akhundov E.F., Amirbayov A.H.

"Azerbaijan State Marine Academy"LEPL
AZ1000, Baku, Z.Aliyeva str., 18
E-mail: akhundov.eldar@gmail.com, amirbayov7777@gmail.com

Abstract. *The article reveals the role and importance of specially equipped auxiliary ship systems, their use in various processes of ship operation, for example in the collection and discharge of technically used liquid. The importance of hydraulic equipment for the operation of such auxiliary ship systems is emphasized and practical work has been carried out to study the modes of connecting pumps when pumping liquid, and the reasons for optimizing operating modes have been studied. At the same time, based on the analysis performed, a conclusion is drawn about increasing the efficiency of using pumping systems.*

Xülasə. *Məqalədə xüsusi təchiz olunmuş yardımçı gəmi sistemlərinin rolu və əhəmiyyəti, onlardan gəmi istismarının müxtəlif proseslərində, məsələn, texniki cəhətdən istifadə olunan mayenin yığılması və boşaldılmasında istifadəsi açıqlanır. Belə yardımçı gəmi sistemlərinin istismarı üçün hidravlik avadanlığın əhəmiyyəti vurğulanmış və mayenin vurulması zamanı nasosların birləşdirilməsi rejimlərinin öyrənilməsi istiqamətində praktiki işlər görülmüş, iş rejimlərinin optimallaşdırılmasının səbəbləri öyrənilmişdir. Eyni zamanda, aparılan təhlil əsasında nasos sistemlərindən istifadənin səmərəliliyinin artırılması ilə bağlı nəticə çıxarılır.*

Аннотация. *В статье раскрыта роль и важность специально оборудованных вспомогательных судовых систем, их применение в различных процессах эксплуатации судна, например в сборе и сбросе технически отработанной жидкости. Подчеркнуто значение гидравлического оборудования для эксплуатации таких вспомогательных судовых систем и проведены практические работы по исследованию режимов подключения насосов при перекачки жидкости, изучены причины оптимизации режимов работы. При этом на основе проделанного анализа делается вывод по поводу повышения эффективности использования перекачивающих систем.*

Key words: *ship systems, auxiliary equipment, pump, collection system, Reynolds number, productivity, reliability*

Açar sözlər: *gəmi sistemləri, köməkçi avadanlıq, nasos, toplama sistemi, Reynolds ədədi, məhsuldarlıq, etibarlılıq*

Ключевые слова: *судовые системы, вспомогательное оборудование, насос, система сбора, число Рейнольдса, производительность, безотказность*

Introduction. As is known, specially equipped ship auxiliary systems are used to collect and further discharge technical waste liquids on ships. Such ship auxiliary systems have a wide range of applications and are important for ensuring the survivability and controllability of the ship. Also, these systems are an important element for ensuring the required technical and operational parameters of the ship, creating basic living conditions for the ship's crew (at the same time, we must not forget about ensuring conditions for emergency evacuation in emergency situations on the ship).

Besides other devices and mechanisms, the main ship auxiliary systems, depending on their purpose, include:

- hydraulic machines and fans;
- general ship systems;
- water purification (desalination) installations;
- pollution prevention equipment [1].

Safe and efficient technical operation, while simultaneously ensuring normal conditions for the life process on ships, requires the proper and uninterrupted functioning of ship auxiliary systems and power (energy) systems.

In addition to the above, it should be noted that the study of maritime disasters that have occurred over the past half century leaves no doubt about the need to analyze the risk of operating such dangerous production facilities as tankers (as well as other types of ships), their ship power and auxiliary systems. Currently, ensuring safety and an acceptable level of risk is a fundamental issue that determines the prospects for the development of marine technology (Figure 1) [2].



Figure 1. *Technical ballast water discharge*

This is confirmed by the adoption of various international codes and resolutions on the management of the safe operation of ships and the prevention of pollution, with their subsequent inclusion in the International Convention.

The importance of the problem under consideration is due to the potential danger of sea vessels and, in particular, the tanker fleet for their crew members, the environment, and the population. In connection with the above, the technical means that ensure the operation of a tanker are among the most critical objects from an environmental, economic and social point of view, ensuring the safety of which is a separate problem. At the same time, the safety of ship technical equipment and the tanker as a whole is considered as an independent property, which is ensured with the help of special technical means, both under normal operating conditions and in the event of emergency situations caused by human actions or inaction, man-made or natural influences [3].

In this regard, to radically improve the state of the environment through the greening of production activities as part of transformations that will ensure the formation of a new model of an environmentally ideal structure of the technosphere, based on reusable consumption and the initial prevention of the pollution process [3].

In relation to shipping, one of the ways to implement such a structure is to create circulating water supply systems through the reuse of wastewater for technical needs, purified to the requirements for "open" systems. This type of rational environmental management can also provide shipowners with an economic benefit by reducing costs associated with environmental management, including when obtaining appropriate licenses and paying for water use. The reuse of treated wastewater on board a ship for technical purposes will ensure a sharp reduction in the fresh water consumed for these purposes, which will allow shipowners of a mixed river-sea fleet to reduce the financial costs of fresh water, the replenishment of which takes place in the ports of foreign countries.

The collection and drainage of technically waste liquids also includes bilge systems. The engine room bilge (or engine room bilge wells) is the lowest part in the engine room of a ship. Engine room bilge water that collects here includes drainage or unconsumed water from boilers, holding tanks, potable water tanks and other places. However, engine room bilge water includes not only such clean water, but also drainage from areas of the engine room where engines and other machinery are located. This drainage contains small amounts of fuel, lubricating oils, hydraulic fluids, antifreeze, solvents and cleaning chemicals. To remove most of these pollutants before pumping engine room bilge water overboard, auxiliary shipboard bilge water collection and filtration systems are available.

Research reasons. It is important to note that ship systems are basically a complex of pipelines with fittings, servicing mechanisms, tanks, apparatus, instruments and means of control and monitoring of them. These systems provide:

- ✓ the fight for unsinkability - removing water from flooded compartments, receiving or pumping water ballast in order to straighten a damaged ship;
- ✓ fire fighting;
- ✓ maintaining the required temperature and humidity in the living and service areas of the ship – habitability conditions;
- ✓ supply of fresh and sea water for the crew's domestic needs;
- ✓ removal of dirty water from the vessel;
- ✓ compressed air supply;
- ✓ loading and unloading operations on tankers.

The complexity and relevance of a systemic analysis of safety during the operation of marine equipment, taking into account extreme man-made and natural impacts, is due to the following: the special economic, social and environmental responsibility of maritime transport; the complexity of the system under consideration, the need to take into account the interaction of a large number of subsystems and elements, the possibility of failures due to common causes; significant incompleteness of the initial information about the possible impacts and behavioral characteristics of the objects under consideration, the need to take into account random and uncertain factors; the importance of developing a methodology for assessing individual and environmental safety of complex technical systems for the creation and development of other hazardous production facilities and technologies in various areas of human activity. Therefore, the initial condition when resolving issues related to the operation of ship auxiliary systems is the reliability of their operation [1,4].

In the above systems, ship pumps act as the main equipment. Marine pumps according to their intended purpose can be divided into the following main groups:

– pumps serving the ship's power plant (main and auxiliary). These include condensate, feed, circulation, cooling, fuel, fuel pumping, oil;

– general purpose pumps (firefighting, drainage, ballast, for drinking water and washing water, sanitary, etc.).

The main technical indicators characterizing the operation of pumps are flow (productivity) and pressure.

Automatic regulation of hydraulic systems to achieve optimal energy flow has been proposed in past research. At the same time, the *Re* number was taken as a criterion as a threshold for fluid movement modes:

$$Re = \frac{vd}{\vartheta}$$

In this dependence, the main parameter is speed – $\boldsymbol{v}$. If we draw an analogy with the main indicators of ship pumps, then productivity can be linked to the speed of movement or modes (laminar or turbulent), because in both cases the connecting link is time – $\boldsymbol{\tau}$ [5,6,7]:

$$Q = \frac{V}{\tau}$$

As noted above, for auxiliary ship systems, uninterrupted operation of the main equipment - pumps - is the main condition. Therefore, for a given optimal mode of fluid movement and the required flow, it is necessary to select the appropriate speed, i.e. operating time - $\boldsymbol{\tau}$: To research the operating modes of a hydraulic system with two pumps at different flow rates, an experimental installation was chosen in the scientific laboratory of the Azerbaijan Technical University (AzTU). Having made a small adjustment to the installation (an approximate model of the pipe ship system was created, the similarity criterion was the previously shown Re value), an experiment was carried out and salt water with a density of $\boldsymbol{\rho}$ = 1020 ÷ 1030 kg/m^3 was taken as a liquid (Figure 2).

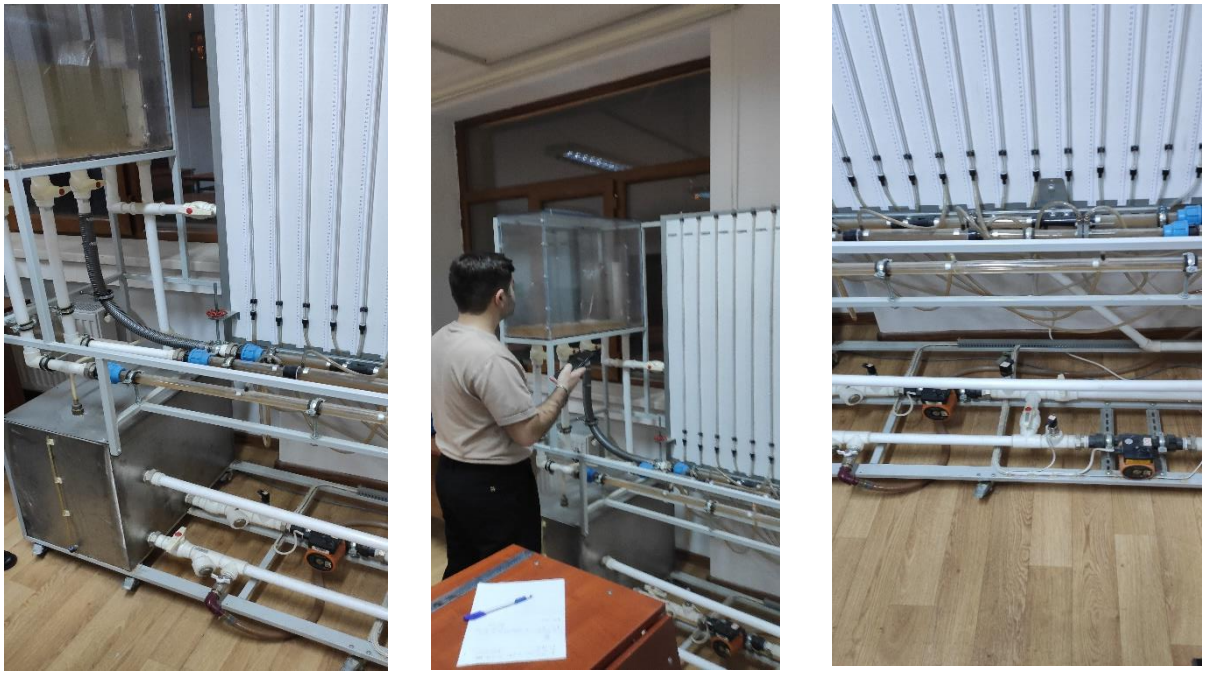


Figure 2. *Experimental stand*

The results of the experiment for various cases (for three conventional pump speeds, with serial and parallel connections in a hydraulic system) are shown below in the tables (filling and collection volume V = 0.05 m3) [8]:

A) series connection of the first and second pumps

First pump (speed)	Second pump (speed)	Pressure at the inlet of pump 1 ($P1_1$), bar	Outlet pressure of pump 1 ($P1_2$), bar	Inlet pressure of pump 2 ($P2_1$), bar	Outlet pressure of pump 2 ($P2_2$), bar	Total flow rate in the system, liter/sec.	Filling time (τ), sec.
1	1	0,00	0,74	0,00	1,49	0,26	180
2	1	- 0,15	1,72	0,00	1,80	0,36	128
3	1	- 0,30	2,85	0,00	2,33	0,47	100
1	2	- 0,30	0,00	0,00	1,72	0,35	128
1	3	- 1,13	0,00	- 1,20	2,18	0,42	100
2	2	- 0,23	2,10	0,00	1,65	0,32	138
3	3	- 1,72	0,75	0,00	2,92	0,61	75

B) parallel connection of the first and second pumps

First pump (speed)	Second pump (speed)	Pressure at the inlet of pump 1 ($P1_1$), bar	Outlet pressure of pump 1 ($P1_2$), bar	Inlet pressure of pump 2 ($P2_1$), bar	Outlet pressure of pump 2 ($P2_2$), bar	Total flow rate in the system, liter/sec.	Filling time (τ), sec.
1	1	0,00	1,65	0,00	1,65	0,33	140
2	1	- 0,15	2,18	0,00	2,18	0,46	103
3	1	- 0,60	2,78	0,00	2,78	0,55	86
1	2	0,00	2,18	-0,15	2,18	0,44	103
1	3	0,00	2,70	- 0,30	2,70	0,56	85
2	2	- 0,08	2,78	0,00	2,78	0,57	84
3	3	- 0,22	3,60	-0,15	3,60	0,70	67

Conclusion. Summarizing the above mentioned, it is possible to note the following:

- based on the analysis of publications and existing information on the use of ship auxiliary systems, the importance of using a particular system is shown depending on the operational requirements of the industry (production), as well as the environment;
- a review of ship systems was carried out, the main ones were identified, the functioning of which is necessary for normal operation, considering the requirements of environmental protection, power and other components and assemblies of the ship;
- the role of hydraulic systems and the main equipment of pumps in the operation of ship auxiliary systems for collecting and pumping waste technical fluids used for the life of the vessel is noted;
- practical work was carried out to study the operation of hydraulic systems with various connections of the main equipment - pumps (changing the method of connection to the pipeline network, speed mode, fluid flow mode);
- considering the theory of reliability (failure-free operation) of auxiliary ship systems, the parallel use of two or more pumping units has been proposed to increase service life and optimize operation;
- the data obtained allows us to further construct the necessary dependencies between the main parameters of the operation of the auxiliary ship hydraulic system, and also makes it possible to select an effective operating mode.

References

1. A.M. Tyo. “Ship auxiliary mechanisms systems and devices”, Maritime State University named after. Adm G. I. Nevelskoy, 2013, 208p.
2. V.A. Turkin. Considering safety factors of ship equipment when assessing the likelihood of accidents // Shipbuilding. 2003. - No. 5
3. S.P. Zubrilov, Yu.G. Ishchuk, V.I. Kosovsky. Environmental protection during the operation of ships. – L.: Shipbuilding, 1989. – 256 p.
4. A.M. Tyo. “Operation of the ship's auxiliary facilities mechanisms, systems and devices”, Maritime State University named after. Adm G. I. Nevelskoy, 2014, 178p.
5. Main pipelines / “Qosstroy Russia”.: 1997. – 52p.
6. S.O. Huseynov, A.H. Guliyev. Hydraulics. Baku, 2008, 260p.
7. C.O. Huseynov, E.F. Akhundov, A.G. Guliyev. Experimental study of pressure losses in tubes of pneumatic and hydro control systems., “Izvestiya VUZ-ov”, "Oil and gas" No. 1-2 1998, p. 38-40.
8. Seleznev V.E., Pryalov S.N. Methods of building flow models in main pipelines and channels / M.: 2012. – 560 p.

Məqalə qəbul olunub: 29.03.24
Tövsiyə edib: dos. İsmayılov A.Ş.

UOT 621.56

SOYUDUCU AGENTLƏRİN QARIŞIĞI İLƏ İŞLƏYƏN AŞAĞI TEMPERATURLU SOYUDUCU QURĞU

Əliyev N.S.

“Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası” PHŞ
AZ1000, Bakı şəh., Z.Əliyeva küç., 18
E-mail: nazim_alijew@yahoo.com

Xülasə. *Soyuducu qurğularda bir pilləli sıxılmadan istifadə kondensasiya təzyiqinin qaynama təzyiqinə nisbətin səkkizdən çox olmadığı halda tövsiyə olunur. Bu nisbət daha böyük olduqda, soyuducu qurğunun sxemini mürəkkəbləşdirən, kapital və istismar xərclərini artıran iki pilləli sıxılma konstruksiyasına keçilməlidir. Soyuducu agentlərin qarışığından istifadə bir pilləli soyuducu qurğuda yüksək kondensasiya temperaturunda aşağı qaynama temperaturunu əldə etməyə imkan verir, bunun üçün bir pilləli soyuducu qurğunu modernləşdirilmək lazımdır. Bu məqsədlə yüksək etibarlı hermetik porşenli kompressor, doldurulacaq soyuducu agentlərin qarışığı, genişləndirici çən və qurğunun avtomatlaşdırma cihazları seçilmişdir. Aşağı temperatur qurğusunda soyuducu agentlərin qarışığından istifadə edərək, kamerada -40...-65°C diapazonunda temperatura nail olmaq mümkündür: sürtkü yağı sistemdə yığılmadan dövr edir; soyutma cihazlarında və kompressorun içinə sorulan buxar bir qədər qızdırılır. Soyuducu agentlərin qarışığının istifadəsi sayəsində təklif olunan birpilləli sıxılma soyuducu qurğunu kondensasiya təzyiqi və qaynama təzyiqinin yüksək nisbətlərində işləməyə, birpilləli sıxılma ilə daha aşağı qaynama nöqtəsi əldə etməyə imkan verir ki, bu da bütövlükdə soyuducu qurğu üçün əsas və istismar xərclərini azaltmağa imkan verir.*

Abstract. *It is recommended to use single-stage compression in refrigeration units when the ratio of condensation pressure to boiling pressure is no more than eight. If this value is exceeded, they proceed to the design of two-stage compression, which complicates the design of the refrigeration unit and increases capital and operating costs. The use of a mixture of refrigerants in a single-*

stage refrigeration unit makes it possible to obtain a low boiling point at a high condensation temperature, for which it is necessary to modernize the single-stage refrigeration unit. For this purpose, a highly reliable hermetic piston compressor, a mixture of refrigerants to be filled, an expansion tank and installation automation devices were selected. Using a mixture of refrigerants in a low-temperature unit, it is possible to achieve a temperature in the chamber in the range of -40...-65°C; it has good performance characteristics: lubricating oil circulates in the system without accumulating in the cooling devices, and the steam sucked into the compressor has a slight heating. Thanks to the use of a mixture of refrigerants, the proposed single-stage compression refrigeration unit allows operation at high ratios of condensation pressure and boiling pressure, obtaining a lower boiling point with single-stage compression, which allows reducing capital and operating costs for the refrigeration unit as a whole.

Аннотация. *Одноступенчатое сжатие в холодильных установках рекомендуется применять при отношении давления конденсации к давлению кипения не больше восьми. При превышении этого значения переходят к проектированию двухступенчатого сжатия, что усложненяет схему холодильной установки, увеличивает капитальные и эксплуатационные затраты. Использование смеси холодильных агентов в схеме одноступенчатой холодильной установки, позволяет получить низкую температуру кипения при высокой температуре конденсации, для чего необходимо модернизировать одноступенчатую холодильную установку. Для этого подобран высоконадежный герметичный поршневой компрессор, смесь заправляемых холодильных агентов, расширительная емкость и приборы автоматизации установки. С использованием смеси холодильных агентов в низкотемпературной установке можно достичь температуры в камере в диапазоне -40…-65°С, у нее хорошие эксплуатационные показатели: смазочное масло циркулирует в системе, не накапливаясь в приборах охлаждения, а всасываемый в компрессор пар имеет небольшой перегрев. Благодаря использованию смеси холодильных агентов предложенная холодильная установка одноступенчатого сжатия позволяет работать при больших отношениях давления конденсации и давления кипения, получить более низкую температуру кипения при одноступенчатом сжатии, что позволяет уменьшить капитальные и эксплуатационные затраты на холодильную установку в целом.*

Açar sözlər: *aşağı temperaturlu soyuducu qurğu, soyuducu agentlərin qarışığı, buxarlandırıcı, kondensator, buxar, temperatur, təzyiq*

Key words: *low-temperature refrigeration unit, mixture of refrigerants, evaporator, condenser, steam, temperature, pressure*

Ключевые слова: *низкотемпературная холодильная установка, смесь холодильных агентов, испаритель, конденсатор, пар, температура, давление*

Giriş. Aşağı temperaturlu soyuducu qurğulara əsasən buxar-kompressorlu soyuducu maşınlar daxildir: birpilləli, ikipilləli və kaskadlı. Müxtəlif soyuducu agentlər və qarışıqlarla (azeotrop və qeyri-azeotrop) işləyən soyuducu maşınlarda alınan temperatur diapazonları müxtəlifdir [1-4].

Kondensasiya təzyiqinin qaynama təzyiqinə nisbəti səkkizdən çox olan soyuducu qurğuların layihələndirilməsi zamanı iki pilləli sıxılmadan istifadə etmək tövsiyə olunur. Bu, soyuducu qurğunun sxeminın mürəkəbləşməsinə, kapital və istismar xərclərinin artmasına gətirib çıxarır. Eyni zamanda, bu problemi həll edən bir pilləli sıxılma soyuducu maşınların sxemi mövcütdur. Soyuducu agentlərin qarışığı ilə işləyən soyuducu qurğunun sxemi yüksək kondensasiya temperaturunda aşağı qaynama temperaturu əldə etməyə imkan verir.

Soyuducu agentlərin qeyri-azeotropik qarışıqlarının istifadəsi bir pilləli soyuducu maşınların sxemini mürəkkəbləşdirmədən termodinamik effektivliyini artırmağa və temperatur həddini mənfi 70°C-ə qədər aşağı salmağa imkan verir. Qeyri-azeotrop qarışıqlarda aşağı temperatur komponent kimi R13, R13B1, R14, yüksək temperatur komponent kimi isə R11, R12, R22, R114 istifadə olunur.

Aşağı temperatur komponentinin kütlə konsentrasiyası nə qədər yüksək olarsa və kondensasiya temperaturu nə qədər aşağı olarsa, bir o qədər aşağı temperatura nail olmaq olar. R13/R12 qarışığından istifadə edən ənənəvi elementlər dəstinə malik birpilləli soyuducu qurğu qarışığın iki pilləli kondensasiyası ilə (kondensatorda, sonra isə istilik dəyişdiricisində) buxarlandırıcıda -63°C temperatura çatmağa imkan verir [5].

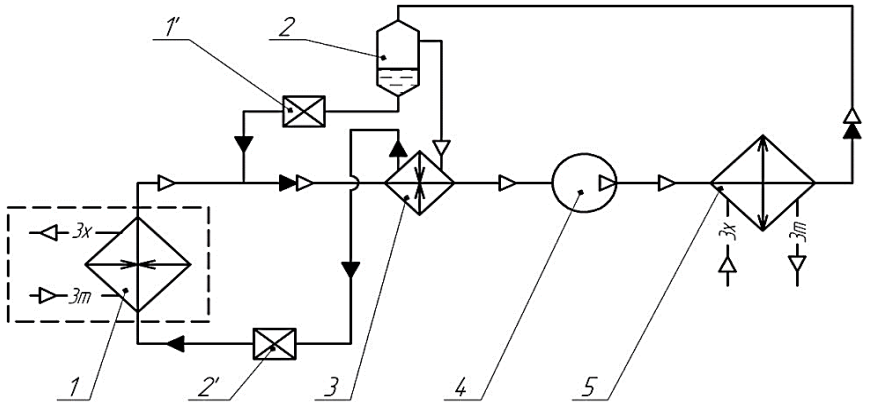
Soyuducu agentlərin çoxkomponentli qarışıqlarından istifadə edən buxar-kompressorlu soyuducu maşınları olan aşağı temperaturlu kameralara yaxın gələcəkdə tələbat olacaqdır [5]. Müasir soyuducu avadanlıqların işlənib hazırlanması və istehsalı alternativ ozona təhlükəsiz soyuducu agentlərin istifadəsini tələb edir [6].

İşin məqsədi. Kamerada -40…-65°C temperatur diapazonuna nail olmaq üçün soyuducu agentlərin qarışığı ilə işləyən bir pilləli aşağı temperaturlu soyuducu qurğunun işlənməsi.

Tədqiqatın obyektləri və metodları. Soyuducu agentlərin qarışığı ilə işləyən nəzəri birpilləli soyuducu qurğu aşağıdakı elementlərdən ibarətdir: porşenli kompressor aqreqatı; su və ya hava ilə soyudulan kondensator; xətti çən; termo-tənzimləyici ventil və ya kapilyar boru; borularının uzunluğu nisbətən qısa olan hava soyuducusu; maye ayırıcı; regenerativ istilik-mübadilə aparatı və genişləndirici çən. Maye boru kəmərində quruducu-filtr quraşdırılmışdır.

Aşağı temperatur əldə etməyin daha səmərəli bir yolu üçün sxemi şək. 1-də göstərilən bir pilləli soyuducu qurğunun modernləşdirilməsi təklif olunur [1,3,5]. Kompressor 4 soyuducu agentlərin qarışığının buxarlarını əsasən yüksək temperatur komponentinin kondensasiya olunduğu kondensator 5-ə vurur. Maye və buxar fazalarının qarışığı kondensatordan çıxır və fazaların ayrıldığı maye ayırıcı 2-ə daxil olur. Yüksək temperatur komponentinin ayrılmış mayesi drosselləyici qurğuda 1' sorma təzyiqinə qədər drossellənir, buxarlandırıcıdan 1 gələn buxar axını ilə qarışır və maye ayırıcıdan gələn aşağı temperaturlu komponent qarışığının buxar fazasının soyudulması və kondensasiyası üçün kondensator-buxarlandırıcıya 3 göndərilir. İstilik dəyişdiricisindən gələn buxarlar kompressora sorulur. Maye ayırıcıdan aşağı temperaturlu komponentin buxarları kondensator-buxarlandırıcıya 3 göndərilir və burada kondensasiya olunur. Bundan sonra, aşağı temperatur komponentinin mayesi drosselləyici qurğuda 2' drossellənir və hava soyuducusuna daxil olur, burada qaynayır və aşağı temperaturlu istilik mənbəyindən istilik alır.

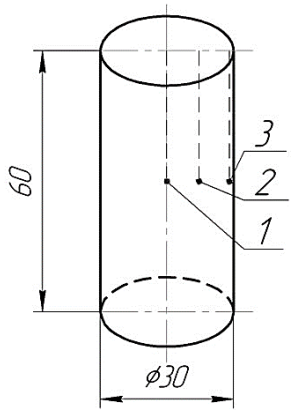
Buxarlandırıcıdan 1 sonra aşağı temperaturlu komponentin buxarı drossel qurğusundan 1' gələn yüksək temperaturlu komponentlə qarışdırılır və kondensator-buxarlandırıcıya 3 daxil olur. *Kondensator-buxarlandırıcıda 3 qarışıq həddindən artıq qızdırılır, yüksək -temperatur komponenti maye ayırıcıdan 2 gələn aşağı temperaturlu buxar komponenti səbəbindən qaynayır. Sonra buxar qarışığı kompressor 4-ə sorulur.*



Şək. 1. *Soyuducu agentlərin qarışığından istifadə edən bir pilləli soyuducu qurğunun sxemi:*
1 - buxarlandırıcı; 2 – maye ayırıcı; 3 – kondensator-buxarlandırıcı; 4 - kompressor; 5 - kondensator;
1', 2' - drossel qurğuları

Təklif olunan sxemin işə yararlığını real ərzaq məhsulunun nümunəsində aşağı temperaturlu emalı proseslərində sınaqdan keçirilmişdir. Dondurma obyekti kimi pendir seçilib. Ondan diametri 30 mm, uzunluğu 60 mm və məhsulun çəkisi 28 q olan silindr şəklində bir nümunə hazırlanmışdır.

Soyuducu qurğu verilən temperatur rejiminə kameradakı temperatur -40°C-ə çatdıqda gətirildi. Kamerada temperaturun ölçülməsi kameranın mərkəzində quraşdırılmış elektron termometrdən istifadə etməklə aparılmışdır. Temperatur sensorları elə yerləşdirilib ki, bir termocütün işçi lehimi nümunənin həndəsi mərkəzində, digəri birbaşa nümunənin xarici səthinin altında, üçüncüsü isə "X" məsafəsində olsun (şək. 2). Temperaturun vahid paylanmasını təmin etmək üçün məhsul kameranın ortasına bir stend üzərində yerləşdirildi.



Şək. 2. *Temperatur sensorlarının silindrdə yerləşdirilməsi:*
1 – həndəsi mərkəzdə termocüt;
2 – xarici səthin altındakı termocüt;
3 – "X" məsafəsində termocüt

Termocütün "X", mm məsafədə yeri düstur ilə hesablanır [6]:

$$X = l \cdot \Psi^{1/n} = 15 \cdot 0{,}5^{1/2} = 10{,}6;$$

burada l məhsulun təyinedici ölçüsünün yarısıdır (silindr üçün Ψ = 1/2), mm; Ψ – cismin forması ilə müəyyən edilən əmsal; n – dondurma üsulundan asılı olan əmsal (havanın dondurulması üçün n = 2).

Nəticələr və onların müzakirəsi. Aşağı temperaturlu qurğulara daxil olan avadanlıq, materiallarına və bəzi düyünlərin konstruksiyasına görə əsas avadanlıqdan fərqlənməlidir. Bu şərtlər aşağı temperaturun materialların xüsusiyyətlərinə və soyuducu maşınların iş proseslərinə təsiri ilə əlaqəlidir. Məsələn, porşənli kompressorlar kiçik zərərli həcmə malik olmalı və hidrodinamik yağlama rejimini təmin edən yağla yağlanmalıdır. Avadanlıq hissələrinin və armatura materialları, boru kəmərləri aşağı temperaturda lazımi möhkəmliyi və digər zəruri xassələri saxlamalıdır.

Soyuducu agentlərin qarışığından istifadə edən sxemə (şəkil 1) əsasən, şəkil 3-də göstərilən aşağı temperaturlu soyuducu qurğu layihələndirilmiş və quraşdırılmışdır.

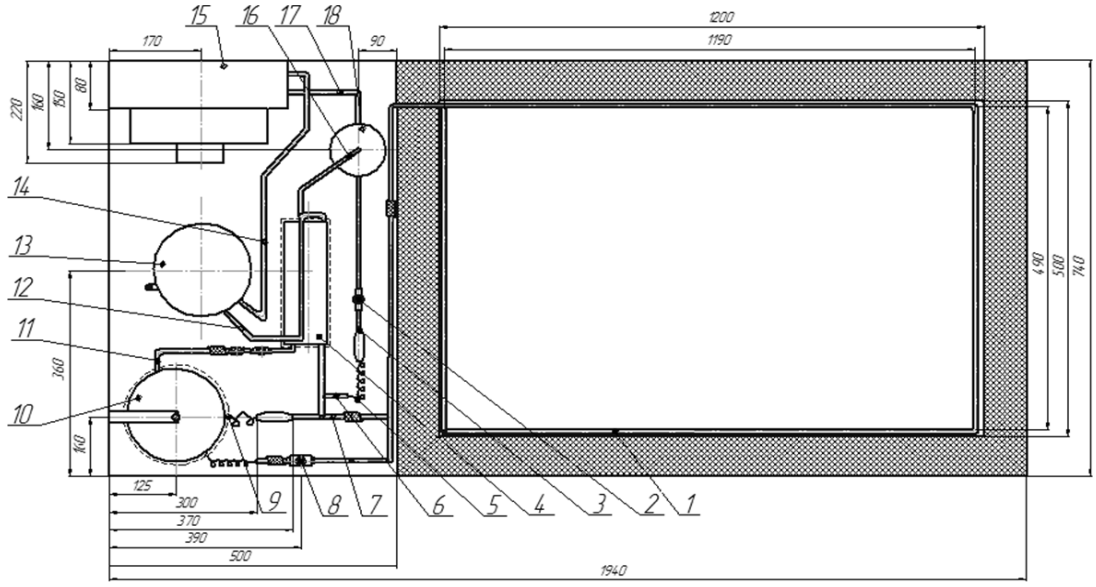
Soyuducu qurğunun fasiləsiz işləməsini təmin etmək üçün möhürlənmiş porşenli kompressor Cubigel GX18TB seçilmişdir. X seriyalı kompressorlarlar yüksək etibarlıdır və ağır aşağı temperatur şəraitində işləmək üçün nəzərdə tutulmuşlar [7]. Doldurulan soyuducu agentlərin qarışığı dəyişdirildi, xətti komponentlər, genişləndirici çən və qurğunun avtomatlaşdırma cihazları əlavə edildi.

Qurğuda müşahidə pəncərələri maye ayırıcıdan sonra R134a qazı olan xəttdə və kondensator-buxarlandırıcıdan sonra R23 ilə boru kəmərindəki maye boru kəmərlərində quraşdırılır. Şüşə quruducu-süzgəcdən öncə möhürlənmişdir və soyuducu agentlərin axmasını vizual olaraq izləməyə imkan verir.

İki soyuducu agentin qarışığı ilə işləyən qurğuda quruducu-filtr drossel qurğusundan əvvəl maye xətlərində quraşdırılır. əsas vəzifəsi - soyuducu agenti sudan qurutmaq və mexaniki çirkləndiricilərdən təmizləməkdir. Filtrin biri maye ayırıcıdan sonra (müşahidə şüşəsindən sonra), ikinci filtr R23 ilə kapilyar borunun qarşısında, hər iki istiqamətdə işləyən üçüncü filtr, genişləndirici çənə gedən kapilyar borunun qarşısında quraşdırılır.

Danfoss GBC tipli bağlama ventilləri R23 soyuducu agentin axını xəttində regenerativ istilikmübadilə aparatından sonra quraşdırılır. Ventillərdən biri müşahidə şüşəsi ilə quruducu-filtr arasında, digəri isə kapilyar boru ilə buxarlandırıcı arasında quraşdırılmışdır.

Bağlama ventillərinin bu yerlərdə quraşdırılmasının əsas funksiyası quruducu-filtri sxemdən kəsmək (əvəz etmək üçün), həmçinin kapilyar borunun uzunluğunu seçmək və R23 soyuducu agenti toplamaqdır. Boru kəmərləri kimi diametri 8 və 6 mm olan mis borulardan istifadə edilmişdir. Sorma tərəfində diametri 8 mm olan boru istifadə edilmişdir. Vurma tərəfində 6 mm diametrli bir boru istifadə edirik. Doldurma şlanqlarını müəyyən edilmiş nöqtələrdə birləşdirmək üçün Şreder ştutserlərindən və lehim birləşməli üçboğazlardan istifadə edilib.



Şək. 3. *Soyuducu agentlərin qarışığından istifadə etməklə aşağı temperaturlu birpilləli soyuducu qurğunun çertyoju:*
1 - buxarlandırıcı; 2 - baxış pəncərəsi; 3 – quruducu-filtr; 4 – kondensator-buxarlandırıcı; 5 – R134a və R23 soyuducu agentin kapilyar borusu; 6 – Şröder ştutseri; 7 – R23-ün sorma borusu; 8 – bağlayıci klapanlar; 9 - kapilyar boru; 10 - genişləndirici çən; 11 – R23 soyuducu agentin maye boru kəməri; 12 – R134a və R23 soyuducu agentlərin qarışığının sorma borusu; 13 – porşenli kompressor; 14 – R134a və R23 soyuducu agentlərin qarışığının buxar vurma boru kəməri; 15 - hava kondensatoru; 16 - R23 soyuducu agentin buxar borusu; 17 – R134a və R23 soyuducu agentlərin qarışığının buxar-maye borusu; 18 – maye ayırıcı

Soyuducu kameranın ümumi ölçüləri: 1200x500x600 mm, daxili həcmi 360 *l*. Buxarlandırıcı üçün diametri 8 mm və uzunluğu 23 m olan boru istifadə olunub. Buxarlandırıcının həcmi 0,29 *l*.

Mikroprosessor sayğac tənzimləyicisi 2TPM1 ilkin çeviricilər (sensorlar) ilə birlikdə temperaturu və digər fiziki parametrləri ölçmək və tənzimləmək üçün nəzərdə tutulmuşdur, onların dəyəri xarici sensor tərəfindən birbaşa sabit cərəyan və ya gərginlik siqnallarına çevrilə bilər.

Soyuducu qurğu hava ilə soyudulan kondensatorla təchiz edilmişdir. Burada istilikvermə, soyuducu qurğunun kondensatorundan oxboyu və ya mərkəzdənqaçma ventilyatordan istifadə edərək çox miqdarda havanın məcburi qovulması ilə həyata keçirilir. Kiçik soyuducu qurğular üçün hava ilə soyudulan kondensatorların quraşdırılması asan, xidmət olunması ucuzdur, xarici havanın aşağı temperaturda etibarlı işləyirlər. Bununla belə, onların işləməsi üçün kifayət qədər böyük miqdarda

Soyuducu agentlərin qarışığı ilə işləyən birpilləli soyuducu qurğuda maye ayırıcı kondensasiya olunmuş soyuducu agent R134a və qaz halında olan R23 fazalarını ayırmaq üçün nəzərdə tutulmuşdur.

Bu qurğudakı kondensator-buxarlandırıcı R134a soyuducu agentin qaynaması səbəbindən R23 soyuducu agentin kondensasiyası üçün nəzərdə tutulmuşdur. Soyuducu qurğunun sxemini tərtib edərkən, ilanvari tipli kondensator-buxarlandırıcının isttifadəsinə qərar verildi.

Soyuducu agentlərin qarışığından istifadə edən soyuducu qurğu (şəkil 3) aşağıdakı kimi işləyir.

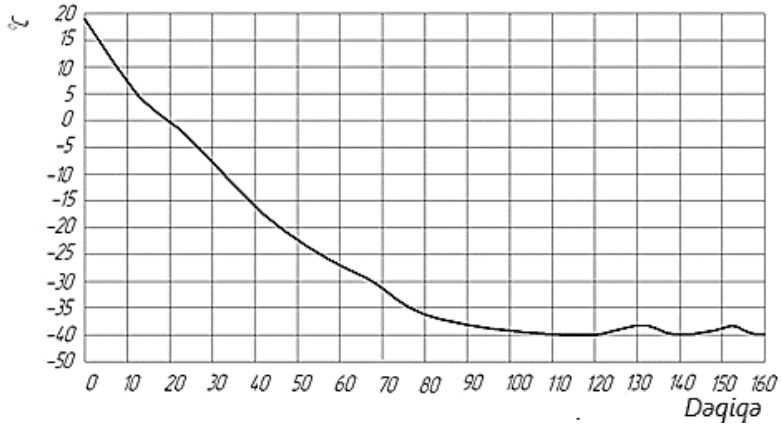
İstilik dəyişdiricisindən R134a+R23 buxarları kompressora sorulur. Porşenli kompressor 13 buxarı kondensator 15-ə vurur, burada yüksək temperatur komponenti R134a kondensasiya olunur, lakin R23 kondensasiya olunmur. Maye və buxar fazalarının qarışığı kondensatordan, fazaların ayrıldığı maye ayırıcıya 18 daxil olur. Ayrılan maye R134a drosselləmə qurğusunda 5 qaynama təzyiqinə qədər drosselləmə, buxarlandırıcıdan 1 gələn R23 buxar axını ilə qarışır və maye ayırıcıdan gələn R23 buxar fazasının soyudulması və kondensasiyası üçün kondensator-buxarlandırıcıya 4

göndərilir. Maye ayırıcıdan 10 R23 buxarları kondensator-buxarlandırıcıya 4 göndərilir və orada kondensasiya olunur. Sonra maye drosselləyici qurğuda 5 drosselllənir və buxarlandırıcıya 1 daxil olur. Buxarlandırıcıda R23 aşağı temperaturlu istilik mənbəyindən istilik alaraq qaynayır, buxarlanır və buxarlandırıcıdan 1 çıxışda, kondensator-buxarlandırıcıdan 4 əvvəl, R134a ilə qarışır. Kondensator-buxarlandırıcıda 4 qarışıq əlavə qızdırılır və kompressora sorulur.

Genişləndirici çən 10, soyuducu maşını dayandırıldıqda artan təzyiqdən qorumaq üçün lazımdır. Soyuducu maşın dayandırılarkən təzyiq artmağa başlayır və yüksək təzyiqli qaz genişləndirici çəninə 10 axır. Kompressor 13 işə salındıqda, soyuducu R23 əvvəlcə genişləndirici çəndən 10, sonra isə buxarlandırıcıdan 1 sorulur.

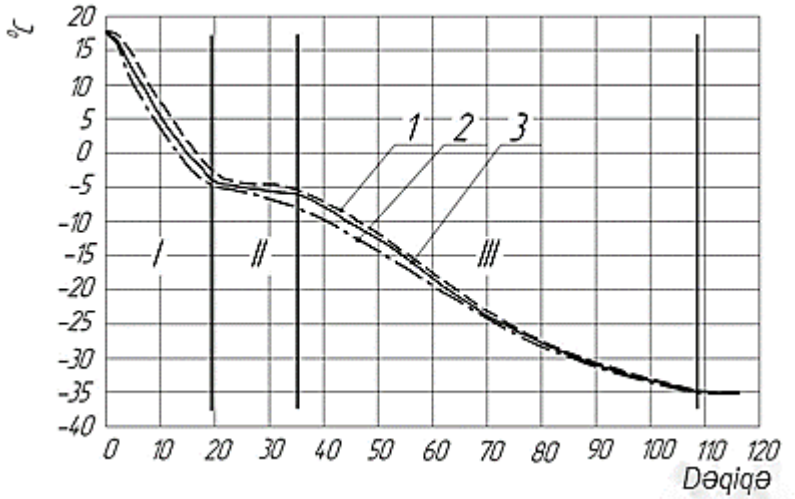
Qurğu yaxşı istismar göstəricilərinə malikdir: sürtkü yağı sistemdə soyuducu cihazlarda yığılmadan dövr edir və kompressora sorulan buxar bir qədər qızdırılır.

Şəkil 4-də soyuducu qurğunun kamerada göstərilən -40°C temperatur rejiminə çıxarılma termoqramı göstərilib. Termoqramdan belə çıxır ki, cihaz işə salındıqdan iki saat sonra rejimə çıxdı, temperaturun sonraki dəyişmələri soyuducu maşının işə salındığını və söndürüldüyünü göstərir. Kameranın soyudulan həcmində temperaturun -38...-40°C diapazonunda dəyişməsi ətraf mühitdən daxil olan istilik səbəbindən baş verib.



Şək. 4. *Qurğunun rejimə çıxmasının termoqramı*

Qurğunun işini yoxlamaq üçün pendirin dondurulması ilə bağlı bir sıra eksperimental tədqiqatlar aparılmışdır. Şəkil 5-də dondurma prosesinin termoqramı göstərilib.



Şək. 5. *Məhsulun dondurulması prosesinin termoqramı:*
1 – həndəsi mərkəzdə; 2 - xarici səthin altında; 3 – "X" məsafəsində; I - soyutma zonası;
II – kristallaşma zonası; III - donma zonası

Eksperimental nəticələrın təhlili göstərir ki, birinci dövrdə bütün təbəqələrdə temperaturun sürətlə azalması müşahidə olunur. Qat səthə nə qədər yaxın idi sə, içindəki temperatur bir o qədər tez azalırdı. İkinci mərhələdə, temperatur mənfi 4,5°C-ə çatdıqda, azalma yavaşladı. Dondurmanın üçüncü mərhələsi relyefdə, xüsusilə silindrin səthinə daha yaxın olan təbəqələrdə görünür. Məhsulun ilkin temperaturu 17,8°C-dən son temperatura -35°C-ə qədər məhsulun dondurulma müddəti 118 dəqiqə idi. Məhsulun kristallaşma temperaturu mənfi 4,5°C idi. 110-cu dəqiqədə, pendirin temperaturu mənfi 35°C olduqda, məhsulun dondurulması prosesi dayandı. Pendirin təxmini dondurulma sürəti 21 mm/saat idi.

Soyuducu agentlərin qarışığından istifadə edərək birpilləli soyuducu qurğu ilə, kamerada -40…-65°C diapazonda temperaturlara nail olmaq mümkündür.

Belə qurğular dərman vasitələrinin və bioloji obyektlərin uzunmüddətli saxlanması və dondurulması üçün istifadə olunur; ərzaq məhsullarının dondurulması üzrə tədqiqatların aparılması; istilik izolyasiyasının və tikinti materiallarının termodinamik xüsusiyyətlərinin öyrənilməsi; elektrik və maşınqayırma sənayesi məhsullarının sınaqdan keçirilməsi.

Beləliklə, soyuducu agentlərin qarışığından istifadə edərək baxılan birpilləli sıxılma soyuducu qurğusu kondensasiya təzyiqinin və qaynama təzyiqinin böyük nisbətlərində işləməyə imkan verir. Nəticədə, birpilləli sıxılma zamanı daha aşağı qaynama temperaturu əldə etmək mümkündür ki, bu da bütövlükdə soyuducu qurğunun kapital və istismar xərclərini azaldır.

Ədəbiyyat

1. İsgəndərov A.İ., İsmayılov A.Ş., Əliyev N.S. Gəmi soyuducu qurğuları və havanın kondisiyalaşdırma sistemləri: Dərslik. - Bakı: ADDA, 2016 -200 səh.
2. Şahverdiyev A.N., Quliyev H.M. Alternativ soyuducu agentlər və qarışıqlar. Monoqrafiya Bakı, "Elm" nəşriyyatı, 2002. -254 səh., 28 şək.
3. Курылев, Е.С. Холодильные установки / Е.С. Курылев, В.В. Оносовский, Ю.Д. Румянцев. – СПб.: Политехника, 2004. – 576 с.
4. Ultralow-temperature refrigeration [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.mandt systems. com/documents/ASHRAE_R02_39SI.pdf (Дата обращения 20 февраля 2016).
5. Курылев, Е.С. Низкотемпературные холодильные установки испытательных камер. Ч. 2 / Е.С. Курылев, Ю.Д. Румянцев // Интернет-газета Холодильщик.ru. – 2008. – № 2 (38) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.holodilshchik. ru/index_ holodilshchik_ issue_ 2_2008_Test_cameras.htm (Дата обращения 15 марта 2016).
6. Бабакин, Б.С. Альтернативные хладагенты и сервис холодильных систем на их основе / Б.С. Бабакин, В.И. Стефанчук, Е.Е. Ковтунов. – М.: Колос, 2000. – 160 с.
7. Короткий, И.А. Машины низкотемпературной техники. Ч. I / Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. – Кемерово, 2004. –127 с.

Məqalə qəbul olunub: 29.03.24
Tövsiyə edib: dos. İsmayılov A.Ş.

UOT 681.5.01

QEYRİ-MÜƏYYƏNLİK ŞƏRAİTİNDƏ TƏNZİMLƏYİCİLƏRİN SİNTEZİ MƏSƏLƏSİ

Fərhadov V.Q., Qocayeva A.B., Bayramova İ.P.

Azərbaycan Texniki Universiteti
AZ1073, Bakı şəh., H. Cavid pros., 25
"Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası" PHŞ
AZ1000, Bakı şəh., Z. Əliyeva küç., 18
E-mail: vahidf@mail.ru, genclik76@mail.ru

Xülasə. *Əksər obyektlər bu və ya digər dərəcədə qeyri-müəyyənliklər mühitində fəaliyyət göstərirlər. Ədəbiyyat icmallarından qeyri-müəyyənlikləri aşağıdakı kimi təsnif etmək olar: xarici həyacanlandırıcı təsirlər.Bu halda mühitin xassələri dəyişir; daxili və ya parametrik həyacanlandırıcı təsirlər. Bu halda isə obyektin özünün xassələri dəyişir. Qeyri-müəyyənliyin dərəcəsinə görə isə onlar determinik, stoxastik, robast, qeyri-səlis kimi növlərə ayrılırlar. Burada nəzərdə tutulur ki, sistemə təsir edən xarici həyacanlandırıcı təsirin tipi yox, yalnız hədd qiyməti məlumdur. Aydındır ki, həyacanlandırıcı təsirlərin bilavasitə ölçülməməsi sintez məsələsini əhəmiyyətli dərəcədə çətinləşdirir. Bu halda invariantlıq nəzəriyyəsindən istifadə etmək mümkün olmadığından astatizmi təmin etmək üçün yeganə çıxış yolu kimi meyiletməyə görə, yəni əks əlaqə prinsipi üzrə qurulmuş sistemlərdən istifadə olunur. Belə sistemlərdə statik xəta yalnız zamanın sonsuz qiymətində tam kompensasiya olunur. Ona görə elə kompensasiya qanunu qurmaq tələb olunur ki, həyacanlandırıcı təsir daima təsr etdikdə, belə onu kompensasiya etsin. Başqa sözlə, kompensasiya qanunu həyacanlandırıcı təsirin tipinə nəzərən seçici astatizmə malik olsun.*

Аннотация. *Большинство объектов в той или иной степени работают в условиях неопределенности. Согласно обзору литературы неопределённости можно классифицировать следующим образом: внешние возбуждающие воздействия, при этом изменяются свойства среды; внутренние или параметрические возбуждающие эффекты. При этом изменяются свойства самого объекта. По степени неопределённости они делятся на детерминированные, стохастические, робастные и нечёткие. При этом предполагается, что известно только пороговое значение, а не тип внешнего возбуждения, воздействующего на систему. Очевидно, что отсутствие прямого измерения возбуждающих эффектов существенно усложняет вопрос синтеза. В этом случае, поскольку использовать теорию инвариантности невозможно, в качестве единственного выхода для обеспечения астатизма используются системы, построенные по смещению, то есть основанные на принципе обратной связи. В таких системах статическая ошибка полностью компенсируется только при бесконечном значении времени. Поэтому требуется установить такой закон компенсации, который компенсирует раздражающее воздействие даже при его постоянном действии. Иными словами, компенсаторный закон должен обладать избирательным астатизмом по типу возбуждающего воздействия.*

Abstract. *Most entities operate in an environment of uncertainties to one degree or another. From the literature reviews, uncertainties can be classified as follows: external exciting effects. In this case, the properties of the environment change; intrinsic or parametric excitatory effects. In this case, the properties of the object itself change. According to the degree of uncertainty, they are divided into deterministic, stochastic, robust, and fuzzy types. It is assumed here that only the threshold value is known, not the type of external excitation affecting the system. Obviously, the lack of direct measurement of excitatory effects significantly complicates the question of synthesis. In this case, since it is not possible to use the theory of invariance, systems built according to bias, that is, based*

on the principle of feedback, are used as the only way out to ensure astatism. In such systems, the static error is fully compensated only at the infinite value of time. Therefore, it is required to establish such a law of compensation that compensates the excitatory effect even when it is constantly acting. In other words, the compensatory law should have selective astatism with respect to the type of excitatory effect.

Açar sözlər: *sistemin dinamikası və statikası, astatizm, gücləndirmə əmsalı, statik xəta, keçid prosesi*

Ключевые слова: *динамика и статика системы, астатизм, коэффициент усиления, статическая ошибка, переходный процесс*

Key words: *system dynamics and statics, astatism, amplification factor, static error, transition process*

Giriş. Əksər obyektlər bu və ya digər dərəcədə qeyri-müəyyənliklər şəraitində fəaliyyət göstərdiyindən və həyacanlandırıcı təsirlərin bilavasitə ölçülməsi mümkün olmadığından sintez məsələsi xeyli çətinləşir. Xarici həyacanlandırıcı təsirlərə qarşı seçici astatizmə malik olan tənzimləyicilərin sintezi əsas məsələlərdən biridir. Xətanın azaldılmasının klassik üsullarından biri açıq sistemin gücləndirmə əmsalının artırılmasıdır. Lakin bu halda sistemin dayanıqlıq ehtiyatları azalır [1].

Xətti tənzimləmə sistemlərində həyacanlandırıcı təsiri kompensasiya etmək üçün idarə qanunun tərkibinə inteqrallar əlavə olunur. Belə yanaşma yalnız polinomu həyacanlandırıcı təsiri tam kompensasiya edib statik xətanın sırfa bərabər olmasını təmin edir. Bundan başqa inteqralın mövcudluğu statik xətanı ləğv etsə də keçid proseslərinin keyfiyyətinə xələl gətirir.

Bundan başqa, həyacanlandırıcı təsirin tipi dəyişdikdə, məsələn, vahid impuls olduqda inteqral toplananın mövcudluğu idarəetmənin keyfiyyət göstəricilərini pisləşdirir.

Rele idarə qanunun köməyi ilə yaradılan sürüşmə rejimində xarici və parametrik həyacanlandırıcı təsirlər ölçülmədikdə idarə siqnalının səviyyəsini kifayət qədər böyük götürməklə onları kompensasiya etmək mümkünüdür [1,2]. Son zamanlar sürüşən rejimdə idarə siqnalının tezliyini azaltmaq üçün qeyri-səlis sürüşən rejimdən istifadə etmək təklif olunur [3,4].

Ümumiyyətlə, rele tipli sürüşən rejimlərdə idarə siqnalı maksimal həddqiymətləri aldığından bu rejimlər enerji məsrəfi baxımıdan səmərəli deyillər. Bundan başqa həyacanlandırıcı təsirin həddqiyməti azaldıqda idarənin qiyməti əvvəlki səviyyədə qaldığından keyfiyyətə mənfi təsir göstərir. Beləliklə aşağıdakı məsələ meydana çıxır.

Əsas hissə. Elə kompensasiya qanunu qurmaq tələb olunur ki, həyacanlandırıcı təsir daima təsr etdikdə, məsələn vahid təkan şəklində, onu kompensasiya etsin, ani təsir edən impuls olduqda isə işləməsin. Başqa sözlə kompensasiya qanunu həyacanlandırıcı təsirin tipinə nəzərən seçici astatizmə malik olsun. Beləliklə, obyektə həyacanlandırıcı qüvvələr təsir etdikdə tənzimləmə sistemində statik (qərarlaşmış) Δ_c xətası meydana çıxdığı səbəbindəndən tənzimləmə nəzəriyyəinin və praktikasının əsas məsələlərindən biri həyacanlandırıcı təsirlərin kompensasiya üsullarının işlənməsidir. Bu üsulları informativlik baxımından iki qrupa ayırmaq olar:

a) həyacanlandırıcı təsir ölçülə bilən və ya qiymətləndiriləndir;

b) həyadanlandırıcı təsir öçülə bilmir.

Birinci halda kompensatorun ötürmə funksiyasını tapmaq üçün invariantlıq nəzəriyyəsindən istifadə olunur [1]. Fiziki realizasiya problemini nəzərə almasaq invariant sistemlər aşağıdakı üstünlüklərə malikdir: kompensatorun ötürmə funksiyası həyacanlandırıcı təsirin tipindən asılı deyil; kompensasiya $t = 0$ anından həyata keçirilir ki, bu da onun keçid prosesinin keyfiyyətinə və sistemin dayanıqlığına təsirini aradan qaldırır. Çatışmayan cəhəti isə həyacanlandırcı təsirin ölçülməsinin vacibliyidir.

İkinci halda həyacanlandırıcı təsirin tam kompensasiyası sonsuzluqda baş verir, yəni $t = \infty$ nöqtəsində $\Delta_c = 0$ olur. $\Delta_c = 0$ olan sistemlər *astatik sistemlər* adlanır.

Xətti sistemlərdə astatizmin təmin olunmasının ən ümumi şərti qapalı idarəetmə sistemlərinin xəyata nəzərən tapşırıq g və f kanalları üzrə ötürmə funksiyalarının sıfırları içərisində uyğun $G(s)$ və $F(s)$ təsvirlərinin bütün qütübləri mövcud olmalıdır [1]. Bu şərt tənzimləyicinin ötürmə funksiyasını müvafiq qaydada seçmək yolu ilə təmin olunur.

Tutaq ki, $f = 0$, $g = 1(t) \Rightarrow G(s) = 1/s$. Burada qütb $s_1 = 0$. Obyektin idarə kanalı üzrə ötürmə funksiyasını W_u, tənzimləyicinin ötürmə funksiyasını isə W_T - işarə edək. Onda idarəetmə sistemlərinin (g-ε) kanalı üzrə ötürmə funksiyasını aşağıdakı şəkildə yazmaq olar:

$$W_g^{\varepsilon} = \frac{1}{1 + W_T W_u}$$

$W_T = M_T / D_T$, $W_u = M_u / D_u$ - işarə edək. Onda

$$W_g^{\varepsilon} = \frac{D_T D_u}{D_T D_u + M_T M_u}.$$

W_g^{ε} ötürmə funksiyasının sıfırları, yəni $D_T D_u = 0$ polunomunun köklərinin tərkibində $s_1 = 0$ qütbünün mövcud olması üçün tənzimləyicinin ötürmə funksiyasında $D_T = s$ qəbul etmək kifayyətdir. Yəni tənzimləyicinin tərkibində I (interqral) mövcud olmalıdır. Əgər $M_T = k_T = const$ qəbul etsək, $W_T = k_T/s$ və sırf inteqral tənzimləyici almış olarıq. Bu halda Δ_c-nin mövcud olub-olmamasını yoxlayaq. Xətanın təsviri

$$E = W_g^2 G = \frac{sD_u}{sD_u + k_T M_u} \cdot \frac{1}{s}$$

olduğundan həddd teoreminə əsasən onun həddd qiyməti, yəni $\varepsilon(\infty) = \Delta_c$:

$$\Delta_c = \lim_{s \to 0} s \left(\frac{sD_u}{sD_u + k_T M_u} \cdot \frac{1}{s} \right) = 0.$$

Göründüyü kimi, inteqral toplananın köməyi ilə giriş vahid təkan siqnalı olduğu halda astatizmi təmin etmək mümkündür.

Avtomatik tənzimləmənin praktikasında nəzarət olunmayan xarici həyacanlandırıcı təsirləri kompensasiya etmək üçün əsas üsul idarə qanununun tərkibinə xətanın inteqralının daxil edilməsidir [3,4]. Belə yanaşma həyacanlandırıcı təsirlər yalnız sabit siqnal, yəni vahid təkan olduğu halda, statik xətanın asimptotik aradan qaldırılmasının təmin edir. Lakin həyadanlandırıcı təsirin kompensasiyası üçün nəzərdə tutulmuş inteqral toplananı sistemin dinamikasına da təsir göstərərək keçid proseslərinin rəqsliliyini artırır.

Bundan başqa, xarici təsir impuls şəklində olduqda, yəni sistemin yalnız başlanğıc vəziyyəti dəyişdikdə inteqrala ehtiyac olmur. Lakin inteqral daima qoşulu olduğundan keçid prosesilərinin rəqsliliyinə gətirir.

Əvvəlcə inteqralın keçid proseslərinin rəqsliliyini artırmasını nümayiş etdirmək üçün birinci tərtib dayanıqlı aperiodik obyektə baxaq:

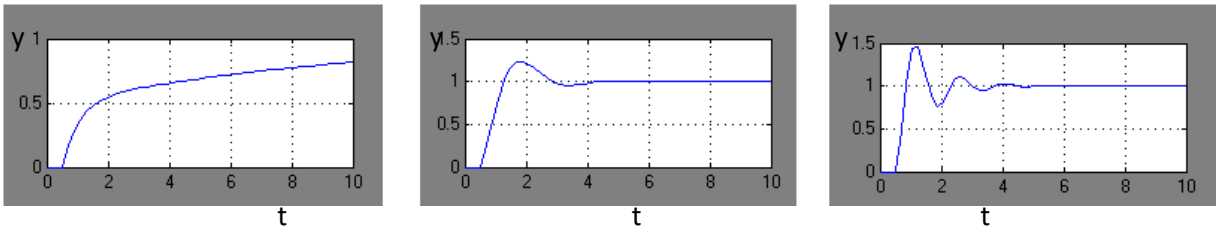
$$\dot{y} = -ay + bu, \quad a > 0, \; b > 0.$$

İdarə qanununu Pİ şəklində seçək:

$$U = k_p \varepsilon + k_i \int_0^t \varepsilon dt.$$

Burada sazlama parametri k_p = 1 və a = 1, b =1 qəbul edək. ε = g – y - tənzimləmə xətası, g =1 tapşırq siqnalıdır.

Şəkil 1,a-v-də k_i = {0,2;5;20} qiymətlərində keçid prosesləri göstərilmişdir.

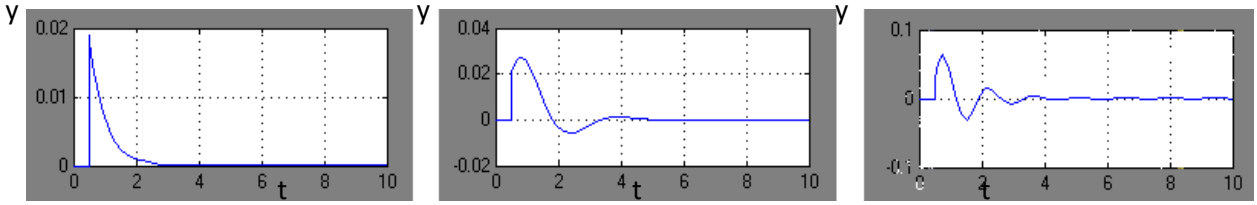


a) b) v)

Şəkil 1. *İnteqrallama əmsalının müxtəlif qiymətlərində keçid prosesləri*

Şəkildən göründüyü kimi inteqrallama əmsalı artdıqca keçid proseslərinin rəqsliliyi artır. Əmsalın kiçik qiymətlərində statik xəta artır. Deməli hər iki göstəricinin eyni zamanda yaxşılaşdırılması ziddiyətlidir.

İkinci halda tapşırıq siqnalı kimi $g = \delta(t)$ vahid impuls götürülmüşdür. Bu halda k_i = {0;5;20} qiymətlərində şəkil 2,a-v-də keçid prosesləri göstərilmişdir.



a) b) v)

Şəkil 2. $g = \delta(t)$ *olduqda* k_i *= {0;5;20} qiymətlərində keçid prosesləri*

Baxılan halda sistemin sərbəst hərəkətinə baxıldığından çıxış $y(\infty)$ = 0 sıfra yaxınlaşmalıdır. Göründüyü kimi k_i = 0 qiymətində keçid prosesi həm statik xətaya nəzərən, həm də rəqslilik göstəricisinə görə daha önəmlidir. Deməli, bu halda inteqral toplananın mövcudluğu lazım deyil.

Prinsipcə xarici təsiri identifikasiya edib $g = \delta(t)$ olduqda inteqral toplananı sxemdən açmaq mümkündür. Lakin bu zaman həyacanlandırıcı təsir identifikatorundan istifadə etmək lazım gələcəkdir ki, bu da idarəetmə sisteminin quruluşunu olduqca mürəkkəbləşdirir.

İşində vahid təkan $1(t)$ və vahid impuls $\delta(t)$ halında sistemin dinamik xüsusiyyətlərinin fərqli olması faktından istifadə olunmuşdur. Kompensasiya siqnalı elə siqnallardan tərtib olunur ki, bunlar 1(t) halında müəyyən qiymətə malik olur, $\delta(t)$ halında isə baş çoxluq əmələ gətirir .

Praktikada xarakterik olan iki tip həyacanlandırıcı təsirlərə qarşı seçici astatizmin təmin olunması məsələsinə baxacağıq: vahid təkan və vahid impuls.

Praktikada daha geniş yayılan ikinci tərtib birölçülü obyektə baxaq:

$$\ddot{y}(t) + a_1\dot{y}(t) + a_2 y(t) = bu + f\,,$$

burada $y(t)$ – idarə olunan kəmiyyət; u - idarə siqnalı; f - həyacanlandırıcı təsirdir.

İdarə təsirini aşağıdakı şəkildə təyin edək:

$$u = u_s + u_k\,,$$

burada u_s - obyektin dinamik keyfiyyət göstəricilərini təmin etmək üçün nəzərdə tutulmuş əks əlaqəli stabilləşdirici idarə: $u_s = \alpha\varepsilon$, $\varepsilon = g - y(t)$ - tənzimləmə xətası; u_k - kompensasiyaedici hissədir. Onda qapalı sistemin tənliyi:

$$\ddot{y}(t) + a_1\dot{y}(t) + (a_2 + b\alpha)y(t) = b\alpha g + bu_k . \quad (1)$$

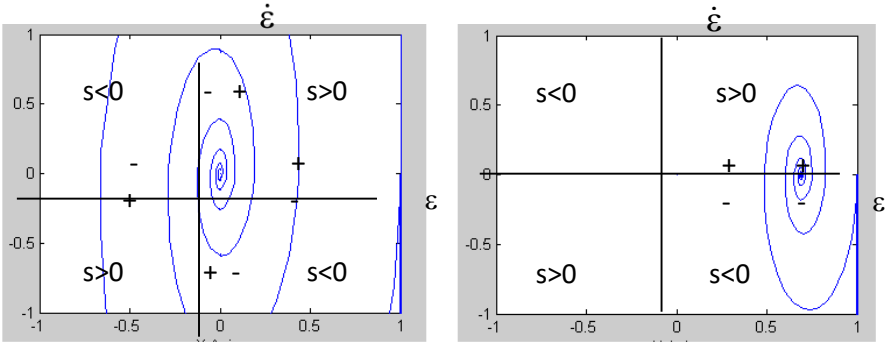
$y = x_1,\ \dot{y} = x_2$ işarə edib (1) tənliyini normal formada yazaq:

$$\dot{x}_1 = x_2,$$
$$\dot{x}_2 = -(a_2 + b\alpha)x_1 - a_1x_2 + b\alpha g + u_k . \quad (2)$$

Sistem (2)-nin dayanıqlı rəqsi sistem olduğu hala baxaq. Bunun üçün $a_1,\ a_2 > 0,\ a_1^2/4 < (a_2 + b\alpha)$ şərtləri ödənilməlidir.

Kompensasiya qanununun qurulması. Şəkil 3, a və b-də (2) sisteminin $u_k = 0;\ a_1 = 1,\ a_2 = 10;\ \alpha = 4{,}5;\ b = 1$ qiymətlərində faza parametrləri göstərilmişdir. Birinci şəkildən göründüyü kimi $g = \delta(t)$ vahid impuls olduğu halda faza traektoriyasının $s = \varepsilon\dot{\varepsilon} > 0$ oblastından $s < 0$ oblastına keçidləri $\varepsilon \neq 0$ qiymətlərində, $s < 0$ -dan $s > 0$ oblastına keçidləri isə xətanın $\varepsilon = 0$ qiymətlərində baş verir. Bu xüsusiyyət $\delta(t)$-nin tarazlıq nöqtəsinin yerini dəyişə bilmədiyindən bu nöqtənin koordinat mərkəzində olması ilə əlaqədardır.

İkinci şəkildə $s < 0$ oblastından $s > 0$ oblastına keçidlər $\varepsilon \neq 0$ qiymətlərində baş verir. Bu fərq $1(t)$ siqnalının tarazlıq nöqtəsini absis oxu üzrə $\Delta_c = 1 - b\alpha g(a_2 + b\alpha) = 0{,}7$ nöqtəsinə sürüşdürməsi ilə əlaqədardır.



Şəkil 3. *Sistemin g = δ(t) və g = 1(t) halında faza portretləri*

$s < 0$ oblastından $s > 0$ oblatına keçidlərin absisini ε_-^+ ilə işarə edək. Kompensasiya siqnalını

$$u_k = \beta\sum_{i=1}^{\infty}\varepsilon_-^+(t_i) \quad (3)$$

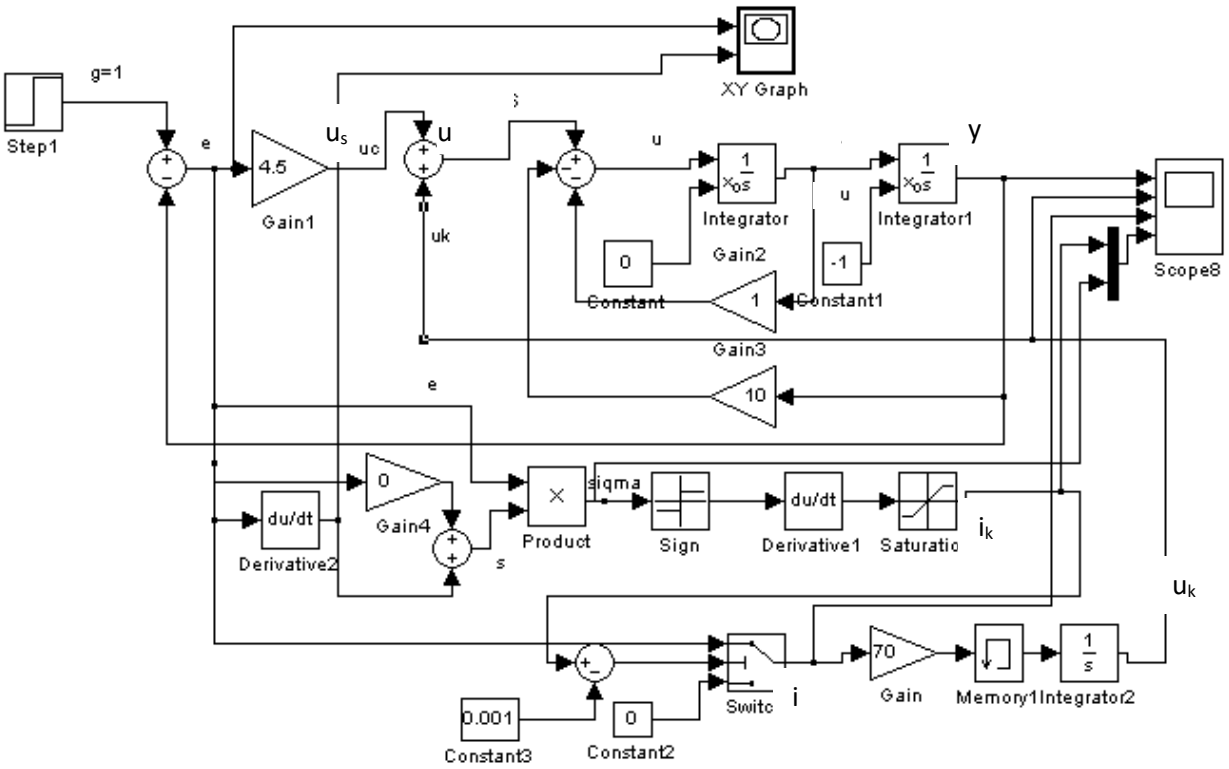
şəklində formalaşdırsaq avtomatik olaraq $g = \delta(t)$ halında $u_k = 0$, $g = 1(t)$ halında isə $u_k \neq 0$ olacaqdır. Burada β = const - sazlama parametridir.

Kompensasiya siqnalının realizasiyası. Dəyişmə $s = \varepsilon\dot{\varepsilon}$ funksiyasının işarəsi dəyişdikdə «siqn» relenin çıxışında pilləvari siqnal alınır. Bu siqnal «derifative» differensiallayıcısına verilərək əmr impulslarına çevrilir. Trayektoriya $s < 0$-dan $s > 0$ oblastına keçdikdə törəmə $ds/dt > 0$ olduğundan bu impulslar müsbət, əks istiqamətə keçdikdə isə mənfi, yəni aşağı istiqamətlənmiş olur.

Mənfi impulslar bizə lazım olmadığından onları «saturation» elementinin köməyi ilə aşağı sərhəddini (0) verməklə aradan qaldırırıq.

Müsbət i_k əmr impulslarında «switch» kommutatorunun açarı ani olaraq yuxarı vəziyyətə keçərək xəta $\varepsilon_-^+(t_i)$ siqnalını i impulsları şəklində götürür. Qalan vaxtda açar aşağı vəziyyətdə olaraq diskret inteqratorun girişinə sıfır siqnalı verir. Beləliklə, (3) ifadəsinə əsasən $\varepsilon_-^+(t_i)$

impulsları toplanaraq u_k kompensasiya siqnalını formalaşdırır. İmpulsların yaxşı inteqrallaşması üçün onlar qısa müddətə «Memory» (yaddaş) elementinin köməyi ilə yadda saxlanaraq intensivliyi (sahəsi) artırılır. Uyğun sistemin modelləşdirmə sxemi şəkil 4-də göstərilmişdir.



Şəkil 4. *İdarəetmə sisteminin modelləşdirmə sxemi*

Təklif olunan sistemin iş qabiliyyəti parametrlərin $a_1 = 1;\ a_2 = 10;$ b=1; $\alpha = 4{,}5;\ \beta = 80;\ c = 0$ qiymətlərində yoxlanılmışdır. Bu halda «giriş-çıxış» şəklində yazılmış (1) sistemin tənliyi tapşırığın g = 1, f = 0 halında:

$$\ddot{y}(t) + \dot{y}(t) + 14{,}5y(t) = 4{,}5 + u_k\,.$$

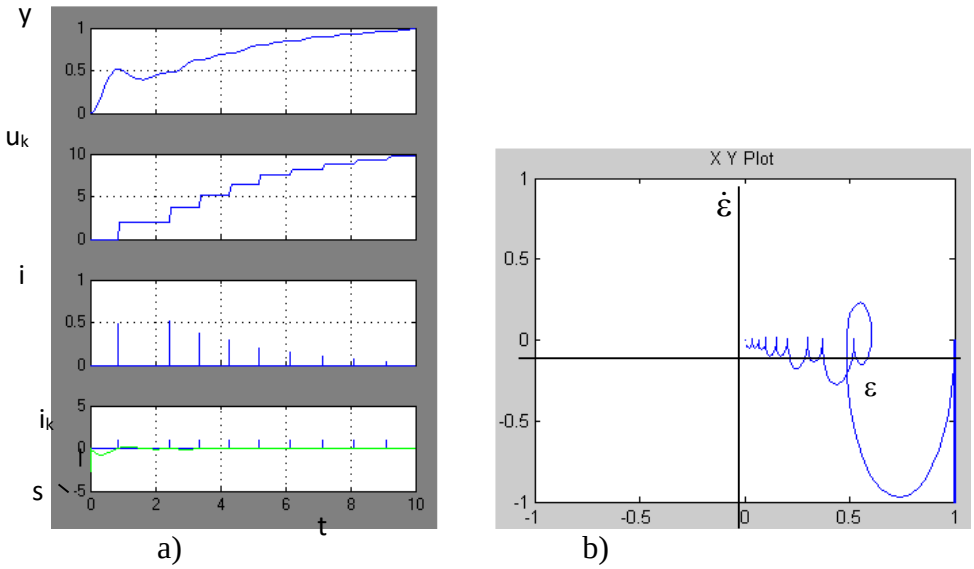
İdarə olunan $y(t)$ kəmiyyətinin qərarlaşma qiymətini təyin etmək üçün stasionarlıq şərtindən istifadə edək:

$$14{,}5y(t) = 4{,}5 + u_k.$$

Buradan y = g = *1* qiymətini təmin edən kompensasiya siqnalı u_k = 10 olmalıdır.

Şəkil 5, a və b-də tənzimləmə sisteminin $g = 1(t)$ qiymətində dinamik xarakteristikaları və faza portreti göstərilmişdir. Şəkil 5,a-dan göründüyü kimi idarə olunan kəmiyyət $y(t)$ özünün tapşırıq g = 1 qiymətinə ifrat tənzimləməsiz və $t_T \approx 10$ s. vaxta çatmışdır. Daha sonra u_k kompensasiya siqnalının $\varepsilon_{-}^{+}(t_i)$ impulslarının (şəkildə i - ilə işarə olunmuşdur), i_k əmr siqnalının və $s(t)$ dəyişmə funksiyasının dəyişmə xarakteri göstərilmişdir.

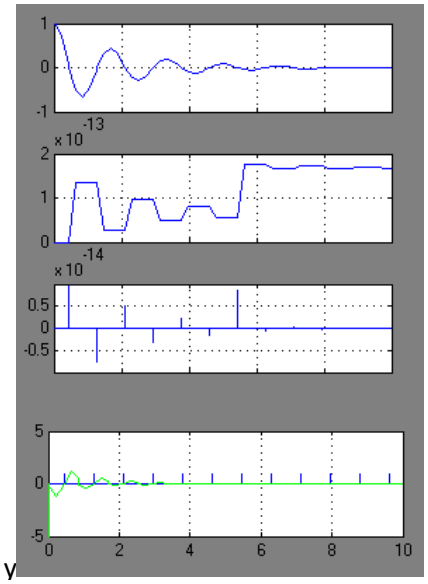
Şəkil 5,b-də sistemin faza portreti göstərilmişdir. Şəkildən göründüyü kimi kompensasiyanın hesabına xəta ε və onun törəməsi $\dot{\varepsilon}$ sıfra yaxınlaşır. Koordinat başlanğıcında kiçik amplitudlu rəqslər müşahidə olunur.



a) b)

Şəkil 5. *Sistemin $g = 1(t)$ halında dinamik xarakteristikaları və faza portreti*

Şəkil 6-da sistemin sərbəst hərəkəti zamanı, yəni $g = \delta(t)$ halında analoji xarakteristikaları göstərilmişdir. Kompyüter realizasiyası zamanı vahid impuls ekvivalent $x_{10} = y_0 = 1$ başlanğıc şərtlə və $g = 0$ qiyməti ilə əvəz olunmuşdur. Bir sıra hesablama nüanslarını göstərək. Əvvəldə dəyilənə əsasən $g = \delta(t)$ qiymətində $u_k = 0$ olmalı idi. Lakin diskretləşdirmə nəticəsində faza traektoriyasının ordinat oxunu aşdıqda $\varepsilon_{-}^{+}(t_i) = 0$ şərti dəqiq ödənilməyib, kiçik qiymətlər alır. Göründüyü kimi bu impulsların dəyişmə diapazonu çox kiçik olub $\pm 0{,}5 \cdot 10^{-14}$ təşkil edir. Belə impulsların inteqrallanması isə $u_k \approx 2 \cdot 10^{-13} \approx 0$ olur. $y(t)$-nin sıfra yaxınlaşma dəqiqliyindən göründüyü kimi bu qiymət keçid prosesinə demək olarki təsir etmir. İlkin (2) sisteminin sərbəst hərəkəti, yəni $g = 0$, $u_k = 0$ halında rəqsi olduğundan $y(t)$ üzrə keçid prosesi də rəqsi alınmışdır.

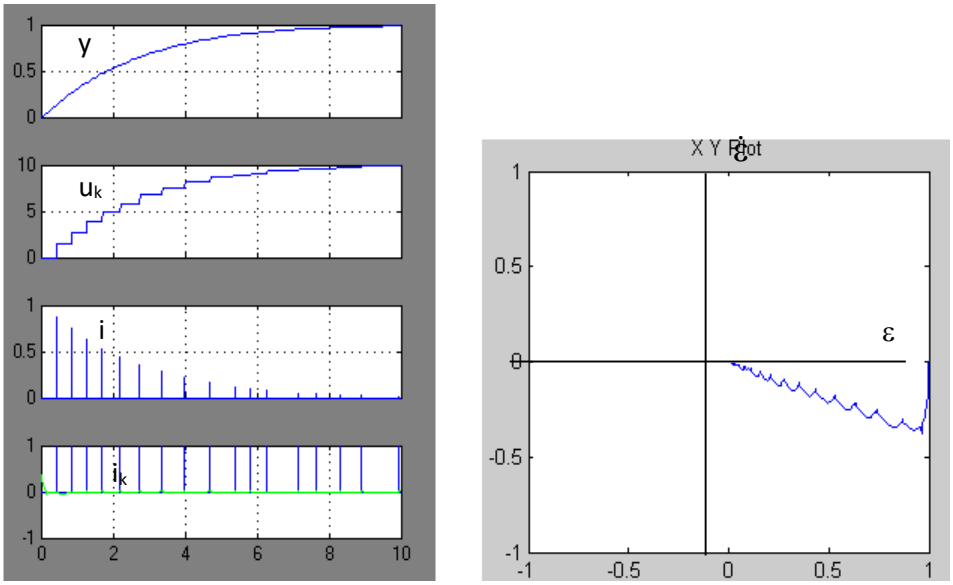


Şəkil 6. *$g = \delta(t)$ halında sistemin dinamik xarakteristikaları*

Məcburi hərəkətdən ($g = 1$) fərqli olaraq sistemin sərbəst hərəkəti zamanı $u_k = 0$ olması idarəetməyə sərf olunan enerjiyə qənaət etməyə imkan verdiyindən çox mühüm nəticədir.

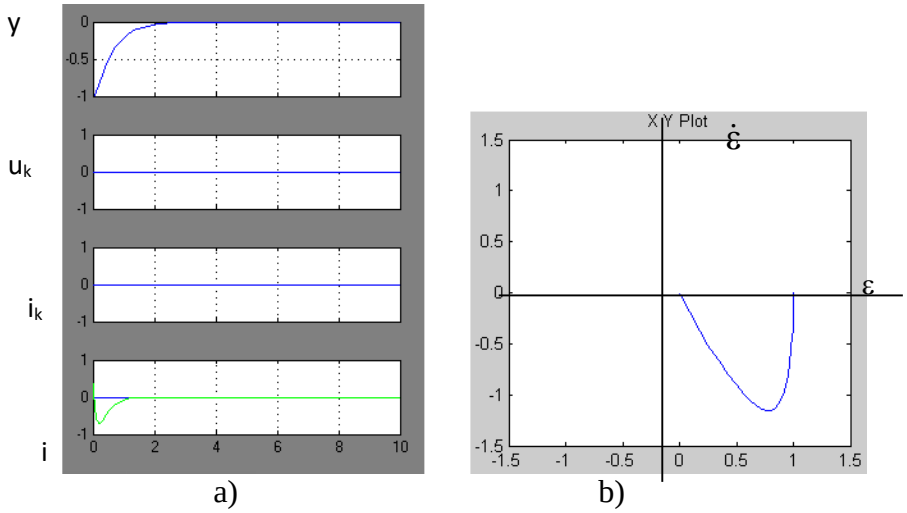
Rəqsliliyin aradan qaldırılması. Əgər hər hansı bir səbəbdən keçid proseslərinin rəqsliliyi yolverilməzdirsə, onda (2) tənliyi üçün α sazlama parametri aperiodik dayanıqlıq şərtini ödəməlidir: $a_1, a_2 > 0, \quad a_1^2 / 4 \geq (a_2 + b\alpha)$.

Lakin bu halda faza trayektoriyası absis oxunu $s < 0$ -dən $s > 0$ istiqamətdə kəsə bilmədiyindən hər iki həyacanlandırıcı təsir halında $u_k = 0$ olacaqdır. $\varepsilon_-^+(t_i)$ elementlərinin meydana çıxmasını təmin etmək üçün absis oxunu $s = \dot{\varepsilon} + c\varepsilon$ -düz xətti ilə əvəz edək. Bu halda dəyişmə funksiyası $\sigma = sx_1$ olur. Yəni $\varepsilon_-^+(t_i)$ elementlərinin formalaşdırılması ordinat $x_1 = 0$ oxunun və $s = 0$ xəttinin üzərində baş verir. $s = 0$, $c > 0$ xətti absis oxundan aşağıda yerləşdiyindən $g = 1(t)$ halında aperiodik faza trayektoriyaları onu kəsəcək və beləliklə, sıfra bərabər olmayan $\varepsilon_-^+(t_i)$ toplananları meydana çıxaraq u_k kompensasiya siqnalının formalaşdıracaqdır. Keçid proseslərinin keyfiyyət göstəriciləri α və β-dan başqa bucaq əmsalı c-nin qiymətindən çox asılıdır.



a) b)

Şəkil 7. *Aperiodik obyektin g = 1(t) halında dinamik xarakteristikaları*



a) b)

Şəkil 8. *Aperiodik obyektin g = δ(t) halında dinamik xarakteristikaları*

Şəkil 7 və 8-də $a_1 = 10;\ a_2 = 10;\ b = 1;\ \alpha = 4{,}5;\ \beta = 80;\ c = 0{,}35$ qiymətlərində aperiodik sistemin $g=1(t)$, $x_0 = (0,0)^T$ və $g = \delta(t)$, $x_0=(-1,0)^T$ halında dinamik xarakteristikaları göstərilmişdir. Göründüyü kimi hər iki halda keçid prosesi $y(t)$ əvvəlki kimi rəqsi deyil, monoton alınmışdır.

Nəticə. Real sistemlədə xarici və parametrik həyacanlandırıcı təsirlər mövcud olduğundan tənzimləyicinin astatik və adaptiv xassəyə malik olmasını təmin etmək onun tətbiq sahəsini və effektivliyini artırmış olur. Əsas məsələlərdən biri odur ki, tənzimləyici ən xarakterik həyacanlandırıcı təsirlər olan vahid təkan və vahid impuls tipli təsirlərə qarşı seçici astatizmə malik olsun. Xətti sistemlərdə bu xassəyə malik olan idarəetmə qanunu, daha doğrusu idarəetmə qanununun kompensasiyaedici toplananının formalaşdırılması üsulu təklif olunmuşdur. Sistemin sərbət hərəkəti zamanı kompensasiya siqnalı sıfra bərabər olduğundan, idarəetməyə sərf olunan enerjiyə qənaət olunur. Nəzəri müddəaların doğruluğu konkret misallarda kompyüter modelləşdirilməsinin köməyi ilə təsdiq edilmişdir.

Ədəbiyyat

1. Farhadov V.Q., Bayramova İ.P., İsmayilov S.S., Alijanov R.R. Synthesis of second-order invariant control systems with large gain ratio. International Journal on "Technical and Physical Problems of Engineering" (IJTPE) Published by International Organization of IOTPE ISSN 2077-3528 Ijtpe Journal www.iotpe.com ijtpe@iotpe.com September 2023 Issue 56 Volume 15 Number 3 Pages 298-302
2. Rüstəmov Q.Ə. Avtomatik tənzimləmə nəzəriyyəsi. 1-ci hissə, Bakı, Nasir, 2003, 404 s.
3. Rüstəmov Q.Ə. Avtomatik tənzimləmə nəzəriyyəsi, 2-ci hissə, Bakı, Nasir, 2006, 528 s.
4. Lagrat I., Ouakka H., Boumhidi E. Fuzzy sliding Mode PI Controller for Nonlinear Systems. /Proceedinds of the 6-th ÜSEAS İnternational Conference on Simulation, Modelling and Optimization, Lisbon, Portugal, September 22-24, 2006, pp.1-6.

Məqalə qəbul olunub: 29.03.24
Tövsiyə edib: dos. İsmayılov A.Ş.

UOT 681.5.01

DƏYİŞƏN STRUKTURLU VƏ MƏNTİQİ İDARƏETMƏ ALQORİTMLƏRİNİN İŞLƏNİLMƏSİ

Fərhadov V.Q., Qocayeva A.B., Mirzəquliyev R.E., Bayramova İ.P.

Azərbaycan Texniki Universiteti
AZ1073, Bakı şəh., H. Cavid pros., 25
"Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası" PHŞ
AZ1000 Bakı şəh., Z. Əliyeva küç., 18
E-mail: vahidf@mail.ru, genclik76@mail.ru

Xülasə. *Sürüşən rejimdə işləyən sistemlər robast sistemlərə aid edilmişdir. Bu rejimlər məntiqi, rele və dəyişən strukturlu sistemlərdə müşahidə olunur. Sürüşən rejimlər əsasən parametrik qeyri-müəyyənliklərə qarşı robastlığı təmin edir. Əgər xarici həyacanlandırıcı təsir tərəfindən sürüşmə rejimində baş verən hərəkətin pozulması kompensasiya olunarsa, nəzarət olunmayan həyacanlandırıcı təsirlərə qarşı da robastlığı təmin etmək və idarəetmə alqoritmləri işləmək mümkündür.*

Аннотация. *Системы, работающие в скользящем режиме, относятся к робастным си-*

стемам. Эти режимы наблюдаются в логических, релейных и переменных системных структурах. Скользящие режимы в основном обеспечивают устойчивость к параметрическим неопределённостям. Если влияние возмущения на движение в скользящем режиме компенсировать внешним возбуждением, то можно обеспечить устойчивость к неконтролируемым возбуждениям и отработать алгоритмы управления.

Abstract. *Systems operating in sliding mode are referred to as robust systems. These modes are observed in logic, relay and variable structure systems. Sliding modes mainly provide robustness against parametric uncertainties. If the disturbance of the movement in the sliding mode is compensated by an external excitation, it is possible to ensure robustness against uncontrolled excitations and to work control algorithms.*

Açar sözlər: *qeyri-xətti sistemlər, dəyişən strukturlu sistemlər, sürüşmə rejimi, idarəetmə qanunu, stabilləşdirmə, obyekt*

Аннотация: *нелинейные системы, системы переменной структуры, скользящий режим, закон управления, стабилизация, объект*

Key words: *nonlinear systems, variable structure systems, sliding mode, control law, stabilization, object*

Giriş. Sürüşən rejimdə işləyən sistemlər robast sistemlərə aid edilmişdir. Bu rejimlər rele və dəyişən strukturlu sistemlərdə müşahidə olunur [1]. Sürüşən rejimlər əsasən parametrik qeyri-müəyyənliklərə qarşı robastlığı təmin edir. Əgər xarici həyacanlandırıcı təsir tərəfindən sürüşmə rejimində baş verən hərəkətin pozulması kompensasiya olunarsa [2], nəzarət olunmayan həyacanlandırıcı təsirlərə qarşı da robastlığı təmin etmək mümkündür.

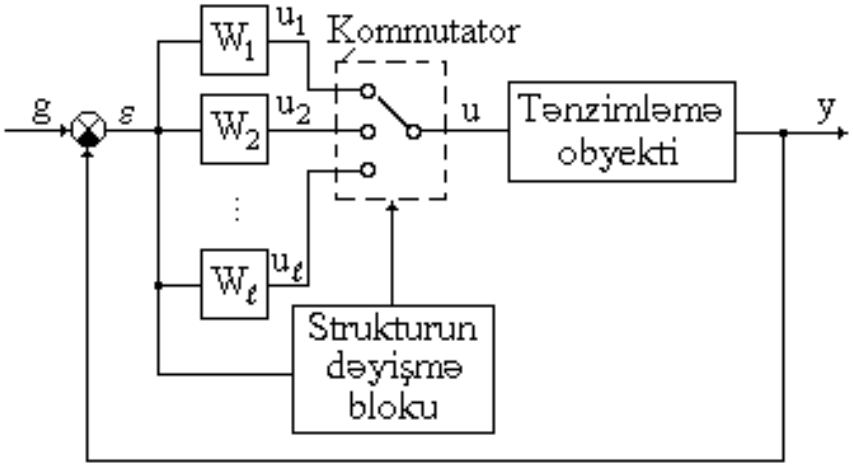
Qeyri-xətti sistemlərin bir növü də dəyişən strukturlu sistemləridir (DSS). Obyektin xətti və ya qeyri-xətti olmasından asılı olmayaraq, burada əsas əlamət idarə təsirinin əks əlaqə (rele U=±1 idarəsindən fərqli olaraq) şəklində formalaşdırılması və sıçrayışla dəyişməsidir.

Əgər obyekt xətti və eyni zamanda idarə təsiri də xətti əks əlaqə qanunları şəklində verilərsə, belə dəyişən strukturlu sistemlər parçada-xətti sistemlərə aiddir. Sistemin fəaliyyəti zamanı idarə qanununun dəyişməsi tənzimləyicidə funksional elementlərin və onlar arasındakı əlaqələrin dəyişməsi hesabına baş verir ki, bu da tənzimləyicinin strukturunun dəyişməsinə səbəb olur. Məhz bu xüsusiyyət burada baxılan sistemlərin mövcud adının meydana çıxmasına səbəb olmuşdur.

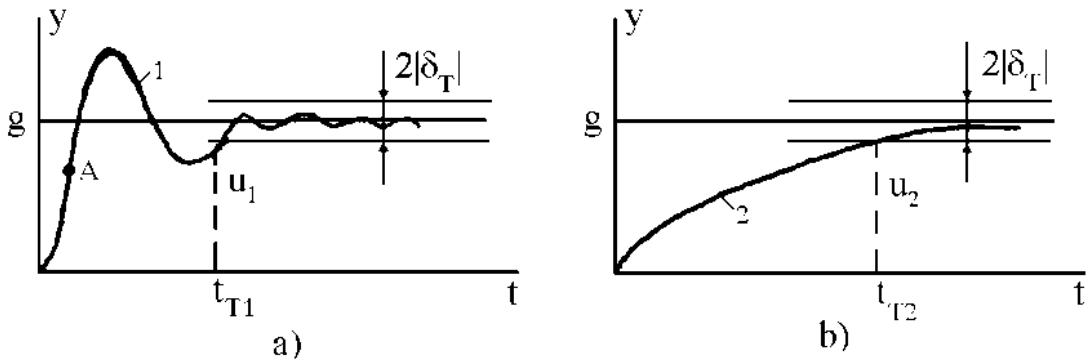
Əsas hissə. Dəyişən strukturlu sistemlərin qurulması prinsipi müxtəlif tipli idarə qanunlarını növbələşdirərək hər bir qanunun müsbət xüsusiyyətindən istifadəyə əsaslanır. Alternativ idarə qanunlarına malik olan belə sistemlərdə ayrı-ayrılıqda heç bir struktura xas olmayan yeni hərəkət növləri almaq mümkün olur. Məsələn, sürüşmə rejimi kimi praktikada, adətən, iki müxtəlif idarə qanunundan istifadə olunur. Onlar vəziyyətdən asılı olaraq növbə ilə obyektə qoşulur. Belə idarələrdən ən sadəsi kimi yalnız gücləndirmə əmsalının işarəsinə görə fərqlənən P-tənzimləmə qanununu göstərmək olar. Bu halda idarə qanunları $u_1 = \alpha x_1$ və $u_2 = -\alpha x_1$ şəklində olur. Şəkil 1-də dəyişən strukturlu sistemin ümumiləşdirilmiş sxemi göstərilmişdir.

Şəkildə $W_1, W_2, \ldots, W_\ell$ – tənzimləyicilərin ötürmə funksiyalarıdır.

Dəyişən struktur prinsipinin üstünlüyünü nümayiş etdirək. Fərz edək ki, obyektə iki növ idarə təsiri vermək mümkündür. Birinci halda, yəni $u = u_1$ olduqda keçid prosesi cəld, yəni tənzimləmə vaxtı kiçik, lakin rəqsi, $u = u_2$ olduqda keçid prosesi ləng, yəni tənzimləmə vaxtı böyük, lakin monoton alınır. Uyğun keçid prosesləri şəkil 2-də göstərilmişdir, $t_{T_1} < t_{T_2}$.

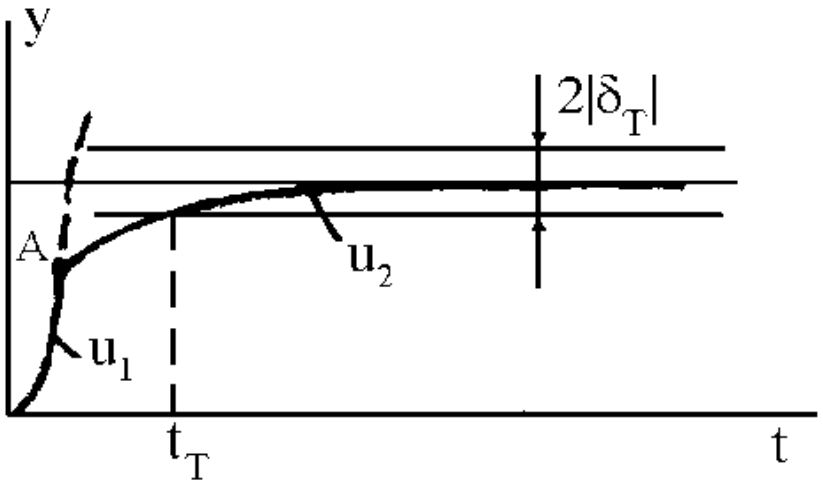


Şəkil 1. *Dəyişən strukturlu sistemin ümumiləşdirilmiş sxemi*



Şəkil 2. *Keçid prosesləri*
$t_т$ *– tənzimləmə vaxtı,* $\pm\delta_т$ *– buraxıla bilən xətadır.*

Cəld, lakin rəqsi olmayan keçid prosesi almaq tələb olunur. Bu məsələni idarələri növbələşdirmək yolu ilə belə həll etmək olar. A nöqtəsinə qədər obyektə $u = u_1$ idarəsini, A nöqtəsindən sonra isə keçid prosesinin monotonluğunu təmin edən $u = u_2$ idarəsini qoşmaq lazımdır. İdarələri kombinə etmək nəticəsində meydana çıxan yekun keçid prosesi şəkil 3-də göstərilmişdir.



Şəkil 3. *Qeyri-hamar monotonkeçid prosesi*

Şəkildən göründüyü kimi yekun $t_T < t_{T_1}$ və keçid prosesi qeyri-hamar monoton şəkildə alınmışdır. Bu əvvəldə qoyulan tələbata cavab verir. Burada əsas məsələ idarə təsirinin dəyişmə anını, yəni A nöqtəsini təyin etməkdir. Əks əlaqəli sistemlərdə bu məsələ zamandan asılı deyil, faza (vəziyyət) x_1 və x_2 dəyişənlərindən asılı olaraq həll olunur. Ümumiyyətlə, dəyişən strukturlu sistemlərin analizi və sintezi faza müstəvisi üsulunun köməyi ilə ayrı-ayrı strukturlara, yəni idarələrə uyğun gələn faza portretlərini qurmaq yolu ilə həyata keçirilir. Bu səbəbdən, tədqiqat zamanı sistemin çıxışa nəzərən yazılmış tənliyini faza (vəziyyət) koordinatlarında yazılmış normal tənliklər sisteminə (Koşi forması) gətirirlər.

Dəyişən strukturlu sistemlərin tədqiqi ümumi halda müəyyən çətinliklərlə əlaqədardır. Bu səbəbdən tətbiqi məsələlərdə ən çox rast gəlinən ikinci tərtib sistemlər ilə kifayətlənəcəyik.

Fərz edək ki, ikinci tərtib tənzimləmə obyektinin çıxışa nəzərən yazılmış tənliyi verilmişdir[3]:

$$\ddot{y} + a_1\dot{y} + a_2 y = -ku\,. \tag{1}$$

burada a_1, a_2 və $k-$ obyektin sabit parametrləridir; $y-$ çıxış kəmiyyəti; $u-$ idarə təsiridir.

$x_1 = y$, $x_2 = \dot{y}$ işarə edib (1) tənliyini normal Koşi formasına gətirək:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2\,, \\ \dot{x}_2 &= -a_2 x_1 - a_1 x_2 - ku\,. \end{aligned} \tag{2}$$

burada $x_1, x_2 -$ vəziyyət koordinatları və ya dəyişənlərdir.

Dəyişən strukturlu sistemlərin xarakterik xüsusiyyətlərini sadə misalda araşdıraq. Fərz edək ki, $a_1 = a_2 = 0$. Bu halda obyekt $\ddot{y} = -ku$ ikiqat inteqrallayıcı manqaya çevrilir və ya (2) formasında

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2, \\ \dot{x}_2 &= ku. \end{aligned} \tag{3}$$

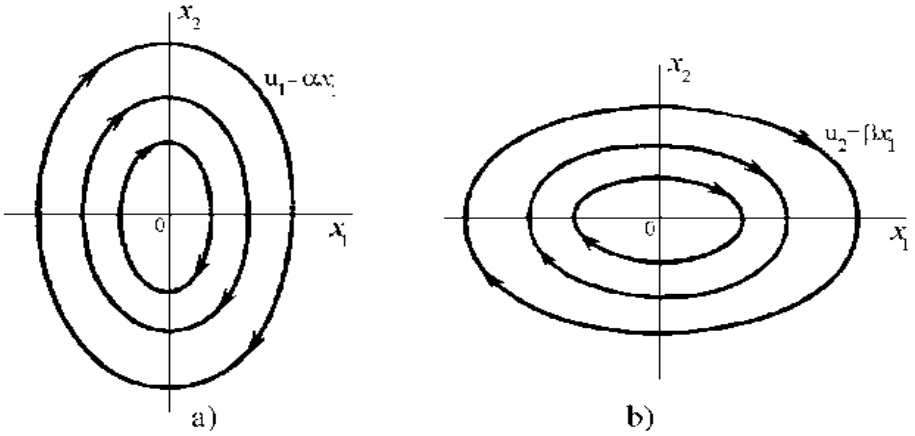
Fərz edək ki, ölçülən kəmiyyət yalnız $\varepsilon = g - y$ tənzimləmə xətası olub, onun törəməsi və inteqralı ölçülmür. Belə məlumat qıtlığı şəraitində obyekti tənzimləmək, yəni qərarlaşmış rejimdə $y(\infty) = g$ təmin etmək tələb olunur. Aydındır ki, bu halda yalnız ε-a nəzərən əks əlaqə yaradıb, idarəni $u = \alpha\varepsilon$ P-tənzimləmə qanunu şəklində seçmək mümkündür.

Dəyişməz strukturlu sistemdə $u = \alpha\varepsilon$ qəbul etsək, tapşırığın $g = 0$ və $k = 1$ qiymətlərində qapalı sistemin xətaya nəzərən yazılmış tənliyini $\ddot{\varepsilon} + \alpha\varepsilon = 0$ şəklində alarıq. Bu sönməyən rəqslər edən konservativ manqanın tənliyidir. Bu halda faza portreti qapalı trayektoriyalardan ibarət olduğundan sistem istənilən başlanğıc vəziyyətdən $(\varepsilon, \dot{\varepsilon}) = (0, 0)$ koordinat başlanğıcına hərəkət edə bilmir. Deməli, stabilləşdirmə mümkün deyil. Qeyd edək ki, $g = 0$ qiymətində koordinat başlanğıcı tapşırıq nöqtəsinə uyğun gəlir. İndi idarəni (x_1, x_2) faza müstəvisində dəyişən strukturlu idarə şəklində formalaşdıraq. Qeyd edək ki, $g = 0$ olduqda $x_1 = -\varepsilon$, $x_2 = -\dot{\varepsilon}$ olur. Yalnız x_1 ölçüldüyündən idarəni P-tənzimləmə qanunu şəklində seçək:

$$u = \begin{cases} \alpha x_1\,, & \text{əgər } \sigma > 0\,, \\ \beta x_1\,, & \text{əgər } \sigma < 0\,. \end{cases} \tag{4}$$

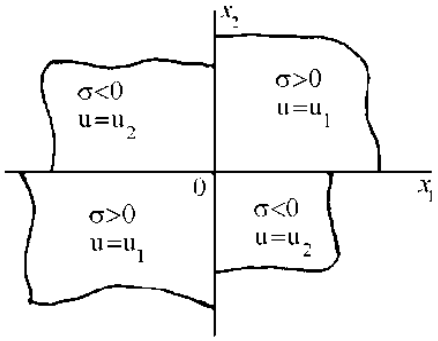
burada $\alpha, \beta > 0 -$ tənzimləyicinin gücləndirmə əmsalı, $\alpha > \beta$; $\sigma = x_1 x_2 -$ dəyişmə funksiyasıdır. Göründüyü kimi, idarənin özünü formalaşdırmaq üçün xətanın törəməsi x_2 lazım olmasa da, hər halda σ dəyişmə funksiyasını realizə etmək üçün x_2 məlumatı lazımdır.

Qapalı sistemin uyğun faza portretləri şəkil 4-də göstərilmişdir.

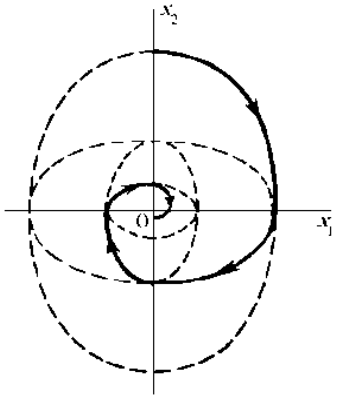


Şəkil 4. *Qapalı sistemin faza portretləri*

Şəkildən göründüyü kimi, hər iki idarə halında sistem konservativ sistemdir. Fərq yalnız ellipsin oxlarının nisbətindədir. Məhz bu xüsusiyyət (4) idarəsinin köməyi ilə sistemi istənilən $\mathbf{x}_0 = (x_{10}, x_{20})^{\mathrm{T}}$ başlanğıc vəziyyətindən koordinat başlanğıcına gətirməyə imkan verir. İdarənin dəyişməsi trayektoriyanın $x_1 = 0$ ordinat və $x_2 = 0$ absis oxlarını aşdıqda σ-nın işarəsi dəyişdiyi üçün baş verir. Şəkil 5-də faza müstəvisində σ-nın işarəsinə uyğun olaraq idarənin təsir oblastları göstərilmişdir. Şəkil 6-da yekun faza portreti göstərilmişdir.



Şəkil 5. *İdarənin təsir oblastları*



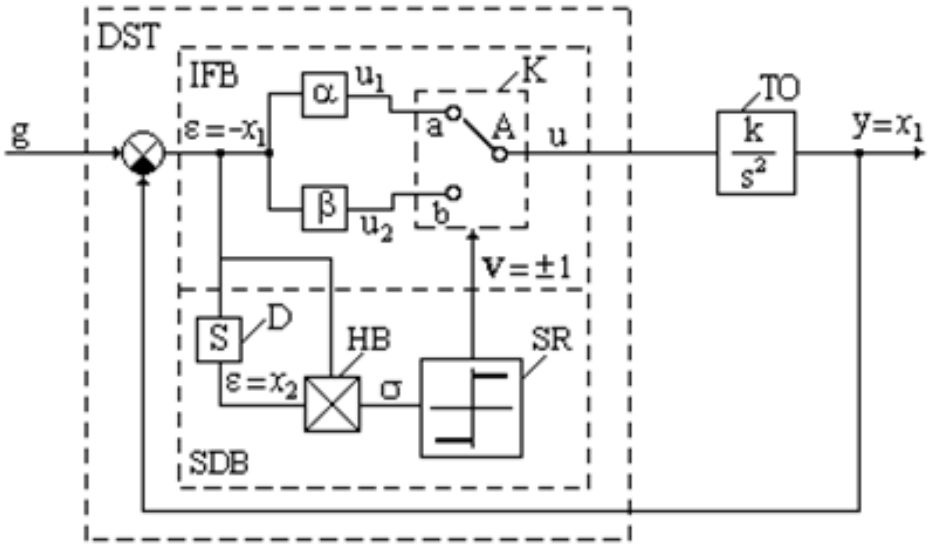
Şəkil 6. *Yekun faza portreti*

Şəkil 7-də (4) alqoritmi üzrə işləyən dəyişən strukturlu tənzimləmə sisteminin struktur sxemi göstərilmişdir. Tənzimləyici fasiləsiz olaraq x_1 və $x_2=dx_1/dt$ məlumatlarından istifadə edərək v funksiyasının işarəsinə əsasən relenin köməyi ilə v=signσ=±1 əmr siqnalını formalaşdırır. v=+1 olduqda A açarı a, v=-1 olduqda isə b vəziyyətinə keçərək obyektə $u_1 = \alpha x_1$ u=xvə ya $u_2 = \beta x_1$ idarələrini qoşur.

Şəkildə İFB – idarəni formalaşdıran blok; SDB – strukturu dəyişdirən və ya məntiq bloku; D –diferensiallayıcı; HB – hasil bloku; SR – siqnium rele; K – kommutator; A – açar; TO – tənzimləmə obyektidir.

Əvvəldə deyildiyi kimi, dəyişən strukturlu tənzimləmə sistemlərində strukturun dəyişmə xətti üzrə sürüşən rejim yaratmaq mümkündür. Sürüşən rejimdə hərəkət vəziyyəti obyektin dəyişən parametrlərindənasılı olmayan $s = cx_1 + x_2 = 0$ dəyişmə xətti üzrə baş verir. $s = 0$ xətti faza trayektoriyası olmadığından belə süni yaradılmış ″faza trayektoriyası″ üzrə hərəkət müxtəlif strukturlara (adətən iki) aid olan faza trayektoriyalarının kiçik hissələrindən ibarət olan sınıq trayektoriyalar üzrə baş

verir. $s=0$ xəttinin kiçik ətrafında bir trayektoriyadan digərinə keçid nəzəri cəhətdən sonsuzluğa yaxınlaşan tezliklə baş verir. Sürüşən rejim baş verdikdən sonra sistemin hərəkəti $s=0$ xəttinin $\pm\Delta_s$ kiçik ətrafında baş verir və obyektin parametrlərindən asılı olmur. Hərəkət ″trayektoriyasının″ bucaq əmsalı olan c sazlama parametrini hər hansı bir keyfiyyət göstəricisinin ödənilməsi şərtindən seçmək olar.



Şəkil 7. *Dəyişən strukturlu tənzimləmə sisteminin struktur sxemi*

Əsas vacib cəhət dayanıqlı sürüşən rejimin mövcudluğu şərti $s\dot{s}>0$ obyektin parametrlərinin geniş dəyişmə diapazonunda ödənilməsidir. Bu səbəbdən, xüsusi adaptasiya alqoritmləri tətbiq etmədən obyektin parametrlərinin geniş diapazonda dəyişməsinə baxmayaraq, hər dəfə tərpənməz $s=cx_1+x_2=0$, $c=\text{const}$ xətti üzrə hərəkət edib stabil keyfiyyət göstəricilərinə nail olmaq mümkündür.

Əgər hər halda sürüşən rejim pozularsa c bucaq əmsalını dəyişməklə (adaptasiya etməklə) bu rejimi bərpa etmək olar.

Sürüşən rejim parametrik həyəcanlandırıcı təsirlərə qarşı qeyri-həssas (kobud) olsa da, xarici $f(t)$ və ya $g(t)$ həyəcanlandırıcı qüvvələrin təsiri nəticəsində pozula bilir. Bu xüsusiyyətə qarşı xüsusi tədbirlər görmədən invariant hərəkət almaq mümkün olmur.

Misal olaraq ikiqat inteqrallayıcı manqadan ibarətdir: $\ddot{y}=b(t)u$. Vəziyyət $x_1=y$, $x_2=\dot{y}$ işarə edib bu tənliyi vəziyyət x_1, x_2 koordinatlarında yazaq:

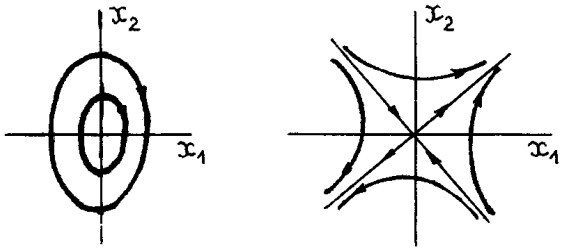
$$\dot{x}_1=x_2\ ,$$
$$\dot{x}_2=b(t)u\ ,$$
$$y=x_1\ .$$

İdarə qanununu dəyişən strukturlu idarələr sinfində P-tənzimləmə qanunu şəklində seçək:

$$u=\begin{cases}\alpha x_1 & \text{əgər } sx_1>0\ ,\\ -\alpha x_1 & \text{əgər } sx_1<0\ .\end{cases}$$

Burada $s=cx_1+x_2=0$ – dəyişmə xətti; α, c=const tənzimləyicinin sazlama parametrləridir. Şəkil 8, a və b-də sistemin birinci ($u=\alpha x_1$) və ikinci ($u=-\alpha x_1$) strukturuna uyğun olan lokal faza

portretləri göstərilmişdir.



a) *b)*

Şəkil 8. *Sistemin lokal faza portretləri*

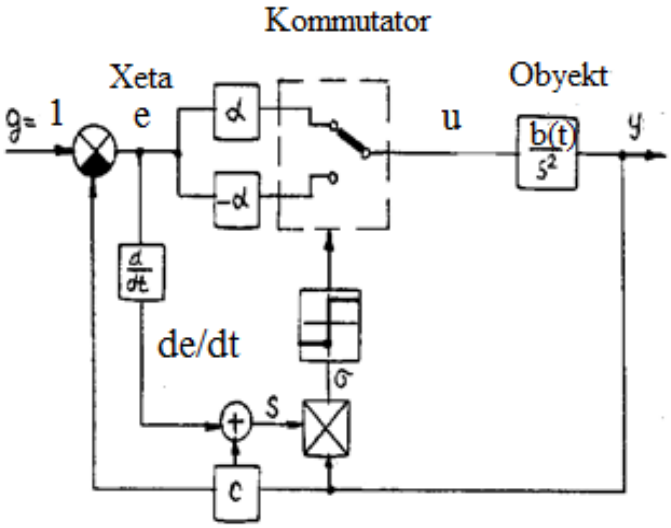
Aşağıdakı 2 hala baxaq.

1. Obyektin gücləndirmə əmsalı dəyişir. Fərz edək ki, obyektin gücləndirmə əmsalı aşağıdakı məlum intervalda deyişir[4]:

$$0 < b_{\min} \le b(t) \le b_{\max} \ .$$

Baxılan obyekt üçün sürüşən rejimin $s\dot{s} < 0$ şəklində olan mövcudluğu və dayanıqlığı şərti $\alpha > c^2 / b_{\min}$ şəklinə düşür.

Şəkil 9-da ATS-in struktur sxemi göstərilmişdir.



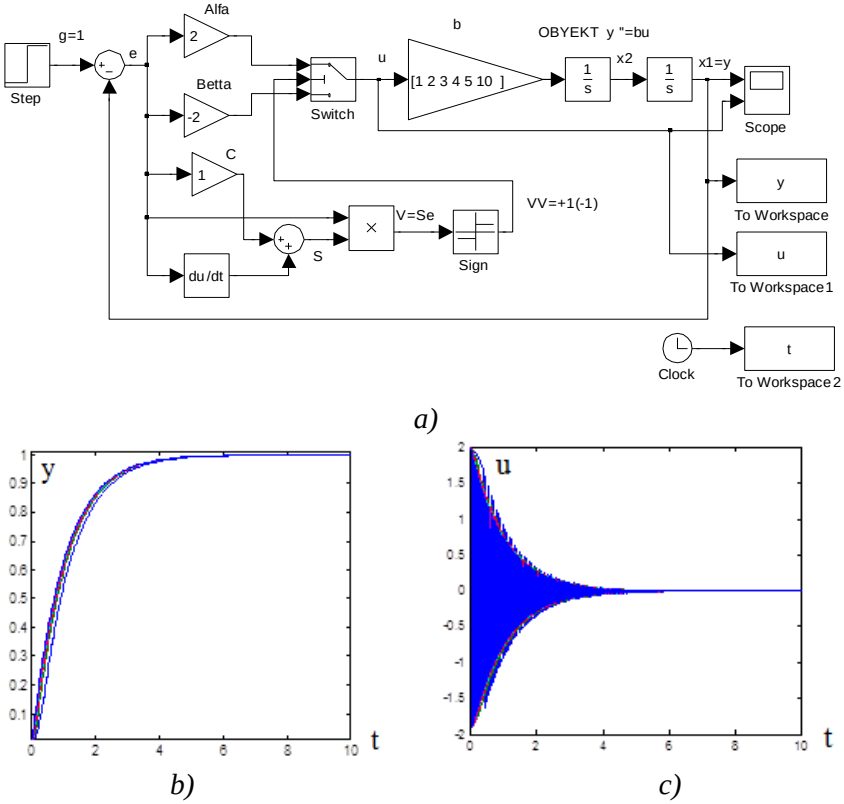
Şəkil 9. *ATS-in struktur sxemi*

Obyektin gücləndirməəmsalı geniş intervalda b=[1 2 3 4 5 10] dəyişdikdə sürüşən rejimdə stabil y(t) keçid xarakteristikası almaq mümkündür. Tənzimləyicinin gücləndirmə əmsalı $\alpha > c^2 / b_{\min}$ şərtinini ödəməlidir.c=1 qəbul edək. b_{min}=1 olduğundan $\alpha > 1$ olmalıdır. $\alpha = 2$ qəbul edək.

Şəkil 10-da Matlab/Simulinkdə müvafiq simulyasiya sxemi (a), keçid xarakteristikaları toplusu {y(t)} (b) və idarə siqnalı {u(t)} toplusu göstərilmişdir.

Göründüyü kimi, obyektin gücləndirmə əmsalının geniş intervalda dəyişməsinə baxmayaraq sürüşən rejimdə keçid xarakteristikaları həm keçid, həm də qərarlaşmış rejimdə cüzi səpələnməyə malikdir. Bu xüsusiyyət sürüşmə rejiminin robast xassəyə malik olmasını göstərir.

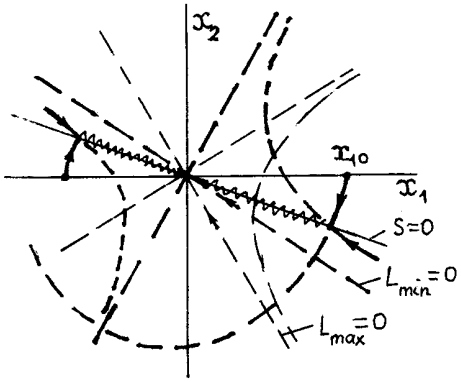
Əvvəldə deyildiyi kimi, sürüşmə rejimində idarə siqnalının yüksək tezlikli döyünmələr etməsi bu rejimin tətbiq sahəsini məhdudlaşdırır.



Şəkil 10. *Matlab/Simulinkdə müvafiq simulyasiya sxemi (a), keçid xarakteristikaları toplusu {y(t)} (b) və idarə siqnalı {u(t)} (c) toplusu*

2. Dəyişmə xəttinin bucaq əmsalının dəyişdirilməsi (adaptasiyası). Əvvəldə deyilən kimi, sürüşən rejim pozularsa c bucaq əmsalını dəyişməklə (adaptasiya etməklə) bu rejimi bərpa etmək olar.

İkinci strukturun, yəni $u=-\alpha x_1$ olduqda, yəhər şəklində olan faza portretinin dayanıqlı $L=c_\ell x_1+x_2=0$ asimptotunun bucaq əmsalının həd qiymətləri $c_{\ell\min}=\sqrt{\alpha b_{\min}}$ və $c_{l\max}=\sqrt{\alpha b_{\max}}$. Sürüşən rejimin baş verməsi üçün $s=cx_1+x_2=0$ dəyişmə xətti istənilən $b_{\min}\le b(t)\le b_{\max}$ qiymətlərində bu asimptotdan yuxarıda yerləşməlidir. Yəni $c<c_{\ell\min}=\sqrt{\alpha b_{\min}}$ şərti ödənilməlidir. Şəkil 11-də yekun faza portreti göstərilmişdir.



Şəkil 11. *Yekun faza portreti*

Beləliklə, $\alpha, b_{\min}$ dəyişdikdə dəyişmə xəttinin bucaq əmsalını $c < \sqrt{\alpha b_{\min}}$ şərtindən seçməklə obyektin gücləndirmə əmsalının geniş diapazonda dəyişməsinə qarşı invariant olan $s = 0$ xətti üzrə hərəkət almaq mümkündür. İdeal halda dəyişmələrin tezliyini ∞-ğa yaxınlaşdırsaq, hərəkəti $s = cx_1 + x_2 = 0$ xəttinin tənliyi ilə yazmaq mümkündür. Obyektin tənliyində $x_2 = \dot{x}_1$ olduğunu nəzərə alsaq, sistemin sürüşmə xətti üzrə sərbəst hərəkətini aperiodik qanunla yazmaq olar.

$$\frac{dx_1}{dt} = -cx_1, \; x_1(0) = x_{10}. \tag{5}$$

Göründüyü kimi, hərəkət tənliyinə obyektin parametri daxil olmadığından, o parametrlərin dəyişməsinə qarşı invariantdır (acılı deyil).

Məsələn, əvvəldə $\alpha = 2, b_{\min} = 1$ qiymətlərində c=1 qəbul olunmuşdur ki, bu da $c < \sqrt{\alpha b_{\min}} = \sqrt{2 \cdot 1} = 1.41$ şərtini ödıyir. Məsələn, əgər b hər-hansı bir səbəbdən azalıb b_{min}=0.5 olarsa $c\,c < \sqrt{\alpha b_{\min}} = \sqrt{2 \cdot 0.5} = 1$ şərtini ödəməlidir. Məsələn c=0.8 götürmək olar.

C-nin sazlama alqoritmi kimi $c < \sqrt{\alpha b_{min}} - \varepsilon$ şərtini istifadə etmək olar.

Burada $\varepsilon = 0.1 - 0.5$ ehtiyat əmsalıdır. Aydındır ki, bu şərti fasiləsiz olaraq yoxlamaq üçün b_{min} qiyməti qabaqcadan məlum olmalıdır. Əks halda b(t)obyektdə təyin (identifirasiya) olunmuş ifadədə yerinə "yazılmalıdır".

Nəticə. Beləliklə, dəyişən strukturlu və məntiqi idarəetmə alqoritmlərinin işlənilməsi məsələsinə baxılmışdır. Bu məqsədlə dəyişən strukturlu sistemin ümumiləşdirilmiş sxemi qurulmuş və misal olaraq ikiqat inteqrallayıcı manqa tədqiq edilmişdir.

Matlab/Simulinkdə müvafiq simulyasiya sxemi, keçid xarakteristikaları toplusu {y(t)} və idarə siqnalı {u(t)} toplusu alınmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, sürüşmə rejimində idarə siqnalının yüksək tezlikli döyünmələri bu rejimin tətbiq sahəsini məhdudlaşdırır.

Ədəbiyyat

1. Farhadov V.Q., Bayramova İ.P., İsmayilov S.S., Alijanov R.R. Synthesis of second-order invariant control systems with large gain ratio. International Journal on "Technical and Physical Problems of Engineering" (IJTPE) Published by International Organization of IOTPE ISSN 2077-3528 Ijtpe Journal www.iotpe.comijtpe@iotpe.com September 2023 Issue 56 Volume 15 Number 3 Pages 298-302
2. Rüstəmov Q.Ə. Avtomatik tənzimləmə nəzəriyyəsi, 2-ci hissə, Bakı, Nasir, 2006, 528 s.
3. Fərhadov V.Q., Qurbanov E.M., Bayramova İ.P. Qeyri müəyyənlik şəraitində fəaliyyət göstərən obyektlər üçün tənzimləyicilərin sintezi. ADDA-nın elmi əsərləri, Bakı, 2022, №2, səh. 74-82
4. Fərhadov V.Q., Bayramova İ.P., Qocayeva A.B. Obyektlərin idarə edilməsi üçün məntiqi tənzimləyicinin sintezi və tədqiqi. ADDA-nın elmi əsərləri, Bakı, 2023, №2, səh. 91-97

Məqalə qəbul olunub: 29.03.24
Tövsiyə edib: dos. İsmayılov A.Ş.

UOT 621.3:007

BAŞ GƏMİ DİZELİNİN İSTİSMAR PARAMETRLƏRİNİN DƏYİŞMƏSİNİN MÜHƏRRİKİN GÖSTƏRİCİLƏRİNƏ TƏSİRİNİN NƏZƏRİ TƏDQİQİ

İsmayılov A.Ş., Əliyev Ə.A.

"Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası" PHŞ
AZ1000, Bakı şəh., Z. Əliyeva küç., 18
E-mail: akif.ismayilov@asco.az, azervaxid@gmail.com

Xülasə. *Məqalədə gəmi dizel mühərriklərinin istismarı zamanı silindrlərdəki maksimum təzyiqə və xaric qazların temperaturuna əsas istismar parametrlərinin (dəniz suyunun temperaturunun, turbokompressorun kompressorundan sonra havanın temperaturunun, kompressordan sonra havanın təzyiqinin, forsunkanın püskürməsinin başlanğıc təzyiqinin, silindrə yanacaq verilməsinin qabaqlama bucağının, klapanlardakı araboşluğunun, mühərrikin sıxma dərəcəsinin, silindrdəki sikllik yanacaq verilişinin) dəyişməsinin təsiri nəzəri olaraq təhlil edilmiş, baş gəmi dizelinin işçi siklinin hesablama metodikasında bu parametrlərin hər birinin dəyişməsinin mühərrikin göstəricilərinə təsirinin riyazi ifadələrlə nəzərə alınması üçün təkliflər verilmişdir.*

Аннотация. *В статье проведен теоретический анализ влияния изменения основных эксплуатационных параметров (температура морской воды, температура воздуха после компрессора турбонагнетателя, давление воздуха после компрессора, давление начала впрыска топлива в форсунке, угол опережения подачи топлива в цилиндр, зазоры в клапанах, степень сжатия, цикловая подача топлива в цилиндре) на максимальное значение давлений в цилиндрах и на температуру выхлопных газов, предложены математические выражения, чтобы учитывать влияние изменения каждого из этих параметров на показатели двигателя в расчетной методике рабочего цикла главного судового дизеля.*

Abstract. *The article provides a theoretical analysis of the influence of changes in the main operating parameters (sea water temperature, air temperature after the compressor of turbocharger, air pressure after the compressor, fuel injection start pressure in the nozzle, advance angle of fuel supply to the cylinder, valve clearances, compression ratio, cyclic fuel supply in the cylinder) on the maximum value of pressure in the cylinders and on the temperature of the exhaust gases, mathematical expressions are proposed to take into account the effect of changes in each of these parameters on engine performance in the calculation methodology for the working cycle of the main marine diesel engine.*

Açar sözlər: *silindrlərdəki maksimum təzyiq, xaric qazların temperaturu, istismar parametrləri, dəniz suyunun temperaturu, havanın temperaturu, havanın təzyiqi, klapanlardakı araboşluğu, püskürmənin başlanğıc təzyiqi, yanacaq verilməsinin qabaqlama bucağı, sıxma dərəcəsi, sikllik yanacaq verilişi, işçi sikl, hesablama metodikası*

Ключевые слова: *максимальное значение давлений в цилиндрах, температура выхлопных газов, эксплуатационные параметры, температура морской воды, температура воздуха, давление воздуха, давление начала впрыска топлива, угол опережения подачи топлива, зазоры в клапанах, степень сжатия, цикловая подача топлива, рабочий цикл, расчетная методика*

Key words: *maximum value of pressure in the cylinders, values of exhaust gas temperature, exploitation parameters, sea water temperature, air temperature, air pressure, fuel injection start pressure, fuel supply advance angle, valve clearances, compression ratio, cyclic fuel supply, duty cycle, calculation methodology*

Giriş. Gəmi dizel mühərriklərinin istismarı zamanı müəyyən tənzimat parametrlərinin və s. şərtlərin dəyişməsi mühərrikin göstəricilərinə təsir göstərir və əksər hallarda onların pisləşməsinə səbəb olur. Mühəriklərin istismarı zamanı silindrlərdəki maksimum təzyiq (p_z) və xaric qazların temperaturu (T_{xq}) ölçülərək onların dəyişməsinə həmişə nəzarət edilir. Belə ki, silindrlərdəki maksimum təzyiqin 5%-dən, xaric qazların temperaturunun isə 3%-dən çox fərqlənmələri hər hansı bir istismar tənzimat parametrinin normadan artıq dəyişməsini göstərir. Belə olduqda, həmin istismar parametri müəyyən edilməli, onun dəyişmə səbəbi aydınlaşdırılmalı, tənzimatı dəyişdirilərək p_z *və* T_{xq}-nin qiymətlərinin buraxıla bilən hədlərdə olması təmin edilməlidir.

Gəmi şəraitində dəyişdirilməsi tələb olunan istismar parametrinin təyin edilməsi, onun nə qədər tənzimlənməsinin aydınlaşdırılması, mühərrikin üzərində yoxlama işlərinin həyata keçirilməsi xərclərin artması ilə yanaşı, həm də xeyli vaxt tələb edir. Hər hansı bir hesablama metodikasının əsasında tərtib olunmuş riyazi modelin köməyilə yerinə yetirilən riyazi eksperimentlər isə nəzəri tədqiqatların çox qısa bir zamanda həyata keçirilməsinə imkan verir, lakin bunun üçün hesablama metodikasında bu parametrlərin hər birinin dəyişməsinin mühərrikin göstəricilərinə təsiri riyazi ifadələrlə nəzərə alınmalıdır. Bu baxımdan, məqalənin aktual məsələlərə həsr olunduğun hesab etmək olar.

Əsas hissə. Məlumdur ki, silindrlərdən sonra (turbindən əvvəl) xaric qazların temperaturu dolayısı yolla mühərrikin istilik gərginliklərini, silindrlərdəki maksimum təzyiq isə birbaşa dizel mühərriklərinin mexaniki gərginliklərini xarakterizə edir. Odur ki, gəmi dizellərinin istismarı zamanı bu parametrlərin qiymətlərinin dəyişməsi buraxılabilən hədlərdə olmalıdır. Əks təqdirdə, onların dəyişməsi səbəbləri aydınlaşdırılmalı və buraxılabilən hədlərdə olmaları üçün tədbirlər görülməlidir. Bunları həyata keçirmək üçün isə, xaric qazların temperaturunun və silindrlərdəki maksimum təzyiqlərin dəyişməsinin hansı amillərdən asılı olmaları və bu amillərin həmin parametrlərin qiymətlərinə necə təsir göstərmələri müəyyən edilməlidir.

Xaric qazların temperaturu və silindrlərdəki maksimum təzyiqin dəyişməsinə təsir göstərən əsas amillər kimi aşağıdakıları göstərmək olar:

1) dəniz suyunun temperaturunun dəyişməsi;
2) turbokompressorun kompressorundan sonra havanın temperaturunun dəyişməsi;
3) kompressordan sonra havanın təzyiqinin dəyişməsi;
4) forsunkanın püskürmənin başlanğıc təzyiqinin dəyişməsi;
5) silindrə yanacaq verilməsinin qabaqlama bucağının dəyişməsi;
6) klapanlardakı araboşluğunun dəyişməsi;
7) mühərrikin sıxma dərəcəsinin dəyişməsi;
8) silindrdəki sikllik yanacaq verilişinin dəyişməsi.

İstismar şəraitində yuxarıda göstərilən parametrlərin qiymətlərinin dəyişməsinin mühərrikin göstəricilərinə necə təsir göstərmələrinin motor sınaqlarının köməyilə təhlili həm xeyli maddi vəsait, həm də uzun müddət tələb edir. Aşağıda bu motor sınaqlarının riyazi eksperimentlərlə əvəz olunması üçün həmin parametrlərin dəyişməsinin üstəlik üfürməli dizel mühərrikinin işçi siklinin hesablama metodikasında təklif olunan riyazi ifadələrlə necə nəzərə alınması şərh olunur.

Aydındır ki, **dəniz suyunun temperaturunun dəyişməsi** iqlim şəraitindən və gəminin hansı sularda üzməsindən asılıdır ki, bunun da nəticəsində dəniz suyunun temperaturu həm arta, həm də azala bilər. Mühərrikin nominal iş rejimində resiverdəki havanın temperaturu T_s^n dəniz suyunun temperaturundan asılı olaraq aşağıdakı ifadə ilə təyin edilir:

$$T_s^n = 273 + t_{ds}^n + (15 \div 20), K \qquad (1)$$

burada t_{ds}^n - mühərrikin nominal iş rejimində dəniz suyunun temperaturudur, ^0S. Belə ki, mühərrikin işçi siklinin hesabı nominal iş rejimi üçün hesablanır və adətən, bu rejim üçün hava soyuducusunun ölçüləri müəyyən edilir. Odur ki, resiverdəki temperatur (1) ifadəsi ilə təyin edildiyindən dəniz suyunun temperaturunun dəyişməsi nəzərə alınmır. Bu isə o deməkdir ki, real şəraitdə dəniz suyunun

temperaturu mühərrikin nominal iş rejimi üçün qəbul olunan t_{ds}^{n} - dən fərqli olsa belə resiverdə olan havanın temperaturu dəyişmir. Bu çatışmazlığı aradan qaldırmaq üçün real şəraitdə resiverdəki havanın temperaturu T_s^r (1) ifadəsinin sağ tərəfinə ($t_{ds}^{r} - t_{ds}^{n}$) ifadəsinin əlavə olunmasını təklif edirik:

$$T_s^r = T_s^n + (t_{ds}^r - t_{ds}^n), K \tag{2}$$

burada t_{ds}^{r} - real şəraitdə dəniz suyunun temperaturudur, ^0S.

(2) ifadəsindən göründüyü kimi, əgər real şəraitdə dəniz suyunun temperaturu mühərrikin nominal iş rejimi üçün qəbul olunan temperaturdan kiçik olarsa hava soyuducusunda hava daha çox soyudulacaq və resiverdə havanın temperaturu da (t_{ds}^{n}) fərqinə uyğun olaraq azalacaq. Əks halda, yəni real şəraitdə dəniz suyunun temperaturu mühərrikin nominal iş rejimi üçün qəbul olunan temperaturdan böyük olduqda isə hava soyuducusunda havanın soyudulma intensivliyi azaldığından resiverdə havanın temperaturu ($t_{ds}^{r} - t_{ds}^{n}$) fərqinə uyğun artacaqdır. Bu isə öz növbəsində, doldurma prosesinin sonunda aşağıdakı ifadə ilə təyin olunan temperatura və mühərrikin digər göstəricilərinə də təsir göstərəcəkdir:

$$T_a = \frac{T_s^r + \Delta T + \gamma_r T_r}{1 + \gamma_r}, K \tag{3}$$

burada ΔT - silindrə daxil olan havanın isti divarlardan aldığı əlavə qızma temperaturu; T_r - qalıq qazların temperaturu, *K*; γ_r - qalıq qazlar əmsalıdır (bu kəmiyyətlərin üçü də mühərrikin işçi siklinin hesabında qabaqcadan qəbul edilir).

Üstəlik üfürməli mühərriklərdə **kompressordan sonra havanın temperaturunun dəyişməsi** də resiverdəki temperatura təsir göstərir. Mühərrikin nominal iş rejimi üçün kompressordan sonra havanın temperaturu belə təyin edilir:

$$T_k^n = T_0^n \left(\frac{p_k^n}{p_0^n} \right)^{\frac{n_k - 1}{n_k}}, K \tag{4}$$

burada T_0^n - nominal iş rejimi üçün ətraf mühitin temperaturu; *K*; p_k^n - mühərrikin nominal iş rejimində kompressordan sonrakı təzyiq, *MPa*; p_0^n - nominal iş rejimi üçün ətraf mühitin təzyiqi, *MPa*, n_k - kompressorda havanın sıxılmasının politrop göstəricisidir.

(6) ifadəsindən belə aydın olur ki, əgər p_k^n sabit qalarsa, kompressordan sonra havanın temperaturu real şəraitdə əsasən ətraf mühitin temperaturundan və təzyiqindən asılıdır.

Real şərait üçün kompressordan sonra havanın temperaturu:

$$T_k^r = T_0^r \left(\frac{p_k^n}{p_0^r} \right)^{\frac{n_k - 1}{n_k}}, K \tag{5}$$

burada T_0^r - real şərait üçün ətraf mühitin temperaturu, *K*; p_0^r - real şərait üçün ətraf mühitin təzyiqidir, *MPa*.

Onda, ətraf mühit temperaturundan və təzyiqindən asılı olaraq real şərait üçün resiverdəki havanın temperaturunu T_s^r aşağıdakı ifadə ilə təyin edə bilərik:

$$T_s^r = T_s^n + (T_k^r - T_k^n), K \tag{6}$$

burada T_k^r - real şərait üçün kompressordan sonrakı temperatur, *K*

Beləliklə, mühərrikin işçi siklinin hesabına (2), (3) və (8) ifadələrinin daxil edilməsi dəniz suyunun temperaturunun dəyişməsinin mühərrikin göstəricilərinə təsirinin nəzəri tədqiqinə imkan verəcəkdir. Onu da qeyd etmək lazımdır ki, resiverdə olan havanın temperaturu silindrlərin hamısına daxil olan havanın temperaturu ilə eyni olduğundan mühərrikin bir silindrində alınan göstəriciləri digər silindrlərə də aid etmək olar. Yəni, bir silindrdə alınan effektiv gücü silindrlərin sayına vurmaqla mühərrikin effektiv gücünü təyin etmək olar. Bundan başqa, dəniz suyunun temperaturunun dəyişməsini havasoyuducusunun girişində qoyulan ventilin köməyi ilə tənzimləmək olar. Belə ki, əgər dəniz suyunun temperaturu azalarsa bu ventili müəyyən qədər bağlamaqla, yəni dəniz suyunun keçdiyi en kəsiyi azaltmaqla, əksinə dəniz suyunun temperaturu artarsa ventili açaraq en kəsiyi artırmaqla havasoyuducusuna daxil olan dəniz suyunun miqdarını azaltmaq və yaxud artırmaq olar ki, bu da öz növbəsində resiverə daxil olan havanın temperaturunun artaraq, və yaxud azalaraq mühərrikin nominal iş rejimində resiverə daxil olan havanın temperaturuna yaxınlaşmasına səbəb olacaqdır.

Üstəlik üfürməli mühərriklərdə **resiverdəki təzyiqin dəyişməsi**, başlıca olaraq, kompressordan sonrakı təzyiqdən asılıdır. Əgər mühərrikin nominal iş rejimi üçün kompressordan sonrakı təzyiq məlum olarsa, onda resiverdəki təzyiq:

$$p_s^n = p_k^n - \Delta p_{soy.}, MPa \tag{7}$$

burada p_k^n - mühərrikin nominal iş rejimində kompressordan sonrakı təzyiq, *MPa*; $\Delta p_{soy.}$ - hava-soyuducusundakı təzyiq düşküsüdür, *MPa*.

Eyni bir mühərrikdə hava soyuducusunun ölçüləri dəyişmədiyindən havasoyuducusundakı təzyiq düşküsü dəyişmir (havasouducusunun çirklənməsi nəzərə alınmadıqda), deməli, bu mühərrikdə real şərait üçün resiverdəki təzyiqi aşağıdakı kimi təyin edə bilərik:

$$p_s^r = p_s^n + (p_k^r - p_k^n), MPa \tag{8}$$

(10) ifadəsindən göründüyü kimi, əgər real şəraitdə kompressordan sonrakı təzyiq mühərrikin nominal iş rejimi üçün qəbul olunan təzyiqdən kiçik olarsa resiverdə havanın təzyiqi p_s^n - ə nəzərən $(p_k^r - p_k^n)$ fərqinə uyğun azalacaq, əks halda, yəni real şəraitdə kompressordan sonrakı təzyiq mühərrikin nominal iş rejimi üçün qəbul olunan təzyiqdən böyük olarsa resiverdə havanın təzyiqi də p_s^n - ə nəzərən $(p_k^r - p_k^n)$ fərqinə uyğun artacaqdır. Bu isə öz növbəsində, mühərrikin, demək olar ki, bütün əsas göstəricilərinə də təsir göstərəcəkdir. Odur ki, kompressordan sonrakı təzyiq dəyişdikdə mühərrikin əsas göstəricilərinin, eləcə də xaric qazların temperaturunun və silindrlərdəki maksimum təzyiqlərin normal hədlərə qaytarılması sikllik yanacaq verilişinin tənzimlənməsi yolu ilə həyata keçirilə bilər.

Forsunkanın başlanğıc püskürmə təzyiqinin dəyişməsi yanıcı qarışığın hazırlanmasına və yanma prosesinin gedşinə təsir göstərir. Bunu nəzərə almaq işçi siklin hesablama metodikasına püskürmənin başlanğıc təzyiqindən asılı olaraq yanmanın başlandığı momenti, daha doğrusu, yan-manın başlandığı nöqtədən y.ö.n.-ə qədər olan bucağı, yanma müddəti və istilikdən istifadə olunma əmsalının təyin edilməsi üçün empirik ifadələr daxil edilməlidir. Bu ifadələr 6L20 markalı dizel mühərrikinin işçi siklinin hesablama metodikasına əlavə edilmişdir [1, səh.65-68]. Baxılan məqalədə də püskürmənin başlanğıc təzyiqinin dəyişməsinin mühərrikin göstəricilərinə təsirini nəzəri tədqiq etmək üçün bu metodikadan istifadə olunmuşdur, lakin həmin metodikadan fərqli olaraq burada for-sunkanın başlanğıc püskürmə təzyiqinin eyni zamanda bir-iki silindrdə yalnız azala bilməsinə baxılmışdır. Belə ki, istismar zamanı, fikrimizcə, başlanğıc püskürmə təzyiqinin tənzimlənmənin po-zulması nəticəsində ancaq azalması baş verə bilər, özü də eyni vaxtda ən çoxu iki silindrdə. Bu zaman

bir-iki silindrdə mühərrikin əsas göstəriciləri dəyişəcəkdir. Qalan silindrlərdə isə göstəricilər nominal iş rejimində olduğu kimi qalacaqdır. Onda, altı silindrli mühərrikin effektiv gücü aşağıdakı kimi hesablana bilər:

$$N_e = N_{e1} + N_{e2} + 4 \cdot N_{es}, \tag{9}$$

burada N_{e1} və N_{e2} - uyğun olaraq, başlanğıc püskürmə təzyiqinin azaldığı 1-ci və 2-ci silindrlərdəki effekiv güc, *kVt*; N_{es} - başlanğıc püskürmə təzyiqinin dəyişmədiyi hər hansı bir silindrdəki effektiv gücdür, *kVt*.

Başlanğıc püskürmə təzyiqinin azaldığı 1-ci və 2-ci silindrlərdəki effekiv güclərin digər silindrlərdəki effektiv gücdən kiçik olduğu ehtimal olunur. Buna səbəb, yuxarıda qeyd edildiyi kimi, başlanğıc püskürmə təzyiqinin azalması zamanı yanacağın tozlanması və buxarlanması pisləşdiyindən yanıcı qarışığın hazırlanma keyfiyyəti də pisləşir, yanma prosesi intensiv getmir və silindrdəki təzyiq azalır. Bunu aradan qaldırmaq üçün fərdi nasoslu mühərriklərdə, müvəqqəti olaraq (başlanğıc püskürmə təzyiqi normal həddə çatdırılanadək) həmin silindrlərdə sikllik yanacaq verilişini artıraraq effektiv gücün bərpa olunmasını təmin etmək, və yaxud, bütün silindrlərdə sikllik yanacaq verilişini artıraraq (blok tipli nasosu olan mühərrikdə) mühərrikin ümumi effektiv gücünü normal iş rejimində olana uyğunlaşdırmaq.

Silindrə yanacaq verilməsinin qabaqlama bucağının dəyişməsi çox nadir hallarda olsa da baş verə bilər. Belə ki, yanacaq verilməsinin qabaqlama bucağının böyüməsi induksiya periodunun, silindrdəki maksimum təzyiq və maksimum temperaturun, eləcə də, mühərrikin indikator və effektiv gücünün artmasına, xüsusi indikator və effektiv yanacaq sərfləri isə azalmasına səbəb olur, lakin, yanacaq verilməsinin qabaqlama bucağı böyüdükcə silindrdəki maksimum təzyiqin həm qiyməti böyüyür, həm də bu qiymət y.ö.n.-ə yaxınlaşır. Bu isə təzyiqin yüksəlmə sürətinin, daha doğrusu, mühərrikin sərtlik dərəcəsinin də artması ilə müşahidə olunur. Bundan başqa, yanacaq verilməsinin qabaqlama bucağının həddindən artıq kiçilməsi zamanı yanma prosesi genişlənmə xəttinə keçir ki, bu da indikator və effektiv göstəricilərin pisləşməsinə, daha doğrusu, gücün azalmasına, yanacaq sərfinin isə artmasına səbəb olur. Odur ki, hər bir konkret mühərrik üçün yanacaq verilməsinin qabaqlama bucağının optimal qiyməti təyin edilərək bu mühərrikin pasportunda qeyd olunur və bu qiymət dəyişərsə optimal qiymətə uyğun tənzimlənir [1, səh. 69-72].

Klapanlardakı araboşluğunun dəyişməsi də mühərrikin göstəricilərinə, eləcə də, xaric qazların temperaturuna və silindrlərdəki maksimum təzyiqə təsir göstərir. Mühərrikin istismarı zamanı, yumruğun işçi səthinin və klapana hərəkət verən hissələrin yeyilməsi nəticəsində klapanlardakı araboşluğunun böyüməsi baş verir. Belə hallarda hətta işçi temperatura qədər qızdıqda belə qazpaylama valı ilə klapan arasında araboşluğu olur. Araboşluğunun həddindən artıq olması klapan mexanizmində səslərin yaranmasına səbəb olur, mühərrikin işinə mənfi təsir göstərir və klapanların işləmə müddətini azaldır. Klapanlardakı araboşluğunun kiçilməsi çox nadir hallarda, adətən tənzimləmə vaxtı araboşluğunun az qoyulması zamanı yarana bilər. Araboşluğu kiçilərsə, onda klapan kip bağlanmır, silindrdə kompressiya pozulur, daha doğrusu, sıxmanın sonunda silindrdəki təzyiq azalır, yanma prosesi pisləşir və mühərrikin qənaətliliyi aşağı düşür. Odur ki, aşağıda yalnız araboşluğunun böyüməsi halına baxılır.

Klapanlardakı araboşluğunun böyüməsi həm sorma, həm də xaricetmə klapanında ola bilər və hər iki klapanın həm açılması, həm də bağlanması gecikər. Sorma klapanının gec açılması nəticəsində silindrin yanma məhsullarından təmizlənməsi müəyyən qədər pisləşir ki, bu da silindrdə qalan yanma məhsullarının bir qədər artmasına, sorma klapanının gec bağlanması isə silindrə daxil olan təmiz havanın və doldurma əmsalının azalmasına səbəb olur. Xaricetmə klapanının gec açılması sərbəst xaricetmə müddəti azaldığından silindrin yanma məhsullarından təmizlənməməsinə, gec bağlanması isə silindrə daxil olan təmiz havanın bir hissəsinin xaric kollektoruna düşə bilməsinə şərait yaradır.

Bütün bunlar isə öz növbəsində, yanma prosesində natamam yanma məhsullarının miqdarının və yanacaq sərfinin artması, mühərrikin effektiv gücünün azalması ilə nəticələnir.

Gəmi daxili yanma mühərriklərinin istismar müddəti artdıqca **mühərrikin sıxma dərəcəsinin dəyişməsi** də baş verə bilər. Belə ki, bu zaman porşen barmağı ilə oymaq arasındakı, şatun boynu ilə dirsəkli valın motıl boynu arasındakı və dirsəkli valın rama boyunları ilə vkladışlar arasındakı araboşluqlarının artması nəticəsində porşenin alın səthi ilə silindr qapağının alt hissəsi arasındakı məsafənin böyüməsi hesabına sıxma dərəcəsinin, yalnız, kiçilməsi baş veir. Aydın məsələdir ki, sıxma dərəcəsinin az da olsa kiçilməsi mühərrikin indikator və effektiv göstəricilərinin də pisləşməsinə səbəb olacaqdır.

Sıxma dərəcəsinin dəyişməsinin 6L20 markalı dizel mühərrikinin göstəricilərinə təsirini tədqiq etmək üçün bu mühərrikin işçi siklini hesablamaq üçün tərtib olunmuş riyazi modeldən istifadə olunmuşdur [2, səh.64-66, 3, səh. 95-98]. Bu riyazi modelə sıxma dərəcəsindən asılı olaraq mühərrikin mexaniki f.i.ə.-nı hesablamaq üçün aşağıdakı ifadə daxil edilmişdir [4, səh. 193-197]:

$$\eta_m = 1-(1-\eta_{m0})\cdot\left[1+\frac{k(\varepsilon-\varepsilon_0)}{p_{m0}}\right]\cdot\frac{\eta_{i0}}{\eta_i}, \tag{10}$$

burada, p_{m0} - mexaniki itkilərin orta təzyiqi, kq/sm^2; k - sıxma dərəcəsinin mexaniki itkilərin təzyiqinə təsirini nəzərə alan əmsal ($k = 0{,}07 \div 0{,}08$); $\varepsilon_0 = 15$ - 6L20 markalı dizel mühərrikinin sıxma dərəcəsi; η_{m0} = 0,9 – mühərrikin nominal iş rejimində mexaniki f.i.ə.; η_{i0} = 0,5042 – mühərrikin nominal iş rejimində indikator f.i.ə.-dır.

Mexaniki itkilərin orta təzyiqi aşağıdakı emprik ifadə ilə hesablanmışdır:

$$p_{m0} = 0{,}089 + 0{,}0118\cdot C_p, MPa \tag{11}$$

burada, $C_p = S\cdot n/30 = 0{,}28\cdot 1000/30 = 9{,}33, m/san$ - porşenin orta sürətidir. Onda

$$p_{m0} = 0{,}089 + 0{,}0118\cdot 9{,}33 = 0{,}199MPa = 1{,}99kq/sm^2 \tag{12}$$

Beləliklə, tədqiq olunan mühərrikdə sıxma dərəcəsinin az da olsa dəyişməsi, daha doğrusu azalması, göstərilən metodika əsasında nəzərə alına bilər. Qeyd etmək lazımdır ki, mühərrikin silindrinin diametri böyüdükcə porşenin alın səthi ilə silindr qapağının alt hissəsi arasındakı məsafənin az da olsa artması yanma kamerasının həcminin daha çox artmasına görə həmin mühərrikin sıxma dərəcəsinin daha çox azalmasına səbəb olacaqdır.

Silindrdəki sikllik yanacaq verilişi xaric qazların temperaturu və silindrlərdəki maksimum təzyiqin dəyişməsi ilə yanaşı, həm də aşağıdakı əsas parametrlərə təsir göstərə bilər:

- Mühərrikin effektiv gücünə: sikllik yanacaq verilişi artdıqda mühərrikin effektiv gücü artır, əksinə, azaldıqda isə azalır;
- Mühərrikin xüsusi effektiv yanacaq sərfinə: sikllik yanacaq verilişi artdıqda mühərrikin xüsusi effektiv yanacaq sərfi artır, əksinə, azaldıqda isə azalır;
- Yanma prosesinin effektiv getməsinə: sikllik yanacaq verilişinin optimal qiyməti yanma prosesinin daha tam və effektli getməsinə, eləcə də mühərrikin f.i.ə.-nın artmasına səbəb olur;
- Silindrdən xaric olan qazların tərkibindəki zərərli komponentlərin miqdarına: sikllik yanacaq verilişinin optimal qiymətə nisbətən böyüməsi azot oksidlərinin, kükürd oksidlərinin, karbohidrogenlərin və bərk hissəciklərin artmasına səbəb olur;
- Hissələrin yeyilməsinə: sikllik yanacaq verilişinin qiymətinin mühərrikin iş rejiminə uyğun olmaması porşen, klapan, dirsəkli val, silindr vtulkası və bu kimi digər hissələrdə yeyilməni artırır;

- Titrəmənin və səs-küyün səviyyəsinə: sikllik yanacaq verilişinin dəyişməsi mühərrikdə yaranan titrəmələrə və səs-küyün artmasına, bu isə, gəmi bortunda komfortun və titrəmə və səs-küyə olan normaların pozulmasına səbəb olacaqdır.

Beləliklə, göründüyü kimi sikllik yanacaq verilişi mühərrikin hər bir iş rejimində optimal qiymətdə seçilərsə, onda mühərrikin işinin effektivliyi, məhsuldarlığı, ekololoji təhlükəsizliyi baxımından mühərrikin müxtəlif iş rejimlərində və istismar şəraitlərində optimal işini təmin etmək olar. Bunun üçün sikllik yanacaq verilişinin nədən asılı olduğunu və onun qiymətinin necə tənzim olunmasını bilmək çox vacibdir.

Mühərrikin silindrinə bir sikldə verilən yanacağın miqdarı (sikllik yanacaq verilişi) aşağıdakı düsturla təyin edilir:

$$g_{ts} = \frac{G_y}{60\frac{n}{z}i}, \ kq/sikl \tag{13}$$

burada G_y – mühərrikin saatlıq yanacaq sərfi, *kq/saat*; n - mühərrikin dövrlər sayı, *dəq* $^{-1}$; i- mühərrikin silindrlərinin sayı; z – takt əmsalıdır: dördtaktlı mühərriklər üçün z =2, ikitaktlı mühərriklər üçün z=1.

Mühərrikin hava artıqlıq əmsalı motor sınaqlarında aşağıdakı ifadə ilə hesablanır:

$$\alpha = \frac{G_h}{G_y l_0}, \tag{14}$$

burada G_h – mühərrikin saatlıq hava sərfi, *kq/saat*; l_0 - 1 *kq* yanacağın tam yanması üçün tələb olunan havanın çəki ilə nəzəri miqdarıdır, *kq/kq*.

(16) ifadəsindən mühərrikin saatlıq yanacaq sərfini təyin etmək olar:

$$G_y = \frac{G_h}{\alpha l_0}, \tag{15}$$

Tədqiq olunan dördtaktlı mühərrik üçün z = 2 olduğunu və (17) ifadəsini (15)-də nəzərə alsaq yazmaq olar:

$$g_{ts} = \frac{G_h}{30 \cdot n \cdot \alpha \cdot l_0 \cdot i}, \ kq/sikl \tag{16}$$

(18) ifadəsindən hava artıqlıq əmsalını α tapmaq olar:

$$\alpha = \frac{G_h}{30 \cdot n \cdot g_{ts} \cdot l_0 \cdot i}, \tag{17}$$

(19) ifadəsindən göründüyü kimi, mühərrikin sikllik yanacaq verilişinin hər hansı bir səbəbdən dəyişməsi, yuxarıda qeyd olunan parametrlərlə yanaşı, hava artıqlıq əmsalının da dəyişməsinə səbəb olacaqdır. Deməli, mühərrikin hava artıqlıq əmsalının qiymətinin hər hansı bir rejim üçün optimal həddə saxlanılması mühərrikin digər göstəricilərinin də optimal hədlərə qaytarılmasına imkan yaradacaqdır. Mühərrikin hava artıqlıq əmsalının qiymətinin optimal həddə qaytarılması, (19) ifadəsindən göründüyü kimi, silindrlərə daxil olan havanın miqdarının dəyişdirilməsi hesabına əldə edilə bilər. Bu, iki üsulla həyata keçirilə bilər: üstəlik üfürməli mühərriklərdə kompressorun girişində qoyulan drossel qapağının vəziyyətinin dəyişdirilməsi, ya da hava resiverindən sorma kollektoruna daxil olan yerdə qoyulan drossel qapağının vəziyyətinin dəyişdirilməsi ilə. Belə ki, bu zaman hər iki halda silindrlərə daxil olan havanın miqdarı azaldıqda sikllik yanacaq verilişinin miqdarı (18) ifadəsinə görə azalacaq, əksinə havanın miqdarı artdıqda sikllik yanacaq verilişinin miqdarı da artacaqdır. Bu isə öz növbəsində, mühərrikin əsas göstəricilərinin ya artaraq, ya da azalaraq normal hədlərə qədər qaytarılmasına imkan verəcəkdir. Beləliklə, bunlar onu göstərir ki, silindrə verilən havanın miqdarından asılı olaraq sikllik yanacaq verilişinin miqdarının idarə olunması ilə yanma prosesinin optimal getməsinə, mühərrikin effektiv işləməsinə və yanma məhsullarının tərkibindəki zəhərli maddələrin azalmasına nail olmaq mümkündür. Bu isə aşağıdakı üsullarla həyata keçirilə bilər:

- **Yanacağın silindrə püskürülməsinin tənzimlənməsi ilə:** Müasir dizel mühərrikinin idarəetmə sistemi vasitəsilə silindrə verilən havanın miqdarından asılı olaraq yanacağın silindrə

püskürülməsi momenti və yanacağın miqdarı tənzimlənir. Bu, həm də, yanmanın effektiv getməsi üçün hava-yanacaq nisbətinin optimal saxlanması üçün çox vacibdir;

- **Havanın kütlə miqdarının ölçülməsi sitemi ilə:** Mühərrikdə yerləşdirilən vericilərin köməyilə kütlə miqdarı ölçülür ki, bu da silindrə verilən havanın həcminin təyin olunmasına və sikllik yanacaq verilişinin miqdarının dəyişdirilməsinə imkan verir;
- **Üstəlik üfürmə təzyiqinin tənzimlənməsi ilə:** Üstəlik üfürməli mühərriklərdə kompressordan sonrakı təzyiqin tənzimlənməsi ilə silindrə verilən havanın miqdarına nəzarət edilir və təzyiqin daha çox artırılması sikllik yanacaq verilişinin miqdarının da artırılmasını tələb edir;
- **Elektron idarəetmə sistemi ilə:** Müasir dizel mühərrikləri vericilərdən gələn qiymətlərə uyğun olaraq mühərrikin cari iş rejiminə görə hava-yanacaq nisbətinin optimal qiymətdə tənzim olunmasına imkan verən elektron idarəetmə sistemləri ilə təchiz olunur;
- **Xaric qazların resirkulyasiya sistemi ilə:** Bu sistemdən istifadə edidikdə silindrdən xaric olunan qazların bir hissəsi yenidən silindrə qaytarılır ki, bu da yanma kamerasında olan oksigenin azalmasına və sikllik yanacaq verilişinin miqdarına təsir göstərir.

Nəticə. Beləliklə, yuxarıda qeyd olunanları ümumiləşdirərək aşağıdakı nəticələrə gəlmək olar:

1. Silindrlərdəki maksimum təzyiq 5%-dən, xaric qazların temperatur isə 3%-dən çox fərqlənərsə onların dəyişmə səbəbləri aydınlaşdırılmalı və lazım olan tədbirlər həyata keçirilərək p_z *və* T_{xq}-nin qiymətlərinin buraxıla bilən hədlərdə olması təmin edilməlidir;
2. Real şəraitdə dəniz suyunun temperaturu t_{ds}^r mühərrikin nominal iş rejimi üçün qəbul olunan temperaturdan t_{ds}^n kiçik olarsa hava soyuducusunda hava daha çox soyudulacaq və resiverdə havanın temperaturu da $(t_{ds}^r - t_{ds}^n)$ fərqinə uyğun olaraq azalacaq. Əks halda, hava soyuducusunda havanın soyudulma intensivliyi azaldığından resiverdə havanın temperaturu $(t_{ds}^r - t_{ds}^n)$ fərqinə uyğun artacaqdır;
3. Real şəraitdə kompressordan sonrakı təzyiq (p_k^r) mühərrikin nominal iş rejimi üçün qəbul olunan təzyiqdən (p_k^n) kiçik olarsa real şərait üçün resiverdəki havanın təzyiqi nominal iş rejimi üçün kompressordan sonrakı təzyiqə (p_s^n)-ə nəzərən $(p_k^r - p_k^n)$ fərqinə uyğun azalacaq, əks halda, havanın təzyiqi də (p_s^n)- ə nəzərən $(p_k^r - p_k^n)$ fərqinə uyğun artacaqdır;
4. Sikllik yanacaq verilişi mühərrikin hər bir iş rejimində optimal qiymətdə seçilərsə, onda mühərrikin işinin effektivliyi, məhsuldarlığı, ekololoji təhlükəsizliyi baxımından mühərrikin müxtəlif iş rejimlərində və istismar şəraitlərində optimal işi təmin edilər.

Ədəbiyyat

1. Axundov İ.S., İsmayılov A.Ş., Məmmədov H.Ə. Yanacağın başlanğıc püskürmə təzyiqindən və yanacaq verilməsinin qabaqlama bucağından asılı olaraq 6L20 markalı baş gəmi mühərrikinin işçi tsiklinin nəzəri təhlili // ADDA, Elmi əsərlər, 2018, № 1, s. 64-73.
2. Əliyev Ə.A., Cəfərov V.T., Dizel mühərrikinin işçi tsiklinin hesabının "MatLab" alqoritmik dilində proqramı və riyazi eksperimentin nəticələri. Ümummilli Lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 99-cu ildönümünə həsr olunmuş "Dəniz nəqliyyatının inkişaf perspektivləri" tələbə, magistr və gənc tədqiqatçıların Elmi konfransının tezisləri toplusu. Bakı, ADDA, 2022, s. 64-66
3. İsmayılov A.Ş., Axundov İ.S. 6L20 markalı baş gəmi dizelinin işçi tsiklinin hesablama metodikası // ADDA, Elmi əsərlər, 2018, № 1, s.94-98.
4. A.Ş. İsmayılov, Ə.A. Əliyev, Ə.T. Əzimov. 6L20 markalı baş gəmi dizelində sıxma dərəcəsinin dəyişməsinin mühərrikin göstəricilərinə təsirinin nəzəri tədqiqi. **"**Elektroenergetikanın müasir problemləri və inkişaf perspektivləri". Beynəlxalq elmi-texniki konfransı. Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası. 17-18 noyabr, 2022, s.192-197.

Məqalə qəbul olunub: 29.03.24
Tövsiyə edib: dos. İsmayılov A.Ş.

UOT 621.311

RESEARCH OF DEPENDENCE OF TRANSITIONAL VOLTAGES AT SWITCHING-OFF HIGH-VOLTAGE MSC ON CAPACITANCE OF SUBSTATION BUSBARS

[1]Lazimov Tahir, [2]Sadigov Asif

[1] *"Azerbaijan State Marine Academy" LEPL*
AZ1000, Baku, Z. Aliyeva str, 18
[2]*Azerbaijan Technical University*
AZ1073, Baku, Huseyn Javid ave, 25
E-mail: tahirlazim@gmail.com, asif14sadiq@gmail.com

Abstract. *Results of the numerical research devoted to the study of the impact of substation busbars' capacitance on the transitional voltages at switching-off high-voltage capacitor banks by SF6 and vacuum circuit breakers are presented in this article. Patterns of change in transitional functions dependently on the total capacitance of all the connections to the busbar, and ratios of transitional voltage across the capacitor banks terminals and recovery voltage across the circuit breakers poles were obtained and analyzed. Some features of computer simulation from the point of view of obtaining stable solutions are highlighted in the article.*

Xülasə. *Məqalədə yarımstansiyanın şinlərinə qoşulmuş birləşmələrin tutumunun yüksək gərginlik kondensator batareyalarının SF6 və vakuum açarları ilə açılmalarında əmələ gələn keçid gərginliklərinə təsirinin ədədi tədqiqatının nəticələri işıqlandırılmışdır. Keçid funksiyaların şinlərin cəm tutumundan asılılığı, kondensator batareyasının terminalları arasındakı keçid gərginliyi və açarların qütbləri arasında bərpa olunan gərginliklərin əyriləri alınmış və təhlil edilmişdir. Dayanıqlı həllərin alınması nöqteyi nəzərindən məsələnin kompüter simulyasiyasının bəzi xüsusiyyətləri göstərilmişdir.*

Аннотация. *В статье представлены результаты численного исследования влияния ёмкости шин подстанции на переходные напряжения при отключении высоковольтных конденсаторных батарей элегазовыми и вакуумными выключателями. Получены и проанализированы закономерности изменения переходных функций в зависимости от суммарной емкости всех подсоединений к сборной шине, а также кратностей переходного напряжения на выводах батарей конденсаторов и восстанавливающегося напряжения на полюсах выключателей. В статье приведены некоторые особенности компьютерного моделирования с точки зрения получения устойчивых решений.*

Key words: *capacitor banks, transitional voltages, busbar capacity, recovery voltage, computer simulation, ode solvers*

Açar sözlər: *kondensator batareyası, keçid gərginlikləri, şinlərin tutumu, bərpa olunan gərginlik, compüter simulyasiyası, ode həllediciləri*

Ключевые слова: *батареи конденсаторов, переходные напряжения, ёмкость шин, восстанавливающееся напряжение, компьютерное моделирование, решатели ode*

Introduction. Switching of power capacitor banks (also referred to as MSC - mechanically switched capacitors in FACTS - flexible alternating current transmission systems) is known to be one of the most unfavorable types of transients in electrical networks and systems [1, 2]. Transitional processes caused by switching-off capacitor banks are accompanied by over-voltages that can be dangerous for the insulation of MSC itself and the network equipment [2, 3]. Repeated restrikes of arc in circuit breakers at switching-off MSC and inrush currents at their switching-on can also impact the substation electromagnetic environment [4].

Flowing of transitional processes and magnitudes of transitional voltages and currents at switching-off power capacitor banks depend on several parameters and conditions, namely:
- the type of circuit breaker (SF6 or vacuum);
- parameters of MSC and source (mainly, transformer or autotransformer);
- contacts separation time;
- an initial instant of contacts separation;
- parameters of the load connected to the same bus-bars with MSC, and so on [5, 6].

The present article highlights the research results dedicated to the study of the impact of the total capacitance connected to the substation's certain standard voltage busbars on transitional voltages conditioned by the switching-off power capacitor banks connected to the same busbars system.

As we stated earlier, the transitional voltage across the MSC (capacitor banks) terminals at its switching-off has a trend to decline at increasing the equivalent capacitance of all the connections of the same bus-bars system of the substation. At the same time, the transitional recovery voltage inclines under the same conditions [7].

Research Ground. The electrical network under study and the corresponding equivalent circuit are presented in Fig.1.

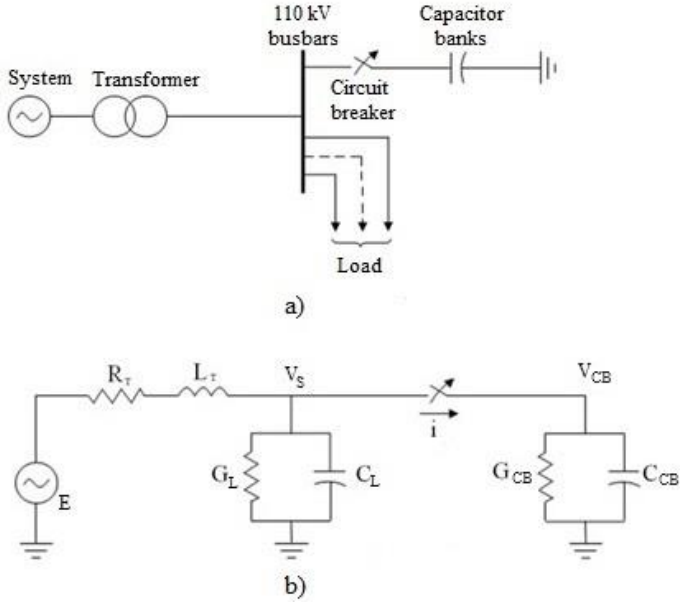


Fig. 1. *Connection network and equivalent circuit*

In this figure are accepted the following notifications:
- R, L, C, and G are correspondingly the resistance, inductance, capacitance, and conductance;
- V are the voltages in the equivalent scheme;
- E is the electromotive force (e.m.f.) of the voltage source.

The indices "s", "l" and "c" refer respectively to the parameters of the voltage source, load, and capacitor banks.

Let us make some comments on the computational basis of the problem under consideration. As was shown in [7], for the computer simulation of this type of problem the best methods, solvers, and algorithms are:
- the fast algorithm of the ode 23tb (stiff/TR-BDF2) solver [8];
- the fast algorithm of the ode 15s (stiff/NDF) solver [9];
- the ode 23s (stiff/Mod. Rosenbrock) solver [10].

All the results obtained from the computer simulation of the problem under study and presented and analyzed below, are the same for using all the above-minded methods, solvers, and algorithms.

Note, that for this research we used mainly the ode 23s solver realizing the Rosenbrock method, as the first-choice software facility.

The technique of a search for the maximum transitional voltages (in the presented research we searched for the maximum V_c) at computer simulation consists of the following:

- varying the initial instant of contact separation for the determination of the time instant corresponding to the intersection of the functions of the voltage across the MSC terminals and electric strength restoration of the circuit breaker used [2];

- to get a possible higher ratio of V_c one should try simulations at the initial time instant slightly less of one determined in the above minded previous simulation with arc repeated restrike, usually with a step 0.0001 – 0.00001 seconds (not to be confused with the simulation initial step size).

Results and Discussion. Graphs of dependences of switching transitional voltages at disconnection MSC from the substation's 110 kV busbars are presented in Fig.2 and Fig.3 for the voltages across the capacitor banks terminals (Fig.2) and recovery voltages, i.e., the voltages across the circuit breaker poles (Fig.3) respectively. Each of the curves, in pairs presented in both figures, concerns the cases of use SF6 or vacuum circuit breaker. Our research, based on reliable ode solvers and simulation algorithms and parameters for this class of problems [7, 11], realized in the numerous computer simulations has shown that:

1. ratios of transitional voltages at switching-off MSC of 110 kV, 75 MVAr change as follows (with rounding to one hundredth) dependently on the total capacitance of the substation 110 kV busbars (varied in the range 0.5 – 4.0 μF):

- between 2.37 and 2.63, and between 2.57 and 2.83 for the voltage across the capacitor banks terminals at use SF6 and vacuum circuit breakers respectively, at this the higher ratios take place for lesser capacitances;

- between 2.35 and 2.58, and between 2.36 and 2.59 for the recovery voltage at the use of SF6 and vacuum circuit breakers respectively, at this the higher ratios of recovery voltage take place for higher capacitances at the use of SF6 circuit breakers. There is no monotonous change of recovery voltage ratios with the use of a vacuum circuit breaker.

2. As seen from the presented computer simulation results, ratios of transitional voltage across the capacitor banks terminals for the cases of use both SF6 and vacuum circuit breakers have the same trend of change. For both cases, ratios of transitional voltages decrease with increasing connected capacitance of busbars. In our opinion this is conditioned by the following reason, namely: increasing the total capacitance connected to the busbars means decreasing the free frequency of the transitional process. As a result, we get slower growth of voltages' free components and a lower possibility of arc repeated restrike. Note here, that following Fig. 1, the transitional process of MSC switching-off will have 2 free frequencies: at disconnection of MSC from the voltage source a capacitance of the scheme will be equal to the total capacitance of connections to busbars, and at arc repeated restrike (arcing between circuit breaker contacts) it will also be depended on the capacitance of capacitor banks;

3. Ratios of transitional voltage (overvoltage) across the capacitor banks terminals are greater for the case of the use of vacuum circuit breakers. This corresponds to the results also shown in some other authors' works [6, 12]. So, add here just an interpretation of this fact, namely: obtained graphs of the transitional voltages and circuit breaker electric strength restoration show that all the repeated restrikes took place in the time interval into which the electric strength of vacuum is more than one of SF6;

4. As it is known overvoltages at switching-offs power capacitor banks and unloaded power transmission lines are conditioned by repeated restrikes of arc in circuit breakers, taking place at exceeding transitional recovery voltage above circuit breaker electric strength restoration [1, 2, 5]. The numbers of repeated reignitions obtained at computer simulation of the problem under consideration are presented in the following table (see Table 1);

5. As seen in Fig.2 and Fig.3, unlike voltages across the capacitor banks terminals (for both types of circuit breakers) and recovery voltages across the SF6 circuit breaker recovery voltages across the vacuum circuit breaker have more complicated, namely non-monotonous behavior. On the other hand, the recovery voltage across the SF6 circuit breaker, unlike all the other transitional functions in Fig.2 and Fig.3, increases throughout the entire range of busbars' capacitances.

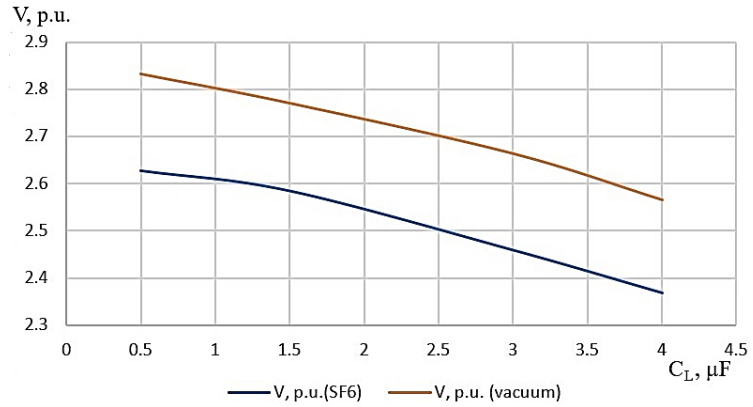


Fig.2. *Dependence of voltage across the MSC terminals on busbars capacitance*

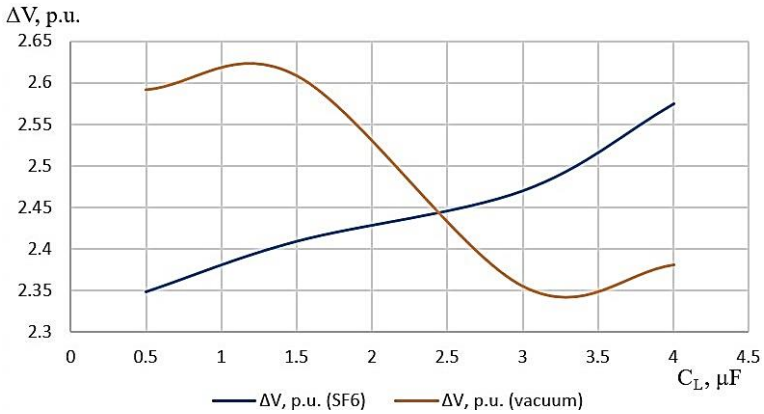


Fig.3. *Dependence of recovery voltage on busbars capacitance*

Table 1. *Number of repeated restrikes*

C_{Σ}, μF	SF_6	Vacuum
0.5	2	3
1.5	2	3
3.0	2	2
4.0	2	2

The typical curves of transitional functions at switching-off 110 kV power capacitor banks of 75 MVA for using both considered circuit breakers are presented in Fig.4 (for SF6 circuit breaker) and Fig.5 (for vacuum circuit breaker). Analyzing these graphs together we can see that in some cases number of arc's repeated restrikes at the use vacuum circuit breaker is more than one at the use SF6 circuit breaker. It is conditioned by decreasing of vacuum electric strength velocity as contacts diverge [13, 14].

Note that by our research, in the considered range of substation busbars' total capacitance ratios of transitional voltages do not exceed the allowable value of the triple amplitude of phase voltage for the voltage class of 110 kV. But it is necessary to keep in mind, that fewer capacitances may lead to exceeding these allowable values. This can take place at a small number of connections to the busbars at the same time.

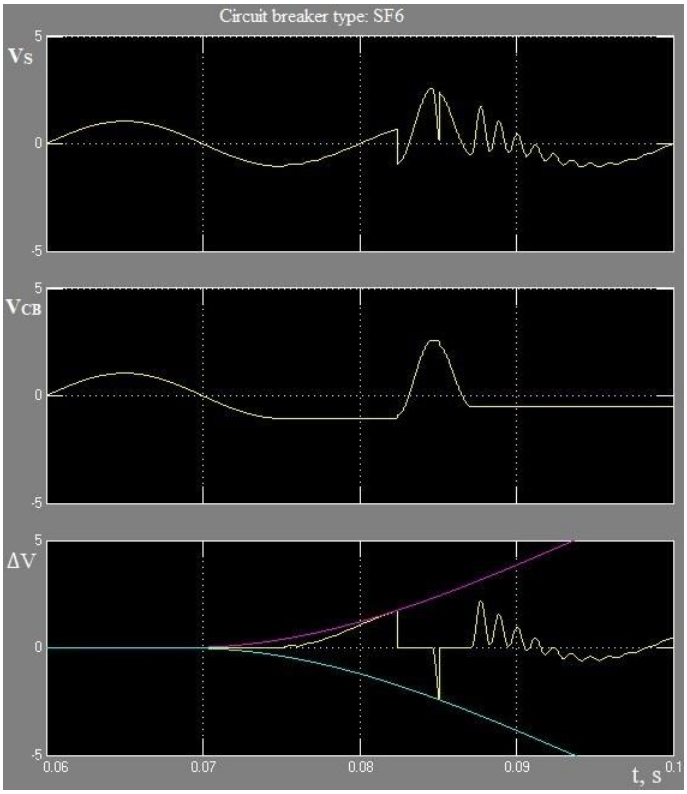


Fig.4. *Transitional functions at switching-off 110 kV power capacitor banks of 75 MVA for the use of SF6 circuit breaker*

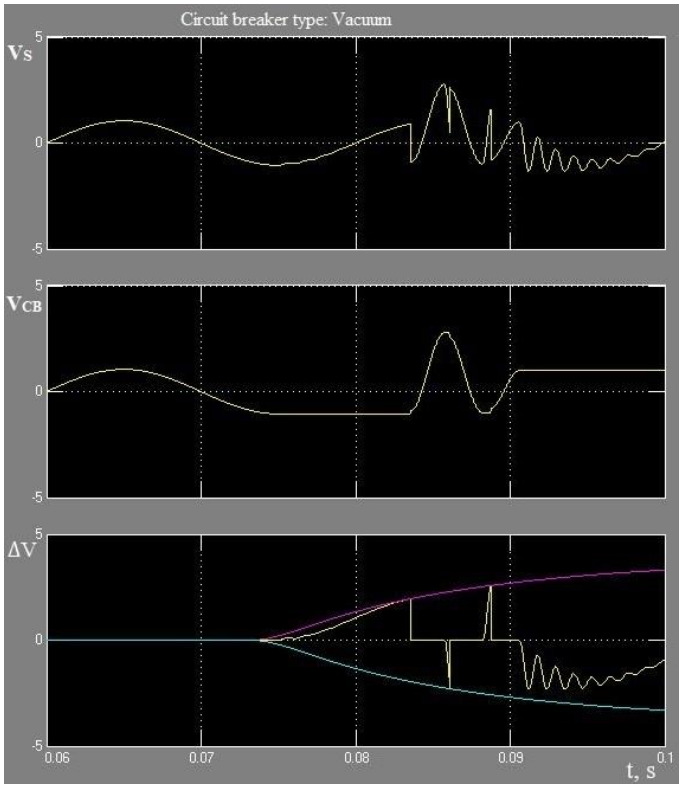


Fig. 5. *Transitional functions at switching-off 110 kV power capacitor banks of 75 MVA for the use of vacuum circuit breaker*

Conclusions. 1. Substation busbars' connected capacitance has a notable impact on ratios and behavior of transitional voltages at switching-off high-voltage capacitor banks (also named MSC – mechanically switched capacitors);

2. Ratios of transitional voltage across the capacitor banks terminals at the use of both SF6 and vacuum circuit breakers decrease with increasing connected capacitance of busbars. Ratios of recovery voltages across the circuit breacher poles against busbars capacitance have more complicated behavior, both in terms of monotonousness and trend of change;

3. Switching-off high-voltage capacitor banks by vacuum circuit breakers is accompanied by a higher number of arc's repeated restrikes at lesser values of the busbars connected capacitance. In our opinion, this is conditioned by the higher free frequencies of the switching transitional process that leads to repeated restrike due to decreasing the vacuum circuit breaker's electric strength growth velocity as contacts diverge.

References

[1] Das, J. C., "Analysis and Control of Large-Shunt Capacitor Bank Switching Transients", IEEE Trans. Industry App., vol. 41, no. 6, pp. 1444-1451, 2005.
[2] Razevig, D. V., High Voltage Engineering, Khanna Publishers, Delhi, 1989
[3] R. Smeets, L. Van der Sluis, M. Kapetanovic, et al., "Switching in Electrical Transmission and Distribution Systems", John Wiley and Sons, Ltd., New York, USA, 2015.
[4] T. Lazimov, E. Saafan, "Transitional Processes at Switching-Off Capacitor Banks with Pre-Insertion Resistors", The MEPS'15 Symposium, pp. 1-4, Wroclaw, Poland, July 2015.
[5] Gopakumar, G., Yan, H., Mork, B.A., Mustaphi, K.K., "Shunt Capacitor Bank Switching Transients: A Tutorial and Case Study", Michigan Technological University, Northern States Power Company, 2009
[6] S.M. Wong, L.A. Snider, E.W.C. Lo, "Over-voltages and re-ignition behavior of vacuum circuit-breaker", Proceedings of the IPST International Conference (on Power Systems Transients). New Orleans, USA, 2003, pp.1-6
[7] T. Lazimov, R. Ahmadov, "Some Features of Capacitor Banks Automatic Switching-offs Computer Simulation", The IFAC TECIS 18 Conference, Vol. 51, No. 30, pp. 632-635, Baku, Azerbaijan, 2018.
[8] https://www.mathworks.com/help/matlab/ref/ode23tb.html
[9] https://www.mathworks.com/help/matlab/ref/ode15s.html
[10] H.H. Rosenbrock, "Some general implicit processes for the numerical solution of differential equations", Computer Journal, Vol. 5, 1962/63, pp. 329-330
[11] T. Lazimov, E.A. Saafan, "Computational Features of Numerical Simulation of some Transitions in Electric Power Systems", The MEPS International Symposium, pp. 1-4, Wroclaw, Poland, 2019
[12] G.A. Yevdokunin, A.A. Korepanov, "Over-voltages and their limitation at vacuum circuit-breakers switching", Electricity, 1998, 4, pp.3-10
[13] Matsui Y., Yokoyama T., Umeya E., "Re-ignition Current Interruption Characteristics of the Vacuum Interrupters", IEEE Transactions on Power Delivery, 1988, vol.3, 4, pp. 1672-1677
[14] Murai Y., Toya H., Nitta T., "Statistical property of the breakdown of vacuum circuit-breakers and its influence on the surge generation in capacitive and reactive current interruption", IEEE Transactions on PAS-98, 1979, 1, pp. 232-238

Məqalə qəbul olunub: 29.03.24
Tövsiyə edib: dos. İsmayılov A.Ş.

UOT 621.019

GƏMİ ELEKTRİK TƏCHİZATI SİSTEMİNİN ETİBARLILIĞININ VƏ TƏHLÜKƏSİZLİYİNİN TƏHLİLİ ÜSULLARI

Muradəliyev A.Z., Hüseynov K.Ş.

Azərbaycan Elmi-Tədqiqat və Layihə-Axtarış Energetika İnstitutu
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**. Gəminin enerji təchizatı sisteminin əsas elementlərinin texniki etibarlılığının və istismar təhlükəsizliyinin kəmiyyətcə qiymətləndirilməsi üçün təklif olunan üsullar enerji təchizatı sisteminin vəziyyətini qiymətləndirməyə, eyni tipli gəmilərdə texniki vəziyyəti müqayisə etməyə və texniki xidmətin və təmirin müxtəlif növləri üzrə istismarın təhlükəsizliyini qiymətləndirməyə imkan verir. Bu, təhlükəli qəza hallarının qarşısını almağa kömək edir. Harrinqtonun arzuolunan funksiyaları əsasında qurulmuş kompleks keyfiyyət meyarından istifadə edərək qərar qəbuletmə sisteminin qurulması təklif olunur. Bu cür quruluşda məsələnin həlli mövcud texniki vəziyyəti qiymətləndirmək, diaqnostik göstəricilər üçün normativ bazadan istifadə etmək, əsaslı təmirlərarası müddətində imtinasız işləməyi proqnozlaşdırmağa imkan verən texniki əməliyyat modellərinin yaradılması və tədqiqi ilə bağlıdır.*

***Аннотация.** Предлагаемые методы количественной оценки технической надёжности и безопасности эксплуатации основных элементов системы судового электроснабжения позволяют оценить состояние систем электроснабжения, сопоставить техническое состояние на однотипных судах, оценить безопасность эксплуатации по различным видам технического обслуживания и ремонта. Это способствует предотвращению опасных аварийных ситуаций. Предлагается строить систему принятия решений с использованием комплексного критерия качества, построенного на основе функций желательности Харрингтона. Решение задачи в такой постановке связано с оценкой текущего технического состояния, использованием нормативной базы диагностических показателей, созданием и исследованием моделей технической эксплуатации, позволяющих производить прогнозирование безотказной работы в пределах межремонтного эксплуатационного периода.*

***Abstract.** The proposed methods of quantitative assessment of technical reliability and safety of operation of the main elements of the ship power supply system make it possible to assess the state of power supply systems, compare the technical condition on vessels of the same type, assess the safety of operation for various types of maintenance and repair. This helps to prevent dangerous emergencies. It is proposed to build a decision-making system using a comprehensive quality criterion built on the basis of Harrington desirability functions. The solution of the problem in this statement related to the assessment of the current technical condition, the use of the regulatory framework for diagnostic indicators, the creation and study of technical operation models that allow predicting trouble-free operation within the inter-repair operating period.*

***Açar sözlər:** qiymətləndirmə, vəziyyətin diaqnostikası, inteqral göstərici, istismar təhlükəsizliyi, enerji təchizatı sistemi, texniki xidmət, təmir*

***Ключевые слова:** оценка, диагностика состояния, интегральный показатель, безопасность эксплуатации, система электроснабжения, техническое обслуживание, ремонт*

***Key words:** assessment, condition diagnostics, integral indicator, operational safety, power supply system, maintenance, repair*

Giriş. Gəmi qurğularının texniki istismarı ilə bağlı problemli məsələlərin həllinə yanaşma bir sıra iyerarxik səviyyələri nəzərdə tutur. Onların hər biri işlərin səmərəliliyi, idarəetmə və istismar etibarlılığının təmin edilməsi ilə bağlı bir sıra istismar məsələlərini birləşdirir.

Texniki xidmət təcrübəsi göstərir ki, gəminin səmərəliliyini, ətraf hava mühitinin və su məkanının ekoloji təhlükəsizliyini müəyyən edən əsas element həm də gəminin elektrik təchizatı sistemidir.

«Həyat» dövrünün bütün mərhələlərində (layihələndirmə, istehsal, texniki istismar) istismar etibarlılığının təmin edilməsi problemi birinci dərəcəli əhəmiyyətə malikdir [1]. Bu baxımdan, istismar etibarlılığının vəziyyətinin ekspertizasının əsas elementləri olan texniki vəziyyətin qiymətləndirilməsi, texniki diaqnostika və proqnozlaşdırma mühüm rol oynayır.

Gəmi elektrik təchizatı sisteminin etibarlılığının artırılması həm elmi-texniki, həm də təşkilati, iqtisadi və sosial cəhətləri əhatə edən əsas və çoxtərəfli problemlərdən biridir. Bu problem həyat dövrünün bütün mərhələlərinə münasibətdə nəzərdən keçirilməlidir. Bununla belə, əsas və ən mühüm mərhələ elementlərin saxlanılması və təmiri üzrə elmi əsaslandırılmış tədbirlərə əsaslanan istismar mərhələsidir. Bu cür tədbirlərin təşkilində aparıcı rol sistemin elementlərinin texniki vəziyyətinin birbaşa istismar zamanı müəyyən etməyə imkan verən texniki diaqnostikaya aiddir, müəyyən uzunmüddətli dövr üçün texniki vəziyyətdə olan dəyişiklikləri proqnozlaşdırmağa imkan verir.

Mütəxəssislərin hesablamalarına görə, texniki diaqnostika vasitələrinin tətbiqi əhəmiyyətli iqtisadi effekt verə bilər. Yalnız faktiki texniki vəziyyətə əsaslanan texniki xidmətə keçid nəticəsində texniki xidmət və təmir xərcləri 20-25% azaltmaq olar. Əlavə diaqnostik informasiyadan istifadə edərkən qurğunun parametrlərinin hesablanmış iş nöqtəsindən sapmasına daha dəqiq nəzarət edilməsi hesabına yanacaq sərfiyyatında 1-2% azalma müşahidə ediləcək. Bu, elektrik təchizatı sisteminin elementlərinin real texniki vəziyyətini nəzərə alaraq minimum mümkün xüsusi yanacaq sərfini təmin edəcəkdir.

Etibarlılıq nəzəriyyəsində kifayət qədər möhkəm təsdiqlənmiş bir fikir var ki, hər hansı bir imtinalar təsadüfi hadisələrdir. Obyektin istismarı dövründə imtinalar zaman keçdikcə texniki vəziyyətin düzgün nəzərə alınmadan pisləşməsinin (onun möhkəmliyinin və funksional parametrlərinin və xüsusiyyətlərinin pisləşməsi) və ya gözlənilməz yüklərin layihə səviyyəsindən artıq olmasının nəticəsidir.

İmtinaların ən çox yayılmış səbəbi həm istismar prosesində, həm də istismar rejimindən kənarda obyektin elementlərinin materiallarında təbii fiziki və fiziki-kimyəvi proseslər nəticəsində baş verən parametrlərin və xarakteristikaların pozulmasıdır. İmtinaların inkişafı zamanla geri dönməz bir prosesdir. Bu prosesin sürəti müəyyən bir element və ya obyekt üçün materialların strukturu və başlanğıc xüsusiyyətləri, yükü və ətraf mühit də daxil olmaqla digər şərtlərlə müəyyən edilir.

Bu günə qədər elektrik təchizatı sisteminin elementlərinin istismar nəzəriyyəsi və təcrübəsi sahəsində etibarlılığın artırılması ilə bağlı işlənmələrin özünü tam doğrultmaması ilə səciyyələnən vəziyyət yaranıb. Tələb olunan imtinasızlıq səviyyəsinə nail olunmayıb, görülən tədbirlər isə gözlənilən effekti vermir. Elektrik təchizatı sisteminin elementlərinin bir hissəsi növbəti təmirin planlaşdırılmış müddətinə qədər imtina edir ki, bu da gəmilərin məcburi dayanmasına və qeyri-planlı işlərin yaranmasına səbəb olur. Eyni zamanda, əlverişli istismar şəraitində olan elektrik təchizatı sisteminin elementlərinin digər hissəsi icazə verilən maksimum texniki vəziyyətə çatmadan əvvəl təmirə yönəldilir.

Mövcud vəziyyətin alternativi kimi texniki diaqnostika vasitələrindən istifadə etməkdir. Bununla yanaşı, xüsusilə qeyd etmək lazımdır ki, texniki diaqnostika imtinanın qarşısının alınmasını əvvəlcədən proqnozlaşdıra biləcəyi təqdirdə daha effektiv olacaq. Yalnız bundan sonra təmir-profilaktik işlərini elə planlaşdırmaq mümkün olacaq ki, gəminin fəaliyyətinə mümkün qədər az ziyan vurulsun. Buradan belə nəticə çıxır ki, elektrik təchizatı sisteminin elementlərinin texniki vəziyyətinin proqnozlaşdırılması problemi birinci yerə çıxır.

Avadanlıqların istismar etibarlılığının idarə edilməsinin ən çətin vəzifələrinə texniki istismar zamanı texniki vəziyyətdəki dəyişikliklərin proqnozlaşdırılması aiddir. Bu proses inkişaf etməkdə olan uğursuzluqlar, diaqnostik göstəricilərin kəmiyyət qiymətləri və dinamikası haqqında məlumata əsaslanır. Belə formada məsələnin həlli diaqnostik göstəricilərin texniki istismar müddətindən asılılığını müəyyən etməyə imkan verir. Belə bir asılılığın qurulması onun inkişafının erkən mərhələsində nasazlığın müəyyən edilməsinə, imtina anının müəyyən edilməsinə, potensial resursun qiymətləndirilməsinə və profilaktik tədbirlərin müddətinin müəyyən edilməsinə imkan verir [2].

Əsas hissə. Gəminin enerji təchizatı sistemi ilə əlaqədar olaraq, hazırda onların idarə edilməsində zəngin təcrübə toplanmışdır. Müxtəlif optimallıq kateqoriyaları üzrə ayrı-ayrı texnoloji proseslərin optimallaşdırılmasına imkan verən üsullar və texniki vasitələr işlənib hazırlanmışdır. Bununla belə, dəniz və çay donanmasının gəmilərində, avadanlıqların istismar etibarlılığının idarə edilməsinin informasiya və alqoritmik təminatı ilə bağlı problemin həlli imkanı baxımından gəminin elektrik təchizatı sisteminin texniki istismarının səmərəliliyinin artırılması üçün əhəmiyyətli ehtiyat hələ istifadə olunmamış qalır.

Elektrik təchizatı sistemlərinin texniki istismarının səmərəliliyinin artırılması istiqamətlərindən biri də profilaktik təmir-bərpa işlərinin mövcud mərkəzləşdirilmiş planlaşdırılması sistemindən avadanlığın faktiki texniki vəziyyətinə əsaslanaraq daha az xərc tələb edən texniki xidmət və təmir sisteminə keçiddir. Bu keçid əməliyyat etibarlılığı səviyyəsinin monitorinqinə əsaslanır və zərər və nasazlıqlar haqqında məlumatların toplanması və təhlilindən ibarətdir.

Bu cür quruluşda məsələnin həlli mövcud texniki vəziyyətin qiymətləndirilməsi, diaqnostik göstəricilərin normativ bazasının istifadəsi, təmirlərarası istismar müddətində imtinasız işlərin proqnozlaşdırılmasını həyata keçirməyə imkan verən texniki istismar modellərinin işlənib hazırlanması və tədqiqi ilə bağlıdır. Elektrik təchizatı sisteminin elementlərinin sıradan çıxması iş şəraitinin pisləşməsinə, fırlanma tezliyinin dəyişməsinə, istilik gücünün artmasına və nəticədə işin səmərəliliyinin azalmasına, ümumilikdə isə enerji qurğusunun istismar keyfiyyətlərinin və gəminin iqtisadi göstəricilərinin azalmasına səbəb ola bilər.

Qarşıya qoyulan məsələlərin həllində aşağıdakılar zəruridir [3]:

1. İstismar məlumatlarının sistemləşdirilməsi və ümumiləşdirilməsi əsasında istismar etibarlılığının ekspert-statistik tədqiqatlarının aparılması.
2. Nəticələrin təhlili və real şəraitdə istismar təcrübəsinin ümumiləşdirilməsi.
3. İstismar etibarlılığının keyfiyyətli və kəmiyyət göstəricilərinin əldə edilməsi.
4. İstismar etibarlılığının səviyyəsinin müqayisəli qiymətləndirilməsi meyarlarının hazırlanması.
5. İstismar etibarlılığının proqnozlaşdırılması üçün riyazi modellərinin və istismar prosesində potensial resursun xərclənməsinin qiymətləndirilməsi meyarının hazırlanması.
6. Təmirlərarası istismar dövründə istismar etibarlılığının təmin etmək üçün praktiki tövsiyələrin hazırlanması.

Qarşıya qoyulan vəzifələrin həlli üsulları aşağıdakılara əsaslanır:

- elektrik təchizatı sistemlərinin istismar etibarlılığının ekspert qiymətləndirilməsi, müxtəlif ixtisas səviyyəli ekspertlərin fikirləri şəklində informasiyadan istifadə edilməsi, onun statistik emalı, alınan nəticələrin reqressiya və korrelyasiya təhlili və onların şərhi;
- sistemli analiz, riyazi modelləşdirmə, reqressiv funksiyalar və səhvlərin qiymətləndirilməsi prinsiplərindən istifadə və s.

Əldə olunan nəticələrin praktiki əhəmiyyəti elektrik təchizatı sistemlərinin istismar etibarlılığının təmin edilməsi mexanizminin işlənib hazırlanmasından ibarətdir. Alınan nəticələrin həyata keçirilməsi gəmi elektrik təchizatı sisteminin istismar səmərəliliyini artırmağa imkan verir.

Gəmi elektrik təchizatı sistemlərinin (ETS) istismar nəticələri haqqında məlumatın təhlili layihələndirmə, istehsal və istismar proseslərinin həyata keçirilməsi zamanı onların istismar dövrünün bütün mərhələlərində gəmi elektrik təchizatı sisteminə təsir göstərən mühüm əks əlaqə kanalıdır.

Bundan əlavə, gəmi elektrik təchizatı sisteminin tələb olunan etibarlılıq göstəricilərini təmin etmək məqsədilə müvafiq düzəlişlər etməyə imkan verir. Onun əsasında gəminin elektrik təchizatı sisteminin etibarlılığının kəmiyyət xarakteristikaları, texniki xidmət və təmirin əmək tutumu (TXvəT), əvəzedici-ehtiyat hissələrin hərəkəti və s. haqqında məlumat bazası formalaşır.

Etibarlılıq göstəricilərinin keyfiyyət təhlili aşağıdakılara imkan verir:

- gəminin elektrik təchizatı sisteminin nasazlıqların və zədələnmələrin ayrı-ayrı aqreqatların, sistemlərin və bütövlükdə gəminin iş qabiliyyətinə təsir dərəcəsini müəyyən etmək;
- gəmi avadanlıqlarının ən az etibarlı komponentlərini müəyyən etmək;
- texniki xidmətin və təmirin həcmini, dəyərini və dövrini müəyyən etmək;
- həlli gəminin elektrik təchizatı sisteminin müvafiq səviyyədə işləmə qabiliyyətini təmin edəcək tədbirlər kompleksi yaratmaq.

Etibarlılıq haqqında məlumatın kəmiyyət təhlili gəminin elektrik təchizatı sisteminin həqiqi etibarlılıq səviyyəsini müəyyən etməyə imkan verir. Kəmiyyət xarakteristikalarını qiymətləndirərkən hesablamalarda istifadə olunan əsas kəmiyyətlər aşağıdakılardır: seçilmiş zaman intervalında imtinaların sayı, imtinaya qədər işləmə vaxtı, intinaların nisbi göstəriciləri və s.

Sübutlar göstərir ki, hazırda keyfiyyətsiz TXvəT-lər imtinaların ən çox yayılmış səbəbidir. Xüsusilə, gəmi daxili yanma mühərrikləri (GDYM) gəmi heyəti və ya sahil mütəxəssisləri tərəfindən əsaslı təmir edildikdən və ya mühərrik komponentlərinin təmir işləri istehsalçı-zavodun təlimatlarına zidd olaraq həyata keçirildikdən qısa müddət sonra nasazlıqların çoxsaylı halların baş verməsi qeyd edilmişdir. Bu, daxili yanma mühərriklərinin əsaslı təmirinin yüksək ixtisaslı mütəxəssislər tərəfindən aparılmasının vacibliyindən xəbər verir.

Dənizdə səyahət təhlükəsizliyinin təmin edilməsi gəminin istismarı üçün ən vacib tələbdir. Dənizdə səyahət təhlükəsizliyi əsasən gəmi sistemlərinin etibarlılığının təmin edilməsi ilə bağlıdır ki, bu da öz növbəsində onların texniki vəziyyətindən asılıdır. Istismar zamanı müxtəlif amillərin, rejimlərin və iş şəraitinin təsiri nəticəsində elektrik avadanlıqlarının ilkin texniki vəziyyəti davamlı olaraq pisləşir, nasazlıqların baş vermə ehtimalı artır.

Hal-hazırda dəniz gəmilərinin fəaliyyətinin effektivliliyinə artan tələblər müşahidə olunur. Effektivlilik dedikdə etibarlılıq, səmərəlilik və təhlükəsizlik nəzərdə tutulur [4]. Gəminin fəaliyyətinin effektivliliyi əsas elektrik avadanlıqlarının (sinxron generatorlar (SG), asinxron elektrik mühərrikləri, dizel-generatorlar (DQ), transformatorlar və s.) istismar etibarlılığının səviyyəsi ilə müəyyən edilir. Buna görə də texniki vəziyyətin diaqnostikasını və əsas elektrik avadanlıqlarının strategiyası və gələcək istismarı haqqında əsaslandırılmış qərarlar qəbul etmək məqsədəuyğun görünür. Bütövlükdə stansiyanın fəaliyyəti əsas elektrik avadanlıqlarının texniki vəziyyətinin səviyyəsindən asılıdır.

Bu tendensiyanın yaranmasının səbəbi texnoloji proseslərin davamlılığını tələb edən mürəkkəb istehsalın və sistemlərin sürətlə yayılmasıdır. Bundan əlavə, gəmi elektrik təchizatı sistemində istifadə olunan mənəvi cəhətdən köhnəlmiş avadanlıq problemi də aktual olaraq qalır. Avadanlıqların istismarı və təmiri sisteminin təkmilləşdirilməsi istiqamətində aparılan işlərə baxmayaraq, mənəvi cəhətdən köhnəlmiş və normativ istismar müddətinə çatmış avadanlıqların böyük həcmi imtinaların sayının qaçılmaz artmasına səbəb olur. Bundan əlavə, avadanlıq parkının birdəfəlik dəyişdirilməsi iqtisadi cəhətdən mümkün deyil.

Elektrik avadanlıqlarının əhəmiyyətli dərəcədə aşınması əlavə enerji itkilərinə, fəaliyyətinin etibarlılığının azalmasına, qəza və imtinalarının artmasına səbəb olur. Elektrik avadanlıqlarının etibarlılığı əsasən istehsal keyfiyyətinin səviyyəsi ilə deyil, həm də istismarın, texniki xidmətin və təmirin elmi cəhətdən əsaslandırılmış olması ilə müəyyən edilir [5].

Hal-hazırda elektrik avadanlıqlarının texniki vəziyyətinə nəzarət və diaqnostikası üçün çox saylı informasiya sistemlərindən, üsul və vasitələrindən istifadə olunur. Bununla yanaşı, elektrik avadanlıqlarının texniki vəziyyətinə uyğun olaraq səmərəli texniki xidməti və təmirini təmin edəcək

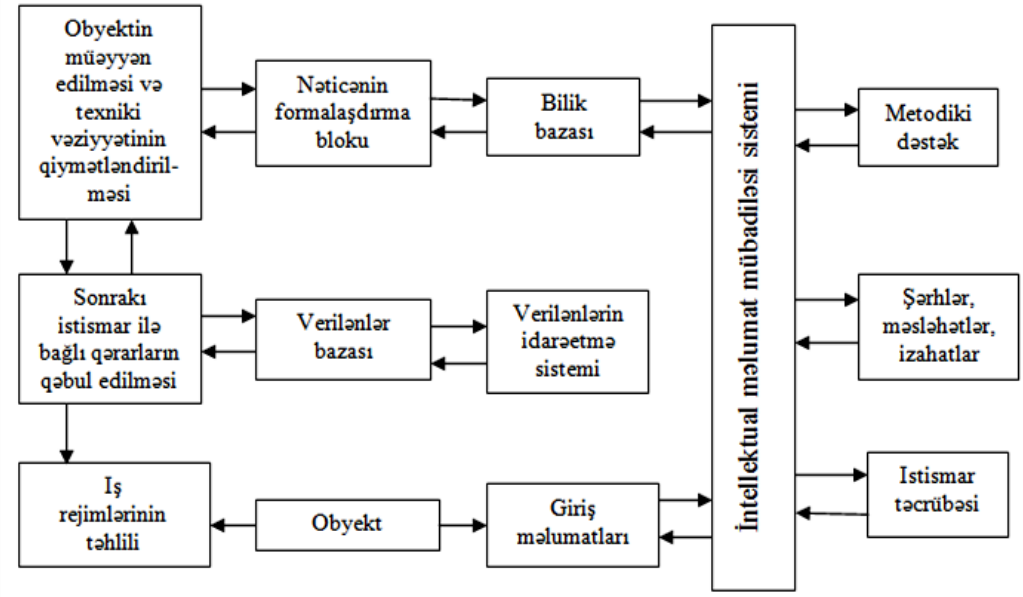
mövcud texnologiyaların və praktiki üsulların təkmilləşdirilməsi və yenilərin işlənib hazırlanması zəruridir.

Texniki vəziyyətə nəzarət və diaqnostikanın informasiya texnologiyalarının keyfiyyətinin yüksəldilməsini müəyyənləşdirən istiqamətlərdən biri diaqnostik informasiyanın emalı proseslərinin intellektuallaşdırılması hesab edilməlidir.

Qərarların qəbul edilməsinə dəstək sistemləri kimi və obyektin texniki vəziyyətinin qiymətləndirilməsində keyfiyyətinin yaxşılaşdırmasını təmin edə bilən ekspert sistemlərinin texnologiyaları ən geniş yayılmışdır. Avadanlıqların texniki vəziyyəti nəzərə alınmaqla kompleks keyfiyyət meyarı üzrə intellektual idarəetmə əsasında texniki vəziyyətin qiymətləndirilməsi və proqnozlaşdırılması ekspert sisteminin modelinin hazırlanması zəruridir.

Bu cür sistemlər insanın müxtəlif fəaliyyət sahələrində əldə etdiyi bilikləri cəmləşdirə bilir. Ekspert sistemləri vasitəsilə bir çox müasir məsələləri, o cümlədən problemlərini həll etmək mümkün olur. Lakin sistemlərin əksəriyyəti klassik məntiq qaydalarına əsaslanır.

Elektrik avadanlıqlarının texniki vəziyyətinin qiymətləndirilməsi və proqnozlaşdırılması və elektrik avadanlıqlarının sonrakı istismarı ilə bağlı qərarların qəbul edilməsi üçün ekspert sisteminin sadələşdirilmiş struktur sxemi şəkildə göstərilmişdir.



Ekspert sisteminin sadələşdirilmiş struktur sxemi

İdarəetmə sisteminin sürətini artırmaq üçün diaqnostik parametrlərin sayını azaltmaq lazımdır [6]. Obyektin texniki vəziyyətinin keyfiyyətcə qiymətləndirilməsindən kəmiyyət vəziyyətinə keçmək üçün Harrinqtonun arzuolunma funksiyaları əsasında qurulmuş kompleks keyfiyyət meyarından istifadə edərək qərar qəbuletmə sisteminin qurulması təklif olunur.

Kompleks keyfiyyət meyarı böyük həcmli diaqnostik məlumatların emalı prosesini sadələşdirmək, həmçinin diaqnostika üsulundan kifayət qədər müstəqil olan avadanlıqların texniki vəziyyətinə inteqral qiymətləndirilməsini əldə etmək məqsədi daşıyır. Arzuolunma funksiyasından qiymətləndirmə parametri kimi istifadə ideyası ondan ibarətdir ki, məsələdə istənilən qədər çox ola bilən P_D diaqnostik parametrlərinin (P_D) hər birinin kəmiyyəti müvafiq arzuolunanlığa (k_A) çevrilir:

$$k_A = \exp[-\exp(-P_D)] \quad (1)$$

Nəticədə alınan arzuolunma şkalası 0-dan 1-ə qədər dəyişir:

– 0-0,19 - kritik səviyyə;

- 0,19-0,37 – arzuolunmaz səviyyə
- 0,37-0,63 - qənaətbəxş səviyyə;
- 0,63-0,8 - yaxşı səviyyə;
- 0,8-1,0 - mükəmməl səviyyə.

Sonra ümumiləşdirilmiş arzuolunanlıq funksiya D formalaşır, hansı ki, fərdi qiymətləndirmə parametrlərinin arzuolunanlığının həndəsi ortasıdır:

$$D = \sqrt[n]{k_{A1}k_{A2}.....k_{An}} \tag{2}$$

burada n - diaqnostika parametrlərinin sayı.

Gəmilərdə yanğın təhlükəsinin kəmiyyətcə qiymətləndirilməsi etibarlılığın ən mühüm və çətin problemlərindən biridir. Onun əhəmiyyəti yanğın təhlükəsinin azaldılması ilə müəyyən edilir. Bu da çoxsaylı yanğın hadisələri ilə təsdiqlənir və böyük maddi ziyana, ətraf mühitin pozulmasına, şəxsi heyətin xəsarət almasına və ölümünə səbəb olur. İşlənib hazırlanmış üsul və alqoritmin əsasında yanğın təhlükəsizliyi qaydalarının pozulması haqqında məlumatlara əsaslanır.

Obyektlərin yanğın təhlükəsizliyi qaydalarının pozulması haqqında məlumatlar vahidlərlə hesablandığından, bu məlumatların statistik təhlili imkanları məhduddur [7].

Hesablanır:

- nəzarət seçməsi əsasında obyektin (ob) yanğın təhlükəsizliyi qaydalarının pozulması ehtimalının qiymətləndirilməsi. Düsturdan istifadə edərək hesablanır:
-

$$q^{ob} = n^{ob} / K^{s} \tag{3}$$

burada, n^{ob} - nəzarət seçməsində yanğın təhlükəsizliyi qaydalarının müəyyən edilmiş pozuntularının sayıdır; K^{S} - nəzarət seçməsində yanğın təhlükəsizliyi qaydalarının sayı.

- yanğın təhlükəsi dərəcəsi (S^{ob}).

S^{ob}-inaşağıdakı növləri qəbul edilir:

əgər $q^{ob} > 50\%$, onda $S^{ob} \Rightarrow$ yolverilməz;
əgər $50\% \geq q^{ob} > 25\%$, onda $S^{ob} \Rightarrow$ qəbuledilməz;
əgər $25\% \geq q^{ob} > 5\%$, onda $S^{ob} \Rightarrow$ böyük;
əgər və $5\% \leq q^{ob} > 0$, onda $S^{ob} \Rightarrow$ kiçik;
əgər $q^{ob} = 0$, onda $S^{ob} \Rightarrow$ təhlükəsiz

Nəticə. 1. Gəminin enerji təchizatı sisteminin əsas elementlərinin texniki etibarlılığının və istismar təhlükəsizliyinin kəmiyyətcə qiymətləndirilməsi üçün təklif olunan üsullar enerji təchizatı sisteminin vəziyyətini qiymətləndirməyə, eyni tipli gəmilərdə texniki vəziyyəti müqayisə etməyə və texniki xidmətin və təmirin müxtəlif növləri üzrə istismarın təhlükəsizliyini qiymətləndirməyə imkan verir. Bu, təhlükəli qəza hallarının qarşısını almağa kömək edir.

2. Harrinqtonun arzuolunan funksiyaları əsasında qurulmuş kompleks keyfiyyət meyarından istifadə edərək qərar qəbuletmə sisteminin qurulması təklif olunur.

3. Bu cür quruluşda məsələnin həlli mövcud texniki vəziyyəti qiymətləndirmək, diaqnostik göstəricilər üçün normativ bazadan istifadə etmək, əsaslı təmirlərarası müddətində imtinasız işləməyi proqnozlaşdırmağa imkan verən texniki əməliyyat modellərinin yaradılması və tədqiqi ilə bağlıdır.

4. Gəmi elektrik təchizatı sistemlərinin səmərəliliyinin kəmiyyətcə qiymətləndirilməsinin nəticələri aşağıdakılara imkan verir:

- alınan nəticələri eyni tipli gəmilər üçün müqayisə etmək;
- faktiki gəminin elektrik təchizatı sisteminin tələblərə uyğun gəlməməsinin əsas səbəbi olan «zəif bəndlərin» müəyyən etmək;
- «zəif bəndlərin» aradan qaldırılması yolu ilə gəmi elektrik təchizatı sistemini idarə etmək;
- eyni tipli gəmilərə müxtəlif texniki xidmət və təmir növləri üzrə elektrik təchizatı sistemlərinin səmərəliliyinin obyektiv qiymətləndirilməsini hesablamaq;

5. Etibarlılıq və təhlükəsizlik gəminin elektrik təchizatı sisteminin obyektlərinin zədələnməsindən asılıdır. Məsələn, obyektlərin xidmət müddəti nə qədər uzun olarsa, onların etibarlılığı bir o qədər aşağı olur və texniki xidmətin təhlükəsi bir o qədər yüksəkdir. Təhlükə mənbələri kimi qəzaların və texnogen fəlakətlərin baş verməsini xarakterizə edən və ehtimal olunan təhlükəsizlik göstəriciləri müvafiq məlumatlar olduqda faydalı ola bilər.

Ədəbiyyat

1. Орлов А.И. Новая парадигма анализа статистических и экспериментальных данных в задачах экономики и управления. Научный журнал КубГАУ. №98(04), 2014, с.1-21
2. Информационные технологии в диагностировании судового электрооборудования / О.С. Вахромеев, С.В. Головко, О.С. Нестеров, Д.Ю. Чавычалов // Теория, методы и средства измерений, контроля и диагностики: материалы VII Междунар. науч.-практ. конф. - Новочеркасск: ЮРГТУ, 2006. - С. 27-32.
3. Дмитриев В.В. Определение интегрального показателя состояния природного объекта как сложной системы. //Общество, среда, развитие (Terra Humana) №4/2009, с.146-165
4. ГОСТ 27002-2009. Надежность в технике. Основные понятии. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2011, 26 с.
5. Назарычев А.Н. Основные принципы системы технического обслуживания и ремонта электрооборудования по техническому состоянию // Надежность либерализованных систем энергетики / под ред. Н.И. Воропая, А.Д. Тевяшева. - Новосибирск: Наука, 2004. - С. 173-189.
6. Фархадзаде Э.М., Фарзалиев Ю.З., Мурадалиев А.З. Переход от качественного к количественному подходу формирования решений по повышению надежности объектов электроэнергетических систем. Электричество. №8, 2016, 23-31 с.
7. Баринов А.В., Седых Н.И., Седнев В.А. и др. Безопасность жизнедеятельности. Учебное пособие. М.; Академия ГПС МЧС России, 2014, 350 с.

Məqalə qəbul olunub: 29.03.24
Tövsiyə edib: dos. İsmayılov A.Ş.

UOT 62.83.52

GƏMİ ELEKTRİK İNTİQALLARININ EFFEKTİV İDARƏOLUNMASININ XÜSUSİYYƏTLƏRİ

Sultanov E.F., Həsənov E.A., Qurbanov A.T.

"Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası"PHŞ
AZ1000 Bakı şəh., Z.Əliyeva küç., 18
E-mail: elshen_sultanov@mail.ru, hasanov.079@mail.ru

Xülasə. *Məqalədə mövcud gəmi elektrik intiqallarının idarə olunmasının xüsusiyyətlərindən bəhs olunur. Burada müxtəlif gəmi elektrik intiqallarının idarə sistemi nəzərdən keçirilmiş və həmin gəmi elektrik intiqallarında rotoru qısaqapanmış asinxron mühərrikinin tətbiqini təmin etmək üçün müasir tezlik çeviriciləri ilə idarə olunmasına ehtiyac yarandığı qeyd edilmişdir.*

Abstract. *The article discusses the features of the management of existing ship electrical transmissions. Here, the control system of various ship's electric transmissions is considered, and it is noted that modern frequency converters need to be operated year by year to ensure the application of a short-circuited induction motor with a rotor in the ship's electric transmissions.*

Аннотация. *В статье рассматриваются особенности управления существующими судовыми электроприводами. Исследованы системы управления различными судовыми электроприводами и отмечена необходимость использования современных преобразователей частоты для управления короткозамкнутыми асинхронными электродвигателями в целях обеспечения применения последних в судовых электроприводах.*

Açar sözlər: *gəmi, elektrik intiqalı, asinxron mühərrik, tezlik çeviricisi, idarə olunma*

Key words: *ship, electric drive, asynchronous motor, frequency converter, management*

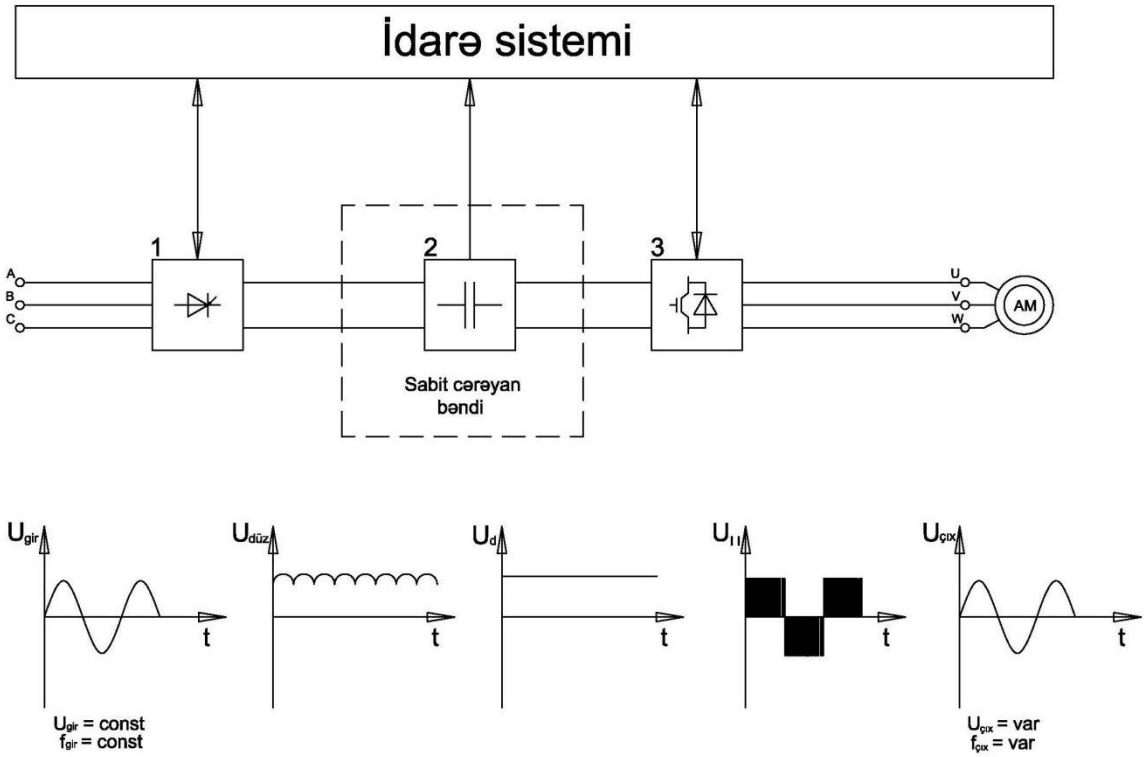
Ключевые слова: *судно, электропривод, асинхронный двигатель, преобразователь частоты, управление*

Giriş. Hazırda rotoru qısaqapanmış asinxron mühərrikinin yumşaq işə buraxılmasını, həmçinin fırlanma sürətinin səlist və geniş diapazonda tənzimini yerinə yetirməyə imkan verən müxtəlif güclər üçün nəzərdə tutulmuş tezlik çeviricilərindən istifadə olunur. Faza rotorlu asinxron mühərriklərində isə mühərrikin rotor dövrəsinə tiristor kommutatoru və tezlik çeviriciləri qoşulur ki, bu da onun yumşaq işə buraxılmasına və fırlanma sürətinin səlist tənziminə imkan yaradır. Onların işə salınmasının elektrostansiyasının gücünə görə mümkün olması isə idarəedici mikroprosessor qurğuları vasitəsilə yoxlanılır və lazım gələrsə avtomatik olaraq əlavə generatorlar işə salınır. Müasir gəmilərdə dəniz şəraiti üçün başqa elektrik mühərriklərinə nisbətən daha etibarlı olan rotoru qısaqapanmış asinxron mühərriklərinin sayı bir neçə yüzə çatır və onların bəzilərinin gücləri 1000 kW-a yaxındır (köməkçi sükan qurğusunun mühərriki) [1].

Əsas hissə. Gəmi elektrik avadanlığının inkişaf istiqamətlərindən biri də müasir güc elektronikası və yeni mikroprosessor idarəetmə sistemlərindən istifadə edərək tamamilə yeni bir elektrik avadanlıqlarının yaradılmasıdır. Müasir çeviricilərin avtonom invertoru IGBT (Insulated-gate bipolar transistor - keçidi izolə edilmiş bipolyar tranzistor) güc bipolyar tranzistorları əsasında hazırlanır.

İnvertorda sabit gərginlik U_d üç fazalı döyünən gərginliyə U_d çevrilir. İdarəetmə sisteminin siqnallarına görə elektrik mühərrikinin hər bir sarğısı çeviricinin müvafiq güc tranzistorları sabit cərəyan bəndi vasitəsilə müsbət və mənfi qütblərinə bağlanır. İdarəetmə sistemi mühərrikin sarğılarına qoşulan gərginliyin modulyasiyasını təmin edir [2].

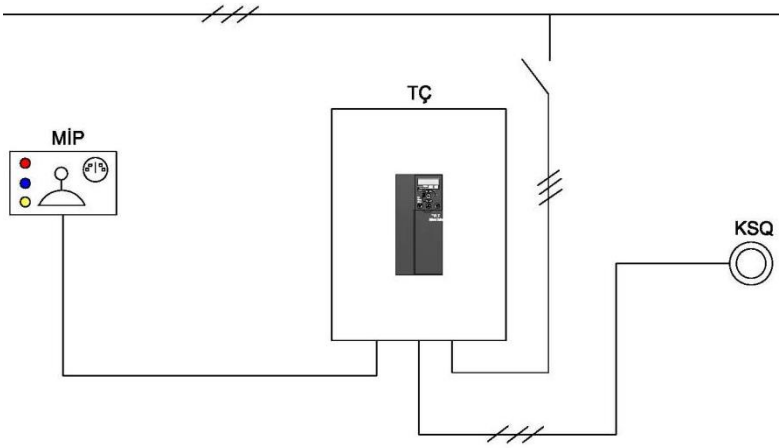
Tezliklə idarə olunan asinxron mühərriki 45 kVt tezlikli çeviricidən ibarətdir (şəkil 1).



Şəkil 1. *Tezlik çeviricisi ilə idarə olunan asinxron elektrik intiqalının prinsipial sxemi*

Dəyişən tezlikli intiqala əsaslanan məsafədən idarəetmə sistemi daha sadə, etibarlıdır və ənənəvi hidravlik sistemdən daha az qulluq və istismar xərcləri tələb edir.

Tezlik çeviricisi ilə idarə olunan köməkçi sükan elektrik intiqalı. Köməkçi sükan qurğusu (KSQ) birbaşa tezlik çeviricisindən (TÇ) və ya məsafədən (MİP) idarə olunur (şəkil 2). İdarəetmə vintin fırlanma istiqamətini və fırlanma sürətini, həmçinin köməkçi sükan qurğunun ən vacib parametrləri barədə məlumatları göstərir.



Şəkil 2. *Tezlik çeviricisi ilə idarə olunan köməkçi sükan elektrik intiqalının prinsipial sxemi*

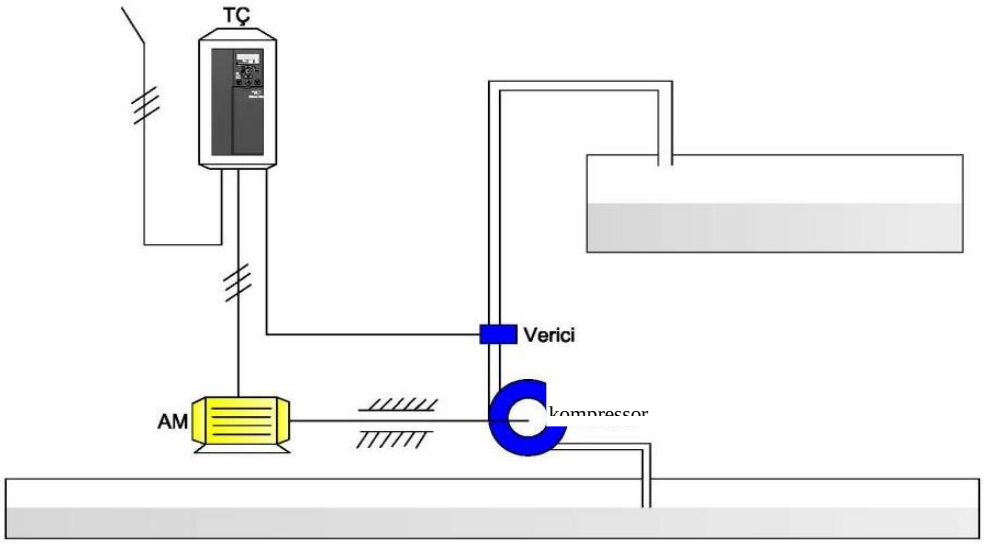
Tezlik çeviricisi vintin fırlanma sürətini və addımını sıfırdan maksimuma qədər rahat şəkildə idarə etməyə imkan verir, vintin elektrik intiqalını revers, yumşaq işə buraxılmasını və dayanmasını təmin edir [2, 5].

Vintin addımının və reversinin yumşaq şəkildə idarə edilməsi gəminin manevr əməliyyatlarını daha sürətli və daha dəqiq idarə etməyə imkan verir. Bundan əlavə, vintin fırlanma sürətinin sürətə nisbətdə hamar tənzimləməklə gəminin elektrik şəbəkəsindən elektrik istehlakı azalır. Elektrik intiqalının yumşaq şəkildə işə salınması və dayanması gəminin elektrik şəbəkəsindəki pik yüklərini və içərisindəki gərginlik düşgülərini və sükan qurğusunun mexaniki hissəsindəki döyünmə yüklərini aradan qaldırır. Tezliklə idarə olunan intiqala əsaslanan elektrikli uzaqdan idarəetmə sistemi ənənəvi hidravlik sistemdən daha sadə, daha etibarlı və az texniki xidmət və istismar xərcləri tələb edir.

Qeyd olunanları ümumiləşdirərək demək olar ki, sabit addımlı vinti olan köməkçi sükan qurğusu və tezlik çeviricisi ilə idarə olunan intiqalın istifadəsi aşağıdakıları təmin edir:

- yanalma, yedəkləmə, dar keçidləri keçmək və s. gəminin manevr qabiliyyətinin yaxşılaşdırılması;
- boşaltma, yükləmə müddətinin azaldılması;
- enerji istehlakının azalılması;
- naviqasiya təhlükəsizliyinin artırılması.

Gəmi kompressor qurğularının elektrik intiqalının idarə olunması. Tezlik çeviricisindən istifadə edərək asinxron mühərrikin fırlanma tezliyini dəyişdirərək tələb olunan gücü təmin etmək mümkündür. Tezlik çeviricisi ilə idarə olunan kompressor elektrik intiqalının prinsipial sxemi şəkil 3-də göstərilmişdir.



Şəkil 3. *Tezlik çeviricisi ilə idarə olunan kompressor elektrik intiqalının prinsipial sxemi*

Kompressor elektrik intiqalının tezlik çeviricisi ilə yumşaq bir şəkildə işə salınması gəminin elektrik şəbəkəsindəki pik yüklərin aradan qaldırılmasını da təmin edir [4].

Təcrübə göstərir ki, nasosların və kompressorların tezlik çeviriciləri ilə təchiz edilməsinin aşağıdakıları üstünlükləri vardır.

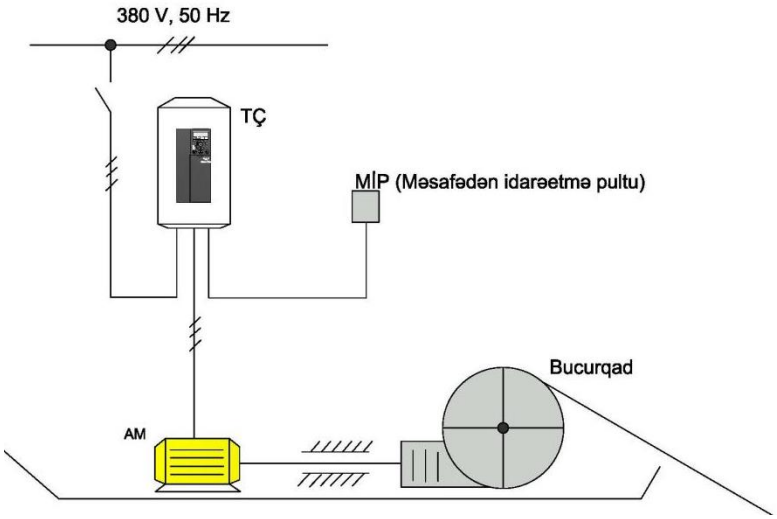
- məhsuldarlıqdan asılı olaraq elektrik mühərrikinin elektrik enerji istehlakının azaldılması;
- elektrik mühərrikinin səlis işə salınması, elektrik şəbəkəsindəki pik yüklərin aradan qaldırılması və gərginlik düşgüsünün azalması;
- şok cərəyanlarını və mexaniki döyünmə yüklərini aradan qaldıraraq elektrik intiqalının və texnoloji avadanlıqların istismar müddətinin artırılması;
- etibarlılığın artırılması, qulluğun sadələşdirilməsi və əməliyyat xərclərinin azaldılması.

Yanalma bucurqadının elektrik intiqalının tezlik çeviricisi ilə idarə olunması. Lövbər-yanalma mexanizmlərinin elektrik ötürücülərində, müxtəlif təyinatlı bucurqadlarda, gəmi kranlarında və s. tezlik çeviricilərinin istifadəsi çox prespektivli görünür. Belə ki:

- sıfır fırlanma tezliyində valın üzərində momentin maskimal qiymətində saxlanılması;
- hər iki istiqamətdə fırlanma sürətinin idarə olunması;
- bütün əməliyyat diapazonu boyunca yüksək dəqiqliklə val üzərində momentin tənzimlənməsi;
- tam yüklənmiş bir mexanizmin işə salınması və dayandırılması.

Şəkil 4-də gəminin texnoloji kompleksləri üçün bucurqadın tezlik çeviricisi ilə idarə olunan elektrik intiqalının sxemi göstərilmişdir.

Avtomatik rejimdə yanalma bucurqadının elektrik intiqalının əsas göstəricilərindən biri onun işə salma sayıdır. İşə salmaların sayı gəminin körpüdə dayandığı zaman xarici mühitin və kanatın dartma qüvvəsini ölçən sistemin işindən asılı olaraq geniş miqyasda dəyişə bilər. Tədqiqatlar göstərir ki, gəmi dalğaların təsirindən pis mühafizə olunan limanlarda dayandıqda avtomatik yanalma bucurqadının elektrik intiqalnın işə salma sayı saatda 500-600 dəfəyə çata bilər.



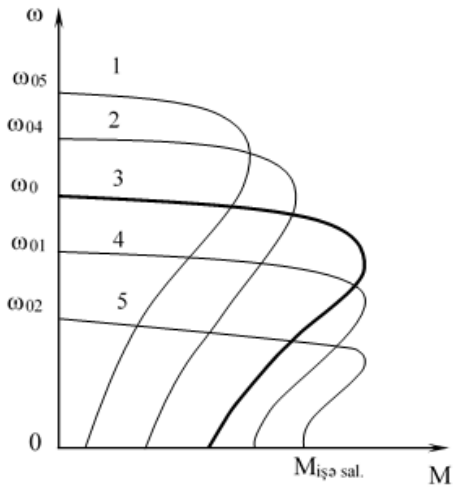
Şəkil 4. *Tezlik çeviricisi ilə idarə olunan bucurqadın elektrik intiqalının prinsipial sxemi*

İdarəetmə sistemi tezlik çeviricisini (TÇ) və məsafədən idarəetməni (MİP) əhatə edir. Məsafədən idarəetmə bucurqadı birbaşa göyərtədən idarə etməyə imkan verir və vəziyyətə nəzarəti təmin edir. Tezlik çeviricisi bucurqadın barabanının yumşaq işə buraxılmasını təmin edir. Çevirici barabanın fırlanma sürətini lazımi dəqiqliklə idarə edir.

Tədqiqatlar göstərir ki, yanalma qurğusunun elektrik mühərrikinin sabit cərəyan bəndli, eninə impuls modulyasiyalı gərginlik invertoruna malik olan tezlik çeviricisinin tətbiq edilməsi qurğuya bəzi texniki-iqtisadi üstünlüklər verir. Belə tezlik çeviricisi mühərrikin fırlanma sürətinin (20÷30):1 diapazonda səlis tənzim edilməsini təmin edir və tənzimetmə ilə əlaqədar elektrik itkisinin miqdarı az olur [5, 6].

Tezlik çeviricisi ilə fırlanma sürəti tənzim olunan rotoru qısaqapanmış asinxron mühərrikin sabit müqavimət momentində yaranan mexaniki xarakteristikaları şəkil 5-də göstərilmişdir. Tənzim xarakteristikalarından görünür ki, elektrik mühərrikinin orta sürət dolağının (2p=8) yaratdığı fırlanma sürətini tezlik çeviricisi ilə tənzim etdikdə mühərrik yanalma qurğusunun bütün iş rejimlərini artıqlaması ilə ödəyir, sürət tənziminin həddi geniş və səlis olur [3].

Bunlardan əlavə kontaktorlu idarə sisteminin kontaktsız yarımkeçiricilərdən hazırlanmış tezlik çeviricisi ilə əvəz edilməsi elektrik intiqalının istismarını asanlaşdırır və gəmi şəraiti üçün çox vacib göstərici sayılan etibarlığı yüksəldir.



Şəkil 5. *Eninə impuls modulyasiyalı tezlik çeviricisi vasitəsilə fırlanma sürəti tənzim olunan asinxron mühərrikin mexaniki xarakteristikaları*

Nəticə. Beləliklə, aparılmış təhlillərdən aydın görünür ki, mövcud gəmi elektrik intiqallarının idarə sistemi iqtisadi və texniki tələbləri ödəmir və rotoru qısaqapanmış asinxron mühərrikinin tətbiqini təmin etmək üçün müasir tezlik çeviriciləri ilə idarə olunmasına ehtiyac vardır. Gəmi elektrik intiqallarının kontaktorla idarə sisteminin tezlik çeviriciləri ilə əvəz edilməsi bu qurğulara çox lazım olan tez işləmə xüsusiyyətini verir və bu xüsusiyyət yanalma zamanı baş verə bilən qəza hallarının qarşısını alır. Beynəlxalaq Dəniz Təşkilatı tərəfindən elektrik intiqallarına verilən tələblər onu göstərir ki, asinxron elektrik mühərriklərini idarə etmək üçün müasir sabit cərəyan bəndli, eninə impuls modulyasiyalı tezlik çeviricilərinin tətbiqi labüddür. Məqalədə həcmi, çəkisi, qiyməti üç surətli mühərriklərə nisbətən az olan və müasir tezlik çevriciləri ilə idarə olunan asinxron mühərrikinin qurulması təklif edilir.

Ədəbiyyat

1. Sultanov E.F. Abdullayev A.N. Müasir gəmi elektrik intiqalları. Dərslik.– Bakı: ADDA, – 2018. – 438 s.
2. Sultanov E.F. Həsənov E.A. Məmmədov E.M. Gəmi göyərtə mexanizmlərinin elektrik intiqallarında tətbiq olunan tezlik çevricilərinin tədqiqi. Second International Baku Conference On Scientific Research. Baku Odlar Yurdu University, Volume 1, – Baku: – april 28-30, – 2021, – p. 424-430.
3. Sultanov E.F. Həsənov E.A. Gəmi lövbər qurğusunun elektrik intiqalının tezlik çeviricisi vasitəsilə idarə olunması // – Bakı: Energetikanın problemləri, – 2014. №3, – s. 65-77.
4. Перельмутер В.М. Прямое управление моментом и током двигателей переменного тока. – Х.: Основа, – 2004. – 210 с.
5. Соколовский, Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. Учебник. – М.: Академия, – 2007. – 277 с.
6. Hasanov E.A. Asynchronous motor control of ship anchormooring gear in static mode with frequency change // International Journal on “Technical and Physical Problems of Engineering” (IJTPE). – 2020. Issue 43, Volume 12, Number 2, – p. 35-39.

Məqalə qəbul olunub: 29.03.24
Tövsiyə edib: dos. İsmayılov A.Ş.

UOT 62.83.52

ASİNXRON İNTİQALLI AVTOMATLAŞDIRILMIŞ GƏMİ YEDƏK BUCURQADININ DİNAMİKİ REJİMLƏRİNİN MATLAB/SİMULİNK PROQRAMINDA TƏDQİQİ

Sultanov E.F., Həsənov E.A., Əlicanov R.R.

"Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası" PHŞ
AZ1000, Bakı şəh., Z.Əliyeva küç., 18
E-mail: elshen_sultanov@mail.ru, hasanov.079@mail.ru, ralicanov@mail.ru

Xülasə. *Gəmi yedək bucurqadının avtomatik sistemin keçid prosesinə az vaxt sərf olunması gəminin yedəkdə aparılması zamanı baş verə biləcək qəzanın (yedək kanatının qırılmasının, kanatın vintə ilişməsinin) qarşısını alan əsas amil hesab olunur. Bu səbəbdən də məqalədə gəmi avtomatlaşdırılmış yedək bucurqadının dinamiki rejimləri MATLAB/SİMULİNK proqramında tədqiq olunmuşdur. Məqalədə həmçinin asinxron mühərriki tezlik çeviricisi ilə idarə olunan avtomatik sistemin istismarda olan və yeni hazırlanan AUT2 avtomatlaşma simvolu olan yedək və xilasetmə gəmilərində tətbiqi məsələlərinə də baxılmışdır.*

Аннотация. *Меньшее время нахождения судовой буксирной лебедки в процессе перехода автоматической системы считается основным фактором, предотвращающим аварию, которая может произойти при буксировке судна (обрыв буксирного троса, застраивание троса в винте). По этой причине в статье исследованы динамические режимы корабельной автоматизированной буксирной лебедки в программе MATLAB/SIMULINK. Также в статье рассмотрено применение системы автоматики, управляемой асинхронным двигателем с преобразователем частоты, на действующих буксирах и спасательных судах и с новым разработанным обозначением класса автоматики AUT2.*

Abstract. *Less time spent by the ship's towing winch in the transition process of the automatic system is considered the main factor that prevents the accident that may occur during the towing of the ship (breakage of the towing cable, the cable getting stuck in the screw). For this reason, in the article, the dynamic modes of the ship's automated towing winch were studied in the MATLAB/SIMULINK program. The article also considered the application of the automatic system controlled by an asynchronous motor with a frequency converter in tugs and rescue ships in operation and with the newly developed AUT2 automation symbol.*

Açar sözlər: *gəmi, yedək bucurqadı, elektrik intiqalı, dinamiki rejim, dayanıqlıq, keçid prosesi*

Ключевые слова: *судно, буксирная лебедка, электропровод, динамический режим, устойчивости, переходной процесс*

Key words: *ship, towing winch, electric drive, dynamic mode, stability, switching process*

Giriş. Yedək qurğuları bir sıra xüsusiyyətlərə malikdirlər. Yedəyə alma prosesində xarici amillərin (küləyin, dalğaların və s.) qeyri-sabit və təsadüfi təsirləri nəticəsində yedək gəmisi ilə yedəyə alınan obyek arasındakı məsafə də sabit qalmır. Bu hal yedək kanatında dartma qüvvəsinin dəyişməsinə və bəzən kritik qiymətlərədək artmasına gətirib çıxara bilir. Bu səbəbdən, az-çox müntəzəm yedəyəalma əməliyyatları üçün nəzərdə tutulmuş gəmilər (dəniz yedək gəmiləri, xilasedici gəmilər, buzqıran gəmilər və s.), bir qayda olaraq, elektrik intiqalları olan xüsusi yedək bucurqadları ilə təchiz olunurlar. Belə bucurqadlar işçi barabanda yedək kanatının ehtiyat hissəsinin saxlanılması, yedək kanatının uzunluğunun elektrik intiqalının əl idarəsi və avtomatik idarəsi hesabına tənzim olunması kimi əməliyyatların aparılmasına xidmət edirlər [6].

Yedək bucurqadının avtomatik rejimdə əsas vəzifələrindən biri müxtəlif üzmə şəraitlərində kanatda olan dartma qüvvəsinin sabitliyini saxlamaqdır. Belə ki, dartma qüvvəsinin birdən-birə zərbə

təsirinə bərabər qüvvə ilə artması kanatın qırılması, manevr zamanı isə yedəyə alınan obyektin hətta aşması ilə nəticələnə bilər. Kanatın həddindən artıq boşalması isə onun avar vintinə ilişmə ehtimalını da istisna etmir. Yedək bucurqadı elektrik intiqalının işinə və avtomatika sisteminin elementlərinə görə avtomatik yanalma bucurqadları ilə oxşardır [6].

Əsas hissə. Açıq dənizdə yedəkdə aparma işi ilə məşğul olan yedək gəmilərinin yedək bucurqadına təsir edən müqavimət qüvvəsi küləyin və dalğanın təsirindən tez-tez dəyişdiyi üçün Beynəlxalq Dəniz Təşkilatının tələblərinə görə belə gəmilər avtomatik yedək bucuqadı ilə təchiz olunmalıdır. Belə avtomatik yedək bucurqadının əsas vəzifəsi kanatda yaranan dartma qüvvəsini təxminən sabit saxlamaqdan ibarətdir. Yəni əlverişsiz hava şəraitində kanatdakı dartma qüvvəsi artdıqda yedək bucurqadının mühərriki işə düşüb barabana sarınmış kanatın bir hissəsini buraxaraq qüvvəni azaldır və əksinə qüvvə az olduqda kanatı yığaraq qüvvəni sabitləşdirməlidir.

Yedək bucurqadına hərəkət verən elektrik intiqalının xüsusiyyətlərindən biri onun eyni zamanda həm statik, həm də dinamiki yüklərin təsirinə məruz qalmasıdır. Elektrik intiqalı üçün statik yük yaradan qüvvə kanatdakı sabit qüvvə sayılır. Bu qüvvə yedəyə götürülmüş gəminin ağırlığından, həcmindən və yedək sürətindən asılıdır [6,9].

Elektrik intiqalının dinamiki yükü küləyin sürətinin birdən-birə dəyişməsindən, dalğanın yedək gəmisinə və yedəyə alınmış gəmiyə eyni vaxtda təsir etməməsindən, yedək gəmisinin kursunun və ya sürətinin dəyişməsindən, həmçinin digər səbəblərdən yaranır. Yedək bucurqadının elektrik intiqalının ikinci əsas xüsusiyyəti onun tez-tez işə düşüb dayanması ilə əlaqədardır. Yəni kanatdakı dartma qüvvəsini sabit saxlamaq üçün həmin qüvvə yuxarıda göstərilən səbəblərin hesabına artdıqda elektrik mühərriki işə düşüb kanatın uzunluğunu artırır, dartma qüvvəsi azaldıqda isə mühərrik işə düşərək kanatı barabana yığır. Yedəkləmə açıq dənizdə fırtına zamanı yerinə yetirildikdə yedəkdə aparma prosesinə dalğanın təsirini azaltmaq üçün elektrik mühərriki saatda 300 dəfəyə kimi işə düşməli olur. Bu səbəbdən elektrik intiqalının iş rejimi ağırlaşır və elektrik mühərrikinin güc dövrəsini açıb-bağlayan kommutasiya aparatları tez sıradan çıxırlar.

Kanatda yaranan dartma qüvvəsi gəminin hərəkət istiqamətindən, yedəyin sürətindən, kanatın uzunluğundan, dənizin səthinin vəziyyətindən və digər faktorlardan asılıdır. Dəniz şəraitində yedək gəmilərində nominal dartma qüvvəsi 120÷400 kN olan yedək bucurqadlarından və həmin yedək bucurqadlarında kanatın dartılma qüvvəsini sabitləşdirən qurğulardan istifadə olunur. Belə yedək bucurqadları avtomatik yedək bucurqadları adlanırlar [6,7].

Hazırda gəmi yedək bucurqadında tətbiq edilən üç sürətli rotoru qısaqapanmış asinxron mühərrikinin və onun idarə sisteminin bir çox çatışmayan cəhətləri vardır. Bunlardan sürət tənziminin pilləli olmasını, idarəetmənin kontaktorlar vasitəsilə yerinə yetirilməsini, mühərrikin həcm və çəkisinin böyük olmasını (statorda üç ədəd üç fazalı dolaq yerləşdiyinə görə) və ən əsası belə mühərrikin yedək bucurğadında lazım olan tənzim xarakteristikasını tam ödəməməsini göstərmək olar [3]. Bu səbəbdən də mövcud struktur sxemdə bəzi dəyişikliklər aparılmışdır. Belə ki, kontaktlı vericilər və maqnit stansiyası daha müasir və dövrümüzün tələblərinə cavab verən tezlik çeviriciləri ilə əvəz edilmişdir [7]. Müxtəlif əvzələmələr və sadələşmələr aparıldıqdan sonra qurulan yedək bucurqadının avtomatik idarə sisteminin struktur sxemi şəkil 1-də göstərilmişdir.

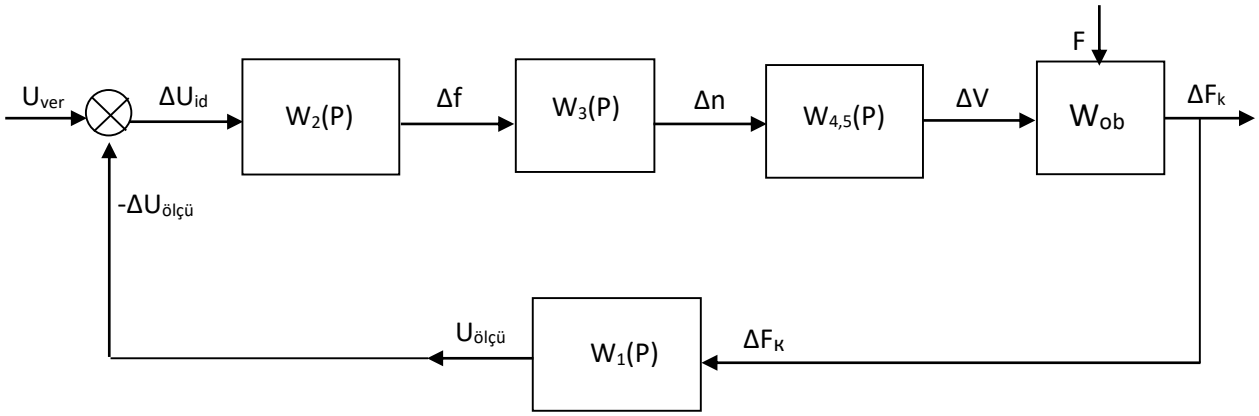
Avtomatik idarəetmə nəzəriyyəsindən məlum olduğu kimi struktur sxemin ayrı-ayrı elementlərinin ötürmə funksiyaları aşağıdakı kimi olacaqdır [1,5]:

Ölçü blokunun ötürmə funksiyası

$$W_1(P) = \frac{K_{mex} \cdot K_{çev}}{T_{çev}\, p + 1} \tag{1}$$

Tiristor blokunun ötürmə funksiyası

$$W_2(P) = \frac{K_2}{T_2\, p + 1} \tag{2}$$



Şəkil 1. *Yedək bucurqadının avtomatik sisteminin sadələşdirilmiş struktur sxemi*

Asinxron mühərrikin ötürmə funksiyası

$$W_3(P) = \frac{K_3}{T_3 p + 1} \tag{3}$$

Reduktor və barabanın birlikdə ötürmə funksiyası

$$W_{4,5}(P) = K_4 \cdot K_5 \tag{4}$$

İdarə obyektinin ötürmə funksiyası

$$W_{ob}(P) = K_{ob} \tag{5}$$

Şəkil 1-də göstərilmiş struktur sxemə əsasən açıq sistemin ötürmə funksiyası olacaqdır.

$$W_{aç}(P) = W_2(P) \cdot W_3(P) \cdot W_{4,5}(P) \cdot W_{ob}(P) = \frac{K_2}{T_2 P + 1} \cdot \frac{K_3}{T_3 P + 1} K_4 \cdot K_5 \cdot K_{ob} = \frac{K}{(T_2 P + 1)(T_3 P + 1)} \tag{6}$$

Burada $K = K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_{ob}$;

Qapalı sistemin ötürmə funksiyası:

$$W_{qap}(P) = \frac{W_{aç}(P)}{1 + W_{aç}(P) \cdot W_1(P)} = \frac{\dfrac{K}{(T_2 P + 1)(T_3 P + 1)}}{1 + \dfrac{K}{(T_2 P + 1)(T_3 P + 1)} \cdot \dfrac{K_{mex} \quad K_1}{T_{çev} P + 1}} = \frac{K(T_{çev} P + 1)}{(T_2 P + 1)(T_3 P + 1)(T_{çev} P + 1) + K \cdot K_{mex} \cdot K_1} =$$

$$= \frac{K T_{çev} P + K}{T_2 T_3 T_{çev} P^3 + T_2 T_3 P^2 + T_2 T_{çev} P^2 + T_2 P + T_3 T_{çev} P^2 + T_3 P + T_{çev} P + 1 + K_{üm}} =$$

$$= \frac{K T_{çev} P + K}{T_2 T_3 T_{çev} P^3 + \left(T_2 T_3 + T_2 T_{çev} + T_3 T_{çev}\right) P^2 + \left(T_2 + T_3 + T_{çev}\right) P + 1 + K_{üm}} = \frac{b_0 P + b_1}{a_0 p^3 + a_1 p^2 + a_2 p + a_3}$$

$$K_{üm} = K \cdot K_{mex} \cdot K_1$$

$$W_{qap}(P) = \frac{b_0 P + b_1}{a_0 P^3 + a_1 P^2 + a_2 P + a_3} = \frac{\Delta F_k}{\Delta U_{id}} \tag{7}$$

Burada $\Delta U_{id} = \Delta U_{ver} - \Delta U_{ölçü}$

Dinamik tənliyin axırıncı şəkli aşağıdakı kimi olacaqdır.

$$(a_0 P^3 + a_1 P^2 + a_2 P + a_3) \cdot \Delta F_k = (b_0 P + b_1) \cdot \Delta U_{id} \tag{8}$$

Burada $b_0 = K \cdot T_{çev}$,

$b_1 = K$

$$a_0 = T_2 \cdot T_3 \cdot T_{çev}$$
$$a_1 = T_2T_3 + T_{çev}T_2 + T_3T_{çev},$$
$$a_2 = T_2 + T_3 + T_{çev},$$
$$a_3 = 1 + K \cdot K_{mex} \cdot K_{çev},$$

Qapalı sistemin ötürmə funksiyasının (7) əmsallarını təyin edək:

$K_{mex} = 0,2$, $K_{çev} = 2$, $K_2 = 5$, $K_3 = 30$, $K_4 = 0,01$, $K_5 = 1,88$,

$K_{ob} = 16,45$, $T_{çev} = 0,045$ san, $T_2 = 0,02$ san, $T_3 = 0,52$ san,

$$K = K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot K_5 \cdot K_{ob} = 5 \cdot 30 \cdot 0,01 \cdot 1,88 \cdot 16,45 = 46,4$$
$$a_0 = T_2 \cdot T_3 \cdot T_{çev} = 0,02 \cdot 0,52 \cdot 0,045 = 0,00047$$
$$a_1 = T_2T_3 + T_{çev}T_2 + T_3T_{çev} = 0,02 \cdot 0,52 + 0,045 \cdot 0,02 + 0,45 \cdot 0,52 = 0,01 + 0,0009 + 0,023 = 0,034$$
$$a_2 = T_2 + T_3 + T_{çev} = 0,02 + 0,52 + 0,045 = 0,585$$
$$a_3 = 1 + K \cdot K_{mex} \cdot K_{çev} = 1 + 46,4 \cdot 0,2 \cdot 2 = 1 + 18,56 = 19,56$$

Avtomatik sistemin dayanıqlığı və keçid prosesi. Sistemin dayanıqlığının yoxlanılması üçün Mixaylov meyarından istifadə edilmişdir. Bu məqsədlə qapalı sistemin xarakteristik tənliyində $P = j\omega$ əvəzləməsini aparırıq [1,2,4].

Xarakteristik tənlik aşağıdakı kimidir:

$$D(P) = a_0P^3 + a_1P^2 + a_2P + a_3 \quad (9)$$

$$D(j\omega) = -ja_0\omega^3 - a_1\omega^2 + ja_2\omega + a_3 \quad (10)$$

burada $P(\omega) = a_3 - a_1\omega^2$ həqiqi hissə; $jQ(\omega) = j(a_2\omega - a_0\omega^3)$ xəyali hissədir.

Əmsalların qiymətini yerinə yazsaq alarıq:

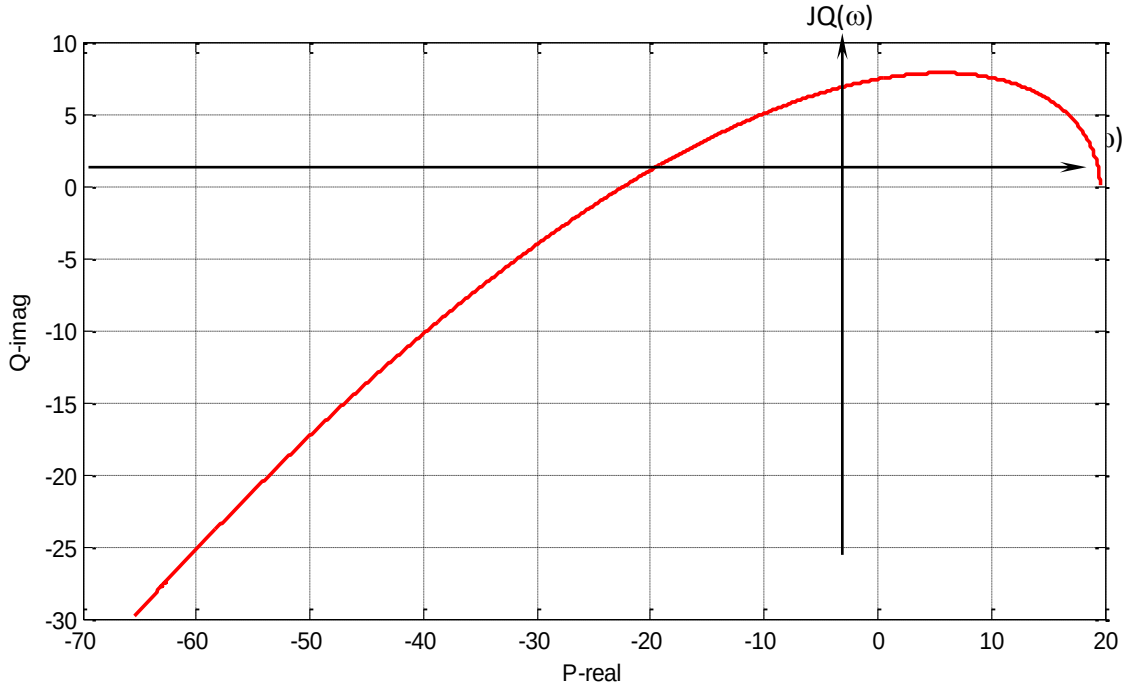
$$P(\omega) = 19,56 - 0,034\omega^2$$
$$jQ(\omega) = j(0,58\omega - 0,00047\omega^3) \quad (11)$$

ω – ya "0"-dan "∞"-a qədər qiymətlər verməklə $L(j\omega)$ vektorunun hodoqrafını qururuq. Hesablama nəticələri cədvəl 1-də verilmişdir.

Cədvəl 1

ω	ω^2	ω^3	a_3	$-a_1\omega^2$	$P(\omega)$	$a_2\omega$	$-a_0\omega^3$	$JQ(\omega)$
0	0	0	19,56	0	19,56	0	0	0
1	1	1	19,56	-0,034	19,53	0,585	-0,00047	0,584
2	4	8	19,56	-0,14	19,42	1,17	-0,0037	1,17
4	16	64	19,56	-0,54	19,02	2,34	-0,03	2,31
6	36	216	19,56	-1,22	18,34	3,51	-0,1	3,41
7	49	343	19,56	-1,66	17,9	4,1	-0,16	3,94
10	100	1000	19,56	-3,4	16,16	5,85	-0,47	5,38
15	225	3375	19,56	-7,65	11,9	8,77	-1,58	7,19
20	400	8000	19,56	-13,6	5,96	11,7	-3,76	7,94
25	525	15625	19,56	-17,8	1,76	14,62	-7,3	7,32
30	900	27000	19,56	-30,6	-11,04	17,55	-12,65	4,9
35	1225	42875	19,56	-41,6	-22,04	20,5	-20,15	0,35
40	1600	64000	19,56	-54,4	-34,8	23,4	-30,1	-6,7
50	2500	125000	19,56	-85	-65,4	29,25	-58,75	-29,5

Cədvəl 2-də alınmış qiymətlərə əsasən MATLAB proqramının əmrlər pəncərəsində Mixaylov hodoqrafi qurulmuşdur (şəkil 2). Şəkildən göründüyü kimi ω "0"-dan "∞"-a kimi dəyişdikdə xarakteristik vektor kompleks müstəvidə öz hərəkətini müsbət həqiqi oxdan başlayaraq saat əqrəbinin əksi istiqamətində 3 kvadrant keçir, deməli sistem dayanıqlıdır [5,8].



Şəkil 2. *Mixaylov hodoqrafi*

Keçid prosesinin əyrisini qurmaq üçün avtomatik yedək bucurqadının qaplı sisteminin dinamiki tənliyindən (7) istifadə edirik [4].

Fərz edək ki, idarə təsiri olmadıqda tənzim olunan kəmiyyət (ΔF_k), (ΔF_k) miqdarında dəyişmişdir. Bu zaman avtomatik idarə sistemi işə düşüb qurğunu əvvəlki vəziyyətinə gətirir. Keçid prosesinin əyrisini qurmaq üçün a_0 əmsalı çox kiçik olduğu üçün (a_0=0,00047) qəbul edirik ki, $a_0 \approx 0$. Bu vəziyyətdə qapalı sistemin tənliyi aşağıdakı kimi olacaqdır [2,7].

$$(a_1P^2 + a_2P + a_3)\cdot \Delta F_k = 0 \qquad (12)$$

(12)-dən avtomatik sistemin xarakteristik tənliyi alırıq.

$$a_1P^2 + a_2P + a_3 = 0 \qquad (13)$$

a_1=0,034; a_2=0,585; a_3=19,56 olduğunu bilərək xarakteristik tənliyin köklərini tapaq:

$$0{,}034P^2 + 0{,}58P + 19{,}56 = 0$$

$$P_{1,2} = \frac{-a_2 \pm \sqrt{a_2^2 - 4a_1a_3}}{2a_1} = \frac{-0{,}58 \pm \sqrt{(0{,}58)^2 - 4\cdot 0{,}034\cdot 19{,}56}}{2\cdot 0{,}034} = \frac{-0{,}58 \pm \sqrt{0{,}33 - 2{,}65}}{0{,}068} =$$

$$= \frac{-0{,}58 \pm 1{,}52}{0{,}068} = -8{,}53 \pm j22{,}35 = \alpha \pm j\beta$$

$$\alpha = -8{,}53;\ \beta = 22{,}35$$

Köklər kompleks şəkildə olduğu üçün tənliyin həlli aşağıdakı kimi olacaqdır [2,4]:

$$y = e^{\alpha t}\left(c_1 \cos\beta t + c_2 \sin\beta t\right) \qquad (14)$$

Burada $(y = \Delta F_k)$- prosesin başlanğıc şərtinə görə t=0 olduqda y=1 və y'=0 olacaqdır.

Belə olduqda $C_1 = 1;\ \ C_2 = \frac{\alpha}{\beta} C_1;\ \ C_2 = \frac{8,53}{22,35} = 0,38$

C_1 və C_2 – nin qiymətlərini (14) düsturunda yerinə yazsaq alarıq:

$$y = e^{\alpha t}(\cos 22,35t + 0,38 \sin 22,35t) \qquad (15)$$

t=0,02 san. olarsa $e^{\alpha t} = e^{-8,53 \cdot 0,02} = e^{-0,17} = 0,84$

$$\cos 22,35t = \cos 22,35 \cdot 0,02 = \cos 0,44$$

Əyər radianın qiymətini dərəcəyə keçirsək alarıq

$$\alpha = \frac{180}{\pi} 0,44 = \frac{180}{3,14} 0,44 = 25,2^0$$

$$\cos 25,2^0 = 0,9$$

$\sin 25,2^0 = 0,42$ onda $0,38 \sin 25,2 = 0,38 \cdot 0,42 = 0,16$

Alınan qiymətləri (15) düsturunda yerinə yazsaq alarıq.

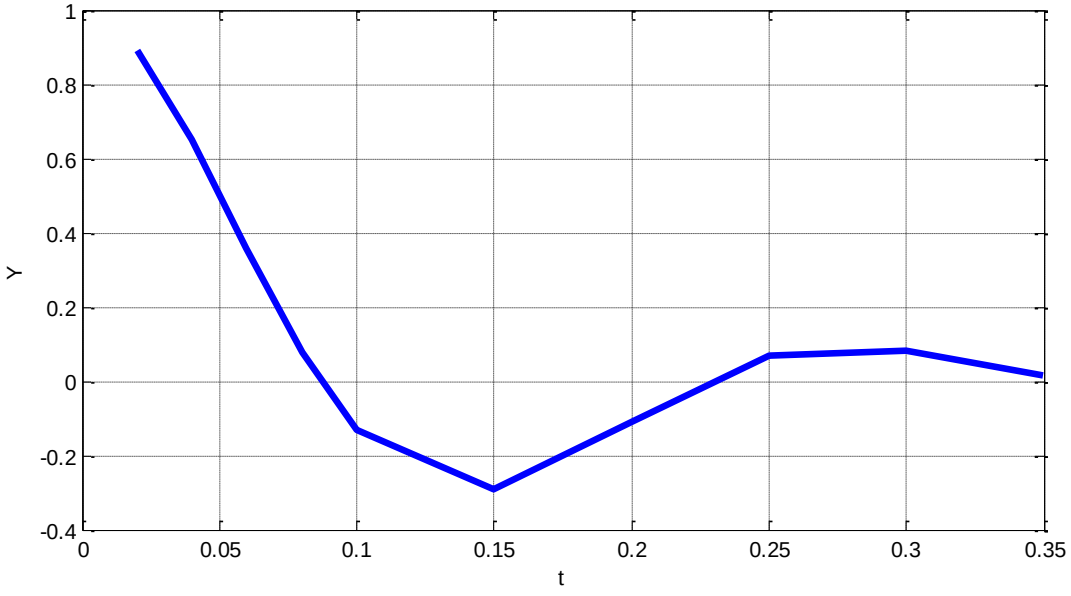
$$y = e^{-0,17t}(\cos 22,35t + 0,38 \sin 22,35t) = 0,84(0,9 + 0,16) = 0,89$$

Hesablamaların qalan hissəsi cədvəl 2-də göstərilmişdir.

Cədvəl 2

t	$e^{-8,53t}$	cos 22,35t	0,38sin22,35t	Y
0,02	0,84	0,9	0,16	0,89
0,04	0,71	0,63	0,29	0,65
0,06	0,6	0,22	0,37	0,36
0,08	0,5	0,2	0,36	0,08
0,1	0,42	-0,61	0,3	-0,13
0,15	0,28	-0,98	-0,076	-0,29
0,2	0,18	-0,24	-0,37	-0,11
0,25	0,12	0,79	-0,23	0,07
0,3	0,077	0,89	0,17	0,082
0,35	0,05	-0,035	0,37	0,017

Cədvəl 2-də alınmış qiymətlərə əsasən MATLAB proqramının Simulink bölməsində qurulmuş keçid xarakteristikası şəkil 3-də göstərilmişdir.



Şəkil 3. *Keçid xarakteristikası*

Nəticə. Beləliklə, gəmi yedək bucurqadının sadələşmiş struktur sxemi tərtib olunmuş və avtomatik yedək bucurqadının asinxron mühərrikinin tənlikləri yazılaraq təhlil olunmuşdur. Bununla əlaqədar olaraq mühərrikin ötürmə funksiyası, zaman sabiti, tənzim xarakteristikası və ətalət momenti üçün ifadələr alınmış və hesablamalar aparılmışdır. Avtomatik yedək bucurqadının və barabanın əsas parametrləri hesablanmış, idarə obyektinin parametrlərinin riyazi ifadələri alınmış və ötürmə funksiyaları təyin olunmuşdur. MATLAB proqramının Simulink bölməsində avtomatik sistemin dayanıqlığı və keçid prosesi təhlil olunmuşdur. Keçid xarakteristikasından aydın görünür ki, təxminən 0,35 saniyə ərzində avtomatik sistem işə düşüb kanatdakı müqavimət qüvvəsini əvvəlki qiymətə qaytarır, bununlada kanatın qırılmasının qarşısı alınır.

Ədəbiyyat

1. Həsənov Z.Ə. Tənzimləmə texnikası. Dərs vəsaiti. – Bakı: Azərbaycan Dövlət Neft və Sənaye Universiteti, – 2017. – 154 s.
2. Həsənov E.A. Tezlik çeviricisi ilə idarə olunan avtomatik yanalma bucurqadının dinamiki rejimlərinin, avtomatik sistemin dayanıqlığının yoxlanılması və keçid prosesinin tədqiqi // – Baku: Journal of Baku Engineering University, Mechanical and Industrial Engineering, – 2018. Volume 2, Number 2, – s. 105-115.
3. Mehdiyev H.A., Sultanov E.F. Tezlik çeviricisi ilə idarə olunan yedək bucurqadının mövcud asinxron mühərrikli yedək bucurqadına nisbətən texniki və iqtisadi üstünlükləri. ADDA, Elmi əsərlər, №1, – Bakı: – 2013, – səh. 89-95.
4. Mehdiyev H.A., Həsənov E.A. Avtomatik yanalma bucurqadının keçid prosesinin tədqiqi. // Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyasının elmi əsərləri №4, – Bakı: – 2006. – s. 36-38.
5. Rüstəmov Q.Ə. Avtomatik tənzimləmə nəzəriyyəsi. MATLAB/Simulinkdə modelləşdirmə. Bakı: – 2012, – 750 səh.
6. Sultanov E.F., Abdullayev A.N. Müasir gəmi elektrik intiqalları. Dərslik. Bakı: – 2018. – 438 s.
7. Sultanov E.F. Asinxron intiqallı gəmi yedək bucurqadı üçün avtomatik idarə sisteminin işlənməsi və tədqiqi. Gənc tədqiqatçı, Elmi praktiki jurnal, №1, – 2019, – səh. 22-26.
8. Sultanov E.F. Gəmi yedək bucurqadının vektor idarəli asinxron elektrik intiqalının qapalı sisteminin MATLAB/SIMULINK proqramında tədqiqi. Energetikanın problemləri, Bakı, Elm, №3, – 2021, – səh. 98-105.
9. Вагущенко Л.Л., Цимбал Н.Н. Системы автоматического управления движением судна. – 3-е изд., перераб. и доп.- Одесса: Феникс, – 2007, – 328 стр.

Məqalə qəbul olunub: 29.03.24
Tövsiyə edib: dos. İsmayılov A.Ş.

UOT 621.311

AVAR ELEKTRİK QURĞULARINDA TƏTBİQ EDİLƏN YÜKSƏK GƏRGİNLİKLİ TEZLİK ÇEVİRİCİLƏRİNİN ANALİZİ

Sultanov E.F., Səlimova A.K., Məmmədov E.M., İsmayılov S.S.

"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, sahib-ismayil@bk.ru

Xülasə. *Məqalədə avar elektrik mühərriklərini idarə etmək üçün tətbiq edilən yüksək gərginlikli tezlik çeviricilərinin strukturları və konstruktiv xüsusiyyətləri analiz olunmuşdur. Burada tezliyi geniş diapazonda tənzim olunan tezlik çeviricisinin əsas idarəetmə prinsipləri nəzərdən keçirilir. Həmçinin məqalədə tezlik çeviricisinin müxtəlif növ çıxış gərginliklərinin formalarının müqayisəli təhlili aparılmış və yüksək gərginlikli tezlik çeviricisinin inkişaf perespektivləri təhlil edilmişdir.*

Аннотация. *Проведён анализ структуры и конструктивных особенностей высоковольтных преобразователей частоты, используемых для управления гребными электродвигателями. Рассмотрены основные принципы управления частотного преобразователя с широким диапазоном регулирования. Также проведён сравнительный анализ различных форм выходных напряжений преобразователя частоты и перспектив развития высоковольтных преобразователей частоты.*

Abstract. *The structures and structural features of high-voltage frequency converters used to control paddle electric motors are analyzed in the article. Here, the basic principles of variable frequency drive and vector control are reviewed. The article also compares the forms of different types of output voltages of the frequency converter and analyzes the development prospects of the high-voltage frequency converter.*

Açar sözlər: *gəmi, avar mühərriki, yüksək gərginlik, tezlik çeviricisi, elektrik intiqalı*

Ключевые слова: *судно, гребной двигатель, высокое напряжение, преобразователь частоты, электропривод*

Key words: *ship, oar motor, high voltage, frequency converter, electric drive*

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 konstruksiyada, 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 konstruksiyası onun kren və differentinin buraxıla bilən hədlərdə etibarlı işləməsini təmin edə bilsinlər. AEQ etibarlı mühafizə vasitələri ilə təmin edilməlidirlər. Bu zaman mühafizə qurğuları baş generatorların təsirlənmə sistemlərinə (zərurət yarandıqda isə, AEM-in təsirlənmə sistemlərinə də) təsir etməsi vacibdir.

Yarımkeçirici tezlik çeviricilərində (YTÇ) mövcut nailiyyətlər avar valındakı güc 200MVt və daha çox olan, böyük güclü AEQ-nın yaranmasına imkan yaradır. Bu AEQ yüksək artıqyüklənməyə davamlılıq və tənzimedilmə qabiliyyətinə, yüksək istismaredilmə keyfiyyətlərinə və iqtisadi cəhətdən əlverişli, kiçik kütlə-qabarit göstəricilərinə malikdirlər. YTÇ olan AEQ əsasında vahid elektro-energetik qurğuların yaradılmasının reallaşdırılması mümkündür [1].

Əsas hissə. YTÇ-li dəyişən cərəyan AEQ-n funksional sxemlər şəkil 1–də göstərilmişdir. Buraya sinxron generatorları hərəkətə gətirən birinci mühərriklər, sinxron və asinxron tipli AEM-ni qidalandırılması üçün nəzərdə tutulmuş YTÇ-lər daxildir.

Sinxron generator, YTÇ və AEM sisteminin əsas xüsusiyyəti onunla xarakterizə olunur ki, avar elektrik sisteminin qidalanma mənbəyinin əsas yükü, sinxron generatorların parametrlərinə və xarakteristikaslarına birbaşa təsir göstərən, idarəolunan ventilli (tiristorlu) və idarəolunmayan ventilli (diodlu) tezlik çeviriciləridir [1, 2].

YTÇ –li AEQ aşağıda göstərilən sxemlər üzrə hazırlanırlar:

Asinxron tipli AEM–ni qidalandıran birbaşa tezlik çeviricisi (BYTÇ) olan AEQ (şəkil 1, a);

Asinxron tipli AEM–ni qidalandıran iki bəndli YTÇ-si olan AEQ (şəkil 1, b);

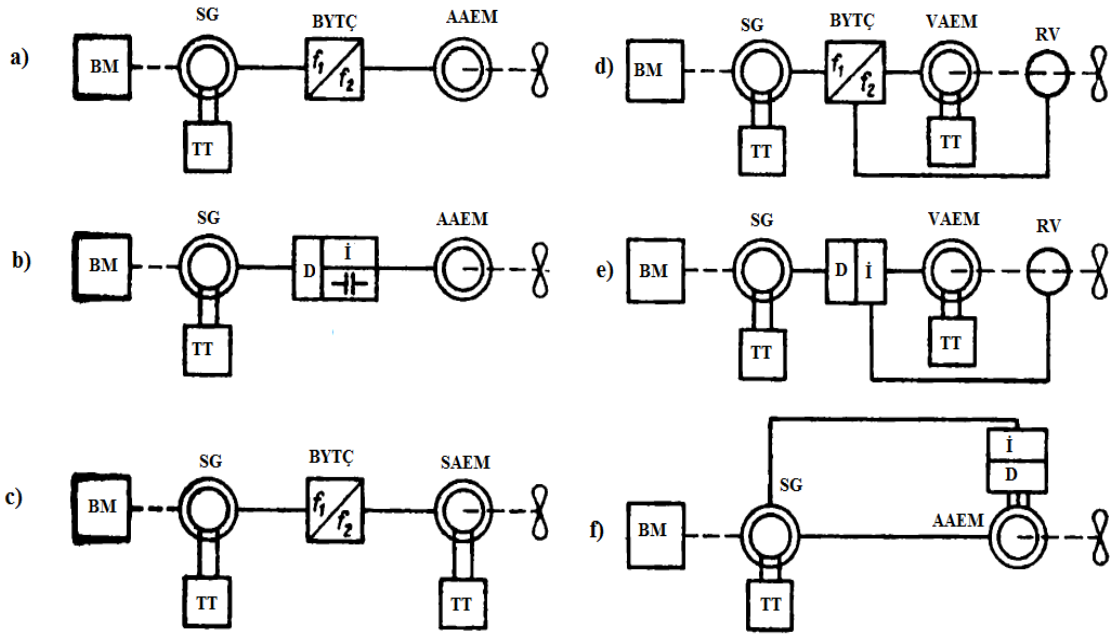
Sinxron tipli AEM–ni qidalandıran birbaşa YTÇ-si olan AEQ (şəkil 1, c);

Ventil tipli AEM–ni qidalandıran birbaşa YTÇ-si olan AEQ (şəkil 1, d);

Ventil tipli AEM–ni qidalandıran iki bəndli YTÇ-si olan AEQ (şəkil 1, e);

Ventil kaskadı olan AEQ (şəkil 1, f);

AEQ-də birbaşa tezlik çeviricisi və ya iki bəndli YTÇ-in tətbiqi, çeviricilərin girişində və çıxışında cərəyan tezliklərinin fərqliliyi ilə izah olunur. YTÇ-li və asinxron tipli AEM-li sxemlər əsasən, avar vintində qəfildən dəyişən yüklənmə rejimləri olmadığı elektroxodlarda istifadə edilirlər (şəkil 1, a,b,c).



Şəkil 1. *YTÇ-lərin dəyişən cərəyan AEQ-da tətbiq olunan sxemlər:*
BM – birinci mühərrik; SG – sinxron generator; AAEM – asinxron avar elektrik mühərriki;
SAEM – sinxron avar elektrik mühərriki; VAEM – ventilli avar elektrik mühərriki;
BYTÇ – bilavasitə YTÇ-si; İBTÇ – ikibəndli tezlik çeviricisi; RV – rotor vəziyyətinin vericisi;
TT – tiristorlu təsirləndirici; D – düzləndirici; I – invertor.

Birbaşa YTÇ-li və sinxron tipli AEM-li sxemlər, böyük güclü buzqıran gəmilərdə, yaxşı energetik göstəricilərinə, kiçik kütləyə və yüksək FİƏ-na malikdirlər.

Böyük güclü AEQ-nda ventil tipli sinxron AEM-ni istifadəsi məqsədəuyğun sayılır.

YTÇ –lərin AEQ–da tətbiqinin aşağıda göstərilən üstünlükləri vardır:

1. Bu sistemlərdə istifadə edilən dəyişən cərəyan AEM–ri müxtəlif güclərdə hazırlana bilərlər;

2. Nominal FİƏ – nın qiymətinə görə SG–YTÇ–SAEM (AAEM) sistemi, sabit cərəyan AEQ və ikili cəryan AEQ – ndan daha üstündür və mexaniki reduktorlu AEQ–na yaxındır;

3. AEM–nin fırlanma sürətinin geniş diapazonda tənzimedilməklə və güc itkilərinə görə AEM–nin iqtisadi cəhətdən əlverişli rejiminin təmin olunması ilə, gücün qiymətinin sabit saxlanılmasının avtomatik tənzimi sistemlərinin reallaşdırılması mümkünlüyü.

4. Baş generatorların və AEM–nin gərginlik və tezliyinin qiymətinin seçilməsində məhdudiyyətlərin olmaması;

5. Baş cərəyan dövrəsində cərəyanın kəsilmədən, idarədilmə və tənzimetmə sistemlərinin yaradılması mümkünlüyü;

6. İkili cərəyanlı AEQ – da nisbətən daha böyük artıqyüklənməyə davamlılıq qabiliyyəti. Bu da öz növbəsində revers müddətinin azaldılması və AEM–nin fırladıcı momentinin artırılmasına imkan verir.

7. Sabit cərəyan və İkili cərəyanlı AEQ–na nisbətən davamlılıq və etibarlılıq;

8. Elektrik hərəkətverici qurğunun və gəmidaxili məişət elektrik qidalanmasını təmin edən, səmərəli elektrik stansiyasının yaradılması üçün uyğun şərait yaradılması mümkünlüyü;

9. Sabit cərəyan və İkili cərəyanlı AEQ–na nisbətən xidmət edilmə sərflərinin azalması;

Texnoloji proseslərin avtomatlaşdırılması üçün müasir texnologiyalar çoxlu sayda tezliklə tənzimlənən elektrik intiqallarına əsaslanır. Son zamanlar yüksək gərginlikli güclü asinxron və sinxron elektrik mühərriklərinin tezliyə görə tənzimlənməsinin tətbiqinə maraq xeyli artmışdır. Bu cür idarə edilən elektrik mühərrikləri maye yüklərin boru kəməri vasitəsi ilə nəql edilməsində, suyun vurulmasında, metallurgiya və neft-kimya sənayesində geniş istifadə olunur. Məqalədə mövcud mənbələrə əsaslanaraq, müxtəlif növ yerli və xarici istehsalçıların yüksək gərginlikli tezlik çeviricilərinin (YGTÇ) xarakteristika və konstruksiyaları təhlil edilmişdir [2, 3, 4].

Fırlanma sürəti tənzim olunan elektrik intiqalları gəmiqayırmada getdikcə daha çox istifadə olunur. Onların yayılması, bir tərəfdən, AEM-in təmin etdiyi əməliyyat üstünlükləri və çeviklik, digər tərəfdən, elektrik enerjisinin dəyişdirilməsi və tənzimlənməsinin müasir vasitələri və prinsipləri ilə təmin edilən tənzimlənən elektrik mühərrikləri üçün təkmilləşdirilməsi və daha ucuz avadanlıqla stimullaşdırılır [3, 4, 5].

Tənzimlənən elektrik intiqalının ən perspektivli növlərindən biri eninə impuls modulyasiya prinsipi ilə tənzimlənən tranzistor gərginlik mənbəyi çeviricisi ilə təchiz edilmiş dələ qəfəsli asinxron mühərriki olan elektrik intiqalıdır.

Eninə impuls modulyasiyalı tezlik çeviricisi ilə idarə olunan asinxron elektrik intiqallarından geniş istifadə olunur. Baxılan güc sinfində ən çox üç səviyyəli çevirici dövrə istifadə olunur, onun hər bir fazasında izolyasiya edilmiş bir açarı olan güclü tranzistorlar var (izolyasiya edilmiş bipolyar tranzistor, IGBT).

Bir çox mənbələrdə YGTÇ-nin struktur sxemləri və topologiyaları nəzərdən keçirilmişdir. YGTÇ-ləri aşağı gərginlikli ikitransformatorlu invertor sxemlərinə və çox səviyyəli çeviricilərə ayırmaq mümkündür.

Tezlik çeviricisinin hər bir kanalı müvafiq çevirici kanaldan müstəqil olaraq ayrıla bilər. Bu halda, iki çeviricinin biri elektrik mühərrik sisteminin nominal gücünün ən azı 50%-i üçün nəzərdə tutulmalıdır [5,6].

Bu tələbə uyğun olaraq, ВПЧ-4000 tezlik çeviricisi, hər biri öz stator sarğı sisteminə qoşulmuş, tam hüquqlu tezlik çeviricilərinin funksiyalarını yerinə yetirən iki kanaldan ibarətdir.

Iki sarğılı AEM aşağıdakı əsas parametrlərə malikdir:

- nominal güc: 3500 kVt;
- 30° altında çevirilmiş stator sarğılarının sayı - 2;
- Statorda nominal xətt gərginliyi: 1800 V;
- iki stator sarğısının hər birinin nominal cərəyanı: 680 A;
- nominal tezlik: 50 Hz;

– Rotorun nominal sürəti: 746.5 d/dəq.;
– güc əmsalı: 0,85;
– F.İ.Ə. : 97%;
– nominal sürüşmə: 0.534 %.

Struktur olaraq, ВПЧ-4000-in iki kanalının hər biri iki güc şiti şəklində hazırlanır şəkil 2: bir çevirici şiti və çıxış filtri şiti.

İki kanallı çeviricinin idarəetmə sisteminin (CS) qurulması üçün iki alternativ variant var:

1. IGBT idarəetmə impulslarının çarpaz ötürülməsi və sistemlərdən birindən impulsların bloklanması ilə iki idarəetmə sistemi. Bir idarəetmə sistemində nasazlıq baş verərsə, onun idarəetmə impulsları söndürülür və ikinci idarəetmə sisteminin impulslarındakı bloklama aradan qaldırılır və çevirici işləməyə davam edir.
2. Enerji kanallarının simmetrik yüklənməsinə imkan verən minimum intiqal siqnal dəstinin çarpaz ötürülməsi ilə normal rejimdə işləyən hər bir İF kanalında iki fərdi idarəetmə sistemi.



Şəkil 2. *ВПЧ-4000 çeviricisinin bir kanalının elektrik şitinin görünüşü və ümumi ölçüləri*

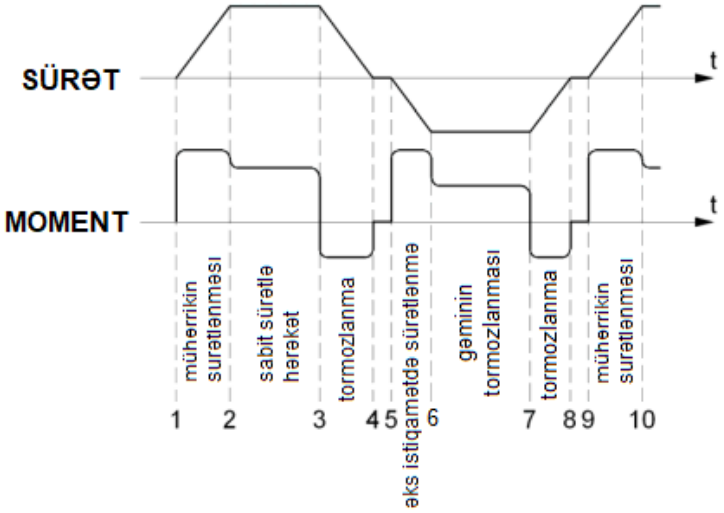
Güclü filtrasiyanın həyata keçirilməsi xərcləri zəif filtrasiyadan çox yüksək deyil - onlar qiymətə az təsir göstərir (kondensatorların aşağı qiyməti səbəbindən). IF ölçüsündə güclü çıxış filtrinin nisbəti məqbul olaraq qalır. Digər tərəfdən, çeviricinin çıxışında güclü LC filtrinin olması, yüksək keyfiyyətli rezonans əlaqəsi olan motor statorunun reaktivliyi ilə birlikdə idarəetmə sisteminə müəyyən bir mürəkkəblik gətirir. Kiçik zaman sabitləri ilə əlavə nəzarət dövrələrinidə göstərmək olar. Müasir prosessor texnologiyası bunu həyata keçirməyə imkan verir [5, 6, 7, 8].

Gəmi avar elektrik intiqalı üçün xarakterik olan müqayisə edilə bilən güc şəbəkəsindən qidalandıqda passiv filtr-kompensasiya sxemlərinin istifadəsi irrasionaldır, çünki aktiv filtrlə müqayisədə ya çox mürəkkəb və çətin olur, ya da lazımi filtrasiya parametrlərini təmin etmir.

Nəzarət ehtiyatının artırılması tələbini yerinə yetirmək üçün ВПЧ-4000 elektrik intiqalına nəzarətin bir neçə iyerarxik səviyyəsini təmin edir:

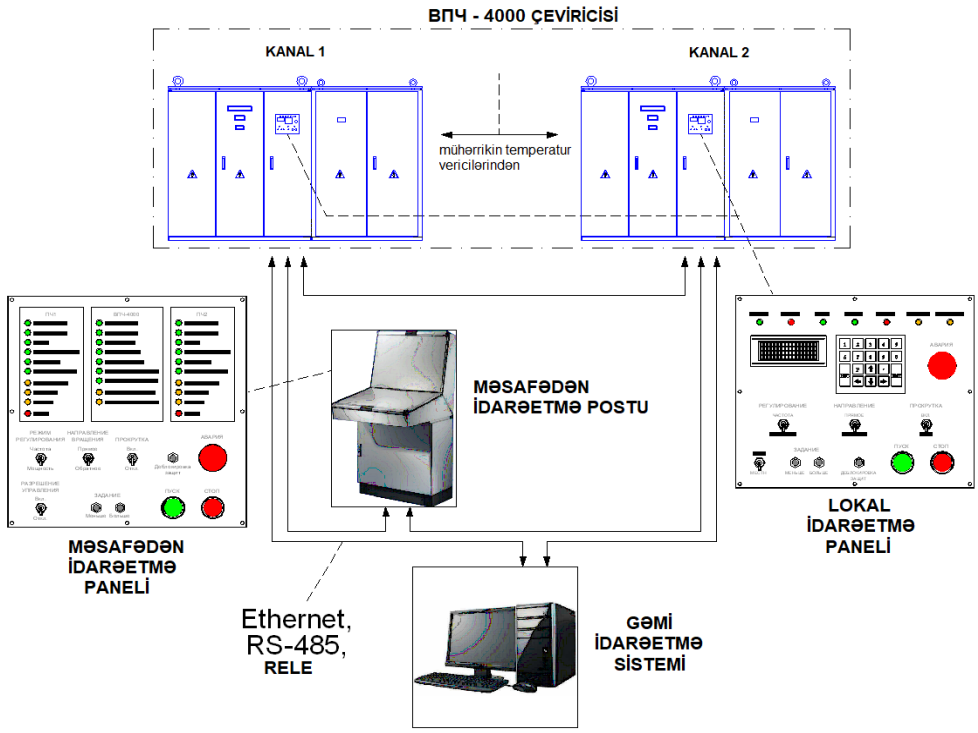
- Ethernet lokal şəbəkə interfeysi və ya seriyalı RS-485 interfeysi, həmçinin rele rabitə kanalları vasitəsilə gəminin idarəetmə sistemindən idarəetmə;
- rele siqnallarının mübadiləsi ilə uzaqdan idarəetmə stansiyasından idarəetmə;

Şəkil 3-də gəmi hərəkət edərkən çeviricinin iş rejimlərinin sadələşdirilmiş diaqramı göstərilmişdir.



Şəkil 3. *Gəmi hərəkət edərkən çeviricinin iş rejimlərinin sadələşdirilmiş diaqramı*

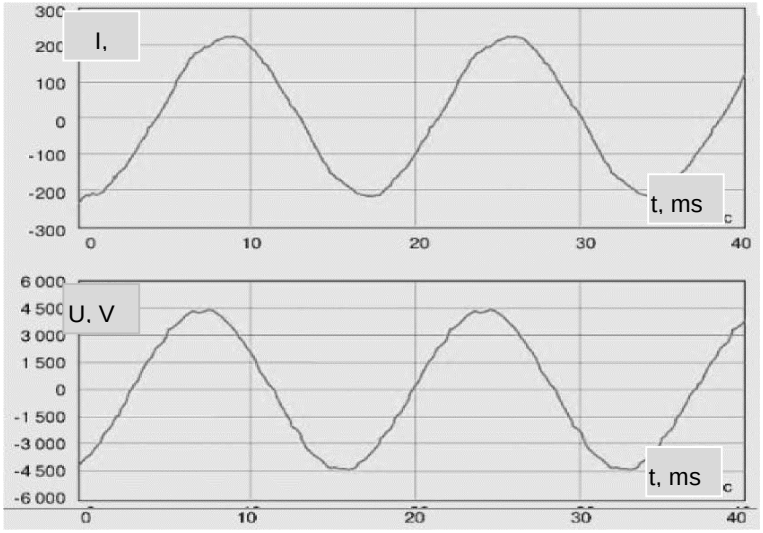
İki ВПЧ-4000 kanalının iki stator sarğısı ilə bir mühərrikdə birgə sinxron işləməsi üçün onların idarəetmə blokları arasında yüksək sürətli fiber-optik əlaqə təşkil edilir. Bu halda, nəzarət mənbəyini birmənalı şəkildə müəyyən etmək üçün ВПЧ-4000 kanallarından hər hansı biri lider kimi seçilə bilər və ikincisi ardıcıldır. Kanallar arasında fiber-optik rabitə vasitəsilə diskret idarəetmə əmrləri master-dan qulluğa ötürülür, təsdiq siqnalları quldan masterə ötürülür, həmçinin hər ikisinin simmetrik işini sinxronlaşdırmaq və tənzimləmək üçün siqnalların ikitərəfli ötürülməsi. kanallar. Şəkil 4-də ВПЧ-4000 ilə elektrik intiqalının idarəetmə strukturu göstərilmişdir.



Şəkil 4. *ВПЧ-4000 ilə elektrik intiqalının idarəetmə strukturu*

Məlumat mübadiləsi idarəetmə bloklarının siqnal prosessorlarında hesablamaların takt tezliyi ilə həyata keçirilir ki, bu da məlumatların ötürülməsində gecikmələr səbəbindən səhvləri minimuma endirməyə imkan verir [5, 6, 7, 8].

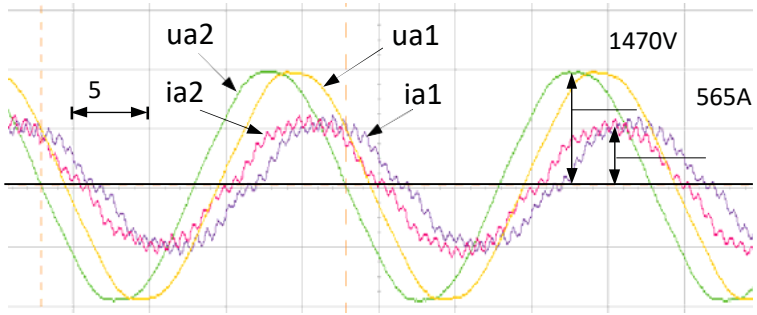
Hazırda Rockwell Automation şirkəti tərəfindən istehsal edilən PowerFlex 7000 yüksəkgərginlikli tezlik çeviricisi vasitəsi ilə 2,4...6,9 kV-lıq yüksək gərginlikli və 150...25400 kVt-lıq güc diapazonunda işləyən asinxron və sinxron mühərrikləri idarə edirlər. Şəkil 5-də 1100 kVA, 4160 V asinxron mühərrikdə çox səviyyəli avtomatik gərginlik invertorunun cərəyanının və gərginliyinin formaları.



Şəkil 5. *1100 kVA, 4160 V asinxron mühərrikdə çox səviyyəli AGİ-nin cərəyanının və gərginliyinin formaları*

HYUNDAI N5000 seriyalı yüksək gərginlikli tezlik çevricili intiqallarda nominal gərginliyi 3,6 və 10 kV, gücü 155...3930 kVt olan qısaqapanmış rotorlu asinxron mühərriklərin fırlanma sürətlərinin tənzimi və səlist işəburaxılması təmin edilir.

Güclü filtrə malik Eninə impuls modulyasiyalı çevirici 29-cu harmonik gərginlik səviyyəsini məqbul səviyyədə saxlayır. Stator cərəyanı şəklində 29-cu harmonik nəzərəçarpacaq dərəcədə qalır, lakin elektrik sürücüsünün xüsusiyyətlərinə praktiki olaraq heç bir təsir göstərmir. Şəkil 6-da 50 Hz tezliyində 2 MVt yüklü mühərrikdə işləyərkən çeviricinin çıxış gərginlikləri göstərilmişdir.



Şəkil 6. *50 Hz tezliyində 2 MVt yüklü mühərrikdə işləyərkən çeviricinin çıxış gərginlikləri: iki kanalın gərginlikləri və cərəyanları bir-birinə nisbətən 30° yerdəyişmişdir; gərginliklər sinusoidal, cərəyanlar motorun diş harmonikləridir (n = 29). ua1 – 1 nömrəli kanalın A fazasının gərginliyi ua 2 – 2 nömrəli kanalın A fazasının gərginliyi ia1 – 1 nömrəli kanalın A fazasının cərəyanı ia2 – 2 nömrəli kanalın A faza cərəyanı*

İki stator sarğı arasında 30°-lik bir faza sürüşməsinin tətbiqi, hər bir faza üçün dövr başına ikiqat keçid həyata keçirən elektrik sürücüsündə tiristor cərəyan çeviricilərindən istifadə edərkən faydalı oldu. 30° sürüşdürülmüş trapezoidlərin əlavə edilməsi rotor cərəyanının təkmilləşdirilmiş formasını verir və eyni zamanda rotorda güc itkilərinin azaldılması və fırlanma momentinin pulsasiyalarının azaldılması. Eninə impuls modulyasiyalı transistor gərginlik çeviricilərindən istifadə edərkən qeyd olunan faza sürüşməsi müsbət təsir göstərmir. Bir cüt qarşılıqlı lazımsız PWM çeviricisi bir cüt ümumi rejimli stator sarğılarında və hətta bir ümumi stator sarğısında asanlıqla işləyə bilər, eyni zamanda, faza dəyişdirilmiş sarğıları olan bir sistemdə olduğu kimi eyni elektrik ötürücü xüsusiyyətlərini və eyni etibarlılıq səviyyəsini təmin edir [5, 6, 7, 8].

Nəticə. Beləliklə, AEQ–da tətbiq edilən yüksək gərginlikli tezlik çeviricilərinin çıxış gərginliklərinin formalarının müqayisəsi və inkişaf perespektivləri analiz edilmişdir. Aparılmış təhlillərdən məlum olmuşdur ki, yüksək gərginlikli tezlik çeviricilərinin əksəriyyəti cərəyan yaxud gərginlik çeviricilərindən ibarət standart quruluşlara malikdir. Yerli və xarici istehsalçıların tezlik çeviricilərinin müqayisəli təhlili göstərir ki, ümumiyyətlə idxal olunan çeviricilər daha etibarlıdır. Yüksək gərginlikli tezlik çeviriciləri qiymətcə baha olsalar da, keyfiyyətlidirlər və tezliyə görə tənzimlənmənin bir çox üstünlüklərinə malikdirlər. Məqalədə həmçinin çıxış tezliyi tənzimlənən yüksək gərginlikli elektrik intiqalında etibarlılığı təmin etmək üçün tələb olunan şərtlər göstərilmişdir.

Ədəbiyyat

1. Полонский В.И. Гребные электрические установки. Изд. Морской транспорт, Ленинград, 1968, 540 стр.
2. Sultanov E.F., Həsənov E.A. Yüksək gərginliklər və elektrik izolyasiya texnikası. Dərslik, ADDA, Bakı, 2024, 288 səh.
3. Sultanov E.F. Gəmi elektrik avadanlığının texniki istismarı. Dərslik./ E.F. Sultanov., E.M. Məmmədov – Bakı ADDA, 2018, 284 s.
4. Sultanov E.F. Allahverdiyeva A.T., Məmmədov E.M. Yüksək gərginlikli gəmi elektrik avadanlığının texniki istismarında təhlükəsizliyin təmin edilməsi. Azərbaycan Mühəndislik Universiteti, 2019, səh. 405-408
5. Sultanov E.F., Əhmədova S.T. Gəmilərdə elektrik təhlükəsizliyi. Bakı, ADDA, 2016, -71 səh.
6. Kuliyev Ə., Şəfiyev E., Niftiyev S., Əhmədov E. Yüksək gərginliklər texnikası. "Politex" MMC-nin mətbəəsi, Bakı, 2016-152 səh.
7. Народницкий А.Г. Частотно регулируемые приводы и энергораспределительные системы // Цемент и его применение. 2008. № 4. стр. 38-41.
8. Мухамадеев А.Р. Преобразователи частоты и устройства плавного пуска для электроприводов переменного тока // Энергетика Татарстана. 2010. № 17. стр. 44-53.

Məqalə qəbul olunub: 29.03.24
Tövsiyə edib: dos. İsmayılov A.Ş.

GƏMİÇİLİKDƏ TƏBİƏT ELMLƏRİNİN PROBLEMLƏRİ

УДК 541.64:537.3

ПРОЧНОСТЬ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИЙ В ПОСТОЯННОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Алиева И.К., Алиев Х.М.

ПЮЛ «Азербайджанская Государственная Морская Академия»
AZ1000, г. Баку, ул. З. Алиевой, 18
E-mail: iradealiyevakerim@gmail.com

Аннотация. *Проведено исследование электрической прочности полимерных композиций (ПК) полипропилен-полиэтилен низкой плотности (ПП - ПЭНП) с различными надмолекулярными структурами (НМС) в постоянном по знаку поле при 293-370 К в различных условиях. Показано, что пробивная напряженность ($E_{пр}$) ПК с повышением скорости подъема напряжения увеличивается, а при повышении температуры уменьшается. Существование зависимостей τ(E) и $E_{пр}(v_E)$ указывает на то, что электрическое разрушение ПК является кинетическом процессом, скорость которого определяется напряженностью электрического поля и температурой.*

Xülasə. *Müxtəlif molekulyar üstlü quruluşa malik PP – ASPE kompozitinin sabit elektrik sahəsində, 293 – 370 K temperatur aralığında, müxtəlif təcrübi şəraitlərdə elektrik möhkəmliyi tədqiq edilmişdir. Göstərilmişdir ki, PK deşilmə intensivliyi gərginliyin qalxma sürətinin artması ilə yüksəlir, əksinə temperaturun artması ilə isə azalır. τ(E) və $E_{αi}(v_E)$ asılılığının mövcud olması PK elektrik dağılmasının kinetik xarakterli olmasını göstərir, onun sürəti isə temperatur və elektrik sahə intensivliyi ilə müəyyən edilir.*

Abstract. *The electrical strength of PP-ASPE composite with different molecular surface structure has been studied in a stable electric field, in the temperature range of 293 - 370 K, under various experimental conditions. It has been shown that the intensity of PK perforation increases with increasing voltage and decreases with increasing temperature. The existence of the dependence τ(E) and $E_{αi}(v_E)$ indicates the kinetic nature of the PK electrical breakdown, the rate of which is determined by temperature and electric field intensity.*

Ключевые слова: *полимерные композиции, кинетика электрического разрушения, электрическая долговечность, пробивная напряженность, температура*

Açar sözləri: *polimer kompozisiya, elektrik dağılma kinetikası, elektrik yaşama müddəti, deşilmə intensivliyi, temperatur*

Key words: *polymer composition, electric dissipation kinetics, electrical life, perforation intensity, temperature*

Введение. Электрическая прочность – это устойчивость диэлектриков к электрическому пробою. Для полимеров и полимерных композиций (ПК) установлено, что сам пробой является завершающим актом процесса подготовки диэлектрических образцов к наступлению пробоя. Об этом свидетельствуют результаты экспериментов по обнаружению и изучению «электрической долговечности» τ – времени ожидания пробоя при приложении к образцам электрической напряженности E (постоянной или переменной) [1-4]. Величина τ закономерно снижается с ростом E [1-4]. Таким образом, долговечность выступает характеристикой электрической прочности, включающей кинетику подготовительного процесса.

Проблема электрической прочности ПК материалов остается важной как в научном, так и в техническом отношении. Разработка механизмов электрического разрушения для многих широко используемых на практике материалов не завершено. В частности, до сих пор значительный интерес представляет получение новых электроизоляционных материалов и выяснение природы длительной и кратковременнной электрической прочности. Среди изоляционных материалов, с точки зрения техники и физики, заслуживают внимания композиции на основе полимер – полимер, т.е. полимер – полимерные системы. Создание таких систем является актуальным также с точки зрения экономии материальных и энергетических ресурсов за счет использования вторичного полимерного сырья. Исследованию электрической прочности таких композиций посвящен ряд работ [4-6], но вопросы механизма их электрического пробоя еще далеко не решены.

Для решения выше указанной проблемы были созданы бинарные системы полипропилен – полиэтилен низкой плотности (ПП - ПЭНП). Смешивание компонентов осуществлялось традиционным способом: смешиванием компонентов в расплаве в смесителе «Банбери». В проблеме электрического пробоя ПК важным является также вопрос о том, носит ли пробой критический характер, т.е. пробой происходит лишь тогда когда напряженность приложенного Е достигает некоторой критической величины. Или же, наоборот, пробой может происходить и при напряженностях Е меньших критической, но требуя для своего развития некоторое время от момента приложения электрического напряжения. Во втором случае электрическое разрушение можно рассматривать как процесс, протекающий во времени, скорость которого определяется напряженностью поля. Тогда изучение закономерностей кинетики электрического разрушения способно дать существенную информацию о механизме пробоя.

Целью настоящей работы является изучение прочностных свойств полимерных композиций в постоянном электрическом поле в зависимости от скорости подъема напряженности электрического поля и температуры.

Объекты и методика измерений. Объектами исследования были выбраны пленки–полимерные композиции ПП – ПЭНП, а также пленки его компонентов – ПП и ПЭПН с различными ММС, полученные способом и методикой описанные в [7].

Все измерения проводились в постоянном электрическом поле. Толщина пленок составляла 20 мкм. Малая толщина образцов обеспечивала достижение требуемой напряженности поля при сравнительно невысоком напряжении между электродами (менее 10-13 кВ). Это способствовало незначительности частичных разрядов, что контролировалось электрометрически. Изучение кинетики электрического разрушения проводилось в двух режимах.

1. Прямые измерения долговечности τ при различных Т, Е. В каждом отдельном опыте напряжение на образце поддерживалось постоянном до пробоя. Вариация Т=293-370К, вариация $E=(1\text{-}7)\times10^8$ В/м, вариация $v_E=10^5\text{-}10^7$ В/(м·с). Диапазон измеренных значений долговечности ~$1\text{-}10^5$с.
2. Измерение пробивной напряженности ($E_{пр}$) в зависимости от Т и скорости линейного подъема напряженности $dE/dt=v_E$. $E_{пр}= v_E \cdot t_{пр}$, $t_{пр}$ – время наступления пробоя.

Экспериментальные результаты и их обсуждение. На рис.1 показаны зависимости электрической долговечности (τ) для медленноохлажденных (МО) и быстроохлажденных (БО) образцов композиций ПП – ПЭНП с различными содержаниями ПЭНП и ПП, полученных смешиванием в системе «Бенбеди», от напряженности постоянного электрического поля (Е).

На рис. 2 представлены изменения электрической прочности ($E_{пр}$) композиций ПП – ПЭНП в зависимости от содержания ПЭНП для МО (кривые) и БО (кривые 2) образцов. Экспериментальные данные (рис.1 и рис. 2), по прочностным свойствам показывают, что композиция ПП – ПЭНП в соотношении компонентов 80+20 масс. % в обоих случаях является максимальной. Соответствующие результаты ранее получены для переменного электрического поля [4].

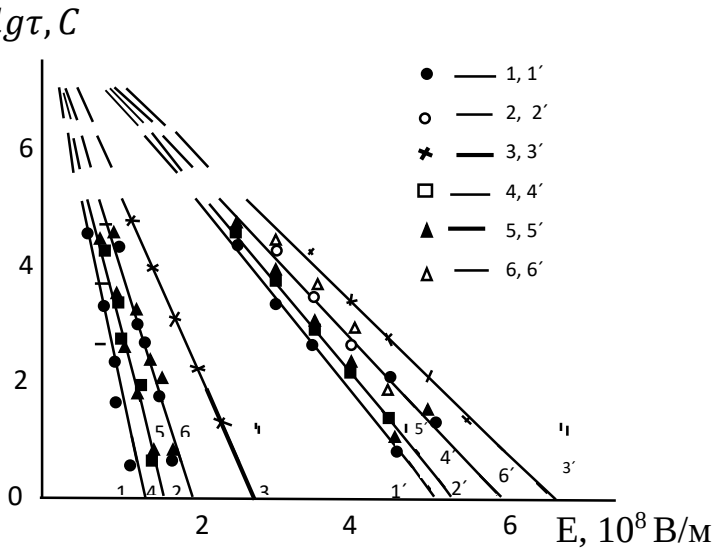


Рис. 1. *Зависимость Электрической долговечности МО (1,2,3,4,5,6) и БО (1′, 2′,3′,4′,5′,6′,) образцов композиций ПП – ПЭНП, смешенных в системе «Бенбери», от напряженности постоянного электрического поля при 293К:*

1,1′ - исходные ПП; *2,2′ - ПП+10 масс. % ПЭНП;*
3,3′, - ПП+20 масс. % ПЭНП; *4,4′, - ПП+30 масс. % ПЭНП;*
5,5′, - ПП+40 масс. % ПЭНП; *6,6′, - ПП+50 масс. % ПЭНП.*

Электрическая прочность диэлектрической изоляции обычно изучалась в режиме долговременных электрических испытаний, при котором определялась зависимость τ от Е. Ряд работ [1-7], выполняемых в этом направлении, позволил установить, что электрическое разрушение диэлектриков не является критическим событием, происходящим при достижении определенной напряженности Е, характерной для образца, поскольку τ резко (экспоненциально) уменьшается при возрастании напряженности Е.

Результаты измерений τ полимерных композиций, представленные в настоящей работе, дополняют известные из литературы данные о ходе зависимости τ(Е) диэлектриков. Были изучены кинетические закономерности электрической долговечности полярных и неполярных, аморфных и кристаллических полимерных пленок. В ряде случаев были проведены повторные измерения τ уже исследованных полимерных и композиционных диэлектриков, данные о которых представлены в работе [1, 4]. Проведение таких испытаний связано с необходимостью сопоставления кинетических закономерностей пробоя в режимах длительной и кратковременной электрической прочности. Очевидно, что оно обосновано и правомерно только при условии изготовления образцов по единой методике и проведения электрических испытаний в одинаковых условиях.

Приведенные данные на рис. 1 и рис. 2 указывают на заметное отличие прочностных свойств композиции ПП+ПЭНП=80+20 масс. %, как в случае МО, так и в случае БО образцов, причем во всех случаях при прочих равных условиях, электрическая прочность БО образцов значительно больше по сравнению с прочностями МО образцов, что указывает на существенное влияние НМС на электрические прочности свойства ПК. Наблюдаемые изменения прочностных свойств композиций ПП – ПЭНП объясняется влиянием процесса переработки на свободно – радикальные окислительные процессы, инициированные температурно – силовым воздействием [7]. Итак, оценка электрической прочности исследованных композиционных пленок на основании определения их долговечности позволяют рассматривать пленки

ПП+ПЭНП=80+20 масс. %, как наиболее электрически прочную в данных условиях испытаний, поэтому далее она является основным объектом исследования.

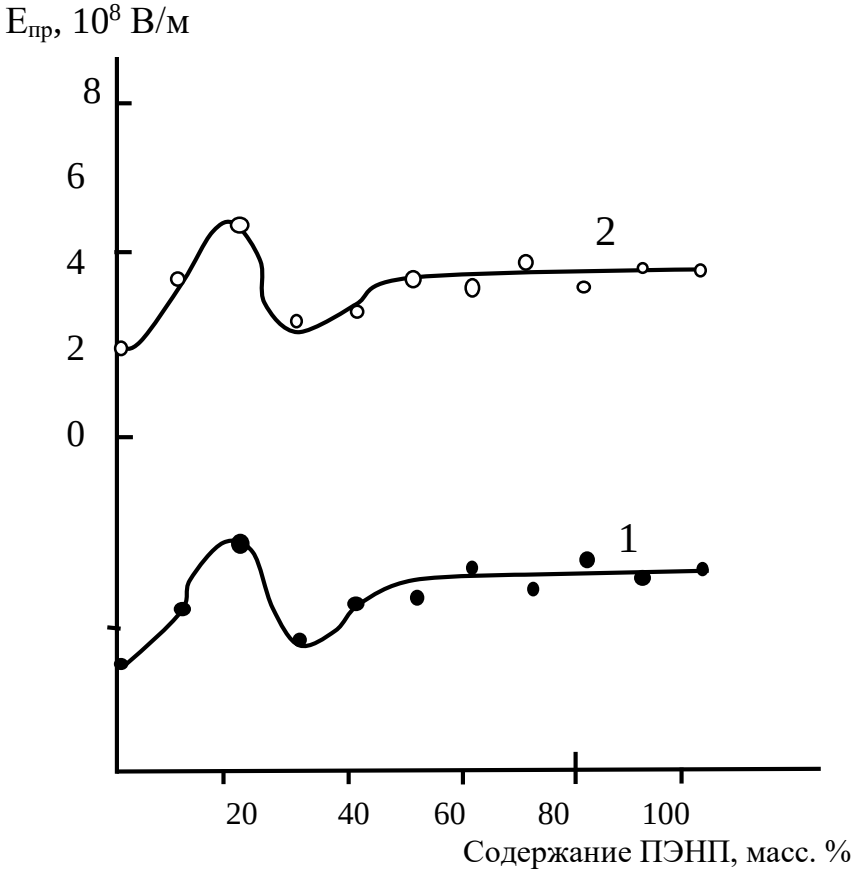


Рис. 2. *Зависимсть электрической прочности композиций ПП – ПЭНП от содержания ПЭНП для МО (1) и БО (2) образцов. Температура 293 К.*

Известно [1, 8, 9], что в качестве характеристики электрической прочности полимерных и композиционных диэлектриков используется как величина их электрической долговечности (τ), так и пробивная напряженность ($E_{пр}$). Кинетические закономерности электрического пробоя полимеров и полимерных композиций (ПК) изучают, исследуя зависимость τ от величины E или, при определении $E_{пр}$, от скорости его возрастания.

Если диэлектрик находится в среде меньшей электрической прочности, например, в воздухе, то возможно возникновение разрядов у краев электродов. Что приводит к искажениям однородного распределения поля, поскольку каждый разряд можно рассматривать как игольчатое продолжение электрода. Для устранения краевых разрядов рекомендуется проводить испытания в среде, имеющей высокое значение электрической прочности и диэлектрическую проницаемость близкую к диэлектрической проницаемости полимерного и композиционного диэлектрика, но значительно более высокую проводимость. Например, помещать образец в конденсаторное масло или кремнийорганическую жидкость [8, 9]. В работе [10] показано, что на постоянном напряжении окружающая среда не влияет на результаты измерений пробивной напряженности диэлектрика при выполнении условия $(\sigma \cdot E_{пр})_{среды} > (\sigma \cdot E_{пр})_{образца}$, где σ – удельная проводимость.

Для уточнения влияния среды на электрическую прочность полимерных и композиционных пленок, были определены величины пробивной напряженности пленки БО образцов

композиции ПП – ПЭНП и одного из компонентов его – пленки БО образцов ПП в различных средах. Скорость подъема напряжения (v_E) на образце варьировались от 8 до 220 В/с. В качестве сред использовались очищенное конденсаторное масло (неполярная жидкость с ε=2.2 и ρ ≈ 10^{15} Ом·см) и воздух. Опыты проводились при комнатной температуре.

В каждой среде и при каждой скорости подъема напряжения на образце проводилось по 14 испытаний, на основании которых определялись величина средней пробивной напряженности и ее разброс ($\Delta E_{пр}$). результаты испытаний представлены в таблице 1 и 2. Видно, что испытания в конденсаторном масле и воздухе дают (с учетом статистического разброса) практически одинаковые значения $E_{пр}$ для пленок БО образцов ПП (таблица 1) и ПП – ПЭНП (таблица 2). Поэтому в дальнейшем при электрических испытаниях в качестве среды, использовались конденсаторное масло. В тоже время, при составлении результатов исследований были включены некоторые данные для среды- воздух.

Таблица 1

Значения $E_{пр}$ и $\Delta E_{пр}$ пленки БО образцов ПП толщиной 20 мкм при электрических испытаниях в электродной системе сфера – плоскость на пробой в различных средах Т=293К.

Тип среды	dU/dt=8В/с		dU/dt=12В/с		dU/dt=136В/с		dU/dt=220В/с	
	$E_{пр}$, МВ/м	$\Delta E_{пр}$, МВ/м	$E_{пр}$, МВ/м	$\Delta E_{пр}$, МВ/м	$E_{пр}$, МВ/м	$\Delta E_{пр}$, МВ/м	$E_{пр}$, МВ/м	$\Delta E_{пр}$, МВ/м
Конденсаторное масло	410	100	420	90	450	60	510	110
Воздух	420	90	420	80	460	100	500	50

Таблица 2

Значения $E_{пр}$ и $\Delta E_{пр}$ пленки БО образцов ПП+ПЭНП=80+20 масс. % толщиной 20 мкм при электрических испытаниях в электродной системе сфера – плоскость на пробой в различных средах Т=293К.

Тип среды	dU/dt=8В/с		dU/dt=12В/с		dU/dt=136В/с		dU/dt=220В/с	
	$E_{пр}$, МВ/м	$\Delta E_{пр}$, МВ/м	$E_{пр}$, МВ/м	$\Delta E_{пр}$, МВ/м	$E_{пр}$, МВ/м	$\Delta E_{пр}$, МВ/м	$E_{пр}$, МВ/м	$\Delta E_{пр}$, МВ/м
Конденсаторное масло	470	60	480	100	540	90	610	50
Воздух	460	90	470	80	540	50	620	80

При сравнении результатов электрических испытаний полимерных и композиционных пленок, выполненных в различных электродных системах, например прижимных электродах типа «сфера – плоскость» необходимо учитывать, что одним из важных параметров, определяющих электрическую прочность изоляции, является площадь электродов [11-13]. В идеале, для полностью однородного и бездефектного материала зависимость $E_{пр}$ от площади электродов должна отсутствовать (существование надмолекулярных образований в полимерах и ПК обычно не является достаточным основанием для исключения их из класса однородных диэлектриков), но реальные полимерные и композиционные диэлектрические пленки содержат различного рода микродефекты и микронеоднородности. Наиболее часто встречающимися микронеоднородностями являются газовые пары, загрязняющие примеси, трещины и локальные утоньшения пленок, а также несовершенства поверхности электродов.

Таким образом, каждая из рассмотренных выше электродных систем, используемых для проведения испытаний электрической прочности полимерных и композиционных пленок, имеет свои достоинства и недостатки. Выбор того или иного типа электродной системы опре-

деляется задачами, стоящими перед экспериментаторами, и особенностями исследуемых пленок. Например, если требуется выяснить электрическую прочность собственного полимерного и композиционного материала, без учета возможных дефектов, то площадь электродов должна быть невелика и наоборот, когда необходимо определить электрическую прочность материала с учетом возможных эффектов, целесообразно использовать электроды большой площади [13].

Используемая нами, при испытаниях на пробой полимерных и композиционных диэлектрических пленок толщиной 20 мкм установка, позволяла проводить электрические испытания с использованием электродов различных типов. Применялись электродные системы типа «плоскость - плоскость», «сфера - плоскость», а также «сфера – сфера». В качестве сферических электродов использовались шарикоподшипники диаметром 6-18мм.

Таким образом, представляет интерес исследование кинетики электрического разрушения ПК и полимеров в режиме линейного (с постоянной скоростью) подъема напряжения на образце. Позволяя получить достаточно полную информацию о кинетике разрушения, этот путь в ряде случаев является более доступным и по этой причине часто используется при исследовании разрушения различных материалов в механических [1, 14] и электрических [1, 6] полях. В этом режиме испытаний в качестве характеристики электрической прочности выступает пробивная напряженность ($E_{пр}$) определяемая как $E_{пр}=U_{пр}/d$, где $U_{пр}$ – напряжение на образце в момент пробоя, d – его толщина.

Для определения зависимости $E_{пр}=(dE/dt)$ воспользуемся критерием Бейли [15], отражающим принцип постепенного исчерпания (вследствие накопления изменений) ресурса долговечности. В рассматриваемом случае он имеет вид

$$\int_0^{t_{пр}} \frac{dt}{\tau[(E)]} = 1,$$

где $t_{пр}$ – время до пробоя в режиме линейного подъема напряжения; $\tau[E(t)]$ – долговечность при определенном значении напряженности электрического поля.

Следует отметить, что исследованию кинетических закономерностей электрической прочности композиционных пленок в режиме линейного подъема напряжения уделялось недостаточно внимания. В литературе практически отсутствуют данные о пробивной напряженности композиционных пленок, измеренной в таких условиях, а имеющиеся результаты зачастую противоречивы.

В этой же работе приводятся данные о кинетических закономерностях электрической прочности композиционных пленок, полученные в режиме определения кратковременной электрической прочности, при варьировании скорости подъема напряжения на образце.

Электрические испытания проводились в различных электродных системах, что представляется весьма важным, поскольку позволяет выяснить, в какой мере наблюдаемые закономерности $E_{пр}(v_E)$ и $E_{пр}(T)$ определяются условиями эксперимента, а в какой они обусловлены свойствами композиционного диэлектрика. С этой целью было проведено сравнение закономерностей $E_{пр}(v_E)$ и $E_{пр}(T)$, полученных пленок БО образцов ПП – ПЭНП, ПП и ПЭНП с прижимными электродами типа «плоскость - плоскость», «сфера - плоскость» и «сфера - сфера». Все образцы изготовлены с одинаковой толщиной – 20мкм.

Рассмотрим данные о влиянии скорости подъема напряжения на пробивную напряженность пленок БО образцов ПП – ПЭНП, ПП и ПЭНП с прижимными электродами сфера – плоскость. Образец пленки и электроды помещались в конденсаторное масло. Опыты проводились при комнатной температуре.

На рис. 4 приведены температурные зависимости пробивной напряженности для пленки БО образцов ПП – ПЭНП при $v_E=10^5$ В/м·с (1) и $v_E=10^7$ В/м·с (2), БО образцов ПП при $v_E=10^5$ В/м·с (3) и $v_E=10^7$ В/м·с (4).

На рис. 3 приведены зависимости $E_{пр}(v_E)$, полученные для пленок БО образцов ПП – ПЭНП, ПП и ПЭНП. Отметим, что также как и при испытаниях на долговечность каждая точка на приведенных ниже рисунках представляет собой среднюю величину, рассчитанную на основании 14 испытаний.

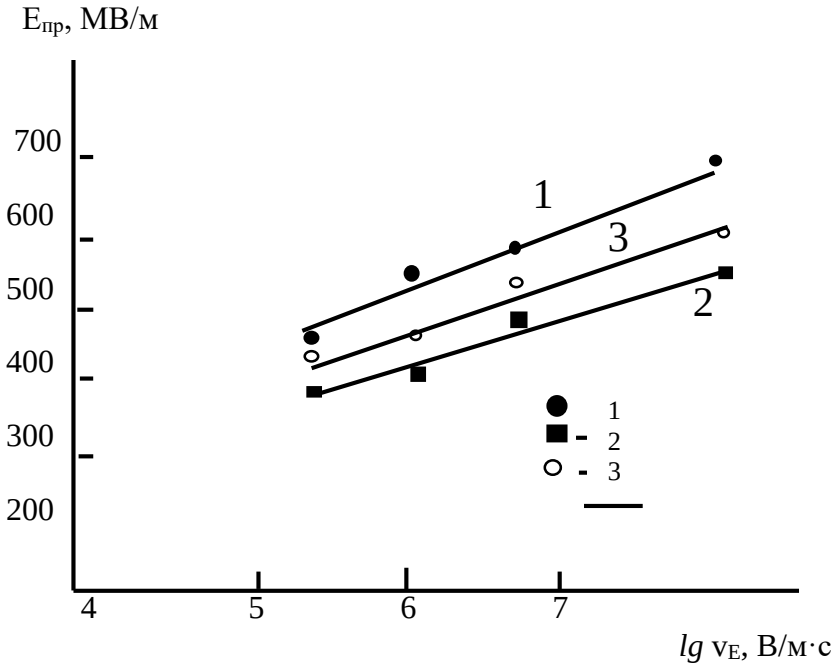


Рис. 3. *Зависимость пробивной напряженности от скорости подъема напряженности электрического поля при Т=293К в электродной системе сфера – плоскость для пленок БО образцов: ПП – ПЭНП (1), ПП (2) и ПЭНП (3).*

Из рис. 3 видно, что для композиционных и полимерных пленок при увеличении скорости подъема напряженности поля наблюдается возрастание пробивной напряженности. Для пленок БО образцов ПП – ПЭНП, ПП и ПЭНП (кривые 1, 2, и 3, соответственно) зависимости $E_{пр}(lgv_E)$ близки к линейным во всем исследованном диапазоне изменения v_E, причем диапазон измерения v_E одинакова.

Пробивная напряженность пленок БО образцов ПП – ПЭНП и ПП с напряженными электродами сфера – плоскость определялась, как при комнатной, так и при повышенных температурах, для различных фиксированных скоростей подъема напряжения.

На пробивную напряженность пленки БО образцов ПП – ПЭНП (кривые 1 и 2) температура оказывает наибольшее влияние. Как видно из рис.4. с возрастанием температуры их пробивная напряженность постепенно уменьшается. Пробивная напряженность пленки БО образцов ПП также уменьшается с ростом температуры. Однако влияние температуры на величину $E_{пр}$ пленки из этого полимера незначительно (зависимость 3 и 4) и наклон зависимости $E_{пр}(T)$ для нее существенно меньше, чем у соответствующей зависимости для пленки композиции ПП – ПЭНП. Из рис.4. также видно, что все зависимости $E_{пр}(T)$ в рассматриваемом диапазоне изменения температуры близки к линейным. Аналогичные температурные зависимости $E_{пр}$ для пленок БО образцов ПП – ПЭНП и ПП были проведены и в другой электродной системе.

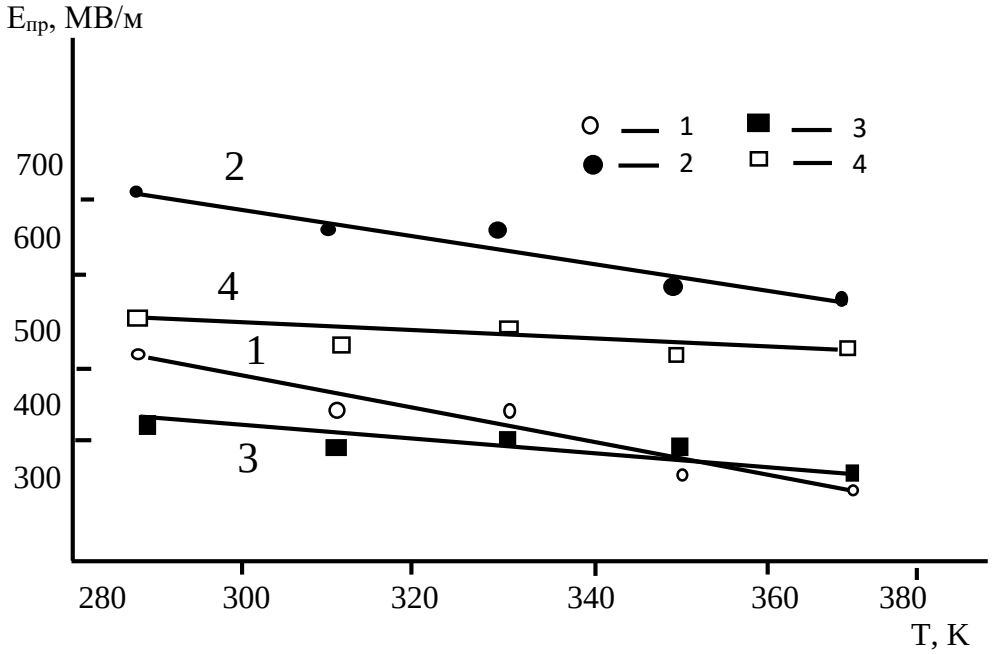


***Рис. 4**. Температурные зависимости пробивной напряженности БО образцов композиционных и полимерных пленок при испытаниях в электродной системе сфера – плоскость для различных скоростей подъема напряженности электрического поля:*
ПП – ПЭНП при $v_E = 10^5$(1) и 10^7(2) В/м·с;
ПП при $v_E = 10^5$(3) и 10^7(4) В/м·с.

Сравнение зависимостей $E_{пр}(\lg v_E)$ и $E_{пр}(T)$, полученных в различных электродных системах, для БО образцов ПП – ПЭНП и ПП показывает, что система электродов, в которых проводятся электрические испытания и определяется величина $E_{пр}$, не оказывает на нее заметного влияния. Ход зависимостей $E_{пр}(\lg v_E)$ и $E_{пр}(T)$ определяется свойствами композиционного и полимерного диэлектрика.

Повышение электрической прочности полимерной композиции ПП – ПЭНП с увеличением скорости возрастания напряженности поля, показывает, что подготовительные процессы в кинетике электрического разрушения является накопительным [1, 16].

Из вышеизложенного следует важный в практическом отношении вывод о невозможности безотносительной характеристики электрической прочности композиционных диэлектриков. Сравнение электрической прочности композиционных и полимерных диэлектрических материалов, как по величине их электрической долговечности, так и по пробивной напряженности, некорректно без указания условий испытаний напряженности поля, при которой определяется долговечность, или скорость подъема напряженности электрического поля, при которой фиксируется пробой.

Заключение. Таким образом, на основании проведенных измерений электрической прочности ПК пленок, выполненных в различных условиях и сопоставления полученных экспериментальных результатов по зависимостям $\tau(E)$ и $E_{пр}(v_E)$, можно сделать вывод о том, что пробой композиционных пленок носит кинетический характер. Электрическую прочность ПК в этих условиях можно характеризовать как долговечностью при определенном значении напряженности электрического поля, так и пробивной напряженностью при определенной скорости подъема напряжения на образце.

Литература

1. Алиева И.К., Велиев Т.М. Кинетика механического и электрического разрушения полимеров. Баку, АГМА, 2018. 192 с.
2. Слуцкер А.И., Велиев Т.М., Алиева И.К., Алекперов В.А., Поликарпов Ю.И., Каров Д.Д. Особенности кинетики электрического разрушения полимеров. ФТТ, 2016, т.58, №9, с.1826 – 1835.
3. Закревский В.А., Пахотин В.А., Сударь Н.Т. Старение и разрушение (пробой) полимерных пленок в переменном электрическом поле. ТТ, 2019, т.61, №61, №10, с.1953 – 959.
4. Велиев Т.М, Зейналова М.Дж., Абасов С.А., Бедирханова С.Ш. Электрическая прочность композиции полипропилен – полиэтилен низкой плотность с этиленпропиленовым эластомером. Проблемы энергетики, 2000, №3,4, с.108 – 113.
5. Алиева И.К. Температурная зависимость электрической долговечности полимерных композиций. ADDA Elmi əsərləri, 2019, №1, с.62 – 67.
6. Алиева И.К., Велиев Т.М. Элементарные процессы в кинетике электрического разрушения полимерных композиций. Проблемы энергетики, 2020, №1, с.44 – 50.
7. Абасов С.А., Мамедов Ш.В., Велиев Т.М., Алекперов В.А. Исследование прочностных свойств и структуры композиции на основе полипропилена. Физика, 1995, с.1, №1, с.50-55.
8. Бережанский В.Б., Быков В.М., городов В.В., Закревский В.А., Слуцкер А.И. Электрическая долговечность полимеров при отсутствии частичных разрядов. ЖТФ, 1985, т.55, вып.8, с.1663 – 1666.
9. Электрические свойства полимеров. Под. ред. Б.И.Сажина. Изд.3, Л.: Химия, 1986. 224с.
10. Борисова М.Э., Койков С.Н., Скорняков В.А. Влияние облучения на срок службы полиэтилентерефталата при ограничении частичных разрядов. //Электричество, 1985, №2, с.64 – 66.
11. Efimenko K., Rybka V., Svorcik V., Hnartowitz V. Electrical properties of Au – polystyrene – Au submicron structures. //Appl. Phys. – 1998. – A67. – P.503 – 505.
12. Riede A., Helmstedt M., sapurina I., Stejskal J. In Situ Polymerized Polyaniline Films. 4. Film Formation in Dispersion Polymerization of Aniline.//J.Coll. and Interface sci. 2002. – v.248. – P.413 – 418.
13. Груздева С.Г., Галашина Н.М., Шклярова Е.И., Григоров Л.Н. Измерение электрических свойств сверхтонких полимерных слоев.//ДАН. 1985. – с.1404 – 1408.
14. Велиев Т.М., Зейналова М.Дж., Абасов С.А., Алиева И.К., Бедирханова С.Ш. Механическая прочность и деформационные свойства композиции полипропилен – полиэтилен низкой плотности. Физика, 1999, т.5. №4, с.55 – 58.
15. Boggs S.A. Theory of a Defect – tolerant Dielectric – System. //IEEE Traks, on Elec. Insul. 1993, v.28, №3, p.365 – 371.
16. Велиев Т.М., Алиева Е.Р., Тагиева М.Дж. Подготовительные процессы в кинетике электрического разрушения полимеров. Проблемы энергетики, 2021, №1, с.65.

Məqalə qəbul olunub: 01.04.24
Tövsiyə edib: prof. Həsənov V.H.

ORCİD 0000-0003-2186-6877

DƏNİZ NƏQLİYYATINDA BAŞ VERƏN QƏZALARIN TƏDQİQİ

Həsənov V.H., *Məlikov F.Ə., Axundova G.A.

"Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası"PHŞ
AZ1000, Bakı şəh., Z. Əliyeva küç., 18
**Milli Müdafiə Universitetinin Hərbi Elmi Tədqiqat İnstitutu*
Bakı şəh., Şəfaət Mehdiyev küç., 136
E-mail: vgasanov2002@yahoo.com

Xülasə. *İşdə nəqliyyat donanmasının qəza dərəcəsini azaltmaq üçün gələcək tədbirlər planında risklərin idarə edilməsi və metodoloji yanaşmayla qiymətləndirilməsi, onların konkret şərtlərə və tapşırıqlara bağlı gəmilərin istismarına effektiv kombinə edilməsinin əsas məqsədi qəzaya səbəb ola biləcək təhlükəli halların qarşısının alınmasına yönəlməlidir.*

Abstract*. In order to reduce the accident rate of the transport fleet, the main goal of risk management and evaluation with a methodological approach in the plan of future actions, their effective combination with the operation of ships related to specific conditions and tasks should be aimed at preventing dangerous situations that may cause an accident.*

Аннотация*. В целях снижения аварийности транспортного флота основная цель управления и оценки рисков с методическим подходом в плане дальнейших действий, их эффективное сочетание с эксплуатацией судов, связанных с конкретными условиями и задачами, должна быть направлена на предотвращение аварийности транспортного флота опасные ситуации, которые могут привести к несчастному случаю.*

Açar sözlər: *gəmi nəqliyyatı, naviqasiya təhlükəsizliyi, qəza, istismar müddəti, insan faktoru*
Key words: *ship transport, navigation safety, accident, service life, human factor*
Ключевые слова: *судовой транспорт, безопасность мореплавания, авария, срок службы, человеческий фактор*

Giriş. Təhlükəsizlik bütün nəqliyyat növləri üçün tələb olunan əsas keyfiyyətdir və dəniz daşımalarında xüsusi əhəmiyyət kəsb edir. Dəniz gəmilərinin əhəmiyyətli ölçüləri, hərəkət sürətinin artması, dəniz nəqliyyatında intensivliyinin artması, çətin meteoroloji şəraitdə gəmilərin hərəkəti və digər səbəblər naviqasiya təhlükəsizliyi problemini ən yüksək prioritet və mövcud dəniz naviqasiyasının inkişafını və qiymətləndirilməsini aktual edir.

Ən ciddi təhlükəsizlik halları qəzaların dəniz fəlakətlərinə - gəmilərin batmasına səbəb olduğu hallar hesab olunur. Nəzərə almaq lazımdır ki, onların əsas səbəblərindən asılı olmayaraq (gəmilərin toqquşması, saya oturması, gövdənin sıxlığının pozulması, buz və ya üzən obyektə dəyməsi nəticələri və s.) gəminin batmasının son səbəbi üzmə keyfiyyəti nəzəriyyəsinin bir və ya bir neçəsinin pozulmasıdır. Bu, üzmə qabiliyyətinin itirilməsi, sabitliyin itirilməsi və batmazlığın itirilməsidir.

Dəniz fəlakətlərinin və ağır qəzaların nəticələri insan tələfatı, ekoloji problemlər, böyük maddi itkilər və nəzərə alınmayan psixoloji amildir. Nəticədə dənizdə baş verən hər bir hadisə ətraflı təhlil və hesabat tələb edir. Hazırda dünya donanmasının qəza nisbəti haqqında məlumatın əsas növü dəniz sənayesinin əksər iştirakçıları tərəfindən toplanan və təhlil edilən gəmilərin qəzaları və itkiləri haqqında statistik məlumatlardır. Fəlakətlərin və qəzaların sayının azaldılması, yəni naviqasiyanın təhlükəsizliyinin artırılmasının təmin edilməsi qəza statistikasının ümumiləşdirilməsini, statistik məlumatların elmi təhlilini və bu təhlilin nəticələrinin konkret təkliflər şəklində formalaşdırılmasını tələb edir.

Qəzaların və dəniz fəlakətlərinin statistikası təkcə dənizdəki problemlər və faciələrin baş verməsi deyil. Emal edilmiş statistik materiallar baş verənlərin səbəblərini müəyyənləşdirməyə və qəzaların və gəmi itkilərinin azaldılması və aradan qaldırılması üçün problemlərin və vəzifələrin həlli sahəsində elmin və təcrübənin səylərini yönəltməyə imkan verir. Yalnız təcrübə biliyin meyarıdır və bu halda statistika praktikanın aləti və əksidir. Yaxın keçmişdə dünya gəmiçilik elmi gəmilərin istismarının təhlilinə, o cümlədən qəza və fəlakətlərin statistik məlumatlarına istinad edərək iddia edirdi ki, gəmilərin itkisini və ciddi qəzalarını azaltmaq və qarşısını almaq üçün gəmilərin istismarının təkmilləşdirilməsini, onların dizaynlarını, avadanlıqlarını, cihazlarını, naviqasiya və texniki istismar elmini inkişaf etdirmək zəruridir. Bu sahələrdə irəliləyiş göz qabağındadır. Son illərdə elmin və texnikanın ən qabaqcıl nailiyyətləri gəmi konstruksiyası, gəmiqayırma və naviqasiya təcrübəsinə daxil edilmiş, ən son texnologiyalardan istifadə edilmişdir.

Bununla belə, dənizdə baş verən fəlakətlərin və qəzaların sayı azalmır. Elm dəniz naviqasiyasının bütün formaları sahəsində xüsusi uğur qazanmışdır. Xüsusilə, hazırda naviqasiya cihazlarının inkişafında, naviqasiya vasitələrinin ayırdetmə imkanlarında və naviqasiya təcrübəsində əhəmiyyətli irəliləyişlər əldə edilmişdir. Elektron kartoqrafiya, peyk naviqasiyası, gəmi və elektrik stansiyalarının idarəetmə sistemlərinin təkmilləşdirilməsi fəal şəkildə inkişaf edir və naviqasiya təhlükəsizliyi problemlərinin əlverişli həllinə, gəmilərin qəza hallarının azaldılmasına və dəniz fəlakətlərinin sayının azaldılmasına inam yaradır. GPS sistemlərindən istifadə edərək dənizdə gəminin mövqeyinin müəyyən edilməsinin dəqiqliyi bir neçə metrə çatıb, gəmilərdə avtomatik identifikasiya avadanlığı (AIS) quraşdırılıb [1,2].

Dənizdə insan təhlükəsizliyinin təmin edilməsi gəmiçilik, gəmiqayırma və əlaqəli texnologiya sahələrində ən mühüm problem olmuşdur və bu günkü gündə vacibdir. İnsan fəaliyyətinin müxtəlif sahələri arasında ən təhlükəlisi insanların dənizdə qalmaları ilə bağlı olanlardır. Dənizdə insan həyatı üçün təhlükə adətən gəminin seyrə çıxmasından başlayaraq öz limanına qayıtmasına qədər istənilən vaxt baş verə biləcək fövqəladə vəziyyətlə əlaqədardır. İnsanların dənizdə təhlükəsizliyi insanların və yüklərin daşınmasını, habelə dəniz şəraitində müxtəlif işlərin görülməsini təmin edən bütün texniki vasitələr kompleksinin vəziyyətindən asılıdır. İnsan həyatı üçün risk müxtəlif vəziyyətlərdən qaynaqlana bilər: naviqatorların və ya gəmi heyətinin səhvləri, gəminin dizaynında və tikintisində çatışmazlıqlar, mənfi amillərə məruz qalma, gəmi sistemlərinin və cihazlarının nasazlığı. Mütəxəssislərin fikrincə, qəzaların 80%-i gəmi personalının düzgün olmayan hərəkətləri nəticəsində baş verir. Ümumiyyətlə, insan həyatı üçün risk həm konstruksiyaların dağıdılması, gəmi sistemlərinin, qurğularının nasazlığı, həm də gəmi heyyətinin məlumatın qeyri-dəqiq qəbul edilməsi, səhv qərarların verilməsi və ya qərarın icrası zamanı səhvlərə yol verilməsidir [3].

Bu işin əsas məqsədi hərbi gəmi naviqasiya sisteminin səmərəliliyinin yüksəldilməsidir.

Nəzəri hissə. Elm və texnikanın ən qabaqcıl nailiyyətlərinin gəmiçilik təcrübəsinə tətbiq edilməsinə, gəmilərin tikintisində və avadanlıqla təchiz edilməsində ən müasir texnologiyaların tətbiqinə baxmayaraq, hər il dənizdə faciələr baş verir, onlarla gəmi batır, yanır, partlayır və nəhayət, sadəcə olaraq yoxa çıxır [4].

Şəraitdən asılı olaraq dəniz qəzalarını aşağıdakı əsas qruplara bölmək olar:

1) fırtınalar, məhdud görmə şəraiti, üzən buz;

2) naviqatorun və ya losmanın səhvi nəticəsində, o cümlədən aktiv naviqasiya rayonlarında baş verənlər;

3) naməlum obyektlərlə toqquşma;

4) məhdud məkanda manevr etmək (limanda, lövbər rayonlarında, reydlərdə);

5) yüklərin yerdəyişməsi, onların özbaşına yanması və partlaması.

Hərəkətin idarə edilməsi və nəzarət xidmətlərinin fəaliyyət göstərdiyi ərazilərdə gəmilərin itməsi ilə nəticələnən toqquşmaların sayı ümumdünya gəmilərin hərəkətinin idarə edilməsi sisteminin layihələndirilməsindədir ki, bu da belə hadisələrin sayının daha da azalmasına səbəb olmalıdır. SOLAS Konvensiyasının müddəalarının tələblərini dəniz sənayesinin bütün sahələrində həyata

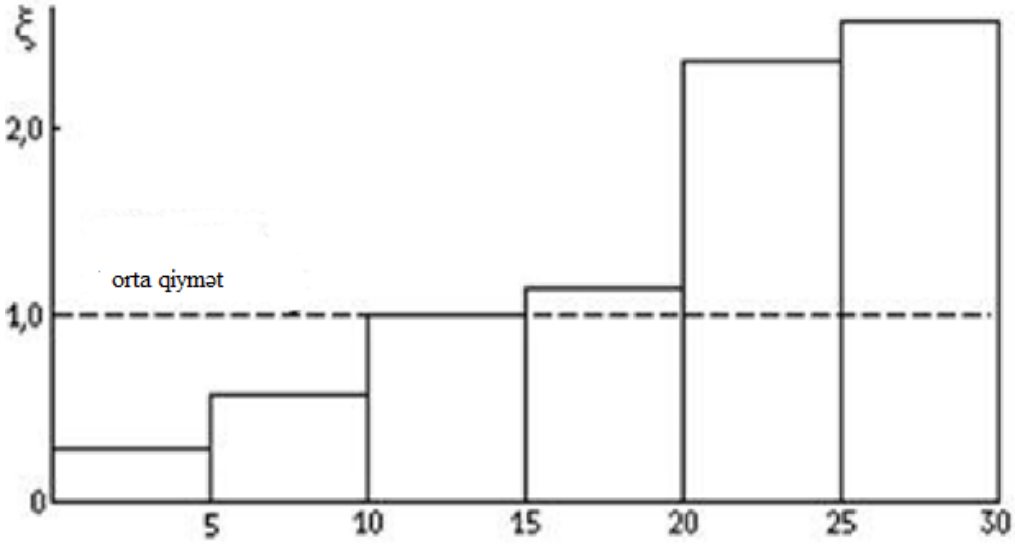
keçirilməsi, ən geniş məsələləri əhatə edir: gəmilərin layihələndirilməsi və inşasından tutmuş müəyyən növ yüklərin daşınması qaydalarına qədər. Sahil trenajorlarında təlimlər zamanı, eləcə də gəminin bortunda keçirilən təlimlər zamanı ekipaj üzvləri su və yanğınla mübarizə, habelə sərnişinlərin təxliyyəsi üzrə hərəkətləri məşq edirlər. Görülən bütün tədbirlərə baxmayaraq, gəmilərin ən müasirləri də daxil olmaqla, gəmilər yanmağa, batmağa və insanlar ölməkdə davam edir [5,6].

Məlum olduğu kimi qəzaların əsas səbəbi, gəminin gövdəsi və mexanizmləridir. Statistikalar göstərir ki, nəzərdən keçirilən dövr ərzində baş vermiş insidentlərdən təxminən üçdə biri yaşı 25-dən yuxarı olan gəmilərdə olub, ən çox insident isə köhnə ümumi yük daşıyan və sərnişin gəmilərində baş verib. Bu sektorlar çoxlu sayda kiçik tonajlı gəmilərlə təmsil olunur, onların çoxu aşağı gəlirli daşımalarla məşğul olur. Yüksək sabit mənfəətin olmaması çoxlu sayda köhnə gəmilərə, aşağı kapital xərclərinə və donanmanın yenilənmə sürətinə səbəb olur.

Qəzaların ümumi sayının demək olar ki, yarısı – 48%-i gəminin zədələnməsi və avadanlıqların sıradan çıxması ilə bağlıdır. 10-14 yaş arası gəmilərin iştirakı ilə belə hadisələrin artması gözlənilməz oldu. Bu problemlər bütün növ gəmilərdə qəzaların ən çox yayılmış səbəbi oldu, çünki bu dövrdə toqquşmaların ümumi sayı azaldı. Köhnə ümumi yük daşıyan gəmilərin korpusun zədələnməsi və maşınların sıradan çıxması ilə bağlı ən yüksək orta illik qəza sayına sahib olub - 550. Faiz ifadəsində bu səbəbdən ən çox qəza sərnişindaşıma seqmentində baş verib - hadisələrin ümumi sayının 58%-i. Gəminin yaşının batmaq riskinə necə təsiri var? Bu təhlil üçün tələb olunan məlumatlar İngiltərənin Lloyd's-un illik statistik hesabatlarından götürülmüşdür.

Şəkil 1-də müəyyən bir yaş qrupuna aid olan gəminin batma ehtimalının nəzərdən keçirilən ildə sıradan çıxmış gəmilərin sayının istismarda olan gəmilərin sayına nisbətinə bərabər olan orta qiymətdən kənara çıxması nəzərə alınmaqla göstərilmişdir (Be = (n/N)).

Görünür ki, yalnız 10 - 15 yaş qrupunda olan gəmilərin itkiləri orta itki riskinə uyğun gəlir (n/N). İlk iki qrup üçün qəza dərəcəsi orta qiymətdən əhəmiyyətli dərəcədə aşağı, köhnə gəmilər üçün isə orta qiymətdən 2,5 dəfə yüksəkdir. Müvafiq olaraq, tikildiyi andan ilk 10 il ərzində gəminin məhv olma ehtimalı 20-30 il istismar müddəti olan gəmilərə nisbətən təxminən altı dəfə azdır. Yaşı 10-20 il arasında olan gəminin batma ehtimalı minimum dəyərdən orta hesabla 2,5 dəfə yüksəkdir.

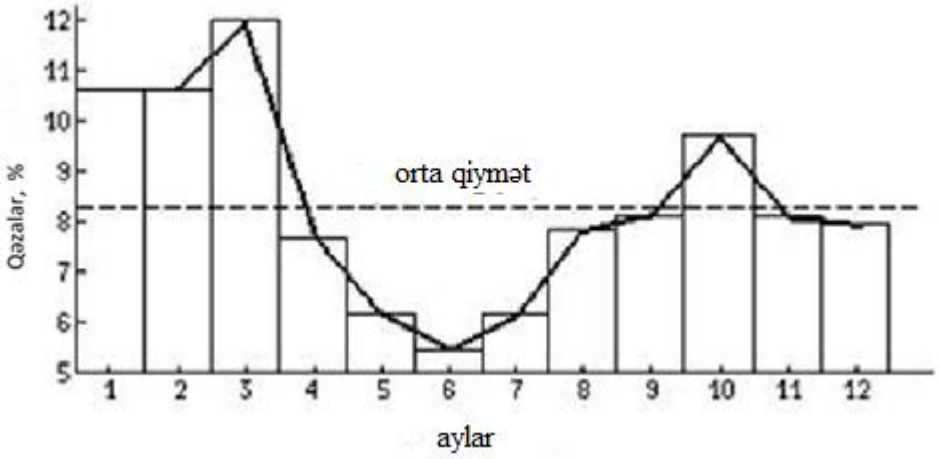


Şəkil 1. *Gəmilərin yaşı və qəza dərəcəsi*

Qeyd etmək lazımdır ki, şəkil 1-də göstərilən asılılıq zamanla çox sabitdir və yalnız cari təxminlər üçün deyil, həm də yaxın gələcək üçün proqnozlar üçün istifadə edilə bilər.

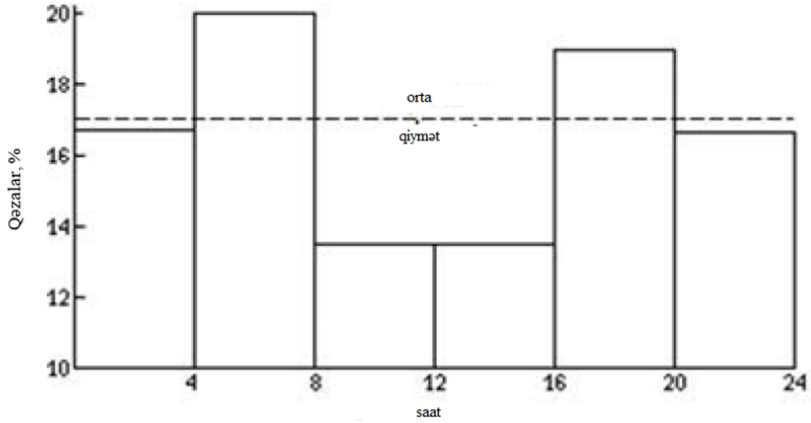
Gəmi qəzalarının hallarının təhlili böyük əhəmiyyət kəsb edir, çünki son nəticədə onlar insanların təhlükəsizliyinə təsir göstərir. Təəssüf ki, belə məlumatları ehtiva edən ədəbi mənbələrin sayı son dərəcə məhduddur.

Dəniz gəmiləri qəzalarının (təxminən 3000) ilin ayları üzrə paylanması şəkil 2-də göstərilmişdir. Ən çox sayı qış və payız aylarında baş verir bu da öz növbəsində üzmə şəraitinin pisləşməsi ilə əlaqədardır: görmə qabiliyyəti, dəniz şəraiti və s.



Şəkil 2. *Dəniz qəzalarının aylar üzrə paylanması*

Gün ərzində qəzaların bölgüsü şəkil 3-də verilmişdir. Ən çox bədbəxt hadisələr 4-8 və 16-20 saatlıq dövrlərdə baş verir. Əgər birinci gecə dövrü üçün bəzi əsaslandırıcı hallar tapmaq mümkündürsə, onda gündüz bunu etmək olduqca çətindir. Qəzalar qaranlıq və gündüz saatları arasında təxminən bərabər paylanır. Saya otumalar sayının paylanması məntiqlə izah olunur: gündüz 37%, gecə isə 63%.



Şəkil 3. *Gün ərzində qəzaların bölgüsü*

Bununla belə, qəzaların baş vermə ehtimalını hava şəraiti və görünmə ilə əlaqələndirən statistik məlumatlar düşündürücüdür. Bu vəziyyəti aşağıdakı kimi izah etmək olar. Birincisi, gəminin istismarını çətinləşdirən və təhlükəsizliyini təhdid edən hava şəraiti günlərin sayı çox deyil. İkincisi, belə şəraitdə naviqasiya heyətinin diqqətliliyi artır, gəmiyə nəzarət ən ixtisaslı mütəxəssislərə həvalə olunur.

Xilasetmə əməliyyatlarının effektivliyi və fövqəladə vəziyyətdə gəmidə olan insanların həyatı üçün risk dərəcəsi əsasən qəzanın xarakteri və müddəti ilə müəyyən edilir. Toqquşma və ya saya oturma zamanı gövdənin zədə aldığı yerdən su içəri daxil olaraq gəminin dayanıqlılıq qabiliyyətini dəyişməyə başlayır. Sabitliyin itirilməsi və kren anının artmasına səbəb olan amillərin üstünlüyü səbəbindən gəmi müəyyən bir kritik dəyərə yüksələrək kren alır [6,7].

Yanğınlar zamanı yanğının yayılma sürəti və intensivliyi böyük əhəmiyyət kəsb edir.

Son illərin statistikası göstərir ki, elm və texnologiyanın müasir nailiyyətlərindən istifadə edilməsinə baxmayaraq, dəniz donanmasında qəzaların sayı artmağa meyllidir. Zərərlərin çoxu əsas və köməkçi mexanizmlərə dəyir, 2020-ci ildə bu rəqəm ümumi zərərin 69%-ni təşkil edirdi. Təcrübə göstərir ki, bütün fövqəladə halların əhəmiyyətli bir hissəsi gəmi texniki avadanlığının (TS) qəza vəziyyətin vaxtında aşkar edilməməsi, habelə qəza vəziyyətdə düzgün qərarın qəbul edilməməsi səbəbindən baş verir. Nəticə gəminin ciddi zədələnməsi və ya batmasına gətirir (cədvəl).

2000-ci ildə dəniz gəmilərinin qəza nisbəti

Qəzaların səbəbləri	Ağır zərər	Gəminin batması
Korpusun və mexanizmlərin zədələnməsi	249	22
Toqquşma	126	20
Gəminin qəzaya uğraması və saya oturması	118	121
Yanğınlar və partlayışlar	86	75
Suyun dolması	50	139
Yer kontaktları	31	0
Müxtəlif	8	21
Döyüş əməliyatları	1	17

Dəniz gəmilərinin qəzalarından, xüsusən də tankerlərin qəzaları böyük itkilər verir, ekoloji fəlakətlər isə bütün canlılar üçün təhlükə yaradır. Buna görə də ekoloji təhlükəli gəmilər (tankerlər, qazdaşıyanlar, kimyəvi tankerlər və s.) qoşa gövdəli, əlavə enerji təchizatı, yüklərin idarə edilməsi, və əlavə yanğınsöndürmə sistemləri ilə təchiz edilirlər. Onlar ya iki mühərrikli hərəkət aqreqatları, ya da əlavə geri çəkilə bilən sükan sistemləri ilə təchiz edilmişdir. Bu cür təhlükəsizlik standartı 2001-ci ildə Almaniyanın gəmiqayırma sənayesi tərəfindən yeni "Təhlükəsizlik Tankeri Class 2004" proqramına uyğun olaraq inşa edilmiş dedveyti 31.600 ton olan tanker idi. Lakin bu tədbirlər bu gün kifayət deyil.

Beynəlxalq Dəniz Təşkilatı (IMO) Beynəlxalq Gəmilərin Təhlükəsizliyinin İdarə Edilməsi və Çirklənmənin Qarşısının Alınması (ISM) Məcəlləsini qəbul etmişdir ki, bu da hər bir gəmiçilik şirkətindən öz əməliyyatlarında və gəmilərində təhlükəsizlik idarəetmə sistemini inkişaf etdirməyi və tətbiq etməyi tələb edir.

Bu tələblər çərçivəsində ölkələr vahid naviqasiya təhlükəsizliyi sisteminin yaradılması üçün xüsusi proqram qəbul ediblər ki, bunun məcburi elementlərindən biri də dəniz və çay gəmilərində təhlükəsiz dizayn avadanlığının quraşdırılmasıdır. Bu cür avadanlıqların yaradılması zamanı yeni prinsiplər üzərində qurulan avtomatik idarəetmə sistemlərinin (ACS) hazırlanmasına ehtiyac var hansılar ki, gəmi nəqliyyat vasitələri üçün yalnız yüksək keyfiyyətli optimal idarəetmə problemlərini həll etməkdən əlavə obyektlərin qəza əvvəli, qəzalı və qəzadan sonraki hallarda idarəedilməsinə imkanlar yaradacaq [8].

Nəticə. Beləliklə, gəmi idarəetmə sistemlərinin müasir inteqrasiya edilmiş kompleksinin bir hissəsi olan hər bir avtomatlaşdırılmış idarəetmə sisteminə aşağıdakıları təmin edən texniki qurğunun təhlükəsiz (fövqəladə) nəzarəti üçün alt sistemlər daxil edilməlidir:

1) obyektin təhlükəsiz hərəkətinin və hərəkətsizlik vəziyyətinin monitorinqi (cari rejimin təfsiri) və qəza vəziyyətin baş verməsinin müəyyənləşdirilməsi (proqnozlaşdırılması);

2) təhlükəli (qəza vəziyyətdən əvvəl) vəziyyətin erkən müəyyən edilməsi və problemlər yarada biləcək inkişaf və nəticələr haqqında məlumatın yaradılması, obyektə və bütövlükdə gəmiyə ziyan vurma riskinin qiymətləndirilməsi;

3) qəza vəziyyətin qəzaya çevrilməsinin qarşısını almaq üçün idarəetmənin korreksiyası, yəni. sistemi tez normal rejimə gətirmək üçün effektiv idarəetmə hərəkətinin seçilməsi;

4) texnoloji avadanlığın təhlükəsiz vəziyyətə keçirilməsi (söndürmə, dayanma və s.) yolu ilə sərhədlərin müəyyən edilməsi və təhlükəsiz iş sahəsinin tanınması və fövqəladə vəziyyətin lokallaşdırılması;

5) nəqliyyat vasitəsi qəzasının nəticələrinin aradan qaldırılması, yəni normal quraşdırma rejiminin bərpası.

Yeni avtomatlaşdırılmış idarəetmə sistemlərinin yaradılması zamanı təhlükəsiz (qəzasız) idarəetmə prinsiplərinin istifadəsi daha mürəkkəb olan tərkib elementlərinin etibarlılıq səviyyəsini artırmaq üçün əlavə xərclər olmadan gəmi texniki avadanlıqlarının və bütövlükdə gəmilərin təhlükəsiz istismarını təmin edəcəkdir bu da öz növbəsində daha çətin problemdir.

Ədəbiyyat

1. Международная конвенция по поиску и спасанию на море (SAR-79).
2. International Aeronautical and Maritime Search and Rescue Manual. Volume 1 "Organization and Management" (IAMSAR Vol.1). -IMO, Virginia, U.S. 1997. -p.153.
3. Руководство по международному авиационному и морскому поиску и спасанию. Том 2 "Координация операций" (IAMSAR Vol.2). ИМО/ИКАО, Монреаль, Канада 1999. - 213с.
4. Международное авиационное и морское наставление по поиску и спасанию. Книга 3 "Подвижные средства" (IAMSAR Vol.3). - Санкт-Петербург: ЗАО ЦНИИМФ. Серия "Судовладельцам и капитанам". 1999, вып. № 14-447с.
5. Руководство для торговых судов по поиску и спасанию (MERCAP) - ИМО, 1992. -135с.
6. Женевская конвенция об улучшении участи раненых, больных и лиц, потерпевших кораблекрушение, из состава вооруженных сил на море, 1949 года.
7. Международной конвенции по охране человеческой жизни на море (SOLAS-74)
8. Положение о взаимодействии аварийно-спасательных служб министерств, ведомств и организаций на море и водных бассейнах России. - М.: МЧС, 1995. - 22с.

Məqalə qəbul olunub: 01.04.24
Tövsiyə edib: prof. Həsənov V.H.

ORCİD 0000-0003-2186-6877

GƏMİ DUZSUZLAŞDIRMA QURĞUSUNDA İSTİLİK MÜBADİLƏSİNİN ANALİZİ

Həsənov V.H., Həziyev Ə.R., Ömərov A.S., Həsənova L.A.

"Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası"PHŞ
AZ1000, Bakı şəh., Z.Əliyeva küç., 18
E-mail: vgasanov2002@yahoo.com

Xülasə. *İşdə mövcud texnologiyalardan fərqli olaraq ultrasəs texnologiyası, suyun dərinliyində ərpin əmələ gəlməsi, həm də onun istilikmübadiləsi səthində çökməsi proseslərinə, eyni zamanda artıq əmələ gəlmiş təbəqəyə təsir etməklə eyni anda bir neçə mexanizmdən istifadə etməyə imkan verir. Göstərilmişdir ki, ultrasəs texnologiyası ərp əmələ gəlmə sürətini əhəmiyyətli dərəcədə azalda bilər və bəzi hallarda istilikmübadiləsi avadanlığının ərpsiz işləməsini təmin edə bilər.*

Аннотация. *В отличие от существующих технологий, ультразвуковая технология позволяет использовать одновременно несколько механизмов, воздействуя как на процессы образования накипи в глубине воды, так и на ее осаждение на поверхности теплообмена, и од-*

новременно воздействуя на уже сформированный слой. Указано что ультразвуковая технология позволяет существенно снизить скорость образования накипи и в ряде случаев обеспечить работу теплообменного оборудования без накипи.

Abstract. *Unlike existing technologies, ultrasonic technology allows the use of several mechanisms simultaneously, influencing both the processes of scale formation in the depths of water and its deposition on the heat exchange surface, and at the same time influencing the already formed layer. Thus, ultrasonic technology can significantly reduce the rate of scale formation and, in some cases, ensure the operation of heat exchange equipment without scale.*

Açar sözlər: *gəmi, ultrasəs, duzsuzlaşdırma, ərp, istilikmübadiləsi, proses*

Ключевые слова: *судно, ультразвук, опреснение, накипь, теплообмен, процесс*

Key words: *vessel, ultrasound, desalination, scale, heat transfer, process*

Giriş. Prezident İlham Əliyevin "Dəniz suyunun duzsuzlaşdırılması yolu ilə içməli su istehsalı sahəsində pilot layihənin həyata keçirilməsi tədbirləri haqqında" 2023-cü il 12 aprel tarixli Sərəncamı ölkədə əlavə su mənbəyinin yaradılmasını nəzərdə tutur.

Dövlətimizin başçısının dəniz suyunun duzsuzlaşdırılması ilə bağlı imzaladığı sərəncam əhalinin suya olan tələbatının ödənilməsini, hər zaman olduğu kimi, yenə də diqqət mərkəzində saxlamasından xəbər verir. Ölkə rəhbərinin alternativ su mənbələrinin işlənilməsi, o cümlədən, dəniz suyunun şirinləşdirilməsi ilə bağlı imzaladığı sənədlər, bu sahədə qəbul olunmuş qərarlar ölkədə su qıtlığının aradan qaldırılmasını, əhalinin içməli və suvarma suyuna olan tələbatının ödənilməsini şərtləndirir.

Qeyd etmək lazımdır ki, 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.

Yeri gəlmişkən, dəniz suyunun duzsuzlaşdılması ilə bağlı təşəbbüs ilk dəfə 2010-cu ildə Prezident İlham Əliyev tərəfindən gündəmə gətirilib və 2 il sonra Salyan rayonunun Xıdırlı kəndində "Xəzər Dəniz Suyunun Duzsuzlaşdırılması Kompleksi" istifadəyə verilib.

O cümlədən, müasir gəmilərin güc və texnoloji avadanlıqlarının istismarı əsasən şirin suyun istehlakı ilə əlaqəlidir. Gəminin su ilə təminatı zamanı vacib şərtlərdən biri, limanda qalma və lövbərləmə zamanı onun su ehtiyatlarının artırılmasından ibarətdir. Sahil suyunun alınması gəmilərin təminatı üçün baha başa gəldiyindən, kifayət qədər şirin su əldə etməyin təbii yolu dəniz suyunun duzsuzlaşdırılmasıdır.

İşləmə prinsipindən asılı olmayaraq, müasir duzsuzlaşdırma qurğusu mürəkkəb mühəndis quruluşa malikdir, belə ki, qurğunun texnoloji sxemi onu təşkil edən elementlərin tərkibini, onlar arasındakı qarşılıqlı əlaqəni və baş verən proseslərin ardıcıllığını müəyyən edir [1].

Qurğunun əsas elementi duzsuzlaşdırma hissəsidir. Həmin hissənin növündən asılı olaraq o əsas (baş) qızdırıcıdan, buxarlanma aparatları və ya qaynama kameraları, aralıq qızdırıcılar, distillat soyuducuları, kondensator və nasoslardan ibarətdir.

Termiki duzsuzlaşdırma prosesləri ilkin suyun, onun tərkibindəki duzların müəyyən qatılığındakı temperaturdan yüksək temperaturda qızdırılması, daha sonra isə qaynama və buxarlanması ilə müşayiət olunur. Hazırda duzsuzlaşdırmanın termiki üsullarından daha çox istifadə edilir, belə ki, bu üsullar dəfələrlə az enerji xərcləri tələb edir və texniki nöqteyi-nəzərdən istifadəsi daha asandır.

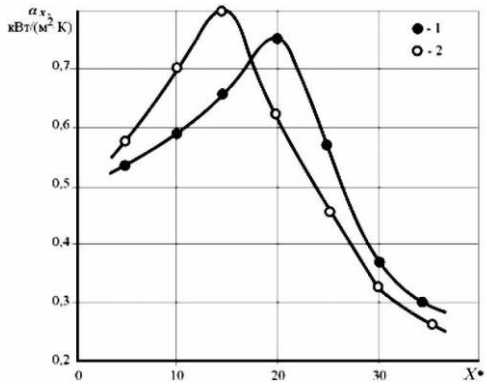
Təqdim edilən işdə gəminin şirin su ehtiyatının sərfi hesablamışdır. Hesablamalar göstərmişdir ki, distillə tipli duzsuzlaşdırma qurğularının məhsuldarlığı qızdırılan suyun sərfiyyatından və deməli, soyuducu suyun alındığı mühərrikin gücündən asılıdır [2]. Gəminin verilmiş belə iş şəraitində, duzsuzlaşdırma qurğularına isti suyu verən dizel generatorları az yüklənir ki, bu da duzsuzlaşdırma qurğularının məhsuldarlığının azalmasına səbəb olur.

Bu baxımdan, mövcud duzsuzlaşdırma qurğularının müasirləşdirilməsi yolu ilə onların məhsuldarlığının artırılması məqsəd olaraq qarşıya qoyulmuşdur. Fikrimizcə, duzsuzlaşdırma qurğularını təkmilləşdirərkən istilikmübadiləsini gücləndirməklə onların iş göstəricilərinin əhəmiyyətli dərəcədə yaxşılaşmasıdır.

Beləliklə, duzsuzlaşdırma qurğularının istilikdəyişdiricilərinin istilik buraxan səthlərinə və divara yaxın (sərhəd) təbəqəyə ultrasəs dalğalarının istiqamətləndirilmiş təsirinin müasir və effektiv üsulu ilə istilikmübadiləsinin intensivləşdirilməsi məsələsinə baxılmışdır [3].

Bir sıra fərziyyələrə [4-6] əsasən, ultrasəs titrəyişləri divarların eninə vibrasiyası nəticəsində boruların hidrodinamik müqavimətinin azalması səbəbindən su axınının sürətini artırmaqla qızdırıcı səthdən istilik ötürülməsini artırır. Ultrasəsin təsiri altında mayenin divar (sərhəd) təbəqəsinin daha yaxşı qarışması hesabına buxar qabarcıqlarının qızdırıcı səthdən çıxarılması və suyun qazsızlaşdırılması prosesləri intensivləşir ki, bu da istilik ötürülməsini artırmağa kömək edir.

Qeyd olunanlara baxmayaraq, V. G. Dobrjansky, V. N. Slesarenko [7] və digər tədqiqatçıların tədqiqatları əsasında müəyyən edilmişdir ki, bir çox hallarda ultrasəs vasitəsilə emal istilikötürücü divarda ərpin əmələ gəlməsinin intensivliyini azaldır. Bu, məhlulun həcmində şlak əmələgəlmə prosesinin güclənməsi hesabına baş verir. Bununla da ultrasəs ilə emal yerli istilikdəyişmə proseslərini intensivləşdirir. Şəkil 1-də ədəbiyyat məlumatlarına əsasən yerli istilik- ötürmə əmsalının paylanması göstərilmişdir [5].



Yerli istilik ötürmə əmsalının paylanması:
-●- – akustik təsir olmadan; -○- – akustik təsir altında

Lakin bu hadisənin mexanizmi, o cümlədən ultrasəsin təsiri altında baş verən proseslər tam öyrənilməmişdir və bu da istilikmübadilə sistemlərində bu texnologiyanın elmi əsaslarla tətbiqinə mane olur.

Nəzəri hissə. Aparılmış ədəbiyyat analizinə əsasən təcrübi istilikdəyişmə aparatında divardan keçən istilik axını və istilik balanslarının qiyməti hesablanmışdır [8]:

1. Qaynar su ilə ötürülən istilik miqdarı

$$Q_{q.s.} = C_s \cdot G_{q.s.} \cdot \Delta t = 4{,}19 \cdot 0{,}111 \cdot (85 - 83{,}5) = 698 \text{ Vt},$$

burada, C_s – suyun istilik tutumu, kJ (kq ·K); $G_{q.s.}$ – suyun sərfiyyatı (kg/s); Δt – temperaturlar fərqi (təcrübi yolla əldə edilən giriş və çıxış üzrə).

2. Soyuq suyun qəbul etdiyi istilik miqdarı:

$$Q_{s.s.} = C_s \cdot G_{s.s.} \cdot \Delta t = 4{,}19 \cdot 0{,}00278 \cdot (77 - 20) = 664 \text{Vt}$$

3. İstilikötürmə prosesi zamanı istilik axınının gücü:

$$Q = \alpha F \cdot \Delta t, \text{ Vt},$$

burada, $F = l \cdot b = 6{,}12 \cdot 10^{-3}\ m^2$ – istilikötürmə səthinin sahəsi. Beləliklə, istilikötürmə əmsalları aşağıdakı kimi ifadə edilə bilər:

$$\alpha_{q.s.} = \frac{Q_{q.s.}}{(t_{q.s.} - t^{d.}_{q.s.}) \cdot F} = \frac{698}{(84{,}2 - 82) \cdot 6{,}12 \cdot 10^{-3}} = 50690\, Vt/(m \cdot {}^0C),$$

$$\alpha_{s.s.} = \frac{Q_{s.s.}}{(t^{d.}_{s.s.} - t_{s.s.}) \cdot F} = \frac{664}{(80{,}5 - 60) \cdot 6{,}12 \cdot 10^{-3}} = 5292\, Vt/(m \cdot {}^0C),$$

burada, t^d – divardakı temperaturdur.

4. İstilikötürmə əmsalı

$$k = \left(\frac{1}{\alpha_{q.s.}} - \frac{\delta}{\lambda} - \frac{1}{\alpha_{s.s.}} \right)^{-1} = \left(\frac{1}{50690} - \frac{0{,}005}{398} - \frac{1}{5292} \right)^{-1} = 4522\, Vt/(m \cdot {}^0C)$$

5. İstilikötürmə prosesində istilik axınının gücü:

$$Q = k \cdot F \cdot \Delta t_{or},\ \text{Vt},$$

burada, $\Delta t_{or} = \dfrac{\theta_{\max} - \theta_{\min}}{\ln \dfrac{\theta_{\max}}{\theta_{\min}}} = \dfrac{(85-20)-(83{,}5-77)}{\ln \dfrac{(85-20)}{(83{,}5-77)}} = 25{,}5\ {}^0C$.

Beləliklə, $Q = 4522 \cdot 6{,}12 \cdot 10^{-3} \cdot 25{,}5 = 705$ Vt və ya

$$Q = \frac{\lambda}{\delta} \cdot F \cdot (t^{d.}_{q.s.} - t^{d.}_{s.s.}) = \frac{398}{0{,}005} \cdot 6{,}12 \cdot 10^{-3} \cdot 1{,}5 = 730 \quad \text{Vt.}$$

Görürük ki, istilikötürmə proseslərini təsvir edən kriteriya tənlikləri də nəticələrin oxşarlığını göstərir.

$$d_{ekv} = \frac{4 \cdot f}{P} = 0{,}030,\ m \ – \text{ekvivalent diametr,}$$

burada, $f = 0{,}001194\, m^2 = 0{,}02 \cdot 0{,}0597 = b \cdot h$ – səth sahəsi; $P = 0{,}1594\, m$ – perimetrdir.

$$V_{s.s} = \frac{G_{s.s}}{f} = \frac{0{,}00278 \cdot 10^{-3}}{0{,}001194} = m/s \ – \text{soyuq suyun sürəti}$$

$$\mathrm{Re}_{s.s} = \frac{w_{s.s} \cdot l}{\nu_{s.s}} = \frac{2{,}33 \cdot 10^{-3} \cdot 102{,}5 \cdot 10^{-3}}{0{,}478 \cdot 10^{-6}} = 500 – \text{Reynolds ədədi}$$

$$Nu^{m.k}_{s.s} = 0{,}17 \cdot \mathrm{Re}^{0.33}_{s.s} \cdot Gr^{0{,}1}_{s.s} \cdot \mathrm{Pr}^{0.43}_{s.s} \cdot \left(\frac{\mathrm{Pr}_{s.s}}{\mathrm{Pr}_d} \right)^{0{,}25} = 12{,}3 – \text{Nussel ədədi məcburi konveksiya zamanı,}$$

$$Gr_{s.s} = \beta \cdot \frac{g \cdot d_{ekv}}{\nu^2} \cdot \Delta t = 5{,}11 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{9{,}8 \cdot (0{,}003)^3}{(0{,}478 \cdot 10^6)^2} \cdot (77 - 20) = 1{,}126 \cdot 10^9 – \text{Qrasqof meyarı,}$$

$\mathrm{Pr}_{m.k} = 3{,}03$– Prandtl meyarı, $\mathrm{Pr}_d = 2{,}23$,

$$Nu^{s.k}_{s.s} = 0{,}5 \cdot (Gr_{s.s} \cdot \mathrm{Pr}_{s.s})^{0{,}25} = 120 – \text{sərbəst konveksiya zamanı Nussel ədədi.}$$

Sərbəst konveksiya zamanı rəqsi hərəkətlərin istilik ötürülməsinə təsiri ilə bağlı işlərin təhlili göstərdi ki, bu sinif hadisələri qarışıq konveksiya zamanı istilik mübadiləsinə aid etmək olar.

Beləliklə, qarışıq konveksiya üçün Nusselt ədədi, [9]-ə əsasən

$$(Nu^4_{s.k} + Nu^4_{s.k})^{1/4} = Nu_1,$$

$$\frac{l}{d} \approx 1,$$

$$Nu = E \cdot Nu_1 = 2 \cdot 121 = 242,$$

burada E korreksiya əmsalıdır.Beləliklə, istilik balansının hesablamalarından əldə edilən nəticələrə əsasən qənaətbəxş bir şəkildə uyğun gələn soyuq suyun istilikötürmə əmsalını hesablaya bilərik:

$$\alpha_{s.s.} = \frac{\lambda \cdot Nu_{s.s.}}{d_{ekv}} = \frac{0{,}65 \cdot 242}{0{,}03} = 5243\, Vt/(m^2 \cdot {}^0C).$$

Nəticə. Beləliklə, bir sıra texnologiyalardan fərqli olaraq ultrasəs texnologiyası, suyun dərinliyində ərpin əmələ gəlməsi, həm də onun istilik mübadiləsi səthində çökməsi proseslərinə, eyni zamanda artıq əmələ gəlmiş təbəqəyə təsir etməklə eyni anda bir neçə mexanizmdən istifadə etməyə imkan verir. Su kifayət qədər intensivlikdə ultrasəs vasitəsilə emal edildikdə, suda çoxlu sayda kavitasiya qabarcıqları yaranır, onların yaranması və çökməsi duzların və qarışıqların hissəciklərini suya yaymaq üçün kifayət qədər enerjinin ayrılması, yəni qızdırılan suda əmələ gələn duz kristallarının dağılması baş verir. Suda çoxlu sayda kristal nüvələrin əmələ gəlməsi qızdırılan suyun dərinliyində duzların daha intensiv kristallaşmasına, ultrasəsin təsiri altında duz kristallarının böyüməsinə və sonradan məhv olmasına səbəb olur. Ultrasəs texnologiyası ərp əmələ gəlmə sürətini əhəmiyyətli dərəcədə azalda və bəzi hallarda istilikmübadiləsi avadanlığının ərpsiz işləməsini təmin edə bilər.

Ədəbiyyat

1. Неплюев И.Ф. Основы научной эксплуатации судовых водоопреснительных установок. Калининград, 1980. 45 с.
2. Слесаренко В.Н., Слесаренко В.В. Судовые опреснительные установки. Владивосток: Морской гос.ун-т, 2001. 448 с.
3. А.В. Романов. Моделирование интенсификации терлообмена в судовых опреснительных установках // Морская техника и технология, Вестник АГТУ, № 2(37), 2007. с.130-135.
4. Коржаков А.В., Лойко В.И. Исследование эффективности акустомагнитной обработки водных систем. Майкоп: Адыгейский гос. ун-т, 2002.
5. Добржанский В.Г., Слесаренко В.Н. Особенности накипеобразования при кипении морской воды // Тр. ДВО РИА. Вып. 2., Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2000. с. 16–33.
6. Селиванов Н.В. Моделирование тепломассообмена высоковязких жидкостей в колеблющейся ёмкости: Автореф. дис. д-ра техн. наук. Воронеж, 2002. 33 с.
7. Həsənov V.H., İmanov Ş.Y. İstilikdəyişdirici aparatlar və qurğular. Dərslik. AzTU, “Çaşıoğlu”, 2000, 151 s.
8. К механизму влияния магнитной обработки воды на процессы накипеобразования и коррозии /О.И. Мартынова, А.С. Копылов, Е.Ф. Тебенихин, В.Ф. Очков //Теплоэнергетика. 1979. № 6. с. 67–69.
9. Романов А.В. Моделирование интенсификации терлообмена в судовых опреснительных установках // Морская техника и технология, Вестник АГТУ, № 2(37), 2007. с.130-135.

Məqalə qəbul olunub: 01.04.24
Tövsiyə edib: prof. Həsənov V.H.

UOT 621.762 (075)

TEMPERATURUN ÖLÇÜLMƏSİ VƏ FUNDAMENTAL FİZİKİ SABİTLƏR. GERİ DÖNMƏZLİYİN BAŞ VERMƏSİ VƏ TEMPERATURUN DİNAMİK ƏSASLARI

Həsənov Y.N.

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

Xülasə. *Məqalədə temperaturun ölçülməsi və fundamental fiziki sabitlərin təyini məsələlərinə baxılır. Temperatur və fiziki sabitlərin təyin edilməsinin əsas inkişaf mərhələri araşdırılmışdır. Temperatur və entropiyanın mexaniki müddəaları izah edilmişdir. Məqalənin elmi və təcrübi nəticələri metrologiya və ölçmələrin vəhdətinin metodoloji əsaslarının işlənməsində istifadə oluna bilər.*

Abstract. *The article discusses the issues of temperature measurement and determination of fundamental physical constants. The main stages in the development of the determination of temperature and physical constants have been studied. The mechanical essences of temperature and entropy are outlined. The scientific and practical results of the article can be applied in the development of methodological foundations of metrology and uniformity of measurements.*

Аннотация. *В статье рассмотрены вопросы измерения температуры и определения фундаментальных физических констант. Изучены основные этапы развития определения температуры и физических констант. Изложены механические сущности температуры и энтропии. Научные и практические результаты статьи могут быть применены при разработке методологических основ метрологии и единства измерений.*

Açar sözlər: *temperatur, fiziki sabitlər, entropiya, geri dönməzlik*
Key words: *temperature, physical constants, entropy, irreversibility*
Ключевые слова: *температура, физические константы, энтропия, необратимость*

Makroskopik cisimlərin vəziyyətini xarakterizə edən əsas fiziki kəmiyyətlərdən biri temperaturdur. İntuitiv olaraq bu anlayış istini və soyuğu hiss etməyimizin ölçüsü kimi ortaya çıxır. Təmasda olan iki cismin zamanla eyni dərəcədə isti olması müəyyən edilmiş eksperimental fakta əsaslanır. Temperatur anlayışının inkişafı və onun ölçülməsi metodları əvvəlcə cisimlərin temperaturdan asılı olan və obyektiv ölçülə bilən xassələrinin müəyyən edilməsi ilə sırf empirik şəkildə baş verir.

Termometriyanın inkişafının bu mərhələsində müxtəlif temperatur şkalaları təklif edilmişdir ki, bunlardan əsasları Selsi, Farengeyt və Reamur şkalaları idi. Bütün bu şkalalar hər hansı bir maddənin iki sabit nöqtəsinə və termometrik xassənin temperaturdan xətti asılılığının fərziyyəsinə əsaslanırdı. Temperatur vahidləri müxtəlif şkalalarda, müvafiq olaraq Selsi, Fahrengeyt və Reyumur dərəcələrində müəyyən edilmişdir. Məlum oldu ki, alınan temperatur vahidləri seçilmiş termometrik maddədən asılıdır. Bu, müxtəlif maddələrin eyni xassələrinin temperaturdan müxtəlif yollarla və qeyri-xətti asılı olması ilə əlaqədardır. Termometriyanın empirik inkişafı ilə paralel olaraq, istilik mühərriklərinin işlənib hazırlanması və konstruksiyasına olan ehtiyaclar tarazlıq termodinamikasının inkişafına təkan verdi. Mütləq sıfır temperaturun mövcudluğu müəyyən edildi, onun qiyməti hazırda -273,15° Selsi olaraq qəbul edilir. 1848-ci ildə W. Tomson (Lord Kelvin) seçilmiş termometrik maddənin xassələrindən asılı olmayan termodinamik temperatur anlayışını təqdim etdi. O, temperatur hesabatı üçün başlanğıc nöqtəsi kimi mütləq sıfırı, temperatur vahidi kimi isə dərəcəni götürməyi təklif etdi. Bu şkala mütləq Kelvin şkalası kimi tanındı. Kelvin şkalasında temperatur Tk,
Tk = tc + 273,15 K ifadəsi ilə Selsi şkalası tc temperaturu ilə əlaqəlidir.

Kelvinin təklifi yalnız 1948-ci ildə qəbul edilmişdir. Hal-hazırda, termodinamik temperatur vahidini müəyyən etmək üçün Kelvin (K), buzun ərimə nöqtəsindən daha stabil və etibarlı şəkildə hasil oluna bilən, temperaturu 273,16 K qəbul edilən suyun üçlü nöqtəsindən istifadə olunur. Eyni zamanda, temperatur vahidi - dərəcə olan Selsi şkalası istifadə olunur. Selsi Kelvinə bərabərdir. Bu yeni Selsi şkalasında suyun qaynama nöqtəsi tqn - 99,964°C-dir. Termodinamika ilə eyni vaxtda R. Klauzius, C. Maksvel, L. Bolsman, C. Qibbsin əsərlərində maddənin quruluşunun molekulyar-kinetik nəzəriyyəsi və tarazlıq statistik mexanikası işlənmişdir. Məhz statistik mexanikada temperaturun fiziki mahiyyəti və onun fundamental fiziki sabitlərlə əlaqəsi açılır. Termodinamikanın sıfırıncı qanunu ilə temperaturun daxil edilməsinin qeyri-müəyyənliyi onun baş verməsinin fiziki mexanizminə daha adekvat olan başqa ölçü vahidini seçməyə imkan verir. Qeyd edək ki, Bolsman sabiti və temperaturu həmişə kT-nin hasili kimi əsas fiziki qanunlara daxil edilir. Sistemin bu və ya digər xarakteristikası Bolsman sabiti vasitəsilə müəyyən edildikdə belə, o, mütləq temperaturu ehtiva edən hansısa qanunun tərtibinə elə daxil edilir ki, nəticədə həmişə kT nəticədə görünsün. Misal üçün, istilik keçiriciliyi qanunu bildirir ki, istilik daha isti cisimdən daha soyuq olana ötürülür və ötürülən istilik miqdarı temperatur qradiyenti VT ilə mütənasibdir. Bu halda, istilik keçiricilik əmsalı Bolsman sabitinin birinci qüvvəti ilə mütənasib olur. Eyni şey istilik tutumu, eləcə də digər istilik kəmiyyətləri üçün də keçərlidir. Bunun təsadüf deyil, ümumi vəziyyət olduğunu güman etmək olar. Gəlin bunu nümayiş etdirək. Klassik statistik mexanikada sistem Gibbs paylanma funksiyası ilə təsvir edilir:

$$F(q, p) = Z^{-1} \exp\{-[U(q) + P(p)]/\theta\}, \quad (1)$$

burada, Z -statistik inteqraldır və bərabərdir:

$$Z = \int dqdp exp\{-[U(q) + P(p)]/\theta\} \quad (2)$$

Burada θ=kT, k Boltsman sabiti, U(q) sistemdəki bütün molekulların potensial enerjisi, o cümlədən onların qarşılıqlı təsir enerjisidir. Bu molekulyar koordinatların funksiyasıdır. P(p) sistemin molekullarının impulsları və kütlələrindən asılı olan kinetik enerjisidir. (1) funksiyası faza fəzasının (q, p) nöqtələrində molekulların tapılması ehtimalının sıxlığını müəyyən edir. Onun köməyi ilə tədqiq olunan sistemin bütün termodinamik xarakteristikaları hesablanır. θ=kT qiymətini Gibbs paylanma modulu adlandırmışdır. Göstərildi ki, θ kəmiyyəti nəzərdən keçirilən sistemin hər bir dinamik sərbəstlik dərəcəsi üçün orta kinetik enerjiyə bərabərdir.

Bolsman sabitinin ədədi qiymətini əvvəlcə Plank, sonra isə Eynşteyn qara cismin şüalanması qanunlarını öyrənərkən müəyyən etmişdir. Bu sabit əsas FFC-lərdən biridir və müasir termometriyada son dərəcə mühüm rol oynayır. Sistemin bütün termodinamik xarakteristikaları (1) funksiyası vasitəsilə təyin olunduğundan aydın olur ki, temperatur xarici parametr olmaqla paylanma funksiyasının tərifinə yalnız θ=kT kombinasiyası şəklində daxil edilir.

Sistemin bütün termodinamik parametrlərini və onlarda gedən prosesləri hesablayarkən biz T termodinamik temperaturdan ayrılıqda deyil, θ qiymətindən asılılığı dəqiq alacağıq.

Klassik təsvir həqiqəti əks etdirmədikdə, xüsusən də aşağı temperaturda (kT → 0), kvant statistik mexanikasına keçmək lazımdır. Kvant vəziyyətində tarazlıq sistemi sıxlıq matrisi ilə təsəvvür oluna bilər:

$$\rho(q,) = Z^{-1} \sum_n \psi' n\,(q') exp(-En/kT) \psi n(q)$$

Burada staistik Z cəmi bu ifadə ilə təyin edilir:

$$Z = \sum_n \exp(-En/kT),$$

ψn(q) isə- baxılan molekulyar sistemin Hamilton *H*-ın En enerji səviyyəsinə uyğun olan xüsusi funksiyasıdır. Kvant sisteminin tarazlıq vəziyyəti də $kT = \theta$ kəmiyyətlərinin birləşməsindən asılı olur.

Beləliklə, tarazlıq statistik mexanikasında istər klassik, istərsə də kvant hallarda istilik hadisələri ilə əlaqəli sistemin bütün xarakteristikaları $\theta=kT$ qiyməti ilə müəyyən edilməlidir. Bu qiymətin

temperatur kimi qəbul edilməsi təbiidir. θ – nın ölçü vahidi enerji üçün ölçü vahididir, *SI*-də Couldur. Belə bir fərziyyənin təbiiliyi həm də bir sərbəstlik dərəcəsinə görə P_i sisteminin molekullarının orta kinetik enerjisini temperaturla birbaşa əlaqələndirən virial teoremdən irəli gəlir: $P_i=kT/2$.

Qeyd etmək lazımdır ki, Gibbs statistik təsvirdə onun təqdim etdiyi paylanma modulu ilə termodinamik temperatur arasındakı əlaqəni aşkar edərkən tamamilə oxşar mülahizəni, yalnız əks istiqamətdə verdi. O yazırdı: "Statistik düsturlarımızda enerji və vaxtın fiziki məqsədlər üçün əlverişli vahidlərlə ölçüldüyünü güman etməyə heç nə mane olmur. Bununla belə, əgər bu vahidlər artıq bir dəfə seçilibsə, onda θ və ϑ-nin ədədi qiymətləri olduqca müəyyəndir və onları ədədi qiymətləri vahidlərin seçimindən asılı olan temperatur və entropiya ilə biz onları müqayisə etmək üçün θ – nün qiymətini hər hansı K sabitinə vurmalıyıq və ϑ-nün qiymətini eyni sabitə bölməliyik. Bu sabit bütün cisimlər üçün eynidir və yalnız istifadə olunan temperatur və enerji vahidlərindən asılıdır".

η kəmiyyəti ölçüsüz S' entropiyası ilə üst-üstə düşür (aşağıdakı ifadəyə (3) bax) və K sabiti, asan başa düşüldüyü kimi, müasir k Bolsman sabitinin əks qiyməti ilə üst-üstə düşür. Termodinamikada da T temperaturdan bütün asılılıqlar $\theta=kT$ kəmiyyətindən asılılığa gətirilə bilər. Həqiqətən də, termodinamikanın ikinci qanununa görə, tarazlıq izotermik prosesində istilik miqdarının δQ artımı aşağıdakı əlaqə ilə ifadə olunacaq:

$$\delta Q/T = dS, \tag{3}$$

hansı ki, S - entropiya funksiyasını təyin edir və termodinamik temperatur T isə tam diferensial dS-ni tam diferensial olmayan sonsuz kiçik δQ istilik artımı ilə əlaqələndirən inteqrallayıcı böləndir. (4)-də termodinamik temperatur T əvəzinə inteqral bölən kimi θ (temperaturu) enerji xarakteristikasından istifadə etmək olar. Bu halda entropiyanı yenidən təyin etmək lazımdır:

$$\delta Q/\theta = dS/k = dS'. \tag{4}$$

S' = S/k kəmiyyəti ölçüsüzdür.

Ölçüsü və nəticədə xüsusi ədədi qiymət istisna olmaqla, termodinamik entropiyanın bütün fiziki nəzərəçarpan xassələrinə malik olan ölçüsüz entropiya kimi qəbul edilə bilər. Statistik mexanikada klassik sistem üçün termodinamik entropiya S kəmiyyətlə əlaqələndirilir:

$$S = -k \int dqdpF(t,q,p)lnF(t,g,p) \tag{5}$$

və kvant sistemi üçün – kəmiyyət:

$$S = -k \sum_n pn\ lnpn, \tag{6}$$

burada pn -n vəziyyətinin ehtimalıdır. Bu ifadələrdən görünür ki, "entropiya" anlayışının bütün anlamlı hissəsi (zamanla geri dönməz davranış) ölçüsüz inteqrala və ya cəmə daxil edilir, halbuki k amili termodinamik temperaturun T- nin təyini ilə bağlı olan termodinamik entropiyanın yalnız lazımi ölçülərini təmin etmək üçün mövcuddur. k-nı S entropiyasına deyil, T temperaturuna aid etmək daha təbii idi.

Belə bir fərziyyə Şennonun informasiya nəzəriyyəsində entropiyanın tərifinə uyğundur. Şennonun informasiya entropiyası, müəyyən təsadüfi dəyişənlər dəsti ilə xarakterizə olunan ixtiyari bir sistem üçün (mütləq termodinamik deyil) Bolsman sabiti olmadan (2.30), (2.31) formasında düsturlarla, yəni informasiya entropiyası ilə müəyyən edilən ölçüsüz kəmiyyətdir. Statistik mexanikada entropiya informasiya entropiyasından Boltsman sabitinə vurulmaqla əldə edilir.

"Temperatur" anlayışının enerji xarakteri ilə bağlı verilən mülahizələr sırf evristik xarakter daşıyır və Bolsman sabitinin və temperaturun kT hasilinin formasında fiziki qanunlarda həmişə mövcud olmasına əsaslanır. Düzünü desək, bu mülahizələr tarazlıq sistemlərinə aiddir və bu "temperatur" fenomeninin səbəbləri, onun fiziki mahiyyəti haqqında heç nə demir. Əvvəlcə nə gəlir: enerji və ya termodinamik temperatur? Molekulyar hərəkətin enerjisini termodinamik temperatur müəyyən edir, yoxsa molekulyar hərəkətin kinetik enerjisi temperaturu müəyyən edir?

M. Plank temperaturun və entropiyanın mexaniki mənası haqqında məsələni nəzərdən keçirdi. O qeyd edib ki, ilkin anlayış olaraq temperatur deyil, entropiya hesab edilməlidir. Entropiya "bütün növlər üçün" müəyyən edilmişdir, hallar və vəziyyət dəyişir, halbuki temperatur bu anlayışdan yalnız entropiyanın maksimuma çatdığı istilik tarazlığının xüsusi şərtini əlavə etməklə əldə edilir. İstilik tarazlığı yalnız bütün geri dönməz proseslərin meyl etdiyi son vəziyyət kimi müəyyən edilə bilər. Beləliklə, temperatur məsələsi bizi mütləq geri dönməzliyin mahiyyəti məsələsinə aparır, öz növbəsində dönməzlik entropiya funksiyasının mövcudluğu üçün özünün tam əsasını tapır.

Həqiqətən də, xarici aləmlə heç bir şəkildə qarşılıqlı təsir göstərməyən N hissəciklərdən ibarət təcrid olunmuş sistemdə molekulların hərəkəti Nyuton tənlikləri ilə müəyyən edilir, deterministik (təsadüfi deyil) və geri çevrilə bilir. Molekulyar hərəkətin bu mikroskopik tərsinə çevrilməsi səbəbindən təcrid olunmuş sistemin makroskopik davranışı da geri çevrilir. Sistemdə tarazlıq vəziyyətinə dönməz təkamül yoxdur. Üstəlik, Puankarenin qaytarılması teoreminə görə, təcrid olunmuş sistemdə belə bir tarazlıq vəziyyəti ümumiyyətlə mövcud deyil. Təbii ki, söhbət stasionar hissəciklərin mexaniki tarazlığından yox, daimi hərəkətdə olan zərrəciklər sisteminin statistik tarazlığından gedir. Deməli, belə bir sistemdə tarazlıq vəziyyətinin xarakterik xüsusiyyəti olan temperatur anlayışını təqdim etmək mümkün deyil.

Dinamik sistemdə dönməz davranışın baş verməsi və onun statistik tarazlığa can atması məsələsi uzun müddət öyrənilir. Göstərilmişdir ki, çox sayda sərbəstlik dərəcəsi olan Hamilton sistemlərində faza məkanında hərəkətin güclü dayanıqsızlığı səbəbindən hissəciklərin trayektoriyalarının güclü qarışması və onların qarışması çox tez meydana çıxır, yəni xaotik hərəkət sırf mexaniki olaraq yaranır. Dinamik adlanan belə xaos sistemdə termodinamik dönməzliyə gətirib çıxarmır. Onun hərəkəti geri dönən olaraq qalır və sistemin temperatura bənzər heç bir xüsusiyyəti görünmür. Sistemdə dönməzlik termostatla (xarici mühit) - müəyyən temperaturda termodinamik tarazlıqda olan böyük sistemlə qarşılıqlı əlaqədə olduqda yaranır. Bununla belə, geri dönən mexaniki hərəkətə malik dinamik sistemin dönməz termodinamik davranışa keçməsi və tarazlığa keçid prosesinin necə baş verməsi məsələsi hələ də son həlldən uzaqdır. Üstəlik, termostatın özündə temperaturun yaranması məsələsi həll edilməmişdir. Buna baxmayaraq, sadə modellərdən istifadə edərək, dönməz davranışa keçid prosesini izləmək və dinamik sistemin tarazlıq statistik vəziyyətini xarakterizə edən parametrin mənasını tapmaq mümkün olmuşdur. N.N. Boqolyubov nümunə olaraq çox sadə bir modeldən istifadə edərək, mikroskopik olaraq geri dönən mexaniki sistemdə tarazlıq vəziyyətinin və ona geri dönməz keçidin necə yarana biləcəyini və sistemdə temperatur kimi xarakteristikanın necə yarandığını göstərmişdir. Termostatla qarşılıqlı əlaqədə olan N sayda osilatordan ibarət Model sistem nəzərdən keçirilmişdir.

Ədəbiyyat

1. Həşimov A.M., Həsənov Y.N. Qanunverici metrologiyanın əsasları. Bakı. 2011
2. Ölçmələrin vəhdətinin təmin edilməsi haqqında. Bakı şəhəri, № 686-IVQ. 2013.
3. “Mise en pratique для определения кельвина” Севр, Франция, 2011.
4. Kononogov S., Lyssenko V. Comparisons of the metrological characteristics measurements of the devises for checking 3-D surface nanotopography. Technische Universitat Chemnitz / XI International' colloquium on- surfaces. - Proceedings Part II. - 2004. - Chemnitz, - Germany.
5. Whitehouse D: J. Handbook of surface metrology. RTH. University of Warwick. England, 1994
6. Həsənov Y.N. Metrologiya standartlaşdırma və sertifikatlaşdırma: Fundamental fiziki sabitlər əsasında kəmiyyət vahidləri. Bakı, 2023
7. Həşimov A.M., Həsənov Y.N., Həsənov R.R. Metrologiya: ölçmə nəticələrinin işlənməsinin qeyri müəyyənliyi və normativ təminat. Bakı, 2023

Məqalə qəbul olunub: 01.04.24
Tövsiyə edib: prof. Həsənov V.H.

UOT 621. 362 (075)

AVOQADRO SABİTİNİ TƏYİN ETMƏK ÜÇÜN MÜASİR METODLAR VƏ ONLARIN DƏQİQLİYİNİ ARTIRMAQ PERSPEKTİVLƏRİ

Həsənov Y.N.

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

Xülasə. *Elm və texnikanın inkişafı fiziki sabitlərin daha dəqiq hesablanması üçün müddəti dəyişməz qəbul edilmiş əsas vahidlərin xətalarının hesablanması zərurəti yaranır. Bu baxımdan Qanunverici Metrologiya təşkilatının tövsiyələri əsasında müasir vasitələrdən geniş istifadə edilir.*

Abstract. *It is necessary to calculate the errors of the basic units, which are assumed to be constant, for more accurate calculation of physical constants with the development of science and technology. In this regard, modern scientific tools are widely used based on the recommendations of the Legislative Metrology Organization.*

Аннотация. *С развитием науки и техники для более точного расчета физических констант возникает необходимость расчета погрешностей основных единиц, которые считаются постоянными. В связи с этим широко используются современные научные инструменты на основе рекомендаций Организации законодательной метрологии.*

Açar sözlər: *Qanunverici Metrologiya təşkilatı, əsas vahidlər, fiziki sabitlər*

Key words: *Legislative Metrology organization, basic units, physical constants*

Ключевые слова: *организация Законодательной Метрологии, основные единицы, физические константы*

Avogadro sabitinin qiymətini təyin etmək üçün istifadə edilə bilən əsas metodları nəzərdən keçirək.

Avoqadro sabitinin Faradey sabiti baxımından tərifi. Faradey sabiti F elektroliz zamanı bir mol maddənin elektrodda çökməsi üçün lazım olan yükü təyin edir və Avoqadro sabiti ilə aşağıdakı kimi əlaqələndirilir:

$$F = eN_A, \tag{1}$$

burada *e* elektronun yüküdür. Buna görə də, elektrolizdən istifadə edərək Faradey sabitinin eksperimental təyini üçün elementar yük dq = Idt-ə bərabər olduğundan, zamana görə cərəyanın inteqralını ölçmək lazımdır.

Elektroliz yolu ilə N_A-nı təyin etmək üçün istifadə edilən cihazlar heç vaxt mümkün qədər dəqiq olmaq üçün konstruksiya edilməmişdir. Bununla belə, elektrokimyəvi metod üzərində əhəmiyyətli metroloji işlənilmə tələb etsə də, N_A-nın müəyyən edilməsi üçün potensial əhəmiyyətli və faydalı metod olaraq qalır. Bu, adətən bir və ya iki elektrolitik prosesi, məsələn, anodun misinin əriməsini əhatə edir.

$$Cu \rightarrow Cu^{2+} + 2e^- \tag{2}$$

və ya turşunun neytrallaşdırma prosesi

$$2H^+ + 2e^- \rightarrow H2 \tag{3}$$

Anodun ümumi yükü və kütlə itkisi və ya ayrılan hidrogenin həcmi ölçülür, bundan sonra N_A əlaqə düsturundan müəyyən edilir.

$$Q = nF = neN_A, \tag{4}$$

burada Q ümumi yükdür, n həll olunmuş mis və ya ayrılmış hidrogenin mollarının sayıdır.

Bu cür ölçmədə ən nəzərəçarpacaq xəta mənbələrindən biri anod maddəsinin elektrolitik olmayan itkisidir. Məsələn, 1980-ci ildə ABŞ-da gümüş kulometrdə aparılan təcrübələrdə gümüşün elektrolitik olmayan itkisi ilə bağlı xəta təxminən $1{,}33x10^{-6}$ idi. Bu tipli təcrübələrdə N_A-nin təyin edilməsində xətanın əhəmiyyətli dərəcədə azaldılması ehtimalı azdır.

Avoqadro sabitinin rentgen səpələnməsi ilə təyini (XRCD - metod). Avogadro sabitini təyin etmək üçün ən müasir metodlar rentgen şüalarından istifadə edərək silikon kristal şəbəkəsinin parametrlərinin interferometrik tədqiqinin nümunənin sıxlığı və nümunənin izotopik tərkibi nəticələrini özündə birləşdirən XRCD metoduna (X-Ray Crystal Density method) əsaslanır.

Metodun mahiyyəti ondan ibarətdir ki, kristal nümunənin makroskopik-molyar həcmi elementar hüceyrənin həcmini, a_0^3 maddənin molunda belə hüceyrələrin sayına vurmaqla mikroskopik olaraq müəyyən edilə bilər, yəni:

$$\frac{M}{\rho} = \frac{N_A}{\nu} a_0^3 \tag{5}$$

burada p - nümunənin makroskopik kütlə sıxlığı, M - onun molyar kütləsi, v - kristal qəfəsin fərdi vahid hüceyrəsindəki atomların sayıdır. Nəticədə, N_A aşağıdakı bərabərliklə müəyyən edilir:

$$N_A = \frac{M\nu}{\rho a_0^3} \tag{6}$$

Avoqadro sabitinin tərifinin nəticəsidir. Kristal nümunə kimi silikon kristaldan istifadə olunur. Vahid hüceyrələrin sayı N_A/v kristal şəbəkənin rentgen şüaları ilə retgenoqrafiyası ilə dəqiq müəyyən edilir.

Bu metodla Avoqadro sabitini təyin etmək üçün ilk cəhdlər ötən əsrin 40-cı illərində edilib. Sonrakı illərdə N_A-nın bu üsulla təyin edilməsinin dəqiqliyi dəfələrlə artırılmış, lakin ötən əsrin 90-cı illərinin əvvəllərinə qədər kütlə etalonunu, kiloqramı yenidən müəyyən etmək üçün tələb olunan səviyyədən xeyli aşağı qalmışdır.

Lazımi hesablamaları yerinə yetirməzdən əvvəl aşağıdakı parametrləri ölçmək lazımdır: fərdi silikon atomunun tutduğu həcm; makroskopik sıxlıq; izotop tərkibi və molyar kütlə. Baxılan üsulla silisium atomlarının hesablanması silisiumdakı qarışıqların sayı və növləri, həmçinin qarışıqların kütlə və həcmə təsiri haqqında məlumatın mövcudluğunu nəzərdə tutur. Bu halda, mümkün mövcudluğu nəzərə almaq lazımdır.

Kristal qəfəs qüsurlarının aşağıdakı növləri ola bilər:

- qəfəs yerlərində silisium atomlarını əvəz edən atom qarışıqları;
- qəfəs yerlərindən kənarda yerləşən və bir hüceyrədə atomların ümumi sayını artıran atom qarışıqları;
- qəfəs boşluqları, həmçinin qəfəs yerləri arasında silisium atomlarının olması.

Silikonun molyar kütləsini dəqiq ölçmək üçün kürə şəklində hazırlanmış nümunənin izotop tərkibini müəyyən etmək lazımdır:

$$M(Si) = M(^{28}Si)[l + £], \tag{7}$$

burada £-nin qiyməti $1x10^{=8}$ dəqiqliklə ölçülməlidir.Hazırda belə ölçmə son dərəcə çətin işdir və nümunənin izotop tərkibi qazdan kütlə spektrometrindən istifadə etməklə təyin olunan SiF_4 ionlarının qaz qarışığına çevrilməsini tələb edir.. Bundan əlavə, bir silikon nümunəsinin yetişdirilməsinin düzgünlüyünə baxmayaraq, onun tərkibində amorf silikon, silikon dioksidin nazik təbəqələri, həmçinin qarışıqların təbəqələri ola bilər. Qarışıqların, səth oksidlərinin və digər amillərin təsirini nəzərə almaq üçün nümunənin ölçülmüş tam həcmli sıxlığına düzəlişlər etmək lazımdır, çünki onların sıxlığı kremnidən fərqli ola bilər. Məsələn, oksidin sıxlığı kremninin sıxlığından azdır. Bundan əlavə,

silikon dioksidin səth təbəqəsinin olması nümunə diametrinin interferometrik üsulla ölçülməsi zamanı səthin aydın yerdəyişməsinə səbəb olur. İzotop tərkibinin qeyri-müəyyənlikləri və kremni atomunun həcmi bu metodla Avoqadro sabitinin müəyyən edilməsində ümumi qeyri-müəyyənliyə əsas töhfə verir.

Təbii kremnidən istifadə edərək Avogadro sabitini təyin edərkən əldə edilən nisbi qeyri-müəyyənlik səviyyəsi 10^{-7} əslində son həddidir və dəqiqliyi artırmaq üçün monoizotop nümunəyə keçmək lazımdır.

Avoqadro sabitini təyin etmək üçün bəzi dolayı metodlar. Avoqadro sabiti N_A-nın birbaşa təyini üsulları ilə yanaşı, onu fundamental fiziki sabitlər arasındakı riyazi əlaqələrə əsaslanan dolayı metodla təyin etmək mümkündür. Məsələn, Avoqadro sabitinin qiymətinin dolayı təyini Rydberq sabitinin R_∞, nazik struktur sabiti α və Plank sabitinin h ölçülməsinə əsaslana bilər ki, bunlar aşağıdakılarla əlaqələndirilir:

$$R_\infty = m_e c\alpha^2 /2h = \frac{M_p c\alpha^2}{2(m_p/m_e)N_A h} \quad (8)$$

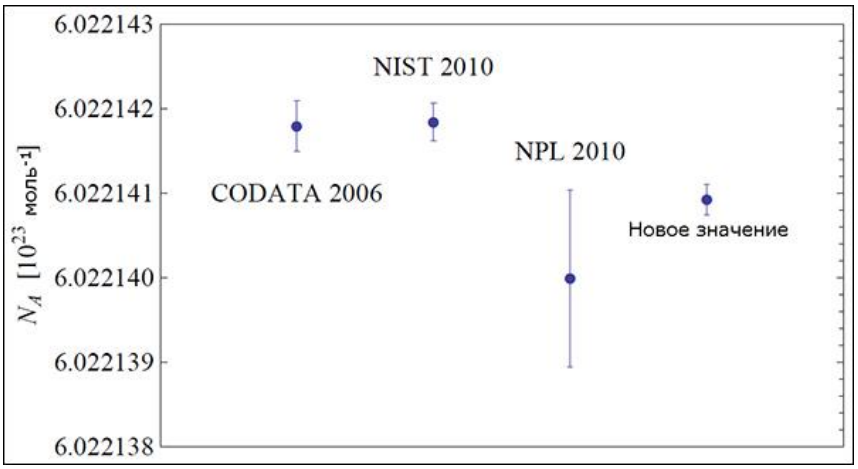
burada, m_{e-} elektronun kütləsi, c- vakuumda işığın sürəti, m_{p-} protonun kütləsi, Mp- protonun molyar kütləsidir. Beləliklə, Avoqadro sabitinin qiymətindəki qeyri-müəyyənlik əsasən Plank sabitinin qiymətindəki qeyri-müəyyənliklə bağlıdır. Bu münasibətdən Avoqadro sabiti üçün ifadə yaza bilərik:

$$N_A = m_e c\alpha^2 /2h = \frac{\mu_0 c^2 M_p \alpha (2e/h)^2}{16R_\infty(m_p/m_e)} \quad (9)$$

Burada μ_0- vakuumun maqnit keçiriciliyi və e elektron yüküdür. h, 2e/h (Josephson sabiti – K_J}) və ya h/e^2 –ni (kvant Hall müqaviməti-R_K) müəyyən etməyin bir neçə yolu var ki, onların əksəriyyəti Cozefson effektinə və ya Hall kvant effektinə əsaslanır. Cozefson sabitinin və Hall kvant müqavimətinin müasir qiymətləri 1990-cı ildə qəbul edilmişdir ($K_{J\text{-}90}$ və $R_{K\text{-}90}$). Om və volt etalon-larının beynəlxalq tətbiqinə əsaslanaraq, Avogadro ədədinin qiymətləri bərabərlikdən istifadə edərək bu sabitlər baxımından ifadə edilə bilər:

$$N_A = \frac{M_p c\alpha^2 K_{J-90}^2 R_{K-90}}{32R_\infty(m_p/m_e)} \quad (10)$$

Müxtəlif fiziki sabitlərin, o cümlədən protonun giromaqnit nisbətinin ölçülməsinə əsaslanan dolayı metodlarla Avoqadro ədədinin müəyyən edilməsinin nəticələrinin XRCD metodundan istifadə etməklə əldə edilmiş nəticələrlə müqayisəsi şəkil 1-də verilmişdir.



Şəkil 1. *Müxtəlif fiziki sabitlərin ölçülməsi əsasında Avoqadro ədədinin dolayı təyininin nəticələri*

Avoqadro ədədinin müəyyən edilməsi nəticələrinin XRCD metodundan istifadə etməklə əldə edilən nəticələrlə müqayisəsi göstərir ki:

Avoqadro ədədi dolayı yolla təyin etmə metodlarının heç biri təyin etmək üçün tələb olunan 1 x 10^{-8} dəqiqliyi vermir ki, vatt –tərəzidən istifadə edərək h-ın müəyyən edilməsi ilə bağlı ən dəqiq ölçmələr ~ 8x10^{-8} nisbi xətaya malikdir, lakin, onların köməyi ilə əldə edilən qiymətlər digər metodlarla əldə edilən bəzi nəticələrlə ziddiyyət təşkil edir.

İonların yığılması metodu. Digər bir eksperimental metod: Avoqadro sabitinin təyini ağır ionların, məsələn, ^{197}Au ionlarının yığılmasına əsaslanır. Yığılmış atomların sayı ion cərəyanını və onun keçmə vaxtını ölçməklə, həmçinin qızıl atomunun m_{Au} kütləsini və onun nisbi molekulyar (atom) kütləsini müstəqil olaraq təyin etməklə müəyyən edilir. Avoqadro sabiti bərabərlikdən müəyyən edilir:

$$\frac{i\Delta t}{N_A e} = \frac{m}{RMM} \tag{11}$$

burada *e* - elektron yükü, *i* – Δt zamanında keçən ion cərəyanı, m - yığılmış atomların kütləsi, RMM isə istifadə olunan nümunənin nisbi molekulyar (atom) kütləsidir. Cozefson effektinin və Hall kvant effektinin istifadəsi elektron *e* yükündən asılılığı aradan qaldırmağa imkan verir. Yuxarıda göstərilən metodla ölçmələrin dəqiqliyinin artırılmasına ion şüasının alınması üçün yeni birləşmələrdən istifadə etməklə nail olmaq olar. Nəticədə ölçmə xətasını azaltmaq və ionların sayılması tapşırığını sadələşdirmək üçün təsvir edilən metodundan istifadə edilən nümunələr XRCD metodunda istifadə edilən nümunələrə qoyulan şərtlərə əlavə olaraq, mümkün olan ən yüksək nisbi molekulyar çəkiyə malik olmalıdır. Qeyd etmək lazımdır ki, Avoqadro sayını təyin etmək üçün XRCD metodu kimi ionların yığılması metodu əksinə çevrilə bilər və kütlə vahidini və onunla birlikdə molu yenidən təyin etmək üçün istifadə edilə bilər. Avogadro sayını təyin etmək üçün dolayı metodlar bunu reallaşdırmağa imkan vermir.

Avoqadro sabitinin dəyərinin təyin edilməsinin dəqiqliyinin artırılması perspektivləri aktual məsələlərdən biridir. Avogadro ədədinin təyin edilməsinin dəqiqliyini artırmaq, birincisi, yeni materialların və strukturların, ikincisi, yeni texnologiyaların istifadəsi ilə əldə edilə bilər. XRCD metodundan istifadə etməklə Avogadro sabiti N_A qiymətinin müəyyən edilməsində əsas xətalar həqiqi silikon nümunəsinin strukturunun ideal monokristalın strukturundan fərqli olması ilə əlaqədar yaranır. Avoqadro ədədinin müəyyən edilməsinin dəqiqliyini artırmaq üçün mümkün yollardan biri, tədqiqat üçün daha uyğun olan və kremnidən daha kiçik struktur qüsurları olan yeni nümunələrin axtarışıdır. Avogadro ədədini təyin etmək üçün ideal nümunə böyük kütləyə malik olmalı, saf izotopik tərkibə malik olmalı, struktur qüsurları və qarışıqları olmamalıdır. Əgər atomları molekullar və ya makromolekullar əvəz edərsə, onda yüz minlərlə, hətta milyonlarla atomdan ibarət elementlər əldə edirik və qüsurların səviyyəsini 1x10^{-12}-yə endirmək olar. Buna görə də, ion yığını və ya rentgen səpələnməsi (XRCD) təcrübələrində istifadə üçün yeni, dayanıqlı və hasil edilə bilən nümunələrin axtarışı son dərəcə vacibdir. Bu baxımdan praktiki olaraq 99,985%-dən çox izotopik təmiz nümunədən ibarət olan kremni-28 istifadə etmək böyük maraq doğurur.

Sevindirici nəticələrdən biri də klaster kimyası sahəsində əldə edilmişdir. Nikel klasterlərinin enerjisi və strukturu ilə bağlı araşdırmalar göstərdi ki, bu metal müntəzəm kristal quruluşlu və 142-dən 17.000-ə qədər atomdan ibarət sabit klasterlər yarada bilər. Bu cür strukturlar Avoqadro sayını təyin etmək üçün eksperimentlər üçün çox cəlbedicidir, lakin onların XRCD təcrübələrində istifadəsi problemlidir və ionların yığılması ilə bağlı təcrübələrdə bütün klasterlərin eyni yükə malik olduğuna əmin olmaq lazımdır.

Nikel klasterlərinə mümkün alternativ qurğuşundan və qələvi metallardan birindən, məsələn, Li_4Pb, Li_6Pb, Na_4Pb, Na_6Pb, K_6Pb və K_4Pb-dən əldə edilən heterostruktur klaster materialları ola bilərlər. Bu birləşmələrə əsaslanan klasterlər nikel klasterlərinə nisbətən ion yığını təcrübələri üçün daha uyğundur. Çoxluqların dəyişən yükü probleminin həlli metal qarışıqları olan qəfəs

strukturlarının (fullerenlərin) istifadəsi ola bilər. Belə strukturları hazırlamaq və təmizləmək nisbətən asandır və demək olar ki, struktur qüsurları yoxdur. Fulleren qəfəsində metal atomunun olması ion yığını təcrübəsində fərdi qatqılı fullerenlərin eyni yükə malik olma ehtimalını artırır. Bu yaxınlarda $Y^{3+}@C_{82}^{3-}$ və $La^{3+}@C_{82}^{3-}$ sintez edilmişdir (burada @ simvolu metal ionlarının fulleren qəfəsində qapalı olduğunu bildirir) fərqləndirici xüsusiyyəti onların strukturudur ki, burada mənfi yüklü bir qabıqla əhatə olunmuş metal nüvə metallofulleren müsbət yüklü hesab edilə bilər. Eyni zamanda, fullerenlər izotopik olaraq bircins deyillər və metal klasterlərlə müqayisədə nisbətən aşağı atom çəkisinə malikdirlər. Bununla belə, fullerenlərin sintezi və təmizlənməsi prosesləri hazırda yaxşı öyrənilmişdir, buna görə də onlar Avoqadro ədədini təyin etmək üçün eksperimentlərdə istifadə üçün ən sadə, ən çox təkrarlana bilən nümunələr sırasında ola bilər.

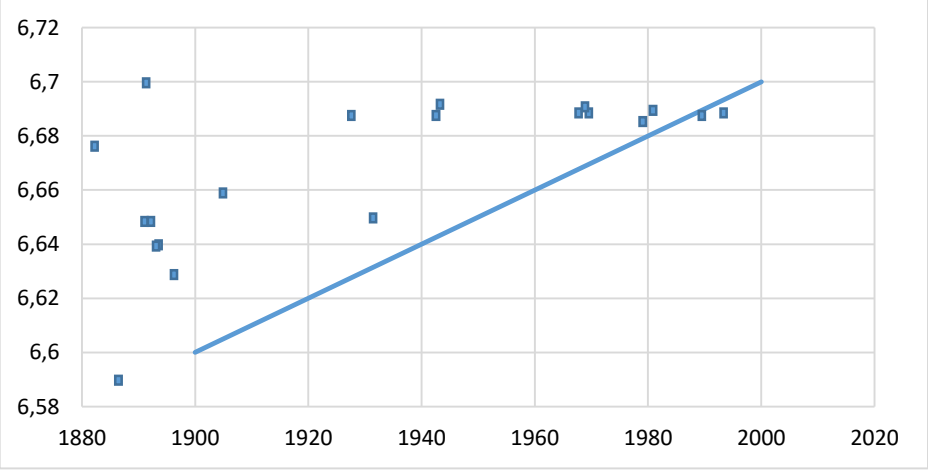
Avoqadro sabitinin qiymətini təyin etmək üçün təcrübələrdə yeni yüksək molekulyar materiallardan və ənənəvi strukturlardan istifadə yeni texnologiyalar olmadan mümkün deyil. Avogadro ədədini təyin etmək üçün təcrübələrdə istifadə edilə bilən bəzi yeni texnologiyalara diqqət yetiririk:

- yüksək intensivlikli ion topları və nanoklaster ionlarının mənbələri. Belə mənbələrin inkişafının ilkin mərhələsində olmasına baxmayaraq, birinci, kommersiya nümunələri artıq yaranmışdır;
- müxtəlif növ ionlarla, eləcə də ağır ionlarla eyni vaxtda işləməyə imkan verən ion siklotron rezonansına əsaslanan kütlə spektrometriyası;
- ion cərəyanının aşkarlanması üçün superkeçirici kvant müdaxilə cihazları.

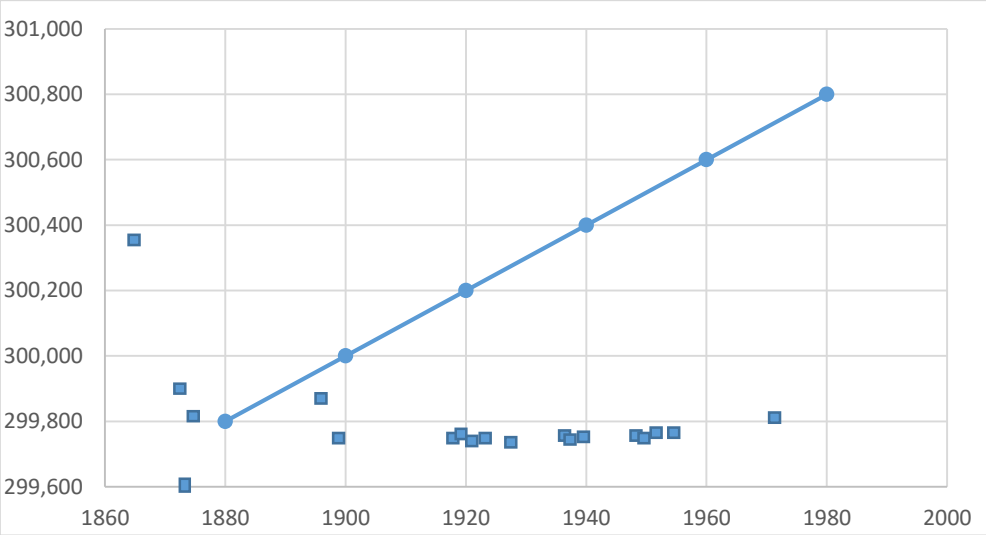
Hazırda bu cür cihazlar ionun keçidini yox yalnız ionun mövcudluğunu müəyyən etməyə imkan verir.

Bundan əlavə, yaxın gələcək üçün proqnozlaşdırılan 1000 Hz ionların hesablanması tezliyi praktiki istifadə üçün çox aşağıdır. Lakin yüksək temperaturlu superkeçiriciliyə malik materiallardan istifadə edərək ion cərəyanını aşkar etmək üçün cihazların istehsalı texnologiyalarında sürətli intensiv təkmilləşmə var. Bu halda, ölçmələr apararkən, super keçiricilik vəziyyətini saxlamaq olduqca asandır;

- ion yığımının səmərəliliyinin artırılması. Mövcud cihazların yığılma səmərəliliyi cihazın növündən və eksperimental şəraitdən çox asılıdır. Məsələn, bəzi mövcud cihazların saxlama səmərəliliyi hissəciklərin enerjisi 20-dən 5 keV-ə qədər azaldıqda 80% -dən 5% -ə düşür. Aşağı və ya zəif müəyyən edilmiş yığılma səmərəliliyi ion yığımı təcrübələrində böyük xətalara səbəb olur. Hazırda detektorla ion cərəyanının toqquşması nəticəsində ikincili elektron emissiyasından və ya istilik effektindən istifadə edən daha yüksək effektivliyə malik yeni nəsil cihazların yaradılması üzrə işlər aparılır. Ancaq bu cür cihazlar inkişafın ilkin mərhələsindədir.



Şəkil 2. *1888-ci ildən 1989-cu ilə qədər qravitasiya sabitinin (G) qiymətinin ən yaxşı ölçüləri*



Şəkil 3. *Vakuumda işığın sürəti, 1927-ci ildən 1972-ci ilə qədər*

Ədəbiyyat

1. Həşimov A.M., Həsənov Y.N..Qanunverici metrologiyanın əsasları. Bakı. 2011.
2. Ölçmələrin vəhdətinin təmin edilməsi haqqında. Bakı şəhəri, № 686-IVQ.2013-cü il.
3. Həsənov Y., Abbasov E., Hümbətov S. "Ölçmə nəticələrinin işlənməsi və onların qeyri-müəyyənliklərinin qiymətləndirilməsi" Bakı. 2009
4. Anevsky S., Minaeva O., Minaev R. et al. Conference Program & Abstracts 15th International Conference on Vacuum Ultraviolet Radiation Physics VUV Berlin Germany, 2007
5. Scholze F., Beckhoff B., Ulm G. The new PTB-beamlines for high-accuracy EUV reflectometry at BESSY II Proc. SPIE 2000
6. Brandt G., Scholze F., Ulm G. et al. High-accuracy detector calibration for EUV metrology at PTB in Emerging Lithographic Technologies Proc.
7. Гасанов Ю.Н., Величко О.Н., Гордиенко Т.Б. Метрологическая прослеживаемость: нормотивноеобеспечение, основные компоненты. Баку. 2010

Məqalə qəbul olunub: 01.04.24
Tövsiyə edib: prof. Həsənov V.H.

ORCİD 0000-0003-2186-6877

PEYK RABİTƏ SİSTEMLƏRİ

[*]Həsənov V.H., Süleymanov T.A., İmanov E.İ., İmanova A.Y.

[*] "Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası" PHŞ
AZ1000, Bakı şəh., Z. Əliyeva küç., 18
Heydər Əliyev adına Hərbi İnstitut
Bakı şəh., Polad Həşimov 9
E-mail: vgasanov2002@yahoo.com,

Xülasə. *Dövlətin inkişafına, onun vətəndaşlarının yüksək rifah halına yalnız yüksək texnologiyaların tətbiqi ilə nail olmaq mümkündür. Bu məqsədlə Azərbaycanda ilk telekommunikasiya peykinin orbitə çıxarılması informasiya-kommunikasiya texnologiyaları sahəsinin güclü inkişafı ılə bağlıdır.*

2013-cü ilin fevral ayının 8-də Azərbaycanın müstəqillik tarixinin ən əlamətdar və tarixi hadisələrindən biri olan, Azərbaycan Respublikasının ilk telekommunikasiya peyki– "Azerspace-1"-i uğurla orbitə çıxardaraq kosmos ölkələrindən biri oldu. Peykin orbitə çıxarılması bir sira texniki imkanlar yaratdı. Peykin əsas faydası ölkədə yüksək səviyyəli peyk rabitəsinin təmin edilməsidir. Dağlıq ərazilərin yerüstü kabel şəbəkəsi vasitəsilə rabitə əlaqəsi ilə təmin edilməsi müəyyən çətinliklər baş verir. Peyk rabitəsinin köməyi ilə bütün ərazi yüksək keyfiyyətli rabitə ilə təmin edilə bilir.

Аннотация. *Добиться развития государства и высокого благосостояния его граждан можно только за счет применения высоких технологий. В этой связи запуск первого телекоммуникационного спутника в Азербайджане связан с сильным развитием сферы информационно-коммуникационных технологий.*

8 февраля 2013 года произошло одно из самых значимых и исторических событий в истории независимости Азербайджана: первый телекоммуникационный спутник Азербайджанской Республики - «Azerspace-1» - был успешно выведен на орбиту и вошел в число космических стран. Запуск спутника на орбиту открыл ряд технических возможностей. Основным преимуществом спутниковой связи является обеспечение спутниковой связи высокого уровня в стране. Существуют определенные трудности в обеспечении горных районов связью через наземную кабельную сеть. С помощью спутниковой связи всю территорию можно обеспечить качественной связью.

Abstract. *It is possible to achieve the development of the state and the high welfare of its citizens only through the application of high technologies. For this purpose, the launching of the first telecommunications satellite in Azerbaijan is connected with the strong development of the field of information and communication technologies.*

The 8th of February, in 2013, one of most significant and historical events in the history of Azerbaijan's independence, the first telecommunication satellite of the Republic of Azerbaijan - "Azerspace-1" - was successfully put into orbit and became one of the space countries. Launching the satellite into orbit created a number of technical opportunities. The main benefit of satellite is the provision of high-level satellite communication in the country. There are certain difficulties in providing the mountainous areas with communication links through the terrestrial cable network. With the help of satellite communication, the entire area can be provided with high-quality communication.

Açar sözlər: *peyk rabitəsi, radiorabitə, orbit, aktiv retranslyator, passiv retranslyator, yerətrafı fəza*

Ключевые слова: *спутниковая связь, радиосвязь, орбита, активный ретранслятор, пассивный ретранслятор, пространство вокруг земли*
Key words: *satellite communication, radio communication, orbit, active repeater, passive repeater, outer space*

Giriş. Peyk rabitəsinin əsas anlayışları, təyinatları və onların tətbiqi. Kifayət qədər yüksək orbitdə Yerin süni peyki çox böyük bir ərazini "görür" - Yer səthinin təxminən üçdə birini, buna görə də, bu ərazidə yerləşən istənilən stansiya öz bort retranslytoru vasitəsilə birbaşa əlaqə saxlaya bilər[1]. Demək olar ki, qlobal rabitə sistemi yaratmaq üçün üç Yerin süni peyki kifayət edə bilər. Müasir texniki vasitələr, Yerin süni peykin ötürücüsünün enerjisini cəmləşdirmək üçün kifayət qədər dar bir şüa yaratmağa imkan verir.

Funksiyasına, xidmət sahəsinə, tərkibinə və tutumuna görə çoxlu sayda peyk rabitəsi və yayım sistemləri yaradılmışdır.

Kosmik radio rabitəsi peyklərdə və ya digər kosmik obyektlərdə yerləşən kosmik stansiyalardan istifadə edən radio rabitəsidir. Kosmik stansiya (KS) - Yer atmosferinin əsas hissəsindən kənarda yerləşən (ya orada olub, ya da buraxılması nəzərdə tutulan) obyektdə, məsələn, süni peykdə yerləşən stansiya.

Yer stansiyası yer səthində (və ya yer atmosferinin əsas hissəsində) yerləşən və kosmik stansiyalar və ya digər kosmik obyektlər vasitəsilə kosmik stansiyalarla və ya digər yer stansiyaları ilə əlaqə saxlamaq üçün nəzərdə tutulmuş radio rabitə stansiyasıdır, məsələn, passiv (əksetdirici) peyklər.

Peyk rabitəsi kosmik stansiyalar və ya passiv peyklər vasitəsilə yer stansiyaları arasında əlaqədir. Beləliklə, peyk rabitəsi kosmik radio rabitəsinin xüsusi halıdır.

Peyk rabitə sistemlərinin inkişaf templəri göstərir ki, onlardan qlobal miqyasda istifadə yaxın gələcəkdə daha da genişlənəcək:

60-cı illər: ilk rabitə peyklərinin buraxılması, peyklərdən kommersiya məqsədləri üçün istifadənin başlanması – çoxkanallı rabitə üçün retranslyatorlar, televiziya proqramlarının ötürülməsi və s.

70-ci illər: hərəkət edən peyk rabitə sistemlərinin, kollektiv istifadəli peyk televiziya sistemlərinin yaradılması.

80-ci illər: VSAT (Veri Small Aperture Terminal) texnologiyasının – birbaşa istifadəçilərdə quraşdırılan kiçik peyk texnologiyasının və bilavasitə peyk televiziya verilişlərinin meydana gəlməsi

90-cı illərin sonu: dünya qlobal peyk rabitə sistemlərinin gözlənilən istismarının başlanması ilə əlaqədar keyfiyyət dəyişmələri astanasında.

Peyk rabitəsi telekommunikasiyaların bütün sahələrini keyfiyyətcə dəyişəcək və adi həyat tərzinə təsir göstərəcək, təhsil, elm və sahibkarlıq üçün yeni imkanlar yaradacaqdır [2].

Yerin süni peyki (YSP) nədir?

Bu elmi və tətbiqi məsələlərin həlli üçün Yerin ətrafındakı orbitə çıxarılmış və ən azı bir dövr etmiş kosmik uçuş aparatıdır (UA) (şəkil 1).



Şəkil 1. *Yer kürəsi fonunda peykin uçuşu*

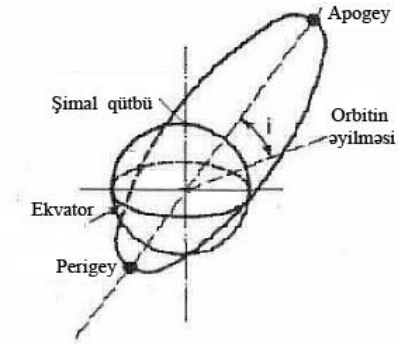
YSP bölünürlər:

- avtomatik peyklərə;
- pilotlaşdırılan gəmili-peyklərə;
- ekipajlı orbital stansiyalara.

Avtomatik peyk - bu elmi və ya tətbiqi peykdir. Peykdə bütün sistemlərin/cihazların işi Yerdən və ya bort proqram qurğusundan daxil olan komandalar ilə idarə olunur.

Passiv peyk - bortunda rabitə aparatları olmayan, yalnız əksetdirici olan peykdir. Bu peykin köməyi ilə əks olunan dalğa yerüstü stansiyaya düşür.

Orbit - digər daha ağır mərkəzi gövdənin cəzbetmə sahəsində peykin hərəkət trayektoriyasıdır. Orbit çevrəni, ellipsi, parabolanı və ya hiperbolanı təmsil edə bilər [1]. Orbitin əsas xarakteristikaları aşağıdakılardır (şəkil 2):



Şəkil 2. *Orbitlərin əsas xarakteristikaları*

- Apogey – Yerin mərkəzindən daha çox uzaqlaşdırılmış YSP orbitinin nöqtəsidir.
- Perigey – Yerin mərkəzinə daha yaxın olan YSP orbitinin nöqtəsidir.
- Orbitin meyli – ekvatorun müstəvisi və saat əqrəbinin əksi istiqamətində hesablanan, peykin hərəkət müstəvisi arasındakı bucaq.

Elmi – tədqiqat peyki (ETP) - Yerin, göy cisimlərinin və kosmik fəzanın tədqiq olunması üçün təyin olunmuş peykdir. Onlar müxtəlif təyinatlı ola bilərlər: geofiziki; geodezik; məsafədən zondlamalı; orbital astronomik observatoriyalar və s.

Raket-daşıyıcı – YSP, kosmik gəmilərin, planetlərarası stansiyaların və digər faydalı yüklərin kosmosa çıxarılması üçün bir və ya çoxpilləli idarə olunan raketdir. Raket faydalı yükə sürəti ötürür, hansında ki, Yerdən buraxılan kosmik aparat (KA) Yerin süni peyki ola bilər (birinci kosmik sürət), Yerin cazibə təsiri hüdudlarından çıxa bilər (ikinci kosmik sürət), Günəşin cazibəsini dəf edərək Günəş sistemini tərk edə bilər (üçüncü kosmik sürət).

Məlum olduğu kimi, gövdənin R radiuslu çevrə üzrə bərabər hərəkətini həyata keçirmək üçün onun üfüqi istiqamətlənmiş sürəti elə bir **V** qiymətinə malik olmalıdır ki, həmin qiymətdə mərkəzəqaçan təcil sərbəstdüşmə təcilinə bərabər olsun [1].

$$V^2 / R = g$$

Buradan

$$V = \sqrt{g \cdot R}$$

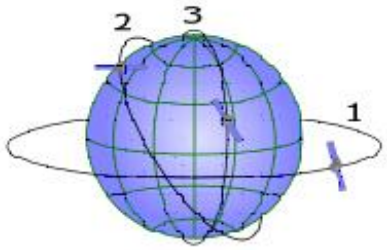
Sonuncu ifadədən $R = R_Y$ qiymətində (R_Y = 6370 км –Yerin radiusu, hansı ki, sadəlik üçün kürə şəkilli bircinsli model kimi qəbul edilir) bu sürət $V_1 = 7{,}9 \cdot 10^3$ m/s olur. Buradan belə çıxır ki, 7,9 km/san sürətində şaquli atılmış cism havanın olmaması şəraitində Yer ətrafında çevrə üzrə hərəkət edəcəkdir və onun süni peyki olacaqdır. Cismin Yer ətrafında dairəvi orbit üzrə hərəkət sürəti birinci kosmik sürət adlanır.

İkinci kosmik sürət – cismin göy cisminin cəzbetmə qüvvələrinə üstün gəlməsi və ondan sonsuz uzaq məsafəyə uzaqlaşması halında olan sürətdir. Birinci kosmik sürəti aşdıqda peykin orbiti elliptik olacaqdır, V_2 = 11,186 km/san sürətinə çatdıqda isə parabolaya çevrilir, hansının ki, budaqları sonsuzluğa gedirlər.

Üçüncü kosmik sürət V_3 göy mexanikasnın formullarına müvafiq olaraq təqribən 16,6 km/san təşkil etməlidir.

Nəzəri hissə. YSP-nin köməyi ilə rabitə. Peyk rabitəsi – YSP-dən adi retranslyator kimi istifadəyə əsaslanan radiorabitənin bir növüdür. Bu rabitə yerüstü stansiyalar arasında həyata keçirilir, hansılar ki, həm stasionar, həm də hərəkətli ola bilərlər[3]. Peyk rabitəsi retranslyatorları çox yüksək hündürlüyə (yüzdən on min km-ə qədər) çıxarmaq yolu ilə ənənəvi radiorele rabitəsinin inkişafıdır.

Peyk retranslyatorları aktiv və passiv olur. Passiv retranslyator siqnalı sadəcə əks etdirir. Aktiv retranslyator isə siqnalı qəbul edir, başqa tezliyə keçirir, gücləndirir və yerə ötürür. Retranslyatorları daşıyan peyklər müxtəlif orbitlərdə yerləşə bilər (şəkil 3).



Şəkil 3. *Orbitlərin növləri*

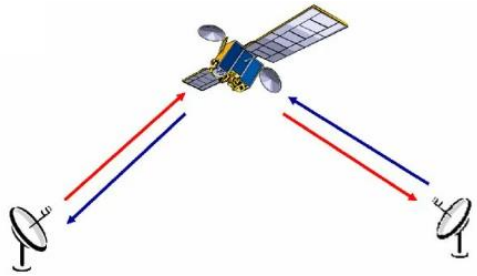
Ekvator müstəvisinə nisbətən əyilmə bucağına görə: ekvatorial, maili, qütb orbitləri var.

Ekvatorial orbitin mühüm müxtəlifliyi geostasionar orbitdir (GSO). Bu orbit üzrə peyk Yerin fırlanma istiqaməti ilə üst üstə düşən istiqamətdə , Yerin bucaq sürətinə bərabər bucaq sütrəti ilə fırlanır. GSO-nin görünən üstünlüyü ondan ibarətdir ki, xidmət zonasında qəbuledici peyki daim "görür". Lakin, GSO birdir və bütün peykləri ona çıxarmaq mümkün deyil.

GSO-nun digər çatışmazlığı böyük hündürlüyü və təbii olaraq peykin orbitə çıxarılmasının böyük qiymətidir. Bundan başqa GSO-də peyk polyar oblasta yaxın ərazilərdə yerüstü stansiyalara xidmət etmək qabiliyyətində deyil [3].

Maili orbit bu problemləri həll etməyə imkan verir, lakin peykin yerüstü müşahidəçiyə nisbətən yerini dəyişməsi səbəbindən bir orbitə rabitənin bütün gün ərzində təmin olunması üçün üçdən az olmayan peyk çıxarılmalıdır. Maili orbitlərdən istifadə edərkən yerüstü stansiyalar anteni peykə sazlamasını həyata keçirən izləyici sistemlərlə təchiz olunurlar.

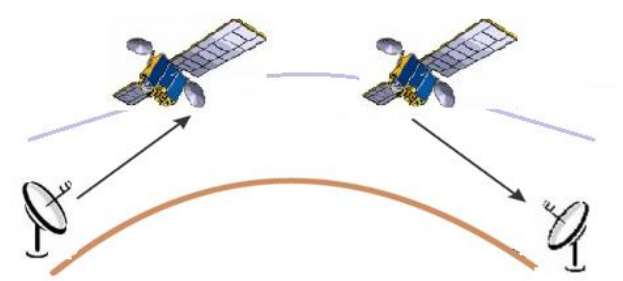
YSP-nin mühüm praktiki tətbiqlərindən biri ultraqısa dalğalarda (UQD) uzaq rabitənin həyata keçirilməsidir. Bu zaman YSP retranslyasiya stansiyasının rolunu oynayır (şəkil 4). Bortun passiv sistemlərində rabitə aparatları olmur, yalnız əksetdirici olur. Onun köməyi ilə əks olunan dalğa yerüstü stansiyaya düşür. Bu halda sahə gərginliyi aktiv retranslyasiyada olduğundan az və daha kiçik olacaqdır.



Şəkil 4*. YSP-nin retranslyasiya rejimində işləmə sxemi*

Kiçik sahə gərginliyi ilə əlaqədar olaraq yerdə qəbuledici-ötürücü avadanlıq əhəmiyyətli dərəcədə mürəkkəbləşir. Lakin, bu zaman bort aparatlarının olmaması sistemin etibarlılığını artırır.

Passiv sistemlərin tezlik zolağının eni praktiki olaraq məhdudlaşmır və hətta peyk orbitə çıxarıldıqda belə, yeni əlaqələri daxil etmək olar. YSP vasitəsilə öz aralarında işləyə bilən müxbirlərin sayı çox böyükdür.



***Şəkil 5**. YSP-nin kuryer rejimində işləmə sxemi*

Orbitin daha bir növü elə orbitdir ki, peyk yerə nisbətən yerini dəyişir və A və B məntəqələrindən eyni vaxtda heç zaman görünmür. Bu alçaq orbit adlandırılan orbitdir və peyk bu orbitdə kuryer kimi işləyir (şəkii 5). Bir məntəqə üzərindən uçaraq o informasiyanı qəbul edir və digərinin üzərindən uçaraq onu qəbul antenasına ötürür.

Kosmik aparatdan kompleks istifadə. YSP bortunda quraşdırılmış aparatlar, həmçinin yerüstü stansiyalardan YSP-nin müşahidələri müxtəlif geofiziki, astronomik, geodezik və s. tədqiqatların aparılmasına imkan verir. Bu cür YSP-lərin orbitləri müxtəlifdir- 200-300 km hündürlükdə demək olar ki, dairəvidən 500 min. km-ə qədər apogeyin hündürlüyündə dartılmış elliptikə qədər [4].

YSP-də quraşdırılmış elmi cihazların köməyi ilə yuxarı atmosferin neytral və ion tərkibi, onun təzyiqi və temperaturu, həmçinin bu parametrlərin dəyişilmələri öyrənilir. İonosferada elektronların konsentrasiyası və onun variasiyaları həm bort aparatlarının köməyi ilə, həm də bort radiomayaklarının radiosiqnallarının ionosferdən birbaşa keçmələrinin müşahidələrinə görə tədqiq olunurlar. İonosferin yuxarı hissəsinin strukturu və elektron konsentrasiyasının geomaqnit endən, günün vaxtından və s. asılılığı hərtərəfli öyrənilmişdir.

YSP-nin köməyi ilə Yerin radiasiya qurşağı, Yerin maqnitosferası, günəş küləyinin xarakteristikaları (axının sıxlığı və hissəciklərin enerjisi, maqnit sahəsinin qiyməti və xarakteri) və digər yerüstü müşahidələr üçün əlçatmaz olan Günəşin ultrabənövşəyi və rentgen şüalandırması aşkarlanmış və tədqiq olunurlar. Elmi tədqiqatlar üçün qiymətli olan verilənləri həmçinin bəzi tətbiqi YSP-lərə çatdırırlar. Belə ki, meteoroloji YSP-lərdə yerinə yetirilən müşahidələrin nəticələrindən müxtəlif geofiziki tədqiqatlar üçün geniş istifadə edirlər.

YSP müşahidələrinin nəticələri yüksək dəqiqliklə YSP-nin orbitlərinin həyəcanlanmalarını, yuxarı atmosferin sıxlığının dəyişməsini (günəş aktivliyinin müxtəlif meydana gəlmələri ilə əlaqədar olaraq), Yerin qravitasiya sahəsinin strukturunu və s. təyin etməyə imkan verirlər.

Tətbiqi YSP-i bu və ya digər texniki, təsərrüfat, hərbi məsələlərin həlli üçün buraxılan peyklərdirlər. Rabitə peykləri bir birindən 10 - 15 min km məsafələrdə yerləşdirilmiş yerüstü stansiyalar arasında televiziya, radiotelefon, teleqraf və digər rabitə növlərinin təmin olunmasına xidmət edirlər. Bu cür peyklərin bort radio aparatları yerüstü radiostansiyaların siqnallarını qəbul edirlər, onları gücləndirirlər və digər yerüstü radiostansiyalara retranslyasiya edirlər. Rabitə peykləri yüksək orbitlərə çıxarılırlar (40 min km-ə qədər). Bu tip YSP-lərə "Molniya" YSP, "Sinkom" amerika YSP, "İntelsat" YSP və s. aiddirlər. Stasionar orbitə çıxarılmış rabitə peykləri daim yer səthinin müəyyən rayonları üzərində yerləşirlər.

Meteoroloji peyklər yerüstü stansiyalara müntəzəm olaraq Yerin buludlu, qar və buz örtüyünün televiziya təsvirlərinin yer səthinin və buludların istilik şüalandırılması barəsində məlumatların və s. ötürülməsi üçün təyin olunmuşlar. Bu tip YSP 500 - 600 km-dən 1200 - 1500 km-ə qədər hündürlüklü dairəviyə yaxın orbitlərə buraxılırlar; onların müşahidə zolağı 2 - 3 km-ə çatır. Meteroloji peyklərə

"Kosmos" seriyalı bəzi YSP, "Meteor" peykləri, ametrika istehsalı olan "Tiros", "Essa", "Nimbus" peykləri aiddirlər. 40 min km-ə çatan hündürlükdən qlobal meteroloji müşahidələr üzrə eksperimentlər aparılırlar ("Molniya-1" YSP,"ATS" amerika YSP).

Fəaliyyəti xüsusi yerüstü təminat sistemi tərəfindən dəstəklənən naviqasiya peykləri dəniz gəmilərinin, o cümlədən sualtı gəmilərin naviqasiyasına xidmət edirlər. Gəmi radiosiqnalları qəbul edərək və orbitdə hər bir anda koordinatları yüksək dəqiqliklə məlum olan YSP-yə nisbətən özünün vəziyyətini müəyyən edir. Naviqasiya YSP-rinə misal olaraq "Tranzit", "Navstar" amerika peyklərini göstərmək olar.

Pilotlaşdırılan gəmi-peyklər və məskunlaşmış orbital stansiyalar daha mürəkkəb və təkmilləşdirilmiş YSP hesab olunurlar. Onlar bir qayda olaraq məsələlərin geniş dairəsinin həllinə hesablanmışlar, birinci növbədə kompleks elmi tədqiqatların aparılmasına, kosmik texnika vasitələrinin işlənilməsinə, Yerin təbii ehtiyatlarının öyrənilməsinə.

İlk dəfə pilotlaşdırılan YSP 1961-ci ildə kosmosa buraxılmışdır. "Vostok" gəmi-peykdə Y.A.Qaqarin apogeyinin hündürlüyü 327 km olan orbit üzrə Yer ətrafında uçuş həyata keçirmişdir. 1962–ci ildə orbitə ilk amerika kosmonavtı Dj.Qlenn çıxarılmışdır.

Bu gün kosmosda beynəlxalq kosmik syansiya (BKS)–kütləsi 470 t, uzunluğu 109 m və eni 88,4 m, ümumi məsrəfləri 40 milyard dollar olan çox böyük qurğu müvəffəqiyyətlə fəaliyyət göstərir (şəkil 6).



Şəkil 6. *Beynəlxalq kosmik stansiya*

Pilotlaşdırılan YSP köməyi ilə kosmik fəzanın tədqiqində mühüm addım "Salyut" orbital stansiyasının (aprel-oktyabr 1971-ci il), "Skayleb" orbital stansiyasının (ABŞ,1973-1979) uçuşu olmuşdur. "Mir" orbital kompleksində (fevral 1986-iyun 2000) 27 ekspedisiya olmuşdur ki, onlardan da 21-i kommersiya əsasında. Bu kompleksdə 11 ölkənin nümayəndələri işləmişlər (ABŞ, Almaniya, İngiltərə, Fransa, Yaponiya, Avstriya, Bolqarıstan, Suriya, Əfqanıstan, Qazaxstan, Slovakiya).

Stansiyada müntəzəm olaraq xalq təsərrüfatının və Yer barəsində elmlərin bütün sahələrinin marağında müxtəlif elmi məsələləri həll edən qarışıq ekipajlar işləyirlər.

Peyk rabitə sistemləri misalında YSP-lərinin xüsusiyyətləri. Müxtəlif təsərrüfat problemlərinin və elmi tədqiqatların qlobal xarakteri, istehsalatda, ticarətdə, elmi-tədqiqat fəaliyyətində geniş dövlətlərarası inteqrasiya və koperasiya, mədəniyyət sahəsində mübadilənin genişlənməsi, televiziya proqramlarının mübadiləsi də daxil olmaqla beynəlxalq və kontinentlərarası əlaqələrin əhəmiyyətli dərəcədə yüksəlməsinə gətirib çıxartdı [4].

Ənənəvi rabitə vasitələri onların növü, həcmi, uzaqlığı, operativliyi və informasiyanın ötürülməsinin etibarlığı nöqteyi nəzərindən daim təkmilləşirlər. Lakin onların gələcək inkişafı həm texniki, həm də iqtisadi xarakterli bir sıra çətinliklərlə rastlaşır. Artıq aydındır ki, uzaq rabitə kanallarının buraxma qabiliyyəti, keyfiyyəti, etibarlığına qoyulan tələblər naqilli və radiorabitənin yerüstü vasitələri ilə tam ödənilə bilməzlər. Onlar nəinki inşaatda mürəkkəb və bahalıdırlar, eyni zamanda istismarda və gələcək inkişafda da bu vəziyyət müşahidə olunur.

Adi kabel xətləri bununla yanaşı nisbətən kiçik buraxma qabiliyyətinə malikdirlər. Yaxşı imkanlara geniş zolaqlı konsentrik kabellər malikdirlər, lakin onlar da onların tətbiqini məhdudlaşdıran bir sıra çatışmamazlıqlara malikdirlər.

Kifayət qədər böyük buraxma qabiliyyətinə, fəaliyyət uzaqlığına, müxtəlif rabitə növlərinə sazlanmaq imkanına malik radiodur. Lakin radioxəttlər də əksər hallarda onların tətbiqini çətinləşdirən müəyyən çatışmamazlıqlara malikdirlər.

Radiorabitənin cox uzundalğalı sistemləri dioapazonun məhdudluğu səbəbindən adətən yalnız nəqliyyat, avionaviqasiya və rabitənin xüsusi növlərinin ehtiyaclarını təmin etmək üçün tətbiq olunurlar.

Rabitə üçün Yerin süni peyklərinin tətbiqi ideyası hələ 1945–ci ildə birinci peykin buraxılmasına qədər söylənilmişdir. Alimlər YSP-dən istifadə ideyasını ümumdünya televiziya verlişlərinin təşkili üçün irəli sürmüşlər. Lakin istənilən radioverilişi enerji tələb edir. Kosmosda enerji var - onu akumulyatorların doldurulması üçün Günəşdən almaq olar.

Verilmiş məntəqələr arasında uzunmüddətli, çoxsaatlı və ya hətta bütün gün ərzində rabitə tələb olunursa, o zaman peyk rabitəsi sistemi (PRS) nə cür işləyir?

Peyk fəzada yerini dəyişir və həmişə rabitəyə ehtiyacı olan A və B məntəqələrinin birgə görünmə zonasında ola bilməz. Bu məsələnin həlli yollarından biri müvafiq orbitlərə elə bir sayda peyklərin çıxarılması lazımdır ki, onlardan hər hansı biri rabitəyə ehtiyacı olan məntəqələrin birgə radiogörünmə zonasından çıxdıqda digər YSP həmin anda həmin zonaya daxil olsun. Lakin hətta kifayət qədər böyük sayda peyklərin mövcudluğunda, əgər onların orbitdə vəziyyətləri təsadüfidirsə, belə vəziyyət istisna olmur ki, rabitəyə ehtiyacları olan iki məntəqənin birgə görmə zonasında YSP-lərdən heç biri olmasın.

Kəsilməz rabitənin təmin olunması üçün YSP-nin sayı nədən asılıdır? Təbii ki, onların orbitlərinin hündürlüyü çox olduqca, bir o qədər yerüstü məntəqələr tərəfindən YSP-nin görünmə vaxtı böyük olacaq.

Alçaq orbitli yerin süni peyklərindən istifadə etməklə rabitə sistemləri. İlk dəfə rabitə məqsədləri üçün alçaqorbitli YSP-lər tətbiq edilmişlər. Bu onunla izah olunur ki, YSP-ni alçaq orbitlərə çıxarmaq daha sadədir və daha az energetik məsrəflərlə yerinə yetirilir. Alçaqorbitli rabitə peyklərinin ilk buraxılışları rabitə üçün YSP-lərin tətbiqinin imkanını və məqsədəuyğunluğunu göstərmişlər, aktiv retranslyasiyanın texniki prinsiplərinin düzgünlüyünü təsdiq etmişlər [5].

Bununla yanaşı kiçik orbitlərdə peyklərin istismarının birinci təcrübəsindən aydın olmuşdur ki, onlar peyk rabitəsi məsələlərinin kifayət qədər effektiv həllini təmin edə bilməzlər.

Rayonların genişləndirilməsi və peyk rabitə sisteminin fəaliyyət vaxtını artırmaq üçün sistemdə YSP-lərin sayının artırılması yolu ilə gedilməsi nəzərdə tutulmuşdu. Lakin çox tezliklə aydın oldu ki, alçaqorbitli YSP-lərdə çoxpeykli rabitə sistemi çox saylı istismar narahatçılığına və qeyri rentabelliyə malikdir.

Alçaqorbitli peyk rabitə sistemlərində peyklər fəzada bir birinə nisbətən təsadüfi və ya qaydaya müvafiq hərəkət edə bilərlər. Təsadüfi yerləşmədə çox sayda YSP tələb olunur, lakin fəzada onların qaydaya müvafiq yerləşməsi verilmiş nisbi yerləşmənin yaradılması və qorunması üçün az olmayan qüvvə sərfini tələb edəcəkdir. Bu zaman peyklərin yerləşməsinin daimi nəzarəti və uçuş prosesində onların evolyusiyası nəticəsində orbitlərin korreksiyası zəruridir.

Alçaqorbitli PRS-lər o halda effektivli ola bilərlər ki, nə zaman ki, ikitərəfli kəsilməz fəaliyyət göstərən rabitə tələb olunmasın (misal üçün, əgər yalnız verilənlərin periodik ötürül-məsi lazımdırsa).

Yüksəkelliptik orbitlərdə YSP ilə rabitə sistemi. Alçaq orbitlərdə peyk rabitə sistemlərinə xas olan çatış-mamazlıqdan qaçmaq üçün orbitlərin hündürlüyünü artırmaq lazımdır. Bu cür orbitlərin iki variantı mövcuddur: hündür dairəvi və yüksəkelliptik.

Orbitin hündürlüyü hesabına rabitənin müddəti artır. O həmçinin onun hesabına artır ki, verilmiş zonada apogeyə yaxın yerləşdirilmiş peykin görünməsi vaxtının elliptik orbitli peyklərin fırlanma perioduna nisbəti əhəmiyyətli dərəcədə böyük alınır.

Göy mexanikası qanunlarına müvafiq olaraq (Keplerin ikinci qanunu) elliptik orbit üzrə peykin hərəkəti zamanı onun bucaq sürəti, o Yerin mərkəzindən nə qədər uzaqda yerləşirsə, bir o qədər az olur. Başqa sözlə, apogey rayonunda peyk perigey rayonuna nisbətən daha yavaş hərəkət edir. Rabitə peyklərinin orbitlərinin hesabat parametrlərini təyin edərkən, həmçinin raketdaşıyıcının energetik xarakteristikaları, kosmodromun və komanda-ölçmə kompleksinin imkanları, peykin orbitə çıxarılması və onun uçuşda idarə edilməsi ilə əlaqədar olan digər faktorlar nəzərə alınırlar.

Geostasionar YSP sistemləri. Geostasionar peyk – 35 875 km hündürlükdə Yer ətrafında dairəvi orbit üzrə Yerin fırlanma sürətinə bərabər sürətlə hərəkət edən (hesablamaların sadələşdirilməsi üçün bu hündürlüyü 36 000 km qəbul edirlər) peykdir.

Geostasionar YSP-nin mühüm üstünlüyü Yerdə çoxsaylı məntəqələr üçün böyük daimi görünüş zonasının yaranması və böyük sayda müxbirlərlə böyük uzaqlığa rabitənin təşkili imkanının olmasıdır.

Geostasionar orbitlərdə peyk rabitə sisteminin əhəmiyyətli üstünlüyü ondan ibarətdir ki, onlardan istifadə zamanı yerüstü izləyici və rabitə sistemlərinə tələblər azalır. Bu zaman bort antenlərinin istiqamətləndirmə qurğuları sadələşdirilir və ya aradan qaldırılırlar. Bir-birinə nisbətən 120˚altında yerləşdirilmiş üç peykin köməyi ilə qlobal rabitə sistemini yaratmaq olar, yəni praktiki olaraq bütün Yeri əhatə edən sistemi [5].

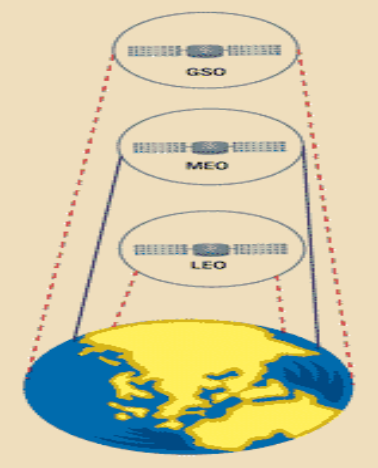
Geostasionar peyk sistemlərini 36 min km hündürlüyünə qaldırılmış teleqüllə kimi təsvir etmək olar. Bu qüllə bilavasitə abonent antenalarına yerli televiziya mərkəzlərinin köməyi olmadan birbaşa verilişlərin aparılmasına imkan verir.

Stasionar yerin süni peyklərinin (SYSP) şübhəsiz üstünlüklərindən danışarkən, nəzərdən qaçırmamaq lazımdır ki, aparatın stasionar orbitə çıxarılması alçaq və ya hətta yüksək elliptik orbitə çıxarılmasından daha mürəkkəbdir. YSP-ni verilmiş nöqtədə və lazımı endə saxlamaq üçün orbiti müntəzəm olaraq mikromühərriklərin köməyi ilə korreksiya etmək tələb olunur, peykin bortunda isə bu məqsədlər üçün yanacaq ehtiyatı zəruridir.

“Raduqa”,”Ekran”, “Horizont”, “İntelsat”, “Domstat” (ABŞ), “Telesat” (Kanada) və digər tipli geostasionar rabitə və televiziya verilişləri peykləri fəaliyyət göstərmişlər və hal-hazırda da göstərirlər.

Müəyyən şəraitlərdə yüksəkelliptik orbitlərdəki YSP-dən istifadə daha sərfəlidir, misal üçün “Molniya” tipli.

Beynəlxalq kosmik rabitə. Geostasionar orbitin üstünlüyü ondan ibarətdir ki, onun üzərində peyklərin hərəkətinin bucaq sürəti Yerin fırlanma sürəti ilə dəqiq üst-üstə düşür və hər bir peyk ekvatorda verilmiş nöqtənin üzərində bir növ “asılmış” vəziyyətdə olur.



Şəkil 7. *Rabitə peyklərinin orbitlərdə yerləşdirilməsi sxemi*
(GSO – geostasionar, MEO – orta hündürlüklü, LEO – alçaq hündürlüklü)

Geostasionar peyk sistemləri adətən iki tipli dairəvi orbitlərdən istifadə edirlər (şəkil 7):

- Orta hündürlüklü (MEO, hündürlük-5000-15 000 km)
- Alçaqorbital (LEO, -500-2000 km)

Bu zaman bir MEO-peyk Yer səthinin 25%-ə qədərini əhatə etmək qabiliyyətindədir, qlobal rabitə sisteminin qurulması üçün isə 40-a yaxın YSP tələb olunur. LEO-peykinin örtmə zonası əhəmiyyətli dərəcədə azdır-3-7% və qlobal sistem artıq 50 YS-yə malik olmalıdır.

Nəticə. Peyk rabitə sistemlərinin yaradılmasının əsas ideyası sadədir: rabitə sisteminin aralıq retranslyatoru Yerin süni peykinə yerləşdirilir. Peyk bu hərəkətə enerji sərf etmədən kifayət qədər yüksək orbitdə uzun müddət hərəkət edir. Bort retranslyatoru və peykin digər sistemlərinin enerji təchizatı demək olar ki, hər zaman günəş şüaları altında işləyən günəş panelləri tərəfindən təmin edilir.

Ədəbiyyat

1. Qocayev N.M. Ümumi Fizika Kursu, I cild, Mexanika, Bakı, 2011
2. Спутниковая связь и вещание: Справочник. Под ред. Л.Я. Кантора. – М.: Радио и связь, 1997. – 344 с.
3. Мамаев Н.С. Спутниковое телевизионное вещание. Приёмные устройства. -М.: Радио и связь, 2000.
4. Цифровое телерадиовещание. Каталог оборудования и решений. –М.: SYSUS SYSTEM, 2004.
5. Тяпичев Г.А. Спутники и цифровая радиосвязь. – М.: Тех Бук, 2004. -288с.

Məqalə qəbul olunub: 01.04.24
Tövsiyə edib: prof. Həsənov V.H.

MƏQALƏLƏRİN TƏRTİBİ QAYDALARI

1. Əlyazma A4(210x297mm) formatlı, yuxarı və aşağıdan 25 mm, soldan və sağdan 20 mm boş yer saxlamaqla çap olunur. Əlyazmanın həcmi **8-10 səhifədən** çox olmamalıdır.
2. Hər bir məqalədə **UOT indekslər** və ya PACS tipli kodlar göstərilməlidir.
3. **Məqalə üç dildə - azərbaycan, rus və ingilis** dillərində çap oluna bilər. **Məqalədə xülasə 3 dildə və 100-150 söz aralığında verilməlidir**. Müxtəlif dillərdə olan xülasələrin mətnləri eyni və məqalənin məzmununa uyğun olmalıdır. Açar sözlər üç dildə - azərbaycan, rus və ingilis dillərində verilməlidir (5 sözdən az olmamaqla).
4. Məqalənin mətni azərbaycan dilində - latın, rus dilində - kiril, ingilis dilində - ingilis əlifbası ilə Times New Roman versiyasında 12 şrift ilə, bir intervalla yığılmalıdır.
5. Tənliklər və düsturlar mətndən bir boş sətirlə ayrılmalıdır.
6. Düsturları, ardıcıl olaraq, sətrin sağ tərəfində dairəvi mötərizələrdə yerləşdirilmiş ərəb rəqəmləri ilə nömrələmək lazımdır.
7. Simvolların və ədədi əmsalların izahı bilavasitə düsturun altında, onların düsturda rast gəlindiyi ardıcıllıqla verilməlidir.
8. Məqalənin nəticələrində, elm sahəsinin və məqalənin xarakterinə uyğun olaraq, işin elmi yeniliyi, tətbiqi əhəmiyyəti, iqtisadi səmərəsi və alınan əsas nəticələr aydın şəkildə verilməlidir.
9. Məqalənin sonunda verilən ədəbiyyat siyahısı istinad olunan ədəbiyyatların mətndə rast gəlindiyi ardıcıllıqla verilməlidir. Onlara istinad [1] və ya [1, s.119] kimi işarə olunmalıdır. Ədəbiyyat siyahısında son 5-10 ilin elmi məqalələrinə, monoqrafiyalarına və s. istinadlara üstünlük verilməlidir.
10. Məqalədə müəllif(lər)in işlədiyi müəssisə və onun ünvanı, müəllifin elektron poçt ünvanı göstərilməlidir.
11. Məqalənin sonunda məqaləni çapa tövsiyə edən müəssisənin elmi şurasının müvafiq iclas protokolunun nömrəsi və tarixi qeyd olunmalıdır.
12. Müəllif(lər) məqalənin çap olunması üçün yazılı surətdə razılıq verməlidir(lər).
13. Səhifələr vərəqin sağ tərəfdəki aşağı küncündə karandaşla nömrələnməlidir.
14. Əlyazmada aşağıdakı ardıcıllıq gözlənməlidir:
    - UOT indeks (qalın, 12 ölçü, böyük hərflərlə, məqalənin yuxarısında, sol hissədə abzasdan yazılmalı);
    - məqalənin adı (qalın, 12 olçü, böyük hərflərlə yazılmalı, UOT indeksilə məqalənin adı arasında iki interval buraxılmalıdır);
    - müəllif(lər)in soyadı, adı, atasının adı (qalın, 12 olçü, kiçik hərflərlə yazılmalı, məqalənin adı ilə müəllif(lər)in soyadı arasında bir interval buraxmalıdır);
    - təşkilatın adı, ünvanı, e-mail (12 olçü, kursiv, kiçik hərflərlə yazılmalı, müəllif(lər)in soyadı ilə təşkilatın adı, ünvanı, e-mail arasında bir interval buraxılmalıdır);
    - **Xülasə**
    - **Abstract**
    - **Аннотация**
    - **Açar sözlər**
    - **Key words**
    - **Ключевые слова**
    - **Giriş**
    - **Məsələnin qoyuluşu**
    - **Alınmış nəticələrin analizi**
    - **Nəticə**
    - **İstifadə olunmuş ədəbiyyat**
15. Əlyazmalar çap və elektron variantda təqdim olunur.

PREPARATION RULES ARTICLES

1. Handwriting is published leaving 20 mms space from right and left, 25 mms from top and bottom in A4 (210 x 297 mm) form. The volume of handwriting must not exceed **8 – 10 pages.**
2. In each article indexes of **UOT** and/or PACS types codes must be shown
3. **The article can be published in three languages: Azerbaijani, Russian and English.** The texts of abstracts in different languages must be the same and must conform to the content of the article. Key words must be given in three languages: Azerbaijani, Russian and English.
4. The texts of the article in Azerbaijani must be typed in Azerbaijani language in Latin, in Russian language in Cyrillic and in the English language in Latin alphabets with one interval, with the size of 12 in Times New Roman version.
5. Equations and formulae must be separated from the text by one empty line.
6. Formulae must be systematically numbered in Arabic figures given in round brackets on the right side of the page.
7. Explanation of symbols and literary coefficient must directly be given under the formulae with the succession they are met in the equations.
8. Scientific innovation and importance of the application, economic benefit of the work must be given in accordance with the character of the article and field of science in the summary of the article.
9. The list of literature given at the end of article must be given by succession as they are referred to in the article. The reference to them must be noted like [1] or (1, p.119). Advantage must be given to the references to the scientific articles, monographs of the last 5- 10 years in the literature list.
10. The place of work of the author(s), their addresses, and e – mail address must be shown in the article.
11. At the end of the article the number of the protocol of the appropriate meeting and date of scientific council of the institution advising the article for printing must be noted.
12. The author(s) must give written consent for the printing of the article.
13. The pages must be numbered by pencil in the right corner of the bottom of the paper.
14. The following succession must be observed.
    - UOT index (bold, size 12, big letters, on the top of the article, on the left side from the new line);
    - Title of the article (bold, size 12, big letters, Two-unit space must be between the title of the article and UOT index);
    - Surname and initials of the author(s), e-mail, name of the organization, its addresses must be in bold, size of 12, with the small letters. Two-unit space must be between the name of the article and the author(s)
    - Name of the organization and its address and e-mail must be in italics of 12 size in small letters. One-unit interval must be between the name of the article.
    - **Abstract**
    - **Key words**
    - **Introduction**
    - **Formulation of the issue**
    - **Analysis of the results achieved**
    - **Result**
    - **The literature used**
15. Handwritings must be presented and electronic version

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

1. Рукопись печатается в формате А4 (210х297 мм), отступ сверху и снизу – 25 мм, слева и справа – 20 мм. Объём рукописи не должен превышать **8-10 страниц.**
2. В каждой статье должны быть указаны индексы **УДК или коды типа PACS**.
3. Статья может быть написана на одном из трёх языков: азербайджанском, русском или английском. Аннотация представляется на 3 языках. Тексты аннотации на этих языках должны быть идентичными и соответствовать содержанию статьи. Ключевые слова должны быть идентичными и соответствовать содержанию статьи. Ключевые слова должны быть на трёх языках: азербайджанском, русском и английском (не менее 5 слов).
4. Текст статьи должен быть набран с интервалом 1, шрифтом 12 версии Times New Roman: на азербайджанском языке - латиницей, на русском - кириллицей, на английском - английским алфавитом.
5. Уравнения и формулы должны быть отделены от текста одной пустой строкой.
6. Уравнения необходимо последовательно нумеровать с правой стороны строки в круглых скобках.
7. Пояснения и числовые коэффициенты даются непосредственно под уравнением в той же последовательности, что и в уравнении.
8. В выводах статьи должны в ясной форме указаны соответствующие характеру статьи научная новизна работы, прикладное значение, экономическое значение.
9. В конце статьи необходимо указывать использованную литературу в той последовательности, в которой она встречается в статье. Ссылки на источники должны обозначаться как [1] или [1, с. 119]. В качестве использованной литературы нужно отдавать предпочтение источникам, опубликованным за последние 5-10 лет.
10. В статье необходимо указывать место работы автора (авторов), его адрес и адрес электронной почты.
11. В конце статьи необходимо указывать номер и дату заседания учёного совета предприятия, рекомендующего статью к печати.
12. Автор (авторы) должны в письменной форме дать согласие на публикацию.
13. Страницы должны быть пронумерованы карандашом с правой стороны внизу страницы.
14. В статье должна быть информация в следующем порядке:
    - Индекс УДК (жирно, размер 12, прописными буквами и набраны в левой части с абзаца).
    - Название статьи (жирно, размер 12, прописными буквами, между индексом УДК и названием статьи должно быть два интервала).
    - Фамилия и инициалы строчными буквами, жирно, размер 12. Между названием статьи и информацией об авторах должен быть пробел в один интервал.
    - Название организации, адрес, e-mail авторов строчными буквами, курсив, размер 12. Между фамилиями авторов и информацией о них должен быть пробел в один интервал. Статья должна иметь следующую структуру:
    - **Аннотация**
    - **Ключевые слова**
    - **Введение**
    - **Постановка задачи**
    - **Анализ полученных результатов**
    - **Выводы**
    - **Литература**
15. Статьи необходимо представлять в печатюм и в электронной версии.

Yığılmağa verilib: 01.05.24. Çapa imzalanıb 31.05.24.
Format 60x84 1/8. F.ç.v.25,5. Sifarış №17
Kağız əla növ. Tiraj 60 nüsxə. Qiyməti müqavilə ilə.

"Azərbaycan Dövlət Dəniz Akademiyası" PHŞ-nin mətbəəsi