

კ. ოდიშარია, ს. ხოშტარია, ჟ. ებანოიძე

სისტემების და პროცესების მოდელირება



თბილისი 2011

საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტი
კ. ოდიშარია, ს. ხოშტარია, ჟ. ებანოიძე

სისტემების და პროცესების მოდელირება

თბილისი 2011

სახელმძღვანელოში წარმოდგენილია სისტემების და პროცესების თავისებურებები, მათი აღწერის მეთოდები, რაც საშუალებას იძლევა ადვილად იქნას გაგებული სხვადასხვა სირთულის სისტემების, პროცესების და მოვლენების მოდელირების როლი და მნიშვნელობა მათი შემეცნების, შექმნისა და მართვის ამოცანების გადაწყვეტისას. მოცემულია მათემატიკური, იმიტაციური მოდელირების, როგორც რთული პრობლემების გადაწყვეტის ეფექტური საშუალების ძირითადი პრინციპები და ეტაპები, რთული დინამიური სისტემების ვიზუალური მოდელირების თანამედროვე კომპიუტერული საშუალებები.

სახელმძღვანელო განკუთვნილია, პირველ რიგში, ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების სპეციალობის სტუდენტების, მაგისტრანტებისა და სპეციალისტებისათვის.

რედაქტორი: საქართველოს ტექნიკური უნივერსიტეტის
ასოცირებული პროფესორი ც. ხოშტარია

რეცენზენტი: საქართველოს საავიაციო უნივერსიტეტის
ასოცირებული პროფესორი ა. რურუა

ISBN 978-9941-0-3120-5

სარჩევნი

შესავალი -----	6
ნაწილი I. სისტემები და პროცესები -----	9
1.1 ზოგიერთი ძირითადი განმარტებები-----	9
-	
1.2 სისტემების ზოგადი დახასიათება-----	16
-	
1.3 სისტემების ფუნქციური აღწერა-----	24
1.4 სისტემების მორფოლოგიური აღწერა-----	32
1.5 სისტემების ინფორმაციული აღწერა-----	41
1.6 სისტემების კლასიფიკაცია-----	45
ნაწილი II. მოდელირების დანიშნულება და სახეები -----	48
2.1 მოდელირების თეორიის ძირითადი ცნებები. მოდელირების სახეები, ფორმალიზაცია-----	48
-	
2.1.1. მათემატიკური მოდელი, მათი გამოყენება-----	50
-	52
2.1.2. მოდელის აგება-----	54
-	
2.1.3. რთული სისტემის ელემენტის მათემატიკური მოდელი--	60
-	62
2.1.4. რთული სისტემის ელემენტების ურთიერთმოქმედების მათემატიკური მოდელი-----	
-	
2.1.5. მოდელის საერთო კლასიფიკაცია-----	
-	
2.2 იმიტაციური მოდელირება-----	62
2.2.1. იმიტაციური მოდელის ცნება-----	62
-	63
2.2.2. იმიტაციური მოდელირების პროცესის ეტაპები-----	68
2.2.3. მამოდელირებელი ალგორითმები-----	
2.2.4. რთული სისტემის მამოდელირებელი ალგორითმების	73

	აგების პრინციპები-----	
2.3	მეთოდოლოგიური მიდგომები იმიტაციურ მოდელირებაში-----	77
	2.3.1. სისტემები და მოდელი-----	77
	-	82
	2.3.2. დისკრეტული იმიტაციური მოდელირება-----	84
	2.3.3. უწყვეტი იმიტაციური მოდელირება-----	85
	2.3.4. კომბინირებული დისკრეტულ-უწყვეტი მოდელირება-----	85
	2.3.5. მოდელირების შედეგების დაფიქსირება და დამუშავება	
2.4	რთული დინამიური სისტემების იმიტაციური მოდელირება-----	89
	-	
	2.4.1. რთული დინამიური სისტემების ზოგადი დახასიათება--	89
	-	96
	2.4.2. ობიექტ-ორიენტირებული მოდელირების (ომ) არსი-----	
	-	
	ნაწილი III. მაგალითები მოდელირებისათვის-----	103
	-	
3.1	საბორტო ციფრული გამოთვლითი მანქანების ადგილი საავიაციო კომპლექსის სტრუქტურაში და მათი უმტყუნო მუშაობის მოდელები-----	103
	3.1.1. შემთხვევითი სიდიდეები-----	106
	3.1.2. დისკრეტული შემთხვევითი სიდიდეები-----	107
	-	108
	3.1.3. უწყვეტი შემთხვევითი სიდიდეები-----	
	-	110
	3.1.4. შემთხვევითი სიდიდეების მათემატიკური მოლოდინი და დისპერსია-----	

3.2	სცემს გამოთვლითი სისტემების საიმედოობის მოდელირება----	111
	--	
	3.2.1. გამოთვლითი სისტემის მტყუნებათა მიზეზები-----	112
	-	
	3.2.2. გამოთვლითი სისტემების საიმედოობის შეფასების	113

	ძირითადი მიდგომები-----	
	-	
3.3	მუდმივი მტყუნების მოდელირება-----	115
	-	
3.3.1.	უმტყუნო მუშაობის ალბათობის ზოგადი გამოსახულებები-----	115
	-	118
3.3.2.	საშუალო მტყუნებათაშორისი ნამუშევარი-----	119
	-	121
3.3.3.	მტყუნებების და აღდგენათა ზოგადი მოდელი-----	122
	-	123
3.3.4.	არარეზერვირებული სისტემა-----	124
	-	126
3.3.5.	მოდულური სისტემა სამმაგი რეზერვირებით-----	
	-	
3.3.6.	მოდულური სისტემა N-ჯერადი რეზერვირებით-----	
	-	
3.3.7.	რეზერვირება ჩანაცვლებით-----	
	-	
3.3.8.	შეფერხებითი ხასიათის მტყუნებების მოდელირება-	
3.4	პროგრამული უზრუნველყოფის საიმედოობის მოდულები-----	127
	-	
	ლიტერატურა-----	131
	-	

შესავალი

ცნობილი ქართველი მეცნიერი ი. ფრანგიშვილი თავის ერთ-ერთ ბოლო სამეცნიერო მონოგრაფიაში სამართლიანად მიუთითებს, რომ ბუნების, საზოგადოების და ადამიანის მეცნიერული შემეცნებისადმი სისტემურმა მიდგომამ მისცა მძლავრი იმპულსი მეცნიერებაში ახალი მიმართულების განვითარებას, რომელიც ცნობილია სახელწოდებით “სისტემების თეორია”. ქართველი მეცნიერი სისტემების თეორიაში ბოლო მიღწევების გათვალისწინებით განმარტავს, რომ სისტემური მიდგომის მთავარი სამეცნიერო-მეთოდოლოგიური მნიშვნელობა მდგომარეობს იმაში, რომ ის საშუალებას აძლევს თანამედროვე მკვლევარებს გამოავლინონ და შეიცნონ სისტემურობის პრინციპი, რომელიც ვლინდება პრაქტიკულად ყველა მოვლენასა და პროცესში ბუნებასა და საზოგადოებაში და ცალკე აღებულ ადამიანში.

სისტემური მიდგომა ეფუძნება კვლევის ობიექტების, მოვლენების ან პროცესების ერთიან ხედვას და წარმოადგენს ყველაზე უფრო უნივერსალურ და ადეკვატურ მეთოდს ნებისმიერი ტექნიკური, ეკონომიკური, სოციალური, ეკოლოგიური, პოლიტიკური და სხვა სისტემების ანალიზისა და გამოკვლევისათვის. ამრიგად, სისტემური მიდგომა მართვაში საშუალებას იძლევა გამოვლენილ იქნას მართვის მექანიზმების არსი, შემცველობა და განხორციელდეს მართვის ახალი კონცეფციის მოძიება. აღნიშნული მტკიცების სამართლიანობის დადასტურება შესაძლებელი გახდა მეცნიერების მიერ გასული საუკუნის ბოლოს და 21-ე საუკუნის დასაწყისში ისეთი მძლავრი ინსტრუმენტის განვითარება-გამოყენებით, როგორცაა სისტემების, პროცესების მოდელირება, რომლის გარეშეც შეუძლებელია არამართო სხვადასხვა კატეგორიის ობიექტების სისტემური თავისებურებების გამოვლენა-შესწავლა, არამედ ნებისმიერი პროცესის მართვა – სამეცნიერო საქმიანობის, სახელმწიფოს, კომპანიების მართვით დაწყებული და ცალკე აღებული სუბიექტის არსებობით დამთავრებული.

წარმოდგენილი სახელმძღვანელო მოიცავს სისტემების, პროცესების და მათი მოდელირების შესახებ იმ მინიმალურ რაოდენობას ძირითადი საკითხებისა,

რომელთა ცოდნაც, ფაქტიურად, აუცილებელია ნებისმიერი კატეგორიის სპეციალისტისათვის.

სახელმძღვანელოს პირველი ნაწილი ეძღვნება სისტემების აღწერის სამ ძირითად მეთოდს: ა) მორფოლოგიურს (შიდა მოწყობის ანალიზი); ბ) ფუნქციურს (მოღვაწეობის ანალიზი, ურთიერთმოქმედება გარემოსთან და სისტემის ნაწილებს შორის); გ) ინფორმაციულს (ანალიზი მდგომარეობის და მისი შეცვლის გაურკვევლობის ხარისხისა). სისტემის შესახებ წარმოდგენის განვითარების და ახალი სისტემების დამუშავების მეთოდის საფუძველს წარმოადგენს სწორედ ამ აღწერათა ურთიერთმოქმედება და ურთიერთსტიმულირება. ნაჩვენებია, რომ ორგანიზაციის (სტრუქტურის, კავშირების, თვითასახვის, მართვის) მეთოდებისა და საშუალებების კვლევა წარმოადგენს მძლავრ სტიმულს შეცნობილი იქნას ორგანიზაციის და განვითარების საერთო კანონები. ამავე ნაწილში მოცემულია ზოგიერთი ძირითადი განმარტებები და სისტემების ზოგადი დახასიათება და კლასიფიკაცია.

სახელმძღვანელოს მეორე ნაწილი მთლიანად ეძღვნება მოდელირების დანიშნულებისა და სახეების შესწავლას. მოცემულია მოდელირების თეორიის ძირითადი ცნებები და მათი სახეები. წარმოდგენილია მათემატიკური მოდელების, მათი გამოყენების ზოგადი დახასიათება და მოდელების აგების პროცესის ზოგადი სქემა. დახასიათებულია რთული სისტემების ელემენტის მათემატიკური მოდელის შექმნის თავისებურებები და ნაჩვენებია თუ როგორ შეიძლება რთული სისტემის მათემატიკური მოდელი წარმოვადგინოთ ელემენტების და მათ შორის ურთიერთმოქმედების მათემატიკური მოდელების მეშვეობით. ცალკეა წარმოდგენილი მეთოდოლოგიური მიდგომები იმიტაციურ მოდელირებაში: დისკრეტული, უწყვეტი და კომბინირებული (დისკრეტულ-უწყვეტი) იმიტაციური მოდელირება, მოდელირების შედეგების დაფიქსირება და დამუშავება. მოკლედ განხილულია რთული დინამიური სისტემების იმიტაციური მოდელირების თავისებურებები: მოცემულია რთული დინამიური სისტემების ზოგადი დახასიათება და ობიექტ-ორიენტირებული მოდელირების არსი.

მესამე ნაწილი მთლიანად ეთმობა მაგალითებს მოდელირებაში. ვინაიდან სახელმძღვანელო ძირითადად გათვალისწინებულია ინფორმატიკისა და მართვის სისტემების ბაკალავრებისა და მაგისტრებისათვის, მაგალითები ეძღვნება ისეთ

სპეციფიურ საკითხს, როგორცაა მოძრავი ობიექტების გამოთვლითი სისტემების საიმედოობა. აღნიშნული ტიპის ობიექტების (სისტემების) მთავარი მოთხოვნაა გამოთვლითი სისტემების (და არამარტო) უმტყუნო მუშაობის უზრუნველყოფა, ამიტომ მთავარი ყურადღება გამახვილებულია ამ საკითხებზე და განხილულია: გამოთვლითი სისტემების მტყუნებათა მიზეზები, საიმედოობის შეფასების ძირითადი მიდგომები, მტყუნებების და აღდგენათა ზოგადი მოდელები, შეფერხებითი ხასიათის მტყუნებების მოდელირება, პროგრამული უზრუნველყოფის საიმედოობის მოდელირების თავისებურებები და არსი.

სახელმძღვანელო ძირითადად გათვალისწინებულია საავიაციო და სხვა ტექნიკური უნივერსიტეტების სპეციალისტებისათვის.

ნაწილი I

სისტემები და პროცესები

1.1 ზოგიერთი ძირითადი განმარტებები

საგნის შესწავლისას ხშირად მოგვიხდება გამოვიყენოთ, პირველ რიგში, ისეთი ცნებები და ტერმინები როგორცაა: სისტემა, რთული (დიდი) სისტემა, პროცესი, მოდელი, მოდელირება და ა.შ.

მიუხედავად იმისა, რომ სისტემების შესახებ თეორიის შექმნას მეცნიერებაში ნახევარ საუკუნეზე მეტი ისტორია აქვს, დღესაც არ არსებობს მისი ერთმნიშვნელოვანი განმარტება. ეს მრავალფეროვნება გამოწვეულია იმით, რომ სისტემის ცნების სხვადასხვა განმარტებებში გამოყოფენ მის ფილოსოფიურ მათემატიკურ, ფიზიკურ, ლინგვისტურ და სხვა მხარეებს. მიუხედავად განმარტებათა მრავალფეროვნებისა სისტემის არსი უნდა განვიხილოთ, როგორც სიმრავლე ელემენტებისა, რომელთა შორის არსებული კავშირები ქმნის ერთ მთლიანობას.

რთული სისტემა შეიძლება განვმარტოთ შემდეგნაირად: ესაა შედგენილი ობიექტი, რომლის ნაწილები შეიძლება განვიხილოთ, როგორც გარკვეული პრინციპების შესაბამისად ერთ მთლიანობაში კანონზომიერად გაერთიანებული ან ერთმანეთთან მოცემული ფარდობით დაკავშირებული სისტემები.

როგორც განმარტებიდან ჩანს, რთული სისტემა შეიძლება დავანაწევროთ სასრული რაოდენობის ნაწილებად, ე.წ. უმაღლესი დონის ქვესისტემებად, ყოველი ასეთი ქვესისტემა კი – სასრული რაოდენობის უფრო წვრილ ქვესისტემებად და ა.შ., სანამ არ მივიღებთ უმაღლესი დონის ქვესისტემებს, ე.წ. რთული სისტემის ელემენტებს, რომლებიც ობიექტურად არ ან ვერ დანაწევრდებიან, ან მათი შემდგომი დაუნაწილებლობის შესახებ არსებობს სათანადო შეთანხმება. ამრიგად, ერთი მხრივ ქვესისტემა უფრო დაბალი დონის რამდენიმე ელემენტის შემცველი ქვესისტემის მიმართ წარმოადგენს რთულ სისტემას, ხოლო მეორე მხრივ, იგი მაღალი დონის სისტემის ელემენტია.

ფაქტიურად გამოდის, რომ სისტემა ერთდროულად შეიძლება იყოს რთული სისტემაც და ელემენტიც და ეს არ უნდა გაგვიკვირდეს, თუნდაც იმიტომ, რომ ჩვენი გარემომცველი სამყარო ერთიანია და ყველაფერი იმაზე დამოკიდებული თუ მოცემულ მომენტში აღნიშნულ სისტემას რა კუთხით განვიხილავთ: განვიხილავთ მას ავტონომიურად თუ სხვა უფრო დიდი სისტემის შემადგენლობაში. მაგალითად, ცალკე აღებული პერსონალური კომპიუტერი თავისთავად საკმაოდ რთული სისტემაა, მაგრამ თუ განვიხილავთ კომპიუტერულ ქსელს, მაშინ ის შეგვიძლია განვიხილოთ, როგორც ამ, ცხადია, უფრო რთული სისტემის ელემენტი.

სისტემაში შემავალი ელემენტების ურთიერთკავშირი ნიშნავს იმას, რომ ისინი ამით უზრუნველყოფენ იმ პროცესებს, რომლებიც თან ახლავს სისტემის მიერ ან ელემენტის მიერ მისი ფუნქციონალური დანიშნულების რეალიზაციას.

პროცესი შეიძლება მიმდინარეობდეს, როგორც სისტემის შიგნით – მის ელემენტებს შორის, ასევე სისტემებს შორის და ა.შ.

პროცესი [ლათინური სიტყვაა – Processus – წინ წაწევა] - თანმიმდევრულ მოქმედებათა ერთობლიობაა რაიმე შედეგის მისაღწევად (მაგალითად: საწარმოო პროცესი – შრომითი ოპერაციების თანმიმდევრული ცვლა; კომპიუტერული პროგრამა – კომპიუტერში სხვადასხვა ბრძანებათა თანმიმდევრული შესრულება).

აღწეროთ რაიმე პროცესი ნიშნავს მოვახდინოთ მისი ალგორითმიზაცია. პროცესების ალგორითმიზაცია კი ნიშნავს პროცესების ალგორითმულ აღწერას, პროცესების აღწერას მათემატიკური სიმბოლოების ენაზე, ალგორითმების ენაზე და სხვა. შედეგად მიიღება პროცესის ალგორითმი, რომელიც ასახავს პროცესის ელემენტარულ აქტებს, მათ თანმიმდევრობასა და ურთიერთკავშირს.

სისტემების შესახებ წარმოდგენები ჩაისახა ჯერ კიდევ ანტიკურ ფილოსოფიაში. ძველ ბერძნულ ფილოსოფიაში სამყაროს, როგორც კოსმოსის, ე.ი. მოწესრიგებული მთელის გაგება გულისხმობდა სისტემის ცნებას. ამ მიმართულებით ყოფიერების, როგორც სისტემის ონტოლოგიურ ინტერპრეტაციას იძლეოდნენ ჰერაკლიტე, დემოკრიტე, პლატონი. ახალი დროის ფილოსოფიაში ყოფიერების, როგორც სისტემის ონტოლოგიურ ინტერპრეტაციას იძლეოდნენ სპინოზა, ლაიბნიცი, შელინგი და სხვები.

მე-19 საუკუნის მე-2 ნახევარში და მე-20 საუკუნის პირველ ნახევარში სპეციალურ მეცნიერებათა მრავალ დარგში გამოავლინეს და გააანალიზეს სისტემების განსხვავებული ტიპები: სოციოლოგიაში – სოციალური სისტემები; ბიოლოგიაში – ორგანული სისტემები; ლინგვისტიკაში – ენობრივი სისტემები; ლოგიკაში – სინტაქსური და სემანტიკური სისტემები; მათემატიკაში – აქსიომატიზებული და ფორმალიზებული თეორიები; კიბერნეტიკაში – თვითმარეგულირებელი სისტემები და ა.შ. პრაქტიკულად შექმნეს და გამოიყენეს აგრეთვე სხვადასხვა ტიპის სისტემები: ტექნიკაში – ავტომატიზებული მანქანების სისტემები, მრეწველობის და ტრანსპორტის, მათ შორის საავიაციო მართვის სისტემები და ა.შ. ყოველივე ამან აქტიური გახდა სისტემის ბუნების კვლევის ამოცანა. მე-20 საუკუნის 40-იან წლებში ბიოლოგმა ლ. ბერტალანფიმ წამოაყენა “სისტემის საერთო (ზოგადი) თეორიის” შექმნის პროგრამა. ჩამოყალიბდა საგანთა ანალიზის სისტემური მიდგომის მეთოდი. ამის გამო ინტენსიურად დაიწყო სისტემის პრობლემატიკის დამუშავება. ძირითადად ის მიმდინარეობდა სამ სფეროში: 1. სპეციალური მეცნიერებების და ტექნიკის მრავალ დარგში მუშავდება სხვადასხვა ტიპის სისტემების აგებისა და გამოყენების კონკრეტული საკითხები; 2. სისტემების საერთო (ზოგად) თეორიაში მუშავდება მისი ბუნებისა და სისტემურ-სტრუქტურული ანალიზის ლოგიკურ-მეთოდოლოგიური პრობლემები; 3. ფილოსოფიაში, რომლის ამოცანაა სისტემის, როგორც გარკვეული კატეგორიის, დახასიათება და სამყაროს შესახებ მთლიან კონცეფციაში მისი როლისა და ადგილის გარკვევა.

აქვე მივუთითოთ სისტემის დამახასიათებელ ზოგიერთ მომენტებზე. მაგალითად: როგორც განმარტებებიდან ვნახეთ, სისტემის განსაზღვრისათვის საჭიროა შემდეგი ცნებების (რომლებსაც უფრო დაწვრილებით შევისწავლით საგნის პირველ ნაწილში) გამოყენება: სიმრავლე, ელემენტები, კავშირი, მიმართება, სტრუქტურა, მთლიანობა. სისტემის არსებობისათვის აუცილებელია ელემენტების სიმრავლე, მაგრამ ელემენტების ნებისმიერი სიმრავლე არ წარმოადგენს სისტემას. ელემენტებს შორის უნდა იყოს ისეთი კავშირები და მიმართებები, რომლებიც ახალ მთლიანობას ქმნიან. ეს მთლიანობა განსხვავდება მისი შემადგენელი მომენტებისაგან, ანუ მისი თვისებები არ დაიყვანება ელემენტების ცალკეულ თვისებებზე ან მათ ჯამზე. ელემენტი დამოკიდებულია სისტემაზე. მისი ადგილი განისაზღვრება იმ ფუნქციით, რომელიც მას

მთლიანობაში (სისტემაში) უკავია. ამიტომ სისტემა ელემენტების ორგანული კავშირია და არა უბრალო ჯამი ან აგრეგატი. სისტემას ახასიათებს სირთულე, ამიტომ მას მუდამ აქვს გარკვეული სტრუქტურა, რომელიც მისი არსებითი მომენტია (დაწვრილებით გავარჩევთ მომდევნო პარაგრაფებში). სტრუქტურა არის ის წესი, რომლითაც ელემენტები ერთმანეთთან არიან შეკავშირებული. სტრუქტურა სისტემის აღნაგობას გამოხატავს და არაა დამოკიდებული ელემენტების კონკრეტულ ბუნებაზე. ერთმანეთისაგან განსხვავებულ ელემენტებს შეიძლება ჰქონდეთ ერთიდაიგივე სტრუქტურა და პირიქით. სისტემის ხასიათი დამოკიდებულია ელემენტებისა და სტრუქტურის თვისებებზე. სისტემის ელემენტები შეიძლება იყოს ნებისმიერი ბუნების ობიექტები: ფიზიკური, ქიმიური, სოციალური, იდეალური (რიცხვები, დებულებები, თეორიები, ცნებები) და ა.შ. ამიტომ სისტემის ცნების გამოყენება ნებისმიერ სფეროში შეიძლება. სისტემების კლასიფიკაციისათვის შეიძლება სვადასხვა ნიშნები იქნას გამოყენებული. მაგალითად, შეიძლება გამოიყოს შემდეგი სახის სისტემები: მატერიალური და არამატერიალური, ბუნებრივი და საზოგადოებრივი, ფორმალური და არაფორმალური, აქსიომატიზებული და არააქსიომატიზებული, სტატიკური და დინამიური, მკაცრად დეტერმინირებული და სტოქასტიკური (ალბათური) და ა.შ.

სწორედ სისტემების საერთო (ზოგადი) თეორიაა მეცნიერების ის დარგი, რომელიც იკვლევს სხვადასხვა ტიპის სისტემების შესწავლის მეთოდოლოგიურ პრინციპებს. სისტემათა საერთო (ზოგადი) თეორიის ჩამოყალიბება განაპირობა იმ მეთოდოლოგიურმა სიძნელეებმა, რომლებიც წარმოიშვა მათემატიკური, ფიზიკური, ქიმიური, ბიოლოგიური, ეკონომიკური და სოციალური სისტემების კვლევისას. ამ გარემოებამ კი გამოიწვია ე.წ. სისტემური მიდგომის იმ სპეციალური მეთოდების შექმნა, რომლებსაც რთული ობიექტების (სისტემების) ანალიზისა და სინთეზისათვის იყენებენ. სისტემების საერთო (ზოგად) თეორიას ზოგჯერ სისტემათა აბსტრაქტულ თეორიასაც უწოდებენ, ვინაიდან მისი კვლევის ობიექტი არ შემოიფარგლება რომელიმე კონკრეტული სისტემით. იგი არ არის კონკრეტული სისტემის შემსწავლელი მეცნიერების შემცველი, ის მხოლოდ აფართოებს მისი კვლევის მეთოდოლოგიურ პრინციპებს.

მოკლედ შევეხოთ სისტემების საერთო თეორიის (ს.ს.თ) ძირითად თვისებებს. ეს თვისებებია: 1. ს.ს.თ აგებულია ზოგადმეცნიერული ცნების “სისტემა” საფუძველზე; 2. შეიცავს ყველა ცნობილი სპეციალიზებული სისტემის

თეორიებს (წრფივ, აქსიომატურ, დინამიურ და ა.შ); 3. სარგებლობს ფორმალური სისტემების კვლევის ლოგიკურ-მათემატიკური მეთოდებით (ავტომატების თეორია, ალგორითმების თეორია და ა.შ); 4. აერთიანებს სხვადასხვა ბუნების მქონე სისტემების აღმწერ თეორიებს; 5. ფართოდ იყენებს მოდელირების ან ანალიზის მეთოდს. მისი განვითარება მჭიდროდაა დაკავშირებული თეორიული კიბერნეტიკის პრობლემატიკასთან. ს.ს.თ უნდა კონკრეტულად ჩამოაყალიბოს ისეთი ზოგადმეცნიერული ცნებები (როგორც უკვე ავღნიშნეთ), როგორცაა სისტემა, სტრუქტურა, მდგომარეობა, ქცევა, სირთულე, მიზანსწრაფულობა, ოპტიმალურობა და განსაზღვროს მათი გამოყენების შესაძლებლობანი. სისტემების საერთო (ზოგადი) თეორიის შედეგები ფართოდ გამოიყენება რთული სისტემების ანალიზისა და პროექტირების დროს. იგი წარმოადგენს სისტემოტექნიკის თეორიულ საფუძველს.

ამრიგად, შეგვიძლია ვთქვათ, რომ ადამიანის მიზანმიმართული მოღვაწეობა ქმნის სისტემების შესწავლის აუცილებლობას და როგორც შედეგი მივდივართ მათი შეცნობის მეთოდოლოგიის ე.წ. სისტემური ანალიზის გამოყენებამდე.

ამ მეთოდოლოგიის არსი მდგომარეობს სისტემაზე დაკვირვებაში, სხვა სისტემების დამუშავებასა, შექმნასა ან შერჩევაზე, რომელიც რაღაც აზრით მსგავსია პირველისა (ე.წ. სისტემის მოდელისა), ახალი სისტემის გამოკვლევაში პირველ სისტემასთან მიმართებაში დასკვნების გამოყენების მიზნით. ამ მეთოდოლოგიის ფუნდამენტს წარმოადგენს სისტემის მოდელისა და მოდელირების ცნება

მოდელი ფართო გაგებით არის რომელიმე ობიექტის ან ობიექტთა სისტემის სახე (პირობითი ან წარმოდგენითი – გამოსახულება, აღწერილობა, სქემა, ნახაზები, რუკა და ა.შ) ან პირველსავე (ნიმუში), რომელსაც გარკვეულ პირობებში იყენებენ როგორც მათ “შემცვლელს” ან “წარმომადგენელს”.

მოდელირება – რეალურად არსებული საგნებისა და მოვლენების, აგრეთვე კონსტრუირებული ობიექტების (სისტემების, პროცესების) შესწავლაა მათი მოდულების ან რეალური დანადგარების კვლევით.

მოდელირება, როგორც სინამდვილის ასახვის ფორმა, ანტიკურ ეპოქაში ჩაისახა. მისი გამოყენება კი აღორძინების ეპოქაში დაიწყო. შემდგომში თანდათან ფართოვდება მისი გამოყენების სფერო, ხოლო კომპიუტერების და

კიბერნეტიკის ძირითადი პრინციპების ფორმულირების შემდეგ უნივერსალური და ზოგადმეცნიერული მნიშვნელობა მიიღო.

ორიგინალის მოდელით შენაცვლება ხდება ორიგინალის თვისებების დაფიქსირების ან შესწავლის გამარტივების, გაიაფების, დაჩქარების მიზნით. თავისუფლად შეგვიძლია ვთქვათ, რომ ცალკეული მეცნიერებები წარმოადგენენ რეალური სამყაროს ცალკეული მხარეების ამსახველ მოდელებს. უნდა გვახსოვდეს, რომ მოდელი არასოდეს არ არის სრულად იდენტური სისტემის ან პროცესის, ის იგება გამარტივებათა საფუძველზე და წარმოადგენს მათ მიახლოებას.

მოდელირება მიზანშეწონილია მაშინ, როდესაც მოდელს არ გააჩნია ორიგინალის (სისტემის, პროცესის) ის ნიშნები, რომლებიც ხელშემშლელია მის გამოკვლევაში, ან არსებობს ორიგინალისაგან განსხვავებული პარამეტრები, რომლებიც ხელს უწყობენ მოდელის თვისებების ფიქსაციას ან შესწავლას.

მოდელირების თეორია წარმოადგენს მოდელების შექმნისა და შესწავლის ერთმანეთთან დაკავშირებული წესების, განსაზღვრებების, მეთოდებისა და საშუალებების ერთობლიობას. თვით ეს წესები, განსაზღვრებები, მეთოდები და საშუალებები, ისევე როგორც თვით მოდელები, წარმოადგენენ მოდელირების თეორიის საგანს, რომლის საფუძველსაც გავეცნობით სახელმძღვანელოს მეორე ნაწილში.

მოკლედ, რომ ვთქვათ, მოდელირების თეორიის ძირითადი ამოცანა მდგომარეობს იმაში, რომ აღჭურვოს მკვლევარები ისეთი მოდელების შექმნის ტექნოლოგიით, რომლებიც საკმარისი სიზუსტით და სრულად აფიქსირებენ ორიგინალის (სისტემის ან პროცესის) საინტერესო თვისებებს, ადვილად ან სწრაფად ექვემდებარებიან გამოკვლევას და საშუალებას იძლევიან მისი შედეგების ორიგინალზე გადატანისა.

მოდელირების თეორია წარმოადგენს სისტემების საერთო თეორიის – სისტემოლოგიის შემადგენელ ნაწილს, სადაც ძირითად პრინციპად აღიარებულია პოსტულატი: სისტემა წარმოდგენადია მოდელების სასრული სიმრავლით, რომელთაგან თითოეული ასახავს მისი არსის გარკვეულ მხარეს.

მოკლედ მიმოვიხილოთ მოდელირების როლი და ადგილი სისტემების გამოკვლევაში. კაცობრიობისათვის მოდელირების უმნიშვნელოვანეს როლზე მეტყველებს ის ფაქტი, რომ ნებისმიერი სისტემის ან პროცესის შემეცნება

დაიყვანება, არსებითად, მისი მოდელის შექმნამდე. ნებისმიერი რთული მოწყობილობის ან აღჭურვილობის დამზადებამდე მუშავდება (იქმნება) მისი მოდელი – პროექტი. ხელოვნების ნებისმიერი ნაწარმოები წარმოადგენს რეალობის დამაფიქსირებელ მოდელს. ადამიანი, ვიდრე რაიმეს განახორციელებდეს (ჩაიდენდეს, მოახდენდეს, გააკეთებდეს), ცდილობს მოიფიქროს მოქმედებათა თანმიმდევრობა ან ინტუიტიურად ხელმძღვანელობს მოქმედი აპრობირებული მოდელებით.

განსაკუთრებულ ღირებულებას წარმოადგენენ კონსტრუქციული მოდელები, ისეთები, რომლებიც უშვებენ არამარტო თვისებათა დაფიქსირებას, არამედ მახასიათებლების სისტემის პარამეტრებისაგან დამოკიდებულებათა გამოკვლევას. ასეთი მოდელები საშუალებას იძლევიან მოხდეს სისტემების ფუნქციონირების ოპტიმიზაცია. ოპტიმიზაციური მოდელები წარმოადგენენ რთული სისტემების თეორიის საფუძველს.

მოდელირების როლი, როგორც მეცნიერული შემეცნებისა და ტექნიკური ამოცანების გადაწყვეტის მეთოდისა, ყოველთვის საკმაოდ მაღლა ფასდებოდა. ტექნიკის განვითარებასთან ერთად ფართო გამოყენება ჰპოვა დანადგარების, მანქანების და მექანიზმების ფიზიკურმა მოდელირებამ.

მათემატიკის განვითარებამ ხელი შეუწყო სხვადასხვა ობიექტების, სისტემების და პროცესების მათემატიკური მოდელირების გავრცელებას. შემჩნეულია, რომ სხვადასხვა ფიზიკური ბუნების სისტემების ფუნქციონირების დინამიკა აღიწერება ერთი ტიპის დამოკიდებულებებით, ე.ი. შეიძლება წარმოდგენილი იქნან ერთიდაიგივე მოდელებით. საანგარიშო ფორმულები, რომლებითაც სარგებლობენ ინჟინრები ყოველგვარი სისტემის ანალიზისა და სინთეზისათვის, როგორც წესი, მიღებულია, გამოყვანილია ამ სისტემების მათემატიკური მოდელებიდან.

კომპიუტერების გამოჩენა-განვითარებამ კიდევ უფრო შეუწყო ხელი მოდელირების გამოყენების სფეროების გაფართოებასა და გაღრმავებას. მოდელირება განსაკუთრებულ მნიშვნელობას იძენს დღეს იმ პირობებში, როცა სახეზეა მატერიალური, ადამიანური, ენერგეტიკული და დროითი რესურსების გამოყენების შეზღუდვები.

დღეისათვის ძნელი წარმოსადგენია ადამიანის მოღვაწეობის ისეთი სფერო, სადაც მოდელირება არ გამოიყენებოდეს. დამუშავებულია, მაგალითად,

სხვადასხვა სახის საწარმოების, ადამიანის და ცხოველების ორგანოების ფუნქციონირების, ატომური ომის შედეგების და სხვა მოდელები. ფაქტიურად ნებისმიერი ტექნიკური ან ორგანიზაციული პროექტის რეალიზაციის წინ აუცილებლად ხდება მოდელირების ჩატარება.

შეიძლება თამამად ვთქვათ, რომ მოდელირება ფაქტიურად წარმოადგენს კომპიუტერული სისტემების ერთ-ერთ უმთავრეს ფუნქციას. თანამედროვე პირობებში საყოველთაო ხასიათი მიიღო ტექნოლოგიური პროცესების, ორგანიზაციულ-ეკონომიკური კომპლექსების და პროექტირების პროცესების, თვით სახელმწიფოს მართვის ავტომატიზებამ, ცოდნის და მონაცემთა ბაზების შექმნამ. თავის მხრივ კი ნებისმიერი მართვის სისტემა საჭიროებს სამართავი სისტემის, პროცესის მოდელს, მმართველობითი გადაწყვეტილებების შესაძლო შედეგების მოდელირებას. აღნიშნული კიდევ ერთხელ ადასტურებს კომპიუტერული სისტემების როლს მოდელირებაში.

თვით კომპიუტერული სისტემები, როგორც რთული სისტემები, შეიძლება იყოს და უნდა გახდეს მოდელირების ობიექტები. მოდელირება მიზანშეწონილია გამოყენებულ იქნას კომპიუტერული სისტემის (ეს ეხება ფაქტიურად ნებისმიერ სისტემას) პროექტირების ეტაპზე.

პროექტირების ეტაპზე მოდელირების გამოყენება საშუალებას იძლევა გაანალიზდეს საპროექტო გადაწყვეტილებათა ვარიანტები, განისაზღვროს ძირითადი მახასიათებლები, მუშაობისუნარიანობა, გამოვლინდეს დეფექტები და ა.შ.

მოქმედი სისტემების ანალიზისას მოდელირების მეშვეობით განსაზღვრავენ სისტემის მუშაობისუნარიანობის საზღვრებს, ასრულებენ ექსტრემალური პირობების იმიტირებას, რომლებიც შეიძლება წარმოიშვას სისტემის ფუნქციონირებისას. ასეთი პირობების ხელოვნურად შექმნა მოქმედ სისტემებში გაძნელებულია (ან შეუძლებელია) და შეიძლება მიგვიყვანოს კატასტროფულ შედეგებამდე, თუ სისტემა ვერ გაუმკლავდება თავის ფუნქციურ მოვალეობებს.

რაც შეეხება მოდელების კლასიფიკაციას, მოდელირების ეტაპებს, მოდელირების მიზნის დასმას, მოდელირების ტექნოლოგიას, ჩვენ ამ საკითხებს შევისწავლით საგნის მეორე ნაწილში.

12. სისტემების ზოგადი დახასიათება

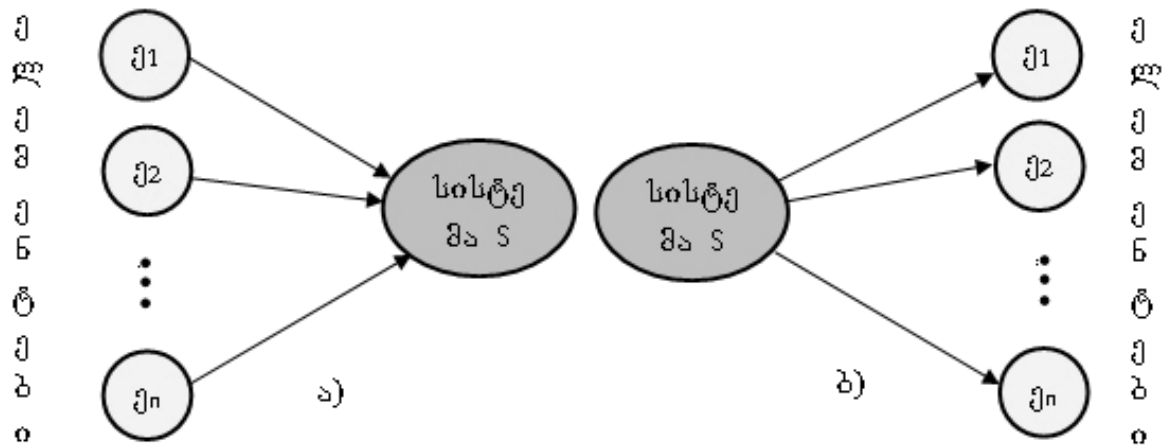
კიდევ ერთხელ განვმარტოთ სისტემა – ესაა ობიექტური ერთობლიობა კანონზომიერად ერთმანეთთან დაკავშირებული საგნებისა, მოვლენებისა, ცოდნისა, ბუნებისა და საზოგადოების შესახებ. ამ დროს უნდა გვახსოვდეს, რომ:

1. თითოეული ელემენტი (საგანი), რომელიც შედის სისტემაში, თვითონვე შეიძლება განხილული იქნას, როგორც სისტემა შემდგარი სხვა ელემენტებისაგან, ე.ი. სისტემები ჩვეულებრივ წარმოადგენენ იერარქიულ სტრუქტურას;

2. სისტემის ელემენტებს შორის ურთიერთკავშირები შეიძლება იცვლებოდეს დროში ამ ელემენტებზე დაკისრებული ფუნქციების შესრულების პროცესში.

აქვე უნდა გვახსოვდეს, რომ სისტემების, პროცესების შესწავლა შესაძლებელია სისტემური მიდგომის საფუძველზე – ესაა ერთობლიობა მეთოდებისა და საშუალებებისა, რომელთა დახმარებითაც შესაძლებელია შევისწავლოთ სისტემები და პროცესები ერთიანობაში.

სისტემური მიდგომა, ნებისმიერი რთული ობიექტის გამოკვლევის დროს, ემყარება მის მთლიანობაში წარმოდგენას. სისტემური მიდგომის მთავარი თავისებურებაა ის რომ, მთლიანობა დომინირებს ნაწილზე, სირთულე სიმარტივეზე. ამიტომ ტრადიციული მეთოდისაგან განსხვავებით, როდესაც ადამიანის აზრი მოძრაობს მარტივიდან რთულისაკენ, ნაწილებიდან მთელისაკენ, ელემენტებიდან – სისტემისაკენ (ნახ. 1.1.ა), სისტემური მიდგომისას (ნახ. 1.1.ბ) პირიქით, აზრი მოძრაობს რთულიდან მარტივისაკენ, მთელიდან შემადგენელი ნაწილებისაკენ, სისტემიდან ელემენტებისაკენ.



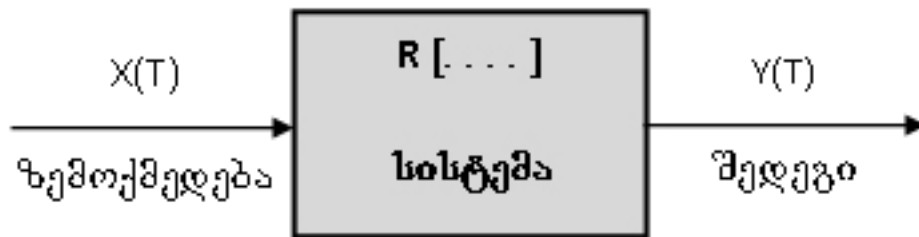
სისტემური მიდგომა აქცენტირებას ახდენს ობიექტის ინტეგრირებულ თვისებებზე, მისი სტრუქტურის და ფუნქციის გამოვლენაზე. ერთდროულად არსებითი მნიშვნელობა აქვს სისტემაში მიმდინარე პროცესებს, რომელთა შესწავლისათვის აუცილებელია გავერკვეთ სისტემაში ცირკულირებულ ინფორმაციაში, სისტემის ქცევასა და მიზნის არჩევაში.

სისტემის, როგორც მთელის თვისებები განისაზღვრება არამარტო მისი ცალკეული ელემენტების თვისებებით, არამედ, აგრეთვე სისტემის სტრუქტურის თვისებებით. მრავალი ტიპის სისტემისათვის სისტემის სტრუქტურის ქვეშ ესმით: მისი ყველა ელემენტის სივრცითი განლაგება, ერთობლიობა ელემენტებს შორის მდგრადი კავშირებისა და მიმართებებისა, შიდა მოწყობა, აგრეთვე ურთიერთმოქმედებისა და ურთიერთკავშირის კანონი. მარტივ შემთხვევაში სისტემის სტრუქტურა წარმოიდგინება, როგორც ერთობლიობა ყველა ელემენტისა, ამ ელემენტებს შორის კავშირებით და ერთმანეთთან დამოკიდებულებით.

აქ გამოთქმულ დასკვნებს გარკვეულ სიცხადეს შესძენს თუ გავიხსენებთ საწარმოს, როგორც სისტემის განმარტებას. ეს განმარტება კი ასე გამოიყურება: საწარმოო სისტემა – ეს ისეთი სისტემაა, რომლის კომპონენტებს წარმოადგენენ წარმოების კომპონენტები (საწარმოო ობიექტები და მათი ქვედანაყოფები და უბნები, პროექტები, მატერიალური და ტექნიკური რესურსები, მართვის და კონტროლის სამსახურები და ორგანოები და ა.შ) და ელემენტებს შორის მყარდება ისეთი კავშირები, რომლებიც აუცილებელია საწარმოო პროცესების მიმდინარეობისათვის.

ძნელი არაა შევნიშნოთ, რომ სისტემის განმარტება–აღწერა – ესაა მოდელი, რომელიც ასახავს სისტემის თვისებათა გარკვეულ ჯგუფს, ხოლო აღწერის გადრმავება, კი ნიშნავს მოდელის დეტალიზაციას. ამიტომ სისტემის აღწერის და კანონზომიერებათა აღწერის ქვეშ იგულისხმება სისტემის მოდელი და პროცესების მოდელი, რომელთა გამოსაყენებლად ვარგისიანობა ყოველთვის უნდა დასაბუთდეს (დამტკიცდეს), როცა სისტემა ექცევა ახალ პირობებში.

ისევე როგორც ნებისმიერი სამეცნიერო გამოკვლევა, სისტემების გამოკვლევა და მათი კლასიფიკაცია, პირველ რიგში, უკავშირდება იმის დადგენას, თუ როგორია კავშირი (კავშირები) “ზემოქმედება – შედეგი”. “ზემოქმედება” მიეწოდება ობიექტის (სისტემის) შესასვლელს, ხოლო შედეგი ფიქსირდება მის გამოსასვლელზე (ნახ. 12.)



ნახ. 12. “ზემოქმედება – შედეგი”

კლასიკური ზუსტი მეცნიერებები (მათემატიკა, ფიზიკა, ქიმია და ა.შ) ახორციელებენ ისეთი მოდელების დამუშავებას, რომლებიც ასახავენ ზუსტ ცალსახა დამოკიდებულებას სისტემის შესასვლელის X მდგომარეობასა და მისი გამოსასვლელის Y მდგომარეობას შორის გარდამავალი ფუნქციის მეშვეობით

$$Y = R(X) , \quad (1.1)$$

სადაც R არის გარდასახვის ოპერატორი (R - გარდასახვა). მეცნიერების განვითარების ადრეულ პერიოდში R - გარდასახვა გაგებულ იყო როგორც ცალსახა დეტერმინირებული ფუნქცია - ეს კი ფაქტიურად ნიშნავს იმას, რომ სისტემის ქცევა დროში (ზემოქმედება $X(t)$, სისტემის რეაქცია R ამ ზემოქმედებაზე და შედეგი $Y(t)$) შეიძლება ჩაიწეროს ცალსახად (1.1). აღმოჩნდა, რომ არსებობენ სისტემები, რომელთა რეაქცია ამა თუ იმ წარმოქმნილ სიტუაციაზე (ზემოქმედებაზე) ატარებენ ალბათურ ხასიათს. მაგალითად, წინასწარ ასპროცენტიანი დაბეჭითებით ვერ ვიტყვით, რომ თვითმფრინავი ან მანქანა დაქოქვისთანავე დაიძვრება ადგილიდან, რომ ის აღმოჩნდება მზად თავისი ფუნქციის უავარიოდ შესრულებისათვის, ვინაიდან ყოველთვის არსებობს იმისი ალბათობა (თუნდაც მიზერული), რომ მისი რომელიმე ელემენტი აღმოჩნდება დაზიანებული და ობიექტი ვერ შეძლებს თავისი ფუნქციის უჭველ შესრულებას. ამრიგად, გაჩნდა სისტემათა კლასიფიკაციის პირველი სახეები: დეტერმინირებული S_1 -სისტემები, R_1 -დეტერმინირებული გარდასახვით და სტოქასტიკური S_2 -სისტემები, R_2 -სტოქასტიკური გარდასახვით. ვინაიდან სისტემის თვისებები ხასიათდება R გარდასახვით, ამიტომ ვუწოდოთ მას სისტემის ფუნქციური აღწერა.

S_1 და S_2 სისტემებს შორის განსხვავების უკეთ გასაგებად მოვიყვანოთ მაგალითი: თუ გენერატორი გამოიმუშავებს სინუსოიდურ ძაბვას $Y(t) = U_0 \sin(\omega t + \varphi)$ ($X(t) = U_0$), მაშინ ძაბვა შეიძლება განისაზღვროს დროის ნებისმიერ t მომენტში. S_2 სისტემების შემთხვევაში შემავალი $X(t)$ ზემოქმედება ან R - გარდასახვა არ შეიძლება აღიწეროს დეტერმინირებული ფუნქციებით. ამ შემთხვევაში დროის ნებისმიერ მომენტში შემავალმა ზემოქმედებამ $X(t)$ ან R - გარდასახვამ შეიძლება რაღაც ალბათობით მიიღონ ესა თუ ის მნიშვნელობა შესაძლო მნიშვნელობათა შორის. თვითმფრინავი ან ავტომობილი ჩართვისას შეიძლება დაიქოქოს ან არ დაიქოქოს (ესაა შესაძლო მნიშვნელობები) რაღაც ალბათობით. შემთხვევითი ეწოდება პროცესს, რომელიც წარმოადგენს არა მარტო დროის ფუნქციას, არამედ დამოკიდებულაა შემთხვევით ფაქტორებზე, ე.ი. ესაა დროის ფუნქცია, რომლის მნიშვნელობაც დროის ნებისმიერ მომენტში შემთხვევითი სიდიდეა.

მოვიშველით მაგალითი: ისეთ სისტემებს, რომლებიც ხასიათდებიან შემთხვევითი პარამეტრებით, შეიძლება მივაკუთვნოთ კავშირგაბმულობის სისტემები, რომელთა კავშირის ხაზების მახასიათებლები იცვლებიან შემთხვევითი სახით, აგრეთვე სალოკაციო სისტემები, რომლებმაც უნდა აღმოაჩინონ ობიექტები მათგან არეკლილი სიგნალების მეშვეობით შემთხვევითი ხელშეშლების ფონზე.

ამრიგად, ურთიერთმოქმედი ობიექტები (ელემენტები) ქმნიან სისტემას, რომლის შემავალი მახასიათებლები შეიძლება ავლწეროთ, როგორც მისი აღწერა ურთიერთმოქმედებამდე, ხოლო გამოსავალი – ურთიერთმოქმედების შემდეგ (შედგეი). შედეგის შემთხვევითობა განისაზღვრება იმით, რომ ურთიერთმოქმედება შეიძლება მოხდეს დროის ნებისმიერ მომენტში და დროის დიაპაზონში (მომენტების სიმრავლე) ობიექტების (ელემენტების) სხვადასხვა მდგომარეობისას. თუ ურთიერთმოქმედების მექანიზმი (მდგომარეობები, დრო, მდგომარეობების შესაბამისი შედეგები) ზუსტად ცნობილია, მაშინ R -გარდასახვა არის X -ის დეტერმინირებული ფუნქცია. თუ ურთიერთმოქმედების მექანიზმი უცნობია, მაშინ მრავალჯერ განმეორებადი ერთი ტიპის ურთიერთმოქმედებისას ვლინდება წამყვანი ტენდენციები და წარმოიშობა შედეგების სისშირის განაწილება. მაშინ R -გარდასახვა წარმოადგენს ალბათობათა განაწილებას შემთხვევით მოვლენათა ანსამბლში, ასეთი ანსამბლი (თუ ის არსებობს ფიზიკურად) განიხილება, როგორც სტოქასტიკური სისტემა.

R -გარდასახვები შეიძლება მოცემული იყოს ალგებრული, ლოგიკური, დიფერენციალური, ინტეგრალ-დიფერენციალური ოპერატორებით; სკალარულად, ვექტორულად ან მატრიცულად, რომლებიც შედგენილია სისტემის გარე მახასიათებლების გაზომვით ან სისტემის აგებულების – მორფოლოგიური აღწერის საფუძველზე. მაგალითად, ლოკატორის რადიოტექნიკური ხელსაწყოს პრინციპული სქემის საფუძველზე, რომელსაც გააჩნია ელემენტების სპეციფიკაცია, შესაძლებელია R -გარდასახვის წარმოდგენა გარდამავალი ფუნქციის სახით. ამ შემთხვევაში სისტემის მორფოლოგიური აღწერა წარმოდგენილია პრინციპული სქემით, ხოლო ფუნქციური აღწერა R -გარდასახვის სახით.

ზუსტი მეცნიერებები შეისწავლიან ისეთ მოდელებსაც, რომლებიც არ შეიცავენ R -გარდასახვას. ესაა ქაოტიური მოვლენები, სუსტად ორგანიზებული,

სუსტად სტრუქტურირებული, არამდგრადი, არახანგრძლივი, რომლებშიც ერთმანეთს ეჯახებიან მრავალრიცხოვანი დამოუკიდებელი მოვლენები, რომელთაც არ გააჩნიათ ალბათობათა მდგრადი განაწილება, ამ შემთხვევაში შეუძლებელია სისტემის რამენაირი მორფოლოგიური და ფუნქციური აღწერის (მოდელის) შექმნა. ასეთ სისტემებს უწოდებენ S_3 – სისტემებს. ასეთი სისტემების რაოდენობრივ აღწერამდე მეცნიერება მივიდა ორგანიზაციის, დეზორგანიზაციის და ენტროპიის ცნებების მეშვეობით. ენტროპია საშუალებას იძლევა არა მარტო შეფასდეს სისტემის მოუწესრიგებლობის დონე, არამედ დროში მისი ცვლილების ტენდენციაც.

ორგანიზაციის (დეზორგანიზაციის) დონის აღწერა ასახავს, როგორც არსს ორგანიზაციისა, ასევე ჩვენს ცოდნას მასზე. ამიტომ ასეთ აღწერას მიზანშეწონილია ვუწოდოთ სისტემის ინფორმაციული აღწერა. ინფორმაციული აღწერა ავსებს S_1 , S_2 – სისტემების აღწერას (მორფოლოგიურს, ფუნქციურს), ხოლო S_3 – სისტემისათვის ის ერთადერთია.

მაგალითად, ძაბვის გენერატორი (1.1) საკმაოდ სრულად აღიწერება მისი მორფოლოგიით, მისი მახასიათებლების განუზღვრელობას არა აქვს დიდი პრაქტიკული მნიშვნელობა, ამიტომ აქ რაიმე ინფორმაციული აღწერის აუცილებლობა არ წარმოიშვება. რადიოლოკაციური სადგურის (S_2 – სისტემა) მორფოლოგიური აღწერა მოიცემა პრინციპული სქემით (ფუნქციური აღწერა განმარტავს სქემას), ხოლო ინფორმაციული აღწერა – ცდომილებათა მახასიათებლებით. პრინციპში ინფორმაციული აღწერა შეიძლება მივიღოთ სისტემის მორფოლოგიური აღწერიდან, მაგრამ სქემის ელემენტების მახასიათებლების ალბათური ხასიათიდან გამომდინარე, აგრეთვე ტექნიკური სიძნელეების გათვალისწინებით, მიზანშეწონილია ინფორმაციული აღწერა მიღებული იქნას ექსპერიმენტულად.

უნდა ავღნიშნოთ, რომ ჰუმანიტარულ მეცნიერებებს საქმე აქვთ რთულ, ზერთულ სისტემებთან (დიდ რთულ სისტემებთან). ამ მეცნიერებათა მთავარ შემეცნებით თავისებურებას წარმოადგენს ის, რომ შეუძლებელია ამ სისტემების აღწერაში (მოდელში) R - გარდასახვის იდეის გამოყენება, ვინაიდან ამ სისტემებში R - გარდასახვის გამოვლენა უმეტეს შემთხვევაში შეუძლებელია. მაგალითად, ადამიანთა ჯგუფი, საზოგადოება სხვადასხვაგვარად რეაგირებენ

ერთიდაიგივე ზემოქმედებაზე ერთიდაიგივე პირობებისას. ჰუმანიტარული მეცნიერებები იკვლევენ და სწავლობენ ადამიანთა საზოგადოების თვისებებსა და რეაქციებს, ცდილობენ აღმოაჩინონ ტენდენციები და შეაფასონ მათი მდგომარეობა. აღმოჩნდა, რომ რაც უფრო დიდია ზომით სისტემა, მით უფრო მდგრადია ტენდენციები მის ქცევაში, ხოლო გარკვეული ზომისას ტენდენცია გადაიზრდება კანონზომიერებაში. ასეთი სისტემებისათვის დამახასიათებელია ის, რომ მათი მორფოლოგიური თვისებები ფუნქციონალურთან დაკავშირებული არიან ხარისხობრივად, ხარისხობრივია თვით ფუნქციური აღწერებიც, ამის საუკეთესო მაგალითია საწარმოო სისტემები.

საზოგადოებრივი სისტემებისათვის მთავარი თვისებურებებია მათი მიზანდასახულობა. მიზანდასახულობის ქვეშ ვგულისხმობთ სისტემის უნარს შეარჩიოს თავისი ქცევა შიდა მიზნის შესაბამისად. ასეთი სისტემების გარე მახასიათებლები (Y გამომავალი) განისაზღვრება არა მარტო გარე ზემოქმედებებით (X შემავალი), არამედ მიზნითაც. სისტემა არსებული სიტუაციიდან და დასახული მიზნიდან გამომდინარე, ყოველთვის თავიდან აფორმირებს თავის R - გარდასახვას. ამიტომ ცალსახა R - გარდასახვა არ არსებობს. მიზანდასახული სისტემის მოქცევა ∂ დამოკიდებულია X შემავალ ზემოქმედებაზე და მის შესაძლო ცვლილებაზე $\hat{x}(\partial, t)$, რომელიც თავის მხრივ ასევე დამოკიდებულია სისტემის მოქცევაზე. ამიტომ Z მიზნის გათვალისწინებით ზოგადად R -გარდასახვას ექნება სახე:

$$Y = R[Z; X, \hat{X}(\partial, t)] \quad (12)$$

მაგრამ $\hat{X}(\partial, t) = \hat{X}(\hat{Y})$, სადაც \hat{Y} -გამოსავალი მახასიათებლების თვითშეფასებებია, რომელიც თავის მხრივ იკვება $\hat{X}, \hat{X}(\hat{Y})$ (\hat{X}, \hat{Y} - მეორე დონის შეფასებებია, იმის გათვალისწინებით, რომ $Y = \hat{Y}$) საფუძველზე.

პრაქტიკულად (12) ნაცვლად მიიღება იტერაციული სქემა, რომელიც სისტემის შესაძლებლობებიდან გამომდინარე, წყდება საკმაოდ სწრაფად. ამრიგად, ასეთი სისტემებისათვის აუცილებელია გაირკვეს მიზანი და ქცევის ტენდენციები. მიზანი შეიძლება იყოს მრავალკრიტერიუმიანი, ამავე დროს ის შეიძლება ბოლომდე არც იყოს გააზრებული ან განსაზღვრული.

სისტემებს, რომლებსაც შეუძლიათ R - გარდასახვის ფორმირება შიდა მიზნის და კონკრეტული სიტუაციის (შემავალი მდგომარეობის – ზემოქმედების) გათვალისწინებით, ვუწოდოთ S_0 – სისტემები.

S_0 სისტემები დიალექტიკურად აერთიანებენ S_1 -, S_2 -, S_3 - სისტემების წინააღმდეგობრივ თვისებებს და დეტერმინიზმს, სტოქასტიურობას და არჩევის თავისუფლებას იყენებენ მიზნის მისაღწევად - $S_0 = US_{1i}$, $S_0 = US_{2i}$.

S_0 – სისტემები არის სისტემური გამოკვლევების მთავარი ობიექტი, სწორედ ის წარმოადგენს რთულ სისტემებს, რომლებსაც გააჩნიათ საკუთარი კცევის მართვის უნარი. S_0 - სისტემებისათვის დამახასიათებელია ის, რომ ისინი შეიძლება სხვადასხვანაირად რეაგირებდნენ ერთიდაიგივე ზემოქმედებაზე და ერთნაირად რეაგირებდნენ სხვადასხვა ზემოქმედებაზე.

უნდა გვახსოვდეს, რომ S_0 – სისტემებს გააჩნიათ ნებისმიერი სირთულის, მაგრამ სტაბილური მორფოლოგია, რომელიც უზრუნველყოფს დასახული მიზნის შესაბამისად ფუნქციონალურ მოღვაწეობას (მოქმედებებს). ეს კი იმას ნიშნავს, რომ S_1 და S_2 სისტემებისაგან განსხვავებით, S_0 – სისტემებისათვის შეუძლებელია ფუნქციური აღწერის შედგენა მორფოლოგიის საფუძველზე. შესაბამისად, ასეთი სისტემებისათვის მორფოლოგიური და ფუნქციური აღწერები ურთიერთთანაცვლებადი როდია, ისინი აღწერენ სისტემის სხვადასხვა თვისებებს.

R -გარდასახვის არარსებობა და არაცალსახა დამოკიდებულება მორფოლოგიურ და ფუნქციურ აღწერებს შორის ბადებს გაურკვეველობას, რომელიც საჭიროებს შეფასებას. ეს შეფასება კი შესაძლებელია განხორციელდეს ინფორმაციული აღწერით.

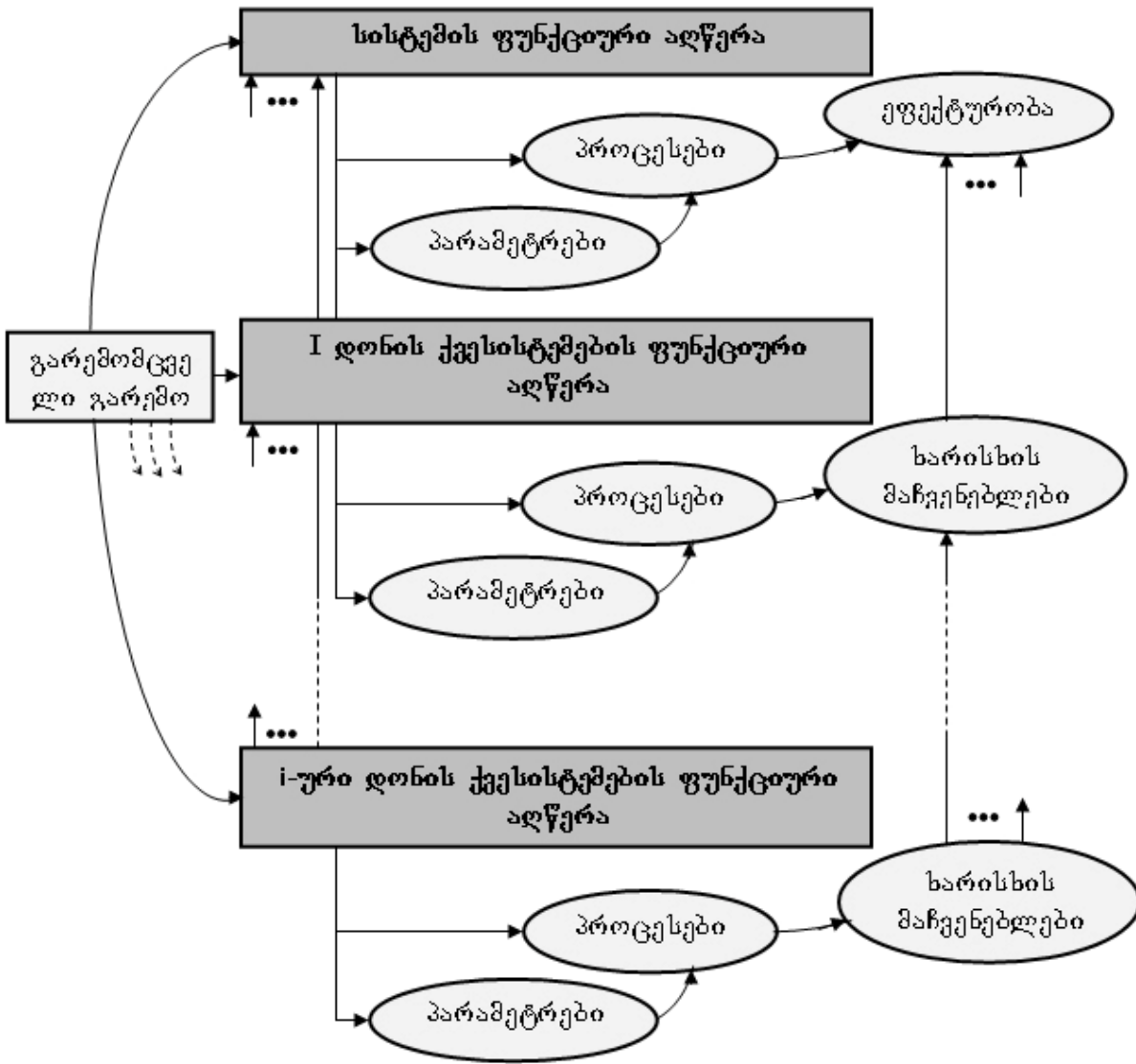
ნებისმიერი სისტემა შეიძლება განვიხილოთ როგორც S_0 – სისტემის კერძო შემთხვევა. ვიწყებთ რა ახალი სისტემის შესწავლას ჩვენ არ ვიცით რასთან გვაქვს საქმე. ამიტომ ნებისმიერი ახალი სისტემის შესწავლა უნდა დავიწყოთ შემდეგი სამი თვალსაზრისით: 1. ფუნქციური; 2. მორფოლოგიური; 3. ინფორმაციული; ე.ი. შევადგინოთ სამი სახის აღწერა. ამის გარეშე შეუძლებელია რაიმე მოდელის შედგენაზე ფიქრიც კი.

13. სისტემების ფუნქციური აღწერა

ფუნქციური აღწერა, პირველ რიგში, საჭიროა იმისათვის, რომ გავარკვიოთ სისტემის მნიშვნელობა, განვსაზღვროთ მისი ადგილი, შევაფასოთ მისი დამოკიდებულება (ურთიერთობა) სხვა სისტემებთან. ამით იწყება სისტემის შეცნობა და უამისოდ შეუძლებელია მისი გამოყენება. ფუნქციურმა აღწერამ უნდა მოგვცეს სწორი წარმოდგენა სისტემის გარე კავშირებთან დაკავშირებით, მის კონტაქტებზე გარემომცველ სამყაროსთან, მის შესაძლო ცვლილებებზე. ის მოიცავს სისტემის მნიშვნელოვნობის შეფასებას მის კონკრეტულ ფუნქციაში.

ფუნქციური აღწერა გამომდინარეობს იქიდან, რომ ნებისმიერი სისტემა ასრულებს რაღაც ფუნქციას – უბრალოდ არსებობს, ასრულებს სხვა სისტემების საარსებო სივრცის როლს, მომსახურებას უწევს უფრო მაღალი რანგის სისტემის ფუნქციონირებას, წარმოადგენს საკონტროლოს რაღაც კლასის სისტემებისათვის, წარმოადგენს საშუალებას ან მასალას უფრო სრულყოფილი სისტემის შესაქმნელად და ა.შ.

ფუნქციური აღწერა, სისტემის არსიდან გამომდინარე (იხ. სისტემის განმარტება), იერარქიულია. სისტემის ფუნქციის წარმოდგენა ხდება რიცხვითი ფუნქციონალის მეშვეობით, რომელიც დამოკიდებულია შიდა პროცესის აღმწერ ფუნქციაზე, ან ხარისხობრივი ფუნქციონალით (მოწესრიგება: უკეთესი – უარესი). ფუნქციური აღწერის იერარქიული სქემა მოტანილია ნახ. 13-ზე. ჩვეულებრივ სისტემის ფუნქცია სრულდება თუ სისტემის პარამეტრები და პროცესები შემოფარგლული არიან გარკვეული საზღვრებით, რომლის გარეთაც სისტემა იშლება ან რადიკალურად იცვლის თავის თვისებებს.



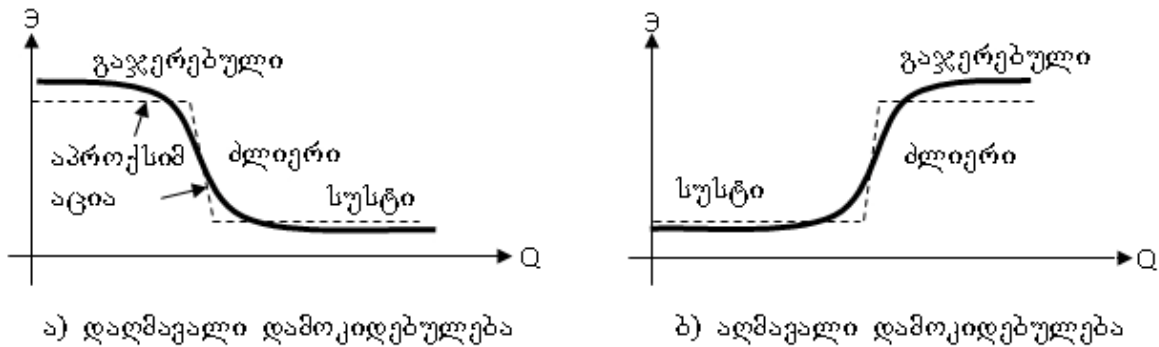
ფუნქციონალს, რომელიც საშუალებას გვაძლევს რაოდენობრივად ან ხარისხობრივად შევაფასოთ (ავლწეროთ) სისტემის მოღვაწეობა (მოქმედება), უწოდებენ ეფექტურობის ფუნქციონალს.

შენიშვნა: ფუნქციონალი, მათემატიკური ცნებაა და ნიშნავს ცვლად სიდიდეს, რომელიც დამოკიდებულია ფუნქციაზე ან რამდენიმე ფუნქციაზე.

თუ ეფექტურობის ფუნქციონალი (ზოგჯერ მას ეფექტურობის მაჩვენებელსაც უწოდებენ) მეტია რაღაც პირობით ზღურბლზე, მაშინ ითვლება,

რომ სისტემა თავის ფუნქციას ასრულებს, თუ ნაკლებია მაშინ ითვლება, რომ ფუნქციას არ ასრულებს (ან ფუნქცია არ სრულდება). უნდა გვახსოვდეს, რომ რეალურად ზღურბლი (ისევე როგორც ფუნქციის განსაზღვრა) გამოხატავს იმის პოზიციას, ვინც ადგენს აღწერას. მიუხედავად შესაძლო სისტემათა და ფუნქციების, ფაქტიურად, უსასრულო მრავალფეროვნებისა, ეფექტურობის დამოკიდებულება ნებისმიერი პარამეტრისაგან (ან ფუნქციის დამოკიდებულება პარამეტრისაგან) საკმაოდ ტიპურია. დამოკიდებულება მოიცავს სამ ტიპურ უბანს: სუსტი და ძლიერი კავშირის და გაჯერების. თითოეულ უბანზე დამოკიდებულება შეიძლება იყოს რეგულარული ან არარეგულარული (ნახტომები არამდგრად სისტემებში).

ჩვეულებრივ სისტემის მუშაობისუნარიანობის ფარგლებში და დადებული შეზღუდვებისას დამოკიდებულებები რეგულარულია (ნახ. 14).



აქ მოტანილი გრაფიკები იმაზე მიგვითითებენ, რომ არის არც: სადაც სისტემას ახშობს გარემო - “სუსტი” დამოკიდებულება, სადაც სისტემა ეჯიბრება გარემოს - “ძლიერი” დამოკიდებულება და სისტემა ხდება ნაკლებად მგრძობიარე გარეშე გავლენებისადმი (ზემოქმედებებისადმი) - “გაჯერებული” დამოკიდებულება. თუ სისტემის ფუნქციაა საკუთარი მდგომარეობის შენარჩუნება, მაგალითად ტემპერატურის, ხოლო გარეშე გავლენა გამოიხატება სითბოს მოდინებით, მაშინ სისტემა ეწინააღმდეგება ამ გავლენას

სითბოგამტარობით და ტემპერატურის გათანაბრებით. ყველაზე უფრო ზოგადი სახით იდეა - ნებისმიერმა სისტემამ წინააღმდეგობა გაუწიოს გარემოს ზემოქმედებას, გამოხატულია ლეშატელიეს პრინციპით. ლეშატელიეს პრინციპის თანახმად მასტაბილიზებული პროცესის შენარჩუნება საჭიროებს ეფექტურობის რაღაც ოდენობით შემცირებას (პირვანდელ მნიშვნელობასთან შედარებით).

არსებობენ სისტემები, რომლებიც გარეშე ზემოქმედებაზე რეაგირებენ სხვადასხვანაირად, კერძოდ, წარმოშობენ საკუთარ თავში პროცესებს არა ზემოქმედებათა შესასუსტებლად, არამედ აქტიური გარდაქმნისა და წინააღმდეგობისა, რომლებსაც შეუძლიათ შეცვალონ გარემოს პარამეტრები ან პირველადი არასასურველი ცვლილებები გამოიყენონ თავიანთ სასარგებლოდ. ამიტომ ეფექტურობის შემცირებას შეიძლება მოყვეს მისი გაზრდა. შეიძლება მოხდეს გარდაქმნა, რომელიც გამოიწვევს არა მარტო მდგომარეობის შეცვლას და ახალი პროცესების წარმოქმნას, არამედ ფუნქციის და სისტემის მუშაობისუნარიანობის საზღვრების შეცვლას.

სისტემის ფუნქციური აღწერა $S_{\mathfrak{g}}$ შეიძლება წარმოვადგინოთ შვიდეულით:

$$S_{\mathfrak{g}} = \{T, X, C, Q, Y, \varphi, \eta\} \quad (1.3)$$

სადაც T - დროის მომენტების სიმრავლეა; X - შემავალი ზემოქმედების მყისიერი მნიშვნელობათა სიმრავლეა; $C = \{c: T \rightarrow x\}$ - შემავალი შესაძლო ზემოქმედებათა სიმრავლეა; Q - მდგომარეობათა სიმრავლეა; Y - გამოსავალი სიდიდეების სიმრავლეა - $y = \{u: T \rightarrow y\}$; $\varphi = \{T \times T \times T \times c \rightarrow Q\}$ - მდგომარეობათა გარდამავალი ფუნქციაა; $\eta: T \times Q \rightarrow y$ - გამოსასვლელი გარდასახვაა; c - შემავალ ზემოქმედებათა მონაკვეთია; u - გამოსავალი სიდიდეების მონაკვეთია.

სისტემის ასეთი ასახვა, საკმაოდ ზოგადი და საერთოა, მოიცავს თვისებათა საკმაოდ დიდ დიაპაზონს. მისი ნაკლია - არაკონსტრუქციულობა: ინტერპრეტაციის და პრაქტიკული გამოყენების სირთულე. უნდა ვიფიქროთ, რომ ფუნქციურმა აღწერამ უნდა ასახოს რთული და ნაკლებად შეცნობილი სისტემების შემდეგი მახასიათებლები: პარამეტრები, პროცესები და იერარქია.

მივიღოთ, რომ S სისტემა ასრულებს N ფუნქციას $\Psi_1, \Psi_2, \dots, \Psi_S, \dots, \Psi_N$, რომლებიც დამოკიდებული არიან n პროცესებზე $F_1^{(1)}, F_2^{(1)}, \dots, F_i^{(1)}, \dots, F_n^{(1)}$. Ψ_S ფუნქციის შესრულების ეფექტურობა

$$\begin{aligned} \exists_S = \exists_S(\Psi_S) = \exists_S(F_1^{(1)}, F_2^{(1)}, \dots, F_n^{(1)}) = \exists_S(\{F_i^{(1)}\}) \\ i = \overline{1, n}; \quad S = \overline{1, N} \end{aligned} \quad (14)$$

სისტემის საერთო ეფექტურობა არის ვექტორ-ფუნქციონალი $\exists = \{\exists_S\}$.

სისტემის ეფექტურობა დამოკიდებულია უამრავ შიდა და გარე ფაქტორებზე და ამდენად ამ დამოკიდებულების ცხადი სახით წარმოდგენა უკიდურესად რთულია, ხოლო ასეთი გამოსახულების პრაქტიკული ღირებულება უმნიშვნელოა მისი მრავალგანზომილებიანობის და მრავალკავშირიანობის გამო. ფუნქციური აღწერის რაციონალური გზაა მრავალდონიანი იერარქიული აღწერის გამოყენება, რომლის დროსაც აღწერის უფრო მაღალი დონე დამოკიდებული იქნება ქვედა დონის განზოგადოებულ და ფაქტორიზებულ ცვლადებზე. იერარქია იქმნება პროცესების $\{F_i\}$ დონეების მიხედვით ფაქტორიზებით განზოგადოებული პარამეტრების $\{Q_i\}$ მეშვეობით, რომლებიც წარმოადგენენ $\{F_i\}$ ფუნქციონალებს. ივარაუდება, რომ პარამეტრების რიცხვი მნიშვნელოვნად მცირეა ცვლადების რიცხვზე, რომლებზედაც დამოკიდებული არიან პროცესები.

აღწერის ასეთი მეთოდი საშუალებას იძლევა ერთმანეთს დავაკავშიროთ გარემოსთან ურთიერთმოქმედი ელემენტების თვისებები სისტემის ეფექტურობასთან.

$\{F_i^{(1)}\}$ პროცესებს შეიძლება დავაკვირდეთ სისტემის გამოსახველზე, ეს არის გარემოსთან ურთიერთმოქმედების პროცესები. ვუწოდოთ მათ პირველი დონის პროცესები და ვივარაუდოთ, რომ ისინი განისაზღვრებიან:

ა) სისტემის პირველი დონის პარამეტრებით $\{Q_f^{(1)}\}$, $f = \overline{1, m}$;

ბ) გარემოს სისტემის წინააღმდეგ მიმართული პარამეტრებით $\{b_k\}$, $k = \overline{1, K}$;

გ) გარემოს ნეიტრალური (შემთხვევითი) პარამეტრებით $\{C_e\}$, $e = \overline{1, L}$;

დ) გარემოს ხელშემწყობი პარამეტრებით $\{d_p\}$, $p = \overline{1, P}$.

სისტემის ეფექტურობის ვარიაციები გარემოს პარამეტრების მიმართ იქნება:

$$\delta \xi_s(b_k) < 0; \quad k = \overline{1, K} \quad \delta \xi_s(C_e) = 0; \quad e = \overline{1, L} \quad \delta \xi_s(d_p) > 0; \quad p = \overline{1, P} \quad (1.5)$$

აქ ნიშანი \sim გასაშუალების მაჩვენებელია. &

გარემოს უშუალო კონტაქტი აქვს სისტემის უმდაბლესი დონის ქვესისტემებთან, რომელთა მეშვეობითაც ის ზემოქმედებს სისტემის უფრო მაღალი დონის ქვესისტემებთან, ასე, რომ ნებისმიერი დონის პროცესისათვის შეგვიძლია ჩავწეროთ $F_i^* = F_i^*(\{b_k\}, \{C_e\}, \{d_p\})$. იერარქიის აგებით გარემოს თვისებები შეიძლება დავაკავშიროთ სისტემის ეფექტურობასთან.

ამრიგად, განმარტების თანახმად გვაქვს

$$F_i^{(1)} = F_i^{(1)}(\{Q_j^{(1)}\}, \{b_k\}, \{C_e\}, \{d_p\}) \quad (1.6)$$

$$i = \overline{1, n}; \quad j = \overline{1, m}; \quad k = \overline{1, K}; \quad e = \overline{1, L}; \quad p = \overline{1, P}$$

თავის მხრივ ზედა დონის პარამეტრებს განსაზღვრავენ ქვედა დონის პროცესები, ე.ი. გვაქვს

$$Q_j^{(1)} = Q_j^{(1)}(\{F_u^{(2)}\}) \quad (1.7)$$

$$j = \overline{1, m}; \quad u = \overline{1, M}$$

სისტემის საკუთარი ფუნქციური Ω არე ეწოდება არეს, რომლის წერტილებსაც წარმოადგენენ სისტემის ყველა შესაძლო მდგომარეობები, რომლებიც განისაზღვრებიან პარამეტრებით β დონემდე (იგულისხმება, რომ სისტემის იერარქიული დაყოფა მოიცავს β რაოდენობის დონეს) ჩათვლით:

$$Q = \{Q^{(1)}, Q^{(2)}, \dots, Q^{(\beta)}\} \quad (1.8)$$

სისტემის მდგომარეობა შეიძლება შენარჩუნებული იყოს T დროის მონაკვეთის განმავლობაში.

პროცესები $\{F_i^{(2)}\}$ არ შეიძლება აღმოჩენილი იქნას სისტემის გამოსასვლელზე, ესაა მეორე დონის პროცესები, რომლებიც თავის მხრივ დამოკიდებული არიან $Q_j^{(2)}$ პარამეტრებზე. ამრიგად შეგვიძლია ჩავწეროთ:

$$F_u^{(2)} = F_u^{(2)}(\{Q_j^{(2)}\}, \{b_k\}, \{C_e\}, \{d_p\}) \quad (1.8.1)$$

და

$$Q_j^{(2)} = Q_j^{(2)}(\{F_i^{(3)}\})$$

და ასე β ბოლო დონისათვის გვექნება:

$$F_i^{(\beta)} = F_i^{(\beta)}(\{Q_j^{(\beta)}\}, \{b_k\}, \{c_e\}, \{d_p\}) \quad (19)$$

და

$$Q_j^{(\beta)} = Q_j^{(\beta)}(\{F_i^{(\beta+1)}\})$$

ამრიგად, ყალიბდება შემდეგი იერარქია: ეფექტურობა – I დონის პროცესები (ფუნქციები) – I დონის პარამეტრები (ფუნქციონალები) – II დონის პროცესები (ფუნქციები) – II დონის პარამეტრები (ფუნქციონალები) და ა.შ. რაღაც დონეზე სისტემის ფუნქციური თვისებების შესახებ ჩვენი ცოდნა იწურება და იერარქია წყდება.

რაც შეეხება b_k, c_e, d_p ისინი შეიძლება მოცემული იყოს: ფუნქციონალებით, ალბათობათა განაწილების კანონებით $P_k(b_k), P_e(c_e), P_p(d_p)$. შეზღუდვებით $b_{k^*} \leq b_k \leq b_k^*, c_{e^*} \leq c_e \leq c_e^*, d_{p^*} \leq d_p \leq d_p^*$.

სისტემის გარე მახასიათებლები განისაზღვრება იერარქიის ზედა დონით, ამიტომ ზოგჯერ შესაძლებელია დაგვიმაყოფილდეთ ასეთი სახის აღწერით: $\{\xi_i\}, \{\Psi_s\}, \{F_i^{(1)}\}, \{Q_j^{(1)}\}, \{b_k\}, \{c_e\}, \{d_p\}$.

უნდა გვახსოვდეს, რომ $\{Q_j^{(1)}\}, \{b_k\}, \{c_e\}, \{d_p\}$ შეფასების სიზუსტე (თუ ისინი არაა მოცემული) დამოკიდებულია იერარქიის დონეების რიცხვზე და ქვედა პირველ დონეზე პარამეტრების ან პროცესების წარმოდგენის სიზუსტეზე, ასე, რომ იერარქიის დონეების რიცხვი დამოკიდებულია გამოსავალი პროცესების საჭირო სიზუსტეზე. განვიხილოთ სხვადასხვა შემთხვევები.

1. შეიცვალოს c_e . ეს ცვლილება შემთხვევითი ხასიათისაა და მან შეიძლება გამოიწვიოს \exists -ს როგორც შემცირება, ასევე გაზრდა. c_e სასარგებლო ცვლილების ალბათობა მცირეა და საშუალოდ \exists მცირდება. სისტემაში უკუმოქმედი ფაქტორების აღძვრის შედეგად შეიძლება შეიცვალოს ერთი ან რამდენიმე პროცესი $(F_1, F_2, \dots, F_i, \dots)$ ისეთნაირად, რომ c_e -ის ცვლილების გავლენა შესუსტდეს. იმისათვის, რომ შენარჩუნებული იქნას ახალი მდგომარეობა $F_1^{(1)}, F_2^{(1)}, \dots, F_i^{(1)}, \dots$ საჭიროა \exists -ს შემცირება პირვანდელ სიდიდესთან შედარებით. სისტემამ რეაქცია გააკეთა თავისი პროცესების შეცვლით. უფრო

ღრმა ცვლილებები არ მომხდარა. ეს აისახება იერარქიის ზედა საფეხურებზე ფუნქციური აღწერით.

2. c_e შეიცვალა მნიშვნელოვნად, რამაც გამოიწვია \exists -ს არსებითი შემცირება. F_i პროცესების შეცვლას არ შეუძლია შეახეროს \exists -ს შემცირება და წარმოიშობა ახალი F_r პროცესი, რომელიც ნაწილობრივ აკომპენსირებს არასასურველ ზემოქმედებას.

3. შეიცვალა c_e , რის შედეგადაც სისტემაში შეიცვალა Q_i პარამეტრების ნაწილი, რამაც გავლენა მოახდინა სისტემაში მიმდინარე ყველა პროცესზე და გამოიწვია ახალი F_r პროცესების წარმოშობა.

4. c_e ცვლილების შედეგად შეიცვალა Q_i პარამეტრების შემადგენლობა, ე.ი. წარმოიშვა ახალი თვისებები. ამასთან დაკავშირებით შეიცვალა სისტემაში მიმდინარე პროცესები, ეფექტურობა აღდგა ან გადააჭარბა პირველად მნიშვნელობას. ყველა ზემოთ განხილულ შემთხვევაში სისტემამ შეინარჩუნა თავისი ფუნქცია (დანიშნულება).

5. c_e -ის შეცვლის შედეგად მოხდა Q_i და F_i ისეთი შეცვლა, რომ სისტემამ პარალელურად ძირითადი ფუნქციისა შეიძინა შესაძლებლობა გავლენა მოახდინოს გარემომცველ გარემოზე, რის შედეგადაც c_e შეიცვალა ადრინდელი მიმართულებით. ამ შემთხვევაში გარეშე ზემოქმედების წყალობით სისტემაში მოხდა ისეთი გადაწყობა, რამაც მას საშუალება მისცა გაეფართოებინა თავისი გავლენა და უკეთესად წინ აღდგომოდა გარემოს ცვლილებებს.

6. c_e შეცვლის შედეგად სისტემამ შეიცვალა ადრინდელი ფუნქცია, შეიძინა ახალი ფუნქცია, საკმაოდ მნიშვნელოვანი სისტემის აღწერის თვალსაზრისით, უფრო ვრცელი, მაგალითად, რომელიც ძველ ფუნქციას შეიცავს, როგორც ქვეფუნქციას. სისტემა ძირეულად შეიცვალა (შეიცვალა როგორც პარამეტრები, ასევე პროცესებიც) და გარდაიქმნა ახალ სისტემად, სხვა მიზნობრივი დანიშნულებით და სხვა ამოცანებით.

c_e ყველა განხილული ცვლილებები შეიძლება მიმდინარეობდეს სხვადასხვა ტემპში და ამაზე დამოკიდებული შედეგი, თანაც c_e შეიძლება შეიცვალოს ისე სწრაფად, რომ სისტემას არ შეეძლება მოახდინოს მათზე რეაგირება. სისტემა რეაგირებას მოახდენს საშუალო მნიშვნელობების

ცვლილებაზე, ეფექტურობის ფუნქციონალი მიიღებს შემთხვევით მდგენელს და ეფექტურობის შეფასება უნდა მოხდეს სტატისტიკურად. სხვა შემთხვევაში c_e ცვლილება იქნება იმდენად ნელი, რომ სისტემა მოასწრებს Q_i , F_i დამუშავებას უშუალოდ ამ ცვლილებების შესაბამისად. ჩვეულებრივ ხდება ერთი და მეორეც: გარემოს პარამეტრების ნაწილი იცვლება სწრაფად, სხვა ნაწილი – ნელა. სისტემა რეაგირებს b_k, c_e, d_p ერთობლივ ცვლილებაზე.

სწრაფი პროცესების შემთხვევაში გარკვეულ როლს თამაშობს სისტემის ოპერატიულობა: უნარი სწრაფად მიიღოს ინფორმაცია, დაამუშაოს ის და განახორციელოს თავისი პარამეტრების და პროცესების ცვლილება.

ამრიგად, თუ გავითვალისწინებთ, რომ $\exists \exists (Q^{(1)}), Q^{(1)} = Q^{(1)}(b, c, d)$, მაშინ სისტემის ფუნქციური აღწერა შეიძლება წარმოვადგინოთ ასეთი სახითაც:

$$S_{\text{გ}} = \{Q^{(1)}(t), Q^{(2)}(t), \dots, Q^{(\beta)}(t)\} \quad (1.10)$$

14. სისტემების მორფოლოგიური აღწერა

მორფოლოგიურმა აღწერამ წარმოდგენა უნდა მოგვცეს სისტემის აგებულებაზე. ის არ შეიძლება იყოს ყოვლისმომცველი და ამომწურავი. აღწერის სიღრმე, დეტალიზაციის დონე, ე.ი. იმ ელემენტების არჩევა, რომლის შიგნითაც აღწერა არ აღწევს, განისაზღვრება აღწერის დანიშნულებით. მორფოლოგიური აღწერა, მორფოლოგიის კონკრეტიზაცია ხდება იმ დონემდე, რაც საჭიროა სისტემის თვისებების წარმოსადგენად (ნახ. 1.5). (მორფოლოგია – მეცნიერება რისამე აგებულების შესახებ).

მორფოლოგიის შესწავლა იწყება ელემენტების შემადგენლობის შესწავლით. ამ შემთხვევაში ელემენტების ქვეშ იგულისხმება ქვესისტემა, რომლის შიგნითაც აღწერა არ შედის. ელემენტების შემადგენლობა შეიძლება იყოს ჰომოგენური (შეიცავდეს ერთი ტიპის ელემენტებს), ჰეტეროგენული (შეიცავდეს სხვადასხვა ტიპის ელემენტებს) და შერეული.

ჰომოგენურობა ელემენტებისა არ ნიშნავს მათ სრულ იდენტურობას და განსაზღვრავს მათ თვისებათა სიახლოვეს. ჰომოგენურობას, როგორც წესი, თან ახლავს სიჭარბე და ფარული შესაძლებლობების არსებობა. ჰეტეროგენული ელემენტები არიან სპეციალიზებული. ისინი უფრო ეკონომიურია და შეუძლიათ

იყონ ეფექტური გარე პირობების ვიწრო დიაპაზონში, მაგრამ სწრაფად კარგავენ ეფექტურობას ამ დიაპაზონის გარეთ. ჰომოგენური სისტემები, უნდა ითქვას, თავისი ორგანიზაციით უფრო მაღლა დგანან ჰეტეროგენულ სისტემებზე.

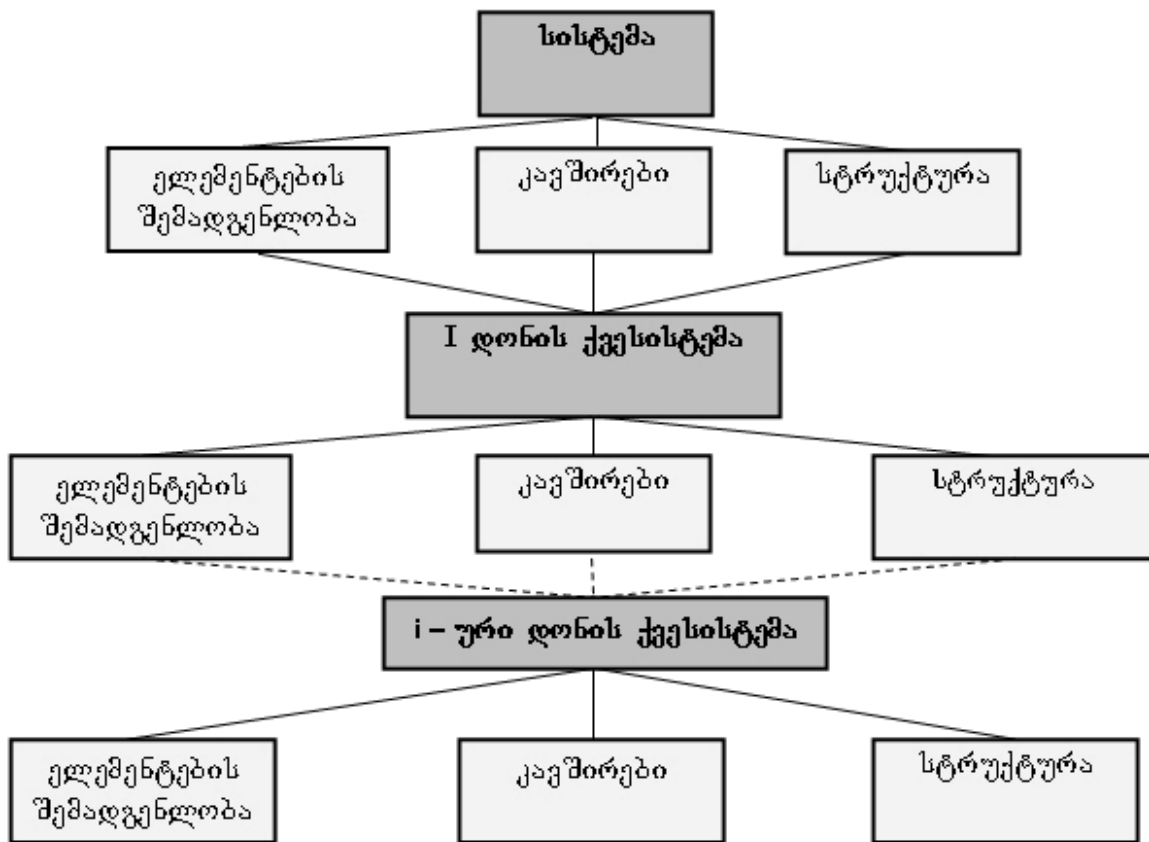
მორფოლოგიის უმნიშვნელოვანეს ნიშანს წარმოადგენს ელემენტების დანიშნულება (თვისებები). ავნიშნოთ ენერგეტიკული, მატერიალური და ინფორმაციული ელემენტები. ინფორმაციის გადაცემას სჭირდება ენერგია, ენერგიის გადატანა კი შეუძლებელია ინფორმაციის გარეშე; აუცილებელია ავნიშნოთ რა უფრო მნიშვნელოვანია. ენერგიის ხარჯვა ელექტრული კავშირის სისტემებში უმნიშვნელოა ვიდრე ენერგიის გადაცემისას ელექტროგადამცემი ხაზებით, ხოლო ინფორმაციის რაოდენობა, რომელიც გადაიტანება ელექტრონების ძალოვანი ნაკადით (ელექტროგადამცემი ხაზის შემთხვევაში) ბევრად უმნიშვნელოა იმასთან შედარებით, რისი გადატანაც ხდება კავშირგაბმულობის ხაზების მეშვეობით. ინფორმაციული ელემენტები განკუთვნილია ინფორმაციის მიღების, დამახსოვრების და გარდასახვისათვის.

უნდა განვასხვაოთ ინფორმაციის შექცევადი და შეუქცევადი გარდასახვები. შექცევადი ეწოდებათ გარდასახვებს, რომლებიც არ არიან დაკავშირებული ინფორმაციის დაკარგვასთან (შექმნასთან). ინფორმაციის დაგროვება (დამახსოვრება) შექცევადი გარდასახვაა მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ არ ხდება ინფორმაციის დაკარგვა მისი შენახვის პერიოდის განმავლობაში. გადაწყვეტილების მიღება დაკავშირებულია ინფორმაციის დაკარგვასთან.

უნდა განვასხვაოთ ინფორმაციის შექცევადი და შეუქცევადი გარდასახვები. შექცევადი ეწოდებათ გარდასახვებს, რომლებიც არ არიან დაკავშირებული ინფორმაციის დაკარგვასთან (შექმნასთან). ინფორმაციის დაგროვება (დამახსოვრება) შექცევადი გარდასახვაა მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ არ ხდება ინფორმაციის დაკარგვა მისი შენახვის პერიოდის განმავლობაში. გადაწყვეტილების მიღება დაკავშირებულია ინფორმაციის დაკარგვასთან.

ინფორმაციული ფუნქციების შესრულების ეფექტურობა განისაზღვრება ინფორმაციის დამახინჯებებით და ელემენტის მუშაობის სქემით გაუთვალისწინებელი დანაკარგებით, რომლებიც უარყოფით გავლენას ახდენენ სხვა ელემენტების მუშაობაზე და მთლიანად სისტემაზე. ელემენტების ენერგომომარაგება, რომლებიც ასრულებენ ინფორმაციულ ფუნქციებს, შეიძლება

ხორციელდებოდეს ან თვით ინფორმაციული სიგნალით (რომელსაც უნდა გააჩნდეს ენერგიის საჭირო სიჭარბე), ან ცალკე ენერგეტიკული სიგნალით, რომელიც შემოდის გარედან, ან შიდა რესურსების (ენერგია მომარაგებულია თვით ელემენტში) ანგარიშზე. ენერგეტიკული ელემენტებისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს მათ სარგებლიანობის კოეფიციენტს, რაც საბოლოო ჯამში განსაზღვრავს ელემენტის ეფექტურობას.



ენერგიის გარდასახვა მდგომარეობს ენერგეტიკული ნაკადის პარამეტრების შეცვლაში. შემაჯავალი ენერგიის ნაკადი შეიძლება მოდიოდეს გარედან (გარემოდან) ან სხვა ელემენტებიდან (რომლებშიც ის მომარაგებულია

სისტემის არსებობის განმავლობაში). გამოსავალი ენერგეტიკული ნაკადი მიმართულია სხვა ელემენტებისაკენ ან გარემოსაკენ (მისი გარდასახვისათვის ან პირობების შენარჩუნებისათვის, მაგალითად ტემპერატურის). ენერჯის გარდასახვის პროცესი საჭიროებს ინფორმაციას, რომელიც შეიძლება კონცენტრირებული იყოს ენერგეტიკულ ელემენტში, რომელიც არ საჭიროებს განახლებას, მაგრამ შეიძლება მოხდეს მისი განახლება, შევსება ან შეცვლა სისტემის სხვა ელემენტებისაგან მიღებული ინფორმაციის საფუძველზე. ამ შემთხვევაში ინფორმაციის მატარებელი შეიძლება იყოს როგორც გარდასახვის, ასევე გარეშე ენერგეტიკული ნაკადი.

ენერჯის გარდასახვის პროცესის ინტენსივობა და შინაარსი შეიძლება იცვლებოდეს სისტემის სიცოცხლის განმავლობაში. ამისთვის საჭირო ინფორმაცია შეიძლება შემოდოდეს სხვა ელემენტებიდან ან გამოიმუშაოს ენერგეტიკულმა ელემენტმა, რომელიც ამ დროს ასრულებს შერეულ ენერგეტიკულ-ინფორმაციულ ფუნქციას. ელემენტებს შერეული ფუნქციით შეუძლიათ მომარაგებული ენერჯის გაცემა ბრძანებით, რომელიც შემოდის სხვა ელემენტებიდან. ელემენტები, რომლებიც გარდაქმნიან ნივთიერებას (გარდა ნედლეულისა) საჭიროებენ ენერჯიას და ინფორმაციას. ერთსაც და მეორესაც შეიძლება შეიცავდეს ნივთიერი ელემენტი, ან შემოდოდეს სისტემის სხვა ელემენტებიდან ან გარემოდან.

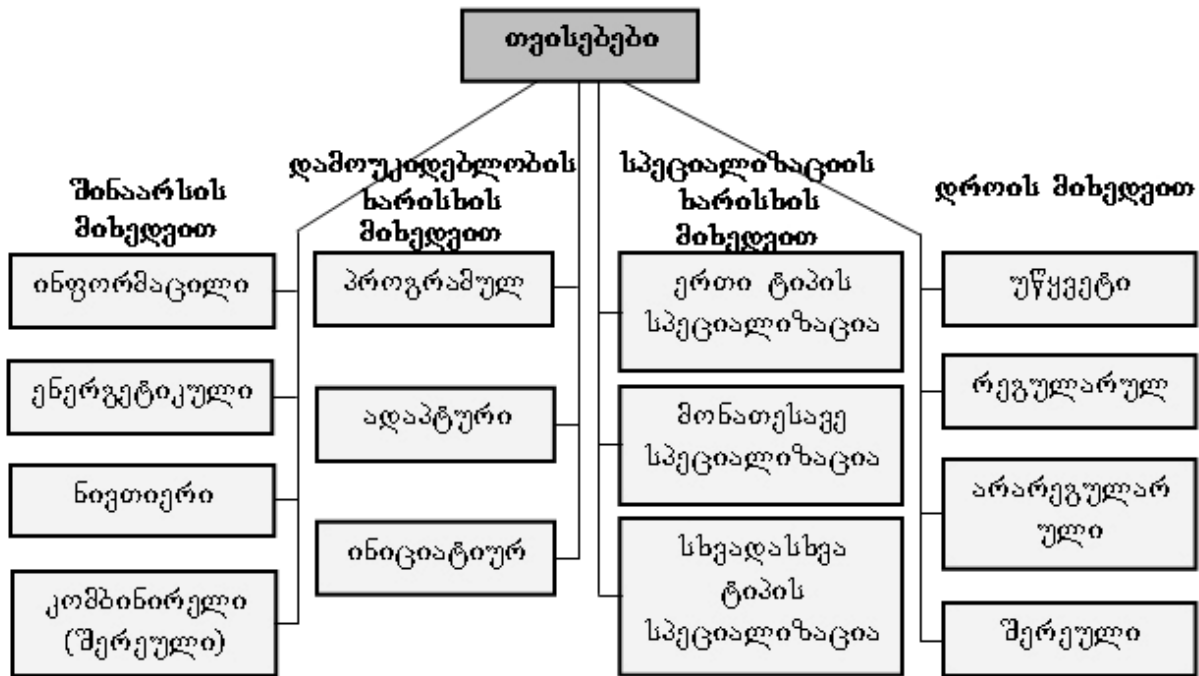
ნივთიერების გარდასახვა შეიძლება იყოს მექანიკური (დეტალების დაშტამპვა), ქიმიური (პლასტმასის წარმოება), ფიზიკური (პლაზმის წარმოქმნა), ბიოლოგიური და ა. შ. რთულ სისტემებში ნივთიერების გარდასახვა ატარებს შერეულ ხასიათს. ნივთიერება შეიძლება გამოყენებულ იქნას ენერჯის მისაღებად ქვესისტემებში (ელემენტებში) შერეული ფუნქციებით – ნივთიერების და ენერჯის გარდასახვით. ნივთიერება შეიძლება გამოყენებულ იქნას როგორც ენერჯის და ინფორმაციის მატარებელი (ცოცხალი არსებებისათვის საკვები წარმოადგენს ქიმიური ენერჯის წყაროს და ერთდროულად ინფორმაციის მატარებელს, რომელიც ავსებს დისიმილაციურ ხარჯებს) სისტემებში შერეული ფუნქციებით ენერჯის, ნივთიერების და ინფორმაციის გარდასახვისა.

მიზანშეწონილია ცალკე გამოიყოს განუსაზღვრელი (ანუ ნეიტრალური) ელემენტები. ნებისმიერ პროცესს (მათ შორის შემთხვევითსაც) ასე თუ ისე მიყვავართ ნივთიერების, ენერჯის და ინფორმაციის გარდასახვამდე. მაგალითად

შეუძლებელია განსაზღვროს ისეთი ელემენტების დანიშნულება, როგორებიცაა ატომი მყარ სხეულში, პლანეტა მზის სისტემაში ან ვარსკვლავი გალაქტიკაში და ა. შ.

მეცნიერები თვლიან, რომ ტერმინის „დანიშნულება“ გამოყენება თვისებების განსაზღვრისათვის არაა სასურველი. ამიტომ იმ შემთხვევებში, როცა თვისება არაა განსაზღვრული, შეუძლებელია მისი წინასწარმეტყველება ან ის არ ატარებს სტაბილურ ხასიათს, ვუწოდებთ მას ნეიტრალურს (თანაც ვითვალისწინებთ ასეთი განმარტების სრულ პირობითობას). ნახ. 1.6.-ზე მოცემულია ელემენტების თვისებათა კლასიფიკაცია.

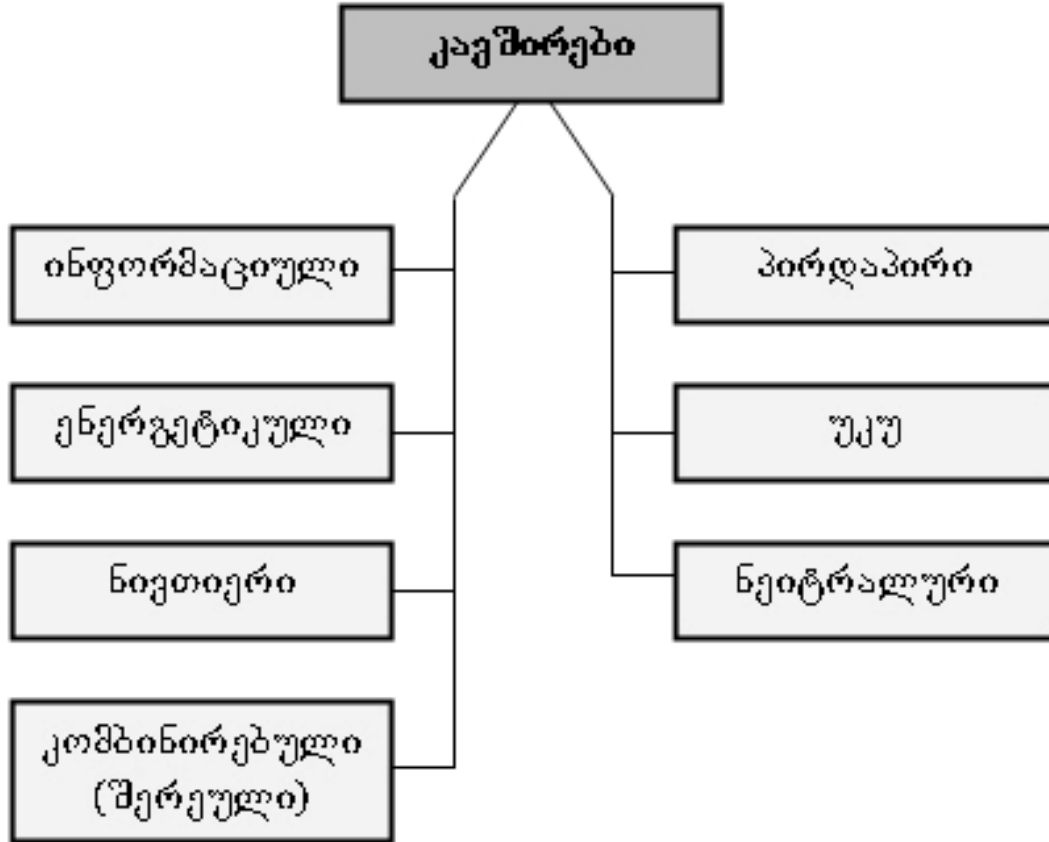
სისტემის მორფოლოგიური თვისებები არსებითადაა დამოკიდებული ელემენტებს შორის კავშირებზე. პირველ რიგში უნდა გამოიყოს ინფორმაციული, ენერგეტიკული, ნივთიერი კავშირები, რომლებსაც განვსაზღვრავთ იმავე აზრით,



როგორც იყო განსაზღვრული ინფორმაციული, ენერგეტიკული, ნივთიერი თვისებები.

ენერგეტიკული კავშირები საჭიროა ენერჯის გადასატანად, ხოლო ინფორმაციული – ინფორმაციის გადასატანად. კავშირებს მატერიის გადასატანად გადააქვთ ნივთიერება, მაგრამ ერთდროულად – ენერჯიაც და ინფორმაციაც, ასე რომ კავშირის ხასიათი განისაზღვრება შესაბამისი კომპონენტის ხვედრითი წილით. შესაძლებელია შერეული კავშირებიც. გამოვეყოფთ პირდაპირ, უკუ და ნეიტრალურ კავშირს (ნახ. 1.7).

პირდაპირი კავშირები განკუთვნილია ნივთიერების, ენერჯის, ინფორმაციის ან მათი კომბინაციის გადასაცემად ერთი ელემენტიდან მეორესთან შესასრულებელი ფუნქციის თანმიმდევრობის შესაბამისად. კავშირის ხარისხი განისაზღვრება მისი გამტარუნარიანობით და საიმედოობით. უკუკავშირებს ძირითადად გააჩნიათ პროცესების მართვის ფუნქცია. ყველაზე უფრო გავრცელებულია ინფორმაციული უკუკავშირები. უკუკავშირისას ივარაუდება გარკვეული გარდასახვა კომპონენტისა, რომელიც შემოდის პირდაპირი კავშირით, და გარდასახვის შედეგის უკან გადაცემა. გარდასახვა შეიძლება იყოს იგივეობრივი (ინფორმაცია ინფორმაციაში, ენერჯია ენერჯიაში) ან არაიგივეობრივი (ნივთიერების შემადგენლობის შეცვლა გარდაისახება ინფორმაციაში ან ენერჯიაში).



სისტემებს, რომლებსაც შეუძლიათ ადაპტირება ან გარემოზე მიზანმიმართული ზემოქმედება, უნდა გააჩნდეთ უკუკავშირები. ნეიტრალური კავშირები არ არიან დაკავშირებული სისტემის ფუნქციონალურ მოღვაწეობასთან, მათი წინასწარი ამოცნობა შეუძლებელია ან შემთხვევითია. ამასთან ერთად ნეიტრალურმა კავშირებმა შეიძლება ითამაშონ გარკვეული როლი ადაპტაციის პროცესში, ითამაშონ საწყისი რესურსის როლი პირდაპირი ან უკუკავშირების ფორმირებისას, ან იყვნენ რეზერვი. გარკვეულ პირობებში შესაძლებელია კავშირების გარდაქმნა (პირდაპირის უკუკავშირად და ნეიტრალურად და ა.შ). მორფოლოგიური აღწერა შეიძლება შეიცავდეს მითითებებს კავშირის არსებობასა და სახეობებზე, შეიცავდეს აგრეთვე

კავშირების საერთო მახასიათებლებს ან მათ რაოდენობრივ და ხარისხობრივ მონაცემებს.

სისტემების სტრუქტურული თვისებები განისაზღვრებიან ელემენტებს შორის ურთიერთობების ხასიათითა და მდგრადობით. ელემენტებს შორის ურთიერთობების ხასიათის მიხედვით სტრუქტურები იყოფიან მრავალკავშირიან, იერარქიულ და შერეულ სტრუქტურებად. ელემენტების სივრცეში განლაგება და სივრცეში სისტემების ლოკალიზაცია ასევე აღიწერება სტრუქტურით. ყველაზე უფრო მდგრადია დეტერმინირებული სტრუქტურები, რომლებშიც ურთიერთობები უცვლელია ან იცვლებიან რაღაც კანონით. თუ ელემენტებს შორის ურთიერთობა (კავშირი) აღიწერება ალბათობის თეორიის კანონებით, სტრუქტურას ეწოდება ალბათური. არსებობს აგრეთვე ქაოტიური სტრუქტურები, რომლებშიც ელემენტები ერთმანეთთან ურთიერთობაში (კავშირში) შედიან წინასწარ გამოუცნობი სახით. შესაძლებელია შერეული სტრუქტურებიც. სტრუქტურის თვისებები დამოკიდებულია შიდა მოქმედ ძალებზე, ელემენტების და კავშირების თვისებებზე. დეტერმინიზმს, ისევე როგორც ინდეტერმინიზმს გააჩნია თავისი სრულყოფილების იერარქია. დაბალი დონე – სრული უცვლელობა, შემდეგი, უფრო მაღალი დონე – გარკვეული ელემენტების ჩართვა და გამორთვა (შესაბამის პირობებში), კიდევ უფრო მაღალი დონეა – სტრუქტურის გაფართოება (გარემოსაგან ფორმირებული ელემენტებით) მკაცრად განსაზღვრული მიმართულებით, ახალი ტიპის ელემენტების შექმნა და ა.შ. საზღვარი მაღალი დონის სტაბილურ და არასტაბილურ სტრუქტურებს შორის არაა განსაზღვრული.

სისტემების კომპოზიციური თვისებები განისაზღვრებიან ელემენტების ქვესისტემებში გაერთიანების წესით. განვასხვავებთ შემდეგ ქვესისტემებს: ეფექტორულს (რომლებსაც შეუძლიათ გარდაქმნან ნივთიერი ან ენერჯიის ზემოქმედება ან ზემოქმედება მოახდინონ ნივთიერებით ან ენერჯიით სხვა ქვესისტემებზე და სისტემებზე, მათ შორის გარემოზეც), რეცეპტორულს (რომლებსაც შეუძლიათ გარე ზემოქმედება გარდაქმნან ინფორმაციულ სიგნალად, გადასცენ და გადაიტანონ ინფორმაცია) და რეფლექსიური (რომლებსაც შეუძლიათ თავის თავში აწარმოონ პროცესები ინფორმაციის დონეზე, მოახდინონ ინფორმაციის გენერირება). ასევე უნდა გავითვალისწინოთ განუსაზღვრელი ქვესისტემების არსებობაც, რომელთა თვისებებიც არ შეიძლება

განსაზღვრული იქნას. სისტემების კომპოზიციას, რომლებიც არ შეიცავენ (ელემენტების დონემდე) ქვესისტემებს გამოხატული თვისებებით, ვუწოდებთ სუსტს. სისტემების კომპოზიციებს, რომლებიც შეიცავენ ქვესისტემებს გამოხატული თვისებებით, ფუნქციებით, ეწოდებათ, შესაბამისად, ეფექტორული, რეცეპტორული ან რეფლექსიური ქვესისტემები. სისტემების კომპოზიცია, რომლებიც მოიცავენ სამივე სახის ქვესისტემებს, ვუწოდებთ სრულს. სისტემის ელემენტებს (ანუ ქვესისტემები, რომლის შიგნითაც მორფოლოგიური აღწერა არ ვრცელდება) შეიძლება გააჩნდეთ როგორც ეფექტორული, რეცეპტორული ან რეფლექსიური თვისებები, ასევე თვისებები ნებისმიერი მათი კომბინაციით.

ამრიგად, მორფოლოგიური აღწერა არის ოთხეული

$$S_d = \{\Sigma, V, \sigma, K\} \quad , \quad (1.11)$$

სადაც $\Sigma = \{\Sigma_i\}$ - არის ელემენტების და მათი თვისებების სიმრავლე (აქ ელემენტების ქვეშ ისევ იგულისხმება ქვესისტემა, რომლის შიგნითაც მორფოლოგიური აღწერა არ ვრცელდება);

$V = \{V_j\}$ - კავშირების სიმრავლე;

σ - სტრუქტურა;

K - კომპოზიცია.

ვთვლით, რომ ყველა სიმრავლე სასრულია.

ვანსხვავებთ Σ სიმრავლეში:

- შემადგენლობას: ჰომოგენური, ჰეტეროგენული, შერეული;

- ელემენტების თვისებებს: ინფორმაციული, ენერგეტიკული, ინფორმაციულ-ენერგეტიკული, ნივთიერ-ენერგეტიკული, განუსაზღვრელი (ნეიტრალური).

V სიმრავლეში ვანსხვავებთ:

- კავშირების დანიშნულებას: ინფორმაციული, ნივთიერი, ენერგეტიკული;

- კავშირის ხასიათს: პირდაპირი, უკუკავშირი, ნეიტრალური.

σ სიმრავლეში ვანსხვავებთ:

- სტრუქტურის მდგრადობას: დეტერმინირებული, ალბათური, ქაოტური;

- აგებას: იერარქიული, მრავალკავშირიანი, შერეული, გარდამსახი.

K კომპოზიციის სიმრავლეში ვანსხვავებთ:

- სუსტს: ეფექტორული ქვესისტემებით, რეცეპტორული ქვესისტემებით, რეფლექსორული ქვესისტემებით, სრულს, განუსაზღვრელს.

მორფოლოგიური აღწერა, ისევე როგორც ფუნქციონალური, იგება იერარქიული პრინციპით ქვესისტემების თანმიმდევრობითი დეკომპოზიციის გზით.

პირველი დონის მორფოლოგიურ აღწერას ექნება სახე:

$$S_{\sigma}^{(1)} = \{\Sigma^{(1)}, V^{(1)}, \sigma^{(1)}, K^{(1)}\} = U_i S_{\sigma_i}^{(2)} \quad (1.12)$$

შესაბამისად მეორე დონის აღწერას ექნება სახე:

$$S_{\sigma}^{(2)} = \{\Sigma^{(2)}, V^{(2)}, \sigma^{(2)}, K^{(2)}\} = U_i S_{\sigma_i}^{(3)} \quad (1.13)$$

ხოლო β დონისათვის გვექნება

$$S_{\sigma}^{(\beta)} = \{\Sigma^{(\beta)}, V^{(\beta)}, \sigma^{(\beta)}, K^{(\beta)}\} = U_i S_{\sigma_i}^{(\beta+1)} \quad (1.14)$$

სისტემის დეკომპოზიციის დონეები, შესაბამისად, ფუნქციონალური და მორფოლოგიური აღწერების იერარქიის დონეები, ერთმანეთს უნდა ემთხვეოდნენ.

მსგავსად შეიძლება ჩაიწეროს სისტემის მორფოლოგიური თვისებები, ოღონდ გამოვიყენოთ ქვედა ინდექსები და, მაგალითად, გვექნება:

$$S_{\sigma} = \{\Sigma_{(1,1)}, V_{(1,1)}, \sigma_{(1,1)}, K_{(3)}\}$$

ეს ჩაწერა კი ნიშნავს, რომ საქმე გვაქვს სისტემასთან, რომელსაც აქვს ინფორმაციული ელემენტების ჰომოგენური შემადგენლობა, ინფორმაციული პირდაპირი კავშირებით, დეტერმინირებული იერარქიული სტრუქტურით, რეცეპტორული ქვესისტემებით.

სიმრავლე

$$\{\Sigma_{(K)}, V_{(m)}, \sigma_{(n)}, K_{(\ell)}\}$$

$$K = \overline{1,4}; \quad m = \overline{1,5}; \quad n = \overline{1,4}; \quad \ell = \overline{1,6}.$$

შეიძლება აღიწეროს დეტალიზაციის სხვადასხვა ხარისხით, იმისგან დამოკიდებულებით, თუ სისტემის რომელი ქვესისტემაა მიჩნეული ელემენტად. მორფოლოგიური აღწერა შეიძლება შევადგინოთ სისტემის თანმიმდევრობითი დანაწევრებით ნახ. 1.7-ზე წარმოდგენილი სქემის შესაბამისად. ეს მოსახერხებელია იმ შემთხვევაში თუ იერარქიის ერთდაიგივე დონის ელემენტებს შორის კავშირები არც ისე რთულია. პრაქტიკული ამოცანების გადასაჭრელად უფრო პროდუქტიულია აღწერა ერთადერთი წევრით ან მათი მცირე რაოდენობით. სტრუქტურის თითოეული ელემენტი შეიძლება აღიწეროს, თავის მხრივ, ფუნქციონალურად და ინფორმაციულად. სტრუქტურის

მორფოლოგიური თვისება ხასიათდება ელემენტებს შორის კავშირის დამყარების დროით და კავშირის გამტარუნარიანობით.

1.5. სისტემების ინფორმაციული აღწერა

ინფორმაციულმა აღწერამ წარმოდგენა უნდა მოგვცეს სისტემის ორგანიზაციაზე. ტერმინი “ინფორმაცია” საჭიროებს განმარტებას. მას გააჩნია რამოდენიმე მნიშვნელობა:

1. ერთობლიობა რაიმე ცნობებისა, ცოდნისა რაღაცის შესახებ;
 2. ცნობები, რომლებიც წარმოადგენენ შენახვის, გადაცემის და გადამუშავების ობიექტს;
 3. ერთობლიობა რაოდენობრივი მონაცემებისა, რომლებიც გამოისახება ციფრების ან მრუდეების, გრაფიკების მეშვეობით და გამოიყენებიან რაღაც ცნობების შეგროვების და დამუშავებისას;
 4. ცნობები, სიგნალები გარემომცველ სამყაროზე, რომლებსაც აღიქვამენ ორგანიზმები ცხოველმოქმედებისას;
 5. ბიოლოგიაში – ერთობლიობა ქიმიურად დაკოდირებული სიგნალებისა, რომლებიც გადაეცემათ ერთი ცოცხალი ობიექტიდან მეორეს (მშობლებიდან შთამომავლობას) ან ერთი უჯრედიდან, ქსოვილიდან, ორგანოებიდან სხვებს სახეობის განვითარების პროცესში;
 6. მათემატიკაში, კიბერნეტიკაში – რაოდენობრივი ზომა ენტროპიის (გაურკვევლობის) აცილებისა, სისტემის ორგანიზაციის საზომი;
 7. ფილოსოფიაში – მატერიალური ობიექტების და პროცესების თვისება შეინარჩუნონ და დაბადონ გარკვეული მდგომარეობა, რომელიც სხვადასხვა ნივთიერ-ენერგეტიკული ფორმით შეიძლება გადაეცეს ერთი ობიექტიდან მეორეს, ხარისხი რაიმე ობიექტის (სისტემის) ორგანიზებულობისა.
- (1÷4) განმარტებები ინფორმაციას წარმოადგენენ, როგორც ცნობას, მონაცემებს, შეტყობინებებს, სიგნალებს, რომლებიც ექვემდებარებიან გადაცემას, მიღებას, დამუშავებას, შენახვას და ასახავენ რეალობას ან ინტელექტუალურ მოღვაწეობას.

ყველა განმარტებაში, ბოლო განმარტების გარდა, ინფორმაცია განიხილება, როგორც გამაერთიანებელი კატეგორია, რომელიც შეიძლება ახსნილი იქნას უფრო მარტივი კატეგორიებით. ბოლო განმარტებაში ინფორმაცია თავიდანვე, განუსაზღვრელი კატეგორიაა, რომელიც შეიძლება შესწავლილი იქნას მისი თვისებების მეშვეობით, ანუ ინფორმაცია მატერიალურია (როგორც ნივთიერება და ენერგია), ვლინდება მატერიის თვისებაში ორგანიზაციისადმი (როგორც ენერგია – ურთიერთმოქმედებისადმი), გამოხატავს ორგანიზებული მატერიის უნარს განსაზღვროს თავისი მდგომარეობები (რომელიც აკავშირებს სივრცით თვისებებს დროით თვისებებთან).

ფიზიკურად ინფორმაცია განსაზღვრავს დროში ობიექტის (სისტემის) თვისებებსა და ქცევის წინასწარგანჭვრეტის შესაძლებლობას, რაც უფრო მაღალია ორგანიზაცია (მეტია ინფორმაცია), მით ნაკლებად განიცდის ობიექტი გარემოს ზემოქმედებას.

მეცნიერების აზრით შესაძლებელია, რომ ორგანიზაციის ფორმები ურთიერთგარდასახვადი იყოს მკაცრად განსაზღვრული რაოდენობრივი თანაფარდობით, რომელიც გამომისახება ინფორმაციის მეშვეობით. ამისი დამტკიცება შესაძლებელია მხოლოდ ექსპერიმენტალურად. რაოდენობა და ღირებულება ინფორმაციისა ურთიერთშემავსებელი კატეგორიებია. შეიძლება ვილაპარაკოთ “ღირებული ინფორმაციის რაოდენობაზე” რაღაც მოცემულ მიზანთან დაკავშირებით, იმის მსგავსად, როგორც ვამბობთ ხოლმე “ღირებული ნივთიერების რაოდენობაზე” ან “ღირებული ენერგიის რაოდენობაზე”.

სისტემის აღწერისას, ე.ი. მისი მოდელირებისას ხშირად შევხვდებით ტერმინს ენტროპია, რომელსაც უწესრიგობის ზომას ვუწოდებთ და მის საპირისპირო ტერმინს ნეგენტროპია – მოწესრიგებულობის, ორგანიზებულობის ზომა. მაგრამ რას ნიშნავს ორგანიზებულობა? მისი განსაზღვრება ფიზიკაში არ არსებობს, არსებობს მხოლოდ მისი ინტუიციური აღქმა. ჩავთვალოთ, რომ ორგანიზებულობა პირველადი ცნებაა.

სისტემის ორგანიზებულობა, მოწესრიგებულობა – ესაა მისი უნარი თავისი პერსპექტივის, მომავლის წინასწარ განსაზღვრა – წარმართვისა. ცხადია, სისტემის პერსპექტივა დამოკიდებულია გარემოზეც. რაც უფრო უწესრიგოა სისტემა, მით უფრო ძლიერაა მისი პერსპექტივა დამოკიდებული შემთხვევით

ფაქტორებზე (შიდა და გარეშე ფაქტორებზე). მოწესრიგებულობის ამაღლება ნიშნავს ფაქტორებს შორის დამოკიდებულების გაზრდას, რომლებიც განსაზღვრავენ სისტემის ქცევას (მდგომარეობას). გარეშე შემთხვევით ფაქტორებთან მიმართებაში ეს ნიშნავს, რომ სისტემას შეუძლია დაადგინოს შესატყვისობა გარემოს თვისებებსა და სისტემის ფუნქციებს შორის. შესატყვისობის დადგენა მოითხოვს გარემოს ასახვას სისტემაში.

ამრიგად, ნეგენტროპია შეიძლება გავიგოთ, როგორც პოტენციური ზომა სისტემის მომავლის წინასწარმეტყველებისა, სისტემის შესაძლო მდგომარეობის (ქცევის) ექსტრაპოლაციის რაოდენობრივი შეფასება. ნეგენტროპია ამავე დროს არის პოტენციური ზომა გარემოს მომავლის წინასწარგანჭვრეტისა. შესაბამისად სისტემის ორგანიზაციის შესახებ ინფორმაცია – ესაა რაოდენობრივი დახასიათება მდგომარეობის (ქცევის) ექსტრაპოლაციისა სისტემის საჭირო დეტალიზაციის დონემდე. ექსტრაპოლაციის პოტენციური შეცდომა იზომება ენტროპიით. ინფორმაცია სისტემის ორგანიზაციის შესახებ წარმოადგენს მის შიდა ინფორმაციას.

სისტემის შიდა ინფორმაცია არის ინფორმაცია თვითშენარჩუნებისა, ეს კი იძლევა უფლებას ვილაპარაკოთ ინფორმაციაზე, როგორც მატერიის “განუყოფელ თვისებაზე”, რამდენადაც ინფორმაცია დაკავშირებულია სისტემის მდგომარეობის ალბათურ ზომასთან, შეიძლება ვამტკიცოთ, რომ ინფორმაციის ღირებულება იზრდება მისი ალბათურ მოვლენებზე ზეგავლენის ზრდასთან ერთად, რომელსაც ის წარმოადგენს. უმაღლესი ღირებულება აქვს იმ ინფორმაციას, რომელიც ამ მოვლენას ხდის “თითქმის” ჭეშმარიტს, იმ პირობით, რომ ინფორმაციის არარსებობისას ის “თითქმის” შეუძლებელია.

იმისათვის, რომ სისტემა მოქმედებდეს და ურთიერთმოქმედებდეს, ის უნდა მოიხმარდეს ინფორმაციას გარემოსაგან და აწვდიდეს ინფორმაციას გარემოს. ამ პროცესს უწოდებენ ინფორმაციულ მეტაბოლიზმს ანუ სისტემასა და გარემოს შორის ინფორმაციის ცვლას. ის ნივთიერ და ენერგეტიკულ მეტაბოლიზმთან ერთად ქმნის სრულ მეტაბოლიზმს. არა ყოველგვარი ინფორმაცია (როგორც არა ყოველგვარი ნივთიერება და ენერგია) სჭირდება სისტემას: სჭირდება ინფორმაცია რაღაც განსაზღვრულზე და შესაბამისი დეტალიზაციით.

ფუნქციონალური პროცესები სისტემაში მჭიდროდაა დაკავშირებული ინფორმაციულ პროცესებთან. სისტემის ფუნქციონირებისათვის ინფორმაციის წყაროს წარმოადგენს შიდა რესურსი და გარემო, ხოლო მატარებელს – ნივთიერება (მორფოლოგიური ინფორმაცია) და ენერგია (სიგნალები). გარემოდან ინფორმაციის აღქმა და გამოყენება ასევე საჭიროებს შიდა (აპრიორულ) ინფორმაციას. მაგალითად, მექანიკური დეტალის ან ელექტრონული ბლოკის გაცვეთისას იკარგება ინფორმაცია (ნივთიერების კარგვა შეიძლება იყოს უმნიშვნელო, ან საერთოდ არ იყოს), დეტალის შეცვლა ვარგისიანი დეტალით ნიშნავს მოხდეს სისტემის ინფორმაციული დანაკარგის შევსება. აპრიორული ინფორმაცია კი თავმოყრილია სისტემის დანარჩენ დეტალებში (ბლოკებში), რომლებიც იგულისხმება, რომ გამართულ მდგომარეობაში არიან და რომელთა გარეშეც ახალი დეტალი უსარგებლოა.

შიდა ინფორმაცია განსაზღვრავს სისტემის განვითარებას, მიზანმიმართულებას და მოღვაწეობას. ის შეიძლება იცვლებოდეს დროში, გროვდებოდეს ან ირღვეოდეს. საყურადღებოა, რომ ის ნაწილი ინფორმაციისა, რომელიც მიმდინარე ამოცანისათვის ღირებულებას არ წარმოადგენს, შეიძლება ღირებული აღმოჩნდეს მომავალში.

ამრიგად, ინფორმაციული აღწერა განსაზღვრავს სისტემის მორფოლოგიური და ფუნქციონალური თვისებების დამოკიდებულებას შიდა (საკუთარი თავისა და გარემოს შესახებ) და გარეშე (რომელიც შემოდის გარემოდან) ინფორმაციის ხარისხსა და რაოდენობაზე. გავისხენოთ, რომ დეტერმინირებული სისტემა (S_1), რომელიც მოქმედებს ზუსტად მასში ჩადებული პროგრამის შესაბამისად, კარგავს მოქმედების უნარს, როგორც კი ეს მეთოდი არ შეესაბამებოდეს იქნება გარემო პირობებს; მიზანდასახული სისტემა (S_0), ირჩევს რა მოქმედების წესს გარემო პირობების გათვალისწინებით, უცვლელად ინარჩუნებს მიზანს.

ამრიგად, ფუნქციონალური, მორფოლოგიური და ინფორმაციული აღწერები საშუალებას იძლევიან სრულად ავსახოთ სისტემის უმთავრესი თვისებები.

1.6. სისტემების კლასიფიკაცია

კლასიფიკაციის მიზანია – მსგავსი სისტემების დაჯგუფება და მათი გამოკვლევის საერთო მეთოდების დასაბუთება. ბევრი აღწერილი მენიერებისათვის კლასიფიკაცია წარმოადგენს გამოკვლევების ძირითად საშუალებას, უფრო მეტიც – თვითმიზანსაც კი. მაგრამ ეს არ ეხება სისტემოლოგიას, სადაც კლასიფიკაცია ატარებს პირობით ხასიათს და განკუთვნილია არა იმდენად მსგავსებათა აღსაწერად, არამედ განსხვავებათა გამოსაველენად.

სისტემების კლასიფიკაციის საფუძველს წარმოადგენს ორგანიზაცია. მიღებულია, რომ რაც უფრო მაღალია ორგანიზაცია, მით უფრო მაღალია სისტემის კლასი.

ნახ. 1.8.-ზე ნაჩვენებია სისტემის კლასიფიკაციის ზოგადი სქემა.

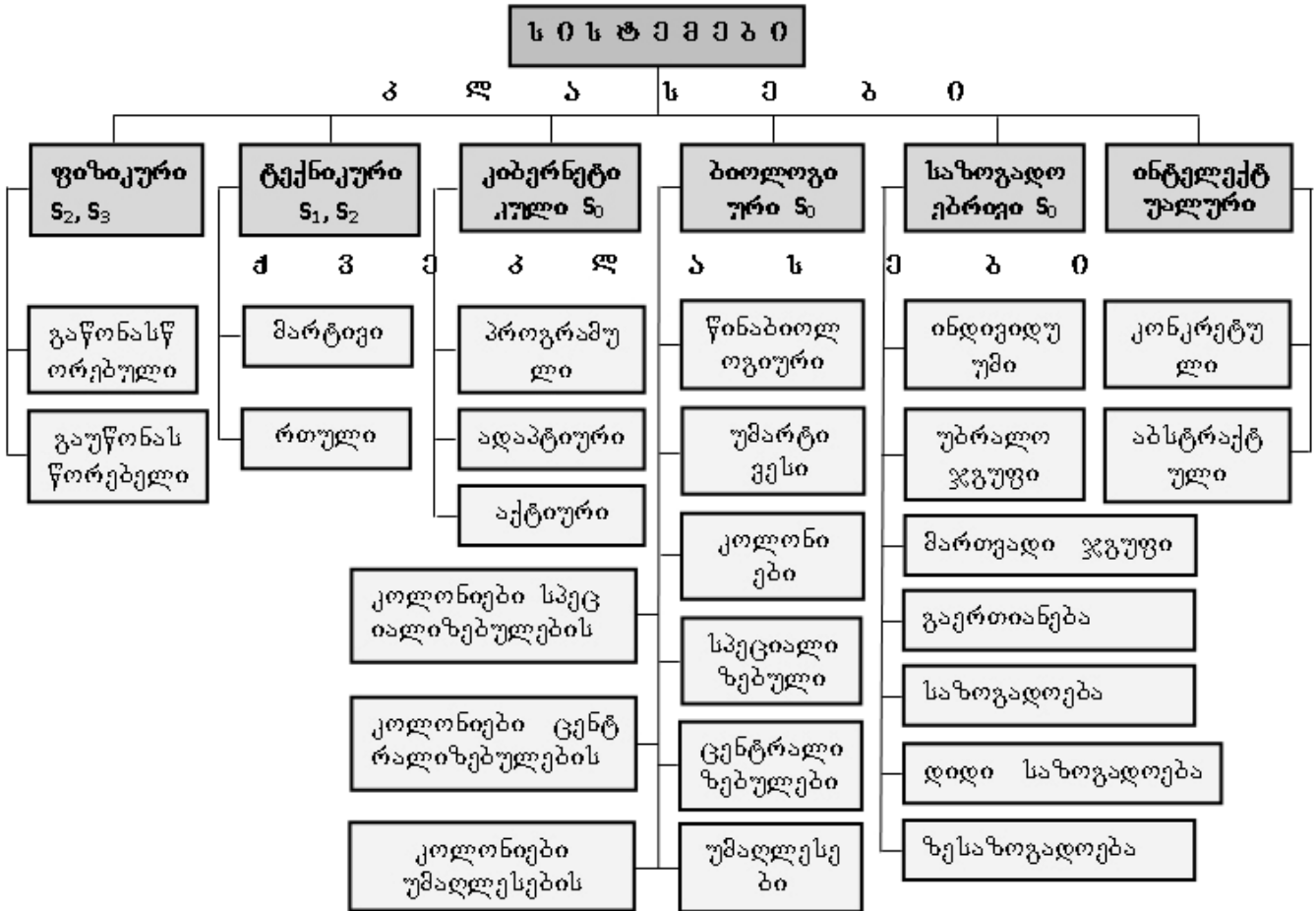
ფიზიკურ სისტემებს არ გააჩნიათ სტაბილური (შიდა რესურსების მხარდაჭერით) ორგანიზაცია და აშკარად გამოკვეთილი მიზნობრივი ფუნქცია.

ტექნიკურ სისტემებს გააჩნიათ სტაბილური ორგანიზაცია და მკვეთრად გამოხატული მიზნობრივი ფუნქცია (ფუნქციები). ტექნიკური სისტემები იქმნება ადამიანებისა და ბუნების მიერ. ფუნქციური თავისებურებები განსაზღვრავენ ტექნიკური სისტემების სრულყოფის სხვადასხვა დონეს: მარტივ ტექნიკურ სისტემებში ეფექტურობის შენარჩუნება ხდება მხოლოდ პროცესების რეგულირებით; რთულ ტექნიკურ სისტემებში კი ეფექტურობის შენარჩუნება ხდება პარამეტრების რეგულირებით.

კიბერნეტიკული სისტემები წარმოადგენენ უფრო მრავალფეროვან კლასს სისტემებისა, რომლებიც გამოირჩევიან დიდი სირთულით და ორგანიზებულობით, რაც მიიღწევა დიდი რაოდენობის ელემენტებითა და კავშირებით. აღნიშნული სისტემები გამოირჩევიან თვითშესწავლის და თვითორგანიზების უნარით (რადაც საზღვრებში).

ანსხვავებენ პროგრამულ, ადაპტურ და აქტიურ კიბერნეტიკულ სისტემებს. პროგრამულ სისტემებს არ შეუძლიათ თვითსრულყოფა.

ადაპტური კიბერნეტიკული სისტემები გამოირჩევიან თვითშესწავლისა და ცვლად გარემოსთან თვითშეგუების უნარით – რა თქმა უნდა რაღაც საზღვრებში.



აქტიურ კიბერნეტიკულ სისტემებს შეუძლიათ შეასრულონ თავიანთი ფუნქციები გარემოზე ზემოქმედებით.

ბიოლოგიური სისტემები საკმაოდ ფართო კლასია სისტემებისა, მათი ძალზე მოკლე დახასიათებაა ის, რომ ბიოლოგიური სისტემებისათვის დამახასიათებელია საკუთარი ორგანიზაციის გარდასახვის უნარი და გამრავლება

საზოგადოებრივი სისტემების ქვეშ კი მოიაზრება ადამიანი და ადამიანების გაერთიანება. ამ სისტემებს შესწევთ უნარი შეამცირონ როგორც საკუთარი ენტროპია (არაორგანიზებულობის მაჩვენებელი), ასევე გარემომცველი გარემოს ნაწილის ენტროპიაც. საზოგადოებრივი სისტემების ძირითად განსხვავებას ბიოლოგიური სისტემებისაგან წარმოადგენს ის, რომ მათ შეუძლიათ მიზნიდან გამომდინარე შეცვალონ საკუთარი და გარემოს ნაწილის ორგანიზაცია.

ინტელექტუალური სისტემების ცნების ქვეშ გაერთიანებულია ინფორმაციული მოდელები ნებისმიერი დონის სისტემებისა და ქვესისტემებისა. რეალური სისტემებისაგან განსხვავებით, ინტელექტუალური სისტემები შეიძლება იქმნებოდეს ფორმალურად ამ მოდელის ფარგლებში მოქმედი კანონების საფუძველზე, რომლებიც შეიძლება არ ემთხვეოდეს ბუნების კანონებს.

ინტელექტუალური სისტემების ქვეკლასი – კონკრეტული სისტემა, ადეკვატურად ასახავს რეალობას ადრე არსებულს ან მოსალოდნელს. აბსტრაქტული სისტემების ქვეკლასი, მთლიანად ეფუძნება ადამიანის აღქმებსა და ასოციაციებს, მათ შეიძლება არ გააჩნდეთ ხილული (ნათელი) კავშირი რეალობასთან და იძენენ დამოუკიდებელ თვისებებს. აბსტრაქტული სისტემის სირთულე დამოკიდებულია საზოგადოებრივი სისტემების იმ ქვეკლასზე, რომელიც სტიმულს აძლევს ინტელექტუალური სისტემების შექმნას.

ცხადია აქ ჩვენ გავაკეთეთ მხოლოდ მინიშნებები სისტემების საერთო კლასიფიკაციაზე, კლასების განსხვავებაზე, და ეს უნდა იყოს ცხადი, ვინაიდან თითოეული კლასის დეტალური განხილვა შესაბამისი მეცნიერებათა პრეროგატივაა და სცილდება ჩვენი სახელმძღვანელოს შესაძლებლობებს და მოთხოვნებს.

ნაწილი II

მოდელირების დანიშნულება და სახეები

2.1. მოდელირების თეორიის ძირითადი ცნებები. მოდელირების სახეები, ფორმალიზაცია

მოდელი – ობიექტი – შემცველი ობიექტისა, რომელიც უზრუნველყოფს ორიგინალის გარკვეული თვისებების შესწავლას. მოდელი უზრუნველყოფს ობიექტი-ორიგინალის გამოკვლევის თვასაჩინოებას.

მოდელირება – ერთი ობიექტის შეცვლა სხვა ობიექტით იმ მიზნით, რომ მიღებული იქნას ინფორმაცია ობიექტი-ორიგინალის მნიშვნელოვანი თვისებების შესახებ ობიექტი-მოდელის მეშვეობით. (შემდეგ სიმარტივისათვის ნაცვლად ტერმინისა „ობიექტი-ორიგინალი“ გამოვიყენებთ ტერმინს „ობიექტი“, ხოლო „ობიექტი-მოდელი“ ნაცვლად – ტერმინს „მოდელი“).

მოდელები შეიძლება იყოს შედარებით სრული და არასრული. მსგავსების თეორია ამტკიცებს, რომ აბსოლუტურ მსგავსებას შეიძლება ქონდეს ადგილი თუ ობიექტს ვცვლით ზუსტად ასეთივე ობიექტით. მაშინ აზრს კარგავს მოდელირება.

სრული მოდელი ახასიათებს ობიექტის ყველა ძირითად თვისებას დროში და სივრცეში.

არასრული მოდელი ახასიათებს ობიექტის თვისებების შეზღუდულ ნაწილს.

მოდელის ობიექტთან ადეკვატურობა – დამთხვევა მოდელირების შედეგებისა და ობიექტზე ჩატარებული ექსპერიმენტების შედეგებისა.

რთული ობიექტების (სისტემების) მოდელირებისას განიხილევინ: მაკრომოდელირებას – სისტემის მოდელირება მთლიანობაში ქვესისტემების დონეზე; მიკრომოდელირებას – სისტემის ქვესისტემების მოდელირება ელემენტების დონეზე.

ანსხვავებენ ფიზიკურ მოდელირებას და მათემატიკურ მოდელირებას, შესაბამისად ყველა მოდელი წინასწარ შეიძლება დაიყოს ორ ჯგუფად: ფიზიკურ (მატერიალურ) და მათემატიკურ (აბსტრაქტულ) მოდელებად.

ფიზიკურ მოდელს უწოდებენ ობიექტს (სისტემას), რომელიც ეკვივალენტურია ან მსგავსია ობიექტი-ორიგინალის, ან რომლის ფუნქციონირების პროცესი ისეთივეა როგორც ორიგინალის, და გააჩნია იგივე ან სხვა ფიზიკური ბუნება. შეიძლება გამოვყოთ ფიზიკური მოდელირების შემდეგი სახეები: ნატურალური, კვაზინატურალური, მასშტაბიანი და ანალოგური.

ნატურალური მოდელები – ესაა რეალური საკვლევი ობიექტები (სისტემები). მათ უწოდებენ მაკეტებს და საცდელ ნიმუშებს. ნატურალურ მოდელებს გააჩნია სრული ადეკვატურობა ობიექტი-ორიგინალის, რაც უზრუნველყოფს მაღალ სიზუსტეს და მოდელირების შედეგების სანდოობას. ნებისმიერი ავტომობილის, თვითმფრინავის, საბორტო ელექტრონული სისტემების და ა.შ. პროექტირება სრულდება მათი საცდელი ნიმუშების დამზადებით (ნატურალური მოდელების) და გამოცდით.

კვაზინატურალური მოდელები წარმოადგენენ ნატურალური და მათემატიკური მოდელების ერთობლიობას. მოდელების ეს სახე გამოიყენება იმ შემთხვევაში, როდესაც მათემატიკური მოდელი ობიექტ ორიგინალის (სისტემის) ნაწილისა არაა დამაკმაყოფილებელი (მაგალითად, ადამიანი-ოპერატორის მოდელი) ან როდესაც სისტემის ნაწილი უნდა იქნას გამოკვლეული სხვა ნაწილებთან ურთიეთმოქმედებაში, მაგრამ ეს ნაწილები ჯერ არ არსებობენ, ან მათი ჩართვა მოდულში ძნელია ან ძვირია (არაა მიზანშეწონილი). მაგალითად, სხვადასხვა ტექნოლოგიური პროცესების, საწარმოების ავტომატიზებული სისტემების შექმნის პროცესი.

მასშტაბიანი მოდელი – ესაა ობიექტი-მოდელი იმავე ფიზიკური ბუნებისა, რაც ობიექტი-ორიგინალი, მაგრამ განსხვავდება მისგან მასშტაბებით. მასშტაბიანი მოდელირების საფუძველს წარმოადგენს მსგავსების თეორია, რომელიც ითვალისწინებს ორიგინალის და მოდელის გეომეტრიულ მსგავსებას და შესაბამის მასშტაბებს მათი პარამეტრებისათვის. მაგალითად, თვითმფრინავების მაკეტების გამოცდა ჰაეროდინამიურ მილში, ჰიდრონაგებობების თვისებების სესწავლა წყლის ნაკადებისა და ნაგებობათა მაკეტების მეშვეობით და ა.შ.

ანალოგურ მოდელებს უწოდებენ ობიექტებს (სისტემებს), რომლებსაც გააჩნიათ ობიექტ-ორიგინალისაგან განსხვავებული ფიზიკური ბუნება, მაგრამ ხასიათდებიან მისი მსგავსი ფუნქციონირების პროცესებით. ამ დროს აუცილებლად დაცული უნდა იყოს პირობა: მოდელის და ობიექტის პარამეტრები ცალსახად უნდა შეესაბამებოდნენ ერთმანეთს, ასევე ერთმანეთს უნდა შეესაბამებოდნენ მათში მიმდინარე პროცესების უგანზომილებო მათემატიკური აღწერები. ანალოგური მოდელის შესაქმნელად აუცილებელია არსებობდეს საკვლევი სისტემის მათემატიკური აღწერა.

ანალოგური მოდელებად გამოიყენება, მექანიკური, ჰიდრაულიკური, პნევმატური სისტემები, მაგრამ ყველაზე უფრო ფართოდ გამოიყენება ემულექტრული და ელექტრონული ანალოგური მოდელები, რომლებშიც დენის ძალა ან ძაბვა წარმოდგენდნენ სხვა ბუნების ფიზიკური სიდიდეების ანალოგებს.

2.1.1. მათემატიკური მოდელი, მათი გამოყენება

მათემატიკური მოდელი წარმოადგენს ობიექტი-ორიგინალის ფორმალურ აღწერას აბსტრაქტულ ენის მეშვეობით, კერძოდ კი მათემატიკური თანაფარდობებით, რომლებიც ასახავენ (სისტემის) ობიექტის ფუნქციონირების პროცესს (ან რაიმე სხვა მახასიათებლებს). მოდელის შესადგენად შეიძლება გამოყენებული იქნას ნებისმიერი მათემატიკური საშუალება – ალგებრული, დიფერენციალური და ინტეგრალური აღრიცხვა, სიმრავლეთა თეორია, ალგორითმების თეორია და ა.შ. ფაქტიურად მათემატიკა მთლიანად, შეიძლება ითქვას, ემსახურება ობიექტის ან პროცესების მოდელების შედგენას და გამოკვლევას.

მოდელირების მიზნები და ობიექტი-ორიგინალის დამახასიათებელი შტრიხები განსაზღვრავენ მოდელების და მათი კვლევის მეთოდების თავისებურებებს. მაგალითად, მათემატიკური მოდელები შეიძლება კლასიფიცირებულ იქნას დეტერმინირებულ და სტოქასტიკურ მოდელებად. პირველი ტიპის მოდელები ხასიათდებიან ცალსახა დამოკიდებულებებით პარამეტრებსა და მახასიათებლებს შორის, ხოლო მეორე შემთხვევაში – მყარდება ცალსახა დამოკიდებულება ამ სიდიდეების სტატისტიკურ მნიშვნელობებს შორის. მათემატიკურ მოდელებს შორის მათი გამოკვლევის

მეთოდის მიხედვით შეიძლება გამოვეყოთ: ანალიზური, რიცხვითი და იმიტაციური მოდელები.

ანალიზური მოდელი ეწოდება ისეთ ფორმალურად აღწერას ობიექტ-ორიგინალისა (სისტემისა), რომელიც საშუალებას იძლევა მიღებული იქნას ცალსახა ამოხსნა განტოლებისა,

$$Y_{mk} = f(\{s_{mi}\}, \{x_{mn}\}, T_m) \quad (2.1)$$

ცნობილი მათემატიკური აპარატის გამოყენებით. [(2.1)-ში Y_{mk} -არის სისტემის მახასიათებლების სიმრავლე, $\{s_{mi}\}$ - არის სისტემის პარამეტრების სიმრავლე, $\{x_{mn}\}$ - სისტემაზე გარე ზემოქმედებათა სიმრავლე, T_m - დრო, (2.1) წარმოადგენს (1.1) გამოსახულების გარკვეულ კონკრეტიზაციას].

რიცხვითი მოდელი ხასიათდება (2.1) ისეთი დამოკიდებულებით, რომელიც საშუალებას იძლევა კერძო რიცხვითი ამოხსნების მიღებისა კონკრეტული საწყისი პირობებისა და მოდელის რაოდენობრივი მახასიათებლებისათვის.

იმიტაციური მოდელი – ესაა ერთობლიობა აღწერებისა ობიექტი – ორიგინალის (სისტემის) და გარე ზემოქმედების, ობიექტის (სისტემის) ფუნქციონირების ალგორითმების ან სისტემის (ობიექტის) მდგომარეობის შეცვლისა გარეშე და შიდა შემზღოთი ზემოქმედების გავლენით.

იმიტაციური მოდელებისათვის დამახასიათებელია მოვლენების, რომლებიც აღიწერება მათემატიკური მოდელებით, აღწარმოება მათი ლოგიკური სტრუქტურის, დროში მონაცვლეობის, ზოგჯერ ფიზიკური შინაარსის შენახუნებით, რომელიც სრულდება სპეციალური მოდელირების დანადგარის ან კომპიუტერის მეშვეობით.

პროცესის (სისტემის) კომპიუტერზე მოდელირებისას აუცილებელია მოხდეს მისი მათემატიკური მოდელის გარდასახვა სპეციალურ მამოდელირებელ ალგორითმად.

აღნიშნული ალგორითმის შესაბამისად კომპიუტერში გამოიმუშავდება ინფორმაცია, რომელიც აღწერს საკავლევი პროცესის (სისტემის) ელემენტარულ მოვლენებს მათი კავშირებისა და ურთიერთგავლენის გათვალისწინებით. ცირკულირებული ინფორმაციის გარკვეული ნაწილი შეიძლება გამოიბეჭდოს და გამოყენებულ იქნას პროცესის იმ მახასიათებლების დასადგენად, რომელიც უნდა იქნეს მიღებული მოდელირების შედეგად.

პროცესების (სისტემების) იმიტაციური მეთოდებით კვლევისას არ არის საჭირო შეიქმნას სპეციალურ მამოდელირებელი დანადგარები ან სპეციალიზებული ციფრული გამოთვლითი მანქანები.

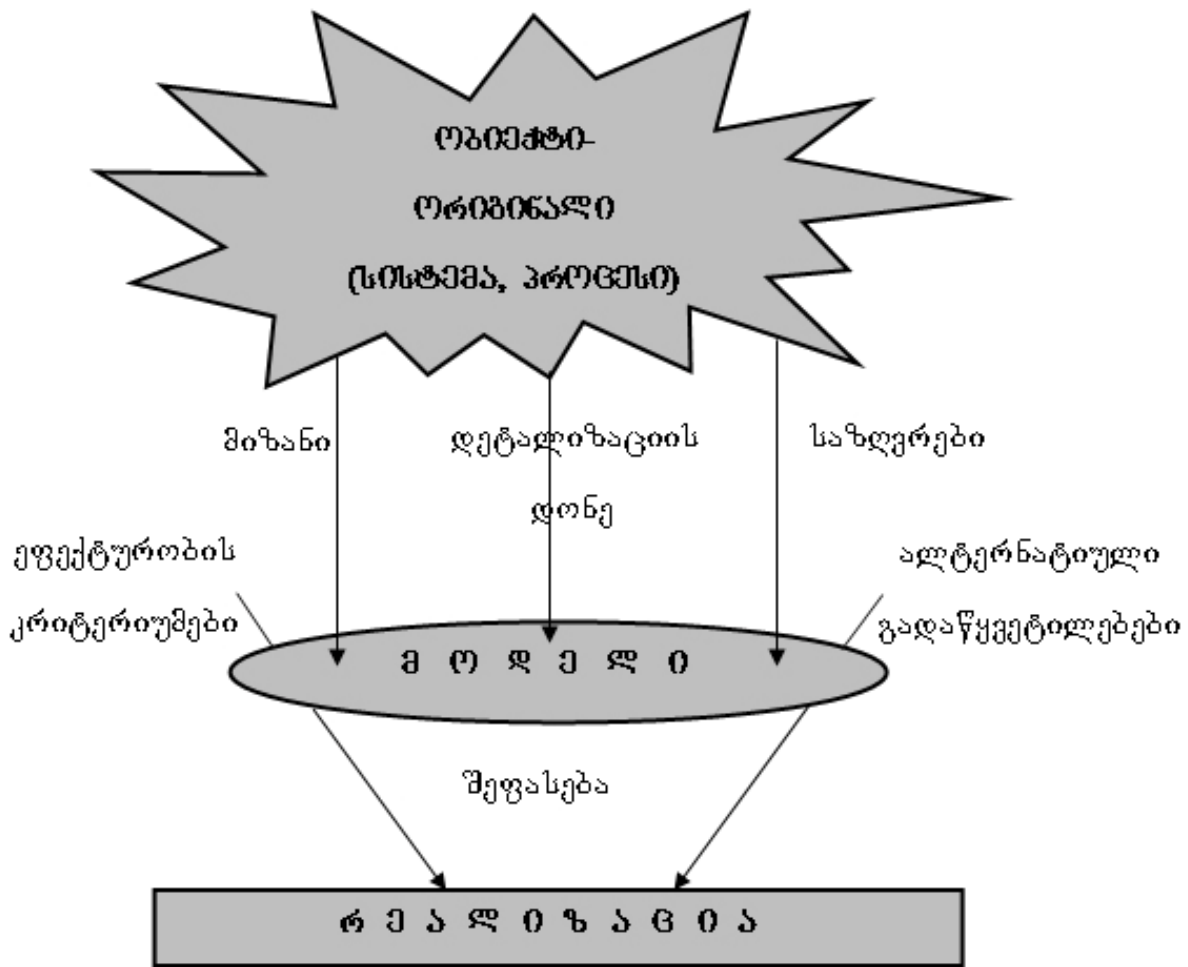
სხვა მეთოდებისაგან განსხვავებით, იმიტაციური მოდელირება წარმოადგენს განსაკუთრებით ხელსაყრელ მეთოდს შემთხვევითი (ალბათური) პროცესების შესასწავლად.

2.1.2. მოდელის აგება

ამრიგად, ნებისმიერი მათემატიკური მოდელი წარმოადგენს ობიექტი-ორიგინალის (სისტემის) აბსტრაქტულ აღწერას, რომლის დეტალიზაციის დონეს განსაზღვრავს თვითონ მკვლევარი (დამპროექტებელი). ადამიანი ღებულობს გადაწყვეტილებას იმის შესახებ წარმოადგენს თუ არა ობიექტი-ორიგინალის (სისტემის) ელემენტი მნიშვნელოვან ელემენტს და შესაბამისად, ჩართული იქნება თუ არა ის სისტემის აღწერაში – მოდელში. აღნიშნული გადაწყვეტილების მიღება ხდება იმ მიზნის გათვალისწინებით, რომელიც საფუძვლად უდევს მოდელის შექმნას. მოდელირების წარმატებით განხორციელება იმაზეა დამოკიდებული, თუ რამდენად კარგად შეუძლია მკვლევარს (დამპროექტებელს) გამოყოს არსებითი ელემენტები და მათ შორის კავშირებს. ნახ. 2.1. მოტანილია მოდელის აგების პროცესის სქემა. სისტემის მორფოლოგია, როგორც უკვე ვნახეთ, მოიცავს სისტემის ელემენტებს, მათ კავშირებს გარკვეული ფუნქციის რეალიზაციისთვის (ფუნქციური აღწერა). უნდა გვახსოვდეს, რომ სისტემის განსაზღვრება უმეტესად სუბიექტურია, ე.ი. ის დამოკიდებულია არამარტო მოდელის დამუშავების (შექმნის) მიზანზე, არამედ იმაზეც თუ კონკრეტულად ვინ განსაზღვრავს სისტემას.

ამრიგად, მოდელირების პროცესი იწყება მოდელის დამუშავების მიზნის განსაზღვრით, რომლის საფუძველზეც შემდეგში დგინდება სისტემის საზღვრები და დასამოდელირებელი პროცესების დეტალიზაციის დონე. დეტალიზაციის არჩეული დონე საშუალებას უნდა იძლეოდეს მოხდეს აბსტრაგირება არაზუსტად განსაზღვრული, ინფორმაციის უკმარისობის გამო, რეალური სისტემის ფუნქციონირების ასპექტებისაგან. სისტემის აღწერაში, ამასთან ერთად, უნდა იყოს ჩართული სისტემის ფუნქციონირების ეფექტურობის შეფასების

კრიტერიუმები და შეფასებული ალტერნატიული გადაწყვეტილებები, რომლებიც შეიძლება განხილული იქნას, როგორც მოდელის შემადგენელი ნაწილი ან



როგორც მისი შესასვლელი. ალტერნატიული გადაწყვეტილებების შეფასება ეფექტურობის მოცემული კრიტერიუმებით განხილვას როგორც მოდელისგამოსასვლელი. ჩვეულებრივ ალტერნატივების შეფასება მოითხოვს სისტემის აღწერაში ცვლილებების შეტანას და შესაბამისად, მოდელის გადაწყობა-გადაკეთებას. ამიტომ პრაქტიკაში მოდელირების პროცესი იტერაციულია. მას შემდეგ, რაც მიღებული ალტერნატივების შეფასების

საფუძველზე გამომუშავებული იქნება რეკომენდაციები, შეიძლება დაიწყოს მოდელირების შედეგების დანერგვა. ამ დროს რეკომენდაციებში ზუსტად უნდა იყოს განსაზღვრული როგორც ძირითადი გადაწყვეტილებები, ასევე მათი რეალიზაციის პირობები.

აღწერილი მიდგომა სავსებით გამოსადეგია იმიტაციური მოდელის შესაქმნელად. იმიტაციური მოდელირების მეშვეობით შეიძლება აიგოს როგორც აგრეგირებული (მაკრო), ასევე დეტალიზებული (მიკრო) მოდელები. იმიტაციური მოდელისათვისაც დამახასიათებელია მოდელირების იტერაციული აგების კონცეფცია, რომლის დროსაც მოდელი იცვლება ახალი ელემენტების დამატებით ან ძველი ელემენტების გამოკლებით და (ან) მათ შორის კავშირების შეცვლით. ეს ასპექტები უფრო დაწვრილებით ახსნილი იქნება სახელმძღვანელოს მომდევნო ნაწილში.

2.1.3. რთული სისტემის ელემენტის მათემატიკური მოდელი

მთლიანობაში რთული სისტემის მათემატიკური მოდელის შექმნა, ბევრ შემთხვევაში, შეუძლებელი ხდება მისი ფუნქციონირების (ფუნქციური აღწერის) პროცესის სირთულის გამო. ამ შემთხვევაში მიმართავენ რთული სისტემის დაყოფას სასურველი რაოდენობის ქვესისტემებად, რომელთა შორის შენარჩუნებულია კავშირები, რომლებიც საშუალებას იძლევიან გათვალისწინებული იქნას მათი ურთიერთმოქმედება სისტემაში. სისტემის ქვესისტემებად დაყოფის პროცედურას ვაგრძელებთ მანამ სანამ არ მივიღებთ ისეთ ქვესისტემებს, რომლებიც მოდელირების მიზნის-განსახილველი ამოცანის პირობებით ჩაითვლება საკმაოდ მარტივ და მოსახერხებელ ქვესისტემებად უშუალო მათემატიკური მოდელირებისათვის. როგორც ვნახეთ, იმ ქვესისტემებს, რომლებიც არ ექვემდებარებიან შემდგომ დაყოფას, ვუწოდეთ რთული სისტემის ელემენტები.

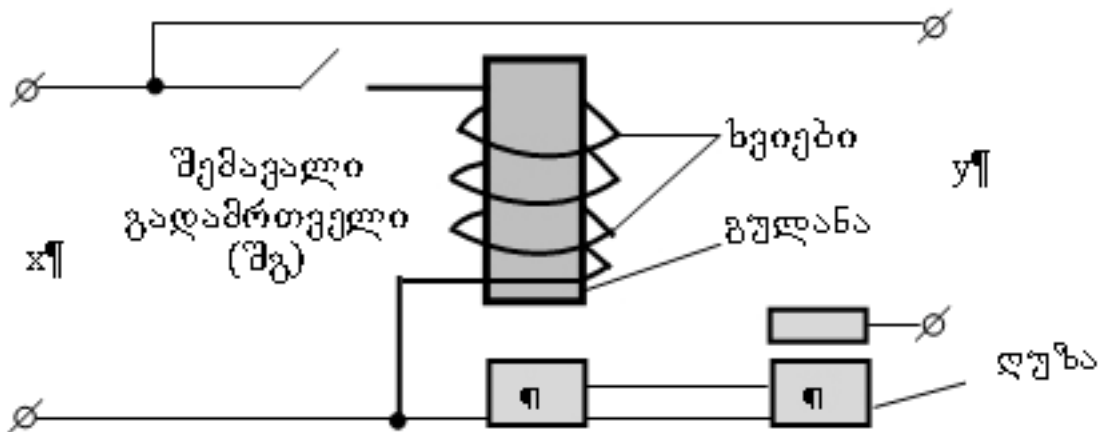
დასამოდელირებელი ობიექტის წარმოდგენას ელემენტებისაგან შემდგარი მრავალდონიანი კონსტრუქციის სახით ვუწოდებთ ობიექტის სტრუქტურისაგან. სტრუქტურის სახით სისტემაში მატერიალური გარემოს ობიექტებს წარმოადგენენ მხოლოდ ელემენტები და მათ შორის კავშირები. ელემენტების გაერთიანება ქვესისტემებში-ფორმალური, სუფთად სტრუქტურული ოპერაციაა; მას არ

შემოაქვს რაიმე ახალი ობიექტი მატერიალური გარემოსი სისტემის ელემენტების ერთობლიობაში და მათ შორის კავშირებში და არ გამორიცხვას არსებულს.

ამრიგად, რთული სისტემის მათემატიკური მოდელი შედგება ელემენტების მათემატიკური მოდელებისაგან და ელემენტებს შორის ურთიერთმოქმედების მათემატიკური მოდელისაგან.

ცხადია, რომ მატერიალური გარემოს ნებისმიერი ობიექტის მათემატიკური მოდელი არსებითადაა დამოკიდებული მის თვისებებსა და ფუნქციონირების თავისებურებებზე. ამიტომ ფუნქციონირების პროცესი ერთი და იგივე ობიექტისა შეიძლება აღიწეროს სხვადასხვანაირად, იმისდა მიხედვით თუ მოდელირებისას რა ამოცანაა დასმული.

ასე მაგალითად, თუ განვიხილავთ ელექტრომაგნიტურ რელეს (ნახ. 2.2.) იმისდა მიხედვით, თუ როგორია მოდელირების ამოცანა, ერთ შემთხვევაში ჩვენ მას განვიხილავთ, როგორც ელექტროტექნიკურ ელემენტს რომლის დანიშნულებაც შესავალზე x ძაბვის მიწოდებით მოხდეს ღუზის მიზიდვა გულანის მიერ და გამოსასვლელზე y ძაბვის მიღება. ამ შემთხვევაში ინტერესს წარმოადგენს ღუზის და გულანის პარამეტრების გათვალისწინებით ხვიათა პარამეტრების განსაზღვრა. მეორე შემთხვევაში ის შეიძლება განვიხილოთ, როგორც ლოგიკური ელემენტი, რაიმე უფრო რთული სისტემისა. ამ შემთხვევაში



რელე გამოდის როგორც ლოგიკური ელემენტი და კონტაქტური სქემის ფუნქციონირების პროცესის აღსაწერად გამოიყენება მათემატიკური ლოგიკის აპარატი. პრაქტიკაში მსგავს სიტუაციებს ვხვდებით ძალზე ხშირად. ხაზი უნდა გაესვას იმ გარემოებას, რომ რთული სისტემის ელემენტის მარტივი და მოსახერხებელი მათემატიკური მოდელის აგება მოითხოვს დიდ ხელშეწყობას და ცოდნას. ამ შემთხვევაში მნიშვნელოვანი დახმარება შეიძლება გაგვიწიოს ტიპური მათემატიკური სქემების ცოდნამ, რომლებიც ძალიან ხშირად გამოიყენებიან მათემატიკური მოდელირებისას და მრავალჯერად შემოწმებული არიან პრაქტიკაში.

მათ შორის ყველაზე მარტივი და გამჭვირვალეა სასრული ავტომატის სქემა. სასრული ავტომატი განსაზღვრულია დროის დისკრეტულ მომენტში t_0, t_1, t_2, \dots თუ დროის ერთეულად ავირჩევთ ტაქტს: $\Delta t = t_i - t_{i-1}$, მაშინ უბრალოდ ნაცვლად t_0, t_1, t_2, \dots შეგვიძლია ვწეროთ $0, 1, 2, 3, \dots$

სასრული ავტომატი ხასიათდება მდგომარეობით z , შემავალი სიგნალების x და გამომავალი სიგნალების y სასრული სიმრავლეებით. ავტონომიური დროის ყოველ მომენტში (გარდა საწყისი t_0 მომენტისა) ავტომატს მიეწოდება შემავალი სიგნალი $x(t)$, რომლის გაგლენითაც ავტომატი გადადის ახალ მდგომარეობაში გადასვლის ფუნქციის შესაბამისად:

$$z(t) = \varphi[z(t-1), x(t)] \quad (2.2)$$

და გასცემს სიგნალს, რომელიც განისაზღვრება გამოსასვლელების ფუნქციით:

$$y(t) = \psi[z(t-1), x(t)] \quad (2.3)$$

ვთქვათ, გვაქვს 4 თეთრის ღირებულების ბილეთების გამყიდველი ავტომატი, რომელიც შეიძლება აღვწეროთ შემდეგნაირად. შემავალი სიგნალების სიმრავლე შეიცავს: $\{1, 2, 3\}$. ავტომატის z მდგომარეობები კოდირებულია რიცხვებით: $0, 1, 2, 3$. გამოსასვლელი სიგნალებია: $y=1$ (ბილეთი გაიცემა) და $y=0$ (ბილეთი არ გაიცემა).

გადასვლების ფუნქცია φ შეიძლება წარმოვადგინოთ შემდეგი სახით:

$$z(t) = \begin{cases} z(t-1) + x(t), & \text{თუ } z(t-1) < 4, \\ 0, & \text{წინააღმდეგ შემთხვევაში, ე.ი. } z(t-1) + x(t) \geq 4 \end{cases}$$

გამოსასვლელების ფუნქციას ψ ექნება სახე:

$$\psi(t) = \begin{cases} 0, & \text{თუ } z(t-1) + x(t) < 4, \\ 1, & \text{წინააღმდეგ შემთხვევაში, ე.ი. } z(t-1) + x(t) \geq 4 \end{cases}$$

იგივე ავტომატი შეიძლება წარმოვადგინოთ გადასვლების (ცხრილი 2.1) და გამოსასვლელების (ცხრილი 2.2) ცხრილების მეშვეობით ან მდგომარეობათა გრაფის სახით (ნახ. 2.3).

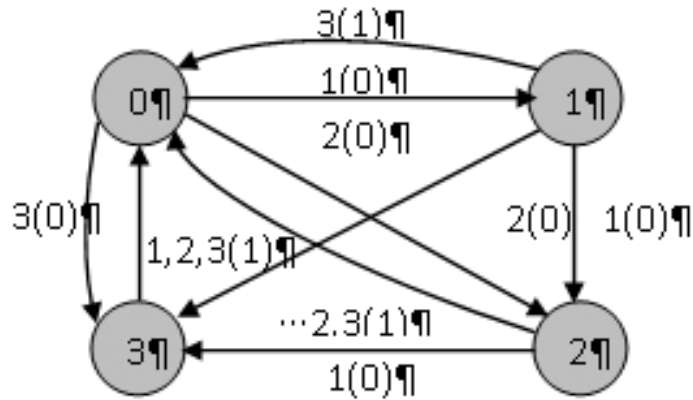
ცხრილი 2.1

⊕	z	0	1	2	3	⊖
	x						
	1		1	2	3	0	⊖
	2		2	3	0	0	⊖
	3		3	0	0	0	⊖
							⊖
							⊖

⊖

ცხრილი 2.2

	z	0	1	2	3	⊖
	x						
	1		0	0	0	1	⊖
	2		0	0	1	1	⊖
	3		0	1	1	1	⊖



მდგომარეობათა გრაფზე წრესაზიოთაა აღნიშნული z მდგომარეობა (0,1,2,3), ისრითაა აღნიშნული x შემავალი სიგნალი და ფრჩხილებში გამოშვებული სიგნალი: მაგალითად: 3(1)-რაც ნიშნავს $z=1$ მდგომარეობაზე (საღაროში არის 1 თეთრი) შემავალი სიგნალია $x=3$ (1 თეთრს დაემატა 3 თეთრი z გადავიდა 0 მდგომარეობაში) და გაიცა ბილეთი-სიგნალი $y=1$.

მათემატიკურ მოდელებს ფართო კლასის დეტერმინირებული ობიექტებისა, რომლებიც ფუნქციონირებენ დისკრეტულ დროში და რომელთა აღწერისას შემთხვევითი ფაქტორების გათვალისწინება არ ხდება, მიყვაროთ სხვადასხვა ტიპის სასრულ ავტომატებამდე. ამიტომ სასრული ავტომატების სქემას თვალსაჩინო ადგილი უჭირავს რთული სისტემების მოდელირების არსენალში.

დეტერმინირებული ობიექტები, რომლებიც ფუნქციონირებენ უწყვეტ დროში, ჩვეულებრივ აღიწერებიან დიფერენციალური განტოლებებით და ზოგადად მას შეიძლება ჰქონდეს შემდეგი სახე

$$dz/dt = f[z(t), x(t), t] \quad , \quad (2.4)$$

სადაც $z(t)$ – სისტემის მდგომარეობაა, ხოლო გამოსასვლელ სიგნალად შეიძლება ჩაითვალოს მდგომარეობის ნებისმიერი ფუნქცია.

სტოქასტიკური ობიექტები (S_2 - სისტემები) – (რომელთა აღწერისას ხდება, შემთხვევითი ფაქტორების გათვალისწინება), რომლებიც ფუნქციონირებენ დისკრეტულ დროში, შეიძლება წარმოვადგინოთ ალბათური ავტომატებით. ალბათური ავტომატის გადასვლათა ფუნქცია განსაზღვრავს არა ერთ კონკრეტულ მდგომარეობას, არამედ მხოლოდ ალბათობათა განაწილებას მდგომარეობათა სიმრავლეზე (ავტომატი ალბათური გადასვლებით), ხოლო გამოსასვლელების ფუნქცია – ალბათობათა განაწილება გამოსასვლელი სიგნალების სიმრავლეზე (ავტომატი ალბათური გამოსასვლელებით). ალბათური ავტომატების ფუნქციონირების შესწავლა ხდება მარკოვის ჯაჭვის აპარატის მეშვეობით. უწყვეტი დროის სტოქასტიკური ობიექტების მათემატიკურ მოდელებად გამოიყენება მასობრივი მომსახურების სისტემები ანუ მარკოვის ალბათური პროცესების წარმომადგენლები.

შეგჩერდეთ დინამიური სისტემების ზოგიერთ საერთო თვისებებზე, ფართო გაგებით (საუბარია დეტერმინირებულ სტოქასტიკურ სისტემებზე, უწყვეტი და დისკრეტული დროებით), რომლებიც გამოიყენებიან რთული სისტემების ელემენტების მათემატიკურ მოდელებად.

შენიშვნა: დინამიური სისტემების ქვეშ, ვიწრო გაგებით, გვესმის კლასიკური დინამიური სისტემები, რომლებიც აღიწერებიან დიფერენციალურ განტოლებათა სისტემებით.

1. რთული სისტემის ელემენტი ფუნქციონირებს დროში; დროის ყოველ t მომენტში ის იმყოფება z შესაძლო მდგომარეობებიდან ერთ-ერთ მდგომარეობაში.

2. დროის მიმდინარეობისას ელემენტი გადადის ერთი მდგომარეობიდან მორეში შიდა და გარეშე მიზეზების ზეგავლენით.

3. ფუნქციონირების პროცესში ელემენტი ურთიერთქმედებს რთული სისტემის სხვა ელემენტებთან და გარემომცველი გარემოს ობიექტებთან (დებულობს შემაჯავალ x სიგნალებს და გასცემს გამოსასვლელ y სიგნალებს).

დინამიური სისტემის მდგომარეობათა სიმრავლეს აღვნიშნავთ z -ით, შემაჯავალი სიგნალების სიმრავლეს x -ით, გამომავალი სიგნალების სიმრავლეს y -ით. ამის გარდა, t დროთა მომენტების სიმრავლეს, რომელშიც განსაზღვრულია დინამიური სისტემა, აღვნიშნავთ T .

ასახვას $T \rightarrow Z$ ეწოდება დინამიური სისტემის მოძრაობა; ის აღვნიშნავთ $z(t)$. ერთობლიობას z მდგომარეობებისას, რომელიც შეესაბამება ყველა t -ს ერთობლიობას აღვნიშნულ მოძრაობაში, ეწოდება მოძრაობის ტრაექტორია. ასახვა $x(t): T \rightarrow x$ - შემაჯავალი პროცესია, ხოლო $y(t): T \rightarrow y$ - გამოსასვლელი პროცესია დინამიური სისტემისა.

რთული სისტემის ელემენტის z მდგომარეობა ყოველთვის როდია შესაძლებელი წარმოვადგინოთ როგორც რიცხვი: ჩვეულებრივ ის აღიწერება z_1, z_2, \dots, z_n მახასიათებლების გარკვეული ნაკრებით. ეს გარემოება გამოისახება თანაფარდობით:

$$z = (z_1, z_2, \dots, z_n) \quad (2.5)$$

თუ მახასიათებლები $z_i, i = 1, 2, \dots, n$. წარმოადგენენ რიცხვებს, მაშინ z მდგომარეობა განიხილება, როგორც ვექტორი z_1, z_2, \dots, z_n - კოორდინატებით.

ზოგად შემთხვევაში, როცა z_i არ წარმოადგენენ რიცხვებს (მაგალითად, ისინი წარმოადგენენ ვექტორებს, მატრიცებს ან უფრო რთული ხასიათის ობიექტებს) მდგომარეობა Z -ის ინტერპრეტირება ხდება როგორც „განზოგადოებული“ ვექტორის, ხოლო მახასიათებლები z_i – როგორც მისი „კოორდინატები“.

იგივე შეიძლება ითქვას სიგნალებზეც. შემავალი სიგნალები წარმოიდგინება შემდეგი სახით $x = (x_1, x_2, \dots, x_m)$, ხოლო გამოსასვლელი სიგნალები $y = (y_1, y_2, \dots, y_r)$. მაგალითად: შეტყობინებები, რომლებიც სმართავი ობიექტებიდან შემოდინან მართვის ავტომატიზებული სისტემის შემგროვებელში, წარმოადგენენ სასრული რაოდენობის ასოების და ციფრების ერთობლიობას; ნახევარფაბრიკატები საწარმოო პროცესებში საკმაო სიზუსტით შეიძლება დახასიათდნენ, სასრული რაოდენობის z_i პარამეტრებით (ზომები, მასალის შემადგენლობა, ტემპერატურა და ა.შ.) და სხვა.

2.1.4. რთული სისტემის ელემენტების ურთიერთმოქმედების მათემატიკური მოდელი

რთული სისტემის ფუნქციონირების პროცესში ელემენტების ურთიერთმოქმედება განიხილება, როგორც შედეგი თითოეული ელემენტის სხვა ელემენტებზე ზემოქმედებათა ერთობლიობისა. ზემოქმედებას, რომელიც წარმოდგენილია თავისი მახასიათებლების ერთობლიობით, ჩვეულებრივ უწოდებენ სიგნალს. ამრიგად, რთული სისტემის ელემენტების ურთიერთმოქმედება შეისწავლება სიგნალების ურთიერთგაცვლის მექანიზმების ჩარჩოებში.

სიგნალების გადაცემა ხდება არხების მეშვეობით, რომლებიც „გადებულია“ რთული სისტემის ელემენტებს შორის. მოცემული არხის დასაწყისს წარმოადგენს ელემენტების გამოსასვლელი (გამოსასვლელი პოლუსი), რომელიც გასცემს სიგნალს, ხოლო ბოლოს – ელემენტის შესასვლელი (შესასვლელი პოლუსი), რომელიც ღებულობს სინალს. სიტყვა „გადებულია“ უნდა იქნეს გაგებული პირობითად იმ აზრით, რომ ზოგიერთი „არხები“ ვიზუალურად არ არსებობენ, არამედ წარმოიშობიან სისტემის აღწერისას მხოლოდ

ფორმალიზაციის შედეგად. არხებს, რომლებიც სიგნალებს გადასცემენ მყისიერად და დამახინჯების გარეშე, ეწოდებათ იდეალური.

ხაზი უნდა გავესვათ იმ გარემოებას, რომ კარგად ფორმალიზებულ რთულ სისტემას გააჩნია მხოლოდ იდეალური კავშირის არხები.

რთული სისტემის სტრუქტურის შედგენისას ხშირად წავაწყდებით კავშირის ფიზიკურ არხებს, რომლებიც სრულებით არ არიან იდეალური. კავშირის ასეთი არხები აუცილებელია განხილულ იქნან, როგორც სისტემის დამოუკიდებელი ელემენტები, რომელთა ფუნქციონირებისას ადგილი აქვს სიგნალების გაცემის როგორც დაყოვნებას, ასევე დამახინჯებასაც. ამ შემთხვევაში ფიზიკური არხი, რომელიც იწყება იმ ელემენტის გამოსავალ პოლუსზე, რომელიც გასცემს სიგნალებს და მთავრდება იმ ელემენტის შემავალ პოლუსზე, რომელიც წარმოადგენს ფიზიკურ არხს და მთავრდება სიგნალის მიმღებ პოლუსზე, ყოველთვის შეიძლება განხილულ იქნას, როგორც იდეალური არხები. ქედან გამომდინარეობს, რომ დასამოწმებელი ობიექტის საბოლოო ფორმალიზაციამ შეიძლება ისევ მიგვიყვანოს რთულ სისტემამდე, რომელიც ელემენტების შემადგენლობით და მათ შორის კავშირების კონფიგურაციით განსხვავდება ამ ობიექტის პირველადი სტრუქტურებით მიღებული კონსტრუქციისაგან.

რთული სისტემის მათემატიკური მოდელის აგებისას უნდა გავითვალისწინოთ მისი კავშირი გარემოსთან. გარემო განიხილება, როგორც ერთობლიობა ობიექტებისა, რომლებიც ზემოქმედებენ რთული სისტემის ელემენტებზე და რომლებიც ასევე განიცდიან ზემოქმედებას ამ სისტემის ელემენტებისაგან. ამიტომ ურთიერთმოქმედება გარემომცველ გარემოსთან დაიყვანება სიგნალების გაცვლის მექანიზმამდე, რთული სისტემის ელემენტებსა და გარემომცველ ობიექტებს შორის, რომელიც აღიწერება ისევე როგორც ურთიერთმოქმედება რთული სისტემის შიგნით ელემენტებს შორის.

რთული სისტემის ელემენტებს შორის სიგნალების გაცვლის მექანიზმი მოიცავს შემდეგ პროცესებს:

1. ელემენტის მიერ, რომელიც გასცემს სიგნალებს, გამოსასვლელი სიგნალის ფორმირება;
2. გამოსასვლელი სიგნალის თითოეული მახასიათებლის გადაცემის მისამართის განსაზღვრა;

3. სიგნალების გაცვლა კავშირის არხებით და შემაჯავლი სიგნალების შედგენა ელემენტებისათვის, რომლებიც სიგნალებს დებულობენ;
4. სიგნალის მიმღები ელემენტის რეაგირება შემაჯავალ სიგნალზე.

სხვადასხვა კლასის რთული დინამიური სისტემების ელემენტების წარმოდგენისას სიგნალების გამცემ და მიმღებ ობიექტებად, ჩვენ უნდა ვიზრუნოთ ისეთი ფუნქციების (ან ოპერატორების) შერჩევაზე, რომელთა მეშვეობითაც გარანტირებული იქნება ფორმალიზებული ობიექტების ქცევის ადეკვატური აღწერა მათი ურთიერთმოქმედების გათვალისწინებით.

ელემენტების ქცევის და მათი ურთიერთმოქმედების მათემატიკური მოდელების აგება ერთიანი პროცესია – მათი ერთმანეთისაგან დაშორება შეუძლებელია. ჩვენს მიერ კი ამის დაშვება მოხდება ხელოვნურად, მეთოდური თვალსაზრისით.

სიგნალების გაცვლის მექანიზმის მესამე მდგენელი დაკავშირებულია არა იდეალური არხებით სიგნალების გაცვლისას მათი დაყოვნებისა და დამახინჯების გათვალისწინებასთან. რაც შეეხება ფიზიკური კავშირის არხების შესწავლას, მათი როგორც რთული სისტემების მათემატიკური მოდელების შედგენა დაკავშირებულია ინფორმაციის გადაცემის თეორიასთან.

2.1.5. მოდელების საერთო კლასიფიკაცია

ამრიგად, მოდელები შეიძლება იყოს შედარებით სრული და არასრული. სრული მოდელი, როგორც აღვნიშნეთ, ახასიათებს ობიექტის ყველა ძირითად თვისებებს დროში და სივრცეში, ხოლო არასრული მოდელი ახასიათებს ობიექტის თვისებების შეზღუდულ ნაწილს.

მოდელების საერთო სისტემატიზაცია მოტანილია ცხრილში 2.3.

ცხრილი 2.3

სისტემის მოდელები	
დეტერმინირებული	სტოქასტიკური
სტატიკური	დინამიური
ციფრული (დისკრეტული)	ანალოგური (უწყვეტი)
აზრობრივი	რეალური

თვასაჩინო სიმბოლური მათემატიკური	ნატურალური ხელოვნური
--	-------------------------

2.2. იმიტაციური მოდელირება

2.2.1. იმიტაციური მოდელის ცნება

იმიტაციური მოდელი ეწოდება სისტემის (ობიექტი-ორიგინალის) ლოგიკურ-მათემატიკურ აღწერას, რომელიც შეიძლება გამოკვლეული იქნას ექსპერიმენტების ჩასატარებისას და შესაბამისად, შეიძლება ჩაითვალოს სისტემის ლაბორატორიულ ვერსიად. იმიტაციური მოდელის შექმნის დასრულების შემდეგ მასზე ტარდება კომპიუტერული ექსპერიმენტები, რომლებიც საშუალებას იძლევიან გაკეთდეს დასკვნა სისტემის ქცევაზე:

- სისტემის აგების გარეშე, თუ ეს არის დასაპროექტებელი სისტემა;
- მის ფუნქციონირებაში ჩარევის გარეშე, თუ ეს მოქმედი სისტემაა, რომელზეც ექსპერიმენტების ჩატარება ძალიან ძვირია ან საშიშია;
- მისი რღვევის (ნგრევის) გარეშე, თუ ექსპერიმენტის მიზანია სისტემაზე ზემოქმედების საზღვრების დადგენა.

ამრიგად, იმიტაციური მოდელი შეიძლება გამოყენებულ იქნას სისტემების პროექტირების, ანალიზის და ფუნქციონირების შეფასებისათვის. იმიტაციური მოდელირება ფართოდ გამოიყენება S_0 – სისტემის გამოსაკვლევადა, კერძოდ, საქალაქო, ეკონომიკური, კომერციული, საწარმოო, სამედიცინო, სამხედრო, სოციალური, სატრანსპორტო და სხვა სისტემების გამოსაკვლევადა, ამ სფეროში საპროექტო ამოცანების გადასაწყვეტად. იმიტაციური მოდელები წარმოადგენენ ყველაზე გავრცელებულ საშუალებებს მართვის თეორიაში და ოპერაციათა კვლევაში სამრეწველო საწარმოებსა და ორგანიზაციების მართვაში.

იმიტაციურ მოდელირებაში იგულისხმება, რომ სისტემა შეიძლება აღიწეროს გამოთვლითი სისტემებისათვის გასაგებ ენაზე. ამ დროს საკვანძო მომენტს წარმოადგენს სისტემის მდგომარეობის გამოყოფა და აღწერა. როგორც ვნახეთ,

სისტემა ხსიათდება ცვლადების ნაკრებით, რომელთა მნიშვნელობების თითოეული კომბინაცია აღწერს მის მდგომარეობას. შესაბამისად, ამ ცვლადების მნიშვნელობების შეცვლით შეიძლება მოხდეს სისტემის ერთი მდგომარეობიდან მეორეში გადასვლის იმიტირება. ამრიგად, იმიტაციური მოდელირება - ესაა სისტემის დინამიური ქცევის წარმოსახვა მისი ერთი მდგომარეობიდან მეორე მდგომარეობაში გადაყვანის გზით, კარგად განსაზღვრული ოპერაციული წესების მეშვეობით.

სისტემის მდგომარეობის შეცვლა შეიძლება ხდებოდეს უწყვეტად ან დროის დისკრეტულ მომენტში.

2.2.2. იმიტაციური მოდელირების პროცესის ეტაპები

იმიტაციური მოდელირების თანმიმდევრობითი პროცესი იწყება უბრალო მოდელის შექმნით, რომელიც თანდათანობით რთულდება გადასაწყვეტი პრობლემის მოთხოვნათა შესაბამისად. იმიტაციური მოდელირების პროცესში შეიძლება გამოიყოს შემდეგი ეტაპები:

1. პრობლემის ფორმულირება (ამოცანის დასმა): საკვლევი პრობლემის აღწერა და გამოკვლევის მიზნების განსაზღვრა.
2. მოდელის დამუშავება: ფორმალიზებული პრობლემის შესაბამისად დასამოდელირებელი სისტემის ლოგიკურ-მათემატიკური აღწერა.
3. მონაცემების მომზადება: მონაცემების იდენტიფიკაცია, სპეციფიკაცია და შეგროვება.
4. მოდელის ტრანსლაცია: მოდელის გადატანა გამოყენებული კომპიუტერისათვის მისაღებ ენაზე.
5. ვერიფიკაცია: კომპიუტერული პროგრამების სისწორის დადგენა.
6. ვალიდაცია: იმიტაციური მოდელის საჭირო სიზუსტის და რეალურ სისტემასთან შესაბამისობის შეფასება.
7. სტრატეგიული და ტაქტიკური დაგეგმვა: იმიტაციურ მოდელზე კომპიუტერული ექსპერიმენტების ჩატარების პირობების განსაზღვრა.
8. ექსპერიმენტირება: იმიტაციური მოდელის კომპიუტერზე გაშვება საჭირო ინფორმაციის მისაღებად.

9. შედეგების ანალიზი: იმიტაციური ექსპერიმენტის შედეგების შესწავლა და ანალიზი და დასკვნების და რეკომენდაციების მომზადება პრობლემის გადასაწყვეტად.

10. რეალიზაცია და დოკუმენტირება: იმიტაციის რეალიზაცია და დოკუმენტაციის შედგენა მოდელზე და მის გამოყენებაზე.

განვიხილოთ თითოეული ეტაპი მოკლედ.

- იმიტაციური გამოკვლევების უპირველესი ამოცანაა პრობლემის ზუსტი განსაზღვრა და გამოკვლევების მიზნების დეტალური ფორმულირება. როგორც წესი, პრობლემის განსაზღვრა წარმოადგენს უწყვეტ პროცესს, რომელიც გრძელდება მთელი კვლევითი პროცესის განმავლობაში. ხდება მისი გადახედვა საკვლევო პრობლემის სულუფრო ღრმად წვდომასთან ერთად და მისი ახალი ასპექტების წარმოშობისას.

- როგორც კი ჩამოყალიბდება პრობლემის საწყისი განსაზღვრება, იწყება საკვლევო სისტემის მოდელის აგების ეტაპი. მოდელი მოიცავს სისტემის სტატისტიკურ და დინამიურ აღწერას. სტატისტიკურ აღწერაში განისაზღვრება სისტემის ელემენტები და მათი მახასიათებლები, ხოლო დინამიურში – სისტემის ელემენტებს შორის ურთიერთქმედება, რომელთა შედეგადაც ხდება მისი მდგომარეობის შეცვლა დროში.

მეცნიერები აღიარებენ, რომ მოდელირება – მოდელის ფორმულირება მნიშვნელოვანწილად ხელს უწყობს. მოდელირებით დამპროექტებელმა (შემქმნელმა) უნდა შეიცნოს (გაიგოს) სისტემის სტრუქტურა, გამოავლინოს მისი ფუნქციონირების წესი და შეძლოს მათში გამოავლინოს ყველაზე მნიშვნელოვანი და გამორიცხოს უსარგებლო დეტალები. მოდელი უნდა იყოს მარტივი გასაგებად და ამ დროს საკმაოდ რთულიც, რათა რეალისტურად ასახოს საკვლევო სისტემის დამახასიათებელი ნიშნები. ყველაზე მნიშვნელოვანია მკვლევარი-დამპროექტებლის მიერ მიღებული გადაწყვეტილება იმის შესახებ სწორია თუ არა მიღებული გამარტივებები და დაშვებები, რომელი ელემენტები და მათ შორის ურთიერთქმედებები უნდა იყოს ჩართული მოდელში. მოდელის დეტალიზაციის დონე დამოკიდებულია მისი შექმნის მიზანზე. აუცილებლად განვიხილოთ უნდა იქნას მხოლოდ ის ელემენტები სისტემისა,

რომელთაც არსებითი მნიშვნელობა აქვთ საკვლევი პრობლემის გადაწყვეტისათვის. ისევე როგორც პრობლემის ფორმირების ეტაპზე, მოდელირების ეტაპზეც აუცილებელია მჭიდრო ურთიერთობა მოდელის დამმუშებელსა და მის მომხმარებლებს შორის. მოდელირების პროცესის ევოლუციური ხასიათი საშუალებას იძლევა სწრაფად მოხდეს უზუსტობათა აღმოჩენა და უფრო ეფექტურად მოხდეს მათი კონკრეტიზაცია.

- მოდელის დამუშავების ეტაპზე განისაზღვრება ის მოთხოვნები, რომლებიც წაყენებათ შემავალ მონაცემებს. ზოგიერთი ამ მონაცემებიდან უკვე მოდელის დამუშავების ეტაპზე შეიძლება იყოს ცნობილი, მაშინ როცა სხვა მონაცემების მისაღებად საჭირო იქნება გარკვეული დრო და ძალისხმევა. ჩვეულებრივ ასეთი მონაცემების მნიშვნელობების განსაზღვრა ხდება რაღაც ჰიპოთეზის საფუძველზე ან წინასწარი-ანალიზით. ზოგიერთ შემთხვევებში ზუსტი მნიშვნელობა ერთი (და მეტი) შემავალი პარამეტრისა არც ახდენს დიდ გავლენას მოდელის მრავალჯერადი გაშვებისას მიღებულ შედეგებზე. მიღებული შედეგების მგრძობიარობა შემავალი მონაცემების ცვლილებაზე შეიძლება შემოწმდეს მოდელის მრავალჯერადი გაშვებით და ამ დროს შემავალი პარამეტრების ცვლილებით. ამრიგად, იმიტაციური მოდელი შეიძლება გამოყენებული იქნას შემავალი მონაცემების დაზუსტებაზე დროისა და სხვა რესურსების ხარჯის შესამცირებლად.
- იმის შემდეგ რაც დამუშავებული იქნება მოდელი და შეგროვდება საწყისი შემავალი მონაცემები შემდეგ ამოცანას წარმოადგენს მისი რეალიზაცია კომპიუტერულ ენაზე. იმიტაციური მოდელის დასაპროგრამებლად შეიძლება გამოყენებულ იქნას უნივერსალური ენა, მაგრამითვლება, რომ სპეციალური იმიტაციური ენის გამოყენებას გააჩნია არსებითი უპირატესობა. პროგრამირების დროის შემცირების გარდა იმიტაციური ენის გამოყენება აადვილებს მოდელის დამუშავებას, ვინაიდან ენა შეიცავს ისეთ ცნებათა ნაკებს, რაც აუცილებელია სისტემის ფორმალიზებული აღწერისათვის (ასეთი ენებია GPSS, SLAM და ა.შ.)

- ვერიფიკაციის და ვალიდაციის ეტაპზე ხდება იმიტაციური მოდელის ფუნქციონირების შეფასება. ვერიფიკაციის ეტაპზე ხდება იმის შემოწმება თუ რამდენად შეესაბამება მოდელის კომპიუტერული პროგრამა დამპროექტებლის ჩანაფიქრს. ეს ჩვეულებრივ ხდება სპეციალური ალგორითმების გამოყენებით, ხელით და სტატისტიკური მეთოდების გამოყენებით.

იმიტაციური მოდელის საკვლევ სისტემასთან ადეკვატურობის შემოწმება ხდება ვალიდაციის ეტაპზე. მოდელის ვალიდაცია ხდება სხვადასხვა დონეზე. რეკომენდირებულია ვალიდაცია განხორციელდეს შემავალი მონაცემების, მოდელის ელემენტების, ქვესისტემების და მათი ურთიერთკავშირების დონეებზე. მართალია იმიტაციური მოდელების ვალიდაცია საკმაოდ რთულია, მაგრამ ითვლება, რომ ის ბერად ადვილი ამოცანაა, ვიდრე ვალიდაცია სხვა ტიპის მოდელებისა, მაგალითად წრფივი პროგრამირების მოდელებისა. იმიტაციურ მოდელებში არსებობს შესაბამისობა მოდელის ელემენტებსა და სისტემის ელემენტებს შორის, ამიტომ დამუშავებული მოდელის ადეკვატურობის შემოწმება მოიცავს მისი სტრუქტურის შედარებას რეალური სისტემის სტრუქტურასთან, აგრეთვე შედარებას იმისა თუ, როგორაა რეალიზებული ელემენტარული ფუნქციები და გადაწყვეტილებები მოდელსა და სისტემებში.

ვალიდაციის სპეციალური მეთოდები მოიცავენ ადეკვატურობის დადგენას იმიტაციური მოდელის ყველა პარამეტრის მუდმივი მნიშვნელობების გამოყენებით ან გამოსასვლელების მგრძობიარობის შეფასებით შესასვლელების ცვლილებებისადმი. ვალიდაციის პროცესში სისტემის ფუნქციონირების შესახებ შედარებები უნდა განხორციელდეს, როგორც რეალური ასევე ექსპერიმენტული მონაცემებისათვის. უნდა გვახსოვდეს, რომ მკვლევარის (დამპროექტებლის) განკარგულებაში არსებული რეალური მონაცემები, სისტემის ფუნქციონირებისა, წარმოადგენენ ამონაკრებებს იმიდან, რაც შეიძლება მომხდარიყო წარსულში.

- მოდელის კომპიუტერში ამოქმედების პირობები უნდა განისაზღვროს სტრატეგიული და ტაქტიკური დაგეგმვის ეტაპზე. სტრატეგიული დაგეგმვის ამოცანაა დამუშავებული ექსპერიმენტის ჩატარების ეფექტური გეგმა, რომლის საფუძველზეც ან ირღვევა ურთიერთკავშირი სამართავ ცვლილებებს შორის, ან მოიძებნება კომბინაცია სამართავი მნიშვნელობებისა, რომლებიც ახდენენ იმიტაციური მოდელის გამოსმაურების მაქსიმიზაციას ან მინიმიზაციას.

ტაქტიკური დაგეგმვისას, სტრატეგიული საგანგებო განსხვავებით, წყდება საკითხი იმის შესახებ თუ როგორ განხორციელდეს ექსპერიმენტის ფარგლებში იმიტაციური მოდელის თითოეული გაშვება, რათა მიღებული იქნას მაქსიმალური ინფორმაცია გამოსასვლელი მონაცემებისაგან. ტაქტურ დაგეგმვაში წამყვანი ადგილი უკავია იმიტაციური მოდელის თითოეული გაშვების წინ საწყისი პირობების და მოდელის გამოსმაურების საშუალო მნიშვნელობათა დისპერსიის შემცირების მეთოდების განსაზღვრას.

- ბოლო ეტაპია კომპიუტერული ექსპერიმენტების ჩატარება და შედეგების ანალიზი. არც ერთი იმიტაციური პროექტი არ უნდა ითვლებოდეს დასრულებულად მანამ სანამ მიღებული შედეგები არ იქნება გამოყენებული გადაწყვეტილების მიღების პროცესში. რეალიზაციის წარმატება ბევრადაა დამოკიდებული იმაზე თუ რამდენად სწორად იქნა ჩატარებული მოდელის შემქმნელის მიერ იმიტაციური ექსპერიმენტის წინა ეტაპები. თუ დამპროექტებელი და მომხმარებელი მუშაობდნენ მჭიდრო კონტაქტში მოდელის დამუშავებისას უნდა ვიფიქროთ, რომ პროექტის შედეგები წარმატებით იქნება დანერგილი. წინააღმდეგ შემთხვევაში საეჭვოა იმიტაციური მოდელირების შედეგებზე დაყრდნობით შესაძლებელი გახდეს ეფექტური რეკომენდაციების გამომუშავება.

პრაქტიკულად ზემოთ მითითებული ეტაპები მკაცრად თანმიმდევრობით ყოველთვის როდი სრულდება, იმიტაციური მოდელის შექმნის, მისი მიზნების განსაზღვრის და სხვა პროცესები შეიძლება ტარდებოდეს იტერაციულად, რაც შეიძლება გახდეს გარანტი იმისა, რომ იმიტაციური კვლევების შედეგად შესაძლებელი იქნება ალტერნატივათა სწორი შეფასება და ადვილი იქნება გადაწყვეტილებათა მიღებაც.

დასკვნა. ამრიგად, იმიტაციური მოდელირება – ესაა საშუალება, რომელიც ფართოდ გამოიყენება პრობლემების გადასაწყვეტად, ხოლო იმიტაციური მოდელი – ესაა აბსტრაქტული აღწერა სისტემისა. მოდელის აგების ლოგიკა უნდა იყოს მარტივი და ადვილად გასაგები ყველასათვის, ვინც მონაწილეობს იმიტაციურ გამოკვლევებში; საჭიროების შემთხვევაში ადვილი უნდა იყოს იმიტაციური მოდელის მოდიფიცირება. იმიტაციის საშუალებით მიღებული რეკომენდაციების რეალიზაცია არის განუყოფელი ნაწილი იმიტაციური მეთოდოლოგიისა.

2.2.3. მამოდელირებელი ალგორითმები

როგორც ავღნიშნეთ, კომპიუტერზე ნებისმიერი ობიექტი-ორიგინალის (სისტემის, პროცესის) მოდელირებისათვის, აუცილებელია აიგოს შესაბამისი მამოდელირებელი ალგორითმი.

როგორც წესი, ჩაწერა ალგორითმისა, რომელიც განკუთვნილია რთული სისტემის (პროცესის) მოდელირებისათვის, თავიდანვე კომპიუტერული პროგრამის სახით წარმოადგენს დიდ სირთულეს. სასურველია მამოდელირებელი ალგორითმი ჩაიწეროს ისეთი სახით, რომელიც უნდა ასახავდეს პირველ რიგში, მისი აგების თავისებურებებს ზედმეტი მეორეხარისხოვანი დეტალების გარეშე.

იმიტაციური მოდელირებისათვის მისაღებ მამოდელირებელი ალგორითმების წარმოდგენის მეთოდებს მიეკუთვნება: მამოდელირებელი ალგორითმების ოპერატორული სქემები (ბლოკ-სქემებთან ერთად), მოდელირების ენები და უნივერსალური იმიტაციური მოდელები.

ამ მეთოდებს შორის ყველაზე თვალსაჩინო და ადვილად აღსაქმელია პირველი მეთოდი, ამიტომ მოკლედ შევეხეთ მისი აგების პრინციპებს უბრალო მაგალითის გამოყენებით.

ამ მეთოდის გამოყენებისას უმთავრესია ოპერატორების სისტემის სწორად შერჩევა, ვინაიდან ის განსაზღვრავს ალგორითმის გამოსახვის თვალსაჩინოების ხარისხს და მისი შემდგომი გამოყენების მოხერხებულობას. ოპერატორების სისტემას წაეყენება ორი ძირითადი მოთხოვნა: 1) თითოეულ ოპერატორს უნდა ქონდეს ნათელი და გასაგები აზრი, რაც დაკავშირებულია დასამოდელირებელ სისტემასთან (პროცესთან). ამ შემთხვევაში თვით პროცესის სტრუქტურა გვიკარნახებს მამოდელირებელი ალგორითმის აგების გზებს. 2) უნდა იყოს სრული გარანტია იმისა, რომ ნებისმიერი ოპერატორი შესაძლებელია შესრულდეს ელემენტარული ოპერატორების თანმიმდევრობით რაიმე გართულების გარეშე. მხოლოდ ამ პირობების გათვალისწინებითაა შესაძლებელი მივალწიოთ წარმატებას ამოცანის პროგრამირების განხორციელებისას.

შენიშვნა: გავიხსენოთ ალგორითმის განმარტება ინფორმატიკიდან: ალგორითმი არის იმ მოქმედებათა ერთობლიობის ზუსტი და სრული არწერა,

რომელთა მკაცრად განსაზღვრული თანმიმდევრობით შესრულება განაპირობებს დასმული ამოცანის ამოხსნას.

უნდა გვახსოვდეს, რომ მამოდელირებელი ალგორითმი არის ობიექტი-ორიგინალის მათემატიკური მოდელის ჩაწერის სპეციალურ ფორმა. თუმცა ეს არ ნიშნავს იმას, რომ ყოველთვის ადგილი აქვს სრულ თანხვედრას.

მამოდელირებელი ალგორითმის ყველა სახის ოპერატორები შეიძლება დაიყოს სამ ჯგუფად: 1) ძირითადი ოპერატორები; 2) დამხმარე ოპერატორები; და 3) სამოსამსახურეო ოპერატორები. ალგორითმის შედგენისას ძირითად როლს თამაშობენ ძირითადი და დამხმარე ოპერატორები.

ძირითად ოპერატორებს განეკუთვნებიან ის ოპერატორები, რომლებიც გამოიყენებიან დასამოდელირებელი ობიექტის ცალკეული ელემენტარული აქტების და მათ შორის ურთიერთმოქმედების იმიტაციისათვის. სხვა სიტყვებით, რომ ვთქვათ, ძირითადი ოპერატორები ახორციელებენ იმ თანაფარდობების რეალიზაციას მათემატიკური მოდელისა, რომლებიც აღწერენ რეალური სისტემის ელემენტების ფუნქციონირებას გარემოს ზემოქმედების გათვალისწინებით. მათგან განსხვავებით დამხმარე ოპერატორები არ არიან განკუთვნილი პროცესის ელემენტარული აქტების იმიტაციისათვის ისინი ახორციელებენ იმ პარამეტრების და მახასიათებლების გამოთვლას, რომელიც საჭიროა ძირითადი ოპერატორების მუშაობისათვის.

სამოსამსახურეო ოპერატორები არ არიან დაკავშირებული მათემატიკური მოდელის თანაფარდობებთან. ისინი უზრუნველყოფენ ძირითადი და დამხმარე ოპერატორების ურთიერთმოქმედებას ობიექტი-ორიგინალის მოდელირებისას ავტომატურ რეჟიმში, ალგორითმის მუშაობის სინქრონიზაციას და ზოგიერთ სხვა დამხმარე ფუნქციებს. კერძოდ, სამომსახურეო ოპერატორები ახორციელებენ იმ სიდიდეების ფიქსირებას, რომლებიც წარმოადგენენ მოდელირების შედეგს, აგრეთვე მათ დამუშავებას.

მამოდელირებელი ალგორითმის აგებისას პირველ რიგში ხდება მონიშვნა იმ ძირითადი ოპერატორებისა, რომლებმაც უნდა უზრუნველყონ სისტემის ცალკეული ელემენტების ფუნქციონირების პროცესის იმიტაცია. ისინი ერთმანეთთან უნდა იყვნენ დაკავშირებული დასამოდელირებელი პროცესის (სისტემის) ფორმალიზებული სქემის შესაბამისად. გავარკვევთ რა თუ რა პარამეტრებია საჭირო ძირითადი ოპერატორების მუშაობის უზრუნველყოფად,

ოპერატორულ სქემაში უნდა მოხდეს დამხმარე ოპერატორების შეყვანა, რომლებმაც უნდა უზრუნველყონ ამ პარამეტრების გამოთვლა. ძირითადად და დამხმარე ოპერატორებმა უნდა მოიცვან მათემატიკური მოდელის ყველა თანაფარდობები, რომელიც წარმოადგენს მამოდელირებელი ალგორითმის ძირითად ნაწილს. გულდასმით უნდა შემოწმდეს ძირითადი და დამხმარე ოპერატორების ნაკრების შესატყვისობა მათემატიკური მოდელის თანაფარდობებთან, რათა თავიდან იქნეს აცილებული შეცდომები.

იმის შემდეგ რაც დასრულდება მამოდელირებელი ალგორითმის ძირითადი ნაწილის დამუშავება, შეიძლება გადასვლა შემდეგ ეტაპზე-სამომსახურო ოპერატორების შემოტანა. ამისათვის აუცილებელია განხილულ იქნას დასამოდელირებელი სისტემის ფუნქციონირების დინამიკა და გათვალისწინებული იქნას ურთიერთმოქმედება პროცესის სხვადასხვა ფაზებს შორის, ასევე ინფორმაციის სვლის ანალიზი მოდელირებისას.


განვიხილოთ მარტივი მაგალითი.

ალგორითმების ოპერატორული სქემის წარმოდგენისათვის მოსახერხებელია ორი პრინციპულად სხვადასხვა კლასის ოპერატორის გამოყენება: 1) არითმეტიკული ოპერატორები და 2) ლოგიკური ოპერატორები.

განვიხილოთ კვადრატული განტოლების ფესვის პოვნის ალგორითმი

(ნახ.2.2): $x^2 + ax + b = 0$, ფესვები $x_{1,2} = -\frac{a}{2} \pm \sqrt{\frac{a^2}{4} - b}$. აქ მათემატიკური

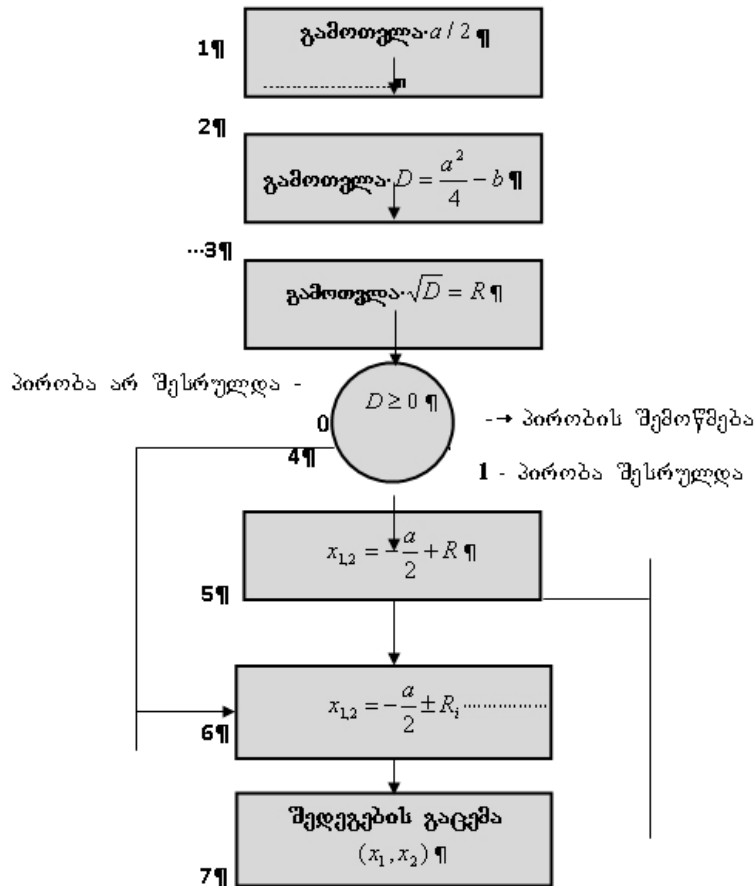
ოპერატორები წარმოდგენილია ბლოკებით 1,2,3,5,6, ხოლო წრეხაზით (ზოგჯერ

იყენებენ ასეთ აღნიშვნასაც  აღნიშნულია ლოგიკური ოპერატორი(4). ოპერატორული სქემის მისაღებად მათემატიკური ბლოკები აღვნიშნოთ A_1, A_2, A_3, A_5 და A_6 , ლოგიკური ოპერატორი აღვნიშნება p ასოთი და შესაბამისი ქვედა ინდექსით $-p_4$. ალგორითმის ბლოკ-სქემაზე ბოლო ოპერატორი აღვნიშნოთ A_7 -ნიშნავს გამოთვლის დასრულებას და შედეგების გაცემას.

ძირითადად A ოპერატორებს ქვედა ინდექსის გარდა შეიძლება მიეწეროს ზედა მარცხენა და მარჯვენა ინდექსები. მაგ.: A_{16}^{18} -რაც ნიშნავს, რომ ოპერატორ $M16$ -ს მართვა გადმოეცემა ოპერატორებიდან $N5$ და $N6$ (მარცხენა ზედა ინდექსები) და თვითონ მართვას გადაცემს ოპერატორს $M18$.

ძირითადი (A) ოპერატორი შეასრულებს რა თავის ოპერაციას (მაგ.: A_1 ბლოკ-სქემაზე გამოითვლის $\frac{a}{2}$ მნიშვნელობას), მიუხედავად შედეგისა, ახორციელებს გადასვლას (ბლოკ-სქემაზე ისრითაა ასახული ნახ.2.2) (ამ გადასვლას მართვის გადაცემას უწოდებენ) მხოლოდ ერთ განსაზღვრულ ოპერატორზე.

ლოგიკური ოპერატორების დანიშნულებაა შეამოწმონ მოცემული პირობების სამართლიანობა და გამოიმუშაონ შემოწმების შედეგის ნიშანი. ეს ნიშანი შეიძლება გამოისახოს 1- პირობა შესრულდა (ან სიტყვით „დია“ ან „კი“) და 0-ით პირობა არ შესრულდა (ან სიტყვით „არა“). ლოგიკური ოპერატორი აღინიშნება p და აღნიშვნა $P_{35_{12}}^{\uparrow 22}$ ნიშნავს, რომ ლოგიკური ოპერატორი №35 მართვას გადასცემს ოპერატორს №22, თუ p_{35} -ის მიერ შესამოწმებელი პირობა შესრულებულია, თუ ეს პირობა არაა შესრულებული მაშინ მართვა გადაეცემა ოპერატორს №12.



ნახ. 2.2. კვადრატული განტოლების ფესვების პოვნის ალგორითმი

ოპერატორული სქემის ჩაწერის გადატვირთვის თავიდან აცილების მიზნით, თუ ოპერატორები ერთმანეთს უშუალოდ მოსდევენ, მაშინ მართვის გადაცემის აღნიშვნა არ ხდება (ამით ჩაწერა მარტივდება).

აღნიშნულის გათვალისწინებით, ნახ.2.2.-ზე მოყვანილი ალგორითმის ოპერატორულ სქემას ექნება სახე: $A_1 A_2 A_3 A_{4\downarrow 6} A_5^7 \text{ }^4 A_6^{5,6} \mathcal{A}_7$.

რთული სისტემების მამოღელირებელი ალგორითმების აგებისას საჭირო იქნება გამოყენებულ იქნას შემდეგი სახის ოპერატორები: 1) გამოთვლითი ოპერატორები; 2) შემთხვევითი პროცესების რეალიზაციის მაფორმირებელი ოპერატორები; 3) არა შემთხვევითი სიდიდეების მაფორმირებელი ოპერატორები; 4) მთვლელები.

გამოთვლითი ოპერატორებმა უნდა უზრუნველყონ ნებისმიერი სირთულის დეტერმინირებული მათემატიკური გამოსახულებების რეალიზაცია.

შემთხვევითი პროცესების ოპერატორებმა უნდა უზრუნველყონ რეალიზაცია შემთხვევითი ხდომილებების, შემთხვევითი სიდიდეების, შემთხვევითი ფუნქციების და ზოგჯერ უფრო რთული ბუნების შემთხვევითი ობიექტების.

რთული სისტემების მოდელირებისას საჭირო ხდება არა მარტო შემთხვევითი ობიექტების რეალიზაციის ფორმირება, არამედ სხვადასხვა მუდმივების და დროის არაშემთხვევითი ფუნქციებისაც. ამას უზრუნველყოფს, სწორედ, არა შემთხვევითი სიდიდეების მაფორმირებელი ოპერატორების გამოყენება.

მამოღელირებელი ალგორითმის სამომსახურო ოპერატორების შემადგენლობაში ხშირად გვხვდება არითმეტიკული ოპერატორი (მთვლელი ოპერატორი), რომელთა მეშვეობითაც ხდება სხვადასხვა ობიექტების თვლა, რომელთაც გააჩნიათ მოცემული თვისებები. სწორედ ამ ტიპის ოპერატორებს უწოდებენ მთვლელებს.

2.2.4. რთული სისტემის მამოღელირებელი ალგორითმების აგების პრინციპები

როგორც ვნახეთ, რთული სისტემის ფუნქციონირების პროცესი შეიძლება განვიხილოთ, როგორც მისი მდგომარეობათა თანმიმდევრობითი ცვლა, რომელიც აღიწერება მახასიათებლებით $z_1(t), z_2(t), \dots, z_n(t)$ n – განზომილებიან ფაზურ სივრცეში. სისტემის ფუნქციონირების პროცესის მოდელირების ამოცანაა ფუნქციების

$$z_1(t), z_2(t), \dots, z_n(t) \quad (2.5)$$

აგება და ამ ფუნქციებზე დამოკიდებული სისტემის ზოგიერთი მახასიათებლების გამოთვლა.

ამ შემთხვევაში ჩვენს განკარგულებაშია მათემატიკური მოდელის თანაფარდობები, რომლებიც სისტემის მდგომარეობის მახასიათებლებს (2.5) აკავშირებს მის პარამეტრებთან და დროსთან, აგრეთვე საწყისი პარამეტრები $z_1^0, z_2^0, \dots, z_n^0$ დროის საწყისი t_0 მომენტისათვის. წარმოვიდგინოთ, რომ საქმე გვაქვს დეტერმინებულ სისტემასთან.

უნდა მოხდეს მათემატიკური მოდელის თანაფარდობების ისეთ სახეზე დაყვანა, რომ შეძლებისამებრ, ადვილი იყოს შემდეგი მნიშვნელობების გამოთვლა $z_1(t + \Delta t), z_2(t + \Delta t), \dots, z_n(t + \Delta t)$ - მნიშვნელობების $z_i(\tau)$ -ის მიხედვით, რომლებიც მიღებული იყო დროის მომენტისათვის $\tau \leq t$. პროცესი ასე გამოიყურება: ვთქვათ ვიწყებთ დროის ათვლას t_0 -დან – გვაქვს $z_i^0 = z_i(t_0)$, შემდეგ t_0 ვუმატებთ Δt დროის ბიჯს და $t_1 = t_0 + \Delta t$ განვსაზღვრავთ $z_i(t_1)$, შემდეგ ვამატებთ Δt და $t_2 = t_1 + \Delta t$ -თვის ვანგარიშობთ მნიშვნელობებს $z_i(t_2)$, ($i = \overline{1, n}$) და ა.შ. თუ Δt საკმაოდ მცირეა ამგვარად შეგვიძლია მივიღოთ მიახლოებითი მნიშვნელობები $z_i(t)$.

იგივე შეგვიძლია განვიხილოთ შემთხვევითი ფაქტორების გათვალისწინებითაც. ამ შემთხვევაში მამოღელირებელი ალგორითმის სტრუქტურა არ იცვლება. განსხვავება ისაა, რომ $z(t + \Delta t)$ მდგომარეობის

ნაცვლად აუცილებელია გამოვითვალოთ შესაძლო მდგომარეობათა ალბათობების განაწილება.

მამოდელირებელი ალგორითმის აგების განხილული პრინციპი, რომელიც საშუალებას იძლევა განვსაზღვროთ რთული სისტემის მიმდევრობითი მდგომარეობები, რაღაც დროის ინტერვალების შემდეგ, ცნობილია „ Δt პრინციპის“ სახელწოდებით.

როგორც პრაქტიკამ აჩვენა ეს პრინციპი ყოველთვის როდი იძლევა სასურველ შედეგს. აღმოჩნდა, რომ ზოგიერთი რთული სისტემის, მაგალითად, სპეციალური სახის საწარმოო პროცესის, განხილვისას შეიძლება აღმოვაჩინოთ t დროის ინტერვალში სისტემის მდგომარეობათა მნიშვნელოვანი განსხვავება თანაბარუფლებიანობაში, ანუ არსებობენ ისეთი რთული სისტემები, რომლებიც ხასიათდებიან t დროის ინტერვალში არათანაბარუფლებიანი მდგომარეობებით. ამ სახის სისტემისათვის დმახასიატებელია შემდეგი ორი ტიპის მდგომარეობა: 1) ჩვეულებრივი (არა განსაკუთრებული) მდგომარეობები, რომელშიც სისტემა იმყოფება თითქმის ყოველთვის და 2) განსაკუთრებული მდგომარეობები, რომლებიც დმახასიატებელია სისტემისათვის რაღაც იზოლირებული დროის მომენტებისათვის, რომლებიც ემთხვევა გარემოდან სისტემაში შემავალი სიგნალების მიწოდების მომენტებს, ერთ-ერთი მახასიატებლის $z_i(t)$ (კოორდინატის) არსებობის საზღვარზე გასვლას და ა.შ.

სისტემის განსაკუთრებული მდგომარეობები ხასიათდებიან კიდევ იმ თავისებურებით, რომ კოორდინატები $z_i(t)$ დროის ამ მომენტში იცვლებიან, როგორც წესი, ნახტომისებურად, ხოლო განსაკუთრებულ მდგომარეობებს შორის ადგილი აქვს $z_i(t)$ მდოვრე და უწყვეტ ცვლას.

მაგალითად, ვთქვათ მარტივ მრავალარხიან მასობრივი მომსახურების სისტემაში $z_0(t)$ – არის თავისუფალი არხების რაოდენობა $Z_0^*(t)$ - განაცხადების რაოდენობა რიგში, $z_i(t)$ – დრო, რომელიც დარჩენილია i -ური არხის განთავისუფლებამდე და ა.შ. განსაზღვრული მდგომარეობები დგება მომსახურებაზე ახალი განაცხადების შემოსვლის მომენტში (თავისუფალი არხების ან რიგში განაცხადების რაოდენობა იცვლება ნახტომისებურად) ან მომსახურების დამთავრების შემდეგ არხების განთავისუფლების მომენტებში.

უნდა შევნიშნოთ, რომ ასეთი სისტემების თვისებები ფასდება განსაკუთრებული მდგომარეობათა შესახებ ინფორმაციით, ხოლო არა განსაკუთრებული მდგომარეობები კვლევისათვის ინტერესს არ წარმოადგენენ.

არსებობს შემთხვევები, როდესაც სისტემის მათემატიკური მოდელის თანაფარდობები შეიძლება ისე შეიცვალოს, რომ სისტემის განსაკუთრებული მდგომარეობის განსაზღვრისათვის საკმარისია ვიცოდეთ წინამორბედი განსაკუთრებული მდგომარეობა ან რამოდენიმე წინა განსაკუთრებული მდგომარეობა.

ადვილია დავინახოთ, რომ მამოდელირებელი ალგორითმები, რომლებიც აგებულია Δt პრინციპით, ასეთი სისტემებისათვის, არც ისე ეფექტურია. ფაქტიურად მცირე Δt დროს დაიხარჯება საკმაოდ დიდი მანქანური დრო ჩვენთვის არა საინტერესო სისტემის ჩვეულებრივი მდგომარეობების განსაზღვრაზე. თუ Δt გავზრდით, მაშინ შეიძლება მოხდეს ზოგიერთი განსაკუთრებული მდგომარეობების გამოტოვება (ვერ „დავიჭიროთ“ Δt -ს სიდიდის გამო).

ამიტომ მიმართავენ ასეთი სისტემებისათვის მამოდელირებელი ალგორითმების აგებას ე.წ. „განსაკუთრებული მდგომარეობათა“ პრინციპით. ის Δt პრინციპისაგან იმით განსხვავდება, რომ შეიცავს სპეციალურ პროცედურას დროის მომენტის განსაზღვრისათვის, რომელიც შეესაბამება მომდევნო განსაკუთრებული მდგომარეობის დადგენას ამ მდგომარეობის ან სხვა წინა განსაკუთრებული მდგომარეობების ცნობილი მახასიათებლების მიხედვით.

მასობრივი მომსახურების სისტემებში განაცხადების მომსახურების პროცესის მოდელურებისას ხელსაყრელია მამოდელირებელი ალგორითმი აიგოს პრინციპით, რომლის იდეაც მდგომარეობს თანმიმდევრობით აღდგენაში ცალკეული განაცხადების ისტორიისა მათი სისტემაში შემოსვლის რიგის მიხედვით: ალგორითმი მიმართავს ცნობებს სხვა განაცხადების შესახებ მხოლოდ იმ შემთხვევაში, თუ ეს აუცილებელია მოცემული განაცხადის შემდგომი მომსახურების წესისათვის. ასეთი მამოდელირებელი ალგორითმები საკმაოდ ეკონომიურია, მაგრამ საკმაოდ რთულია ასაგებად, და მოითხოვს საკმაოდ ცოდნასა და გამოცდილებას სტატისტიკური მოდელირების სფეროში. ამ პრინციპს „განაცხადის თანმიმდევრობით გატარების“ პრინციპს უწოდებენ.

უმეტეს შემთხვევაში „თანმიმდევრობითი გატარების პრინციპი“, ზოგჯერ Δt პრინციპთან ერთად, საფუძვლად უდევს თითქმის ყველა მოდელირების ენას.

მოდელირების თანამედროვე ენები მომხმარებლებს სთავაზობენ მოსახერხებელ საშუალებებს ძალზე ფართო კლასის რთული სისტემების მოდელირებისათვის, დაწერილი პროგრამების ადვილად გაწყობის საშუალებებს, მოდელის შესახებ სტატისტიკური ინფორმაციის შეგროვებისა და დამუშავების საშუალებებს. აუცილებელია ვიცოდეთ, რომ მოდელირების ყველა ენა ფაქტიურად პრობლემურად ორიენტირებულია, ე.ი. ისინი ასახავენ ცნობების გარკვეულ ერთობლიობას, რომელიც დამახასიათებელია მოცემული კლასის ამოცანებისათვის. ეს მნიშვნელოვნად აადვილებს პროგრამის შექმნას იმ მომხმარებლისათვის, რომელიც არ იცნობს მოდელის მათემატიკური აღწერის მეთოდებს. იცის მხოლოდ დასამოდელირებელი სისტემის შინარსობრივი აღწერა და სწორად აქვს წარმოდგენილი ლოგიკური კავშირი სისტემაში მიმდინარე პროცესებს შორის.

ენის პრობლემური ორიენტაცია საშუალებას იძლევა მოხდეს ინფორმაციის სტატისტიკური დამუშავების და შედეგების წარმოდგენის პროგრამების უნიფიცირება.

თუმცა ისიც უნდა ვიცოდეთ, რომ ენის პრობლემური ორიენტაცია ბადებს მთელ რიგ სირთულეებს: 1) არსებობს ობიექტური სიძნელეები დასამოდელირებელი სისტემის მოცემულ ენაზე აღწერისა; 2) სიმრავლე გამოყენებითი სფეროებისა ბადებს მოდელირების ენების სიმრავლეს, რომლებიც ორიენტირებული არიან ამ სფეროებზე და ა.შ.

2.3. მეთოდოლოგიური მიდგომები იმიტაციურ მოდელირებაში

იმიტაციური მოდელის დამუშავებისას ანალიტიკოსმა (მკვლევარმა, დამპროექტებელმა) უნდა ამოირჩიოს დასამოდელირებელი სისტემის აღწერის კონცეპტუალური სქემა. ეს სქემა ეყრდნობა გარკვეულ მეთოდოლოგიურ მიდგომას, რომლის ფარგლებშიც ხდება სისტემის ფუნქციური კავშირების აღქმა და აღწერა. თუ დამპროექტებელი მოდელის შექმნისას იყენებს იმიტაციურ ენას, მეთოდოლოგიური მიდგომა მოიცემა ამ ენის ფარგლებში, მაგრამ იმ შემთხვევაში თუ დამპროექტებელი იყენებს უნივერსალურ ენას, როგორცაა C ,

C++, ბეისიკი და ა.შ., მაშინ მან თვითონვე უნდა გამოიმუშაოს ასეთი მიდგომა. ნებისმიერ შემთხვევაში მეთოდოლოგიური მიდგომა, რომელსაც გამოიყენებს დამპროექტებელი, საშუალებას აძლევს მას ნათლად ჩამოაყალიბოს სისტემის აღწერა.

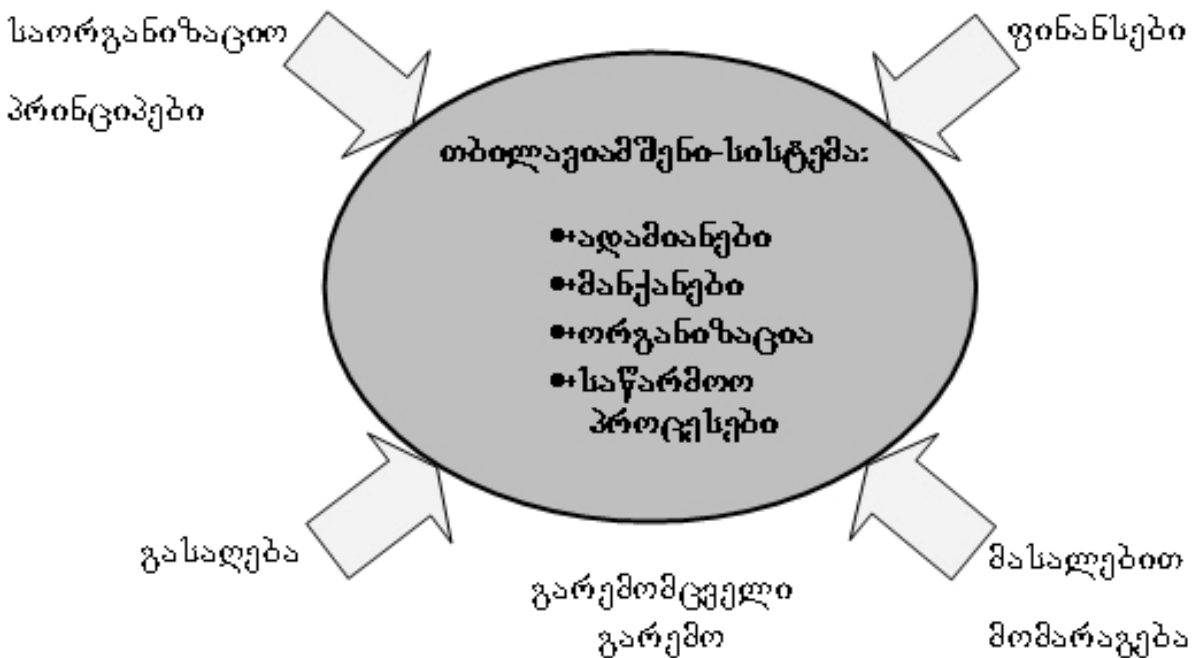
2.3.1. სისტემები და მოდელი

გავისხენოთ სისტემის განმარტება: სისტემა ესაა ერთობლიობა ელემენტებისა, რომლებიც განეკუთვნებიან რეალური სამყაროს შეზღუდულ ნაწილს და წარმოადგენენ კვლევის ობიექტს. ერთ შემთხვევაში რაღაც ერთობლიობა ელემენტებისა შეიძლება განიხილებოდეს როგორც რაღაც ნაწილი დიდი სისტემისა, ე.ი. როგორც ქვესისტემა; ხოლო მეორე შემთხვევაში იგივე ერთობლიობა ელემენტებისა შეიძლება მოექცეს მკვლევარების ყურადღების ცენტრში, როგორც სისტემა. ნებისმიერი სისტემის და მოდელის მოქმედების სფერო ცალსახად განისაზღვრება მიზნით, რის სარეალიზაციოდაც ის გამოიყოფა და იდენტიფიცირდება. ნებისმიერი იმიტაციური მოდელის მოქმედების სფერო განისაზღვრება აგრეთვე თავისებურებებით იმ პრობლემისა, რის გადასაწყვეტადაც იქმნება ეს მოდელი.

სისტემის მოქმედების სფეროს დასადგენად მკვლევარმა უნდა გამოავლინოს მისი საზღვრები და შემადგენლობა. სისტემის საზღვრების გამოვლენისას დგინდება მის ელემენტებს შორის არა მარტო ფიზიკური, არამედ მიზეზ-შედეგობრივი ურთიერთკავშირებიც. სისტემაზე, რომელსაც უკვე მიცემული აქვს წინასწარი განსაზღვრება, შეიძლება ზემოქმედებდნენ რაღაც გარეშე ფაქტორები. თუ ისინი მნიშვნელოვან ზეგავლენას ახდენენ სისტემაზე, მაშინ ასეთი სისტემაზე ექსპერიმენტის ჩატარებას არა აქვს აზრი და უნდა მოხდეს მისი ხელახალი განსაზღვრა. თუ გარეშე ფაქტორები ნაწილობრივ ზემოქმედებენ სისტემაზე, არსებობს შემდეგი შესაძლებლობები:

- გაფართოვდეს სისტემის განსაზღვრება და მასში ჩაირთოს ეს ფაქტორები;
- უგულებელყოფილ იქნეს ფაქტორები;
- მოხდეს მათი წარმოდგენა როგორც სისტემის შესასვლელებისა.

თუ გარეშე ფაქტორების წარმოდგენა ხდება როგორც სისტემის შესასვლელებისა, მაშინ იგულისხმება, რომ ხდება მათი ფუნქციურად ასახვა მინიჭებული მნიშვნელობების, ცხრილების ან განტოლებების მეშვეობით. მაგალითად, თუ გვსურს დავამუშაოთ თბილავიამშენის საწარმოო სისტემის მოდელი და მის მიერ ნაწარმოები პროდუქციის გასაღება განიხილება როგორც საწარმოო სისტემაში შესასვლელი, მაშინ მოდელში არ მოხდება ამ გასაღებისათვის დამახასიათებელი მიზეზ-შედეგობრივი ურთიერთკავშირების ჩართვა. ასეთი მოდელი შეიცავდეს იქნება მხოლოდ სტატისტიკურ აღწერას ადრე ჩატარებული და სავარაუდო გაყიდვებისა, რაც გამოიყენება როგორც შემავალი ფაქტორი, ე.ი. გასაღების პროცესის ორგანიზაცია არ შევა მოდელის შემადგენლობაში – რჩება ამ მოდელის გარეთ. სისტემური ტერმინოლოგიით ობიექტები რომლებიც რჩებიან სისტემის გარეთ, მაგრამ შეუძლიათ იმოქმედონ მის ქცევაზე, ქმნიან ამ სისტემის გარემოს, ამრიგად, სისტემები წარმოადგენენ ერთობლიობას ურთიერთმოქმედი ელემენტებისა, რომლებიც განიცდიან ზემოქმედებას გარეშე ფაქტორებისაგან. ნახ. 2.3.-ზე მოყვანილია თბილავიამშენის საწარმოო სისტემის ასეთი მოდელი.



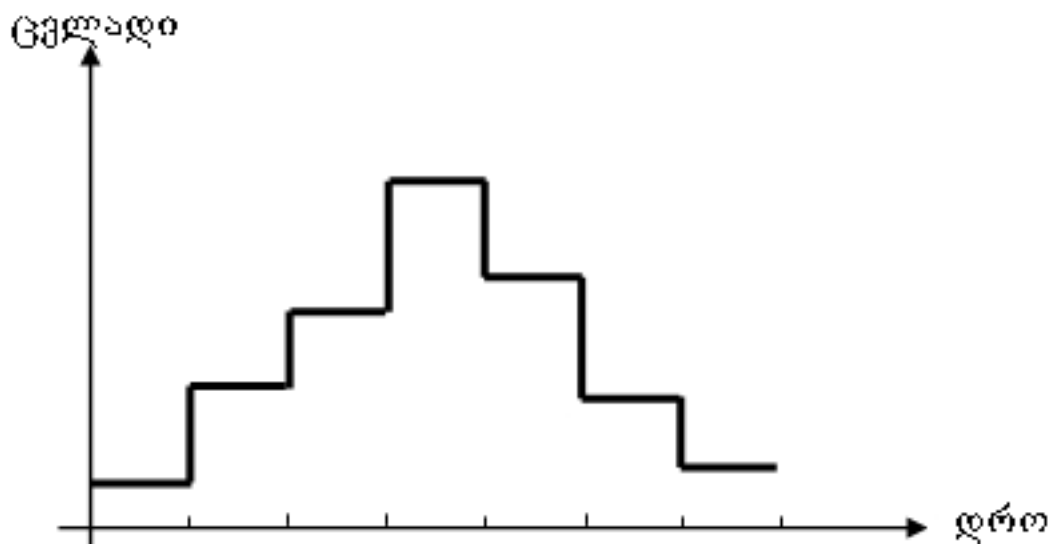
სისტემის მოდელი შეიძლება კლასიფიცირებული იქნას მისი ცვლილების ხასიათის მიხედვით – დისკრეტული და უწყვეტი. უნდა გვახსოვდეს, რომ ეს ტერმინი ვრცელდება მოდელზე და არა რეალურ სისტემაზე. პრაქტიკულად ერთი და იგივე სისტემა შეიძლება წარმოდგენილი იყოს დისკრეტულად ცვლადი მოდელით ან უწყვეტად ცვლადი მოდელით. როგორც წესი დრო იმიტაციურ მოდელში წარმოადგენს ძირითად დამოუკიდებელ ცვლადს. სხვა ცვლადები, რომლებიც ჩართული არიან მოდელში წარმოადგენენ დროის ფუნქციას, ე.ი. წარმოადგენენ დამოკიდებულ ცვლადებს. განსაზღვრებები „დისკრეტული“ და „უწყვეტი“ ეხება დამოკიდებული ცვლადების ქცევას.

დისკრეტული იმიტაციისას დამოკიდებული ცვლადები იცვლებიან დისკრეტულად საიმიტაციო დროის გარკვეულ მომენტებში, რომლებსაც მოვლენათა განხორციელების მომენტები ეწოდებათ. ცვლადი დრო იმიტაციურ მოდელში შეიძლება იყოს უწყვეტი ან დისკრეტული იმისგან დამოკიდებულებით, შესაძლებელია თუ არა დამოკიდებულმა ცვლადებმა დისკრეტული ცვლილებები განიცადონ დროის ნებისმიერ თუ განსაზღვრულ მომენტებში.

დისკრეტულ მოდელში დამოკიდებული ცვლადების მნიშვნელობები მოვლენათა შორის პერიოდში არ იცვლებიან. დისკრეტულ იმიტაციურ მოდელში დამოკიდებული ცვლადების ცვლილების მაგალითი მოტანილია ნახ. 2.4-ზე.

უწყვეტი იმიტაციური მოდელის დამოკიდებული ცვლადები იცვლებიან უწყვეტად მთელი იმიტაციის დროის განმავლობაში.

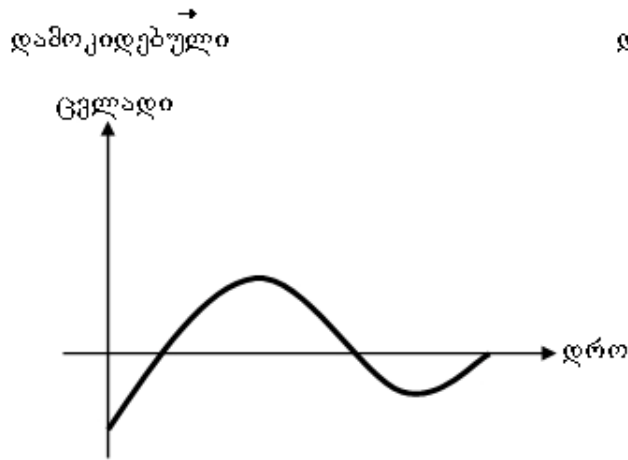
დამოკიდებული



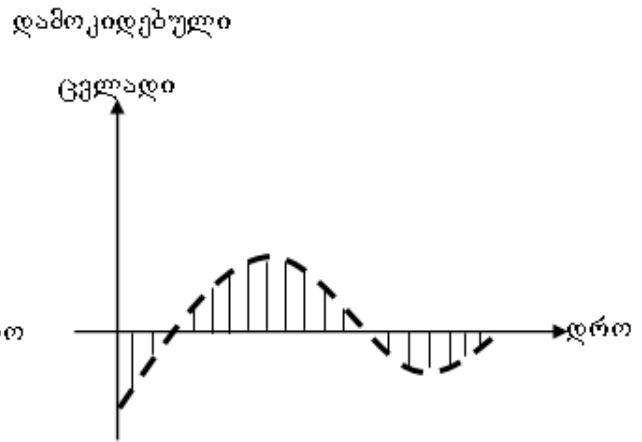
უწყვეტი მოდელი დროში შეიძლება იყოს უწყვეტი (ნახ. 2.5), ან დროში დისკრეტული (ნახ. 2.6) იმისგან დამოკიდებულებით, ხელმისაწვდომი იქნება თუ არა დამოკიდებული ცვლადების მნიშვნელობები დროის ნებისმიერ მომენტში, თუ მხოლოდ დროის განსაზღვრულ მომენტებში იმიტაციური დროის განმავლობაში.

ქიმიურ პროცესებში რეაგენტების კონცენტრაციის ან კოსმოსური აპარატის ან თვითმფრინავის მოძრაობის სიჩქარის და მდებარეობის მოდელირება წარმოადგენს მაგალითს სიტუაციისა, როდესაც უმჯობესია გამოყენებულ იქნას დამოკიდებული ცვლადების (კონცენტრაცია ქიმიურ პროცესში, მდებარეობა და სიჩქარე კოსმოსური აპარატის ან თვითმფრინავის) უწყვეტი წარმოდგენა.

კომბინირებული იმიტაციისას მოდელის დამოკიდებული ცვლადები შეიძლება იცვლებოდნენ დისკრეტულად, უწყვეტად ან უწყვეტასდ ზედდებული დისკრეტული ნახტომისებრივი ცვლილებებით. ამ შემთხვევაშიც იგულისხმება, რომ დრო იცვლება უწყვეტად ან დისკრეტულად. კომბინირებული იმიტაციის უმთავრესი ასპექტი ისაა, რომ შესაძლებელია ურთიერთმოქმედება დისკრეტულად და უწყვეტად ცვლად პარამეტრებს შორის. მაგალითად, როდესაც



ნახ.2.5. უწყვეტი იმიტატორის პასუხების გრაფიკი

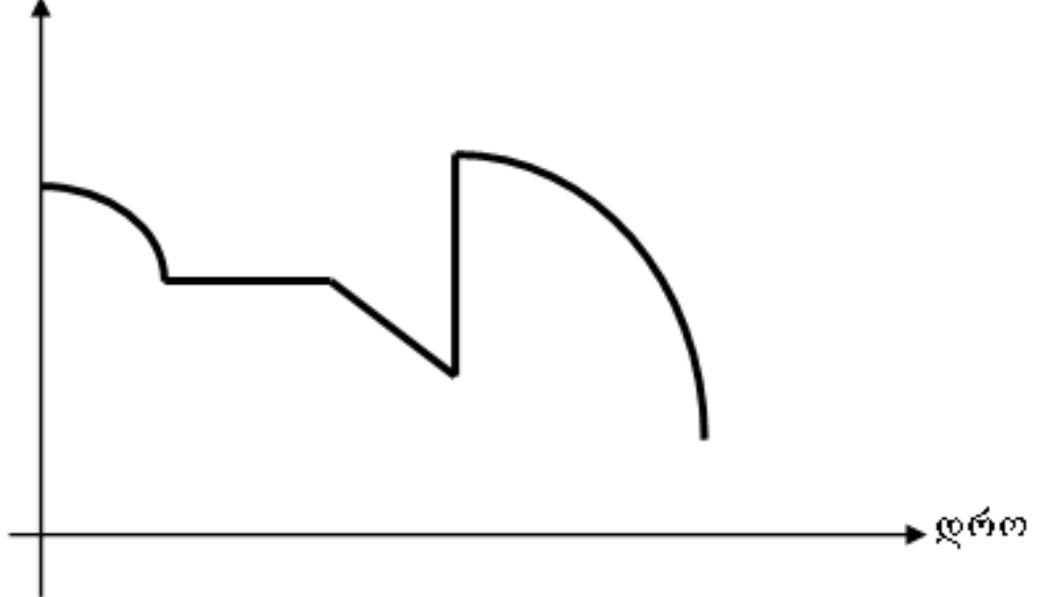


2.6. დისკრეტულ დროიანი იმიტატორის პასუხების გრაფიკი

ქიმიურ პროცესში რეაგენტის კონცენტრაცია მიაღწევს რაღაც წინასწარ მოცემულ დონეს, იმიტაციის პროცესი შეიძლება შეწყდეს. კომბინირებული იმიტაციის ენა უნდა შეიცავდეს ასეთი სიტუაციების წარმოშობის პირობების დასადგენ და მათი შედეგების იმიტაციის საშუალებებს. კომბინირებული იმიტაციურ მოდელში დამოკიდებული ცვლადების მაგალითი მოტანილია ნახ. 2.7-ზე.

დამოკიდებული

ცვლადი



2.3.2. დისკრეტული იმიტაციური მოდელირება

იმიტაციურ მოდელში ჩართულ დისკრეტული სისტემის ელემენტებს, როგორებიცაა: ადამიანები, მოწყობილობები, შეკვეთები, მასალების ნაკადი და ა.შ. ვუწოდებთ მის კომპონენტებს. კომპონენტებს, რომლებიც მონაწილეობენ სხვადასხვა ტიპის მოქმედებებში, შეიძლება გააჩნდეთ ერთი ან რამდენიმე საერთო მახასიათებლები, რაც მათი ჯგუფებად გაერთიანების შესაძლებლობას იძლევა. კომპონენტების ჯგუფს შეიძლება ფაილები ვუწოდოთ. კომპონენტის ფაილში ჩართვა ნიშნავს, რომ ის ლოგიკურადაა დაკავშირებული ამ ფაილის სხვა კომპონენტებთან.

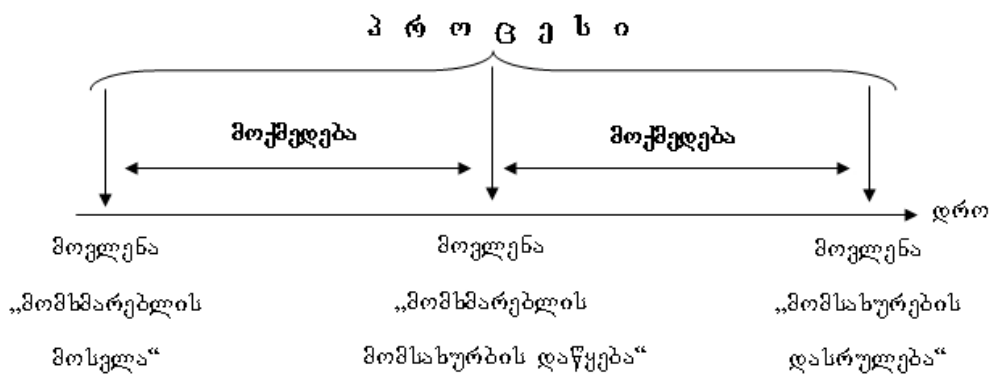
დისკრეტული იმიტაციური მოდელის მიზანია მოხდეს კომპონენტების ურთიერთმოქმედებების აღწარმოება და შესწავლილი იქნას საკვლევი სისტემის ქცევა და ფუნქციური შესაძლებლობები. ამისათვის ხდება სისტემის

მდგომარეობათა გამოყოფა და იმ მოქმედებათა აღწერა, რომლებსაც სისტემა გადაყავს ერთი მდგომარეობიდან მეორეში. ამბობენ, რომ სისტემა იმყოფება განსაზღვრულ მდგომარეობაში, როდესაც ყველა მისი კომპონენტი იმყოფება მდგომარეობაში, რომელიც თავსებადია მნიშვნელობათა იმ არისა, რომლებიც აღწერენ მდგომარეობის მახასიათებლებს. ამგვარად, იმიტაცია – ესაა დინამიური „პორტრეტი“ სისტემის მდგომარეობებისა დროში, ანუ აღწარმოება სისტემის დროში ქცევისა.

დისკრეტული იმიტაციისას სისტემის მდგომარეობა შეიძლება იცვლებოდეს მხოლოდ მოვლენის (ხდომილების) დადგომის მომენტებში. ვინაიდან სისტემის მდგომარეობა ამ მომენტს შორის უცვლელია, სისტემის მდგომარეობათა სრული დინამიური პორტრეტი შესაძლებელია მიღებულ იქნას იმიტაციური დროის წარმართვით ერთი მოვლენიდან მეორისაკენ. მოდელში დროის წარმართვის შესაძლო მექანიზმი შეიძლება ემყარებოდეს მომდევნო უახლესი მოვლენის მოძებნას (ძებნას).

დისკრეტული იმიტაციური მოდელის ფუნქციონირება შეიძლება მოცემული იყოს შემდეგნაირად: განისაზღვროს სისტემის მდგომარეობების ცვლილება, რომლებიც ხდება ყოველი ახალი მოვლენის დადგომისას; აღიწეროს მოქმედებები, რომლებშიც მონაწილეობენ სისტემის ელემენტები, ან პროცესი, რომელსაც გაივლიან ელემენტები. ურთიერთკავშირები ცნობებს-მოვლენა, მოქმედება და პროცესი მოტანილია ნახ. 2.8.

მოვლენა ხდება იმ მომენტში, როდესაც ხდება გადაწყვეტილების მიღება მოქმედების დაწყებაზე ან დამთავრებაზე. პროცესი – ესაა დროში ორიენტირებული მოვლენების თანმიმდევრობა, რომელიც შეიძლება შედგებოდეს რამოდენიმე მოქმედებისაგან.



2.3.3. უწყვეტი იმიტაციური მოდელირება

უწყვეტი იმიტაციური მოდელში სისტემის მდგომარეობის წარმოდგენა ხდება დამოკიდებული ცვლადების მეშვეობით. იმისათვის, რომ ერთმანეთისაგან განვასხვაოთ უწყვეტი ცვლადები დისკრეტული ცვლადებისაგან, პირველს ვუწოდოთ მდგომარეობის ცვლადი. უწყვეტი იმიტაციური მოდელი იქმნება მდგომარეობის ცვლადების აღმწერი განტოლებების შედგენით, რომლებიც აღწერენ რეალური სისტემის დინამიურ ქცევას.

უწყვეტი სისტემების მოდელები, ხშირად განისაზღვრება წარმოებული მდგომარეობის ცვლადების ტერმინებში. ეს იმით აიხსნება, რომ ზოგჯერ ადვილია იმ გამოსახულებების პოვნა, რომელიც განსაზღვრავს მდგომარეობის ცვლის სიჩქარეს. ასეთი სახის განტოლებებს, ეწოდებათ დიფერენციალური განტოლებები. ვთქვათ, მაგალითად, მოდელის შექმნის პროცესში ჩვენ შევადგინეთ შემდეგი დიფერენციალური განტოლება t დროში მდგომარეობის S ცვლადისათვის:

$$\frac{dS(t)}{dt} = S^2(t) + t^2, \quad S(0) = K$$

პირველი განტოლება განსაზღვრავს S -ის ცვლილების სიჩქარეს როგორც S -სა და t -ს ფუნქციას, ხოლო მეორე განტოლება არის საწყისი პირობა მდგომარეობის ცვლადისათვის. იმიტაციური ექსპერიმენტის მიზანია განსაზღვროს საიმიტაციო დროში მდგომარეობის ცვლადის რეაქცია.

პრაქტიკაში, უმეტეს შემთხვევაში S -თვის ანალიზური გამოსახულება უცნობია. ამიტომ ჩვენ რეაქცია უნდა გავიგოთ ds/dt დროში ინტეგრებით, შემდეგი სახის განტოლების გამოყენებით:

$$S(t_2) = S(t_1) + \int_{t_1}^{t_2} \left(\frac{ds}{dt}\right) dt$$

კომპიუტერი დიდი სიჩქარით და სიზუსტით ახორციელებს მათემატიკურ ოპერაციებს, როგორცაა მიმატება, გამრავლება, ლოგიკური ტესტირება. ინტეგრირებასაჭიროებს ინტეგრირების რიცხვითი მეთოდების გამოყენებას. ამ მეთოდების გამოყენებისას დამოუკიდებელი ცვლადი (ჩვეულებრივ დრო) იყოფა ნაწილებად-ბიჯებად. მდგომარეობის ცვლადის მნიშვნელობები, რომელთა ინტეგრირებაცაა საჭირო, მიიღებიან ამ ცვლადების დროში წარმოებულების აპროქსიმაციით. მიღებული შედეგების სიზუსტე დამოკიდებულია აპროქსიმაციის მეთოდის რიგზე და ბიჯის ზომაზე: უფრო მაღალი სიზუსტე მიიღწევა მაღალი რიგის აპროქსიმაციისას და მინიმალური ბიჯებისას.

ზოგჯერ უწყვეტი სისტემების მოდელირებისათვის გამოიყენება სხვაობითი განტოლებები. ამ შემთხვევაში დროის ღერძი იყოფა დროითი Δt სიგრძის ინტერვალებად. მდგომარეობის ცვლადის დინამიკა აღიწერება განტოლებით, რომელიც განსაზღვრავს ცვლადის მნიშვნელობას $k+1$ პერიოდში, მისი k პერიოდში მნიშვნელობის საფუძველზე. მაგალითად, მდგომარეობის S ცვლადის დინამიკა შეიძლება აღიწეროს შემდეგი სხვაობითი განტოლებით: $S_{k+1} = S_k + a * \Delta t$.

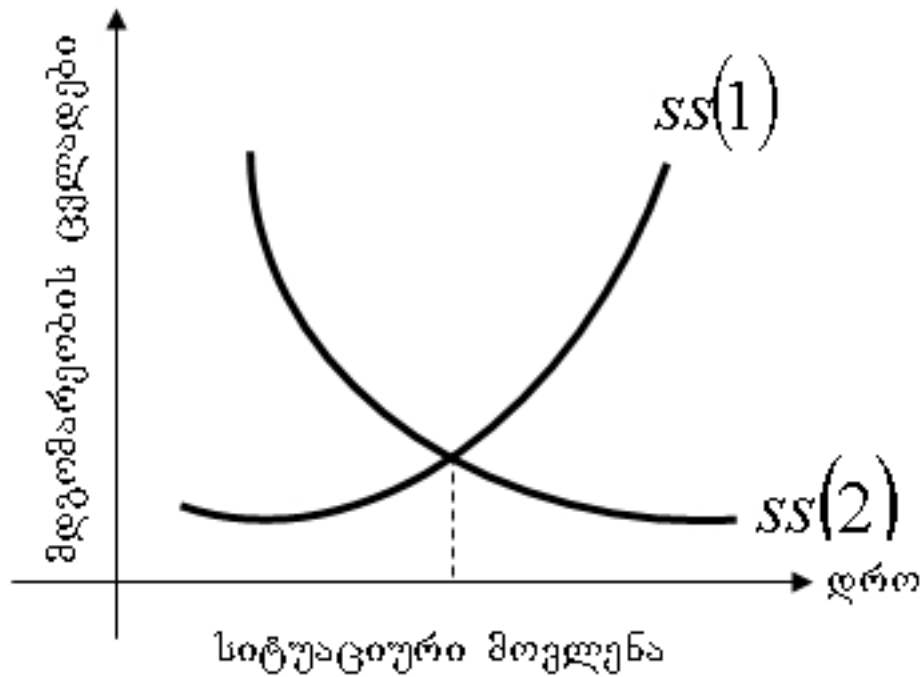
2.3.4. კომბინირებული დისკრეტულ-უწყვეტი მოდელირება

კომბინირებულ დისკრეტულ-უწყვეტ მოდელირებაში დამოკიდებული ცვლადები შეიძლება იცვლებოდნენ, როგორც დისკრეტულად ასევე უწყვეტადაც.

კომბინირებულ მოდელირებისას გამოიყენება ორი ტიპის მოვლენა: დროითი მოვლენები (მოვლენები, რომელთა ხდომილება იგეგმება დროის განსაზღვრულ მომენტებში) და სიტუაციური მოვლენები (ეს მოვლენები არ იგეგმება, არამედ წარმოიშვება მაშინ, როცა სისტემა აღწევს რაღაც მდგომარეობას). მაგალითად, როგორც ნახ. 2.9-ზეა ნაჩვენები, სიტუაციური მოვლენა დადგება მაშინ, როდესაც მდგომარეობის $ss(1)$ ცვლადი გადაკვეთს მდგომარეობის $ss(2)$ ცვლადს დადებითი მიმართულებით.

2.3.5. მოდელირების შედეგების დაფიქსირება და დამუშავება

ამრიგად, სისტემის იმიტაციურ მოდელზე ექსპერიმენტების ჩატარებისას კომპიუტერში ხდება საკვლევი სისტემის მდგომარეობათა შესახებ ინფორმაციის გამომუშავება. სწორედ ეს ინფორმაცია წარმოადგენს საწყის მასალას სიდიდეების მიახლოებითი მნიშვნელობების განსაზღვრისათვის.



ნახ. 2.9. სიტუაციური მოვლენის დადგომის მაგალითი

რთული სისტემების მოდელირებისას ეს ინფორმაცია შეიძლება იყოს საკმაოდ დიდი მოცულობის და ამდენად მისი დამუშავება სპეციალური მოთოდის, შესაბამისი სპეციალური მამოდელირებელი ენის გამოყენების გარეშე შეიძლება აღმოჩნდეს შეუძლებელი ან ძალზე რთული. განვიხილოთ ზოგიერთი გავრცელებული ხერხი საძებნი სიდიდეების შეფასებათა ფორმირებისა, რომელთა გამოყენებაც, გარკვეული სახით, ხდება სპეციალურ მამოდელირებელ ენებში.

ცხადია \mathfrak{A}_0 ტიპის სისტემების ამა თუ იმ პარამეტრის, თვისების (თვისებების), ან მიმდინარე პროცესების მოდელირებისას ვერ გავგუქვევით შემთხვევითი ფაქტორების გათვალისწინებას, ეს კი იმას ნიშნავს, რომ მოდელირების შედეგებში აუცილებლად შევხვდებით შემთხვევით სიდიდეებს, პროცესებს. ასეთ შემთხვევაში საძებნი სიდიდეების შეფასებისას გამოიყენება საშუალო მნიშვნელობები, დისპერსიები და სხვა ალბათური მახასიათებლები შესაბამისი შემთხვევითი სიდიდეებისა, რომლებიც მიიღება მოდელზე ექსპერიმენტების მრავალჯერადი შესრულებით. ეს საშუალებას იძლევა თავიდან ავიცილოთ ექსპერიმენტების შედეგების ცალცალკე განხილვა, ან ამ ცალკეული შედეგების დამახსოვრებით სისტემის გადატვირთვა.

მაგალითად, თბილავიამშენში საწარმოო პროცესების ანალიზისას პრაქტიკულ ინტერესებს შეიძლება წარმოადგენდეს მოცემული დროის ინტერვალში (მაგ. ცვლის განმავლობაში), პროცესის წყვეტის ალბათობა (საჭირო დეტალების არ ქონის, რაიმე ავარიული მდგომარეობის წარმოშობის და სხვა მიზეზების გამო). ალბათობა რემონტზე მყოფი თვითმფრინავის მაღალხარისხიანი აღდგენისა და ა.შ. საძებნი ალბათობის შეფასებისათვის გამოიყენება შესაბამისი A მოვლენის დადგომის სისშირე, რადაც რაოდენობის ცდების დროს. ერთ-ერთი შესაძლო გზა ამ მოვლენის დამუშავებისა მოდელირების სპეციალიზებულ ენებში შეიძლება იყოს შემდეგი მიდგომა: ხდება A ხდომილებათა რიცხვის დამახსოვრება – თუ მოდელზე ექსპერიმენტისას დადგა A მოვლენა (ხდომილება), მაშინ ხდება აღნიშნულ მახსოვრობაში ერთიანის დამატება. თუ არა და ემატება ნოლი. ვთქვათ მოდელის N -ჯერ გაშვებისას (ე.ი. ხდება დასამოდელირებელი პროცესის N -ჯერ აღწარმოება და ეს რაოდენობა ფიქსირდება მოდელის მიერ ცალკე) A მოვლენას ადგილი ქონდა ორ შემთხვევაში, მაშინ A მოვლენის ალბათობის $P(A)$ შესაფასებლად გამოიყენება სიდიდე $\bar{P}(A) = m/N$.

ანალოგიურად შეიძლება მივუდგეთ შემთხვევითი სიდიდის შესაძლო მნიშვნელობათა ალბათობების შეფასებასაც (მისი ალბათობათა განაწილების ფუნქციის შეფასებასაც). დავეოთ შემთხვევითი სიდიდის შესაძლო მნიშვნელობათა არე n ინტერვალად. ამ შემთხვევაში მოდელის სპეციალურ უჯრედში მოხდება თითოეულ ინტერვალში შემთხვევითი სიდიდის მოხვედრათა

რაოდენობის $m_k (k=1,2,\dots,n)$ დამახსოვრება, ხოლო შესაბამისი ალბათობები, ასევე გამოითვლება გამოსახულებით $P_k = m_k / N$.

X შემთხვევითი სიდიდის საშუალო მნიშვნელობის შესაფასებლად მოდელში შესაბამის უჯრედში მოხდება ექსპერიმენტების შემთხვევითი სიდიდის მიერ მიღებულ x_k მნიშვნელობების ჯამის $\sum x_k$ დაფიქსირება, რომლის საშუალებითაც მოხდება X შემთხვევითი სიდიდის საშუალო მნიშვნელობების შეფასება:

$$\bar{x} = 1/N \sum_{k=1}^N x_k \quad (2.6)$$

როგორც ცნობილია ξ შემთხვევითი სიდიდის დისპერსია S^2 შეიძლება შეფასდეს შემდეგი გამოსახულებით:

$$S^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{k=1}^N (x_k - \bar{x})^2 \quad (2.7)$$

S^2 უშუალო გამოთვლა (2.7) გამოსახულებით მოუხერხებელია ვინაიდან x_k -ს დაგროვებასთან ერთად იცვლება \bar{x} , ეს კი მოითხოვს რთულ გამოთვლებს, ან საჭირო ხდება x_k -ს ყველა N მნიშვნელობის დამახსოვრება. მოდელირების სპეციალურ ენებში გამოყენება (2.7)-დან მიღებული შემდეგი გამოსახულება:

$$S^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{k=1}^N x_k^2 - \frac{1}{N(n-1)} \left(\sum_{k=1}^N x_k \right)^2 \quad (2.8)$$

რომლის მიხედვითაც S^2 გამოსათვლელად საკმარისია დაგროვდეს მნიშვნელობები $\sum x_k^2$ და $\sum x_k$.

შემთხვევითი ξ და R სიდიდეებისათვის, რომელთა მნიშვნელობებია x_k და y_k შესაბამისად, კორელაციული მომენტის $K_{\xi\eta}$ შეფასებისათვის გამოიყენება გამოსახულება

$$\overline{K_{\xi\eta}} = \frac{1}{N-1} \sum_{k=1}^N (x_k - \bar{x})(y_k - \bar{y}) \quad (2.9)$$

(2.8.) გამოსახულებიდან მიიღება პრაქტიკულად უფრო მოსახერხებელი გამოსახულება $\overline{K_{\xi\eta}}$ -თვის:

$$\overline{K_{\xi\eta}} = \frac{1}{N-1} \sum_{k=1}^N x_k y_k - \frac{1}{N(N-1)} \sum_{k=1}^N x_k \sum_{k=1}^N y_k \quad (2.10)$$

აღნიშნული გამოსახულება საჭიროებს შედარებით მცირე ოდენობის ცვლადების დამახსოვრებას.

შემთხვევითი პროცესების მოდელირებისას საჭირო ხდება $x(t)$ პროცესის მათემატიკური მოლოდინის და კორელაციური ფუნქციების შეფასება. ამ მახასიათებლების შესაფასებლად სპეციალურ ენაში გამოიყენება ასეთი მოდელი: საინტერესო დროის $(0, T)$ ინტერვალში იყოფა ნაწილებად Δt მუდმივი ბიჯით, ხდება $x(t)$ პროცესის $x_k(t)$ მნიშვნელობების დაგროვება t_i დროის მომენტებისათვის და (2.6) გამოსახულების მსგავსად შეიძლება შევაფასოთ

$$\bar{X}(t_i) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_k(t_i) \quad (2.11)$$

ხოლო კორელაციური ფუნქციის შესაფასებლად გამოიყენება გამოსახულება:

$$\overline{K_{\xi\eta}}(u, s) = \frac{1}{N-1} \sum_{k=1}^N [x_k(u) - \bar{x}(u)][x_k(s) - \bar{x}(s)] \quad (2.12)$$

სადაც u და s დროებია და ისინი გაირბენენ ყველა t_i .

მოდელირებაში მნიშვნელოვანი ადგილი უკავია სტაციონარული პროცესების შესწავლას და ამდენად, ასევე მნიშვნელოვანია ამ პროცესების მახასიათებლების შეფასება.

სტოქასტიკური პროცესი ξ_t სტაციონარულია თუ სრულდება თანაფარდობა:

$$P(\xi_{t_1} < x_1, \xi_{t_2} < x_2, \dots, \xi_{t_n} < x_n) = P(\xi_{t_1+\tau} < x_1, \xi_{t_2+\tau} < x_2, \dots, \xi_{t_n+\tau} < x_n) \quad (2.13)$$

t_1, t_2, \dots, t_n ; x_1, x_2, \dots, x_n . τ ნებისმიერი მნიშვნელობებისათვის გამოსახულება (2.13) სამართლიანია.

სტაციონარული პროცესების გამოკვლევა (და შესაბამისად მათი მოდელირება) განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია კავშირგაბმულობის სფეროსათვის. ეს ცხადია, ვინაიდან ხმაური, რომელიც ხელს უშლის გადაცემას, წარმოადგენს სტოქასტიკურ პროცესს, რომელიც, როგორც ცნობილია, წარმოადგენს სტაციონარულ პროცესს. ხმაურის გაფილტვრისას დიდი მნიშვნელობა აქვს სტაციონარული პროცესების თვისებების ცოდნას. ითვლება, რომ ხმაური წარმოადგენს ე.წ. გაუსის პროცესს, რაც იმას ნიშნავს, რომ ξ_t (t -ს ნებისმიერი მნიშვნელობისათვის) წარმოადგენს შემთხვევით ცვლადს

ნორმალური განაწილებით, და პროცესს გააჩნია დამოუკიდებელი სხვაობები, ანუ თუ კმაყოფილდება უტოლობა $t_1 < t_2 \leq t_3 \leq t_4 \dots t_{2n-1} < t_{2n}$, მაშინ შემთხვევითი ცვლადები $\xi_{12} - \xi_{11}, \xi_{14} - \xi_{13}, \dots, \xi_{12n} - \xi_{12n-1}$ წარმოადგენენ დამოუკიდებელ ცვლად სიდიდეებს

2.4 რთული დინამიური სისტემების იმიტაციური მოდელირება

2.4.1. რთული დინამიური სისტემების ზოგადი დახასიათება

იმიტაციური მოდელირება კომპიუტერებზე წარმოადგენს ერთ-ერთ მძლავრ საშუალებებს გამოკვლევებისა, კერძოდ კი, რთული დინამიური სისტემებისა. ისევე, როგორც ნებისმიერი კომპიუტერული მოდელირება, ის იძლევა საშუალებას ჩატარდეს გამოთვლითი ექსპერიმენტები ჯერ კიდევ პროექტირების ეტაპზე მყოფ სისტემებზე და ისეთ სისტემებზე, რომლებზეც ნატურალური ექსპერიმენტების ჩატარება, უსაფრთხოების და სიძვირის თვალსაზრისით, არაა მიზანშეწონილი. ამავდროულად თავისი სიახლოვით ფორმით ფიზიკურ მოდელირებასთან, გამოკვლევების ეს მეთოდი ხელმისაწვდომია ბევრად მეტი მომხარებლისათვის.

ამჟამად, როდესაც კომპიუტერული მრეწველობა გვთავაზობს მოდელირების მრავალფეროვან საშუალებებს, ნებისმიერ კვალიფიცირებულ ინჟინერს, ტექნოლოგს ან მენეჯერს უნდა შეეძლოს განახორციელოს რთული ობიექტის არამარტო მოდელირება, არამედ განახორციელოს მათი მოდელირება თანამედროვე ტექნოლოგიებით, რომლებიც რეალიზებული არიან გრაფიკული არის ფორმით ან ვიზუალური მოდელირების პაკეტების სახით.

მოდელირების ავტომატიზაციის სისტემები, რომლებიც დამუშავებული იქნა გასული საუკუნის 60-70-იან წლებში (Simula, GPSS, SLAM და სხვა) იყო საკმაოდ რთული ფართო გამოყენების თვალსაზრისით. სირთულეს განაპირობებდა მოდელის აღწერის რთული ტექსტური ფორმა და ეფექტური რიცხვითი მეთოდების პროგრამული რეალიზაციის არ არსებობა.

ვიზუალური მოდელირების პაკეტები მომხმარებლებს საშუალებას აძლევს შეიტანონ დასამოდელირებელი სისტემის აღწერა გამოყენებითი სფეროსათვის ჩვეული ფორმით და უმეტესად გრაფიკული ფორმით (მაგალითად, პირდაპირი გაგებით დაიხატოს ფუნქციონალური სქემა, განლაგდეს მასზე ბლოკები და გაერთიანდეს ისინი კავშირებით), აგრეთვე წარმოდგენილი იქნას მოდელირების შედეგები თვალსაჩინო ფორმით. მაგალითად, დიაგრამების ან ანიმაციური სურათების სახით.

ვიზუალური მოდელირების სისტემების ერთ-ერთ უმთავრეს ღირსებას წარმოადგენს ის, რომ ისინი მომხმარებლებს საშუალებას აძლევენ არ იზრუნონ მოდელის პროგრამულ რეალიზაციაზე, როგორც შესრულებად ოპერაციათა თანმიმდევრობაზე და ამით თვითონ ქმნიან კომპიუტერზე გარკვეულ საგანგებოდ მოსახერხებელ გარემოს, რომელშიც შესაძლებელია შეიქმნას ვირტუალური, „კვაზიპარატურული“ პარალელურად ფუნქციონირებადი სისტემები და ჩატარდეს მასზე ექსპერიმენტები. გრაფიკული გარემო ხდება ფიზიკური საცდელი სტენდის მსგავსი, ოღონდ ნაცვლად მძიმე ყუთებისა, კაბელებისა და გამზომი ხელსაწყოებისა, ოსცილოგრაფებისა და თვითჩამწერებისა მომხმარებლებს საქმე აქვს მათ სახეებთან დისპლეის ეკრანზე. თავუნას მეშვეობით შესაძლებელია ამ სახეების გადაადგილება, შეერთება და გათიშვა. ამის გარდა მომხმარებლებს შეუძლიათ დაინახონ ექსპერიმენტის მსვლელობისას შედეგები და შეაფასონ ისინი და საჭიროებისას აქტიურად ჩაერიონ მის მსვლელობაში.

ვირტუალური სტენდის პროგრამული რეალიზაცია დაფარულია მომხმარებლებისაგან. ექსპერიმენტის ჩასატარებლად არაა საჭირო რაიმე განსაკუთრებული ცოდნის ქონა კომპიუტერზე, ოპერაციულ სისტემაზე და მათემატიკურ უზრუნველყოფაზე. შეიძლება ითქვას, რომ ვირტუალური სტენდი კომპიუტერს აქცევს ერთ დროს მოსახერხებელ და ზუსტ ანალოგურ კომპიუტერად.

უნდა აღინიშნოს თანამდროვე მოდელირების ავტომატიზაციის პაკეტის კიდევ ერთი მნიშვნელოვანი ღირსება, რომელიც მდგომარეობს ობიექტ-ორიენტირებული მოდელირების ტექნოლოგიის გამოყენებაში, რაც საშუალებას იძლევა მკვეთრად გაფართოვდეს გამოყენების საზღვრები და განმეორებით

გამოყენების შესაძლებლობა უკვე შექმნილი მოდელებისა, რომლებმაც დაამტკიცეს თავიანთი მუშაობისუნარიანობა.

ახალი ტექნოლოგიის წარმატებამ მკვეთრად გაზარდა მოდელირების ვირტუალური პაკტების მომხმარებლების წრე, რამაც გაამწვავა მარადიული პრობლემა მიღებული გადაწყვეტილებების სანდოობისა. გრაფიკული გარსი მომხმარებლისაგან მაღავს რიცხვითი გადაწყვეტილებების მიღების რთულ პროცედურას. ამავდროულად, ავტომატური ამორჩევა კონკრეტული ამოცანის გადაწყვეტისათვის საჭირო რიცხვითი მეთოდისა და მისი პარამეტრების გაწყობა ხშირად წარმოადგენს არცთუისე ტრივიალურ ამოცანას. ამის გამო შესაძლებელია მივიღოთ კარგად გაფორმებული, მაგრამ არასწორი შედეგები.

ახლა კი განვმარტოთ ზოგადად დინამიური სისტემა.

დინამიური სისტემის ქვეშ, ფართო გაგებით, იგულისხმება ობიექტი, რომელიც ფუნქციონირებს უწყვეტ დროში, უწყვეტად დაკვირვებადია და უწყვეტად იცვლის თავის მდგომარეობას შიდა და გარე მიზეზების ზემოქმედებით.

იმისათვის, რომ გავერკვეთ რთული დინამიური სისტემის არსში, საჭიროა ჯერ განვმარტოთ თუ რას წარმოადგენს მარტივი დინამიური სისტემა. უმარტივესი დინამიური სისტემის ქვეშ იგულისხმება სისტემა, რომელის ქცევა მოიცემა ჩვეულებრივი დიფერენციალური განტოლებების, კოშის ფორმით, ერთობლიობის საკმაოდ გლუვი მარჯვენა ნაწილებით, რაც უზრუნველყოფს ამონახსნის არსებობას და ერთადერთობას (ესაა ჩვეულებრივი ფიზიკური S_1 სისტემები). კოშის ფორმის განტოლებათა სისტემის ამოხსნა, რაც გადაწყვეტილია პირველი რიგის წარმოებულების მიმართ, წარმოადგენს ტრადიციულ რიცხვით ამოცანას. ამჟამად, პროგრამული რეალიზაციები რიცხვითი მეთოდებისა არა მარტო უზრუნველყოფენ ამოხსნათა მოთხოვნილ სიზუსტეს, არამედ თვითონვე ცდილობენ განსაზღვრონ ტიპი-გამოთვლითი სირთულე გადასაწყვეტი ამოცანებისა.

უფრო რთულია ის მოდელი, რომელიც წარმოდგენილია ჩვეულებრივ დიფერენციალური განტოლებების (კოშის ფორმულით) და არაწრფივი ალგებრული განტოლებების სახით, რომლებსაც თან ახლავთ დამხმარე ფორმულების ნაკრები. ასეთი სისტემის ფაზური ტრაექტორიის რიცხვითი აგება ბევრად რთულია, მაგრამ თუ ერთობლიობა არაწრფივი განტოლებებისა

ცალსახად გადაწყვეტადია თითოეული დროითი ვერტიკლისათვის, დიფერენციალურ განტოლებათა მარჯვენა ნაწილები საკმაოდ გლუვია, მაშინ ისიც ძირითადად წარმატებით ამოიხსნება. წინასწარი მომზადება რიცხვითი ამოხსნისათვის ამ შემთხვევაში მინიმალურია: უნდა გაირკვეს ტოლია თუ არა განტოლებათა რიცხვი უცნობთა რაოდენობისა, შემოწმდეს საწყისი პირობების შეთანხმებულობა და განხორციელდეს ფორმულების დახარისხება სწორი თანმიმდევრობით (მათ შესაცვლელად მინიჭების ოპერატორებით). ასეთ სისტემას უწოდებენ მარტივ დინამიურ სისტემას.

ყველა დასამოდელირებელი სისტემები, რომ ეტეოდნენ მარტივი დინამიური სისტემების ფორმულიზაციის სფეროში, მაშინ მოდელირება იქნებოდა მარტივი და სახალისო. სამწუხაროდ, უმეტესობა ტექნიკური და ბუნებრივი სისტემებისა ბევრად უფრო რთულია. ჩვენ ყურადღებას გავამახვილებთ დასამოდელირებელი ობიექტების სტრუქტურულ და ქცევით სირთულეებზე.

თანამედროვე მოდელების სტრუქტურა ხშირად შეესაბამება შესასწავლი ობიექტის სტრუქტურას. ასეთ სტრუქტურებს საფუძვლად უდევს ელემენტი (გავიხსენოთ სისტემების მორფოლოგიური აღწერა), რომლის შიდა სტრუქტურა დამკვირვებლისათვის დამალულია. ამ ელემენტებზე (ბლოკებზე) შეხედვისას მოჩანს მხოლოდ სპეციალური ცვლადები, რომელთაც ზოგადად საკონტაქტო ეწოდებათ. როგორც პროგრამისტები ამბობენ, ბლოკი ახდენს თავისი თვისებების ინკაპსულაციას. სტრუქტურულად რთული მოდელი შედგება ბლოკების-ელემენტების სიმრავლისაგან, რომლებიც ერთმანეთთან ურთიერთმოქმედებენ გარედან ხილულ ცვლადებს შორის ფუნქციონალური კავშირების მეშვეობით.

როგორც ვნახეთ, სისტემის სტრუქტურა ჩვეულებრივ იერარქიულია. სისტემის ელემენტების სიმრავლე, საერთოდ, შეიძლება იცვლებოდეს სისტემის ფუნქციონირების პროცესში და როგორც წესი, რთული სისტემის ელემენტები ხასიათდებიან მოქმედებების სხვადასხვა ფიზიკური პრინციპებით, რაც არც ისე თვლაში საცემია საბოლოო მათემატიკურ მოდელში, მაგრამ განსაკუთრებით მნიშვნელოვანია მოდელის აგების ეტაპზე. დავუშვათ, რომ იერარქიის ქვედა ყველა ელემენტარულ ბლოკს შეესაბამება მარტივი დინამიური სისტემები. ექვივალენტური ბლოკის მოქცევა უნდა იგებოდეს ლოკალური სისტემების აღწერის საფუძველზე ფუნქციონალური კავშირების გათვალისწინებით. ასეთი

ექვივალენტური ბლოკის აგების შესაძლებლობა დამოკიდებულია იმაზე თუ რა იგულისხმება ფუნქციონალური კავშირების ქვეშ.

კავშირის არსებობა ბლოკების კონტაქტებს შორის ნიშნავს, რომ მნიშვნელობა ცვლადებისა, რომლებიც შეესაბამებიან კონტაქტებს, ნებისმიერ მომენტში ტოლები არიან. თანამედროვე ვიზუალურ პაკეტში გვხვდება ორი სახის კავშირი: 1) ერთმიმართულებიანი (ორიენტირებული), როცა შეერთებული კონტაქტები იყოფიან მიმღებებად და წყაროებად და ერთდოულად მიიხნევა, რომ მიმღებს არ შეუძლია გაგლენა მოახდინოს წყაროზე; 2) ორმიმართულებიანი (არაორიენტირებული), ამ შემთხვევაში შეერთებული კონტაქტები თანაბარუფლებიანია. მხოლოდ ერთმიმართულებიანი კავშირების გამოყენებისას ბლოკის კონტაქტები იყოფიან შემავალ და გამომავალ კონტაქტებად (ასეთ ბლოკებსაც ეწოდებათ ორიენტირებული). შემავალი ცვლადი არ შეიძლება იმყოფებოდეს დიფერენციალური განტოლების ან ფორმულის მარცხენა ნაწილში, აგრეთვე წარმოადგენს საძიებელ ცვლადს ალგებრულ განტოლებებში. იერარქიის მოცემულ დონეზე წყარო შეიძლება იყოს გამოსავალი შიდა ბლოკისა ან გამოსასვლელი გარეშე ბლოკისა, ხოლო მიმღები-შესასვლელი ბლოკისა ან გამოსასვლელი გარეშე ბლოკისა. ნებისმიერი წყარო შეიძლება მონაწილეობდეს ნებისმიერი რაოდენობის კავშირებში, მაშინ როცა მიმღები შეიძლება მონაწილეობდეს ერთ კავშირში. ორიენტირებული ბლოკების გაერთიანება ხდება საკმაოდ მარტივად: ლოკალური განტოლებები და ფორმულები მექანიკურად ერთიანდებიან, და თოთოეული კავშირი იცვლება ფორმულით „<მიმღები>=<წყარო>“. ლოკალურად კორექტული განტოლებების და ფორმულების გაერთიანება იძლევა კორექტულ ერთობლიობას. ერთადერთ დამატებით პრობლემას წარმოადგენს ზოგიერთ შემთხვევაში წარმოქმნა „ალგებრული ციკლებისა“ ფორმულათა ერთობლიობაში. რომლებიც წარმოიქმნიებიან კავშირებით (გამოსასვლელი ფორმულის მარჯვენა ნაწილში არაა ცხადად დამოკიდებული ამ ფორმულის მარცხენა ნაწილის ცვლადზე). ალგებრული ციკლის აღმოჩენისას ის წყდება მასში შემავალი ერთერთი ფორმულის შეცვლით ალგებრული განტოლებით. წინასწარი მომზადება, ამგვარად, დაიყვანება ფორმულების დახარისხებაზე, აგრეთვე ალგებრული ციკლების გამოვლენასა და მათ მოშორებაზე.

ორიენტირებულ კავშირებს ტექნიკურ სისტემებში სრულიად ადეკვატურად შეუძლიათ აღწერონ ინფორმაციული ურთიერთმოქმედება ბლოკებს შორის, სადაც სპეციალურად ტარდება ზომები, რათა გამოირიცხოს უკუ ზეგავლენა კავშირების მეშვეობით.

არაორიენტირებული კავშირების გამოყენებისას ბლოკებს, შესაბამისად, ეწოდებათ არაორიენტირებული. ერთიანი სისტემის აგებისას თავიდან ყველა კავშირი იცვლება ალგებრული განტოლებით „0=<მიმღები>--<წყარო>“. წარმოქმნილი ალგებრული განტოლებები უნდა ამოიხსნას რიცხობრივად. ამიტომ არაორიენტირებული კავშირების გამოყენებისას ყოველთვის საჭიროა დიდი გამოთვლითი რესურსი, აგრეთვე შესაძლებელია ამ დროს წარმოიშვას პრობლემები საწყისი პირობების შეთანხმებისას. შემდეგ უნდა ჩატარდეს მიღებული განტოლებების და ფორმულების ერთობლიობის ანალიზი და გაირკვეს, შესაძლებელია თუ არა მისი უშუალო ამოხსნა, თუ საჭიროებს შემდეგ გარდასახვას (გარდაქმნას). სამწუხაროდ, ამ შემთხვევაში, ორიენტირებული ბლოკების შემთხვევისაგან განსხვავებით, ერთობლივი სისტემის ავტომატური გარდასახვა ისეთ სახეში, რომ შესაძლებელი იყოს მისი რიცხვითი ამოხსნა, ყოველთვის როდია შესაძლებელი. ზოგად შემთხვევაში აუცილებელია შესრულდეს საკმაოდ რთული ანალიზი და სიმბოლური გარდასახვა რათა მიღებული იქნას ექვივალენტური, რიცხობრივად ამოხსნადი სისტემა.

ზოგჯერ მოსახერხებელია გამოყენებული იქნას სპეციალური მოდიფიკაცია ორმხრივი კავშირისა, რომელსაც ნაკადი ეწოდება. ნაკადებს ავტომატურად მიეწერებათ ალგებრული განტოლებები, კირკოფის კანონის ანალოგიურად.

არაორიენტირებული კავშირები საშუალებას იძლევა ჩატარდეს საწყისი ობიექტის დეკომპოზიცია „ფიზიკურ“ კომპონენტებად, რომელთა ქცევაც საკმაოდ მარტივი კანონებით აღიწერებიან, ხოლო შემდეგ მოხდეს მათი შეკრება ერთიან სისტემადად, პრაქტიკულად ისევე, როგორც რთულ ფიზიკურ ხელსაწყოს ვაწყობთ ცალკეული ბლოკებისაგან. ესაა ასეთი მიდგომის უეტყველი უპირატესობა. უარყოფითი მხარეა საბოლოო მათემატიკური მოდელის ავტომატური აგების პროცედურის სირთულე და ხანგრძლივობა.

რთული დინამიური სისტემა, დროში ცვლადი ქცევით.

რთული ქცევის ერთ-ერთ დამახასიათებელ ნიშანს წარმოადგენს ის, რომ სისტემას გააჩნია რამდენიმე ხარისხობრივად განსხვავებული, დროში

ერთმანეთის მონაცვლე ქცევა. ინჟინრები მას უწოდებენ „ფუნქციონირების რეჟიმებს“. მაგალითად, ბასეინი ორი მილით ხასიათდება რთული ქცევით, ვინაიდან მისი ქცევა როცა ის გადავსებულია განსხვავდება ქცევისაგან როცა ნორმალური დონეა ან ცარიელია. ასეთი ტიპი რთული ქცევისა შეიძლება რეალიზებულ იქნეს, თუ აღიწერება ყველა დასაშვები, მარტივი, რაღაც თვალსაზრისით, კერძო ქცევები (შესაძლებელია ეს იყოს იერარქიული სტრუქტურა) და ნაჩვენები იქნება წესები ერთი ქცვიდან მეორეზე გადართვისა.

ასეთნაირად ორიენტირებული რთული დინამიური სისტემა დროის თითოეულ კონკრეტულ მომენტში იქცევა როგორც რაღაც მარტივი დინამიური სისტემა. მაგალითად, ბასეინი შეიძლება წარმოდგენილი იქნას როგორც ერთობლიობა სამი მარტივი დინამიური სისტემისა: „ნორმალური დონე“, „გადავსებული ბასეინი“ და „ცარიელი ბასეინი“.

თითოეული კონკრეტული ქცევა შეიძლება გაიგივებულ იქნას დისკრეტული ცვლადის მნიშვნელობასთან, ხოლო მყისიერი გადართვა მიმდინარე ქცევისა-დისკრეტულ მოვლენასთან. დისკრეტული მოვლენის შესახებ სხვა ბლოკებისათვის ინფორმაციის გადასაცემად გამოიყენება სპეციალური ცვლადი-სიგნალები.

დისკრეტული მდგომარეობების ნაკრები, ერთი მდგომარეობიდან მეორეში გადასვლათა პირობებთან ერთად, ქმნის ჩვეულებრივ დისკრეტულ ქცევას. გადასვლის მომენტში შეიძლება მოხდეს ცვლადების მყისიერი ნახტომისებური შეცვლა. ვინაიდან თითოეულ დისკრეტულ მდგომარეობაში ელემენტარული ბლოკი მოქმედებს როგორც რაღაც უწყვეტი სისტემა, ამიტომ მთლიანობაში ბლოკის ქცევა არის უწყვეტი ანუ ჰიბრიდული.

გადასვლათა გრაფს, რომელის კვანძებს მიეწერებათ რაღაც უწყვეტი ასახვა, ხოლო რკალებს-გადასვლის პირობები და მოქმედებების შესრულება, ეწოდება ჰიბრიდული ავტომატი. ამჟამად დისკრეტული „მდგომარეობის მანქანის“ ფორმალური აღწერისათვის სტანდარტის *de fact* მიერ განისაზღვრა „მდგომარეობათა რუქა“ (statechart), რომელიც გამოგონებულ იქნა დ. ჰარელის მიერ და „კანონიზირებულ“ იქნა სტანდარტში UML.

მდგომარეობათა რუქას, სადაც კვანძებს მიეწერებათ რაღაც უწყვეტი ასახვევი, ეწოდება მდგომარეობათა ჰიბრიდული რუქა, რომელიც მარტივად და თვალსაჩინოდ ასახავს მდგომარეობათა ცვლას.

სტრუქტურულად-როული ჰიბრიდული სისტემების გაერთიანებით ვლელობთ როული სისტემის ახალ ტიპს – სტრუქტურულად ჰიბრიდულ სისტემას. მათი უმთავრესი ნიშანია – რამდენიმე ჰიბრიდული სისტემის იერარქიული სტრუქტურის პარალელური ფუნქციონირება. ასეთი სისტემა მიიღება ფუნქციონალური კავშირებით იმ ბლოკების გაერთიანებით, რომლებიც ჰიბრიდულ სისტემებს წარმოადგენენ. ექვივალენტური მარტივი დინამიური სისტემის პოვნა, ანალოგიურია ზემოთ აღწერილი პროცედურისა, მაგრამ ეს უნდა სრულდებოდეს არა ერთხელ, არამედ ყოველთვის როცა ნებისმიერ ბლოკში მოხდება კერძო ქცევის შეცვლა. ეს მნიშვნელოვნად ართულებს არაორიენტირებული ჰიბრიდული ბლოკის გამოყენებას.

2.4.2. ობიექტ - ორიენტირებული მოდელირების (ომ) არსი

ომ გულისხმობს ბლოკების, კლასებისა და ეგზემპლარების, აგრეთვე მათი მემკვიდრეობითობის და პოლიმორფიზმის მხარდაჭერას.

კლასს განსაზღვრავს რაღაც შაბლონი ან ბლოკის პროტოტიპი (მაგალითად, ბასეინი საერთოდ). კლასის ცნებით ოპერირება, მაგალითად „ბასეინი“, არ იძლევა იმის საშუალებას წარმოვიდგინოთ თუ როგორია წყლის დონე ბასეინში, ვინაიდან კლასის განმარტებაში ფიგურირებს მხოლოდ ინფორმაცია გამოყენებული ცვლადების ტიპებისა და სახელების შესახებ, და არა მათი მნიშვნელობის შესახებ.

ბლოკის ეგზემპლარი-ესაა კონკრეტული წარმომადგენელი მოცემული კლასის ბლოკებისა, მაგალითად ბასეინი-1, ბასეინი-2. თითოეულ ეგზემპლარს გააჩნია პარამეტრების საკუთარი მნიშვნელობები (წყლის დონე, ორი სხვადასხვა ბასეინში შეიძლება იყოს სხვადასხვა). ახალი ეგზემპლარის შექმნისას შეიძლება კონკრეტიზებულ იქნას მისი პარამეტრები – სპეციალური კონტაქტები, რომლებიც არ შეიძლება შეცვლილი იქნან ფუნქციონირების პროცესში, მაგრამ ისინი შეიძლება სხვადასხვა იყოს სხვა ეგზემპლარებისათვის. ფუნქციონალურ სქემაში შეიძლება შედიოდეს ერთი და იგივე კლასის რამდენიმე ეგზემპლარი.

ეგზემპლარები შეიძლება იყოს სტატიკური და დინამიური. სტატიკური ეგზემპლარი იქმნება მოდელის შექმნისას და ნადგურდება მისი განადგურებისას. დინამიური ეგზემპლარები იქმნებიან და ნადგურდებიან მოდელირების

პროცესში. მაგალითად, ჰაერსაწინალო თავდაცვის სისტემის მუშაობის მოდელირებისას ლოკატორის მხედველობის ზონაში თვითმფრინავების რაოდენობა ცვლადია.

პოლიმორფიზმი ნიშნავს იმის შესაძლებლობას, რომ ბაზური კლასის ბლოკის ეგზემპლარის ნაცვლად გამოყენებულ იქნას ბლოკის ეგზემპლარი ნაწარმოები კლასიდან. მაგალითად, რადიოლოკაციური სადგურისათვის ყველა თანმხლები ობიექტები წარმოადგენენ ეგზემპლარებს კლასისა „საფრენი-აპარატი“ და ხასიათდება მხოლოდ მდებარეობით და სიჩქარის ვექტორით ფაქტიურად კი ეს ობიექტები შეიძლება იყვნენ მრავალფეროვანი ჩამომავლობა კლასისა „საფრენი აპარატი“ თვითმფრინავი ბომბდამშენიდან B-52 პტეროდაქტილამდე.

კლასების ბიბლიოთეკები.

მდიდარი კლასების ბიბლიოთეკის ქონა წარმოადგენს სერიოზული უპირატესობას ამა თუ იმ მოდელირების სისტემებისა. ამ შემთხვევაში მოდელი შეიძლება აიგოს მექანიკურად სტანდარტული კლასების ეგზემპლარებიდან მათი პარამეტრების დაყენებით (მომართვით). მამოდელირებელი გარემოს შესაძლებლობა იზრდება, თუ მამოდელირებელი კლასების ბიბლიოთეკის შექმნა ხდება თვით მომხმარებლების მიერ.

უნდა აღინიშნოს, რომ კლასების ბიბლიოთეკის შექმნისას ყველაზე უფრო ხელსაყრელია არაორიენტირებული ბლოკების გამოყენება, ვინაიდან ეს იძლევა საშუალებას შეიქმნას ბლოკები, რომლებიც მაქსიმალურად დამოუკიდებელი იქნებიან გარეშე გარემოცვისაგან.

რიცხვითი ამოხსნა.

ტრადიციული ტექნოლოგია რიცხვითი მოდელისა ითხოვს რიცხვითი მეთოდის განსაკუთრებით აკურატულ ამორჩევას და გაწყობას და შედეგების ცდომილების სადგულდაგულო გამოკვლევას. ცოდნა ამოსახსნელი განტოლებათა სისტემის თავისებურებებისა (მაგალითად, წრფივია თუ არა) ბევრად აჩქარებს მის ამოხსნას. უნდა გვახსოვდეს, რომ ანალიზი ამოსახსნელი სისტემის თავისებებისა და მეთოდის გაწყობა-რთული ამოცანაა სპეციალისტისთვისაც. ამის გარდა, სტანდარტული საბიბლიოთეკო კლასების გამოყენებისას მომხმარებელმა არ იცის, რა მართვებთან აქვს მას საქმე. ციფრული ამოხსნისათვის მაქსიმალურად ხელსაყრელია სამოდელი სისტემის

ცხადი სახით წარმოდგენა, რომელშიც ყველა ნახტომისებრი ცვლილებები ხდება მხოლოდ ერთი მდგომარეობიდან მეორეში გადასვლისას, ხოლო უწყვეტი ქცევა შეესაბამება მარტივი დინამიური სისტემების ქცევას გლუვი მარჯვენა მხარეებით, ისე რომ თითოეული მდგენელისათვის შესაძლებელი იყოს შესაბამისი რიცხვითი მეთოდის ავტომატური მოძებნა. ყველაზე მარტივ შემთხვევად ითვლება, როცა საჭირო ხდება მხოლოდ დიფერენციალური განტოლების ინტეგრირება. თუმცა აქვე უნდა გვახსოვდეს, რომ ეს „უმარტივესი შემთხვევა“ უკვე მრავალი წელია წარმოადგენს მრავალი ქვეყნის სპეციალისტების შესწავლის საგანს.

ამრიგად, ამოხსნათა პოვნა რიცხვითი მეთოდებით იყოფა რამოდენიმე ამოცანად:

1. უწყვეტი სისტემების აღწერაში ფარული ჰიბრიდულობის პოვნა და ჰიბრიდული სისტემის აგება, სადაც კვანძებს მიეწერებათ „ადვილად“ ამოხსნადი განტოლებათა სისტემები;
2. ავტომატური განსაზღვრა რიცხვითი თავისებურებებისა მიმდინარე ექვივალენტური სისტემის განტოლებისათვის;
3. ავტომატური ამორჩევა რიცხვითი მეთოდისა მიმდინარე ექვივალენტური სისტემისათვის, რომელიც საშუალებას იძლევა მიღებული იქნას ხარისხობრივად მაინც სწორი ამოხსნა;
4. გადართვის წერტილების განსაზღვრა-დადგენა მიმდინარე ექვივალენტური სისტემის არსებობის საზღვრების, რაც მოიცემა გადასვლათა ამოქმედების პირობებით.

რთული დინამიური სისტემების ვიზუალური მოდელირების არსებული მიდგომები.

ამჟამად, არსებობს ვიზუალური მოდელირების საშუალებათა საკმაოდ დიდი სიმრავლე. უნდა აღვნიშნოთ და დავიმახსოვროთ, რომ ჩვენ აქ არ განვიხილავთ ვიწრო პროფილის პაკეტებს (ელექტრონიკისათვის, ელექტრომექანიკისათვის და ა.შ.). ვინაიდან, როგორც აღვნიშნეთ რთული სისტემის ელემენტები განეკუთვნებიან, როგორც წესი, სხვადასხვა გამოყენებით სფეროებს. ასევე არ იქმნება ყურადღება გამახვილებული პაკეტებზე, რომლებიც ორიენტირებული იქნებიან მარტივი დინამიური სისტემების მათემატიკური მოდელისაგან განსხვავებულ მოდელზე (განტოლებები კერძო წარმოებულებით,

სტატისტიკური მოდელირება), აგრეთვე სუფთად დისკრეტულ და სუფთად უწყვეტ სისტემებზე. ამრიგად, განხილული იქნება უნივერსალური პაკეტები, რომლებიც საშუალებას იძლევიან განვახორციელოთ მოდელირება სტრუქტურულად რთული ჰიბრიდული სისტემებისა.

ისინი შეიძლება პირობითად დავყოთ 3 ჯგუფად: 1) „ბლოკური მოდელირების“ პაკეტები; 2) „ფიზიკური მოდელირების“ პაკეტები; 3) ჰიბრიდული ავტომატის სქემაზე ორიენტირებული პაკეტები.

ცხადია ეს დაყოფა პირობითია იმიტომ, რომ ყველა ამ პაკეტებს გაჩნიათ საერთო: საშუალებას იძლევიან აიგოს მრავალდონიანი იერარქიული ფუნქციონალური სქემები, ამა თუ იმ ხარისხით მხარს უჭერენ ომ ტექნოლოგიას, გააჩნიათ მსგავსი ვიზუალიზაციის ან ანიმაციის შესაძლებლობები. განსხვავება მდგომარეობს იმაში, თუ საკვლევი სისტემის რა ასპექტებია მიხნეული უფრო მნიშვნელოვნად.

„ბლოკური მოდელირების“ პაკეტები ორიენტირებულნი არიან გრაფიკულ ენაზე იერარქიული ბლოკ-სქემებისა. ელემენტარული ბლოკები ითვლებიან წინასწარგანსაზღვრულად, ან შეიძლება მათი კონსტრუირება რაღაც უფრო დაბალი დონის დამხმარე ენის მეშვეობით. ახალი ბლოკი შეიძლება აიგოს უკვე არსებული ბლოკებისაგან ორიენტირებული კავშირების გამოყენებით და პარამეტრული გაწყობით (მომართვით). წინასწარგანსაზღვრული ელექტრული ბლოკების შემადგენლობაში შედიან სუფთად უწყვეტი, სუფთად დისკრეტული და ჰიბრიდული ბლოკები.

ამ მიდგომის ღირსებად უნდა ჩაითვალოს: ძალზე გაადვილებულია არც თუ ისე რთული მოდელის შექმნა, რაც შეიძლება განახორციელოს ნაკლებად მომზადებულმა მომხმარებლებმაც კი; ელემენტარული ბლოკების რეალიზაციის ეფექტურობა და ექვივალენტური სისტემის აგების სიმარტივე. ამავდროულდ გასათვალისწინებელია, რომ რთული მოდელების შესაქმნელად საჭირო ხდება აიგოს საკმაოდ დიდი მრავალდონიანი ბლოკ-სქემები, რომელიც არ ასახავს რეალური სისტემის სტრუქტურას. სხვა სიტყვით, რომ ვსთქვათ, ეს მეთოდი მუშაობს კარგად როცა საქმე გვაქვს სათანადო სტანდარტულ ბლოკებთან.

„ბლოკური მოდელირების“ პაკეტის ყველაზე უფრო ცნობილი წარმომადგენლებია:

- ქვესისტემა SIMULINK პაკეტისა MATLAB (Mathworks, Inc.; <http://www.mathworks.com>);
- EASYS (Boeng);
- ქვესისტემა SystemBueild პაკეტისა MATLAB (Integrated Systems, Inc);
- VisSim (Visual Solution; <http://www.vission.com>);

პაკეტები „ფიზიკური მოდელირება“ საშუალებას იძლევიან გამოყენებულ იქნას არაორიენტირებული და ნაკადური კავშირები. მომხმარებელს თვითონ შეუძლია განსაზღვროს ბლოკების ახალი კლასი. ელემენტარული ბლოკების ქცევის უწყვეტი მდგენელი მოიცემა ალგებრულ-დიფერენციალური განტოლებების სისტემით და ფორმულებით. დისკრეტული მდგენელების მიწოდება ხდება დისკრეტული მოვლენების აღწერით, რომელთა წარმოშობისას შეიძლება შესრულდეს ცვლადებისათვის ახალი მნიშვნელობების მყისიერი მინიჭება. დისკრეტული მოვლენები შეიძლება გავრცელდეს სპეციალური კავშირებით. განტოლებათა სტრუქტურის შეცვლა შესაძლებელია მხოლოდ ირიბად მარჯვენა ნაწილში კოეფიციენტების შეცვლით.

ასეთი მიდგომა ბუნებრივი და მარტივია ფიზიკური სისტემების ტიპური ბლოკებისათვის. უარყოფით მხარედ უნდა ჩაითვალოს სიმბოლური გარდასახვების აუცილებლობა, რაც მნიშვნელოვნად ზღუდავს ჰიბრიდული ქცევის აღწერის შესაძლებლობას, აგრეთვე დიდ რაოდენობის ალგებრული განტოლებების რიცხვითი ამოხსნა. რაც მნიშვნელოვნად ართულებს სანდო გადაწყვეტილებების ავტომატურად მიღების ამოცანას.

„ფიზიკური მოდელირების“ პაკეტებს განეკუთვნებიან:

- „20-SIM“ (Contrallab Products B.V.; <http://www.rt.el.utwente.nl/20sim/>);
- Dymola (Dymasim; <http://www.dymasim.se>);
- Dymola, OmSim (Lund University; <http://www.control.lth.se/~cace/omsim.html>);

მეცნიერთა საერთაშორისო ჯგუფის მიერ, ამ მიართულების შემდგომი განვითარების მიზნით, დამუშავებული იქნა Modelica (the Modelica Design Group:<http://dymasim.se/modelica>), რომელიც შემოთავაზებულია როგორც სტანდარტი სხვადასხვა პაკეტებს შორის მოდელის აღწერის გაცვლისას.

ჰიბრიდული ავტომატების სქემაზე ორიენტირებული პაკეტები საშუალებას იძლევიან ძალიან ნათლად და ბუნებრივად აღიწეროს ჰიბრიდული სისტემები გადართვების რთული ლოგიკით. იმის აუცილებლობა, რომ ყოველი გადართვის

შემდეგ უნდა განისაზღვროს ექვივალენტური სისტემა, შესაძლებლობას იძლევა გამოყენებულ იქნას მხოლოდ ორიენტირებული კავშირები. მომხმარებელს თვითონვე შეუძლია განსაზღვროს ბლოკების ახალი კლასი. ელემენტარული ბლოკის ქცევაში უწყვეტი მდგენელის წარმოდგენა ხდება ალგებრულ-დიფერენციალური განტოლებების სისტემით და ფორმულებით. უარყოფითი მხარეა დიდი სიჭარბე უწყვეტი სისტემების აღწერისას.

ამ მიმართულებას განეკუთვნება:

- პაკეტი shift (California PATH:<http://path.berkeley.edu/shift>);
- რუსული პაკეტი Model Vision Studium.

პაკეტები shift ძირითადად ორიენტირებულია რთული დინამიური სისტემების აღწერაზე, ხოლო პაკეტი MVS – რთული ქცევების აღწერაზე.

უნდა შევნიშნოთ, რომ მეორე და მესამე მიმართულებებს შორის არ არის დაუძლეველი ბარიერები. სპეციალისტთა განმარტებით, მათი ერთდროული გამოყენების შეუძლებლობა განპირობებულია მხოლოდ დღევანდელი გამოთვლითი შესაძლებლობებით. ამ დროს მოდელების აგების საერთო იდეოლოგია ერთმანეთს ემთხვევა. პრინციპში, შესაძლებელია, კომპიუტერული მიდგომა, როცა მოდელის სტრუქტურაში გამოიყოფა შედგენილი ბლოკები, რომელთა ელემენტებსაც გააჩნიათ სუფთად უწყვეტი ქცევა, და ერთჯერადად გარდაისახოს ელემენტარულ ექვივალენტურ ელემენტად. შემდეგ უკვე ერთობლივი ქცევა ამ ექვივალენტური ბლოკისა უნდა იქნას გამოყენებული ჰიბრიდული სისტემის ანალიზისათვის.

ნაწილი III მაბალთეპი მოღელრეპისათვის

3.1.საბორტო ციფრული გამოთვლითი მანქანების აღბილი საავიაციო კომპლექსის სტრუქტურაში და მისი უმტყუნო მუშაობის მოღელეპი

საფრენი აპარატების (სა) ბორტზე ციფრული გამოთვლითი ტექნიკის საშუალებების ფართოდ დანერგვამ შესაძლებელი გახადა გაენთავისუფლებინა ეკიპაჟი რთული გამოთვლითი ოპერაციებისაგან და განხორციელებულიყო მთელი რიგი რთული ამოცანების ავტომატიზაცია.

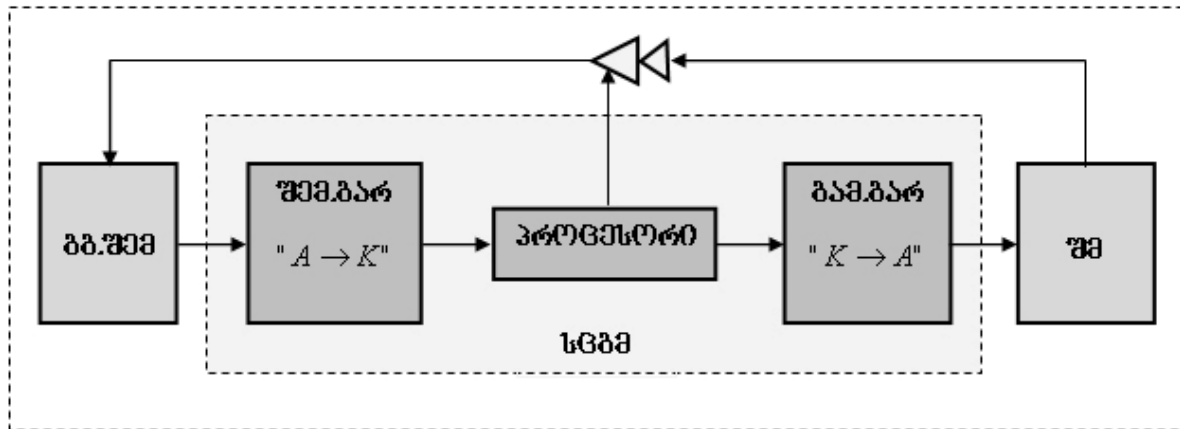
საბორტო ციფრული გამოთვლითი მანქანები (სცგმ) და სისტემები (სცგმს) განკუთვნილი არიან სანავიგაციო-საფრენოსნო ამოცანების გადასაწყვეტად, რადიოსალოკაციო საშუალებების მუშაობის უზრუნველსაყოფად, კოორდინატების შესაცვლელად, კავშირის ორგანიზების ამოცანის განსახორციელებლად, საბორტო სისტემების კონტროლისათვის, ინფორმაციის ასახვისათვის, საფრენი აპარატების ავტომატური მართვისათვის და სხვა ამოცანების გადასაწყვეტად.

ნახ. 3.1. წარმოდგენილია სცგმ სტრუქტურული სქემა, რომელიც მუშაობს სა-ს მართვის კონტურში. ამოცანების გადაწყვეტისას სცგმ მთელ ინფორმაციას დებულობს სხვადასხვა გადამწოდებისაგან (გვ.შემ), რომელიც სცგმ-ში შედის ან ციფრული სახით, ან ანალოგური ფორმიდან გარდაისახება ციფრულ ფორმაში შემავალი გარდამსახების “ანალოგური სიგნალი – კოდი” (შემ.გარ.⟨⟨ $A \rightarrow K$ ⟩⟩) მეშვეობით. შედეგები, რომლებიც მიიღება პროცესორში შესაბამისი პროგრამის რეალიზაციის შედეგად, გამომავალი გარდამსახის “კოდი \rightarrow ანალოგი” (გამ.გარ. ⟨⟨ $A \rightarrow K$ ⟩⟩) გავლით ხვდება სხვადასხვა შემსრულებელ მოწყობილობებში (შმ) საფრენი აპარატისა, მისი ცალკეული ქვესისტემების სამართავად, ან ინფორმაციის ეკიპაჟისათვის მოსახერხებელ ფორმაში წარსადგენად.

სცგმ-ის სა-ს მართვის კონტურში მუშაობის თავისებურებებია: შეუღლება განსხვავებული ფიზიკური ხასიათის აპარატურასთან; ალგორითმის

მრავალჯერადი განმეორება; დროის რეალურ რეჟიმში მუშაობა; ალგორითმის დროში შესრულების შეზღუდვები; მაღალი (ამაღლებული) საიმედოობა.

განვმარტოთ თუ რას ნიშნავს ტერმინი: სცგმ-ის საიმედოობა – ესაა სისტემის თვისება დროში დადგენილ საზღვრებში შეინარჩუნოს ყველა იმ პარამეტრის მნიშვნელობა, რომლებიც ახასიათებენ მის უნარს შეასრულოს საჭირო ფუნქციები მოცემულ რეჟიმებში და გამოყენების პირობებში, ტექნიკური მომსახურების, რემონტის, შენახვისა და ტრანსპორტირებისას.



საიმედოობის ცნება აერთიანებს სცგმს-ის და საერთოდ ნებისმიერი სისტემის შემდეგ თვისებებს: უმტყუნობას, სარემონტოდ ვარგისობას, ხანგამძლეობას და ამ თვისებების შენარჩუნების უნარს შენახვის და ტრანსპორტირების განმავლობაში და შემდეგ.

სცგმს-ის საიმედოობის დონის შეფასებისას დიდი მნიშვნელობა აქვს თუ რამდენად სწორად იქნება განმარტებული ცნებები “შეფერხება” და “მტყუნება”.

საიმედოობის თეორიის თანახმად: შეფერხება – ესაა ხდომილება, რომელიც იწვევს სისტემის მიერ მოცემული კლასის ალგორითმების შესრულების დროებით დარღვევას, რომლის ხანგრძლივობა არ აღემატება დროით ზღურბლს $\tau_{აგ}$, ხოლო მუშაობისუნარიანობის აღდგენა არ მოითხოვს სცგმს-ის სტრუქტურის რეკონფიგურაციას.

მტყუნება – ესაა ხდომილება, რომელიც იწვევს სისტემის მიერ მოცემული კლასის ალგორითმების რეალიზაციის დარღვევას, რომლის ხანგრძლივობა აღემატება დროით ზღურბლს $\tau_{\text{აგ}}$, ხოლო მუშაობისუნარიანი ტექნიკური მდგომარეობის აღსადგენად აუცილებელია სცგმს-ის სტრუქტურის რეკონფიგურაცია.

სცგმს-ის შეფერხებებისადმი მდგრადობის აღბათობა $P_{\text{ა}}^{\text{შ}}$ განისაზღვრება როგორც ნამრავლი სისტემის უშეცდომო მუშაობის აღბათობისა $P_{\text{უ}}$ და მოცემული კლასის ალგორითმების დროული შესრულების აღბათობისა $P_{\text{ს}}$ იმ პირობით, რომ შენარჩუნებული იქნება ალგორითმების ტექნიკური მახასიათებლები (გაზომვების სიზუსტე, უტყუარი ორობითი თანრიგების რაოდენობა, რაც აუცილებელია სცგმ-ში ინფორმაციის წარსადგენად და ა.შ).

$$P_{\text{ა}}^{\text{შ}} = P_{\text{უ}} \cdot P_{\text{ს}} \quad (3.1)$$

ხოლო სცგმს-ის უმტყუნო მუშაობის მოდელი (აღბათობა) შეიძლება ასე წარმოვადგინოთ: მტყუნებებისადმი მდგრადობის აღბათობა $P_{\text{ა}}^{\text{შ}}$ განისაზღვრება როგორც ნამრავლი აღბათობისა, რომ სცგმს-ი დროის საწყის მომენტში იმყოფება მუშა მდგომარეობაში, $P_{\text{აა}}$ და აღბათობისა, რომ სისტემის სტრუქტურის რეკონფიგურაცია მტყუნების წარმოშობისას განხორციელდება მოცემული დროის განმავლობაში $P_{\text{აგ}}$

$$P_{\text{ა}}^{\text{შ}} = P_{\text{აა}} \cdot P_{\text{აგ}} \quad (3.2)$$

მოვიყვანოთ სცგმს-ის მტყუნების სახეების კლასიფიკაცია:

მოულოდნელი მტყუნება – ხასიათდება სისტემის მუშაობისუნარიანი ტექნიკური მდგომარეობის ნახტომისებური (უეცარი) შეცვლით;

თანდათანობითი მტყუნება – ხასიათდება სისტემის მუშაობისუნარიანი ტექნიკური მდგომარეობის თანდათანობით შეცვლით;

ნაწილობრივი მტყუნება – იწვევს სისტემის მუშაობისუნარიანი ტექნიკური მდგომარეობის ნაწილობრივ (შეცვლას) დარღვევას;

სრული მტყუნება – იწვევს სისტემის მუშაობისუნარიანი ტექნიკური მდგომარეობის სრულად დარღვევას.

საიმედოობის თეორიაში დამუშავებულია საკმაოდ დიდი ოდენობის მათემატიკური მოდელები, რომლებიც შეიძლება გამოყენებულ იქნას სცგმს-ის

საიმედოობის დონის ანალიზისათვის. ალბათობათა განაწილების კანონებს, რომლებიც აუცილებელია იმ დისკრეტული და უწყვეტი შემთხვევითი სიდიდეების ძირითადი მახასიათებლების დასადგენად, რომლებიც ახასიათებენ სცგმს-ის მტყუნებებს და შეფერხებებს, განეკუთვნებიან: საფეხურისებური განაწილება; n საფეხურიანი დისკრეტული განაწილება; ექსპონენციალური განაწილება; ვეიბულას და გამა განაწილებები; ნორმალური და ლოგარითმულ-ნორმალური განაწილებები.

ალბათობათა განაწილების კანონის არჩევა ხორციელდება ან სტატისტიკური მონაცემებით, რომლებიც მიიღება გამოცდის პროცესში, ან იმ ფიზიკური პროცესების ანალიზის საფუძველზე, რომლებიც იწვევენ მტყუნებას. სისტემის საიმედოობის დონის შეფასების მოდელის აგებისას გათვალისწინებული უნდა იქნას ორი გარემოება: 1. არჩეული მათემატიკური მოდელი არ უნდა ეწინააღმდეგებოდეს ექსპერიმენტალურ მონაცემებს; 2. უზრუნველყოფილი უნდა იქნას მოდელის მარტივი ფორმით აღწერა და მისი მოხერხებულობა სცგმს-ის საიმედოობის დონის რიცხვითი შეფასებისას.

3.1.1. შემთხვევითი სიდიდეები

ვინაიდან სცგმს-ის და საერთოდ სისტემების საიმედოობის მაჩვენებლები პირდაპირ კავშირშია შემხვევითი სიდიდის ცნებასთან, აუცილებელია ალბათობის თეორიიდან გავიხსენოთ ზოგიერთი ძირითადი განმარტებები.

შემთხვევითი სიდიდე განისაზღვრება როგორც სიდიდე, რომელსაც შეუძლია მიიღოს ნებისმიერი მნიშვნელობა განსაზღვრული სიმრავლიდან განსაზღვრული ფარდობითი სიხშირით ან ალბათობით.

შემთხვევითი სიდიდე შეიძლება იყოს დისკრეტული ან უწყვეტი. შემთხვევითი სიდიდე დისკრეტულია თუ მას შეუძლია მიიღოს სასრული რაოდენობა გარკვეული მნიშვნელობებისა განსაზღვრული ალბათობებით. მაგალითად: სათამაშო კამათლის გაგორება შეიძლება ჩაითვალოს დისკრეტულ შემთხვევით სიდიდედ, რომელსაც შეუძლია მიიღოს მხოლოდ განსაზღვრული მნიშვნელობები (1,2,3,4,5,6).

შემთხვევით სიდიდეს ეწოდება უწყვეტი, თუ მას რომელიმე ჩაკეტილი ან ღია ინტერვალთან შეუძლია ნებისმიერი მნიშვნელობები მიიღოს. მაგალითად ადამიანების წონა შეიძლება დასახსიათდეს უწყვეტი შემთხვევითი სიდიდით.

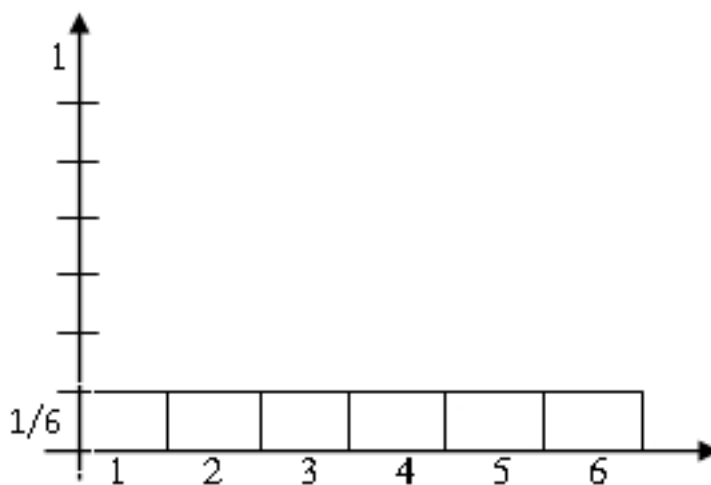
3.1.2. დისკრეტული შემთხვევითი სიდიდეები

განვიხილოთ დისკრეტული შემთხვევითი სიდიდე X , რომელსაც შეუძლია მიიღოს n მნიშვნელობა: x_1, x_2, \dots, x_n მაშინ ფუნქციას $f(x_i)$, რომელიც იძლევა ალბათობას, დაკავშირებულს თითოეული x_i -თან, ეწოდება შემთხვევითი X სიდიდის ალბათობათა განაწილების სიმკვრივე.

ალბათობათა განაწილების სიმკვრივე კამათლის გაგორებისას მოცემული რიცხვის დაჯდომისა არის:

$$f(x) = \begin{cases} 1/6, & x = 1, 2, 3, 4, 5, 6 \\ 0, & \text{ორივე შემთხვევაში} \end{cases} \quad (3.3)$$

ეს ფუნქცია გრაფიკულად ნაჩვენებია ნახ. 3.2-ზე



ცხადია, რომ $f(x_i) \geq 0; \sum_{i=1}^n f(x_i) = 1$.

ზოგიერთ პრაქტიკულ შემთხვევაში უფრო მიზანშეწონილია არა იმ ალბათობის ცოდნა, რომ ცვლადი სიდიდე ღებულობს განსაზღვრულ x_i მნიშვნელობას, არამედ იმ ალბათობისა, რომ X იქნება ნაკლები ან ტოლი $x_i - P(x \leq x_i)$. ეს ალბათობა მოიცემა ალბათობათა განაწილების ფუნქციის სახით და ზოგადად

$$F_x(x) = P(X \leq x) \quad (3.4)$$

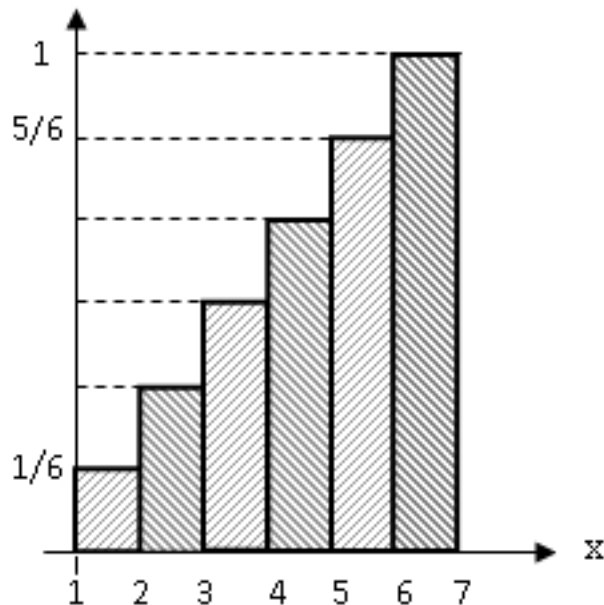
დისკრეტული შემთხვევითი სიდიდისათვის ალბათობათა განაწილების ფუნქცია შეიძლება ასე გამოვსახოთ

$$F_x(x_i) = P(X \leq x_i) = \sum_{X \leq x_i} f(x_i) \quad (3.5)$$

მაგალითისათვის კამათლის გაგორებისას ალბათობათა განაწილების ფუნქციას ექნება ნახ. 3.3-ზე ნახევრები სახე, ვინაიდან:

$$P(X < 1) = F_x(1) = \sum_{i < 1} f(0) = 0, \quad P(X < 3) = F_x(x_i) = \sum_{\substack{i=1 \\ x < 3}}^2 f(x_i) = f(1) + f(2) = \frac{1}{6} + \frac{1}{6} = \frac{2}{6}$$

და ა.შ.



უნდა გვახსოვდეს, რომ $0 \leq F_x(x) \leq 1$ - ეს უტოლობა სამართლიანია ორივე ტიპის შემთხვევითი სიდიდისათვის.

განაწილების ფუნქციის დამატება იძლევა იმის ალბათობას, რომ შემთხვევითი სიდიდე აღემატება რაღაც განსაზღვრულ სიდიდეს, ანუ ალბათობა

$$(X > x_i) = 1 - F(x_i) = 1 - \sum_{X \leq x_i} f(x_i) \quad (3.6)$$

3.1.3. უწყვეტი შემთხვევითი სიდიდეები

განვიხილოთ შემთხვევითი სიდიდეები, რომელთა მნიშვნელობები იცვლება ინტერვალში (ჩაკეტილ ან ღია ინტერვალში) და არა სასრული რაოდენობის წერტილებზე. დისკრეტული შემთხვევითი სიდიდის მსგავსად ალბათობათა განაწილების ფუნქცია $F(x_i)$ უწყვეტი შემთხვევითი X სიდიდის განსაზღვრება როგორც ალბათობა იმისა, რომ შემთხვევითი სიდიდე ღებულობს მნიშვნელობას, რომელიც ტოლია ან ნაკლებია რაღაც განსაზღვრული სიდიდისა x_i ანუ

$$F(x_i) = \text{ალბათობა}(X \leq x_i)$$

შესაბამისად, ალბათობა იმისა, რომ შემთხვევითი სიდიდე X მიიღებს რაღაც მნიშვნელობას ინტერვალში x_1 -სა და x_2 -ს შორის, წარმოადგენს სხვაობას ალბათობათა განაწილების ფუნქციის მნიშვნელობებისა, რომლებითაც შეფასებულია ეს ორი წერტილი, ე.ი. ალბათობა

$$(x_1 \leq X \leq x_2) = F(x_2) - F(x_1) \quad (3.7)$$

როგორც ვნახეთ, დისკრეტული სიდიდისათვის ალბათობათა სიმკვრივე განსაზღვრულია როგორც ალბათობა, რომელიც დაკავშირებულია x_i მნიშვნელობასთან. ეს პირდაპირი განსაზღვრება არ შეიძლება გამოყენებულ იქნას უწყვეტი შემთხვევითი სიდიდისათვის, ვინაიდან ალბათობა, რომელიც დაკავშირებულია ნებისმიერ კონკრეტულ სიდიდესთან ინტერვალში, არის ნული (ეს კარგად ჩანს (3.7) ფორმულიდანაც). ამის ნაცვლად გამოიყენება ალბათობათა

განაწილების ცნება იმისათვის, რომ განისაზღვროს უწყვეტი შემთხვევითი სიდიდის ალბათობათა განაწილების სიმკვრივე $f(x)$, შემდეგნაირად

$$f(x) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\text{ალბათობა } (x \leq X \leq x + \Delta x)}{\Delta x} = \frac{dF(x)}{dx}; \quad f(x)dx = dF(x) \quad (3.8)$$

შესაბამისად, ალბათობა იმისა, რომ X სიდიდე ღებულობს X -ზე ნაკლებ ან ტოლ მნიშვნელობას, შეიძლება ნაპოვნი იქნას ალბათობათა $f(x)$ სიმკვრივიდან, როგორც ალბათობა

$$(X \leq x) = \int_{-\infty}^x f(x)dx = F(x) \quad (3.9)$$

ასევე გვექნება ალბათობა:

$$(x_1 \leq X \leq x_2) = \int_{x_1}^{x_2} f(x)dx = F(x_2) - F(x_1) \quad (3.10)$$

ალბათობა იმისა, რომ უწყვეტი შემთხვევითი სიდიდე ღებულობს მნიშვნელობებს, რომლებიც ნაკლებია რაღაც განსაზღვრულ მნიშვნელობებზე, ან მოთავსებულია რაღაც მნიშვნელობებს შორის, შეიძლება გეომეტრიულად ინტერპრეტირებულ იქნას იმ ფართობის მნიშვნელობით, რომელიც მოთავსებულია ალბათობათა განაწილების სიმკვრივის ამსახველი მრუდის ქვეშ.

ალბათობათა განაწილების სიმკვრივეს აქვს შემდეგი თვისებები:

1. $\int_{-\infty}^{\infty} f(x)dx = 1$ - ჭეშმარიტი ხდომილების ალბათობა 1-ის ტოლია;
2. $\int_{x_1}^{x_2} f(x)dx = F(x_2) - F(x_1)$.

3.1.4. შემთხვევითი სიდიდეების მათემატიკური მოლოდინი და დისპერსია

სისტემების საიმედოობის მაჩვენებლების განსაზღვრისას საჭირო ხდება ცოდნა ინფორმაციისა სტატისტიკური განაწილების შესახებ რამოდენიმე წუთის განმავლობაში. ერთ-ერთი ამ სახის ყველაზე უფრო მნიშვნელოვანი აღიწერება წერტილით, რომლის მიმართაც ხდება განაწილებათა ცენტრირება და რომელიც ცნობილია როგორც ზომა ცენტრალიზაციისაკენ ტენდენციისა.

ცენტრალიზაციისაკენ ტენდენციის კარგ ცნობილ ზომას წარმოადგენს მათემატიკური მოლოდინი, რომელსაც ბევრ შემთხვევაში უწოდებენ საშუალო

არითმეტიკულს ან საშუალო არითმეტიკულ მნიშვნელობას. ის წარმოადგენს განაწილების სიმძიმის ცენტრს.

მათემატიკური მოლოდინი უწყვეტი და დისკრეტული შემთხვევითი სიდიდეებისა განისაზღვრება შესაბამისად თანაფარდობებით:

$$E(X) = \int_{-\infty}^{\infty} xf(x)dx, \text{ როცა } X \text{ უწყვეტია ალბათობათა განაწილების სიმკვრივით } f(x)$$

$$E(X) = \sum_{i=1}^n x_i f(x_i), \text{ როცა } X \text{ დისკრეტულია სიდიდეებით } x_1, x_2, \dots, x_n \text{ და შესაბამისი}$$

ალბათობათა სიმკვრივებით $f(x_1), f(x_2), \dots, f(x_n)$.

3.2. სცემს-ის გამოთვლითი სისტემების საიმედოობის მოდელირება

ფაქტია, რომ გამოთვლითი ციფრული ელექტრონული საშუალებები ფართოდ გამოიყენება, დაწყებული საფრენი აპარატებით, ურთულესი ტექნოლოგიური პროცესების მართვით და საყოფაცხოვრებო ტექნიკით დამთავრებული. რეალურად არ არსებობს ადამიანის მოღვაწეობის მეტნაკლებად სერიოზული სფერო სადაც არ გამოიყენება თანამედროვე ინფორმაციული ტექნოლოგიების საშუალებები, მაგრამ განსაკუთრებული მნიშვნელობა აქვთ მომქმედ და პროექტირებად რეალურ დროში მომქმედ სატრანსპორტო სისტემების, საკომუნიკაციო სისტემების, ენერგეტიკული სისტემების, ავტომატური დანადგარების, კოსმოსური ობიექტების მართვის საშუალებებს. ჩვეულებრივ ასეთ სისტემებს უნდა გააჩნდეთ საიმედოობის მაღალი მაჩვენებლები, ვინაიდან მათ მტყუნებას შეიძლება ჰქონდეს საშიში, ძვირად ღირებული და ზოგიერთ შემთხვევაში კატასტროფული შედეგები. დღეისათვის მიღწეულია უმნიშვნელოვანესი პროგრესი გამოთვლითი ტექნიკის საიმედოობის უზრუნველყოფაში.

როგორც ვნახეთ გამოთვლითი ტექნიკის და მონაცემთა დამუშავების სისტემების თვალსაზრისით ტერმინი “საიმედოობა” ძირითადად ახასიათებს სისტემის უნარს უშეცდომოდ შეასრულოს მასში ჩადებული პროგრამა.

ციფრული სისტემების შემთხვევაში მოდელირების და მათი საიმედოობის უზრუნველყოფის ამოცანები გამოიყურება რამდენადმე სხვანაირად, ვიდრე სხვა სისტემების შემთხვევაში, იმის გამო, რომ ამ პირველთ არ შეუძლიათ გაუძლონ გარეშე შემთხვევით ზემოქმედებებს. ბევრ სხვა ტიპის სისტემაში ასეთი ზემოქმედებები იწვევენ მხოლოდ სამუშაო მახასიათებლების დროებით გაუარესებას, რომლის შემდეგაც სისტემა უბრუნდება მუშაობის ნორმალურ რეჟიმს. ციფრულ სისტემებში შემთხვევითმა ზემოქმედებებმა შეიძლება დაარღვიონ გამოთვლების მიმდინარეობა.

3.2.1.გამოთვლითი სისტემის მტყუნებათა მიზეზები

გამოთვლითი სისტემების (ეს ეხება სცგმს-საც) ფუნქციონირებისას შეიძლება გამოეყოთ უწესიერობათა გამომწვევი შემდეგი მნიშვნელოვანი წყაროები:

- შეცდომები ოპერატიული მახსოვრობის და ცენტრალური პროცესორის (პროცესორების) მუშაობაში, რასაც შეიძლება მოყვეს ძალზე სერიოზული შედეგები, რადგანაც მათ შეიძლება გამოიწვიონ მთელი გამოთვლითი სისტემის ნორმალური მუშაობის მოშლა;
- შეცდომები პერიფერიულ მოწყობილობებში არ იწვევენ სისტემის მუშაობის შეწყვეტას, მაგრამ ისინი შეიძლება მიზეზი გახდნენ სერიოზული შეფერხებებისა;
- შეცდომები მოდულებს შორის შეერთებებში. არსებობს მოსაზრება, რომ შეცდომები სიგნალების გადაცემის ხაზებში არსებობენ და მომავალშიც ყოველთვის წარმოიშობიან. შეცდომების აღმოსაჩენად და გასასწორებლად გამოიყენება სხვადასხვა კოდები, თუმცა მონაცემთა გადაცემაში ზოგიერთმა შეცდომებმა, საბოლოო ჯამში შეიძლება გამოიწვიოს ტერმინალების და შემაერთებელი ხაზების მწყობრიდან გამოსვლა;
- ადამიანის მიზეზით გამოწვეული შეცდომები. მსგავსი შეცდომების ორ უმნიშვნელოვანეს წყაროს წარმოადგენს ოპერატორის

შეცდომები და შეცდომები პროგრამებში, ალგორითმებში. ზოგჯერ ოპერატორის მიზეზით შეიძლება მოხდეს სისტემის სრული მტყუნება სისტემის არასწორი ჩართვა-გამორთვით, არასწორი რეაქციით კონკრეტულ სიტუაციაზე და ა.შ;

- შეცდომები გარემომცველი გარემოს ზემოქმედებების შედეგად. ამ ტიპის შეცდომები შეიძლება წარმოიქმნას ელ. მაგნიტური გამოსხივებების გამო არასწორი ეკრანირებისას ან ჰაერის კონდიციონერების სისტემის უწესიერობისას;
- შეცდომები კვების წყაროს მახასიათებლების დარღვევის შედეგად. კვების წყაროს ძაბვის მკვეთრმა მომატებამ შეიძლება გამოიწვიოს ელექტრონული აპარატურის ხანგამძლეობის სერიოზული დაქვეითება. გამოთვლითი სისტემები მგრძობობიარენი არიან კვების ძაბვის მოკლევადიანი ამადლების და დაწვევის მიმართ, ამდენად მათ უნდა გააჩნდეთ შესაბამისი დაცვა.

3.2.2.გამოთვლითი სისტემების საიმედოობის შეფასების ძირითადი მიდგომები

გამოთვლითი სისტემების, ისევე როგორც სხვა ფიზიკური სისტემების, საიმედოობა შეიძლება გაიზარდოს ისე, რომ არ მივმართოთ რეზერვირებას. ამ შემთხვევაში გამოიყენება საიმედოობის მაღალი მარაგის მქონე ელემენტები და სქემები და დიდი ყურედლება ექცევა მათი დამზადების და აწყობის ტექნოლოგიას. ასეთი მიდგომა ითვალისწინებს აპარატურის უწესიერობების თავიდან აცილებას და შეუფერხებელ მუშაობას. საკმაოდ დიდი ხნის განმავლობაში ითვლებოდა, რომ რეზერვირების გარეშე შეუძლებელია შეიქმნას ზესაიმედო გამოთვლითი სისტემები, რომლებიც საჭიროა, მაგალითად კოსმოსური სივრცის შესასწავლად და მიწისზედა და საბორტო სისტემების სამართავად რეალურ დროში. დღეისათვის გამოთვლითი სისტემების გამოყენება რეზერვირების გარეშე შეიძლება ჩავთვალოთ ჩვეულებრივ მოვლენად. თუმცა ისიც უნდა ავლნიშნოთ, რომ საიმედოობის ამადლება იწვევს გამოთვლითი სისტემების გართულებას და მასში შემავალი ელემენტების რაოდენობის გაზრდას.

საიმედო გამოთვლითი სისტემების შექმნის სხვა მიდგომა დაკავშირებულია მათი მტყუნებამედევობის უზრუნველყოფასთან. ასეთი მიდგომა არ გამოირიცხავს უწესივრობათა წარმოქმნას, მაგრამ ხდება მათი სისტემის მუშაობაზე არასასურველი ზემოქმედების თავიდან აცილება ან მინიმზირება ამა თუ იმ ფორმით სიჭარბის შემოტანით. ასეთ მტყუნებამედევ გამოთვლით სისტემას შეუძლია მუშაობისუნარიანობის შენარჩუნება მოცემული რაოდენობის მტყუნებისას ან სწორად შეასრულოს პროგრამა გარკვეული რაოდენობის ელემენტების მტყუნებისას. მტყუნებამედევობის უზრუნველყოფა დამცავი რეზერვირებით, შეიძლება განხორციელდეს შემდეგი მეთოდებით:

- ლოგიკური ელემენტების სიჭარბის შემოტანა ან რეზერვირება გამოთვლითი ბლოკების, კომპიუტერის დონეზე;
- სიჭარბის შეტანა პროგრამული უზრუნველყოფის სისტემაში, ე.ი. დამატებითი პროგრამების შექმნა, რომლებიც უზრუნველყოფენ დაცვას შეცდომებისაგან და მათ გასწორებას;
- დროითი სიჭარბის შემოტანა, რაც საშუალებას იძლევა ჩატარდეს განმეორებითი კომპიუტერული, გამოთვლითი და სხვა ოპერაციები.

ფუნქციური თვალსაზრისით სიჭარბის შემოტანა შეიძლება განხორციელდეს სტატიკურ ან დინამიურ რეჟიმში.

უწესივრობათა გავლენა შეიძლება გამოირიცხოს დამატებითი მოწყობილობის (მოწყობილობების) გამოყენებით, იმ მიზნით, რომ ერთი რეზერვირებული ელემენტის მტყუნებისას ფუნქციური მოდულის გამოსასვლელი მონაცემები არ იცვლებოდეს. გაუმართავი ელემენტის გავლენა მომენტალურად და ავტომატურად ბლოკირდება მუდმივად ჩართული და ერთდროულად მოქმედი ელემენტების არსებობის გამო. ასეთ რეზერვირებას ეწოდება სტატიკური, ვინაიდან მტყუნების ბლოკირება ხორციელდება ავტონომიურად, სისტემის მუშაობაში რაიმე ჩარევის გარეშე (ასეთია მაგალითად, რეზერვირება “მაჟორიტარული ხმის მიცემის ფუნქციით”).

დინამიური რეზერვირებისას უწესივრობათა შედეგები შეიძლება გამოჩნდეს სისტემის გამოსასვლელზე, მაგრამ გათვალისწინებულია სპეციალური საშუალებები მათ აღმოსაჩენად, დიაგნოსტიკისა და თავიდან ასაცილებლად. რეზერვირების ასეთი სახე ცნობილია ასევე, როგორც

რეზერვირება ჩანაცვლებით, შეცდომათა გასწორება ხდება განმეორებითი გამოთვლებით.

ჰიბრიდული რეზერვირებისას დროის ნებისმიერ მომენტში სამი ან მეტი მოდული შეერთებულია მაჟორიტარულ ელემენტთან. რომელიმე მოდულის მტყუნებისას წარმოიქმნება არათანხვედრა მისი გამოსასვლელისა სხვა ორ მოდულთან შედარებით და ხდება მისი შეცვლა რეზერვით.

3.3. მულტივი მტყუნების მოდულირება

აპარატურული საშუალებების მრავალფეროვანი კონფიგურაციების მოდულირება იძლევა ინფორმაციას კონკრეტული ხელსაყრელი ვარიანტის რაციონალური არჩევისა. გამოთვლითი სისტემებისათვის საიმედოობის მაჩვენებლის არჩევა განისაზღვრება მათი ამა თუ იმ კონკრეტული გამოყენების ხასიათით. ასე მაგალითად, კოსმოსური აპარატების ციფრული სისტემებისათვის, რომლებიც მიუწვდომელი არიან რემონტისათვის, მისაღებ მაჩვენებლად ითვლება ალბათობა წარმატებით (აქ აუცილებლად იგულისხმება მდგრადობა შეფერხებებისადმი) მუშაობისა დავალების შესრულების დროის განმავლობაში – ეს დრო შესაძლებელია იყოს საკმაოდ ხანგრძლივი. ამ დროს კი ტრანსპორტის მოძრაობის ან საწარმოს მუშაობის მართვის ამოცანის გადაწყვეტისას სასარგებლოდ ითვლება ისეთი მაჩვენებლები, როგორცაა მუშაობის საშუალო დრო, გაცდენათა საშუალო დრო და მტყუნებათა სიხშირე. მტყუნებათა ინტენსივობის (λ) და აღდგენათა ინტენსივობის (μ) მაჩვენებლების გამოყენებისას ეს მაჩვენებლები ითვლება მუდმივ სიდიდეებად.

3.3.1. უმტყუნო მუშაობის ალბათობის ზოგადი გამოსახულებები

დავუშვათ, რომ n_0 რაოდენობის ერთნაირი ელემენტებიდან, რომლებიც გადიან გამოცდას, დროის t ინტერვალის შემდეგ მწყობრიდან გამოვიდა $n_f(t)$ რაოდენობის ელემენტი, ხოლო $n_s(t)$ რაოდენობა ელემენტებისა ინარჩუნებს მუშაობისუნარიანობას. ამ დროს ალბათობა უმტყუნო მუშაობისა განისაზღვრება ასე:

$$R(t) = \frac{n_s(t)}{n_s(t) + n_f(t)} = \frac{n_s(t)}{n_0} \quad (3.12)$$

სიდიდე $R(t)$ და t მომენტში მტყუნების წარმოქმნის ალბათობა $F(t)$ ერთმანეთთან დაკავშირებული არიან ტოლობით $R(t) + F(t) = 1$, როგორც შეუთავსებელი ხდომილებები. ამის გათვალისწინებით გვექნება:

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - \frac{n_s(t)}{n_0} = \frac{n_0 - n_s(t)}{n_0} = \frac{n_f(t)}{n_0} \quad (3.13)$$

ამრიგად, $R(t) = 1 - \frac{n_f(t)}{n_0}$ და ამ ფუნქციის დროში წარმოებულს ექნება

სახე:

$$\frac{dR(t)}{dt} = -\frac{1}{n_0} \frac{dn_f(t)}{dt} \quad (3.14)$$

როცა $dt \rightarrow 0$ -საკენ მაშინ, თუ გავიხსენებთ $R(t)$ არის უმტყუნო მუშაობის ალბათობათა განაწილების ფუნქცია, ხოლო მისი წარმოებული (3.8) გამოსახულების თანახმად წარმოადგენს უმტყუნო მუშაობის ალბათობათა განაწილების სიმკვრივის $f(t)$ მყისიერ მნიშვნელობას, ე.ი.

$$-\frac{1}{n_0} \frac{dn_f(t)}{dt} \rightarrow f(t) \quad (3.15)$$

ამრიგად, (3.14) გამოსახულება მიიღებს სახეს:

$$\frac{dR(t)}{d(t)} = -f(t)$$

(3.12) გამოსახულების გათვალისწინებით (3.14) გამოსახულება შეიძლება ასე ჩაიწეროს

$$\frac{dn_f(t)}{d(t)} = -n_0 \frac{dR(t)}{dt} = -\frac{dn_s(t)}{dt} \quad (3.16)$$

მტყუნებათა ინტენსივობის მყისიერი მნიშვნელობა. (3.16) გამოსახულების ორივე მხარე გავყოთ $n_s(t)$ -ზე:

$$\frac{1}{n_s(t)} \frac{dn_f(t)}{dt} = -\frac{n_0}{n_s(t)} \frac{dR(t)}{dt} \quad \text{ან} \quad \frac{1}{n_s(t)} \frac{dn_f(t)}{dt} = -\frac{n_0}{n_s(t)} \frac{dR(t)}{dt} = \lambda(t) \quad (3.17)$$

სადაც $\lambda(t)$ - არის მტყუნებათა ინტენსივობა. ჩავსვათ (3.12) და (3.15) გამოსახულებები (3.17) გამოსახულებაში და გვექნება

$$\lambda(t) = -\frac{1}{R(t)} \cdot \frac{dR(t)}{dt} = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (3.18)$$

უმტყუნო მუშაობის ალბათობა. (3.18) გამოსახულება ჩავწერთ ასე:
 $-\frac{dR(t)}{R(t)} = \lambda(t)dt$ და მოვახდინოთ ორივე მხარის ინტეგრირება დროით ინტერვალში $[0, t]$, მივიღებთ $\int_0^t \lambda(t)dt = -\int_1^{R(t)} \frac{1}{R(t)} dRt$, ცნობილი საწყისი პირობებისას, როცა $t=0$, $R(t)=1$, ეს ინტეგრალური განტოლება მიიღებს სახეს $\ln R(t) = -\int_0^t \lambda(t)dt$, საიდანაც შეიძლება განვსაზღვროთ უმტყუნო მუშაობის ალბათობა

$$R(t) = e^{-\int_0^t \lambda(t)dt} \quad (3.19)$$

თუ მტყუნებათა ინტენსივობა $\lambda(t)$ მუდმივია და $\lambda(t) = \lambda$, მაშინ (3.19) გამოსახულება მიიღებს სახეს:

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (3.20)$$

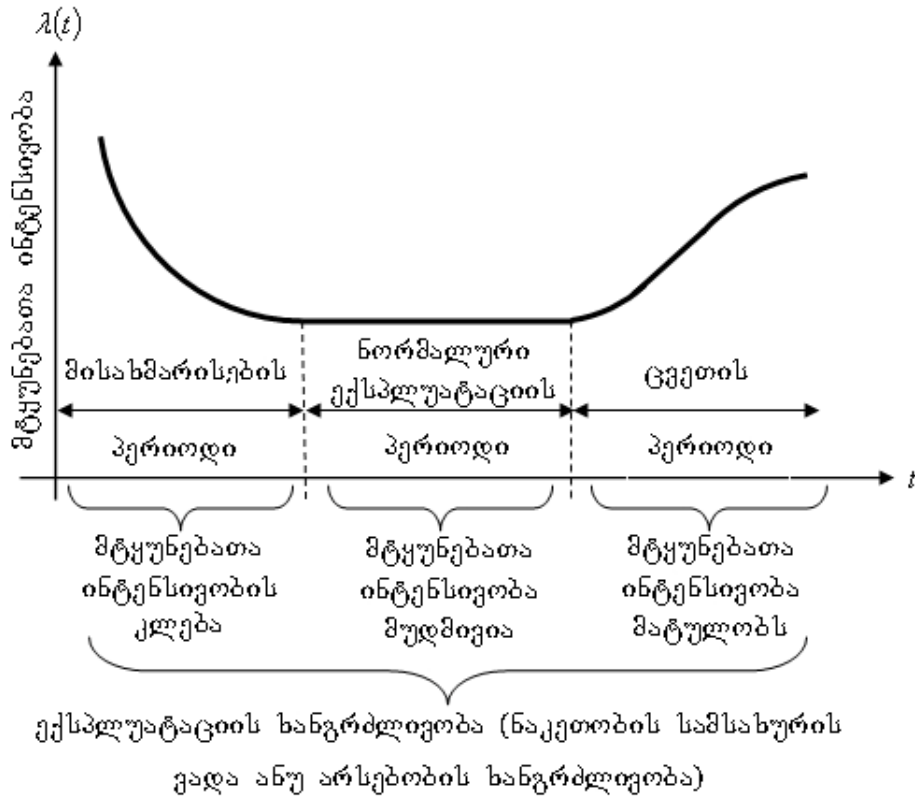
მტყუნებათა ინტენსივობის U – სებრი მრუდი. ელექტრონული აპარატურის მტყუნებათა ინტენსივობის ტიპური ფუნქცია ნაჩვენებია ნახ. 3.4-ზე.

ნახაზზე კარგად ჩანს მტყუნებათა ინტენსივობის სამი განსხვავებული უბანი: I – როცა ნაკეთობა იწყებს მუშაობას და გვაქვს მისახმარისების ეტაპი, II – მტყუნებათა ინტენსივობა თანდათან კლებულობს და ნორმალური ექსპლუატაციის პერიოდში ხდება მუდმივი, ხოლო III – ესაა ცვეთის პერიოდი, როცა $\lambda(t)$ იზრდება. I პერიოდში მტყუნებები გამოწვეულია, ძირითადად, კონსტრუქციული ან საწარმოო დეფექტებით.

როგორც ნახაზზეა ნაჩვენები, უბანს სადაც $\lambda(t)$ მუდმივია ეწოდება მოწყობილობის ნორმალური ექსპლუატაციის პერიოდი.

ცვეთის პერიოდი იწყება მაშინ, როცა ელექტრონულმა სისტემამ ან მისმა ელემენტებმა განიცადეს დაძველება ან ამოწურეს თავისი რესურსი. მტყუნებებს, რომლებიც წარმოიქმნებიან ნორმალური ექსპლუატაციის პერიოდში, ეწოდებათ

უცარი, ვინაიდან ისინი წარმოიქმნიან დროის შემთხვევით მომენტებში, ან სხვა სიტყვებით მოულოდნელად, წინასწარგანჭვრეტის გარეშე.



3.3.2. საშუალო მტყუნებათა შორისი ნამუშევარი

მათემატიკური მოლოდინი $E(t)$ უწყვეტი შემთხვევითი სიდიდის განაწილების სიმკვრივისა (ჩვენს შემთხვევაში ესაა მტყუნებათა შორისი საშუალო ნამუშევარი T_0) განისაზღვრება გამოსახულებით:

$$E(t) = T_0 = \int_0^{\infty} tf(t)dt \quad (3.21)$$

სადაც $f(t)$ - განაწილების სიმკვრივეა.

დავუშვათ, რომ სისტემა იმყოფება ნორმალური ექსპლუატაციის პერიოდში და საჭიროა განისაზღვროს მისი საშუალო მტყუნებათაშორისი ნამუშევარი. როგორც ვნახეთ, ნორმალური ექსპლუატაციის პერიოდში მტყუნებათა ინტენსივობა მუდმივია და $\lambda(t) = \lambda$, ხოლო უმტყუნო მუშაობის ალბათობათა განაწილების სიმკვრივე $f(t) = dR(t)/dt = \lambda e^{-\lambda t}$ [(3.18) და (3.20) გამოსახულებების თანახმად], მაშინ (3.21)-ის მიხედვით გვექნება:

$$T_0 = \int_0^{\infty} t \lambda e^{-\lambda t} dt = [-te^{-\lambda t}]_0^{\infty} - \left[-\frac{e^{-\lambda t}}{\lambda} \right]_0^{\infty} = \frac{1}{\lambda} \quad (3.22)$$

3.3.3. მტყუნების და აღდგენათა ზოგადი მოდელი

რეალურ გამოთვლით სისტემებში მწყობრიდან შეიძლება გამოვიდეს ცალკეული მოწყობილობები მტყუნებათა წარმოშობის გამო. ხდება მტყუნებული ელემენტის აღდგენა. მტყუნებათა წარმოქმნა იწვევს გამოთვლითი სისტემის ფუნქციონირების ხარისხის გაუარესებას, ამიტომ აუცილებელია გამოთვლითი სისტემების მოდელში გათვალისწინებულ იქნას საიმედოობის მაჩვენებლები.

საიმედოობის გათვალისწინება ნიშნავს, ჯერ ერთი, მოდელში მტყუნების და აღდგენის ჩართვის, და მეორე, მტყუნებული გამოთვლითი ელემენტის მოდელში მოქმედებაში იმ ალგორითმის შესრულებას, რომლის მომსახურებაც მას უწევდა მტყუნების წარმოქმნის მომენტში.

მტყუნებათა მოდელირების მეთოდიკა განისაზღვრება გათვალისწინებული მტყუნებების სახეებით. მტყუნებათა კლასიფიკაცია ხდება წარმოქმნის პროცესების ხასიათით, გამოვლინების ნიშნებით, ერთმანეთთან კავშირებით, ზემოქმედების ხარისხით და ხასიათით, აღდგენის შესაძლებლობით და შრომითი დანახარჯებით.

გამოთვლითი სისტემებისათვის, როგორც ვნახეთ, ყველაზე დამახასიათებელია ნორმალური ექსპლუატაციის პერიოდში უეცარი (მოულოდნელი) მტყუნებები, რომლებიც შეიძლება დახასიათდეს სისტემის ან მისი მოწყობილობების უმტყუნო მუშაობის ალბათობათა ექსპონენციალური განაწილების კანონით (იხ. გამოსახულება (3.20)), რომელიც სისტემის K -ური

მოწყობილობისათვის მიიღებს სახეს $R_k(t) = e^{-\wedge_k t}$, სადაც $\wedge_k = \sum_{j=1}^n \lambda_j N_j \rho_j$ - მტყუნებათა ინტენსივობაა, n - ელემენტების ტიპების რაოდენობა, λ_j - არის j -ური ტიპის ელემენტების მტყუნებათა ინტენსივობა, N_j - j -ური ტიპის ელემენტების რაოდენობა, ρ_j - არის j -ური ტიპის ელემენტის დატვირთვის კოეფიციენტი. K -ური მოწყობილობის მტყუნებათაშორისი ნამუშევრის საშუალო დრო (3.22) თანახმად იქნება $T_k = 1/\wedge_k$.

აღდგენის ხანგრძლივობაც ასევე შეიძლება წარმოდგენილი იქნას შემთხვევითი სიდიდით აღბათობათა გაურკვეველი განაწილების კანონით. თუ მოდელის ზომების შემცირების მიზნით რამოდენიმე რეალური მოწყობილობის წარმოდგენა ხდება ერთი ფუნქციური ელემენტით, მაშინ ამ ელემენტში გათვალისწინებულ უნდა იქნას საიმედოობის პარამეტრები ყველა იმ მოწყობილობებისა, რომლებსაც ის ცვლის. მაგალითად, ისეთი თანმიმდევრობა, როგორცაა მონაცემთა გადაცემის მულტიპლექსორი, მოდემი, კავშირგაბმულობის ხაზი და კიდევ ერთი მოდემი, მოდელში შეიძლება წარმოდგენილი იყოს ერთი კომუნიკატორით, ვთქვათ კავშირის არხით. ამ დროს მისი მტყუნებათა ინტენსივობა \wedge_k უნდა გაანგარიშდეს ზევით მოტანილი ფორმულით ყველა იმ მოწყობილობის გათვალისწინებით, რომელსაც ის ცვლის.

მტყუნებათა მოდელი ახდენს გამოთვლითი სისტემის მოწყობილობების ფუნქციური საიმედოობის იმიტირებას, ხოლო აღდგენის მოდელი - მომსახურე პერსონალის და მართვის აპარატურის მოქმედებას. იმიტაციური მოდელირებისას საიმედოობის გათვალისწინება შეიძლება წარმოდგენილი იყოს მტყუნებათა სპეციალური ნაკადის სახით, რომლებიც შემოდინან ყველა ფუნქციონირებად ელემენტში გარკვეული ინტენსივობით, ანუ მტყუნებები მიხნეულია განსაკუთრებული ტიპის ხდომილებებად.

შეიძლება განვიხილოთ მომსახურე ელემენტების მტყუნების და აღდგენის შემდეგი მოდელი. თავიდან განვიხილება K -ური ელემენტის მტყუნების აღბათობა i -ური ალგორითმის შესრულებისას:

$$F_{ik} = T_{ik} / T_k$$

სადაც T_{ik} - არის K -ური ელემენტის მიერ i ალგორითმის მომსახურების დრო, T_k - K -ური ელემენტის მტყუნებათაშორისი ნამუშევრის საშუალო დროა - $T_k = 1/\wedge_k$.

შემდეგ ხდება შემთხვევითი A რიცხვის გენერირება, რომელიც თანაბრადაა განაწილებული $(0,1)$ ინტერვალში. მიღებული მნიშვნელობა დარდება K -ური ელემენტის მტყუნების F_{ik} ალბათობას. იმ შემთხვევაში თუ სრულდება პირობა $A \leq F_{ik}$, ანუ A შემთხვევით რიცხვის მნიშვნელობა განეკუთვნება ინტერვალს $(0, F_{ik})$, მაშინ ითვლება, რომ მოხდა მტყუნება სცემს-ის პროცესორის (ელემენტის) მიერ ალგორითმის შესრულებისას პერიოდში. ხდება მტყუნების დროის დადგომის გაანგარიშება

$$t_{1i} = t_{ni} + T_{ik} B$$

და აღდგენის დასრულების დროის გაანგარიშება

$$t_{2i} = t_{1i} + T_{ek} C$$

სადაც t_{ni} - არის ელემენტის მიერ i -ური ალგორითმის მომსახურების დაწყების დრო, T_{ek} - K -ური ელემენტის აღდგენის მაქსიმალური დროა, B, C - გენერირებული შემთხვევითი რიცხვების მნიშვნელობებია, რომლებიც თანაბრადაა განაწილებული.

ელემენტების მოქმედების წესი ალგორითმებთან დაკავშირებით, რომლის შესრულებისას მოხდა მტყუნება, შეიძლება იყოს სხვადასხვა. ეს დამოკიდებულია გამოთვლითი სისტემის ორგანიზაციისა და მტყუნებული ელემენტის ტიპზე. მაგალითად, თუ მტყუნება მოხდა პროცესორში, მაშინ ალგორითმის შესრულება უნდა მოხდეს თავიდან, თუ ტერმინალში, მაშინ ალგორითმის შესრულება შეიძლება გაგრძელდეს მისი აღდგენის შემდეგ. ეს თავისებურებები გათვალისწინებულ უნდა იქნას ფუნქციური ელემენტის მოდელში.

3.3.4. არარეზერვირებული სისტემა

არარეზერვირებული სისტემის უმტყუნო მუშაობის ალბათობა T დროის განმავლობაში განისაზღვრება (3.20) ფორმულით.

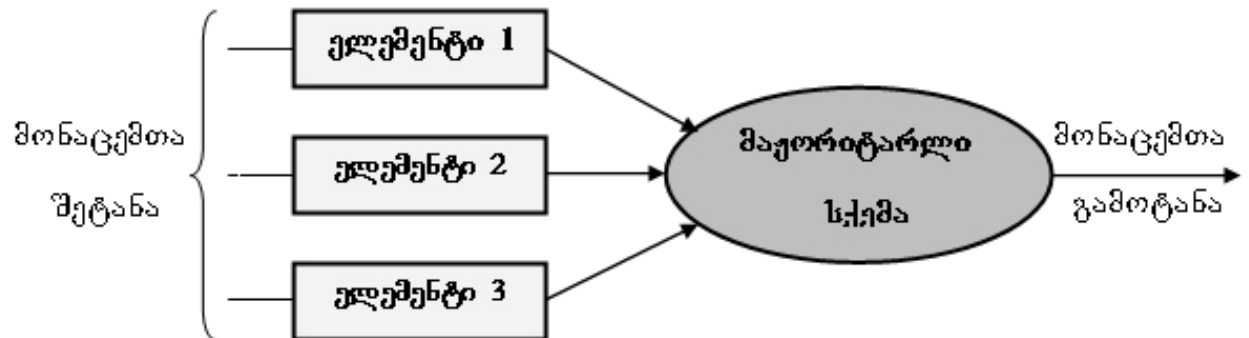
აღდგენადი სისტემებისათვის არსებობს საიმედოობის კიდევ 3 მაჩვენებელი:

1. მზადყოფნის კოეფიციენტი - $K_r = \frac{\mu}{\lambda + \mu}$ - μ -აღდგენის ინტენსივობაა;
2. არა მზადყოფნის კოეფიციენტი - $\bar{A} = \frac{\lambda}{\lambda + \mu}$;
3. მტყუნებათა სიხშირე (ანუ მტყუნებათა საშუალო რიცხვი სისტემის მუშაობის დროის ერთეულში) - $f_i = \frac{\lambda\mu}{\lambda + \mu}$.

მზადყოფნის კოეფიციენტი უჩვენებს დროის საშუალო წილს სისტემის მუშაობისუნარიან მდგომარეობაში ყოფნისა დიდი ხნის განმავლობაში; არა მზადყოფნის კოეფიციენტი კი უჩვენებს დროის საშუალო წილს სისტემის გაუმართავ მდგომარეობაში ყოფნისა დროის დიდი ინტერვალის განმავლობაში.

3.3.5. მოდულური სისტემა სამმაგი რეზერვირებით

მარტივი მოდულური სისტემა სამმაგი რეზერვირებით ნაჩვენებია ნახ. 3.5-ზე.



ის შედგება 3 ერთნაირი ელემენტისაგან, რომლებიც ახორციელებენ ერთი ლოგიკური ცვლადის რეალიზებას, რომლის მნიშვნელობაც განისაზღვრება მაკორიტარული სქემით. ფუნქციის მნიშვნელობა მაკორიტარული სქემის გამოსასვლელზე ნაჩვენებია ცხრილში (ცხ. 3.1). ერთ-ერთი ელემენტის

დამოუკიდებელი მტყუნებისას ის არ ვლინდება და გამოსავალი მონაცემები რჩება სწორი.

სამმაგი რეზერვირების მქონე მოდულური სისტემის უმტყუნო მუშაობის ალბათობა განისაზღვრება გამოსახულებით $R_{TMR} = R^3 + 3(1-R)R^2 = R^2(3-2R)$. ამ დროს ივარაუდება, რომ მაჟორიტარული სქემა არის აბსოლუტურად საიმედო,

ცხრილი 3.1

ხმის მიცემის ფუნქციის მნიშვნელობები მოდულური სისტემისათვის სამმაგი რეზერვირებით			
გამოსასვლელი მონაცემები			
ელ. 1	ელ. 2	ელ. 3	ხმის მიცემის სქემა
0	0	0	0
0	0	1	0
0	1	0	0
1	0	0	0
0	1	1	1
1	1	0	1
1	0	1	1
1	1	1	1

ხოლო თუ მაჟორიტარული სქემა არაა სრულყოფილი, მაშინ შეიძლება ვისარგებლოთ გამოსახულებით: $R_{TMR} = R^2(3-2R) \cdot R_M$, სადაც R_M - არის მაჟორიტარული სქემის უმტყუნო მუშაობის ალბათობა; R - არის თითოეული ელემენტის უმტყუნო მუშაობის ალბათობა.

3.3.6. მოდულური სისტემა N – ჯერადი რეზერვირებით

ასეთი სისტემა შედგება $N = 2n + 1$ დუბლირებული ელემენტისაგან, რომლებიც შეერთებული არიან ხმის მიცემის ელემენტთან, რომელიც ინარჩუნებს მუშაობის უნარიანობას, როდესაც N ელემენტიდან გამართულ მდგომარეობაშია $(n+1)$ ელემენტი. იმისათვის, რომ უზრუნველყოფილ იქნას

უმრავლესობა N -დან, მუშაობისუნარიანობა უნდა შეინარჩუნოს არანაკლებ $(n+1)$ ელემენტმა. უმტყუნო მუშაობის ალბათობის განსაზღვრისათვის გამოიყენება ბინომიალური განაწილების კანონი, რომლის თანახმადაც შეიძლება დაიწეროს:

$$R_{NMR} = \sum_{i=0}^n \binom{N}{i} (1-R)^i R^{N-i}$$

სადაც $\binom{N}{i} = \frac{N!}{(N-i)!i!}$.

3.3.7. რეზერვირება ჩანაცვლებით

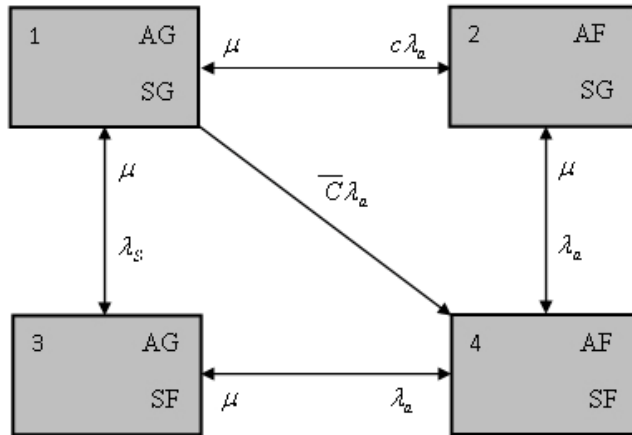
ასეთი რეზერვირებისას გამოიყენება რამოდენიმე ფუნქციურად ერთნაირი ელემენტი. ერთ-ერთი ამ ელემენტებიდან ფუნქციონირებს აქტიურად, ხოლო დანარჩენები იმყოფებიან დაუტვირთავი რეზერვის მდგომარეობაში, ჩართვის მოლოდინში, როცა ერთ-ერთი მომუშავე ელემენტი გამოვა მწყობრიდან. დაუტვირთავი რეზერვის მქონე სისტემის უმტყუნო მუშაობის ალბათობა დამოკიდებულია მტყუნების წარმატებით აღმოჩენის ალბათობაზე, გადართვის და მუშაობისუნარიანობის აღდგენაზე: ეს მაჩვენებელი შეიძლება განისაზღვროს, როგორც გამოთვლითი სისტემის ყველა შესაძლო მტყუნებათა ნაწილი, როდესაც სისტემას შეუძლია თავისი მუშაობისუნარიანობის აღდგენა კონფიგურაციის შეცვლის გზით.

სისტემა ერთი სარეზერვო ელემენტით შედგება ორი ერთნაირი გამოთვლითი მოდულისაგან. ერთ-ერთი მოდული ფუნქციონირებს, ხოლო მეორე მოდული იმყოფება დაუტვირთავი რეზერვის მდგომარეობაში.

ივარაუდება, რომ მტყუნებათშორისი ნამუშევარი და აღდგენის დრო ექვემდებარებიან ექსპონენციალური განაწილების კანონს. ასეთი სისტემის გადასვლათა დიაგრამა ნაჩვენებია ნახ. 3.6-ზე.

1 მდგომარეობაში ორივე მოდული გამართულ მდგომარეობაშია, ხოლო დაუტვირთავი მოდულის მტყუნებისას სისტემა გადადის მე-3 მდგომარეობაში. დატვირთული ელემენტის მტყუნებისას შესაძლებელია ორი მდგომარეობა. დატვირთული ელემენტის მტყუნების აღმოჩენისას, დაუტვირთავი ელემენტის

ჩართვისა და სისტემის მუშაობისუნარიანობის აღდგენისას სისტემა გადადის მე-2 მდგომარეობაში, როდესაც დაუტვირთავი ელემენტი ხდება დატვირთული. იმ შემთხვევაში, როცა არ ხდება სისტემის მუშაობისუნარიანობის აღდგენა, ორივე



ელემენტი გამოდის მწყობრიდან და სისტემა გადადის არამუშა მდგომარეობაში (მდგომარეობა 4).

ასეთი სისტემის საიმედოობის მოდელირებისას შეიძლება გამოყენებულ იქნას გადასვლათა მატრიცა, რომელსაც აქვს შემდეგი სახე:

,

სადაც λ_a - არის დატვირთული აქტიური მოდულის მტყუნებათა ინტენსივობა; λ_s - არის დაუტვირთავი მოდულის მტყუნებათა ინტენსივობა; μ - არის ნებისმიერი მოდულის აღდგენის ინტენსივობა; C - ალბათობა მტყუნების წარმატებით აღმოჩენის, გადართვის და მუშაობისუნარიანობის აღდგენისას; $C = 1 - \overline{C}$.

3.3.8. შეფერხებითი ხასიათის მტყუნებების მოდელირება

შეფერხებითი ხასიათის მტყუნებას აქვს შეზღუდული ხანგრძლივობა და ქრება წარმოქმნიდან რაღაც დროის შემდეგ. მაგრამ თავისი არსებობის მცირე დროის განმავლობაში მას შეუძლია შეცვალოს გამოთვლით სისტემაში რეგისტრების შემცველობა და გავლენა მოახდინოს პროგრამის ნორმალურ მსვლელობაზე, რითაც იწვევს მის არასწორ შესრულებას და შედეგად ხდება სისტემის მტყუნება. შეფერხებითი ხასიათის მტყუნებების გავლენის გამორიცხვისათვის, მათი აღმოჩენისა და ნეიტრალიზებისათვის შეიძლება გამოყენებულ იქნას რეზერვირება. მტყუნება შეიძლება აღმოჩენილ იქნას ორი ან მეტი მოდულის გამოსასვლელი მონაცემების შედარებით ან მტყუნებამდგრადი მაღალი საიმედოების გამოთვლითი სისტემით, რომელიც უზრუნველყოფს შეცვლილი მონაცემების და პროგრამის აღდგენას.

მოდულურ სისტემაში შეფერხებითი ხასიათის მტყუნებების მოდელირებისას ივარაუდება, რომ ასეთი მტყუნებები ჩნდებიან λ_i საშუალო ინტენსივობით, რომელიც ითვლება მუდმივ სიდიდედ სისტემის მთელი ექსპლუატაციის პერიოდის განმავლობაში, ხოლო მათ ხანგრძლივობას აქვს ექსპონენციალური განაწილება.

მუშაობისუნარიანობის აღდგენის პროცედურა მოიცავს სამ ეტაპს:

1. მტყუნებათა აღმოჩენა შედეგების შედარებით; შედარებათა შორის დროის შუალედი ტოლია T_c . დრო მტყუნების წარმოქმნიდან მის აღმოჩენამდე წარმოადგენს შემთხვევით სიდიდეს ალბათობათა განაწილების ექსპონენციალური სიმკვრივით;
2. დაყოვნების დროის დადგენა (დაშვებულია რაღაც T_D დროის ინტერვალის არსებობა მტყუნების აღმოჩენის მომენტიდან სისტემის მუშაობისუნარიანობის აღდგენის მომენტამდე, რომელიც აუცილებელია შეფერხებითი ხასიათის მტყუნების გაქრობისათვის);
3. მუშაობისუნარიანობის აღდგენა (დაშვებულია რაღაც T_R დროის ინტერვალი, რომლის განმავლობაში ხდება აღდგენა).

თუ მრავალკომპიუტერიან სისტემაში ყველა კომპიუტერი წარმოადგენს უმტყუნო სისტემას და ერთ-ერთ კომპიუტერში წარმოიშობა შეფერხებითი ხასიათის მტყუნება, მაშინ სისტემის მუშაობისუნარიანობის აღდგენის პროცედურა იწყება შეფერხებითი ხასიათის მტყუნების წარმოქმნისას შემდეგი შესაძლო შედეგების მიღების დროს:

1. მუშაობისუნარიანობის აღდგენა აღმოჩნდა წარმატებული და კომპიუტერები ისევ მუშაობენ უშეცდომოდ;
2. შეფერხებითი ხასიათის მტყუნება საკმაოდ ხანგრძლივია და ის შეცდომით შეიძლება მიჩნეულ იქნას მუდმივ მტყუნებად. მოცემულ შემთხვევაში კომპიუტერი ითვლება დაზიანებულად;
3. კომპიუტერში, რომელიც ადრე მუშაობდა უშეცდომოდ, შეფერხებითი ხასიათის მტყუნების შემდეგ მუშაობისუნარიანობის აღდგენის პერიოდში შეიძლება წარმოიშვას შეფერხება მოდულური სისტემის, სამმაგი რეზერვირებით, მტყუნების შედეგად.

3.4. პროგრამული უზრუნველყოფის საიმედოობის მოდელები

აპარატურული საშუალებების საიმედოობის კვლევა ბევრად უფრო ადრე დაიწყო, ვიდრე პროგრამული საშუალებებისა. ამიტომ, ბუნებრივია, მკვლევარების დიდი ნაწილი პროგრამული უზრუნველყოფის გამოკვლევისას ცდილობდა გამოეყენებინა ის უდიდესი ცოდნა, რაც დაგროვდა ტექნიკური საშუალებების საიმედოობის კვლევისას. ასეთი მცდელობების შედეგად დადგინდა იქნა, რომ საიმედოობის რიგი მეთოდებისა წარმატებით შეიძლება გამოეყენებულ იქნას ორგანიზაციის და მართვის პროცედურების ანალიზისას, მაგრამ შეცდომების მექანიზმებს აქ გააჩნიათ სრულიად სხვა ბუნება. ივარაუდება, რომ აპარატურა გამოდის მწყობრიდან, თუ მისი მახასიათებლების გადახრა ხდება წინასწარ გათვლილისაგან ან ხდება მტყუნება მახასიათებლების გადახრების დასაშვები ნორმიდან გასვლისას ან ხდება უეცარი (მოულოდნელი) მტყუნება. რაც შეეხება პროგრამული უზრუნველყოფის (პუ) ბლოკს, რომლის

მეშვეობითაც ხდება საბორტო და სხვა სისტემების მართვა, კონტროლის და სხვა ალგორითმების რეალიზება, ის ფიზიკურად არ გამოდის მწყობრიდან, მხოლოდ პროგრამა არ იძლევა საჭირო შედეგს, ვინაიდან მასში არის შეცდომა. ამ შეცდომის აღმოჩენა ხდება პროგრამის შესაბამისი ფრაგმენტის გაშვებისას, თუმცა შეცდომა აუცილებლად არ იწვევს სისტემის მტყუნებას, თუ აპარატურაში მტყუნების წარმოქმნის მომენტში ხდება ცვლილებები, თუ კი ფაქტიურად რჩება ისეთივე, როგორც იყო შეცდომის აღმოჩენამდე.

აპარატურის საიმედოობა შეიძლება გაზრდილ იქნას რეზერვირების გამოყენებით, მაშინ როცა ორი ერთნაირი პროგრამის გამოყენება არ იწვევს საიმედოობის გაზრდას, ვინაიდან ორივე პროგრამაში ერთიდაიგივე შეცდომა აღმოჩნდება ერთდროულად.

მნიშვნელოვანი განსხვავება არსებობს საიმედოობის დამოკიდებულების საგამოცდო პროცესებისადმი აპარატურისა და პუ-სი. თუ შესაძლებელი იქნებოდა პროგრამის ელემენტების მიხედვით შემოწმება შემავალი მონაცემების მთელი ნაკრებისათვის, მაშინ თეორიულად სისტემაში შეცდომები შემდეგში არასოდეს არ წარმოიქმნებოდნენ. პირიქით, აპარატურა შეიძლება გამოვიდეს მწყობრიდან გულდასმითი შემოწმების შემდეგაც კი. ამასთან დაკავშირებით იბადება კითხვა: შეიძლება ჩაითვალოს თუ არა, რომ პუ-ს შეცდომები ატარებენ შემთხვევით ხასიათს? რეალურად, პუ შესასვლელი სივრცის ელემენტებს გარდასახავს გამოსასვლელების სივრცის შესაბამის ელემენტებში. თანაც ამ დროს შეცდომის არსებობისას რაღაც ქვესიმრავლე შემავალი ელემენტებისა არასწორად აისახება გამოსავალ სივრცეში. თუ ცნობილია გამოსასვლელების ქცევა ყველა შესაძლო შესასვლელზე და შესაძლებელი იქნება მომავალი გამოსასვლელების პროგნოზირება, მაშინ ჩვენ ზუსტად შევძლებდით ნებისმიერი შეცდომის პროგნოზირებას. მაგრამ პუ-ს ზოგიერთი მსხვილი ბლოკის თვისებები ყოველთვის როდია ბოლომდე ცნობილი, ვინაიდან თითქმის შეუძლებელია შემოწმდეს პროგრამული საშუალებები შესასვლელის ყველა შესაძლო მნიშვნელობებისათვის. პროგრამის შესასვლელი ასევე შემთხვევითია. ამრიგად, იმის გათვალისწინებით, რომ თვით პროგრამული უზრუნველყოფისათვისაც და ყველა მისი შესასვლელებისათვის დამახასიათებელია განუსაზღვრელობა, შეიძლება ჩავთვალოთ, რომ შეცდომის გამოჩენა წარმოადგენს შემთხვევით პროცესს.

პუ-ს საიმედოობის პროგნოზირებისათვის შეიძლება გამოყენებულ იქნას საიმედოობის სხვადასხვა მოდელი. პუ-ს მოდელებში გამოიყენება ინფორმაცია იმის შესახებ, თუ რამდენი შეცდომის გასწორება მოხდა პროგრამული საშუალებების დამუშავების პროცესში და ამ ინფორმაციის საფუძველზე ხდება მოდელის პარამეტრების განსაზღვრა, რომელიც შემდგომში შეიძლება გამოყენებულ იქნას მოსალოდნელი შეცდომების პროგნოზირებისათვის ან საიმედოობის სხვა მაჩვენებლებისათვის. პუ-ს საიმედოობის მაჩვენებლად შეიძლება გამოყენებულ იქნას ალბათობა პროგრამაში შეცდომების არ არსებობისა გარკვეული დროის ინტერვალში პროგრამის ექსპლუატაციისას სხვადასხვა რეჟიმებში შესაბამის გამოთვლით სისტემაზე.

მოდელირება არის ერთი ასპექტაგანი პუ-ს საიმედოობის უზრუნველყოფისა, რომლის მიზანია პროგრამულ უზრუნველყოფაში დარჩენილი შეცდომების პროგნოზირება, სტატისტიკური ინფორმაციის გამოყენებით შეცდომების აღმოჩენისა და გასწორების შესახებ. არანაკლები მნიშვნელობა აქვს პროგრამული საშუალებების საიმედოობის უზრუნველყოფის შემდეგ ორ სფეროს – საიმედო პროექტირება და გამოცდა, რომლებიც ორიენტირებული არიან საიმედოობის უზრუნველყოფაზე.

ალბათ ყველაზე კარგ საშუალებას საიმედო პუ-ს მიღებისა წარმოადგენს შეცდომათა რიცხვის მინიმუმამდე დაყვანა და მათი შედეგები პროგრამათა კომპლექსის დამუშავების პროცესში. მაგრამ არ არსებობს რაიმე შემოწმებული საუკეთესო მეთოდი პუ-ს შექმნისა. თუმცა, საერთო აზრით, არსებობს მთელი რიგი მეთოდებისა პუ-ს დამუშავების და ამ პროცესის მართვისა, რომლებიც საიმედო პროგრამების მიღების საშუალებას იძლევიან. ამ მეთოდებს განეკუთვნება სტრუქტურული პროგრამირება და მასთან დაკავშირებული წესები.

მიუხედავად ამისა, დღეისათვის თითქმის გამორიცხულია უშეცდომო პუ-ს შექმნა. პროგრამების გამოცდების მიზანია იმის დადასტურება, რომ ის შეესაბამება საპროექტო ჩანაფიქრს. დამუშავებულია კონკრეტული საშუალებები, რომლებიც საშუალებას იძლევიან შემოწმდეს თუ რამდენად შეესაბამება პროგრამა ტექნიკურ მოთხოვნებს.

შემოწმების საშუალებები შედგება ორი მოდულისაგან: ინსტრუმენტალური მოდულისაგან და ანალიზატორისაგან.

საწყისი პროგრამა გამოსაცდელი მოდულისა პირველად (ხვედბა) შემოდის ინსტრუმენტალურ მოდულში, რომელიც გამოსაცდელ მოდულს ამარაგებს დამატებითი ოპერატორებით. ამ დამატებით ოპერატორებს ეწოდება მიმწოდები და მთვლელები (მრიცხველები), ხოლო თვით ამ ოპერატორების წარმართვის პროცესს ეწოდება ინსტრუმენტალური აღჭურვა. საწყისი (გამოსაცდელი) პროგრამის ინსტრუმენტებით აღჭურვისას მისი ფუნქციები უნდა დარჩეს უცვლელი, ანუ ოპერატორი-მიმწოდმა და ოპერატორი-მრიცხველმა არ უნდა შეცვალოს პროგრამის ფუნქციური დანიშნულება.

დამატებითი ოპერატორებით აღჭურვილი პროგრამის ტრანსლირება ხდება ჩვეულებრივ, ხოლო მიღებული პროგრამის გაშვება ხდება მისი ტესტური მონაცემების გამოყენებით. ამ დროს პროგრამის გამოსასვლელზე ჩვეულებრივ შედეგებთან ერთად მიიღება მონაცემთა ფაილი, რომელიც აღჭურვილია დამატებითი ოპერატორებით, შეყავთ ანალიზატორის მოდულში, რომელიც გამოსასვლელზე იძლევა ცნობებს გამოსაცდელი მოდულის ქცევის შესახებ შესრულების პროცესში. თითოეული ასეთი ანგარიში შეიცავს ინფორმაციას თითოეული ოპერატორის გამომჩენის შემთხვევებზე, თითოეული მარშრუტის შესახებ განშტოების წერტილებში და დროზე, რომელიც საჭიროა თითოეული ოპერატორის შესრულებისათვის. ასეთი ინფორმაცია გამოიყენება პროგრამის სტრუქტურის შემოწმებისას, ის იძლევა იმის იმედს, რომ ლოგიკა და კოდი პროგრამისა სწორია, გარანტიას იძლევა, რომ თითოეული ოპერატორი და თითოეული განშტოება პროგრამისა ერთხელ მაინც სრულდება. ასევე შესაძლებელია გარანტირებულ იქნას თითოეული ქვეპროგრამის ერთხელ მაინც გამოძახება და გაშვება.

აღნიშნული მიდგომა საშუალებას იძლევა პროექტირებისას დაშვებული შეცდომების (ისინი 20% აღემატება) დიდი ნაწილი იქნას აღმოჩენილი. მაგრამ სტრუქტურული ანალიზის ეს საშუალებები უძლური არიან დროითი თანაფარდობების და მონაცემებს შორის მიმართებების შემოწმებისათვის. სტრუქტურული შემოწმების გარდა აუცილებელია ფუნქციური შემოწმება, თუ პროგრამული უზრუნველყოფის გამოყენებისას მნიშვნელოვანია დროის ფაქტორი.

ლიტერატურა

1. Прангишвили И.В. Системный подход и общесистемные закономерности. Серия «Системы и проблемы управления».-М.:СИНТЕГ, 2000-528с.
2. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем. Пер.с англ. – М.: Радио и связь, 1991-224с.
3. გ. ჩოგოვაძე, გ. გოგიჩაიშვილი, გ. სურგულაძე, თ. შეროზია, ო. შონია. მართვის ავტომატიზებული სისტემების დაპროექტება და აგება.- თბილისი, გამომცემლობა „ტექნიკური უნივერსიტეტი“, 2001-742გვ.
4. Дружинин В.В., Конторов Д.С. Проблемы системологии (проблемы теории сложных систем). – с представлением акад. Глушкова В.М. Изд-во «Сов. радио», 1976-295с.
5. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. – М.: Изд-во «Наука», 1978-399с.
6. Прицкер А. Введение в имитационное моделирование и язык СЛАМ II. пер. с англ. – М.: Мир, 1987-646с.
7. Ю. Колесов, Ю. Сеничев. Имитационное моделирование сложных динамических систем. – 2006-6с.
8. Матов В.И. Идр.Бортовые цифровые вычислительные машины и системы. – М.: Высш. шк. 1988-216с.
9. Селезнев А.В. и др. Проектирование автоматизированных систем контроля бортового оборудования летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1983-224с.
10. Диллон Б., Сингх Ч. Инженерные методы обеспечения надежности систем. пер. с англ. – М.: Мир. 1984 – 318с.
11. Рейншке К., Ушаков И.А. Оценка надежности с использованием графов/ под ред. И.А. Ушакова – М.: Радио и связь, 1988-208с.
12. ი. მიქაძე, ა. რურუა, ვ. სესაძე, ლ. პეტრიაშვილი, კ. ოდიშარია. მოძრავი ობიექტის მართვა და საიმედოობა. – თბილისი, საგამომცემლო სახლი „ტექ. უნივერსისტეტი“, 2009 - 165გვ.

13. Таха Х. Введение в исследование операции: В 2-х книгах. Кн.1. Пер. с англ. – М.: Мир, 1985-479с.

14. Майзер Х., Эйджин Н., Тролл Р. и др. Исследование операции в 2-х томах. Пер. с англ. / под ред. Дж. Моудера, С. Элмаграби – М.: Мир, 1981.Т.1-712с.

15. Математическое моделирование. Редакторы: Дж. Эндрюс, Р. Маклоун. Пер. с англ. – М.: Мир. 1979-276с.

16. - ნ. მჭედლიშვილი, ვ. სესაძე, ვ. კეკეწაძე, გ. ჭიკაძე. კომპიუტერული მოდელირების სისტემა MATLAB.

17. Пакети «Блочного моделирования»:

– подсистема SIMULINK MATLAB (Math-Works.Inc).

– ნ. მჭედლიშვილი, ვ. სესაძე, ვ. კეკეწაძე, გ. ჭიკაძე. იმიტაციური მოდელირება MATLAB-ში SIMULINK. www.gtu.ge/books.htm