

საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტი

ხელნაწერის უფლებით

რუსლან დიასამიძე

საზღვაო გემების ამძრავთა მოთვალთვალე
სისტემების და ვიბროდამცავი მოწყობილობების
დინამიკური მოდელირება და კვლევა

სპეციალობა: მანქანათმშენებლობა, მანქანათმშენებლობა
და საწარმოო ტექნოლოგიური პროცესები

დოქტორის აკადემიური ხარისხის მოსაპოვებლად

წარდგენილი დისერტაციის

ა ვ ტ ო რ ე ფ ე რ ა ტ ი

თბილისი

2014 წელი

სამუშაო შესრულებულია საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
სატრანსპორტო და მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტის N 501 საწარმოო
ტექნოლოგიური მანქანების და მექატრონიკის დეპარტამენტში

სამეცნიერო ხელმძღვანელი: ტ.მ.დ., პროფესორი
თამაზ მჭედლიშვილი

რეცენზენტები: ტ.მ.კ. ემზარ გეგეშიძე
ტ.მ.კ. ბელა ნავროზაშვილი

დისერტაციის დაცვა შედგება 2014 წლის ” 05 ” ივლისი, 14⁰⁰ საათზე
საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სატრანსპორტო და
მანქანათმშენებლობის ფაკულტეტის სადისერტაციო საბჭოს სადისერტაციო
კოლეგიის სხდომაზე.

მისამართი: 0175, თბილისი, კოსტავას 68^ა, I კორპუსი, აუდ. № 617-გ

დისერტაციის გაცნობა შეიძლება სტუ-ს

ბიბლიოთეკაში, ხოლო ავტორეფერატის - ფაკულტეტის ვებ-გვერდზე

სადისერტაციო საბჭოს მდივანი

ასოცირებული პროფესორი

დავით ბუცხრიკიძე

ნაშრომის ზოგადი დახასიათება

თანამედროვე ტექნიკაში ფართო გამოყენება ჰპოვეს, საწარმოო პროცესების მართვის და რეგულირების რთულმა მრავალკონტურიანმა ავტომატიზირებულმა სისტემებმა, რომელთა სტრუქტურული სირთულე განპირობებულია შესასრულებელი ფუნქციების რიცხოვნობით და ხარისხობრივი მაჩვენებლებით.

გემის კურსისა და მდებარეობის მართვის სისტემები, რომლებიც ახორციელებენ გემთწამყვანის ძირითად ამოცანას დაკავშირებულს წაყენებული ამოცანის და მოცემული ხარისხობრივი კრიტერიუმების შესაბამისად გემის ზუსტ და უსაფრთხო მართვასთან, თავის მხრივ გემების ავტომატიზირებულ ამძრავთა შორის წარმოადგენენ უმეტესად რთულ მრავალკონტურიან სისტემებს.

ამძრავთა აღნიშნული სისტემების შემუშავებასა და კვლევასთან დაკავშირებულ ნაშრომთა მიმოხილვა მიგვითითებს მათში მინდინარე დინამიკური პროცესების ანალიზისა და სინთეზის მეთოდებისა და მეთოდიკების ეფექტურობის ამაღლების სამეცნიერო-ტექნიკური ამოცანის აქტუალობაზე, რაც წარმოადგენს რთული მრავალკონტურიანი სისტემების ოპტიმიზაციური გაანგარიშების ზოგადი პრობლემის შემადგენელ ნაწილს.

მეორეს მხრივ გემის მოძრაობათა მართვის პროცესები გარკვეულ წილად განისაზღვრებიან მართვაში მონაწილე პერსონალის ეფექტურ მოქმედებებით. ამ მოქმედებების ხარისხი კი თავის მხრივ გარკვეულ ფუნქციონალურ კავშირშია ადამიანზე მოქმედ გარე ზემოქმედებებთან.

უაღრესად დიდია ვიბრაციის ზეგავლენა საზღვაო გემებზე მომუშავე ადამიანებზე, რომლებიც იმყოფებიან გემის კორპუსული კონსტრუქციებით ურთიერთდაკავშირებული მანქანებისა და მექანიზმების მიერ აღძრული ფართოხოლიანი სპექტრის მქონე ვიბრაციის ზემოქმედების ქვეშ ხანგრძლივი დროის განმავლობაში. აქედან გამომდინარე, გემზე მომუშავე ადამიანი-ოპერატორის დაცვა ვიბრაციის მავნე ზემოქმედებისაგან წარმოადგენს მნიშვნელოვან და აქტუალურ პრობლემას.

ნაშრომის მიზანს წარმოადგენს გემის კურსის და მდებარეობის მართვის ელექტროჰიდრაულიკური სისტემების (ამძრავთა მოთვალთვალე სისტემების) მოდელების, ახალი სქემების, დინამიკური სინთეზის მეთოდების და მეთოდების შემუშავება რეგულირების რთული სისტემების წინასწარ მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით სინთეზის ცნობილი მეთოდის გამოყენების საფუძველზე და მიმართულია საკვლევ სისტემების ხარისხისა და ეფექტურობისაკენ. ვიბროდამცავი მოწყობილობების ახალი ეფექტური სქემების, კონსტრუქციების და მათი დინამიკური გამოკვლევის მეთოდების დამუშავება, რომლებიც უზრუნველყოფს გემზე მომუშავე ადამიანი-ოპერატორის დაცვის ხარისხის გაზრდას.

დასახული მიზნის მიღწევისათვის კვლევის ამოცანებში ჩართულია:

- ამძრავთა საკვლევ სისტემების, მათი დინამიკური ანალიზისა და სინთეზის მეთოდებისა და მეთოდების შემუშავების საკითხის თანამედროვე მდგომარეობის ანალიზი და შემდგომი კვლევის ამოცანების ფორმირება;
- საკვლევ მრავალკონტურიანი სისტემების მათემატიკური მოდელების აგება როგორც სინთეზის დასამუშავებელი მეთოდის შემადგენელი ელემენტისა;
- შესამუშავებელი მეთოდის ძირითადი კანონზომიერებების გამოვლენა და მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით სინთეზის ალგორითმების აგება;
- კონკრეტული მოთვალთვალე სისტემების კვლევა, შემუშავებული მეთოდებისა და სისტემების თავისებურებების და ეფექტურობის ხარისხის გამოვლენა;
- ვიბროდამცავი მოწყობილობების აგების პრინციპებთან და მათი დინამიკური კვლევის მეთოდებთან დაკავშირებული ნაშრომების მიმოხილვა;
- საქართველოს საზღვაო სანაოსნოს გემებზე გაზომილი ვიბრაციის სპექტრების ანალიზი;
- ცნობილი ვიბროსაიზოლაციო მოწყობილობების თავისებურებების გამოვლენა და ვიბრაციის გაზომილი პარამეტრების მიხედვით ახალი

ეფექტური სქემების, კონსტრუქციების და კვლევის მეთოდების დამუშავება.

ნაშრომის სამეცნიერო სიახლე მდგომარეობს:

- გემებზე ფუნქციონირებად ელექტროჰიდრავლიკურ სისტემებთან მიმართებაში დინამიკის მათემატიკური მოდელების, მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით სინთეზის მეთოდში სასურველი პროცესების ფორმირებისა და სინთეზირებადი პარამეტრების ძიების მეთოდის აგების ახალ მეთოდოლოგიურ მიდგომებში;
- შემუშავებულ ვიბროსაიზოლაციო მოწყობილობების სქემებისა და კონსტრუქციების აგებისა და გაანგარიშებისათვის საჭირო მეთოდოლოგიურ მიდგომებში და მათემატიკურ კანონზომიერებებში.

ნაშრომის პრაქტიკულ ღირებულებას შეადგენს საკვლევი მრავალბმული მრავალრეჟიმული ამძრავთა სისტემების დინამიკური ანალიზისა და სინთეზის მეთოდები და მეთოდები და კვლევის შედეგები, მიმართული განსახილველი ამძრავთა ელექტროჰიდრავლიკური სისტემების ხარისხისა და ეფექტურობის ამაღლებისაკენ;

- ორიგინალური სახის ვიბროდამცავი მოწყობილობები, მათი შემუშავებისათვის საჭირო კვლევების შედეგები.

სამეცნიერო დებულებების, დასკვნებისა და რეკომენდაციების უტყუარობა უზრუნველყოფილია კვლევების მეცნიერულად დასაბუთებული მეთოდების გამოყენებით.

ნაშრომის აპრობაცია. ნაშრომის ძირითადი შედეგები მოხსენებული იქნა საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის სტუდენტთა მე-80 ღია საერთაშორისო კონფერენციაზე; თბილისი 2012 წ. და კონფერენციაზე, „International Scientific Conference “Mechanics 2014“.

პუბლიკაციები. დისერტაციის მასალები წარმოდგენილია 6 სამეცნიერო ნაშრომში და 1 გამოგონებასთან დაკავშირებულ ბიულეტენში.

ნაშრომის სტრუქტურა და მოცულობა. სადისერტაციო ნაშრომი შედგება შესავალის, ლიტერატურული მიმოხილვის, დასკვნებისა და განსჯისა და საერთო დასკვნებისაგან. წარმოდგენილია 144 გვერდზე, შეიცავს 31 ნახაზს და ლიტერატურის სიას 125 დასახელებით.

ნაშრომის ძირითადი შინაარსი

შესავალ ნაწილში დასაბუღებულია სადისერტაციო ნაშრომის აქტუალურობა.

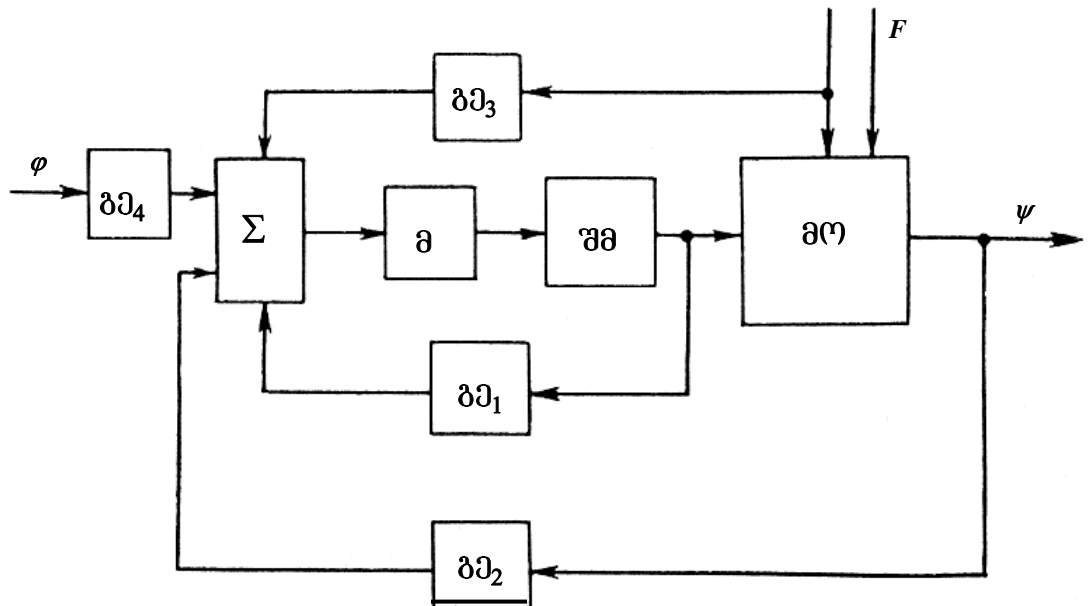
თავი 1. ლიტერატურის მიმოხილვა ჩატარებულია გემებზე გამოყენებული მოთვალთვალე სისტემების და ვიბროდამცავი მოწყობილობების პროექტირებისა და კვლევის საკითხების მიმოხილვა და ხარისხობრივი ანალიზი.

აღნიშნულია რომ გემის ავტომატიზირებული სისტემები – ეგრეთ წოდებული ტექნიკური საშუალებების ფუნქციონალური კომპლექსები (ტსფკ) და გემის ტექნიკური საშუალებების მართვის კომპლექსური სისტემები აღჭურვილია სხვადასხვა სახის მოთვალთვალე სისტემებით.

ავტომატურ სისტემათა შორის აღსანიშნავია გემის მდებარეობისა და კურსის მართვის სისტემა, რომელიც უაღრესად განზოგადოებული სახით შესაძლოა წარმოდგენილი იქნას ნახ. 1 მოყვანილი ფუნქციონალური სქემით, სადაც მო – მართვის ობიექტი (გემი); შმ – შემსრულებელი მექანიზმი; მ – მამლიერებელი; Σ – შემაჯამებელი მოწყობილობა, გე₁ – გარდამქმნელი მოწყობილობა საჭის მდებარეობის მიხედვით უკუკავშირის ჯაჭვში; გმ₂ – გარდამქმნელი მოწყობილობა მთავარი უკუკავშირის ჯაჭვში; გმ₃ – გარდამქმნელი მოწყობილობა შემაშფოთებელი ზემოქმედების ჯაჭვში; გმ₄ – გარდამქმნელი მოწყობილობა მოცემული ზემოქმედების ჯაჭვში; φ – შემომავალი ზემოქმედება; F – გარე შემაშფოთებელი ზემოქმედება.

გემის კურსის მართვის სისტემა შედგება მართვის ორი კონტურისაგან. საჭის ფრთის მობრუნების კუთხე გემის დიამეტრალურ სიბრტყეში α არის სამართავი სიდიდე. მიმწოდებელი ზემოქმედებაა მოცემული კურსის მიმართ გადახრის კუთხე $(\psi - \varphi)$. თავის მხრივ კუთხე α ასრულებს მიმწოდებელ ზემოქმედებას მართვის მეორე კონტურისათვის, რომლის მართვის ობიექტს წარმოადგენს გემი და სამართავი სიდიდეა კურსის კუთხე ψ .

ორი გარე ზემოქმედება ცვლის მართვის ობიექტის (გემის) რეჟიმს: მიმწოდებელი ზემოქმედება φ , მოდებული სისტემის შესასვლელზე, და შემაშფოთებელი ზემოქმედება F , მოდებული მართვის ობიექტზე.



ნახ. 1. გემის კურსის ავტომატური სისტემის ფუნქციონალური სქემა

თუ სისტემა მუშაობს საჭის მოთვალთვალე მართვის რეჟიმში მთავარი უკუკავშირი და შეშფოთების ჯაჭვის კავშირი გამოირიცხებიან და მართვის ობიექტად ხდება საჭე.

სადღეისოდ გემის კურსის მართვის სისტემები აგებულნი არიან გადახრის პრინციპზე. ამ შემთხვევაში მართვა ხორციელდება ერთდროულად რამდენიმე პარამეტრით, კონკრეტულად კი: კურსის მიმართ გემი გადახრის კუთხით $\Delta\psi$, ამ გადახრის კუთხის წარმოებულით $\frac{d(\Delta\psi)}{dt}$ და ამ კუთხის ინტეგრალით $\int \Delta\psi dt$.

აღნიშნულია, რომ გემების ავტომატიზირებულ ამძრავებში ფართო გამოყენება ჰპოვეს ელექტროჰიდრავლიკურმა სისტემებმა. გემების მართვის სისტემებში ერთ-ერთ გავრცელებულ სისტემებს მიეკუთვნებიან ელექტროჰიდრავლიკური ამძრავების შემსრულებელი კასკადებით:

ცვალებადი მწარმოებლურობის ტუმბო – ჰიდრავლიკური მანქანის ჰიდროცილინდრები (ძალური ჰიდროცილინდრი) და მუდმივი მწარმოებლურობის ჰიდროტუმბო – მკვეთარიანი მმართველი მოწყობილობა – ძალური ჰიდროცილინდრის დგუმის ელექტრული უკუკავშირით. მოცემულია აღნიშნული შემსრულებელი სისტემების აღწერა, ჩატარებულია სტრუქტურული და ფუნქციონალური თავისებურებების ანალიზი.

ჩატარებულია ვიბროსაიზოლაციო მოწყობილობებს აგების პრინციპების და მეთოდების ანალიზი. აღწერილია სხვადასხვა სახის ვიბროდამცავი მოწყობილობების სტრუქტურული თავისებურებები და მათი ტექნიკური შესაძლებლობები.

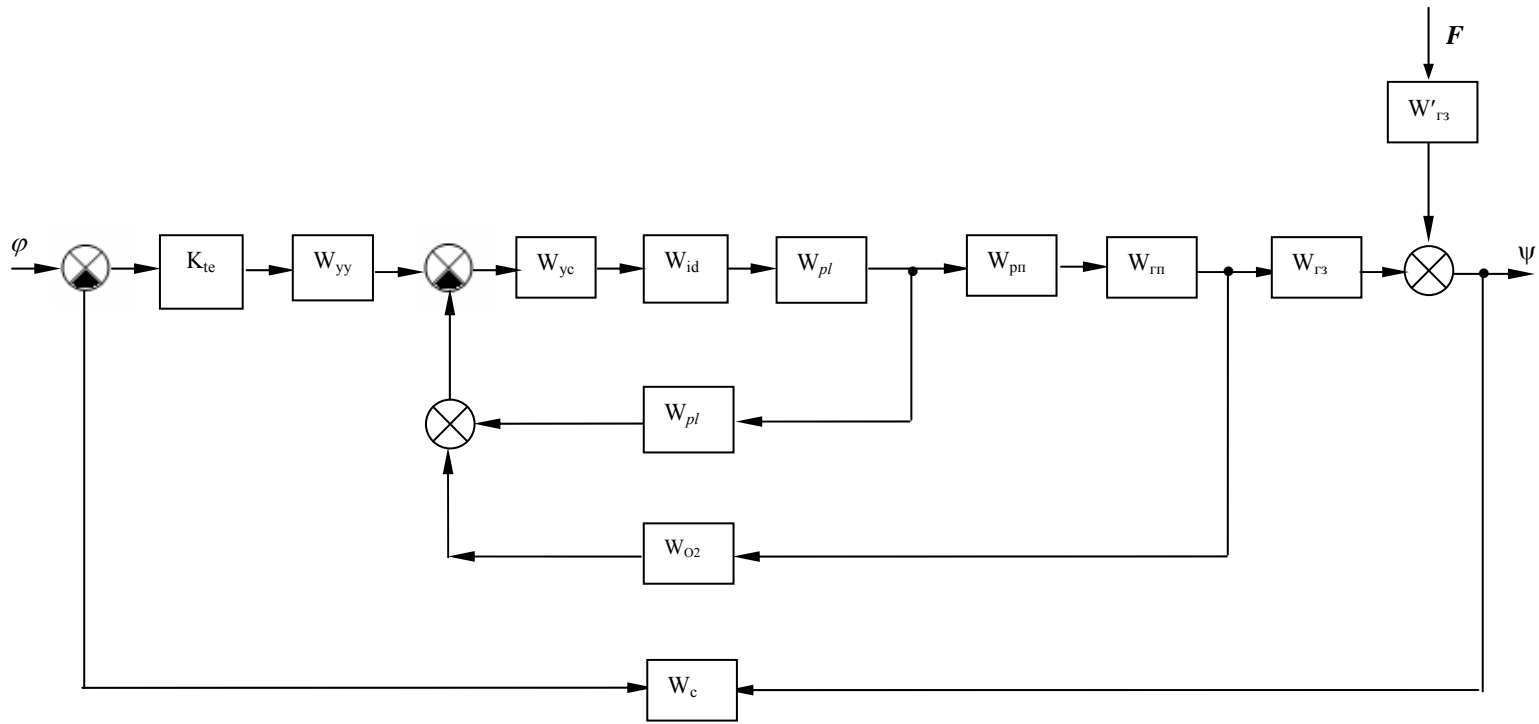
ჩატარებულია მექანიზმებისა და სისტემების პროექტირებისა და დინამიკური პროცესების კვლევის არსებული მეთოდების მიმოხილვა, რომელთა მეშვეობით შესაძლოა რთული მრავალბმული ამძრავთა სისტემების და მთლიანობაში საკვლევი მოწყობილობების შემდგომი სრულყოფა.

ნაშრომში მოცემულია მთლიანობაში გემის მართვის ელექტროჰიდრავლიკური სისტემის ფუნქციონალური სქემა, რომელიც შეიცავს გამაძლიერებელი ძალური კასკადის ჰიდრავლიკური ელემენტების გარდა, ასევე მმართველი კასკადების ელექტრულ და ელექტრონულ მოწყობილობებს.

განხილულია მრავალკონტურიანი საკვლევი ელექტროჰიდრავლიკური სისტემების ცალკეული ფუნქციონალური ელემენტების დინამიკური მოდელები და მათი გამოყენებით აგებული მთლიანი სისტემების მათემატიკური მოდელები. მოდელების აგებისას გამოყენებულია მექანიკური ნაწილის, როგორც აბსოლუტურად ხისტი აგრეთვე დრეკადრგოლიანი მოდელები.

საკვლევი სისტემის ცალკეული შემადგენელი ელემენტების გაწრფივებული მოდელების გამოყენების საფუძველზე აგებული სტრუქტურული სქემა მოყვანილია ნახ. 2:

აქ: $K_{\text{ის}} = K_1$ – გარდამქმნელი ელემენტის გაძლიერების კოეფიციენტი; W_{yy} – მმართველი YY მოწყობილობის გადამცემი ფუნქცია; W_{yc} – ნახევარ-გამტარიანი მაძლიერებლის გადამცემი ფუნქცია; W_{y0} – შემსრულებელი ძრავის გადამცემი ფუნქცია; W_{p1} – მექანიკური რედუქტორის გადამცემი ფუნქცია; W_{oc1} , W_{oc2} და W_{oc} – უკუკავშირების გადამცემი ფუნქციები; W_{pn} – ბერკეტული გადამცემის გადამცემი ფუნქცია; W_{r3} და W'_{r3} – მართვის



ნახ. 2. სტრუქტურული სქემა

ობიექტების მო (გემის) გადამცემი ფუნქციები მმართველი და შემაშფოთებელი ზემოქმედებების მიმართ; W_{rc} – ჰიდრავლიკური სისტემის გადამცემი ფუნქცია.

განხილვადი სისტემა მიეკუთვნება მრავალრეჟიმიანს: მუშაობს გემის საჭის მოთვალთვალე სისტემის რეჟიმებში (CCYP – სისტემა α), რომელიც წარმოადგენს $U_{\alpha\beta}$ და α კოორდინატების ურთიერთდამაკავშირებელ ჩაკეტილ სისტემას და გემის კურსის მოთვალთვალე მართვის სისტემის რეჟიმებში. მეორე სისტემა აკავშირებს კოორდინატებს $\psi_{\alpha\beta}$ და ψ .

საკვლევი ψ სისტემის პარამეტრული სინთეზის რეალიზაციისათვის ვიყენებთ გაწრფივებული სისტემების სინთეზის გამოყენებით თეორიას მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით.

საკვლევი სისტემის სტრუქტურული სქემის ანალიზის საფუძველზე სისტემის რეგულირებადი კოორდინატების გამოსახულებები ზოგადი სახით გამოისახებიან დამოკიდებულებებით

$$\Psi_y(s) = W_{\psi_y}(s)\Psi_3(s); \quad (1)$$

$$\Psi_B(s) = W_{\psi_B}(s)F(s), \quad (2)$$

$$\alpha(s) = W_\alpha(s)\Psi_3(s), \quad (3)$$

სადაც $W_{\psi_y}(s)$, $W_{\psi_B}(s)$ – შესაბამისად გემის კურსის მართვის სისტემის გადამცემი ფუნქციები მიმწოდებელი და აგზნებადი ზემოქმედებების მიმართ; $F(s)$ აგზნებადი ზემოქმედების გამოსახულება; $W_\alpha(s)$ – სისტემის (CCYP) გადამცემი ფუნქცია;

$$\begin{aligned} W_\alpha(s) &= \frac{W_1(s)K_{pn} \frac{K_{rn}}{s}}{1 + W_1(s)K_{pn} \frac{K_{rn}}{s} \cdot K_{oc}} = \frac{W_1(s)K_{pn}K_{rn}}{s + W_1(s)K_{pn}K_{rn}K_{oc}} = \\ &= \frac{\frac{K_c}{s + K_c K_{oc1}} K_{pn}K_{rn}}{s + \frac{K_c}{s + K_c K_{oc1}} K_{pn}K_{rn} \cdot K_{oc}} = \frac{K_\alpha}{S(s + K_c K_{oc1}) + K_\alpha K_{oc}} = \\ &= \frac{K_\alpha}{S^2 + K_c \cdot K_{oc1} s + K_\alpha \cdot K_{oc}}. \end{aligned}$$

α სისტემის სინთეზისას ვარირებად პარამეტრებად იღებენ K_α და K_{oc_1} და როგორც წესი პარამეტრს K_{oc} ირჩევენ 1-ის ტოლად [1].

$$\Psi_y(s) = \frac{[K_1 K_{\text{инт}} (T_{\text{диф}} s + 1) + K_{\text{диф}} K_1 s^2 + K_1 (T_{\text{диф}} s^2 + s)]}{K_{oc\alpha} (T_{\alpha_2} s^2 + T_{\alpha_1} s + 1) (T_{\text{диф}} s^2 + s) W_{\Gamma_3} + K_{\text{диф}} K_1 K_{oc\alpha} (T_{\text{диф}} s + 1) W_{\Gamma_3} + K_{\text{диф}} K_1 K_{oc\alpha} W_{\Gamma_3} s^2 + K_1 K_{oc\alpha} W_{\Gamma_3} (T_{\text{диф}} s^2 + s)} \quad (5)$$

ან

$$\Psi_y(s) = \frac{(K_1 K_{\text{инт}} T_{\text{диф}} s + K_1 K_{\text{инт}} + K_{\text{диф}} K_1 s^2 + K_1 T_{\text{диф}} s^2 + K_1 s) W_{\Gamma_3}(s)}{K_{oc\alpha} L(s) + K_{\text{инт}} K_1 K_{oc\alpha} T_{\text{диф}} s W_{\Gamma_3}(s) + K_{\text{инт}} K_1 K_{oc\alpha} W_{\Gamma_3}(s) + K_{\text{диф}} W_{\Gamma_3}(s) K_1 K_{oc\alpha} s^2 + K_1 K_{oc\alpha} T_{\text{диф}} s^2 W_{\Gamma_3}(s) + K_1 K_{oc\alpha} s W_{\Gamma_3}(s)} = \frac{M^0(s)}{N^0(s)} \quad (6)$$

სადაც

$$W_{\Gamma_3} = \frac{K_{\Gamma_3} (1 + T_{\text{ок}} s)}{s(1 + T_{\text{лк}} s + T_{\text{ок}} s^2)} = \frac{W_4(s)}{W_3(s)}, \quad (7)$$

$M_0(s)$ და $N^0(s)$ – სასურველი პროცესი მნიშვნელი და მრიცხველი პოლინომები მაპროექსიმირებელ დამოკიდებულებებში, რომელთა გამოყენებას ვაპირებთ შემდეგში.

განხილულია საკვლევი სისტემების სტრუქტურული სქემების სხვადასხვა ვარიანტები და სინთეზის პროცედურებთან ზოგადი მიდგომები.

ზემოთ მიღებული რეგულირებადი და სასურველი კოორდინატები შორისი საწყისი დამოკიდებულების გემის კურსის მართვის რეჟიმში მომუშავე სისტემის გარდაქმნით დავდივართ დამოკიდებულებაზე:

$$\begin{aligned} & [K_{oc\alpha} L(s) + K_{\text{инт}} K_1 K_{oc\alpha} (T_{\text{диф}} s + 1) W_{\Gamma_3}(s) + K_{\text{диф}} K_1 K_{oc\alpha} (s) W_{\Gamma_3} s^2 + \\ & + K_1 K_{oc\alpha} (T_{\text{диф}} s^2 + s) W_{\Gamma_3}] M^0(s) = [K_{\text{инт}} K_1 (T_{\text{диф}} s + 1) W_{\Gamma_3}(s) + \\ & + K_{\text{диф}} K_1 s W_{\Gamma_3} + K_1 (T_{\text{диф}} s^2 + s) W_{\Gamma_3}(s)] N^0(s). \end{aligned} \quad (8)$$

თუ შემოვიტანთ აღნიშვნებს:

$$K_1 (T_{\text{диф}} s + 1) W_{\Gamma_3}(s) = A(s);$$

$$K_1 s^2 W_{\Gamma_3}(s) = B(s);$$

$$K_1(T_{\text{დაფ}}s + s)W_{z3}(s) = C(s),$$

დამოკიდებულებას (8) ჩაიწერება სახით:

$$\begin{aligned} [K_{\text{ოცა}}L(s) + K_{\text{უმ}}K_{\text{ოცო}}A(s) + K_{\text{დაფ}}K_{\text{ოცო}}B(s) + K_{\text{ოცო}}C(s)]M^0(s) = \\ = [K_{\text{უმ}}A(s) + K_{\text{დაფ}}B(s) + C(s)]N^0(s). \end{aligned} \quad (9)$$

გრდაქმნილი სახით გვექნება:

$$\begin{aligned} K_{\text{ოცა}}L(s)M^0(s) + K_{\text{უმ}}[K_{\text{ოცო}}A(s)M^0(s) - A(s)N^0(s)] + \\ + K_{\text{დაფ}}[K_{\text{ოცო}}B(s)M^0(s) - B(s)N^0(s)] + [K_{\text{ოცო}}C(s)M^0(s) - C(s)N^0(s)] = 0. \end{aligned} \quad (10)$$

შემოგვაქვს აღნიშვნები

$$\begin{aligned} L(s)M^0(s) &= \Phi_1(s); \\ A(s)[K_{\text{ოცო}}M^0(s) - N^0(s)] &= A(s)E(s) = \Phi_2(s); \\ B(s)[K_{\text{ოცო}}M^0(s) - N^0(s)] &= B(s)F(s) = \Phi_3(s); \\ C(s)[-K_{\text{ოცო}}M^0(s) + N^0(s)] &= -C(s)E(s) = \Phi_0(s), \end{aligned}$$

და ტოლობას (10) იღებს სახეს:

$$\Phi_1(s)K_{\text{ოცო}} + \Phi_2(s) + K_{\text{უმ}} + \Phi_3(s)K_{\text{დაფ}} = \Phi_0(s). \quad (11)$$

მიღებული დამოკიდებულების (11) თანახმად ვწერთ აპროქსიმაციათა l კვანძების $\delta = \delta_v$ (δ იღებს დადებით საგნობრივ მნიშვნელობებს) მიმართ ვწერთ l პირობით განტოლებათა სისტემას:

$$\begin{aligned} K_{\text{ოცა}}\Phi_1(\delta_v) + K_{\text{უმ}}\Phi_2(\delta_v) + K_{\text{დაფ}}\Phi_3(\delta_v) = \Phi_0(\delta_v), \\ v = 1, \dots, l. \end{aligned} \quad (12)$$

მიღებულ განტოლებათა სისტემას ვამუშავებთ უმცირეს კვადრატთა მეთოდით საძიებელი $K_{\text{ოცა}}$, $K_{\text{უმ}}$, $K_{\text{დაფ}}$ პარამეტრების მიმართ და ვიღებთ:

$$\begin{aligned} K_{\text{ოცა}} \sum_v \delta_v^2 \Phi_1^2(\delta_v) + K_{\text{უმ}} \sum_v \delta_v^2 \Phi_1(\delta_v)\Phi_2(\delta_v) + K_{\text{დაფ}} \sum_v \delta_v^2 \Phi_1(\delta_v)\Phi_3(\delta_v) = \\ = \sum_v \delta_v^2 \Phi_0(\delta_v)\Phi_1(\delta_v); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} K_{\text{ოცა}} \sum_v \delta_v^2 \Phi_1(\delta_v)\Phi_2(\delta_v) + K_{\text{უმ}} \sum_v \delta_v^2 \Phi_2^2(\delta_v) + K_{\text{დაფ}} \sum_v \delta_v^2 \Phi_3(\delta_v)\Phi_2(\delta_v) = \\ = \sum_v \delta_v^2 \Phi_0(\delta_v)\Phi_2(\delta_v); \end{aligned}$$

$$K_{\text{ოცა}} \sum_v \delta_v^2 \Phi_1^2(\delta_v)\Phi_3(\delta_v) + K_{\text{უმ}} \sum_v \delta_v^2 \Phi_2(\delta_v)\Phi_3(\delta_v) + K_{\text{დაფ}} \sum_v \delta_v^2 \Phi_3^2(\delta_v) =$$

$$= \sum_v \delta_v^2 \Phi_0(\delta_v) \Phi_3(\delta_v). \quad (13)$$

შემოგვაქვს აღნიშვნები:

$$D_{11} = \sum_v \delta_v^2 \Phi_1^2(\delta_v);$$

$$D_{12} = \sum_v \delta_v^2 \Phi_1(\delta_v) \Phi_2(\delta_v);$$

$$D_{13} = \sum_v \delta_v^2 \Phi_1(\delta_v) \Phi_3(\delta_v);$$

$$D_{23} = \sum_v \delta_v^2 \Phi_2(\delta_v) \Phi_3(\delta_v);$$

$$D_{22} = \sum_v \delta_v^2 \Phi_2^2(\delta_v);$$

$$D_{33} = \sum_v \delta_v^2 \Phi_3^2(\delta_v);$$

$$D_{01} = \sum_v \delta_v^2 \Phi_0(\delta_v) \Phi_1(\delta_v);$$

$$D_{02} = \sum_v \delta_v^2 \Phi_0(\delta_v) \Phi_2(\delta_v);$$

$$D_{03} = \sum_v \delta_v^2 \Phi_0(\delta_v) \Phi_3(\delta_v),$$

და განტოლებათა სისტემა (12) იღებს სახეს:

$$D_{11} K_{oc\alpha} + D_{12} K_{unt} + D_{13} K_{du\phi} = D_{01}; \quad (14)$$

$$D_{12} K_{oc\alpha} + D_{22} K_{unt} + D_{23} K_{du\phi} = D_{02}; \quad (15)$$

$$D_{13} K_{oc\alpha} + D_{23} K_{unt} + D_{33} K_{du\phi} = D_{03}. \quad (16)$$

სისტემის (15)-(16) ამოხსნით უცნობების მიმართ ვიღებთ:

$$K_{oc\alpha} = \frac{D_{K_{oc\alpha}}}{D};$$

$$K_{unt} = \frac{D_{K_{unt}}}{D};$$

$$K_{du\phi} = \frac{D_{K_{du\phi}}}{D},$$

სადაც

$$D_{K_{oc\alpha}} = \begin{vmatrix} D_{01} & D_{12} & D_{13} \\ D_{02} & D_{22} & D_{23} \\ D_{03} & D_{23} & D_{33} \end{vmatrix};$$

$$D_{K_{\text{инт}}} = \begin{vmatrix} D_{11} & D_{01} & D_{13} \\ D_{12} & D_{02} & D_{23} \\ D_{13} & D_{03} & D_{33} \end{vmatrix};$$

$$D_{K_{\text{диф}}} = \begin{vmatrix} D_{11} & D_{12} & D_{01} \\ D_{12} & D_{22} & D_{02} \\ D_{13} & D_{23} & D_{03} \end{vmatrix};$$

$$D = \begin{vmatrix} D_{11} & D_{12} & D_{13} \\ D_{12} & D_{22} & D_{23} \\ D_{13} & D_{23} & D_{33} \end{vmatrix}.$$

ზემოთ მოყვანილი შედეგების შემდგომი გაგრძელების თვალსაზრისით აგრეთვე განხილულია საკვლევი სისტემის გემის კურსზე დაკავების რეჟიმში პარამეტრული სინთეზის საკითხები

მიღებულია პირობით განტოლებათა სისტემა:

$$K_{1*} \Phi_{1*}(\delta_\nu) + K_{\text{инт}} \Phi_{2*}(\delta_\nu) + K_{\text{диф}} \Phi_{3*}(\delta_\nu) = \Phi_{0*}(\delta_\nu), \quad \nu = 1, \dots, l, \quad (17)$$

სადაც

$$K_{1*} = \frac{K_{\text{оса}}}{K_1} = \frac{1}{K_1 K_\alpha}.$$

ნორმალურ განტოლებათა სისტემა მიიღებს სახეს

$$\begin{aligned} D_{11*} K_{1*} + D_{12*} K_{\text{инт}} + D_{13*} K_{\text{диф}} &= D_{01*}; \\ D_{12*} K_{1*} + D_{22*} K_{\text{инт}} + D_{23*} K_{\text{диф}} &= D_{02*}; \\ D_{13*} K_{1*} + D_{22*} K_{\text{инт}} + D_{33*} K_{\text{диф}} &= D_{03*}. \end{aligned} \quad (18)$$

შესაბამისად უკანასკნელი სისტემის ამონახსნი ჩაიწერება ასე:

$$K_{1*} = \frac{D_{1*}}{D_*};$$

$$K_{\text{инт}} = \frac{D_{*\text{инт}}}{D_*};$$

$$K_{\text{диф}} = \frac{D_{*\text{диф}}}{D_*}.$$

მანევრირების რეჟიმში ვარირებადად ვირჩევთ პარამეტრებს $K_{\text{оса}}$ და $T_{\text{диф}}$.

ამ შემთხვევაში პირობით განტოლებათა სისტემა ჩაიწერება ასე:

$$K_{oc*} \Phi_{1*}(\delta_v) + K_{\text{диф}} \Phi_{3*}(\delta_v) = \Phi_{0*}(\delta_v), \quad (19)$$

სადაც

$$\Phi_{0*}(\delta_v) = \Phi_{0*}(\delta_v) + K_{\text{инт}} \Phi_{2*}(\delta_v).$$

ნორმალურ განტოლებათა სისტემა მიიღებს სახეს:

$$\left. \begin{aligned} D_{11*} K_{1*} + D_{13*} K_{\text{диф}} &= D_{01}^* \\ D_{13*} K_{1*} + D_{33*} K_{\text{диф}} &= D_{03}^* \end{aligned} \right\} \quad (20)$$

სადაც:

$$D_{01}^* = \sum_v \gamma_v^2 [\Phi_{0*}(\delta_v) - K_{\text{инт}} \Phi_{2*}(\delta_v)] \cdot \Phi_{1*}(\delta_v); \quad (21)$$

$$D_{03}^* = \sum_v \gamma_v^2 [\Phi_{0*}(\delta_v) - K_{\text{инт}} \Phi_{2*}(\delta_v)] \cdot \Phi_{3*}(\delta_v). \quad (22)$$

უკანასკნელიდან:

$$K_{oc*} = \frac{D_{1*}^*}{D_*^*};$$

$$K_{\text{диф}} = \frac{D_{\text{д}}^*}{D_*^*};$$

$$D_{1*}^* = \begin{vmatrix} D_{01}^* & D_{13*} \\ D_{03}^* & D_{33*} \end{vmatrix} = D_{01}^* D_{33*} - D_{03}^* D_{13*},$$

$$D_{\text{д}}^* = \begin{vmatrix} D_{11*} & D_{01}^* \\ D_{13*} & D_{03}^* \end{vmatrix} = D_{11*} D_{03}^* - D_{13*} D_{01}^*;$$

$$D_*^* = \begin{vmatrix} D_{11*} & D_{13*} \\ D_{13*} & D_{33*} \end{vmatrix} = D_{11*} D_{33*} - D_{13*}^2.$$

მთლიანი ψ სისტემის გადამცემი ფუნქცია შეგვიძლია ჩავწეროთ შემდეგი სახით:

$$W_y(s) = \frac{b_2 s^2 + b_1 s + b_0}{a_7 s^7 + a_6 s^6 + a_5 s^5 + a_4 s^4 + a_3 s^3 + a_2 s^2 + a_1 s + a_0}. \quad (23)$$

გამოსაკვლევ $\psi(s)$ სისტემაში მდგრადობის პირობის შემოტანის პროცედურის რეალიზაციისათვის განვიხილავთ სისტემის მახასიათებელ განტოლებას.

იმის გამო, რომ საქმე გვაქვს მე-7-ე ხარისხის მახასიათებელ განტოლებასთან მდგრადობის სინთეზისათვის ვსარგებლობთ უწყვეტი

სტაციონარული სისტემის დინამიკური მდგრადობის ანალიზის ცნობილი მეთოდიკით.

აღნიშნული მეთოდიკის თანახმად განიხილავენ დამხმარე პარამეტრებს λ_i , რომლებიც გამოისახებიან დამოკიდებულებებით:

$$\lambda_i = a_{i-1}a_{i+2}/a_i a_{i+1}, \quad i = 2, n-2.$$

ჩვენ შემთხვევაში გვექნება:

$$\lambda_1 = a_0 a_3 / a_1 a_2;$$

$$\lambda_2 = a_1 a_4 / a_2 a_3; \quad (24)$$

$$\lambda_3 = a_2 a_5 / a_3 a_4; \quad (25)$$

$$\lambda_4 = a_3 a_6 / a_4 a_5; \quad (26)$$

$$\lambda_5 = a_4 a_7 / a_5 a_6. \quad (27)$$

საკვლევი სისტემის მდგრადობისათვის საკმარისია, რომ სრულდებოდეს პირობა:

$$\lambda_i < \lambda^* = 0,465, \quad \forall i = \overline{1, n-2};$$

$$\lambda_i + \lambda_{i+1} < \lambda^{**} = 0,89, \quad \forall i = \overline{1, n-3};$$

$$\lambda_i + \lambda_{i+1} + \lambda_{i+2} < 1, \quad \forall i = \overline{1, n-4};$$

$$\lambda_i < (1 - \lambda_{i-1})(1 - \lambda_{i+1}), \quad \forall i = \overline{2, n-3}.$$

გარდამავალი პროცესების აგებისათვის საკვლევ სისტემაში ვიყენებთ გამომავალი ψ კოორდინატის გამოსახულებას, რომელიც ჩაიწერება ზემოთ მოყვანილი გარდამავალი ფუნქციის საფუძველზე.

გადავდივართ ამპლიტუდურ-ფაზურ მახასიათებლებზე, რისთვისაც ψ კოორდინატის გამოსახულებაში s ოპერატორის ნაცვლად შემოგვაქვს არგუმენტი $j\omega$, სადაც ω – წრიული სიხშირე და j – წარმოსახვითი ერთიანია. ვიღებთ ამპლიტუდურ ფაზურ მახასიათებელს.

α -სისტემის სინთეზისათვის ვიყენებთ გადამცემ ფუნქციას

$$W_\alpha(s) = \frac{1}{a_{\alpha 2} s^2 + a_{\alpha 1} s + 1} = \frac{\alpha(s)}{\varphi(s)}. \quad (28)$$

მიღებული გადამცემი ფუნქცია წარმოადგენს რხევადი რგოლის გადამცემ ფუნქციას. ასეთი სისტემის პარამეტრების შერჩევა არ წარმოადგენს

სირთულეს. განხილვადი სისტემის პარამეტრებს ვირჩევთ სასურველი პროცესის მიხედვით, რომელთა პარამეტრებს გააჩნიათ შემდეგი მნიშვნელობები

$$T_\alpha = \sqrt[3]{\alpha_{\alpha 12}} = 0,135c ;$$

$$\xi_2 = \frac{a_{\alpha 1}}{2T} = 0,7 \text{ და } K_{oc} = 1.$$

ψ -სისტემის სინთეზის პროცედურების ჩატარებისათვის სასურველი პროცესის სახით შერჩეული იქნა ფუნქცია

$$\psi^0(t) = \frac{A_0 \left(\frac{a_{x1}}{2} z_m p + 1 \right)}{a_{x2} z_m^2 p^2 + a_{x1} z_m + 1} = \frac{M^0(p)}{N^0(p)} = A_0 - A_1 e^{-\frac{u_1}{z_m}} + A_2 e^{-\frac{u_2}{z_m}}, \quad (29)$$

სადაც p -კარსონის ოპერატორი, z_m დროის მასშტაბური კოეფიციენტი, $A_1 = 0,5A_0$.

ამასთან ერთად საკვლევ სისტემასთან მიმართებაში არარეგულირებად პარამეტრებად შერჩეული იქნა: $K_{z3} = 0,100 \text{ წმ}^{-1}$, $T_{ok} = 9,81 \text{ წმ}$, $T_{1k} = 3,31 \text{ წმ}$, $T_2 = 2,86 \text{ წმ}$.

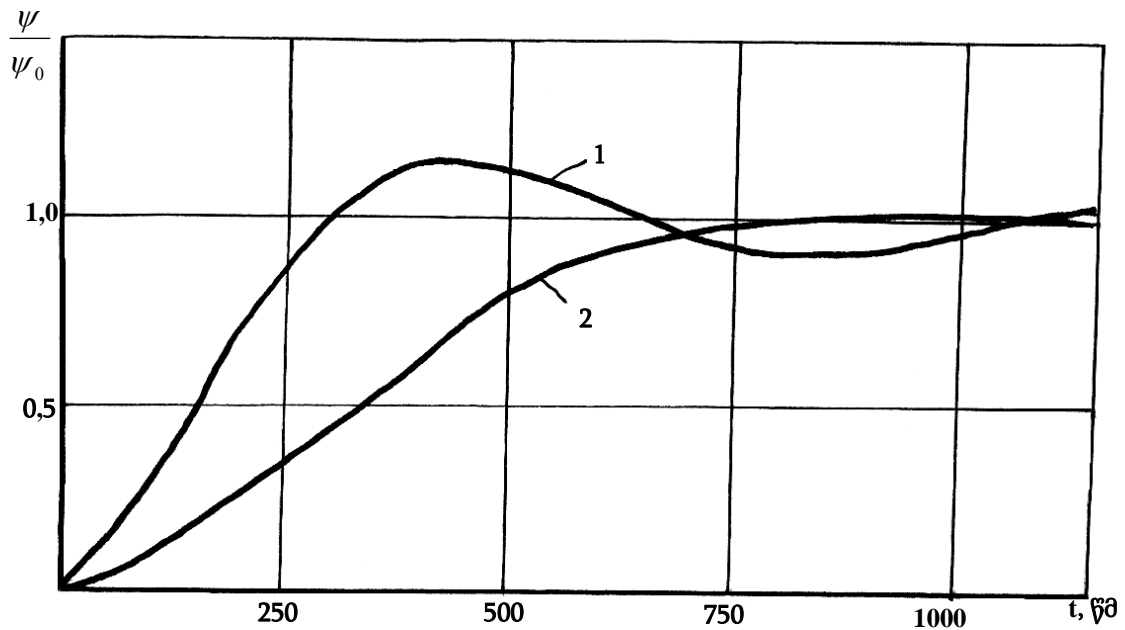
ψ -სისტემის სინთეზის შემოთავაზებული მეთოდის აპრობაციისათვის ვატარებთ კონკრეტულ საანგარიშო გამოკვლევებს. ამისათვის სასურველი პროცესის საწყის პარამეტრებად იქნა შერჩეული $u_1 = 0,006 \frac{1}{\text{წმ}}$ და $u_1 = 0,012 \frac{1}{\text{წმ}}$. ამასთან ერთად თვით საკვლევ სისტემასთან მიმართებაში

ჰიდრორგოლის არარეგულირებადი პარამეტრების მნიშვნელობები იქნა შერჩეული: $K_{z3} = 0,104 \text{ წმ}^{-1}$, $T_{ok} = 9,81 \text{ წმ}$, $T_1 = 3,31 \text{ წმ}$, $T_2 = 2,86 \text{ წმ}$.

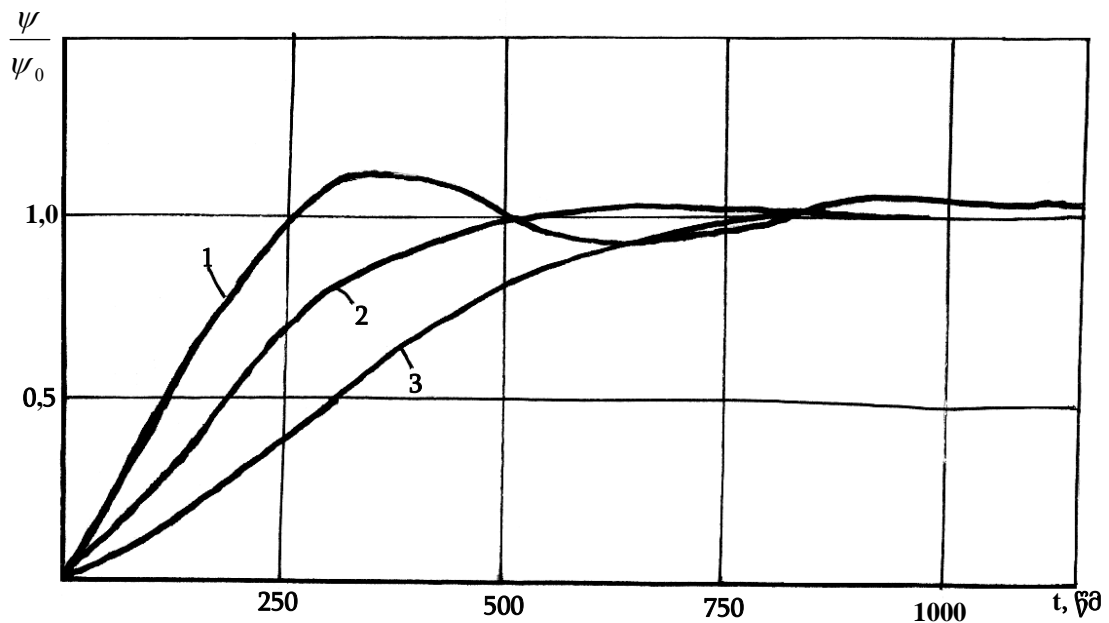
ჩატარებული საანგარიშო გამოკვლევების შედეგად მიღებული იქნა სინთეზირებადი პარამეტრების მნიშვნელობები ფუნქციონალურ კავშირში z_m დროის მასშტაბურ კოეფიციენტთან.

თვით გარდამავალი პროცესების მრუდები კი მოყვანილია ნახ. 3 და 4. ნახ. 3 შეესაბამება 1 ვარიანტის საანგარიშო სქემას ნახ. 4 კი – მეორე სქემას. ნახ. 3 მრუდები 1, 2 და 3 შეესაბამებიან მასშტაბური კოეფიციენტის

მნიშვნელობებს: 0,8; 1,0; 1,2. ნახაზზე 17 ანალოგიურად მრუდი 1 შეესაბამება $z_m = 0,8$ და მრუდი 2 – კი $z_m = 1,2$.



ნახ. 3. გარდამავალი პროცესების მრუდები



ნახ. 4. გარდამავალი პროცესების მრუდები

დინამიკური მდგრადობის ანალიზთან დაკავშირებით შესაბამისად ნახ. 4 და 5 მოყვანილი პროცესებისათვის, როდესაც $z_m = 0,6$ კოეფიციენტების λ_i თანამიმდევრობები. შესაბამისად აისახებიან მნიშვნელობებით:

$$\lambda_5 = 0,39, \lambda_4 = 0,34, \lambda_3 = 0,31, \lambda_2 = 0,38, \lambda_1 = 0,454$$

და

$$\lambda_5 = 0,41, \lambda_4 = 0,36, \lambda_3 = 0,29, \lambda_2 = 0,31, \lambda_1 = 0,429.$$

იმ შემთხვევისათვის კი როდესაც $z_m = 1,0$, გვაქვს თანამიმდევრობები:

$$\lambda_5 = 0,21, \lambda_4 = 0,23, \lambda_3 = 0,199, \lambda_2 = 0,218, \lambda_1 = 0,311$$

და

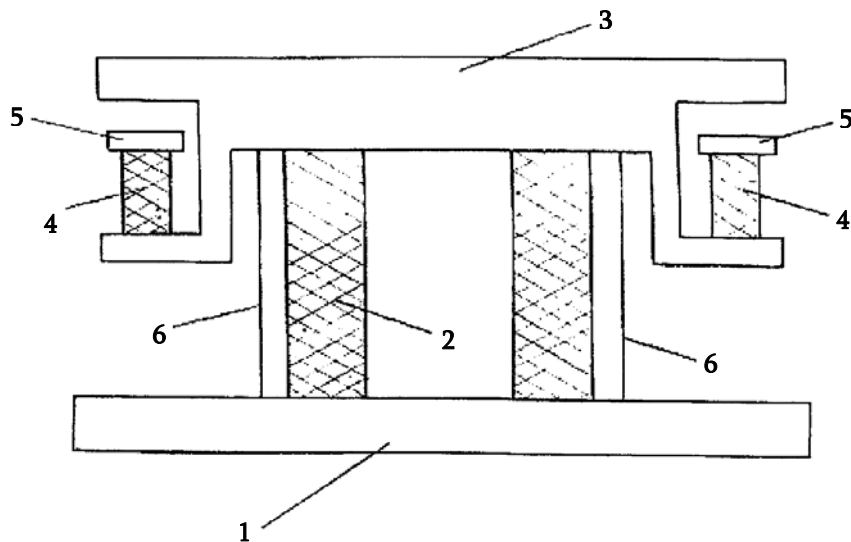
$$\lambda_5 = 0,29, \lambda_4 = 0,26, \lambda_3 = 0,23, \lambda_2 = 0,265, \lambda_1 = 0,298.$$

მოყვანილი მონაცემები მიგვითითებენ სისტემათა მდგრადობაზე.

ჩატარებული იქნა გემების ვიბრაციული კვლევა, რომელმაც გვიჩვენა, რომ გემების სხვადასხვა ფუნქციონალურ ნაწილებში საქმე გვაქვს ვიბრაციულ ზემოქმედებათა ფართო სპექტრებთან, რომლებშიც გამოკვეთილია როგორც მაღალი, აგრეთვე საშუალო და დაბალი სიხშირის ვიბრაციული მოძრაობები.

შემუშავებული იქნა ვიბროდამცავი მოწყობილობების სქემები, რომლებიც საშუალებას იძლევიან ავიცილოთ ვიბროსიჩქარეთა დაუშვებელი მნიშვნელობები, როგორც მაღალ, აგრეთვე დაბალ სიხშირეებზე.

ნახ. 5 მოყვანილია ვიბროსაიზოლაციო მოწყობილობის სქემა.



ნახ. 5. ვიბროსაიზოლაციო მოწყობილობის სქემა

ეს ვიბროსაიზოლაციო მოწყობილობა შეიცავს საყრდენ ფილას 1, მასზე დაყენებულ დრეკად ვიბროსაიზოლატორებს 2 და ვიბროსაიზოლაციო

ბაქანს 3. ბაქნის გვერდებს პერიმეტრზე აქვს ამონალები, რომლის ქვედა თაროზე, ცენტრიდან თანაბარი დაშორებით დამონტაჟებულია დამატებითი ვიბროიზოლატორებზე 4 დაყენებულია ვიბრო-ჩამხშობი ფილა 5. საყრდენი ფილა და ვიბროსაიზოლაციო ბაქანი ერთმანეთთან დაკავშირებულია გვარლებით 6.

მოწყობილობა მუშაობს შემდეგნაირად:

ვიბროსაიზოლაციო ბაქანზე 3 ადამიანის დგომის დროს ბაქანი გადაადგილდება ვერტიკალურად, რაც იწვევს ვიბროიზოლატორების 2 შეკუმშვას, ხოლო დამატებით ვიბროიზოლატორებზე 4 დაყენებული ფილა 5 იწევს თავისუფალ რხევას, რაც ანეიტრალებს ვერტიკალურ რხევებს. ბაქნის განთავისუფლების შემდეგ ვიბროიზოლატორები ბრუნდება საწყის პოზიციაში გადაადგილების შემზღუდავი გვარლების საშუალებით.

ზემოაღნიშნულთან ერთად შემუშავებულია – დინამიკური ჩამქრობებიანი ვიბროდამცავი ბაქნის შემდგომი სქემა (ნახ. 7).

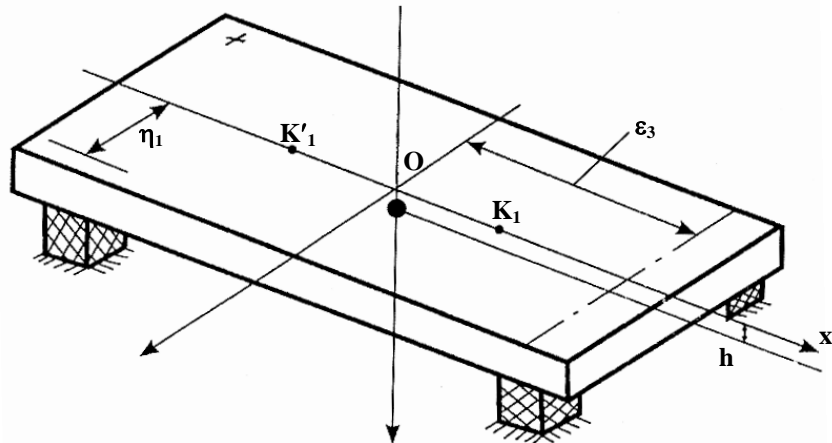
ამ ნახაზზე მოყვანილია სივრცითი მოძრაობების დინამიკის მათემატიკური მოდელის აგებისათვის საჭირო საანგარიშო სქემის ელემენტები შევსებული საკვლევი ვიბროდამცავი ბაქნის პრინციპული სტრუქტურული სქემა.

აქ: 1 – საყრდენ ფილასა და საყრდენ ზედაპირს შორის დაყენებული დრეკადი 2 ელემენტებით აღჭურვილი საყრდენი ფილა 1 (ნახ. 6, ა); 3 და 3' – დრეკადი 4 და 4' (ნახ. 6, ბ); m_0 – საყრდენის ფილის მასა; M – ოპერატორის მასა; m_1' და m_1'' – ორჩამქრობიანი სქემის ჩამქრობების მასაში.

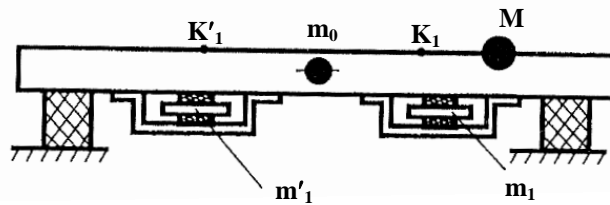
m_1 მასის ერთი ჩამქრობის მონტაჟის შემთხვევისას ეს მასა იქნება შერწყმული საყრდენ ფილასთან წერტილში O , ე.ი. გვექნება ჩამქრობის კვანძის კავშირი საყრდენ ფილასთან ანალოგიური ნაშრომში მოყვანილ სქემასთან.

ვიბრაციული მოძრაობების მათემატიკური მოდელის აგებისათვის განხილვაში შემოტანილია კოორდინატთა ორი სისტემა:

ა)



ბ)



ნახ. 6. ვიბროსაიზოლაციო მოწყობილობის სქემა

1) უძრავი სისტემა $Ox_0y_0z_0$, რომლის საწყისი წერტილი ემთხვევა საყრდენი ფილის სიმძიმის ცენტრს მთლიანი სისტემის სტატიკურ მდგომარეობაში და Ox_0z სიბრტყე კიდევ ემთხვევა საყრდენი ფილის სიმეტრიის ცენტრს. ღერძი z_0 – ვერტიკალურია;

2) საყრდენი ფილის და დინამიკური ჩამქრობების მასებთან ხისტად დაკავშირებული მოძრავი სისტემები $\varepsilon\eta\xi$, $\varepsilon_1\eta_1\xi_1$, $\varepsilon_{11}, \eta_{11}, \xi_{11}$, რომელთა საწყისები მოძრაობის დროს ყოველთვის ემთხვევიან ფილის სიმძიმის ცენტრს, ღერძების მიმართულებები კი შერჩეულია ისე, რომ წონასწორულ მდგომარეობაში ისინი შესაბამისად ემთხვევიან x_0, y_0 და z_0 ღერძებს.

განსახილველ სისტემას გააჩნია ექვსი თავისუფლების ხარისხი. განზოგადოებულ კოორდინატებად შერჩეულია საყრდენი ფილის, x, y, z კოორდინატები და α, β და γ ამ ფილის მობრუნების კუთხეები ε, β და ξ კუთხეების მიმართ. ბრუნვის დადებით მიმართულებად მიღებულია საათის ისრის საწინააღმდეგო მოძრაობა.

განსახილველი სისტემის კინეტიკური ენერგია კენიგის თეორემის თანახმად გამოისახება ასე

$$T = \frac{1}{2} m_0 \vec{V}_{m_0}^{(0)2} + \frac{1}{2} M \vec{V}_M^{(0)2} + \frac{1}{2} m_1 \vec{V}_{m_1}^{(0)2} + \frac{1}{2} m_0'' \vec{V}_{m_{11}}^{(0)2} + \frac{1}{2} \bar{\Omega}_{nz} \{I_{nz}\} \bar{\Omega}_{nz} + \frac{1}{2} \{I_M\} \bar{\Omega}_M^2 + \frac{1}{2} \{I_{m_1}\} \bar{\Omega}_{m_1}^2 + \frac{1}{2} \{I_{m_{11}}\} \{\bar{\Omega}_{m_{11}}\}^2. \quad (30)$$

სადაც $\vec{V}^{(0)}$, $\vec{V}_M^{(0)}$, $\vec{V}_{m_1}^{(0)}$, $\vec{V}_{m_{11}}^{(0)}$ – შესაბამისი მასათა ცენტრების აბსოლუტურ სიჩქარეთა ვექტორ-სვეტები; $\bar{\Omega}_{nz}$, $\bar{\Omega}_M$, $\bar{\Omega}_{m_1}$ და $\bar{\Omega}_{m_{11}}$ -კუთხური სიჩქარეების ვექტორ-სვეტები კოორდინატთა მოძრავ სვეტებში; $\{I_M\}$, $\{I_{m_1}\}$ და $\{I_{m_{11}}\}$ – ინერციის მომენტების მატრიცები; $\{I_{nz}\}$ – საყრდენი ფილის ინერციის მომენტი ოპერატორის მასასთან ერთად.

ვექტორები $\vec{V}_{m_0}^{(0)}$, $\vec{V}_M^{(0)}$, $\vec{V}_{m_1}^{(0)}$ და $\vec{V}_{m_{11}}^{(0)}$ განისაზღვრებიან შესაბამისი მასების კოორდინატთა აბსოლუტურ სისტემაში მდებარეობათა განმსაზღვრელი რადიუს-ვექტორების $\vec{r}_{m_0}^{(0)}$, $\vec{r}_M^{(0)}$, $\vec{r}_{m_1}^{(0)}$ და $\vec{r}_{m_{11}}^{(0)}$ დროში დიფერენცირებით.

მოცემული დამოკიდებულებების გამოყენებით შემუშავებულია ვიბროდამცავი მოწყობილობების დინამიკის მათემატიკური მოდელები, რომელთა გამოყენებით ხორციელდება შემუშავებულ სისტემათა ოპტიმიზაციური გაანგარიშება.

ნაშრომში აღნიშნულია ელექტროჰიდრავლიკური მოთვალთვალე ამპრავებით აღჭურვილი აქტიური ვიბროდამცავი სისტემების მაღალი ეფექტურობა დაბალი სიხშირის რხევების ჩახშობასთან მიმართებაში.

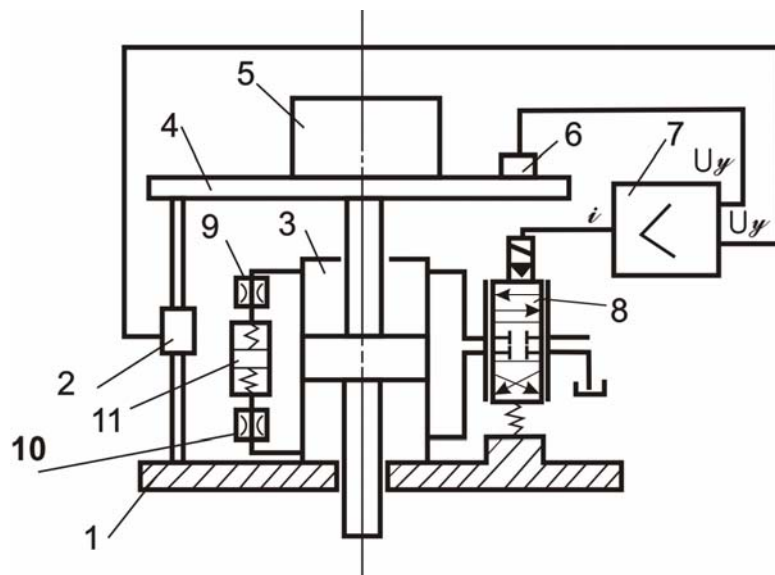
მოთვალთვალე ამპრავების და მთლიანობაში ვიბროდამცავი სისტემების ეფექტურობა მნიშვნელოვან წილად დაკავშირებულია აღნიშნული ამპრავების მდგრადობასთან, მგრძნობიარობასთან და სწრაფქმედებასთან.

ასეთი მოთვალთვალე ამპრავების დინამიკური თვისებების სრულყოფა შეიძლება მიღწეული იქნას მდგრადობის ხარისხის ამაღლებით მმართველი მკვეთარების მცირე გახსნილობისას. ამ მიზნით ჰიდრავლიკური ნაწილის სტრუქტურაში შესაძლოა გამოყენებული იქნას ამპრავების სქემა

მართვის არაწრფივი კანონით, რომელიც მოიცავს ორ ოთხხვერელიან მკვეთარას დამატებით ჰიდროხაზს და მასში ორ მიმდევრობით ჩართულ დროსელს.

აღნიშნული ამოცანის ამოხსნის მეორე მიდგომას მიეკუთვნება მაკორექტირებელი ჯაჭვის რეალიზაცია ჰიდრავლიკური წინაღობის და დრეკადი დგუშის სახით, რომელიც უზრუნველყოფს საჭირო დემპფირებას მმართველი მკვეთარას მცირე გახსნილობებისას.

ნახ. 7 მოყვანილია ვიბროდაცვის მართვის ელექტროჰიდრავლიკური სისტემა, რომლის ჰიდრავლიკურ ნაწილში შემოტანილია მაკორექტირებელი ჯაჭვი. ეს ჯაჭვი მოიცავს: ფუძეზე 1 დამაგრებულ ჰიდროცილინდრს 3; ელექტროჰიდრავლიკურ მამლიერებელ-გარდამქმნელს 8; ელექტრულ მამლიერებელ-შემაჯამებელს 7; კარკასზე 4 დაყენებულ აქსელერომეტრს 6; მდებარეობის გადამწოდს 2 და მაკორექტირებელ მოწყობილობებს – დგუში 11, დროსელები 9, 10 და ზამბარა 12, ყველა ეს ელემენტები მიერთებულია შემსრულებელ ჰიდროცილინდრთან 3 დამატებითი ჰიდროხაზების მეშვეობით. კარკასზე 4 განთავსებულია ვიბროდაცვის ობიექტი 5.



ნახ. 7. აქტიური ვიბროდამცავი მოწყობილობა

ჰიდრავლიკურ ნაწილში ნულოვანი საწყისი გახსნილობის მქონე ოთხხვერელიანი მკვეთარების შემცველი ელექტროჰიდრავლიკური მოთვალთვალე სისტემის დინამიკა აღიწერება განტოლებით:

$$m\ddot{x} + h\dot{x} + k_{\text{жс}}x = k_{\text{жс}}(\mathcal{F}(p_n; p; \varepsilon) - K_F \dot{x}_1), \quad (31)$$

სადაც

$$K_F = k_{\text{жс}} \frac{F_1}{F};$$

$(\mathcal{F}(p_n; p; \varepsilon))$ – ოთხხვერიანი მმართველი მკვეთარას სახარჯო მახასიათებლით განსაზღვრული არაწრფივი დამოკიდებულება;

F და F_1 – შესაბამისად ჰიდროცილინდრების 3 და 11 დგუშების მუშა ზედაპირების ფართობი;

$k_{\text{жс}}$ – ჰიდროსისტემის სიხისტის დაყვანილი კოეფიციენტი;

m – ჰიდროცილინდრზე 3 დაყვანილი მოწყობილობის მოძრავი ნაწილების მასა;

h – ბლანტი დემპფირების კოეფიციენტი;

p – წნევათა სხვაობა ჰიდროცილინდრში 3;

ε – მმართველი მკვეთარას მიმდინარე გახსნილობა;

p_n – სისტემასთან მიყვანილი წნევა;

x_1 – ჰიდროცილინდრის 11 დგუშის კოორდინატი;

x – ჰიდროცილინდრის 3 დგუშის კოორდინატი.

არაწრფივი დამოკიდებულება $(\mathcal{F}(p_n; p; \varepsilon))$ შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ გაწრფივებული ფორმით

$$(\mathcal{F}(p_n; p; \varepsilon)) \approx K_{v\varepsilon} \varepsilon - K_{vp} p;$$

სადაც $K_{v\varepsilon} = \frac{k_{Q\varepsilon}}{F};$

$$K_{vp} = \frac{k_{Qp}}{F},$$

$k_{Q\varepsilon}$ და k_{Qp} – აპროქსიმაციული მახასიათებლები.

კოორდინატების $x(t)$ და $\dot{x}(t)$ შორის ურთიერთკავშირის განსაზღვრისათვის ვწერთ მაკორექტირებელ მოწყობილობის 11 დგუშზე მოდებულ ძალთა წონასწორობის განტოლებას

$$F_1(P - 2p_{\theta p}) \equiv m_k \ddot{x}_1 + h_k \dot{x}_1 + k_{np} x_1.$$

ვითვალისწინებთ რა გამოსახულებებს:

$$P = m\ddot{x} + h\dot{x} + |P_{\tau p}| \operatorname{sign}\dot{x}$$

და

$$p_{\phi p} = k_{\phi p} \dot{x}_1,$$

მივიღებთ

$$m_k \ddot{x}_1 + (2k_{\phi p} + k_k) \dot{x}_1 + k_{np} x_1 = m\ddot{x} + h\dot{x} + |P_{\tau p}| \operatorname{sign}\dot{x}. \quad (32)$$

აქ: m_k – ჰიდროცილინდრის 11 დგუმის ჭოკზე დაყვანილი მოძრავი ნაწილების მასა;

k_{np} – ზამზარას სიხისტე;

$k_{\phi p}$ – დროსელების 9 და 10 ხარჯითი კოეფიციენტი;

k_k – ბლანტი ხახუნის კოეფიციენტი;

$P_{\tau p}$ – ჰიდროცილინდრის 3 დგუმზე დაყვანილი ხახუნის ძალა;

$P_{\phi p}$ – წნევათა სხვაობა დროსელში.

მნიშვნელობის m_k , h_k და h და აგრეთვე ხახუნის ძალის უგულველყოფით დამოკიდებულება შეგვიძლია ჩავწეროთ ასე:

$$(T_k s + 1)x_1(s) = K_m s^2 \cdot x(s), \quad (33)$$

სადაც

$$T_k = \frac{2k_{\phi p}}{k_{np}};$$

$$K_m = \frac{m}{k_{np}};$$

s – ლაპლასის ოპერატორი.

განტოლებათა (32)–ის გაწრფივებული ფორმის გამოყენების სახით

$$(ms^3 + hs^2 + k_{\text{жс}}s)x(s) = k_{\text{жс}}K_{\text{v}\varepsilon}\varepsilon - k_{\text{жс}}K_{\text{v}\rho}(B_2s^2 + B_1s)x(s) - K_F s x_1(s) \quad (34)$$

სისტემის ჰიდრავლიკური ნაწილის დინამიკის განტოლება იღებს სახეს:

$$(A_4s^4 + A_3s^3 + A_2s^2 + A_1s)x(s) = k_{\text{жс}}K_{\text{v}\varepsilon}(T_k s + 1)\varepsilon(s), \quad (34)$$

სადაც:

$$A_4 = mT_k;$$

$$A_3 = m + a_2T_k + K_m k_{\text{жс}}K_{\text{v}\varepsilon};$$

$$A_2 = a_2 + T_k a_k; \quad a_2 = h; \quad a_1 = k_{\text{жс}}.$$

ჩატარებული კვლევების შედეგად გამოვლენილია ძირითადი კანონზომიერებები და აგებულია შემოთავაზებული მოთვალთვალე ამძრავის ჰიდრავლიკური ნაწილის ორიგინალური სქემის შემცველი ვიბროდამცავი მოწყობილობის დინამიკის მათემატიკური მოდელი.

დასკვნები

1. გემების მდებარეობისა და კურსის მართვის თანამედროვე ავტომატიზებული სისტემების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ უკანასკნელებში ფართო გამოყენება ჰპოვეს რთული სტრუქტურის მქონე მრავალრეჟიმიანმა მრავალკონტურიანმა ელექტროჰიდრავლიკურმა ამძრავთა სისტემებმა. ასეთი სისტემების გაანგარიშებისა და პროექტირების საკითხები მათი პარამეტრული და სტრუქტურული სინთეზის თვალსაზრისით წარმოადგენენ აქტუალურ სამეცნიერო-ტექნიკურ ამოცანას.
2. საკვლევი რთული მრავალკონტურიანი სისტემების ცალკეული ელემენტების სტრუქტურული აგების, მათი თავისებურებების, დინამიკური მოდელირების, ანალიზისა და სინთეზის საკითხების გადაჭრის თანამედროვე მდგომარეობის ანალიზი გვიჩვენებს, რომ ამ სისტემათა პროექტირებისა და ექსპლუატაციის ეფექტურობის ამაღლების თვალსაზრისით არსებული მათემატიკური მოდელები, ანალიზისა და დინამიკური სინთეზის მეთოდები და მეთოდიკები მოითხოვენ მათ შემდგომ განვითარებას.
3. ცალკეული ელემენტების და მთლიანობაში სისტემის მათემატიკური მოდელების ანალიზის საფუძველზე დასაბუთებულია დაქვემდებარებული რეგულირების სქემის გამოყენებაზე დაფუძნებული სინთეზის მეთოდის აგების მიზანშეწონილება, რომელიც ითვალისწინებს სინთეზის მიმდევრობითი პროცედურების რეალიზაციას სისტემის ლოკალური (მდებარეობის მიხედვით ჩაკეტილი ცალკეული ნაწილის) და გლობალური (მთლიანი სისტემის) მოდელებთან მიმართებაში.
4. ნაჩვენებია, რომ სინთეზირებადი პარამეტრების არსებობა მრავალკონტურიანი სისტემის სტრუქტურული სქემის მთელ რიგ

პირდაპირ და უკუკონტურებში განაპირობებს რეგულირებადი კოორდინატების გამოსახულებების რთულ დამოკიდებულებებს საძიებელი კოეფიციენტების მიმართ. შემოთავაზებულია გარდაქმნილი სტრუქტურული სქემები, რომელთა მეშვეობით რეგულირებადი პარამეტრების გამოსახულებები დაიყვანებიან წრფივ დამოკიდებულე-ბამდე საძიებელ პარამეტრებთან. ეს მნიშვნელოვნად ამარტივებს ინტეგრალურ მიახლოებათა რეალიზაციას წარმოსახვით სიხშირეთა მახასიათებლების გამოყენებით სინთეზის მეთოდში მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით. შემოთავაზებულია ცალკეული მეოდიკებისა და პროცედურების თანამიმდევრობის ზოგადი სინთეზის განხილვად მეთოდში.

5. ლაპლასის (ან კარსონის) გარდაქმნებში ჩაწერილი რეგულირებადი კოორდინატების გამოსახულებების ხარისხობრივი ანალიზის საფუძველზე დასაბუთებულია აგების შესაძლებლობა და აგებულია რეგულირებადი და რეალიზაციისათვის სასურველი კოორდინატების მიახლოებითი ტოლობის მათემატიკური მოდელები ცალკეული მდგენელების ჯამის სახით, რომლებშიც წრფივი მამრავლების (კოეფიციენტების) სახით წარმოდგენილია განსახილველი სისტემის სინთეზირებადი კრიტერიული პარამეტრები. ამის საფუძველზე განხორციელებულია მრავალპარამეტრული სინთეზის პროცედურათა მიმდევრობითი რეალიზაცია შემდეგი სქემით: საძიებელ პარამეტრებთან მიმართებაში წრფივი პირობითი და შემდგომ ნორმალური განტოლებების სისტემების შედგენა, დინამიკური მდგრადობის პირობის შემდგომი შემოტანა სასურველი კოორდინატების გამოსახულებებში არგუმენტების სახით არსებული დროის მასშტაბური კოეფიციენტის ვარიაციით.
6. მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით სინთეზის თეორიის შემუშავებული ზოგადი სქემის და აგრეთვე რეგულირებადი კოორდინატების სასურველებთან ინტეგრალური მიახლოების შემადგენელი მათემატიკური მოდელების და პროცედურების

გამოყენებით იმავდროული მდგრადობის პირობის შემოტანით აგებულია პარამეტრული სინთეზის ამოცანების ამოხსნის ალგორითმები.

საკვლევი მრავალკონტურიანი სისტემების მოცემული გარდამავალი პროცესების მიხედვით შემუშავებული სინთეზის თეორიის გარკვეული კანონზომიერებების ეფექტურობის და უტყუარობის გამოვლენისათვის ნაშრომში რეალიზებულია საკვლევი ელექტროჰიდრავლიკური სისტემის საანგარიშო გამოკვლევების გარკვეული წრე.

გაანგარიშების შედეგებმა გვიჩვენეს, რომ შემუშავებული თეორია საშუალებას იძლევა ჩავატაროთ სინთეზირებადი პარამეტრების მიზანდასახული შერჩევა, მიღებული შედეგების რაოდენობრივი და ხარისხობრივი თვალსაზრისით კი – გარდამავალი პროცესები სინთეზირებულ სისტემაში საკმაოდ ახლოს არიან სასურველ პროცესებთან.

7. წარმოებაში და ტრანსპორტზე ადამიანი-ოპერატორის ვიბრაციიდან დაცვის საკითხის ანალიზიდან გამომდინარეობს, რომ ვიბროდაცვის ცნობილი ხერხებისა და საშუალებების შეთანწყობით, დინამიკური ანალიზისა და სინთეზის მეთოდების სწორი გამოყენებით ვიბრაციულ ზემოქმედებათა წინასწარ გამოვლენილ სურათებთან შესაბამისობაში შესაძლოა ეფექტური მოწყობილობების შემუშავება.

თავის მხრივ საზღვაო გემებზე ჩატარებული ვიბრაციული გაზომვების ანალიზი გვიჩვენებს, რომ მათი სპექტრი არის ფართოზოლიანი და გემის გარკვეულ სათავსოებში ჭარბობენ დაბალი სიხშირის რხევები.

8. გემებზე აღძრული ფართოზოლიანი ვიბრაციული ზემოქმედებების ვიბროიზოლაციის მიმართულებით ჩამოყალიბებულია მიზანშეწონილობა და შემოთავაზებულია პასიური და დინამიკური ჩაქრობის სქემების შეთანწყობაზე აგებული ორიგინალური სახის ვიბროსაიზოლაციო მოწყობილობები.

ვიბრაციულ მოძრაობათა დინამიკაში ფარდობით მოძრაობათა კინემატიკის ხარისხობრივი ანალიზის საფუძველზე შემოთავაზებულია განზოგადოებულ კოორდინატთა შერჩევის სქემა და აგებულია

დამყარებული რხევითი მოძრაობების დინამიკის მათემატიკური მოდელები, გააზრებულია შემდგომი კვლევების ამოცანები.

9. ნაჩვენებია, რომ ოპერატორის ვიბროდაცვის მაღალი ხარისხის მიღებისათვის ეფექტურ საშუალებას დაბალ-სიხშირულ შემაშფოთებელ ზემოქმედებებთან მიმართებაში წარმოადგენენ ელექტროჰიდრავლიკური მოთვალთვალე სისტემებით აღჭურვილი ვიბროდამცავი მოწყობილობები. დინამიკური მახასიათებლების შემდგომი ამალღების მიზნით შემოთავაზებულია ორიგინალური სახის მოთვალთვალე სისტემის შემცველი ვიბროდამცავი მოწყობილობის სქემა. კვლევის შედეგად მიღებულია შემუშავებული სისტემის მათემატიკური მოდელი, ზოგადი სახით ჩამოყალიბებულია შემდგომი კვლევების მიმართულება.

დისერტაციის ძირითადი შინაარსი გამოქვეყნებულია შემდეგ შრომებში:

1. Мchedlishvili Т.Ф., Диасамидзе Р.А., Амколадзе Х.М. К вопросу разработки активной виброзащитной системы // Транспорт и машиностроение, Тбилиси, № 4(19), 2010, с. 12-16.
2. Т. Mchedlishvili, V. Kiria, K. Amkoladze, R. Diasamidze. On studing of dynamics of electro Hydraulio control systems curse and Position of the Vessel // Problems of mechanics, Tbilisi, N 4(45), 2011. p. 114-117.
3. Т. Mchedlishvili, R. Diasamidze, Kh. Amkoladze, A. Doasamidze. Multidimensional Model of dynamics of vobrotective Platform vith dynamic Supressors // Problems of mechanics, Tbilisi, N 4(41), 2010. p. 71-83.
4. Мchedlishvili Т.Ф., Суламанидзе Н.Д., Диасамидзе А.А., Диасамидзе Р.А. Некоторые актуальные задачи и технические решения по защите человека-оператора от вибрации и шума. Тбилиси, Комитет ИФТоММА Грузии, 2009. – 270 с.
5. Диасамидзе Р.А., Тавадзе А.Т., Мchedlishvili Т.Ф., Суламанидзе Н.Д. К синтезу электрогидравлической системы управления курсом судна // Транспорт, Тбилиси, № 3-4(47-48), 2012, с. 14-15.

6. T. Mchedlishvili, R. Diasamidze, I. Romanadze, A. Diasamidze. On issue of parametric synthesis of vessel course control system // Problems of mechanics, Tbilisi, N 4(53), 2013. pp. 82-86.
7. თ. მჭედლიშვილი, ზ. ბალამწარაშვილი, ხ. ამყოლაძე, რ. დიასამიძე, მ. ნარიმანიშვილი, ა. დიასამიძე. ვიბროსაიზოლაციო მოწყობილობა. გამოგონებაზე პატენტის აღწერილობა. №AP 2010 11758, თბილისი, (45), 2012, 11–12, № 21.

Abstract

Vessel course and location control systems that perform a main objective of navigation, connected with given task qualitative criteria for precise and safe navigation, in turn among the vessels automated drives most represents complex multi-contour systems.

The review of drives mentioned systems development and related to this research works demonstrates the urgency of carrying in them analysis and synthesis methods and methodologies of dynamic processes to improve the efficiency of scientific - technical tasks.

On the other hand the vessel movements control processes certainly are defined due effective actions of participating in control personnel. The quality of these activities, in turn was in the functional relation with external impacts on person.

Extremely high is the vibration effects on working on marine vessels people. Therefore, the protection of working on the ship person - operator from detrimental effect of vibration represents an important and urgent problem.

The article aims the development of vessel's course and location control electro-hydraulic systems (drive follow-up systems) models, new layouts, dynamic synthesis methods and methodologies for adjusting complex systems accordingly of preliminary given transition processes based on the application of synthesis known methods and are directed to the studied systems of quality and efficiency. The development of vibroprotective equipment new efficient layouts, structures, and their dynamic research methods to ensure increasing in the quality of protection of working on the vessel person - operator.

To achieve these objectives in the research tasks are included:

- The analysis of current state of drive systems under study, development of their dynamic analysis and synthesis of methods and methodologies and formation of further research aims;
- The construction of studied multi-contour systems mathematical models as a component of synthesis developed method;
- Revealing of developed method main regularities and construction of synthesis algorithms accordingly of given transition processes;
- The research of specific follow-up systems, the revealing of quality and efficiency of developed methods and systems;
- The review of related to vibroprotective equipment design principles and their dynamic research methods;
- The analysis on vessels Georgian of Maritime Navigation vessels measured vibration spectrum;
- The revealing of known vibration insulation devices features and accordingly of vibration measured parameters the development of new effective schemes, structures and research methods.

The scientific novelty of work is in the following:

- new methodological approaches for constructing of operating on vessels electro-hydraulic systems the dynamical mathematical models, according to the given transition process in synthesis the method the formation of the desired process parameters and synthesis parameters search methods;
- The required methodological approaches and mathematical regularities for developed vibroprotective devices schemes and structures construction and calculation.

The practical value of work consists in the study of multi-linked multi-mode drive systems dynamic analysis and synthesis methods and methodologies and research results, directed towards improving the quality and efficiency of the drive electro-hydraulic systems;

– The results of necessary for development of original vibroprotective equipment researches.

In the introductory part is grounded the actuality of thesis, is carried out the qualitative analysis of used in the naval vessels follow-up systems.

The necessary for analysis of vibrational impact regularities and results of theoretical researches, scientific approaches and principles for designing of vibroprotective devices are considered.

In the main part of the work are considered dynamic models of vessel course control two different structures follow-up electro-hydraulic systems separate functional elements.

AS the result of study are constructed the considered system's dynamic models and dynamic structural layouts.

Are analyzed the separate stages and procedures of studied system's given transition processes according to the general methodology for the synthesis of functional scheme.

Are obtained approximation equality equations and due their application the mathematical regularities of parametric synthesis implementation. For the approbation of obtained results were carried out the calculation researches related to having certain initial parameters systems. The desired values of adjustable parameters were obtained. As result of research has shown the proximity of synthesized processes to the desired ones.

In this work are stated the carried out on marine vessels the vibrational studies.

In the direction of vibrational insulation of arise in vessels wide-band vibration impacts is formulated the feasibility and are offered constructed on passive and dynamic damping schemes original vibrational insulation equipment.

Are constructed based on the steady oscillating motions the mathematical models of dynamics, are comprehended further research tasks.

It is shown that for the obtaining of high level of the operator vibrational protection the effective way related to low - frequency disturbing impacts is presented of the equipped with electro-hydraulic follow-up systems vibroprotection devices. In order to further improve the dynamic characteristics is proposed an original containing follow-up system scheme of vibroprotective device. Due the study is obtained a mathematical model of developed system, in the general form are formulated the directions of further studies.