

რევზ ბერულავა

ელაგინი
ღუ

გეორგიანული მუსიკის
მანქანები

მანქანები



გაგომცემლობა „საბავოთა საქართველო“
თბილისი — 1978

წიგნში განხილულია ცოცხალ (ადამიანი) და არაცოცხალ (გამომთვლელი მანქანა, რობოტი) ორგანიზმებში ინფორმაციის შენახვის, ვარდაქმნისა და შედგვის ძილების საკითხები. აღწერილია თანამედროვე ელექტრონული ციფრული გამომთვლელი მანქანის (ე.ც.გ. მანქანა) მოქმედების პრინციპი, სხვადასხვა სახის ე.ც.გ. მანქანების აგებულება, მანქანათა „ზაროვნების“ კანონები, ადამიანისა და მანქანის ურთიერთქმედება, მათ შესაძლებლობათა შედარება. ახსნილია მანქანათა გონიერული გამოყენების სხვადასხვა მაგალითები (მანქანა „ხელითა“ და „თვლით“, მანქანა კომპოზიტორი, მოქადრაკე, მთარგმნელი და სხვ.). მოცემულია აგრეთვე, „ადამიანი-მანქანის“ პრობლემის ზოგიერთი ძირითადი მომენტი, სადაც ადამიანი განხილულია როგორც კიბერნეტიკული სისტემის ცოცხალი კვანძი. მოყვანილია თანამედროვე და მომავლის ხელოვნური ინტელექტის შესაძლებლობანი და შესაძლო ურთიერთობანი.

წიგნი განკუთვნილია მკითხველთა ფართო მასისათვის, იმათთვის, ვინც პირველად ეცნობა თანამედროვე „გონიერ“ გამომთვლელ მანქანებს, ასევე იმათთვისაც, ვინც დაინტერესებულია ბუნებრივი და ხელოვნური ინტელექტის ურთიერთობისა და სხვადასხვა სფეროში მანქანების გამოყენების საკითხებით.

შ ე ს ა ვ ა ლ ი.

ცნობილი ძველბერძნული გამოთქმა „Nosce se ipsam“ (იცან თავი შენი — წარწერა ქ. დელფოსში აპოლონის ტაძრის შესასვლელზე) ჩვენს ეპოქაშიც ღებულობს რეალურ აზრს. მართლაც, ადამიანის ტვინში მიმდინარე პროცესების, ადამიანის ტვინის შესწავლის საკითხები, ტვინის აზროვნებითი ფუნქციებს შემცველი ტექნიკური მოწყობილობის აგების პრობლემა დღეს მიეკუთვნება ისეთ რთულ და მნიშვნელოვან პრობლემათა რიცხვს, როგორცაა მაგალითად, ფიზიკაში ატომგულის, მედიცინაში — კიბოს და სხვა პრობლემები.

ტვინის მუშაობის მექანიზმს აღწერთ მხოლოდ იმ ასპექტში, როგორც ეს განიხილება აზროვნებითი პროცესების მოდელირების დროს. ეს ცალმხრივობა გამოწვეულია, ერთი მხრივ, აზროვნებისა და გონების ჯერ კიდევ ბოლომდე გაურკვეველი მექანიზმების სირთულითა და იმ მრავალფეროვნებით, რითაც ხასიათდება ადამიანის ტვინი — ბუნების ეს უნიკალური ქმნილება, ხოლო, მეორე მხრივ, იმით, რომ ამ წიგნში ჩვენი მიზანია, განვიხილოთ მხოლოდ ხელოვნური ინტელექტის კონსტრუირების, მისი გამოყენების საკითხები.

ადამიანის აზროვნების „მექანიზმისა“ და პროცესის შესწავლა ამჟამად ძირითადად სამი მიმართულებით მიმდინარეობს. მას სწავლობენ ფიზიოლოგები (ნეიროფიზიოლოგები, ბიოლოგები), ფსიქოლოგები და მათემატიკოსები. ფიზიოლოგი შეისწავლის, თუ როგორია ტვინის აგებულება, მისი ნაწილების ფუნქციონირება, ფიზიკური და ქიმიური თვისებები, ე. ი. შეისწავლის, თუ რა ზდება ადამიანის თავის ქალას შიგნით. იყენებს რა ბიოლოგიურ, ფიზიკურ და ქიმიურ ცნებებს, ფიზიოლოგი აღწერს იმ ორგანოთა შორის ურთიერთკავშირს, რომლის საშუალებითაც ვიგრძნობთ, ხოლო შემდგომ ამ შეგრძნების შესაბამისად ვაზროვნებთ და ვმოქმედებთ.

ფსიქოლოგია განიხილავს ადამიანის რეაქციას გარემოზე და იკვლევს მის ქცევას ამ გარემოში.

ფსიქოლოგს, ნეიროფიზიოლოგისაგან განსხვავებით, არ აინტერესებს, თუ როგორაა აგებული ტვინი ან რა პროცესები მიმდინარეობენ მასში. მას ძირითადად აინტერესებს, თუ როგორ ვითვისებთ აგზნების როგორც ცალკეულ სიგნალებს და მათ რთულ კომპლექსებს, ასევე იმას, თუ როგორ გარდაიქმნება ამ სიგნალების კომპლექსების რეაქციის შედეგი (სურვილი, მისწრაფება) ჩვენს შეგნებულ მოქმედებად.

ამრიგად, ფსიქოლოგები ძირითადად დაკავშირებულნი არიან აზრებთან და ემოციებთან. ისინი, მაგალითად, ადგენენ აზრის შესაბამისობას მის გამოსახულებასთან მოცემული სიტყვების, ფერების სახით ანდა ისეთ სიმბოლოთა სახით, რომლებითაც ვხელმძღვანელობთ შეგნებული მოქმედების დროს (ფორმულა, სპეციალური აღნიშვნები და სხვ.).

მათემატიკოსები აზროვნების პროცესებს სწავლობენ ძირითადად ორი მიმართულებით:

1. საინფორმაციო პროცესების დონეზე ტვინის მოდელირების შემთხვევაში ადგენენ ტვინის ამა თუ იმ ფუნქციის მათემატიკურ მოდელებს. მათ ამ შემთხვევაში არ აინტერესებთ ტვინის შინაგანი აგებულების დეტალები და სტრუქტურა. როგორც ვხედავთ, ამ მიმართულებით მომუშავე მეცლევარები ემიჯნებიან ფსიქოლოგების პოზიციას. სწორედ ამიტომ, რომ მათემატიკოსების ამ მიდგომას ეწოდება „ევრისტიკული“ („ევრისტიკა“ ბერძნულად ნიშნავს გამოკვლევისა და სწავლების ხერხებს. ეს მეთოდი თანამედროვე გამოთვლით მანქანებთან ერთად გამოიყენება ადამიანის ფსიქიკური შემოქმედების რთული ფორმების მოდელირების, ე. ი. „ხელოვნური ტვინის“ კვლევის პროცესში).

2. მათემატიკოსების ნაწილი ახდენს ნერვული სისტემის ძირითადი ელემენტის ნეირონებისა და ტვინის სტრუქტურის მოდელირებას. აქ მოდელირებაში იგულისხმება ისეთი ლოგიკური აპარატის შექმნა, რომელიც მათემატიკურად აღწერს როგორც ცალკეულ ნეირონს, ისე მისგან შემდგარ რთულ „გონიერ“ კომპლექსს. ამიტომ არაა გასაკვირი, რომ კიბერნეტიკის მამამთავარი ნორბერტ ვინერი ნეირონებს „ნერვული სისტემის ატომებს“ უწოდებდა.

აზროვნების მოდელირების პრაქტიკული გადაწყვეტის აუცილებლობა შემდეგი გარემოებითაცაა გამოწვეული: როგორც ცნობილია, დედამიწაზე ადამიანთა თაობის ცვლა ხდება საშუალოდ 40—45 წელიწადში, ხოლო მეცნიერ მუშაკთა რიცხვი ყოველ 10—15 წელიწადში ორკეცდება. შემდგომში თუ არ მოხდა მათი რიცხვის შემცირება, მაშინ გამოდის, რომ მთელმა კაცობრიობამ მარტო მეცნიერ მუშაკებად უნდა

იმუშაოს. მაგრამ მდგომარეობიდან სხვა გამოსავალი არსებობს. არსებობს იმის საწინდარი, რომ მომავალში მეცნიერი მუშაკების ძირითადი სამუშაო დრო იხარჯებოდეს პრობლემის მარტო კვანძური საკითხის სამართავად და გადასაწყვეტად, ხოლო მეორე ხარისხოვანი საკითხები, როგორცაა გამოთვლითი პროცესი, ქვესაკითხების ანალიზი, პარამეტრების დადგენა, რაც ხშირად მთელი სამუშაოს ნახევარზე მეტს შეადგენს, დაევალოს „ხელოვნურ ტვინს“, „მოაზროვნე“ ავტომატებს. ამ პრობლემის გადაწყვეტა უნდა მოხდეს იმის ანალოგიურად, როგორც ახლა რთული მათემატიკური გამოთვლები ევალება (ელექტრონულ ციფრულ გამოთვლით მანქანებს ეცგ — მანქანებს. ამ ასპექტში საყურადღებოა „ადამიანი-მანქანა“ წყვილის შეთანხმებული მუშაობა, როცა შესაძლებელი იქნება ადამიანის შემოქმედებითი და მანქანის ზუსტი გამოთვლითი პროცესების ურთიერთშეთავსება.

ჩვენ გეანტიერესებს ცოცხალ (ადამიანი) და არაცოცხალ (მანქანა) არსებებში ინფორმაციის შენახვის, გარდაქმნისა და შედეგის გამოცემის ზოგიერთი ძირითადი საკითხები. ამიტომ მოკლედ განვიხილავთ ტვინის აგებულებას, მის ფიზიკურ-ელექტრულ თვისებებს, ხოლო შემდეგ გავეცნობით ინფორმაციის გადაცემისა და „აზროვნების“ მიმდინარეობის საკითხებს, აგრეთვე სხვადასხვა სახის კიბერნეტიკულ „მოაზროვნე“ მანქანებს, ადამიანის როლს „ადამიანი-მანქანა“ წყვილის მუშაობაში და სხვ.

ამჟამად არ არსებობს პრობლემა: „არის თუ არა ღმერთი?“ ეს საკითხი შეიცვალა საკითხით: „არის თუ არა ადამიანი-მანქანა?“. ზოგიერთი მეცნიერი ამ კითხვაზე დადებითად პასუხობს, მაგრამ დევა დღესაც გრძელდება. ჭერ კიდევ უძველეს საბერძნეთში წამოიჭრა ეს საკითხი („იცან თავი შენი“).

ფ. ე ნ გ ე ლ ს მ ა ტერმინი „მანქანა“ იხმარა ადამიანის მიმართაც. იგი ამბობდა: ფიზიოლოგიური თვალსაზრისით ადამიანის სხეული შეიცავს ისეთ ორგანოებს, რომლებიც შეიძლება განვიხილოთ მის ერთიანობაში და ამასთან ერთად ერთი გარკვეული მხრით, როგორც თერმოდინამიკური მანქანა, რომელიც, იღებს რა სითბოს, გარდაქმნის მას მოძრაობად.¹

ფ. ე ნ გ ე ლ ს ი აღნიშნავს, რომ მანქანისა და ადამიანის შედარება შეიძლება „მათი რეზულტატებით და არა პროცესებით“, რაც მასში მიმ-

¹ იხ. Маркс К., Энгельс Ф., Сочинения, т 20, გვ. 265

დინარეობენ. მეცნიერები ფიქრობენ, რომ ცნებები „მანქანა“ და „ადამიანი“ არაიგივე ცნებებია, მაგრამ გარკვეული აზრით ადამიანს შეიძლება ეწოდოს გამოთვლითი მანქანა, და ამავე დროს მაშინვე აზუსტებენ, რომ ამ შემთხვევაში მხედველობაში აქვთ არა ადამიანი მთლიანად, არამედ მისი ტვინი, კერძოდ ტვინის აზროვნებითი ფუნქციები.

თანამედროვე ელექტრონული გამოთვლელი მანქანების მოქმედების — „აზროვნების“ — დასახასიათებლად ჩვენ ქვემოთ ვხმარობთ სიტყვას — „გონიერი“. გონიერება აზროვნებასთანაა კავშირში და თავისი შინაარსით შედარებითი ცნებაა. მართალია, თანამედროვე გამოთვლელი მანქანების მიმართ ჩვენ ვხმარობთ ტერმინს „გონიერი“, მაგრამ ეს ტერმინიც ამ შემთხვევაში გარკვეულ დაზუსტებას მოითხოვს. ჭერჭერობით ლიტერატურაში არ არსებობს ჩვენთვის საჭირო ტერმინი, რაც გამოწვეულია სხვადასხვა მიზეზებით. აქ აღვნიშნავთ მხოლოდ სამ მიზეზს: 1. თანამედროვე ელექტრონული გამოთვლელი მანქანების „აზროვნების“ მომენტი შეცნობისა და დამუშავების პროცესშია; 2. ელექტრონული გამოთვლელი მანქანები ძალზე სწრაფად იცვლიან სახეს და ამასთან ერთად დიდი როლი ენიჭება „მანქანური ენის“ საკითხებს, მანქანის მათემატიკური „აზროვნების“ უზრუნველყოფის საკითხებს; 3. სალიტერატურო ენაში „გონიერება“ (გონიერი) გარკვეულ მომენტში აზროვნების გამოხატვას ნიშნავს და ამ ტერმინით შეგვიძლია დავახასიათოთ როგორც ადამიანი, ისე ცხოველი და ხელოვნური ინტელექტი, ამიტომ სამართლიანი იქნება თანამედროვე ელექტრონული გამოთვლელი მანქანების მიმართაც ვიხმაროთ სიტყვა „გონიერი“.

დაბოლოს, მკითხველის ყურადღებას ვამახვილებთ იმ ფაქტზე, რომ ადამიანსა და ელექტრონულ გამოთვლელ მანქანებს შორის ანალოგიის, ურთიერთდამოკიდებულებისა და სხვა ქვემოგანხილულ საკითხებზე ქართულად მცირე ლიტერატურაა, რადგანაც საკითხი საკმაოდ ახალი და თანამედროვეა. ჩვენ შევეცადეთ ტერმინები დაგვეზუსტებინა, მაგრამ შემდგომში ეს მიმართულებაც, ბუნებრივია, დახვეწას მოითხოვს. ჩვენ სიამოვნებით მივიღებთ ყოველ საქმიან შენიშვნასა და მითითებას.

თავის ტვინი კიბერნეტიკული თვალსაზრისით

ადამიანის ტვინის მუშაობის შესწავლისა და მისი ანალოგის აგების ამოცანა ბიოლოგიისა და ტექნიკის ერთ-ერთი ძირითადი პრობლემაა. მოკლედ განვიხილავთ აზროვნების ცენტრის — ტვინის აგებულებას, მის ზოგიერთ „ტექნიკურ“ მონაცემებს კიბერნეტიკის თვალსაზრისით.

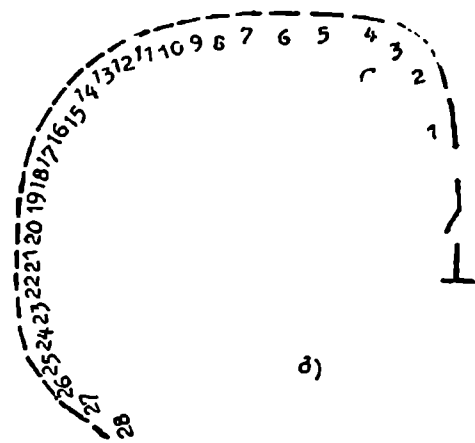
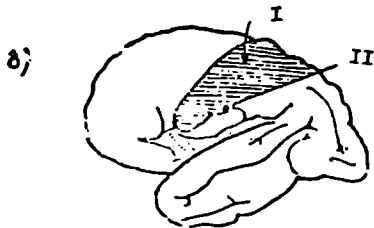
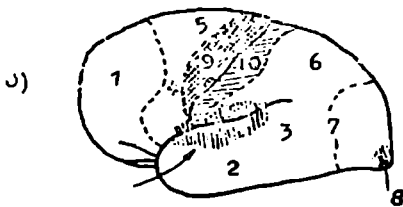
ადამიანის თავის ტვინი შედგება სამი ძირითადი ნაწილისაგან: დიდი ნახევარსფეროებისა (ჰემისფეროები), ნათხემისა და ლეროს, ანუ ლეროვანი ნაწილისაგან. ლეროვანი ნაწილი მოთავსებულია ზურგი ტვინსა (ქვედა ზღვარი) და შუა ტვინს შორის (ზედა ზღვარი). იგი შედგება მოგრძო, შუა და შორისული ტვინისაგან. მოგრძო ტვინში მდებარეობენ შინაგანი ორგანოების მმართველი, ვეგეტატური და ადამიანის წონასწორობის მარეგულირებელი ცენტრები (ე. წ. ვესტიბულარული ცენტრები). ნათხემი უამრავი არხით დაკავშირებულია დიდ ნახევარსფეროებთან. ტვინის ამ ნაწილში თავმოყრილია კიდურების მოძრაობის კოორდინირების ცენტრები. შორისული ტვინი შედგება ძალზე ბევრი არისაგან, რომელთაგანაც ძირითადია თალამუსი და ჰიპოთალამუსი. ძირითადად მხედველობის ფუნქციებს თალამუსი ასრულებს. ჰიპოთალამუსის ფუნქციასა ორგანიზმში ნივთიერებათა ცვლის, სხეულის ტემპერატურის, გულ-სისხლძარღვთა სისტემის ტონუსის რეგულირება და სხვ. (ჰორმონალური პროცესები, სუნთქვითი აქტიურობა).

ადამიანის აზროვნებისათვის დიდი მნიშვნელობა აქვს თავის ტვინის ყველაზე დიდ ნაწილს, დიდ ნახევარსფეროებს, რომელთა ზედაპირი საშუალოდ 250 სმ²-ია. ეს ზედაპირი უმაღლესი ტიპის მაიმუნების ტვინის ზედაპირზე 3-ჯერ უფრო დიდია. ტვინის ნახევარსფეროების ზედაპირის ასეთი სიდიდე გამოწვეულია მრავალრიცხოვანი ლარიანი და ხვეულისან-ნაოკიანი ზედაპირით. ჩაზნექილი უბნები საკმაოდ დიდი სიღრმისაა, აღწევს 2—3 მილიმეტრს (წინათ ვარაუდობდნენ, რომ ადამიანს

აქვს ტვინის ქერქის ყველაზე დიდი ზედაპირი, რომ ის შეიცავს ყველა სულიერ არსებაზე მეტი სიმჭიდროვის ნერვულ უჯრედებს. მაგრამ გაირკვა, რომ ამ მახასიათებლებით გვეჯობნიან დელფინები), ასე რომ, ამ უბნების ზედაპირი დიდი ნახევარსფეროების ზედაპირის 60—70%-ს შეადგენს. ახალდაბადებულებსა და მცირეწლოვან ბავშვებში იგი აღწევს მხოლოდ 20—30%-ს.

ნახევარსფეროების ზედაპირულ ფენას (სისქით საშუალოდ 2—4 მმ) ქერქს უწოდებენ. ქერქის სხვადასხვა უბანს სხვადასხვა აგებულება და მოქმედების სხვადასხვა ფუნქცია აქვს (ნახ. 1). ამ უბნებს პირობითად „ველები“ ეწოდება. თელიან, რომ თითოეულ ნახევარსფეროს პირობითად 50 ასეთი „საინფორმაციო ველი“ აქვს. ზურგის ტვინის სიგრძივი გაკვეთისას ჩანს, რომ იგი შედგება ორგვარი — რუხი და თეთრი ნივთიერებისაგან. რუხი ნივთიერება შეადგენს ზურგის ტვინის შიგნითა ნაწილს. რუხი ნივთიერების უმცირესი ნაწილაკი წარმოადგენს ნერვულ ელემენტარულ უჯრედს, ე. წ. ნეირონს. ქერქი შეიცავს ნეირონების, „მასსოვრობის“ ამ პატარა უჯრედების უზარმაზარ რიცხვს, მაქსიმუმ 12-14 მილიარდს.

თეთრი ნივთიერება, რომელიც ქერქის ქვემოთაა მოთავსებული, წარმოადგენს ნეირონების ნაწილს, ე. წ. აქსონებს. აქსონები ერთგვარი „აკომუტაციო“ არხები ანუ კაბელებია, რომლებიც თავის ტვინის სხვადასხვა ნაწილს ერთმანეთთან აკავშირებენ ისე, რომ ეს უკანასკნელი წარმოადგენს თავის ტვინის — ორგანიზმის ცენტრალური „მართვის პულტის“ — საკომუტაციო საშუალების სისტემას“. უჯრედის სხეულის სიდიდე საშუალოდ 0,1 მმ-ს არ აღემატება. სხეულსა და აქსონს გარს არტყია მემბრანა, რომელიც უჯრედის შიგთავსს გამოყოფს გარემოსაგან. ამ მემბრანასთან მიერთებულია ხისებრი მორჩები, ე. წ. დენდრიტები, რომელთა გავლით უჯრედის სხეულს გადაეცემა გალიზიანება (იმაჟულსები) სხვადასხვა ნეირონიდან. ამგვარად, დენდრიტები წარმოადგენს ნეირონის „სქემის“ შესასვლელ არხებს, ხოლო აქსონები — გამოსასვლელს (ნახ. 2). დენდრიტის სიგრძე აღწევს 6.მმ-ს; აქსონის სიგრძე, იმისდა მიხედვით, თუ ტვინის რომელი უბნის ნეირონს გადაეცემა აგზნების სიგნალი, მერყეობს 0,5 მმ-დან 1 მ-მდე. ყოველი ნეირონის შესასვლელი მარტო დენდრიტებით არ განისაზღვრება. იმ ადგილს, რომლითაც ერთი ნეირონის აქსონი ეხება (კონტაქტშია) მეორე ნეირონის დენდრიტს ანდა სხეულის უჯრედს, უწოდებენ სინაპსს. ამგვარად, სინაპსები ნეირონში, დენდრიტებთან ერთად, წარმოადგენს აგზნების „შემყვან მოწყობილობას“.



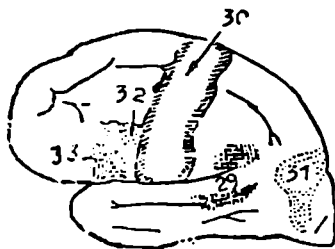
ნახ. 1. ადამიანის თავის ტვინის ქერქის სქემა (ს. ღიჩი)

ა) თავის ქერქის პათოლოგიური ცვლილებების მქონე პაციენტთა ნეიროქირურგიული ოპერაციებისა და ნევროლოგიური გამოკვლევების შედეგად დაღვენილი ქერქის მახლოებითი ფუნქციონალური არეები (ვ. პენფილდი, ტ. რახტუსენი). 1. აზროვნება; 2. გამოსახულებათა შენახვა მეხსიერებაში; 3. სიტყვა; 4. თვალის მოძრაობა; 5. მოძრაობის ზუსტი რეგულაცია; 6. მტევნის დახვეწილი მოძრაობა; 7. სომატოსენსორული არე; 8. საკმლის მონელების ტრაქტი.

ბ) ორი სომატოსენსორული არე 1 — თეძო, გულმკერდი, კისერი, მხარი, ხელი, თითები, ენა, მუცელი. 2.— ფეხი, ხელი, სახე.

გ) ტვინის სხვადასხვა რაიონის წარმომადგენლობა 2 სომატოსენსორულ არეში: 1. ფეხის თითები; 2. ტერფი, 3. ფეხი; 4. თეძო; 5. ზედატანი; 6. კისერი; 7. თავი; 8. მხარი; 9. ხელი; 10. იდაყვი; 11. წინამხარი; 12. მტევანი; 13. ხელი; 14. ნეკი; 15. არათითი; 16. შუა თითი; 17. საჩვენებელი (სალოკი) თითი; 18. ცერი; 19. თვალი, 20. ცხვირი; 21. სახე; 22. ზედა ტუჩი; 23. ტუჩები; 24. ქვედა ტუჩი; 25 კბილები, ღრძილები, ყბა, 26. ენა; 27. ხახა; 28. მუცლის ღრუს ორგანოები; 29. სიტყვათა გამორჩევა.

დ) სხვადასხვა მარღვების წარმომადგენლობა მორტორულ ქერქში და ვარკვეული ტიპის მოძრაობათა მართვის არეები. 30. მორტორული ქერქი: მუხლი, თეძო, ზედატანი, მხარი; იდაყვი, მტევანი, ხელი, თითები, ნეკი, არათითი, სალოკი, ცერი, კისერი, წარბები, წამწამები, სახე, ტუჩები, ხმის ორგანოები, ყბა, ენა, ყლაპვა, ლეჩვა. 31. თვალის ფიქსაცია, 32. თავის მობრუნება; 33. ლაპარაკის ფორმირება.



რ პ)

ბუნებრივია, ისმება კითხვა: რა ფუნქციას ასრულებენ ნეირონები ორგანიზმში და რამდენი ტიპის ნეირონი არსებობს? ნეირონის ნორმალური ფუნქცია განისაზღვრება ნერვული იმპულსის მოცემული სიგნალის შესაბამისად საპასუხო მოქმედების „ფორმირებითა“ და შემდგომ კი ამ იმპულსის გატარებით; ამასთან ნერვული იმპულსი წარმოადგენს უკვე „შეჯამებულ“ და შერჩეულ პასუხს მრავალფეროვან აგზნებაზე. ამიტომ ნეირონი განიხილება როგორც ერთიანი პატარა ფუნქციონალური სისტემა.¹ იმისდა მიხედვით თუ რა მიმართულებით და რა კავშირებით ხორციელდება იმპულსების გავლა ნერვულ ქსოვილებში, ნეირონები იყოფა სამ ტიპად. პირველია რეცეპტორები — გრძნობის ორგანოს ისეთი უჯრედები, რომლებიც აგზნებას გარდაქმნიან ნერვულ იმპულსად. მეორე მამოძრავებელი ანუ ეფექტორული ნეირონებია — კუნთისა და ჯირკვლის ისეთი უჯრედები, რომელთა საშუალებითაც გარკვეულ აგზნებაზე ორგანიზმის რეფლექსური პასუხი მიიღება. მესამეა შერეული ნეირონები, რომელთა რაოდენობა ნეირონთა საერთო რიცხვის, 10—14 მილიარდი ნეირონიდან, 9 მილიარდზე მეტს შეადგენს. (ნეირონის დიამეტრია 40—70 მიკრონი. შედარებისათვის ალენიშნოთ, რომ ადამიანის თმის დიამეტრია 10—70 მიკრონი). აღნიშნული ტიპის ნეირონების შესასვლელი და გამოსასვლელი „არხები“ სხვადასხვა ტიპისაა თავისი დანიშნულებისდა მიხედვით. მაგალითად, რეცეპტორული ნეირონების დენდრიტები უერთდება მგრძნობელ ელემენტებს — რეცეპტორებს, აქსონები კი სხვა ნეირონებს, ეფექტორული (მოტორული) ნეირონის დენდრიტები უერთდებიან სხვა ნეირონებს, აქსონები კი რომელიმე შემსრულებელ ორგანოს (ეფექტორს) ხოლო შუალედურ ნეირონების დენდრიტებიცა და აქსონებიც უერთდებიან სხვა ნეირონებს.

ნეირონების აგზნება ხდება მასში შემავალ სიგნალების გარკვეული ზღვრული მნიშვნელობის დაძლევისას. ნეირონი მოგვაგონებს ერთგვარ კიბერნეტიკულ ამჯამავ მოწყობილობას, რომელშიც ხდება შესასვლელი სიგნალების შეკრება და ჯამური სიგნალის შედარება ზღვრულ სიდიდესთან დროის გარკვეულ მომენტში. ამ შედარების საფუძველზე ნეირონის გამოსასვლელი ან იძლევა პასუხს, ან არა. ზღვრული სიგნალის სიდიდე

1. ა. ა) Дейч С. — Модели нервной системы. Перевод с англ. С. Д. Бурцевой и др. Под. ред. Н. В. Позина и Е. Н. Соколова. Изд-во. «Мир», М., 1970 გვ. 64.

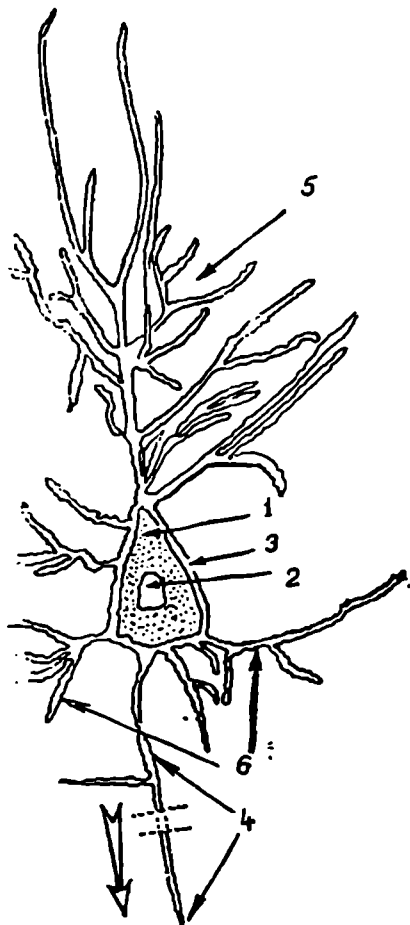
ბ) Аршавский Ю. И., Беркин-Блит М. Б., Ковалев С. А., Смолянинов С. А., Чайлахян Л. — Анализ функциональных свойств дендритов в связи с их структурой. Сб. «Модели структурно-функциональной организации некоторых биологических систем». Изд-во «Наука», М., 1966 გვ. 36.

არ არის ფიქსირებული მნიშვნელობისა და განისაზღვრება ტვინში მიმდინარე ქიმიური და ელექტრული ცვლილებებით.

ტვინში მიმდინარე ქიმიურ გარდაქმნებზე, რეაქციების რეგულაციის კანონზომიერებაზე და აზროვნების ფუნქციების შესრულებასთან ქიმიური რეაქციის კავშირის საკითხებზე მუშაობს საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის ფიზიოლოგიის ინსტიტუტის (დირექტორი—სსრ მეცნიერებათა აკადემიის წევრ-კორესპონდენტი ა. ბ ა კ უ რ ა ძ ე) ბიოქიმიის განყოფილება აკადემიკოს პ. ქ ო მ ე თ ი ა ნ ი ს ხელმძღვანელობით.

ნეირონის სქემატური სურათიდან (ნახ. 2) ჩანს, რომ ნეირონის ბირთვიდან დენდრიტები სხვადასხვა მანძილზე იმყოფებიან. ამიტომ სინაპსები, რომლებიც მთავრდებიან დენდრიტებზე, შეიძლება სხვადასხვა სახისა იყოს. ნორვეგიელმა მეცნიერმა ა ნ დ ე რ ს ე ნ მ ა გამოკყო სინაპსების ორი ჯგუფი ე. წ. დეტონატორული და ინტეგრატორული ჯგუფები, რომლებიც ეკუთვნიან ამგზნები სინაპსების კლასს (არსებობს მეორე კლასი სინაპსებისა — მამუხრუქებელი. ამგზნები სინაპსები გამოკყოფენ ამგზნებ მედიატორს, ხოლო მამუხრუქებელი კი დამუხრუქების ნივთიერებას).

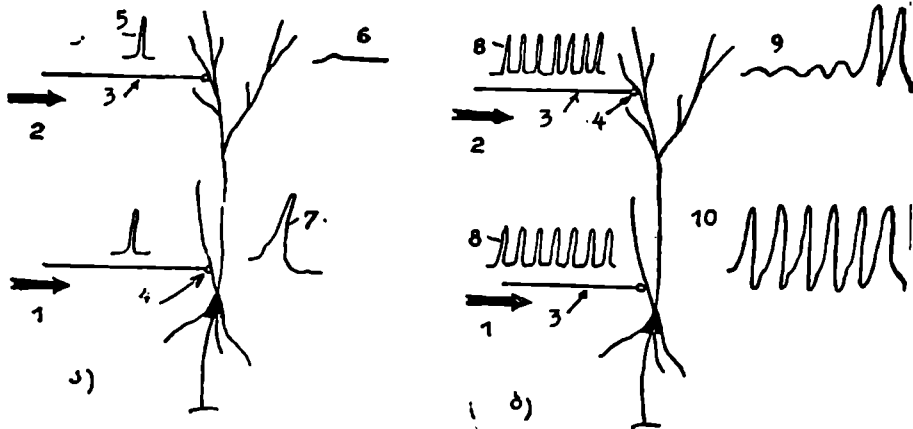
დეტონატორული სინაპსები, ა ნ დ ე რ ს ე ნ ი ს სქემატური სურათის მიხედვით, მოთავსებულნი არიან ნეირონის ბირთვთან ახლოს (ნახ. 3. „1“ ისრით აღნიშნული მიმართულებით). ნეირონში ინფორმაცია დეტონატორული ხაზიდან აღ-



ნახ. 2. ნეირონის სქემატური გამოსახვა 1. უჭრადის სხეული, 2. ბირთვი, 3. გარსი ანუ მემბრანა 4. აქსონი, 5. 6. დენდრიტები. ისრით ნაჩვენებია იმპულსების გავრცელების მიმართულება.

წევს სწრაფად, აფეთქების სიჩქარის გავრცელების — დეტონაციის ანალოგიურად (ანდერსენმა გამოიყენა იგივე ტერმინი სინაპსების ამ ჯგუფისათვის).

ერთეული იმპულსის მიერ დეტონატორული ხაზის სინაპსის აგზნებით ნეირონის რეაქცია — სპაიკი (7) მოცემულია ნახ. 3 ა-ზე. იგივე მოკლე ხანგრძლივობის ამგზნები სიგნალის გატარება ინტეგრატორულ (2) ხაზზე (ნახ. 3, ა, 1ბ) არ გვაძლევს ნეირონის რეაქციის შედეგს (6).



ნახ. 3. დენდრიტებით სიგნალის გადაცემის ორი ტ. ა.

1. დეტონატორული ხაზი; 2. ინტეგრატორული ხაზი; 3. აქსონი; 4. სინაპსი; 5. ეიწრო, ერთეული აგზნების სიგნალი (იმპულსი) 6. ინტეგრატორულ ხაზში გატარებული სიგნალის პასუხი; 7. დეტონატორულ ხაზში გატარებული იმპულსის პასუხი (სპაიკი); 8. შესასვლელი იმპულსების სერია; 9. და 10. შესაბამისად ინტეგრატორულ და დეტონატორულ ხაზებში გატარებული იმპულსების სერიის პასუხები.

დეტონატორულ სინაპსზე აგზნების იმპულსების სერიის (8) გატარებით ნეირონის რეაქციის შემდეგ მიიღება ასევე იმპულსების სერია (10). ნეირონის რეაქციას ინტეგრატორულ სინაპსში იგივე აგზნების იმპულსების სერიის გატარების გამო ადგილი აქვს მხოლოდ გარკვეული დაყოვნების შემდეგ (9). ეს ნიშნავს, რომ ნეირონმა აგზნების სიგნალზე პასუხი გასცა დენდრიტებთან მოსულ გარკვეული სიგნალების ჯამურ რეაქციას, რამაც დროითი დაყოვნება გამოიწვია.

სინაპსური ურთიერთმოქმედების სისტემაში დიდი ადგილი აქვს დათმობილი მექანიზმს, რომელსაც შეუძლია გაითვალისწინოს აგზნების იმპულსის გავლა დენდრიტების განშტოებებში, დენდრიტების მორჩიბ-

თან მოსული სხვა იმპულსების გავლენა აგზნების იმპულსზე და მათი ურთიერთქმედება მთელს ნეირონულ ბადეში. ამასთან, რაც უფრო განშტოებადია დენდრიტები, მით რთულია სიგნალთა ინტეგრაციის მექანიზმი. ინტეგრატორული სინაპსების მოქმედების პროცესი, დაკავშირებულია ტვინის გონიერი, ინტეგრაციული ფუნქციონირების სისტემასთან. ამ ჯგუფის სინაპსები, რომლებიც მოთავსებული არიან ნეირონის სხეულიდან შორ მანძილზე დეტონატორულ სინაპსებთან შედარებით ხასიათდებიან სიგნალთა გადაცემის დაბალი დონით. ამის გამო დეტონატორული სინაპსის საშუალებით ნეირონიდან ნეირონში ინფორმაციის გადაცემის საიმედოობის ხარისხი ძალზე მაღალია.

გონებრივი პროცესების ეტაპები

წარმოდგენა რომ გვექონდეს, როგორი მიმდევრობით ხდება ლოგიკური მსჯელობის, მეცნიერული დამტკიცების თუ სხვა რთული გონებრივი შემოქმედებითი პროცესი, განვიხილოთ რაიმე კითხვაზე პასუხის ფორმირებისა და გაცემის გამარტივებული მაგალითი. ვთქვათ, გეოგრაფიის მასწავლებელი ეკითხება მოსწავლეებს: სათავიდან დაწყებული, მიმდევრობით, რომელი სახელმწიფოების ტერიტორიაზე გაივლის მდინარე მტკვარი? მოსწავლეს შეუძლია უპასუხოს ამ კითხვაზე, თავი აარიდოს კითხვას, არ მიიღოს მონაწილეობა მსჯელობაში. მოსწავლეები, რომლებიც გულმოდგინედ უმსენენ, ან ასე თუ ისე უსმენენ მასწავლებელს, ასრულებენ მრავალეტაპიან შეგნებულ აქტს. ეს საკითხი, რომელიც დაკავშირებულია მეხსიერების ფორმებთან, სპეციალური მსჯელობის საგანია, მას განიხილავენ არა მარტო ნეიროფიზიოლოგები, არამედ ფსიქოლოგები, პედაგოგები¹ და სხვ. (იხ მაგალითად: „მეორე სასკოლო ასაკის ბავშვის ფსიქოლოგია“. პროფ. ვლ. ნორაკიძის რედაქციით. „განათლება“, 1975, გვ. 94—117).

აღნიშნული აქტი ძირითადად შედგება 6 ეტაპისაგან (ქვემოთ მოყვანილი კითხვა-პასუხის მაგალითი შეიძლება წარმოვიდგინოთ, როგორც კერძო სახე უფრო რთული მაგალითებისა, როგორცაა: ურთულესი

¹. Дорн В., Ян В. — Формирование представлений и понятий при обучении географии. Перевод с немецкого И. М. Шрайбера. Под ред. Л. М. Панчешниковой. Изд-во «Педагогика», М., 1970, гл. 7 50.

ლოგიკური მსჯელობები, მათემატიკური თეორემების დამტკიცება და ა. შ. ამ შემთხვევაშიც ადგილი აქვს ადამიანის შეგნებული მოქმედების 6 ძირითად ეტაპს).

ა ლ ქ მ ა - ა ნ ა ლ ი ზ ი ს ე ტ ა პ ი. მასწავლებლის კითხვა მოქმედებს სმენის რთულ სისტემაზე—ყურზე, ბუნების მიერ ორგანულ ნივთიერებისაგან შექმნილ ერთგვარ მექანიკურ რეზონატორზე, რომელშიც „წინადადებათა შეთანხმება“ გარე სამყაროსთან (ჰაერი, წყალი, ხმაური, ტემპერატურა, წნევა და სხვ.) ურთიერთობისას მოხდა ევოლუციის რთულ და ხანგრძლივ პროცესში. ხმა გადაეცემა და დამუშავდება ასეთი სქემით: ყურის ნიჟარა → სასმენი მილი → დაფის აპკი → სასმენი ძვალი (ჩაქუჩი, გრდემლი, უზანგი) → შუა ყური → შიგნითა ყური → ყურის ლოკოკინა; ორ უკანასკნელშია განსაკუთრებული სითხე, დრეკადი, კუმშვადი, თმისებრი უჯრედები. სმენის ფუნქციასთან დაკავშირებულია სპირალური ფორმის ლოკოკინის ზემოთმდებარე სმენის ნერვის ბოქკოები (სმენის რეცეპტორები), სადაც ჩნდებიან ელექტრული იმპულსები; ისინი შეესაბამებიან მასწავლებლის ხმის სიმაღლეს, სიძლიერესა და ტემბრს. რეალური ლოკოკინა, რომლის აღნიშნული სითხე პრაქტიკულად არ იჭიმება, წარმოადგენს სამი ხეიისაგან შემდგარ სპირალს, დაახლოებით 35 მმ სიგრძით (ნაკლებია ხმის ტალღის სიგრძეზე).¹

ცნობილია, რომ ჰაერში ხმის გავრცელების სიჩქარე 37°C ტემპერატურაზე ტოლია 353 მ/წმ მლაშე წყალში — 1500 მ/წმ. თუ დავუშვებთ რომ ლოკოკინის სითხეში ტალღა ამ უკანასკნელი სიჩქარით ვრცელდება, მაშინ ლოკოკინის სიგრძე იქნება 1/4 ტალღის სიგრძისა 10 000 ჰერც სიხშირეზე (ჰერცი არის 1 რხევა 1 წამში). აგრეთვე ცნობილია, რომ ადამიანის ყური რეაგირებს 20-დან 20 000 ჰერცამდე სიხშირეზე. ამასთან კარგი მსმენელობის უნარი აქვს 300-დან 4800 ჰერცამდე. ეს ფაქტები მიგვითითებს, რომ ლოკოკინას არ შეუძლია რეზონანსში იყოს 10 000 ჰერცი სიხშირის ტალღაზე. რეზონანსის მოვლენა ხდება ე. წ. ბაზილარულ მემბრანაში, რომელიც ლოკოკინას ჰყოფს ორ ტოლ ნაწილად.

იმ 30 000 სმენის ნერვის ბოქკოდან, რაც ჩვენს ყურშია, ვღებულობთ სხვადასხვა ბგერის შესაბამისი უამრავი ელექტრული იმპულსის ერთობლიობას — კომპლექსს. ამ სიგნალის კომპლექსის გაშიფვრა ხდება აქტის შემდეგ, მეორე, ეტაპზე.

¹ Д е й ч С. — Модели первой системы. Перевод с англ. «Мир», М., 1970, гл. 200—207.

სიგნალთა კომპლექსის გადაცემა-გარდაქმნის ეტაპი. მასწავლებლის კითხვის შესაბამისი სიგნალების კომპლექსი ჩნდება შიგა ყურის ლოკოინაში დაბალი სიხშირის (ხმა) ტალღის დაშლის შედეგად. ამ კომპლექსშია თავმოყრილი დასმული კითხვის არა მარტო დედააზრი, არამედ ბევრი მეორეხარისხოვანი ინფორმაცია, რომელზედაც მოსწავლეები „თვალდახუჭული“ უპასუხებენ (რომელი მასწავლებელი იძლევა კითხვას, დღეს ის როგორ ხასიათზეა და სხვ.). აქ დასმული კითხვის აღქმა-ანალიზის პროცესის დროს თითქმის სქემატურად ჩამოვყალიბებთ შიგა ყურში მიმდინარე პროცესები. იგივეს ვერ ვიტყვი სიგნალთა კომპლექსის გარდაქმნის შესახებ, როცა ეს კომპლექსი სმენითი ორგანოებიდან ტვინში „ჩადის“. ამჟამად მრავალ მოწინავე ქვეყანაში რიგი სპეციალობის მეცნიერები (ფიზიოლოგები, მათემატიკოსები, ბიოფიზიკოსები, ფსიქოლოგები) იკვლევენ სიგნალთა კომპლექსის გარდაქმნის საკითხს.¹ პირველხარისხოვნად ჩაითვლებიან ის ფაქტები და ჰიპოთეზები, რაც მიმდინარეობენ ადამიანის, ასე ვთქვათ, „საინფორმაციო ცენტრში“, სადაც ხდება ჩვენს მიერ განხილული სიგნალთა კომპლექსი. ამჟერად ჩვენ რიგისდა მიხედვით განვიხილავთ თუ რა ხდება ზემოთ მოხსენებული მაგალითის მესამე შეგნებულ აქტში, ხოლო ხელოვნურ საინფორმაციო ცენტრის (გამომთვლელი მანქანის) შემადგენლობასა და მის ანალოგიას ცოცხალ „საინფორმაციო ცენტრთან“ აღვნიშნავთ ოდნავ მოგვიანებით.

ცოცხალ საინფორმაციო ცენტრში შერჩევის ეტაპი. ადამიანის ტვინის „საინფორმაციო ცენტრი“ წარმოადგენს ტვინის ქერქის უმაღლეს დონეს, ე. წ. ახალ ქერქს და მოთავსებულია ზურგის ტვინის ზედა ბოლოსთან. იგი დაკავშირებულია ტვინის ღეროსთან. აქვე შედის როგორც სმენის, ისე ყნოსვისა და მხედველობის რეცეპტორები — ერთგვარი მექანიზმები, რომელთა საშუალებითაც ხდება ინფორმაციის სიგნალთა კომპლექსის შეტანა — „საინფორმაციო ცენტრში“. „საინფორმაციო ცენტრს“ გადაეცემა სიგნალები 4 000 000-ზე მეტი რეცეპტორული უჯრედიდან. მათი მოვალეობაა ცენტრს მოა-

¹ იხ. ა) Freeman W a l t e r J. — Parallel processing of signal in neural sets as manifested in the EEG. „Int. J. Man Mach. Stud.“ №3, 7, 1975, გვ. 347.

ბ. იხ. Ч а в ч а н и д з е В. В. — Описание функционирования естественного интеллекта как задачи типа «блуждающий» в бинарных дискретных пространствах. Сообщения АН ГССР №2, 80, 1975, გვ. 41.

წოდონ ინფორმაცია სხეულის ამა თუ იმ ნაწილის ტკივილებზე, წნევაზე, ტემპერატურაზე და სხვ.

ტვინის სხეულში იმდენი ინფორმაციაა თავმოყრილი, რომ მახსოვრობისა და გარდაქმნის თითქმის არც ერთი უჩრდელი არაა თავისუფალიგამოიანგარიშეს, რომ სიფხიზლისას ადამიანის გრძნობის ორგანოები 1 წუთში გამოიმუშავენ არანაკლებ 10⁸ ელექტრულ იმპულსს. ბუნებრივია ერთბაშად, ერთ წუთში ასეთი უზარმაზარი რიცხვის სიგნალებზე ჩვენ ვერ მოვახდენთ რეაგირებას. ჩვენი მოქმედება ამ სიგნალებზე იქნებოდა არა გონიერი, რომ ისევ ბუნების მიერ შექმნილი მექანიზმები არ გვეხმარებოდეს. ამ სიგნალების ერთ ნაწილს გარდაქმნის ზურგის ტვინი (ესენია რეფლექტორული მოქმედების სიგნალები), მეორე ნაწილი სიგნალებისა მოქმედებს ტვინის ღეროზე. აქ ხდება სიგნალების (მაგალითად, მასწავლებლის კითხვის გარჩევა-დახარისხება, რის გამოც ქრება სიგნალთა ის ნაწილი, რომელიც არ შეიცავს განსაკუთრებით საინტერესო ინფორმაციას, ხოლო სიგნალთა ჯგუფი, რომელიც უნდა გადაეცეს ნერვულ ცენტრებს (მასწავლებლების მიერ დასმული კითხვის დედაარსი), თავისუფლად გადიან ამ თავისებურ „ფილტრში“. ამრიგად, ერთ წუთში სულ რაღაც 100 იმპულსი აღწევს უმაღლესი ნერვული სისტემის ცენტრამდე (ეს რიცხვი შეადგენს ორგანიზმის მიერ გამოიმუშავებულ იმ 100 მილიონი სიგნალის სულ რაღაც ერთ მემილიონედ ნაწილს), სადაც ხდება მათი „დამახსოვრება“.

ცნობილმა საბჭოთა ნეიროფიზიოლოგმა აკადემიკოსმა ივანე ბერიტაშვილმა გამოიკვლია რა მეხსიერების კონცეფცია და წარმოშობა, განასხვავა სამი სახის მეხსიერება: ხატოვანი, ემოციური და პირობით რეფლექსური.¹ დადგენილია, რომ ხატოვან და ემოციურ მეხსიერებაში დიდი როლი ეკუთვნის ახალ ქერქს. მაგალითად, როცა კატას მოაცალეს დიდი ნახევარსფეროების ქერქი, მთლიანად გაუქრა ხატოვანი მეხსიერება, ხოლო ემოციური მეხსიერება ძალზე დაუზიანდა. დამატკიცეს, რომ ცხოველებს აქვთ მხოლოდ ხანმოკლე ემოციური მეხსიერების უნარი, ხოლო ხანგრძლივი მეხსიერება კი ეკარგებათ.²

1. Бериташвили И. С. — Память позвоночных животных, ее характеристика и происхождение. Изд-во «Наука», М., 1974, გვ. 62—79.

2. Бериташвили И. С. — Нейрофизиология и нейропсихология. Избранные труды. Изд-во «Наука», М., 1975 г. гв. 614—633.

უკანასკნელი წლების მანძილზე გამოკვლევულ იქნა, რომ ადამიანის მარცხენა ნახევარსფერო წარმოადგენს ლოგიკურ-აბსტრაქტული აზროვნების ბაზას, ხოლო მარჯვენა — კონკრეტულ ხატოვანისა. ამ საკითხებზე მუშაობენ ი. სეჩენოვის სახელობის ევოლუციური ფიზიოლოგიისა და ბიოქიმიის ინსტიტუტში (ლენინგრადი), ინგლისელი ფსიქიატრი ს. კ ე - ნ ი კ ო ტ ი და სხვ.

ს ა ი ნ ფ ო რ მ ა ც ი ო ც ე ნ ტ რ ი დ ა ნ ს ა კ ი თ ხ ი ს გ ა - მ ო ც ნ ო ბ ი ს ე ტ ა პ ი. გარდაქმნილი სიგნალების კომპლექსი ორი „ა რ ხ ი თ“ გადის ტვინის სმენის ცენტრებში, იმ ნაწილებში, სადაც ხდება გარდაქმნილი სიგნალების კომპლექსის ბგერების შეცნობა (ეს ცენტრები მოთავსებულია შუბლის ორივე მხარეს). საგულისხმოა, რომ სიტყვების შეცნობისა და ხმარების ნიჭი ცხოვრების პირველ 5—6 წელიწადში გვიჩნდება. ამ დროს თავის ტვინის ქერქი სწრაფად იზრდება და ჩნდება მილიარდობით მახსოვრობის უჯრედები და ტრილიონობით მათ შორის კავშირები. ნერვულ ბოჭკოებში ჯერ კიდევ უცნობი წესით ხდება ბგერითი სახეების და მათი შინაარსობრივი მნიშვნელობის დამახსოვრება. ამ გარემოებას უშუალო კავშირი აქვს ჩვენს მაგალითთანაც. რაიმე ლოგიკური მსჯელობის (მასწავლებლის შეკითხვა) ან გამოცნობის დროს ადამიანის ტვინში აღვილი აქვს შედარების პრინციპს. შეკითხვის სახით „გარედან“ ახლახან მოსული სიგნალების კომპლექსის შედარება ხდება ტვინის მიერ აქამდე დამახსოვრებულ იმავე სახის კომპლექსთან. დამახსოვრება ერთი შეხედვით თითქოს უბრალო მოვლენაა, მაგრამ უნდა გავითვალისწინოთ, რომ ადამიანი იმახსოვრებს ხმების, ბგერების, უზარმაზარ რიცხვს და მათ შესაბამის გარკვეულ მნიშვნელობებს. მეცნიერებაში ჯერ კიდევ უცნობია ის მექანიზმი, რომლითაც ტვინში ხდება ბგერების, სიტყვების გამოცნობა.

მოდელირების დროს უშვებენ, რომ სმენის დიაპაზონი 20-დან 20 000 ჰერცამდე — დაყოფილია მცირერიცხოვან სიხშირულ ინტერვალებად, რომელთაც შეესაბამებიან სხვადასხვა სახის რეაქციები. ამისათვის არჩევენ რიცხვს 12, რომელიც შეესაბამება მუსიკალური ოქტავის ნოტების რიცხვს (7 — ბემოლი, 5 — დიეზი). თუ დაუშვებთ, რომ 30 000 სმენის ნერვული ბოჭკო თანაბრადაა განაწილებული ოქტავეების მიხედვით, მაშინ თითო ოქტავაზე გამოყოფილი იქნება 3 000 ბოჭკო, ე. ი. ოქტავის 12 ნოტზე გამოიყოფა 250 ნერვული ბოჭკო. თვლიან, რომ ადამიანის მიერ სახეთა გამოცნობის ამოცანაში ბოჭკოთა ასეთი სიმჭიდროვე საკმარისია.

შესაძლებელია ამ ეტაპზეც, როგორც კიბერნეტიკულ მანქანებში, არსებობდეს მონახვისა და შედარების პრინციპი, როდესაც ასეთი შედარება მოხდება მახსოვრობის უმცირესი უჯრედები — ნეირონები გამოსცემენ სიგნალთა კომპლექსს. ეს კომპლექსი იძლევა იმპულსებს ადამიანის აზროვნებითი შემოქმედების შემდეგი, მე -5 ეტაპისათვის.

პ ა ს უ ხ ი ს მ ო ფ ი ქ რ ე ბ ი ს ე ტ ა პ ი. აქამდე განხილულ ეტაპებზე ტვინი ფაქტიურად ავტომატურად მუშაობდა. მართლაც, საკითხის (მასწავლებლის შეკითხვა) აღქმისა და ანალიზის ეტაპიდან სიგნალთა ახალი კომპლექსის გამომუშავების პროცესში გონებისათვის შეგნებულად ძალის დატანება არ გვიხდება. პასუხის მოფიქრების ეტაპზე ასეთი ძალდატანება აუცილებელია. ეს ეტაპი შედგება მრავალი საფეხურისაგან. ეს პროცესი არ არის შედარებისა და მონახვის პროცესი, მაგრამ ის ახლოსაა საკითხის (მასწავლებლის შეკითხვა) დედაარსის გამოცნობის პროცესთან და მიმდინარეობს მასზე უფრო მაღალ დონეზე: პასუხის მოფიქრების ეტაპზე ფორმირდება მრავალი დამატებითი ქვესიგნალები, რომლებიც ან გამოირიცხებიან, თუკი არ შეიცავენ პასუხებისათვის სასარგებლო ინფორმაციას, ანდა პირიქით, რჩებიან აზროვნების ლოგიკურ ქსელში, თუკი მათი არსებობა ხელს უწყობს პასუხის გაცემას. მოფიქრების ამ რამდენიმე წამის განმავლობაში ჩვენი ნებით ფორმირებული ასეთი ქვესიგნალების (რაციონალური ასოციაცია) რიცხვი რამდენიმე ასეულს აღწევს. აქედან პასუხის მოფიქრების დროს ჩვენი აზროვნებითი მხედველობის წინაშე გაივლის მხოლოდ რამდენიმე ათეული ქვესიგნალი. მაგალითად, მოსწავლე დასმულ კითხვაზე პასუხის მოფიქრებისას წარმოიდგენს ძირითად ობიექტს — რუკას და მასზე მეზობელი სახელმწიფოების განლაგებას, შემდეგ კი აზუსტებს რუკაზე, თუ როგორ მოიკლანება მდინარე მტკვარი. მოფიქრების პროცესი მაშინ ჩაითვლება დასრულებულად, როცა ნაპოვნი პასუხი თავში ჩუმად შემოწმდება შინაარსითა და ფორმით. საინფორმაციო ცენტრი, რომელიც აქამდე მარტო თვალყურს ადევნებდა გარემოების მსვლელობას, შემოქმედების ამ ეტაპზე ნებას იძლევა, რომ ხმამაღლა წარმოითქვას უკვე გამოკვლეული პასუხი.

ამ ეტაპის ფორმირებაში დიდ როლს თამაშობს სუბიექტის (მოსწავლის) გარკვეული განწყობა მოცემულ მომენტში. ცნობილი ფსიქოლოგი დ. უზნაძე განწყობას უწოდებს „სუბიექტის მიერ მოთხოვნილების დაკმაყოფილების სიტუაციის ასახვას, ამ სიტუაციის შესაბამისად სუბიექტის

გადასხვაფერებას გარკვეული აქტივობისადმი მზადყოფნის სახით“¹. მაშასადამე, განწყობაზეა დაფუძნებული რეაქციის ციკლური მიმდინარეობა, მოსწავლის პასუხის შემოწმება და მისი არჩევა.

ზემოაღნიშნული ეტაპის მათემატიკური ანალიზისათვის აკადემიკოსმა ვ. ქ ა ვ ე ჯ ა ნ ი ძ ე მ გამოიყენა რა ავტომატების თეორიის მეთოდები, დაასაბუთა სუბიექტის განწყობითი ქცევის ავტომატური მექანიზმისა და გადაწყვეტილების მიღების მათემატიკური მოდელირების შესაძლებლობა. ამ მოდელს საფუძვლად უდევს სუბიექტის ფიქსირებული განწყობის ექსპერიმენტული მონაცემები.

პ ა ს უ ხ ი ს წ ა რ მ ო თ ქ მ ი ს ე ტ ა პ ი. გონებრივი აქტის პირველი ხუთი, აქამდე განხილული ერთგვარად „მუნჯი“ ეტაპი ორგანიზმში მოქმედების (ბრძანებების) მოსამზადებელი ეტაპი იყო. ამ დროს ტვინი ცენტრიდანულ ნერვულ ბოჭკოებს აძლევს მოქმედების დაწყების სიგნალებს. ამავე დროს ეს სხვადასხვა მოქმედებები ხდება მოცემული სიტუაციისათვის საჭირო განრიგით. პირველად ერთი სიგნალი ზურგის ტვინიდან გაივლის კორპუსის კუნთებში, რაც გამოიხატება იმაში, რომ მოსწავლე გაიმართება მერხზე. სხვა ფუნქციის მეორე სიგნალი კი გაიმართება მარჯვენა ხელის კუნთებისაკენ (მოსწავლე სწევს ხელს — იგი მზადაა საპასუხოდ). ამ მეორე სიგნალთან ერთდროულად სიგნალთა სხვა კომპლექსები გადაეცემა ხმის აღმძვრელ აპარატებს: ჭერ გულმკერდის კუნთებს გადაეცემა უბრალო სიგნალები და მოსწავლე ჩაისუნთქავს, შემდეგ ხმის აღმძვრელ სიგნალთა კომპლექსი ერთდროულად მართავს ხმის იოგებს, ენის, ყბისა და ლოყის კუნთებს. აქვე იწყება ამოსუნთქვა და მოსწავლე პასუხს წარმოთქვამს. საინტერესოა ასეთი მომენტი: ვთქვათ მოსწავლე იმდენად აქტიურია, რომ მას სურს წარმოთქვას პასუხი მანამდე, სანამ მასწავლებელი შენიშნავდეს პასუხისათვის მის მზადყოფნას. აქ, როგორც კიბერნეტიკულ მანქანებში, მოქმედებას იწყებს ინფორმაციის გაცემა — დამუხრუჭების აპარატი (შინაგანი და გარეგანი დამუხრუჭების მექანიზმის საკითხები გაშუქებულია ცნობილი ნეიროფიზიოლოგისა და ნეიროფსიქოლოგის ი ვ ა ნ ე ბ ე რ ი ტ ა შ ვ ი ლ ი ს მიერ, ხოლო თავის ტვინში ინფორმაციის დამუხრუჭების — „შეკავების“ ცენტრი აღწერა ცნობილმა ფიზიოლოგმა ი. ს ე რ ე ნ ო ვ მ ა).

ამ დროს მოსწავლე მზადაა წარმოთქვას სიტყვები, მაგრამ საინფორ-

¹ „მეცნიერება და ტექნიკა“, N 6, 1972, გვ. 17—19.

მაცხოვრებლის ცენტრის ბრძანებით „თავი შეიკავე!“ ხმის აპარატი ჩაკეტილია მანამ, სანამ მასწავლებელი არ გამოიძახებს მოსწავლეს; როცა უპასუხებს, რომ მტკვარი გაივლის თურქეთის, საქართველოსა და აზერბაიჯანის ტერიტორიაზე — მოსწავლე აკეთებს მცირე პაუზას და მაშინვე ემზადება ემოციური კმაყოფილებისათვის, რომელსაც ის ლებულობს მასწავლებლის ერთადერთი სიტყვის წარმოთქმასთან: „სწორია“. შემდეგ ამას მოსდევს ისევ პაუზა, სასიამოვნო ხასიათზე ყოფნა, რომელსაც კონტროლს უწევს შემდეგი შეკითხვისათვის მზადყოფნის აუცილებლობა.

მოყვანილ მაგალითთან დაკავშირებული შემოქმედებითი აქტის მოკლე სქემატური აღწერა მარტო წარმოდგენას გვაძლევს, თუ რამდენად რთულია ადამიანის ტვინის აგებულება, მისი შემოქმედებითი და ემოციური შესაძლებლობები. ერთი რამ ნათელია: გონებრივი მოქმედება დაკავშირებულია ინფორმაციის მიღებასთან, გარდაქმნასა და გადმოცემასთან სიგნალთა კომპლექსებით. ამ პროცესში აღსანიშნავია ორი გარემოება: ჯერ ერთი ის, რომ განხილული სქემის ცალკეული წრედები დაკავშირებული არიან მიზეზობრივ-შედეგობრივი კავშირით. მხოლოდ ასეთი კავშირის დროს ხდება სწორი პასუხის წარმოთქმა. მეორე გარემოებაა ის, რომ აქედან გამომდინარეობს ლოგიკური განვითარების ძირითადი იდეა, მიზეზიდან შედეგამდე. ამ დროს უამრავი ქაოტური აზრებიდან ხდება არასწორი აზრების უარყოფა, სწორად მიმდინარეობს შექმნა და ლოგიკურად მარტო სწორი დამტკიცების მოცემა.

პასუხის ფორმულირება ფაქტიურად არის შესასვლელ და გამოსასვლელ ინფორმაციებს შორის ლოგიკური კავშირის დამყარების პროცესი. მართლაც, მოსწავლემ მოყვანილ მაგალითში კიდევაც რომ დაიზებინოს პასუხი „იძლება-რაქცის“ წრედი მაინც არ შეიკვრება, ამ შემთხვევაში არ ხდება შესასვლელი სიგნალების კომპლექსების ლოგიკურად სწორი შედარება იმ სიგნალთა კომპლექსთან, რაც ჩვენს მახსოვრობაშია. როცა ვმსჯელობთ, ჩვენ უამრავ მიუწესრიგებელი აზრებიდან ლოგიკურად ვირჩევთ მარტო სად აზრს. ამრიგად ვხედავთ, რომ ტვინის — ბუნების ყველაზე სრულქმნილი, გაწაფული ბიოლოგიური მანქანის ძირითადი ლოგიკური ფუნქციაა ყოველგვარი არააზროვნულიდან აზროვნულის შექმნისა და გამოყენების ფუნქცია.

როგორც განხილული მაგალითიდან ჩანს, ტვინში ხდება ერთგვარი „შეცდომებისა და ცდის“ მეთოდის გამოყენება. განმტკიცდება ის ნერვული კავშირები, რომლებიც სასურველ შედეგს იძლევა. ტექნიკაში სწორედ ეს პრინციპი უდევს საფუძვლად მანქანათა სწავლებას: როცა

მანქანა იძლევა მცდარ პასუხს, მანქანის მუშაობი სპროგრამა მიმართავს „დასჯას“, თუ პასუხი სწორია — „წახალისებას“. უკანასკნელ შემთხვევაში მანქანა იმასსოვრებს ინფორმაციას და შესაბამისი ამოცანის მიცემისას ამ პასუხსავე იმეორებს. ამრიგად, ტვინის მოქმედების ერთ-ერთი კანონზომიერების იმიტაციის საფუძველზე შექმნილი კიბერნეტიკული მანქანა განამტკიცებს და მუდმივად იმასსოვრებს სასარგებლო კავშირებს ხოლო არასასარგებლოს სპობს.

თავის ტვინისა და კიბერნეტიკული მანქანის უჯრედთა ლოგიკის მსგავსება

მიუხედავად იმისა, რომ ტვინში მიმდინარე პროცესები განირჩევა ძალზე დიდი სირთულით, ნერვულ უჯრედებს შორის სიგნალის (ინფორმაცია) გადაცემის ლოგიკა ექვემდებარება ბუნებაში არსებულ ყველაზე უმარტივეს ლოგიკურ წესს: ნერვული უჯრედი „ატარებს“ ან „არ ატარებს“ ინფორმაციას, „ჩართულია“ ან გამორთულია“; საშუალოდ მდგომარეობა (ნახევრად ჩართულია ან ნახევრად გამორთული) არ არსებობს. მაშასადამე: ჩვენში არსებული მახსოვრობის ყველა 10—14 მილიარდი უჯრედის — ნეირონის მოქმედების პრინციპი ექვემდებარება ორობით ლოგიკას: ნეირონი აგზნებულ ან დამუხრუჭებულ მდგომარეობაშია (ჩართულია ან დამუხრუჭებულა). აქედან ჩანს ადამიანის აზროვნების ხის „ძირის“ — ლოგიკის სიმარტივე, მისი „ტოტების“ ურთულეს განშტოებაში კი იმალება გონების ფანტასტიკური სიძლიერე!

დღევანდელი კიბერნეტიკული გამოთვლითი მანქანების ელემენტების მოქმედების პრინციპი უმარტივეს ლოგიკას „კი“-სა და „არა“-ს ეყრდნობა, ე. ი. „აზროვნების“ (მახსოვრობა, გამოთვლები) ელემენტები „ჩართულია“ ან „გამორთულია“. ამრიგად, ადგილი აქვს ადამიანის ნერვული სისტემისა და ელექტრონული გამოთვლითი მანქანების უჯრედების მოქმედების პრინციპების თანხედენას. აქ საინტერესო ისაა, რომ ინჟინრებს, რომლებიც აგებდნენ პირველ ელექტრონულ გამოთვლით მანქანას (იხ. გვ. 67), არ აინტერესებდათ ტვინის ფიზიოლოგია.

ცოცხალ (ადამიანი) და არაცოცხალ (მანქანური) ტვინში ძირითადი „კი“ და „არა“ ლოგიკური პროცესების თანხედრა აღმოაჩინეს ბიოლოგებმა გაცილებით უფრო გვიან, როცა მათ შეადარეს მიღებული ფაქტები ელექტრონულ-გამოთვლით ტექნიკაში უკვე არსებულ ფაქტებთან.

ნერვული იმპულსების ელექტრული ბუნების გახსნაში დიდი როლი შეასრულეს გამოჩენილმა მეცნიერებმა ა ლ ა ნ ხ ო ჯ კ ი ნ მ ა (კემბრიჯის ინსტიტუტის ბიოფიზიკის პროფესორი), ე ნ დ რ ი უ ჰ ა კ ს ლ ი მ (ლონდონის უნივერსიტეტის პროფესორი) და ჯ ო ნ ე კ ლ ზ ი მ (ავსტრალიის უნივერსიტეტის ფიზიოლოგიის პროფესორი), რისთვისაც მათ 1963 წელს ნობელის პრემია მიენიჭათ. მათ აღმოაჩინეს, რომ ორგანიზმში ელექტრული დენის მატარებლებს წარმოადგენენ იონები. ეს მოვლენა ანალოგიურია ელექტროქიმიური რეაქციების დროს დენის გამტარებლობისა იონების საშუალებით. ამასთან, უჯრედის შიგნით ძირითადი ელექტროლიტია კალიუმის მარილი, უჯრედულ სითხეში კი ნატრიუმის მარილი (ნოჯინისა და ჰაკსლის ე. წ. ნატრიუმის თეორია). აღმოჩნდა, რომ ნერვული იმპულსის გადაცემაში მონაწილეობენ არა მარტო კალიუმის იონები და ანიონები, არამედ ნატრიუმისა და ქლორის იონები (მართლაც, ორგანიზმში ბევრია ნატრიუმისა და ქლორის იონები, ამაზე მიუთითებს ის, რომ სისხლი გემოთი მლაშეა). დიფუზიის კანონით, როგორც ცნობილია, კალიუმი ცდილობს უჯრედიდან გამოვიდეს და მაშინ უჯრედში გაჩნდება შესაბამისი რაოდენობის ანიონების სიჭარბე. მაშასადამე, უხილავ მემბრანაში, რომელიც შიგნითა მხრიდან გარს ერტყმის უჯრედს, გაჩნდება პოტენციალთა სხვაობა: გარედან პლუსი კათიონების სიჭარბის გამო) და შიგნიდან კი მინუსი (ანიონების სიჭარბის გამო) პოტენციალები. (აღზნება-დამუხრუჭების პროცესების დროს მახსოვრობის უჯრედებში მიმდინარე ფიზიკურ-ქიმიური ცვლილებები ამტკიცებენ ასეთი მემბრანის არსებობას. ის გარემოება, რომ მემბრანა მიკროსკოპში არ ჩანს, დასავლეთ ქვეყნების ზოგიერთი ნეიროფიზიოლოგის რწმენის ერთ-ერთ ძირითად სიმბოლოს წარმოადგენს).

პოტენციალთა ამ სხვაობას საბჭოთა მეცნიერმა ნ. ბ ე რ ნ შ ტ ე ნ ი ნ მ ა უწოდა სიმშვიდის (წონასწორობის) პოტენციალი. იგი დაახლოებით ადგენს 0,07 ვოლტს. ამრიგად, სიმშვიდის (ნეირონების დამუხრუჭებულ მდგომარეობა, ან ოპერაცია „არა“-ს დროს უჯრედის შინაგანი ნაწილი ყოველთვის უარყოფითადაა დამუხრუჭებული, ვიდრე გარეთა ნაწილი (ხსნარი). აღნიშნულმა ავტორებმა დაამტკიცეს, რომ უჯრედების აგზნებული მდგომარეობის (ნეირონის ჩართული მდგომარეობა, ან ოპერაცია „კი“-ს დროის პირველ მომენტში მემბრანაში ნატრიუმის იონების გამტარებლობა დიდია მემბრანაშივე არსებული ე. წ. გადამტანი მოლეკულის არსებობის გამო. მემბრანის გამსჭვალვა ნატრიუმის მიერ ათეულჯერ მეტია, ვიდრე კალიუმის მიერ, და რადგანაც ნატრიუმი 5—10-ჯერ

მეტია მახსოვრობის უჯრედის გარეთ, ვიდრე მის შიგნით, ნატრიუმის იონები ცდილობენ ამ უჯრედში შეღწევას. სწორედ ამ დროს უჯრედის შინაგანი ქსოვილი იქნება დადებითად დამუხტული. აგზნებული მდგომარეობის დაწყებიდან დაახლოებით 0,001 წამის შემდეგ აღდგება წონასწორობა: კემბრანა იწყებს კალიუმის იონების გატარებასაც. ეს უკანასკნელნი აკეთებენ იმ დადებითი მუხტების კომპენსირებას, რაც შინაგან ქსოვილში ნატრიუმის იონების შესვლის შედეგად გაჩნდა. უფრო მეტიც, ნატრიუმისა და კალიუმის იონების ასეთი მოძრაობების შედეგად აგზნებული მდგომარეობის დროს უჯრედის ელექტრული მუხტი არამცთუ ნულოვან პოტენციალს აღწევს, არამედ პრაქტიკულად მისივე (0,001 წამზე უფრო ადრე) ლებულობს. უარყოფით 20 მილივოლტ პოტენციალს. პოტენციალის ეს მომენტალური ცვლილება წარმოადგენს ნერვულ იმპულსს, რომელიც ფორმით სინუსოიდის ზედა ნახევარს მოგვაგონებს. მისი ხანგრძლივობაა 0,001 წამი. როდესაც აგზნებული მდგომარეობა „ჩაქრება“, უჯრედის შიგნიდან ადგილი აქვს ნატრიუმის ამოქაჩვას და უჯრედში კალიუმის ჩადენას. ეს ხდება მანამდე, სანამ ისევ აღდგებოდეს 70-მილივოლტიანი დადებითი პოტენციალი. ამრიგად, აგზნებული მდგომარეობის დროს 0,001 წამის განმავლობაში ჩვენი მახსოვრობის უჯრედებში გადის უარყოფითი 20 მილივოლტი ამპლიტუდის მქონე იმპულსი, ხოლო დამუხრუჭებულ მდგომარეობაში კი ეს უჯრედი დაახლოებით დადებითი 70-მილივოლტი პოტენციალითაა დამუხტული (პრაქტიკულად ესაა 50-დან 80 მილივოლტამდე პოტენციალი). აზროვნების დროს ადგილი აქვს ნატრიუმისა და კალიუმის იონების ჩადენას და გამოდენას და, მაშასადამე 20 მილივოლტიანი იმპულსის დიფუნდირებას მახსოვრობის იმ უჯრედებში (ან უჯრედებს შორის კავშირებში — სინაპსებში), სადაც მყარდება გონიერი მსჯელობის მისაღწევი ლოგიკური, ელექტრო-ქიმიური კავშირი. აქ საყურადღებოა ნერვული ელექტრობის კიდევ ერთი თვისება. მახსოვრობის უჯრედებს — ნეირონებს ახასიათებთ ე. წ. აგზნების ზღვრული ღონე. თუ ნეირონი არაა აგზნებული, ხოლო მის მრავალ შესასვლელ „არხზე“ (დენდრიტები) ერთდროულად არსებული სიგნალების ჯამი არ აღემატება ამ ზღვრულ ღონეს, ნეირონი არ გადასცემს აგზნების სიგნალს არცერთ სხვა უჯრედს, ის გადასცემს მხოლოდ „დამუხრუჭების“ სიგნალს. მაგალითად, ნეირონებს შორის იმ დროებითი კავშირების — სინაპსების აღდგენა, რომლებიც იმუშავენ გადასაცემი სიგნალის მხოლოდ დამუხრუჭებისათვის.

ნერვული სისტემის ბოქკოებში სიგნალების ყველაზე სწრაფი გავრ-

ცვლება უდრის დაახლოებით 150 მეტრს წამში. ელექტრონული გამოთვლითი მანქანების წრფივ გამტარებში სიგნალი ვრცელდება დაახლოებით $C/3$ (C — არის სინათლის სიჩქარე), ე. ი. 100 მილიონი მეტრი წამში სიჩქარით. საყურადღებოა, რომ აქედან არ გამომდინარეობს ის დასკვნა, თითქოს მანქანა 1 000 000-ჯერ უფრო სწრაფად მუშაობდეს, ვიდრე ადამიანი. მოყვანილი სიჩქარე 100—500-ჯერ და მეტად მცირდება მანქანებში სიგნალთა კომპლექსების ელექტრულ „უჭრედებში“ (დამახსოვრების ელემენტები, ტრანზისტორული სქემები) ფორმირებისა და დაყოვნების გამო. ამ საკითხებთან დაკავშირებით, ქვემოთ უფრო ვრცლად ავლნიშნავთ ადამიანისა და მანქანის, როგორც ინფორმაციის გარდამქმნელ საშუალებათა ნაკლსა და ღირსებას.

ალგორითმების „ცოცხალი“ სისტემა

ბუნებრივია, გვინტერესებს საკითხი, რა წესით და მიმდევრობით ხდება ტვინში ინფორმაციის დამუშავება — ე. ი. როგორია ტვინის მუშაობის ალგორითმი (ალგორითმს ზუსტ მეცნიერებებში უწოდებენ გამოთვლის ისეთ სისტემას, რომელთა გარკვეული მიმდევრობით გამოყენებას მიყვავართ დასმული ამოცანის ამოხსნამდე). ამ საკითხში სიზუსტე და ერთიანობა ჯერაც არაა მიღწეული. ნეიროფიზიოლოგები და მათემატიკოსები ამტკიცებენ, რომ თავის ტვინი იყენებს სხვადასხვა სირთულის ალგორითმებს. ეს ალგორითმები ერთმანეთთან გარკვეულ ლოგიკურ კავშირშია. უმაღლესი დონის (რივის) პროგრამა აფორმირებს და აზუსტებს ქვემდგომის პროგრამას. პირველი დაბალი დონის პროგრამა არსებითად წარმოადგენს ცხოველების უბრალო მოქმედებას — რეფლექსების გამოუმუშავებას. უფრო მაღალი, მეორე დონის პროგრამა ქმნის წესებს, რომლის გამოც შეიძლება მიზანშეწონილი მოქმედების ახალი ფორმები გაჩნდეს. მესამე დონე ქმნის თვითსწავლების ალგორითმებს. სწორედ ამ დონით განსხვავდება ადამიანი სხვა ცოცხალ ორგანიზმისაგან. ეს დონე მარტო ადამიანს გააჩნია. ტვინის, როგორც ცოცხალი კიბერნეტიკული მექანიზმის აგებულების შესასწავლად, გამოკვლევებს აწარმოებენ არა მარტო ადამიანებზე, არამედ ცხოველებზეც.¹ ჩვენ

¹. აბ. Б е р и т а ш в и л и И. С.—Память позвоночных животных, ее характеристика и происхождение. Изд-во «Наука», М., 1974, გვ. 7.

არ შევედგებით ყველა ასეთი ცდის ჩამოთვლას. (სირთულის გამო ხშირად ფიზიოლოგიურ ცდებში იყენებენ ელექტრონულ გამომთვლელ მანქანებს და სხვა თანამედროვე ტექნიკას. მაგალითად, ნეირონთა თანმიმდევრული აგზნების აქტივობის გამოკვლევისათვის იყენებენ ეკრანიან ანბანურ-ციფრულ პულტს „სინათლის ფანქარით“ (ე. წ. დისპლეი), რომელიც ჩართულია გამომთვლელ მანქანასთან „პ დ ს/1 დ“. ამ ცდებში მანქანებს იბმ 360/91 და დ ე კ პ დ 3/12“ იყენებენ მონაცემთა დასამუშავებლად)¹.

აღვნიშნავთ ფიზიოლოგიური ცდების შედეგების მხოლოდ ზოგიერთ მთავარ მომენტებს იმისათვის, რომ ზოგადად გავერკვეთ აზროვნების ფუნქციების ტექნიკაში. თუ ი. პ ა ე ლ ო ვ ი ს საყოველთაოდ ცნობილ ცდებს ცხოველებზე დაეუბირისპირებთ ადამიანის აზროვნება-მოქმედების აქტს რაიმე გარკვეულ სიგნალებზე, დავინახავთ, რომ ადამიანის ტვინი არ შემოიფარგლება უაზრო „გამომთვლელის“ როლით, რომელიც პასუხობს ამ სიგნალებზე. მართლაც, ცხოველები საკმლის მიღებაამდე პასიურად უცდიდნენ მომენტს, თუ როდის აინთებოდა სინათლე. ადამიანი ასეთ სიტუაციაში თვითონ გენერირებდა („უხზობდა“) ახალ სიგნალებს. ამიტომ რასაკვირველია, ადამიანში რეფლექსები უფრო ჩქარა ფორმირდებოდა. გარდა ამისა, აღმოჩენილია, რომ ამ სიგნალების მოქმედებაში დატულია მკაცრი სუბორდინაცია: უმაღლესი დონის ამგზნები ჩართავს აქამდე გამომუშავებული რეფლექსების სისტემას, მეორენი, უფრო დაბალი დონის ამგზნებები კი — ამ სისტემის რეფლექსების ცალკეულ წრედებს. რეფლექსების ასეთ წრედებს მიეკუთვნებიან, მაგალითად, ზემოთ განხილული ეფექტორული ან მოტორული ნეირონები, სხვადასხვა სახის რეცეპტორები და სხვ. ამრიგად, ყოველ ჩამრთავ სიგნალს მხოლოდ მაშინ შეუძლია წრედების მოქმედებაში მოყვანა, როცა „ზემდგომის“ განკარგულებას მიიღებს.

უნდა აღვნიშნოთ ერთი საინტერესო კანონზომიერება, რაც აღმოაჩინეს ახალი პროგრამის ფორმირების შესწავლისა და კვლევის პერიოდში. აზროვნების დროს ადგილი აქვს პირობითი რეფლექსების დროებითი სისტემის წარმოქმნას, რითაც მიღწეულია დასმული ამოცანის საშუალოდ შედეგები. როგორც დაამტკიცეს, ეს „დროებითი“ რეფლექსები

¹ იხ. Sclabassi R. J., Buchess R., Esirin T. — Interactive graphics in the analisis of neuronal spike train data. „Proc. Conf. Comput. Graph Patter Fecogn. and Data Struct“, 75“, New-York. 1975, გვ. 62—81

სამუდამოდ კი არ ქრებიან, არამედ მხოლოდ მუხრუჭდებიან, და როცა ახალი ამოცანის ამოხსნაა საქირო, ტვინი უკვე სარგებლობს მზა აზროვნების „გვეგმით“. ამ ფაქტს უდიდესი მნიშვნელობა აქვს. იგი აღნიშნავს, რომ ამოცანის საერთო მსვლელობის ჩასატარებლად ტვინში ფორმირდება აზროვნების ქვეპროგრამები, რის გამო ტვინს არ უხდება საკითხის თავიდან გადაჭრა, იგი ერთბაშად ახლოს აადამულ საკითხთან.

ამრიგად, ზუსტად არ არის დადგენილი ის მექანიზმები, რომლის საშუალებითაც ხდება ტვინის ინფორმაციული ცენტრების ფუნქციონირება. მაგრამ ზემოთ ხსენებული მოსაზრებები გვაძლევენ ამ საკითხის ერთ-ერთ შესაძლო ამოხსნას. სწორედ აქ, ადამიანის ტვინში პროგრამული მართვის დროს, საქმე გვაქვს ადამიანის მახსოვრობის საიდუმლოებასთან. ადამიანის მახსოვრობა რომ არ იყოს, არ იარსებებდა ადამიანის გონებაც. იმავე გარემოებას ადგილი აქვს ხელოვნური ტვინისათვისაც. გამოთვლითი მანქანა ვერასდროს ვერ გააკეთებს ბუნებრივი ტვინის იმიტაციას, თუ მას არ ექნა მახსოვრობის უჭრედები. რაც უფრო დიდი ტევადობისაა ასეთი მახსოვრობის უჭრედები, მოქნილია ლოგიკური კავშირები და წესები, მანქანური აზროვნება მით უფრო დაუახლოვდება ადამიანის ბუნებრივ აზროვნებას.

ნერვული სრუპბურის ელემენტების ბანიაური მოდელი

სანამ განვიხილავდეთ ნერვული სისტემის მოდელირების ძირითად მიმართულებებს, გვარკვეოთ, თუ რას ნიშნავს მოდელი. რაიმე სისტემის მოდელი ეს ისეთი სისტემაა, რომელიც პროფ. ნ. დ. ნიუბერგის სიტყვებით ზოგიერთი არსებითი თვისებებით არ განსხვავდება იმ სისტემისაგან, რომლის მოდელსაც ვაღგენთ, მაგრამ განსხვავდება „არარსებითი“ თვისებებით. სისტემის (ობიექტის) მოდელის თვისებებში ვგულისხმობთ მის ყოფაქცევას გარკვეულ ვითარებაში, გარემო პირობებში. ამ შემთხვევაში საკმაოდ ძნელია სისტემის ან ობიექტის არსებითი და არარსებითი თვისებების კლასიფიცირება, მითუმეტეს მაშინ, როცა სისტემაში იგულისხმება ცოცხალი არსება.

იმაზე, თუ ობიექტის რა თვისებების გამოკვლევა აინტერესებთ, დამოკიდებულია მოდელის ძირითადი, არსებითი თვისებების გამოყოფა. ამასთან, სამოდელო თვისებების მოკულობა და სიღრმე განსაზღვრულია დასმული ამოცანებით. სისტემის ან ობიექტის ზედმიწევნითი სისრულის მოდელის შედგენას რასაკვირველია, მიეყავართ უაზრობამდე. ავიღოთ თუნდაც თავის ტვინის ზედმიწევნითი სრული მოდელის აგების მაგალითი, ნორბერგის წერდა¹: ვინც ნერვულ სისტემას

1 ი. В. Нер Н.—Кисернетика или управление и связь в животиом и машинс. Изд-во „Советское радио“, М., 1958 გვ. 17.

სწავლობს არ შეუძლია დაივიწყოს აზროვნება, ხოლო ვინც აზროვნებას სწავლობს, მუდამ უნდა ახსოვდეს ნერვული სისტემა. თავის ტვინის მოდელირების ამოცანაზე მუშაობის დროს კიბერნეტიკოსებმა მიახლოებით იციან ტვინის აზროვნებითი ფუნქციები და მის მოდელს ადგენენ (ასეთი მოდელია, მაგალითად ეცგ მანქანა). რასაკვირველია, ასეთ პრობლემაზე მომუშავე კიბერნეტიკოსისათვის უაზრო იქნებოდა თავის ტვინის ყველა ნეირონისა და ნეირონთა ბადის ფუნქციების მოდელირება, როგორცაა ორგანიზმის სხვადასხვა უპირობო რეფლექსები და სხვ., რომლებიც სრულებით არ არის აუცილებელი გააჩნდეს ეცგ მანქანას ან სხვა თვითმარგანიზებელ კიბერნეტიკულ სისტემას. ამასთან ერთად, თუ სამოდელო სისტემიდან გამოვყოფთ ძირითად ფუნქციონალურ თვისებებს, მათი მოდელის შედგენისათვის შეიძლება გამოყენებულ იქნას მოდელირების სხვადასხვა მექანიზმი. ამ შემთხვევაში, რასაკვირველია, სრულებით არ არის აუცილებელი მოდელი გარეგნულად ჰგავდეს თავის სამოდელო სისტემას, მთავარია ეს მექანიზმები ერთნაირად (ზუსტად რომ ვთქვათ, „თითქოს ერთნაირად“) ფუნქციონირებდნენ.

ამჟამად ნერვული სტრუქტურის მოდელირების პრობლემა სამი ძირითადი მიმართულებით ვითარდება.

I. პირველი მიმართულება დაკავშირებულია მახსოვრობის ელემენტარული უჯრედის — ნეირონის თვისებების მათემატიკურ აღწერასთან. ამასთან ცდილობენ ნეირონის ბადის ისეთი რთული სურათის მათემატიკურ გამოსახვას, რომელშიც იგულისხმება ნეირონთა და ნერვულ ბოჭკოთა მოცემული კომპლექსური თვისებები. ამ მიმართულებით მომუშავეთაგან ერთ-ერთი პირველთაგანნი, ამერიკელი მეცნიერის ნ. რა-შევისის შემდეგ, იყვნენ კემბრიჯის უნივერსიტეტის ბიოფიზიკის პროფესორი ა. ლ. ხოჯკინი და ლონდონის უნივერსიტეტის ფიზიოლოგიის პროფესორი ე. ფ. ჰაკსლი, რომელთაც 1963 წ. ბიოლოგიის დარგში მიენიჭათ ნობელის პრემია.

ნეირონისა და აქსონის თვისებების მათემატიკური გამოსახვისათვის მათ გამოიყენეს ნერვული იმპულსების გამტარებლობაში მემბრანული თვისებისა და მექანიზმების არსებობა.

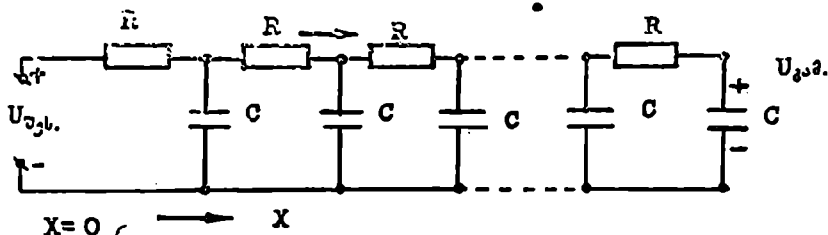
ცნობილია, მაგალითად, დენის სიმკვრივის I გამოსახულება ნერვული ქსოვილისათვის, რომელიც მოთავსებულია დიდი მოცულობის სითხეში

$$I = \frac{a}{2R} \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial r^2},$$

სადაც a არის აქსონის რადიუსი, r — ნეირონის რადიუსი, R — აქსონის წინაღობა, u — მემბრანის პოტენციალი (იგულისხმება, რომ ყველა უჯრედს აქვს მემბრანა).

ამ მიმართულებით მომუშავე ავტორები ცდილობენ ზედმიწევნით აღწერონ ნეირონში სიგნალის გასვლის პროცესი სივრცული და დროითი შეკრების, დროითი მუდმივების, იონური შეღწევალობის და სხვა პარამეტრების საშუალებით.

ზოგიერთი ავტორი ნერვული ბოჭკოს მოდელს განიხილავს როგორც სპეციალურ გამტარს — კაბელს, რომელსაც აქვს R წინაღობა და C ტევადობა (ნახ. 4), ნერვულ ბოჭკოში t დროს x მიმართულებით ვრცელდება მოკლე ხანგრძლივობის იმპულსი (ე. წ. „სპაიკი“ იხ. მაგალითად, იმპულ-



ნახ. 4. ნერვული ბოჭკოს, როგორც კაბელის ტიპის გამტარის ელექტრონული მოდელი.

სი (7) ნახ. 3, ა-ზე). ძაბვა u და დენი i დამოკიდებულია t დროზე და მიმართულების ყოველ წერტილზე, ე. ი. წარმოადგენენ დროისა და x -ის ფუნქციას. ამ ფუნქციას აქვს ასეთი სახე:

$$U = \frac{x}{2l} \sqrt{\frac{RC}{\pi t}} \cdot e^{-x^2 RC/4t}.$$

იმისათვის, რომ ნერვულ ბოჭკოებში სიგნალის ფორმა U არ იყოს დამოკიდებული ქსოვილის სიგრძეზე, U -ს ფორმულაში საჭიროა გამოირიცხოს x . შემოაქვთ აღნიშვნები (ს. დ ე ი ჩ ი, 1968):

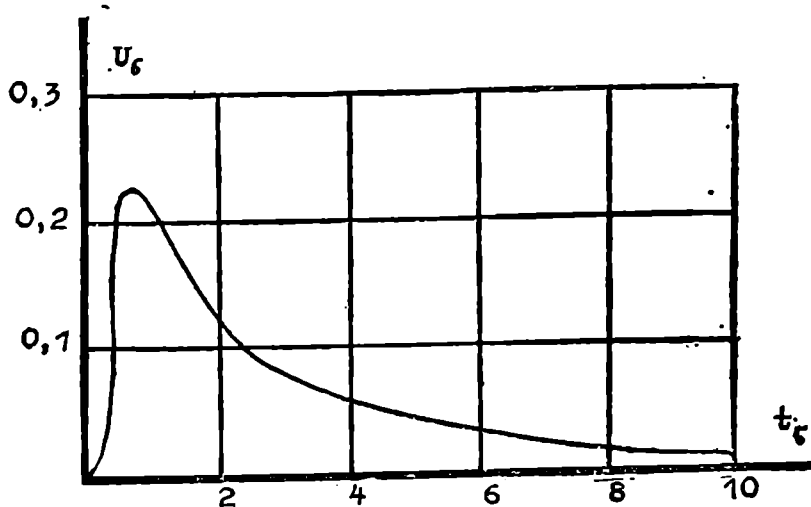
$$t = \frac{1}{4} x^2 RC l_0 \quad \text{და} \quad [u = \frac{4U_0}{x^2 RC},$$

სადაც l_0 და U_0 არის სიდიდეები, რომელთაც განზომილება არა აქვთ (რადგანაც R და C განსაზღვრულია მხოლოდ ერთეული სიგრძისათვის,

ამიტომ ნამრავლს RC აქვს არა დროის განზომილება, არამედ დრო გაყოფილი სიგრძის კვადრატზე). ამ შემთხვევაში:

$$U_{\sigma} = \frac{1}{t_{\sigma} \sqrt{\pi t_{\sigma}}} e^{-\frac{1}{t_{\sigma}}}$$

როგორც ამ ფორმულიდან ჩანს, ნერვულ ბოჭკოში გამავალი სიგნალის ფორმა არ იცვლება x მიმართულების არც ერთ წერტილში (ნახ. 5). ამგვარ შედეგს დიდი მნიშვნელობა აქვს ნერვული სისტემის მოდელირების საკითხში.



ნახ. 5. ნერვულ ბოჭკოში გამავალი სიგნალის ფორმა.

ნერვულ ბოჭკოს მოდელში, თუ მისი დიამეტრია 1 მიკრონი, 1 სმ სიგრძეზე წინალობის სიდიდე $R=25\ 000$ მილიონ ომს, ხოლო ტევადობა $C=139$ პიკოფარდი, მიიღება, რომ $x=0,03$ სმ. ნერვული ბოჭკოს სხვა პარამეტრები მოცემულია შემდეგ ცხრილში (ს. დეიჩი, 1970).

ნერვულ სისტემაში, და კერძოდ, თავის ტვინის „საინფორმაციო ველებში“ მიმდინარე პროცესების ზედმიწევნითი მათემატიკური აღწერა შეუძლებელია თავის ტვინის აპარატის ძალზე დიდი სირთულისა და მასში მიმდინარე პროცესების ჭერ კიდევ შეუცნობელი მექანიზმის გამო. ნერვული სისტემის ზუსტი მექანიზმის დადგენისა და შესაბამისი ახალი მათემატიკური აპარატის შექმნით შესაძლოა გადაწყდეს ნერვული

ბოქოს პარამეტრები	მინიმალური	მაქსიმალური
გარსის სისქე	0,01 მიკრონი	0,01 მიკრონი
მიკა დიამეტრი	0,3 მიკრონი	1,3 მიკრონი
იმპულსის გასვლის სიჩქარე	0,52 მ/წმ	2,25 მ/წმ
იმპულსის ხანგრძლივობა	0,002 წმ	0,002 წმ
იმპულსის გავრცელების მაქსიმ. სიხშირე	250 ჰერცი	250 ჰერცი
ტევადობა	42 პიკოფარდი	181 პიკოფარდი

სტრუქტურის თეორიული მოდელირების პრობლემა. ამ შემთხვევაში საინტერესოა დიდი მეცნიერის, დანიელი ფიზიკოსის ნილს ბორის ლაკონური მტკიცება, „... შეიძლება მოვიფიქროთ ნებისმიერი მოცემული სახის რეაგირების მოდელი, მათ შორის საკუთარი კვლავწარმოები-საც“¹.

II. ნერვული სტრუქტურის მოდელირების მეორე მიმართულება დაკავშირებულია ნეირონის წარმოდგენაზე ზღურბლური დონის მქონე გადამრთველი სქემის სახით. ასეთ სქემებს ახასიათებთ ორი მდგომარეობა „ჩართული“ ან „გამორთული“ და „გადართული“ (გამტარებლობა). ეს უკანასკნელი მყარდება მაშინ, როცა ნეირონის შესასვლელი სიგნალების ალგებრული ჯამი მეტია ვიდრე ნეირონის ზღურბლური მდგომარეობა (პოტენციალი); ამასთან, შესასვლელი სიგნალები შეიძლება იყოს როგორც დადებითი (აგზნება), ასევე უარყოფითი (დამუხრუჭება). მოდელირების ამ მიმართულების ფუძემდებლები არიან ამერიკელი მეცნიერები უ. მ ა კ - ა ლ ო ხ ი და უ. პ ი ტ ს ი. მათ 1943 წ. შემოიტანეს ნეირონის ისეთი მოდელის ცნება, რომელიც აგებულია მათემატიკური ლოგიკის კანონებით. მათი დამსახურებაა ის, რომ აღმოაჩინეს მათემატიკური ლოგიკისა და ნერვული უჯრედების ფუნქციონირების ეკვივალენტობა. ნიშანდობლივია, რომ ეკვივალენტობის ამ ფაქტით აღინიშნება ე ც გ მანქანის მუშაობა. ირონიაა, რომ ვიდრე ინჟინრები ააგებდნენ პირველ ე ც გ მანქანას, ამ ფაქტის შესახებ არაფერი იცოდნენ.

1. იხ. Б о р Н. — Атомная физика и человеческое познание. Изд-во «Иностран. лит.» М., 1961 გვ. 8.

მ ა კ - კ ა ლ ო ხ მ ა და პ ი ტ ს მ ა ნეირონი წარმოადგენს როგორც ლოგიკური გადამრთველი მოწყობილობა¹, ე. წ. „ფორმალური ნეირონი“, რომელიც აქსიომატურად ხასიათდება შემდეგი თვისებებით:

ა) ნეირონის მუშაობა ხასიათდება კანონით „არაფერი ან ყველაფერი“;

ბ) ნეირონის აგზნებისათვის საჭიროა აგზნებულ იქნას გარკვეული ფიქსირებული რაოდენობა სინაპსებისა, რომლებიც არაა დაკავშირებული ნეირონის მდგომარეობის წინაისტორიაზე;

გ) დროის ერთეულში ადგილი აქვს გამავალი სიგნალის სინაპტიკურ დაყოვნებას;

დ) დამამუხრუჭებელი სინაპსის აგზნებით არ ხდება ნეირონის აგზნება, მიუხედავად ამგზნები სინაპსების აქტიური მდგომარეობებისა;

ე) ფორმალური ნეირონის სტრუქტურა დროის მიხედვით არ განიცდის ცვლილებას.

ფორმალური ნეირონის სქემა დააზუსტეს და განავითარეს სხვა მეცნიერებმა (ს. კ. კლინი, დ. ტ. კალბერტსონი, ჯ. ფონ ნეიმანი, ე. ვ. ჰავჰანიძე, ი. ტ. მეღვინევი და სხვ.). კერძოდ, ფორმალურ ნეირონში თავდაპირველად არ იყო გათვალისწინებული დამუხრუჭების ბოჭკოს თვისებები, აგრეთვე ის გარემოება, რომ ნეირონი მუშაობს არა მხოლოდ ერთი გარკვეული ფუნქციის შესასრულებლად, არამედ მონაწილეობას ღებულობს თავის ტვინში მიმდინარე ფიზიკო-ქიმიურ გარდაქმნებში.

მ ა კ - კ ა ლ ო ხ ის ა და პ ი ტ ს ის ფორმალური ნეირონის თეორიის განვითარებაში დიდი როლი ენიჭება „ერთიან ზემოქმედებას“ მთელ სისტემაზე. ამ საკითხებზე მომუშავე სპეციალისტების შრომებიდან პირველ ყოვლისა, აღსანიშნავია საქართველოს სსრ მეცნიერებათა აკადემიის ნამდვილი წევრის ვ. ჰავჰანიძის მიერ დამუშავებული ფიზიკური მოდელების თეორია. მან ფიზიკური ველების ანალოგიაზე დაყრდნობით შემოიტანა სივრცე-დროითი საინფორმაციო ველის ცნება. ამ „აზროვნებითი“ ველის აღწერა შესაძლებელი გახდა ფიზიკური ველის თეორიისა და კვანტური მექანიკის ფორმალური აპარატის გამოყენებით. ვ. ჰავჰანიძის ცნობილი მეთოდებით შესაძლებელია რეალური და ფორმალური ნეირონებისა და ტვინის მახსოვრობის მთელი სისტემის

¹. Ма-к-Каллох, У. Питтс, В. — Логическое исчисление идей, относящихся к нервной активности. Сборник «Автоматы» М. Л. 1956, გვ. 362—384.

აღწერა, აღწერა იმ ურთულესი პროცესებისა, რომელიც ხელოვნური ტვინის მოდელირების საშუალებას გვაძლევს. მანვე შემოიტანა სივრცე-დროითი ავტომატის ცნება და აჩვენა თეორიის კავშირი მათემატიკურ ლოგიკასთან, ინფორმაციის თეორიასთან და მართვის პროცესებთან. როგორც ზემოთ აღვნიშნეთ, ტექნიკური მოდელირების საბოლოო მიზანია სისტემის ან ობიექტის ძირითადი თვისებების მქონე ფუნქციონალური მოწყობილობის აგება. ამიტომ ნეირონის ტექნიკური მოდელის აგებისათვის არ გამოვიყენებთ ნეირონის ისეთ თვისებებს, როგორიცაა ნივთიერებათა ცვლა, ნერვული იმპულსის გენერაციის შემდეგ აღდგენითი პროცესის ასახვა და სხვ. გვინტერესებს მხოლოდ ის პროცესები, რაც დაკავშირებულია ნეირონში ინფორმაციის გავლასთან, კერძოდ, ზემოაღნიშნულის ანალოგიურად ნეირონში (ნახ. 3, ა ბ) ინფორმაციის გატარების პროცესები. დამუშავებულია მრავალი სახეობის ტექნიკური მოდელები (მაგალითად, ამერიკელი ინჟინერი ლ. დ. ჰარმონი — 1958, საბჭოთა მეცნიერი ნ. ვ. პოზინი 1970 და სხვ.). ინფორმაციის გადამუშავების პროცესის მოდელირებისათვის გამოყოფენ ნეირონის ისეთ საინფორმაციო თვისებებს როგორიცაა შესასვლელი ინფორმაციის სივრცული და დროითი აჯამვა, შეფარდებითი და აბსოლუტური რეფრაქტურობა (მდგომარეობის აღდგენა), ადაპტაცია (შემგუებლობა).

ნეირონის მოდელი შედგება ორი ძირითადი ბლოკისაგან: შესასვლელი ბლოკი (ნახ. 6, ა) და გენერატორი (ნახ. 6, ბ). შესასვლელი ბლოკი წარმოადგენს დენდრიტული ურთიერთქმედების აპარატს. ამ ბლოკში ხდება აგზნებისა და დამუხრუჭების სიგნალების თავმოყრა. მათი ურთიერთმოქმედების საფუძველზე ბლოკის გამოსასვლელზე ადგილი აქვს სიგნალთა აჯამვას Σ და წარმოქმნილი ჯამური ძაბვა U_{Σ} მიეწოდება გენერატორის U_{Σ} შესასვლელს (ნახ. 6, ბ). შესასვლელი ბლოკი (ნახ. 6, ა) წარმოადგენს სქემა „კი“ და სქემა „ან“-ის კომბინაციას. ამასთან აგზნების სიგნალები მოდებულია სქემა „კი“-ს, ხოლო დამუხრუჭების სიგნალები სქემა, „ან“-ის შესასვლელებზე. ნახ 6, ბ-ზე მოცემულია ნეირონის შესასვლელი ბლოკის უმარტივესი სქემა, სადაც K_1 -თი აღნიშნულია წრედის მუდმივი მდგენელის გადაცემის კოეფიციენტი, ხოლო k_1 -თი წრედის დროს მუდმივა ($i=1, 2, 3, 4$). k_3, k_4 წრედზე გავლენას ახდენს k_4, k_4 წრედი, რის გამოც იცვლება k_3, k_4 წრედის გადაცემის ფუნქცია და ამ წრედის გამოსასვლელის სიგნალი.

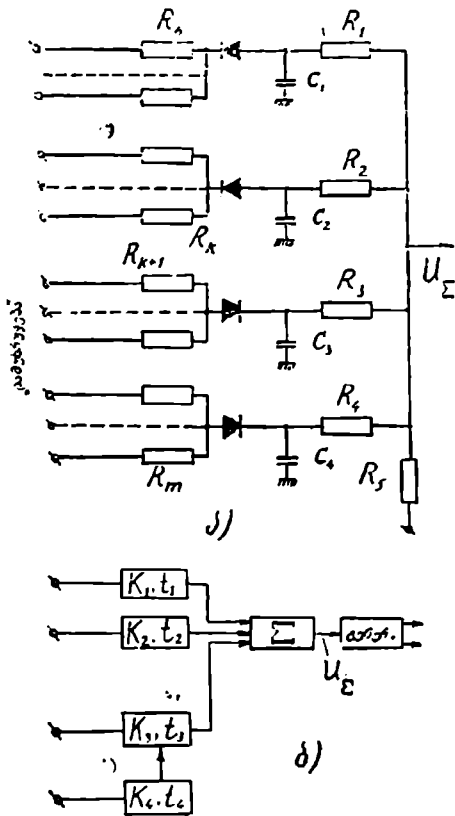
შემოვიტანოთ იმპულსური და ანალოგური რეჟიმების ცნება. მოწყობილობის მუშაობის იმპულსურ რეჟიმს უწოდებენ რეჟიმს, რომლის

დროსაც ორი მეზობელი შესასვლელი სიგნალი ერთმანეთზე ურთიერთ-მოქმედებას არ აწარმოებს; ამასთან ჩართვის დაწყებიდან სიგნალი ძალზე მცირე დროში აღწევს მაქსიმალურ სიდიდეს (ამპლიტუდას) და გამო-რთვისას ასევე მცირე დროში აღწევს — მინიმალურ მნიშვნელობას.

მოწყობილობის ანალოგიური მუშაობის რეჟიმის დროს ადგილი აქვს მიმდევრობითი შესასვლელი სიგნალების ზედდებას: იმპულსური რეჟიმისაგან განსხვავებით მოწყობილობის (სქემის) გამოსასვლელი სიგნალის სიხშირე, რაც იგივეა სიგნალის გამეორების პერიოდის შებრუნებული სიდიდე, ფუნქციონალურად უწყვეტადაა დაკავშირებული აგზნების ინტენსივობაზე. იმპულსური რეჟიმის დროს დენდრიტული ურთიერთმოქმედების წრედში (ნახ. 7) C_2 კონდენსატორის განმუხტვა ხდება ამ კონდენსატორზე მომდევნო, მეზობელი სიგნალის (იმპულსის) მოსვლამდე. ამ შემთხვევაში სიგნალის ხანგრძლივობა C_2 კონდენსატორის t_2 განმუხტვის დროს ტოლია (ან ოდნავ მეტია). ჩვენს შემთხვევაში C კონდენსატორის R წინალობაზე განმუხტვის დრო განისაზღვრება ნამრავლით RC , რომელსაც დროის განზომილება აქვს. ჩვენს შემთხვევაში კონდენსატორის განმუხტვის დროა

$$t_2 = \frac{R_6 R_7 (R_8 + R_{\Sigma}) C_2}{R_6 R_7 + (R_8 + R_{\Sigma}) (R_8 + R_7)}$$

სადაც R_{Σ} არის ღია მდგომარეობაში მყოფი d_5 დიოდის წინალობა.



ნახ. 6. ნეირონის ელექტრონულ-ლოგიკური სქემა:

ა) შესასვლელი ბლოკი, როგორც დენდრიტული ურთიერთმოქმედების ანალოგი; ბ) გენერატორი, როგორც ნეირონში სიგნალის აგზნების იძიტაციის მოდელი.

ანალოგური რეჟიმის დროს ადგილი აქვს შესასვლელი სიგნალების დაბრუნებას ზედღებებს (მუხტების შეკრებას კონდენსატორის შემონაფუნებზე). თუ გვაქვს მრავალშესასვლელიანი მოდელი, მაშინ შესაძლებელია ერთდროულად ადგილი ჰქონდეს როგორც იმპულსურ ასევე ანალოგურ რეჟიმებს. ჩვენს შემთხვევაში ნეირონის მოდელი (ნახ. 7) საშუალებას გვაძლევს დავამყაროთ როგორც იმპულსური, ასევე ანალოგური რეჟიმი, შესასვლელი სიგნალის უცვლელი სიხშირის პირობებში, რაც ადვილად მიიღწევა დენდრიტული ურთიერთმოქმედების ბლოკში წრედის R_7 , R_8 , R_9 , C_3 დეტალებისა და d_8 , d_9 დიოდების საშუალებით. იმპულსური რეჟიმის დროს ძირითადი ყურადღება ექცევა ნეირონს, როგორც ზღურბლურ ელემენტს. კერძოდ, იმპულსური რეჟიმის მოდელს ადგენენ მაკ-კალოხის და პიტსის ნეირონები, რომლებიც მუშაობენ დროის დისკრეტულ მომენტებში (ტაქტები).

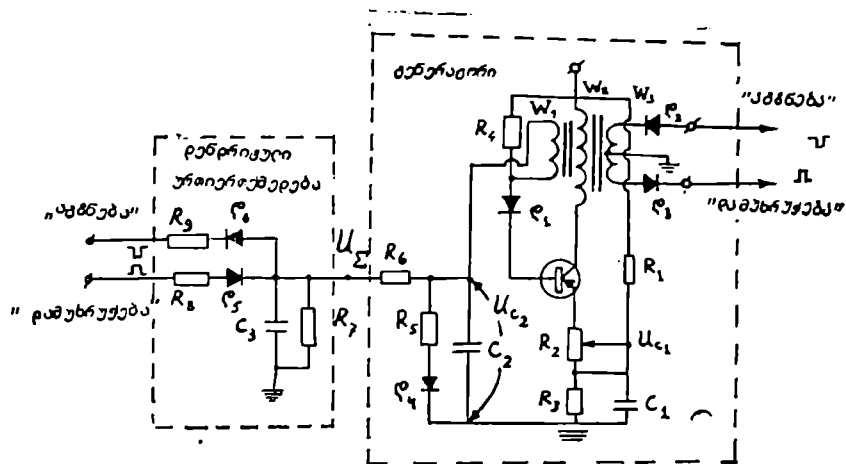
ნეირონის სხვადასხვა მოდელებში ამერიკელ ინჟინრებს ძირითადად გამოყენებული აქვთ მულტივიბრატორი (მაგალითად ლ. დ. ჰარმონი, 1958, ს. დეიჩი, ზემოხსენებული ლიტ.).

საბჭოთა მეცნიერმა ნ. ვ. პოზინმა ნეირონის მოდელში გამოიყენა ბლოკინგ-გენერატორი. ასეთ მოდელს აქვს რეალური ნეირონის მეტი ფუნქციონალური თვისებები, ვიდრე აქამდე იყო ცნობილი. ამასთან ნ. პოზინის ნეირონის მოდელში აღმოჩენილია ბიოლოგიაში ჯერ კიდევ უცნობი თვისებები.

სიმარტივისათვის განვიხილოთ ორ შესასვლელიანი ნეირონის მოდელი (ნახ. 7). ნეირონის იმპულსების გენერირების იმიტაციისათვის ამ მოდელში გამოყენებულია ბლოკინგ-გენერატორი, რომელიც აგებულია ტრანზისტორზე, ტრანსფორმატორზე, C_1 და C_2 კონდენსატორზე და d_1 დიოდზე. სხვა გენერატორებისაგან განსხვავებით (მულტივიბრატორის სხვადასხვა ტიპები, RC-სქემიანი, სამწერტილოვანი გენერატორები და სხვ.) ნეირონის მოდელისათვის ბლოკინგ-გენერატორი შერჩეულია შემდეგი ოთხი თვისების გამო:

1. ბლოკინგ-გენერატორში, რომელიც მუშაობს ლოდინის რეჟიმში, და რეალურ ნეირონში სიგნალის გენერაციის პროცესი საკმარისად გვანან ერთმანეთს (ნახ. 6, ბ).

2. ისევე როგორც ნეირონი აგზნების შემდეგ ხასიათდება რეფრაქტურობის (აგზნებებს შორის ხანმოკლე პერიოდი) თვისებით, გენერატორსაც გააჩნია ბლოკინგ-პროცესის შემდეგ



ნახ. 7. ტრანზისტორისა და იმპულსური ტრანსფორმატორის გამოყენებით აგებული ნეირონის მოდელი.

მდგომარეობის აღდგენის თვისება (C_2 კონდენსატორის განმუხტვის მუდმივა).

3. ბლოკინგ-გენერატორის სქემაში ემიტერის წრედში არსებული C_1 , R_3 ელემენტებისა და ცვლადი R_2 წინაღობის საშუალებით ადვილი შესაძლებელია იმპულსის სიხშირის ცვლილება დიდ დიაპაზონში.¹ შემჩნეულია, რომ ნეირონ-საც გააჩნია თვისება სიგნალების სიხშირის ცვლილებებისა საკმარისად დიდი დიაპაზონისათვის.

4. ბლოკინგ-გენერატორის სქემაში გამოყენებულია რადიოდეტალების მცირე რაოდენობა, ვიდრე სხვა სახის გენერატორში. დეტალების ეკონომიურად გამოყენებით ნეირონული ბადის სისტემის მოდელიც მოცულობით მცირე იქნება, ამასთან რაც უფრო მცირეა დეტალების რიცხვი, მით უფრო მცირეა მათი მწყობრიდან გამოსვლის ალბათობა და მით მეტია მთლიანი საერთო საიმედოობა. მოკლედ განვიხილოთ ბლოკინ-

1. Б е р у л а в а Р. Г. — Быстродействующий блокинг-генератор регулируемой частоты. Труды вычислительного центра АН ГССР. Сборник «Моделирующий агрегат регулирования и специализированные вычислительные устройства». Изд-во «Мецниереба», Тб. 1965 გვ. 73—84.

გენერატორის მუშაობა და შემდეგ გავარკვეოთ რეალური ნეირონისა და მისი მოდელის თვისებები.

დასაწყისში ტრანზისტორი დენს არ ატარებს. ემიტერზე მოდებული უარყოფითი პოტენციალი ხელს უწყობს ლოდინის რეჟიმის დამყარებას, რადგანაც ტრანზისტორის მუხტის მატარებლები (ჩვენს შემთხვევაში, $p-n-p$ ტიპის ტრანზისტორისათვის დადებითი მუხტის მატარებლები — ხერელები), დაშორებულები არიან ემიტერ-ბაზის გადასასვლელს და ეს უკანასკნელი ჩაკეტილია. გენერატორის ასამუშავებლად საჭიროა ტრანზისტორის ბაზაში გადიოდეს გამშვები დენი შესასვლელიდან „აგზნება“. ეს შესაძლებელია C_2 კონდენსატორის დამუხტვით. ამ შემთხვევაში მოქმედებს იწყებს დადებითი უკუკავშირის წრედი, რომელსაც ადგენს ტრანზისტორის კოლექტორსა და ბაზას შორის ჩართული ტრანსფორმატორი: პატარა ზომის იმპულსური ტრანსფორმატორის W_1 და W_2 გრავნილები ისეა ჩართული, რომ თუ კოლექტორზე დადებითი იმპულსია, ბაზაზე მიეწოდება სქემის ასამუშავებელი უარყოფითი პოტენციალი. ამასთან ერთად იმპულსის გადაცემის (ტრანსფორმაციის) კოეფიციენტი ტოლია $n_k = \frac{W_1}{W_2} > 1$, რადგანაც წინასწარ ასეთი პროპორციითაა

არჩეული ტრანსფორმატორის პირველადი W_1 და მეორადი W_2 გრავნილის (ხეიბი) რიცხვები. დადებითი უკუკავშირის წრედის მოქმედებს დაწყებიდან თანდათანობით იზრდება უარყოფითი ძაბვა ბაზაზე და დადებითი — კოლექტორზე. ეს პროცესი გრძელდება „ზვავისებურად“ $\beta n_k \gg 1$ პირობებში (β არის დენის მიმართ გაძლიერების კოეფიციენტი საერთო ემიტერიანი სქემისათვის: $\beta = \frac{\Delta I_2}{\Delta I_1}$, როცა $I_3 = \text{const}$; აქ ΔI_1 და

ΔI_2 არის კოლექტორისა და ბაზის დენის ცვლილების აღმნიშვნელი სიდიდეები. ტრანზისტორის სტატიკურ, არამუშა მდგომარეობაში β -ს სიდიდე აღწევს რამდენიმე ათეულ, ზოგჯერ ასეულ ერთეულს). და ბოლოს, კოლექტორში დენი არ მიაღწევს თავის მაქსიმალურ მნიშვნელობას (გაჯერება). ამის შედეგად, რადგანაც ტრანზისტორი დენს არ აძლიერებს — გაჯერებულია, $\beta \approx 1$ — ირღვევა $n_k \beta \gg 1$ პირობა, u_2 ზრდის გამო ბაზის ძაბვა იზრდება სიდიდემდე $(u_2) = (u_{c2}) + (u_2 + u_{d1})$, სადაც u_{d1} არის ძაბვის ვარდნა დიოდზე d_1 , ამის გამო კოლექტორის ძაბვა ეცემა სიდიდემდე $(E_3 - u_2)$, ვინაიდან პირველად W_1 გრავნილში ძაბვა (u_1) იზრდება და პრაქტიკულად $u_1 \approx E_3$. ამ შემთხვევაში სქემის გამოსასვ-

ლელზე გამოიყენება ერთი ოთხკუთხა ფორმის ვიწრო იმპულსი. ამის გამო კოლექტორში დენი არ გადის, და ბლოკინგ-პროცესი დამთავრებულია. ამ მომენტში u_3 ძაბვის სარდის პირობებში დამუხტული C_2 კონდენსატორი იწყებს განმუხტვას t_{3e2} დროის ხანგრძლივობით

$$t_{3e2} = \frac{R_5 R_6 R_{3a3} \cdot n_h^2 C_2}{R_5 R_6 + R_{3a3} \cdot n_h^2 (R_5 + R_6)},$$

სადაც R_{3a3} არის გამოსასვლელი წრედის წინალობა.

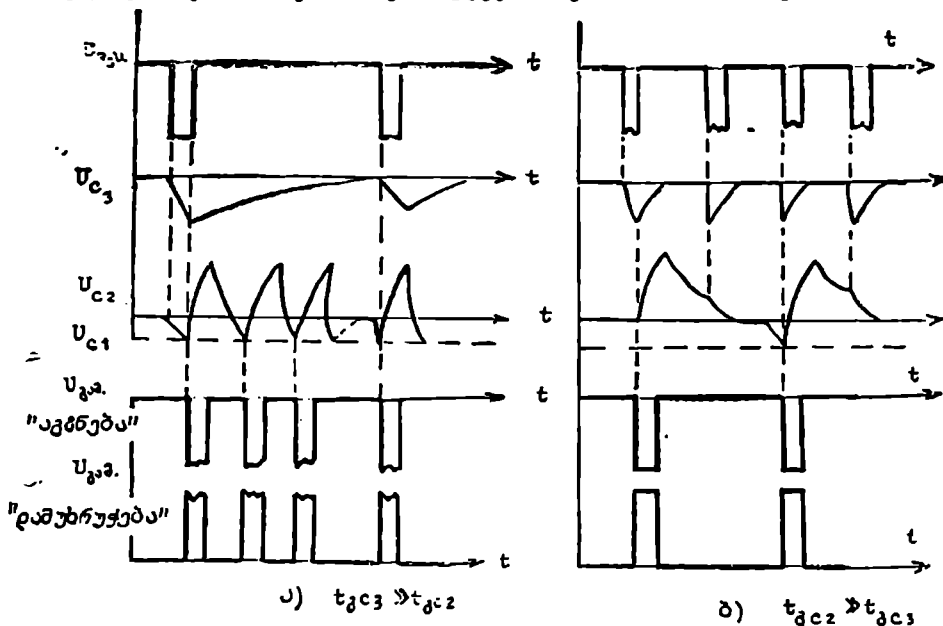
t_{3e2} დროს შემდეგ ავტომატურად იწყებს მოქმედებას დადებითი უკუკავშირის წრედი, მეორდება „ზვავისებური“ პროცესი და სქემის გამოსასვლელზე ისევ გამოიყენება ოთხკუთხა ფორმის ვიწრო U_{3a3} . იმპულსი და ა. შ. იმპულსის გენერაციის პროცესი მეორდება უწყვეტად მანამ, სანამ დენდრიტული ურთიერთმოქმედების მომქერზე „დამუხრუჭება“ არ მოვდებთ დადებით სიგნალს.

ნეირონის ზღურბლური ძაბვის U_{3c} იმიტაციას იძლევა ბლოკინგ-გენერატორის $U_{e1} \approx U_{3c}$ ძაბვა წონასწორობის დროს. ნეირონის შიგა პოტენციალის იმიტაციას ახდენს U_{e2} ძაბვა C_2 კონდენსატორზე. თუ დენდრიტული ურთიერთქმედების სიგნალის დამთავრების შემდეგ C_2 კონდენსატორზე ძაბვა მცირეა ვიდრე ზღურბლური U_{3c} . ძაბვა, მაშინ C_2 კონდენსატორის განმუხტვა ხდება R_6 წინალობაზე, ხოლო, როცა ამ კონდენსატორზე ძაბვა U_{e2} აღწევს ნეირონის ზღურბლური ძაბვის დონეს, იწყება გამოსასვლელი იმპულსის გენერაციის პროცესი. ამ დროს ხდება როგორც ძირითადი C_2 კონდენსატორის დამუხტვა დადებითი პოტენციალით, ასევე ემიტერის წრედში არსებული დამატებითი C_1 კონდენსატორისაც, რომელიც R_2 ცვლად და R_3 მუდმივ წინალობებთან ერთად ჩართულია გამოსასვლელი იმპულსების f_0 სიხშირის ფართე დიაპაზონში ცვლილებების „უზრუნველყოფისათვის“. ნეირონის მოდელის (ნახ. 7) ბლოკინგ-გენერატორს აქვს თვისება, რომ „აგზნების“ ან „დამუხრუჭების“ გამოსასვლელი იმპულსების საშუალო f_{3a3} სიხშირე გაზარდოს ($f_{3a3} \pm \Delta f_0$)-მდე, დაახლოებით 2-ჯერ, რაც განხორციელებულია სქემაში დ₁ დიოდის ჩართვით.¹

მე-8 ნახაზზე მოცემულია ნეირონის მოდელის იმპულსურ რეჟიმში მუშაობის მახასიათებლები — კერძოდ იმპულსების ფორმები. მარცხე-

1. Б е р у л а в а Р. Г. — Генератор повышенной регулируемой частоты. Передовой научно-технический и производственный опыт. Сб. «Усиленные устройства» №46 64—610/17 ГОСИНТИ М., 1964 гв. 27—34.

ნა ხაზზე (ნახ. 8, ა) ნაჩვენებია შესაბამისი გასაშუალებული გამოსასვლელი სიხშირე იმ შემთხვევისათვის, როცა მედიატორის მოქმედების ეფექტურობის დრო (მოდელში ნერვეული აგზნების ქიმიური შუამავლის მოქმედების დროის იმიტაციაა C_3 კონდენსატორის განმუხტვის დროის მუდმივა t_{3C_3}) გაცილებით მეტია ვიდრე რეფრაქტორების დრო (ბლოკინგ-პროცესის შემდეგ C_2 კონდენსატორის განმუხტვის დროის მუდმივა): $t_{3C_2} \gg t_{3C_3}$. სხვა სიტყვებით ეს პირობა ნიშნავს თითო-



ნახ. 8. ნეირონის მოდელის იმპულსური რეჟიმი ორი შემთხვევისათვის (სქემა ლოკინგ-გენერატორზე ერთი შესასვლელით ნახ. 7.).

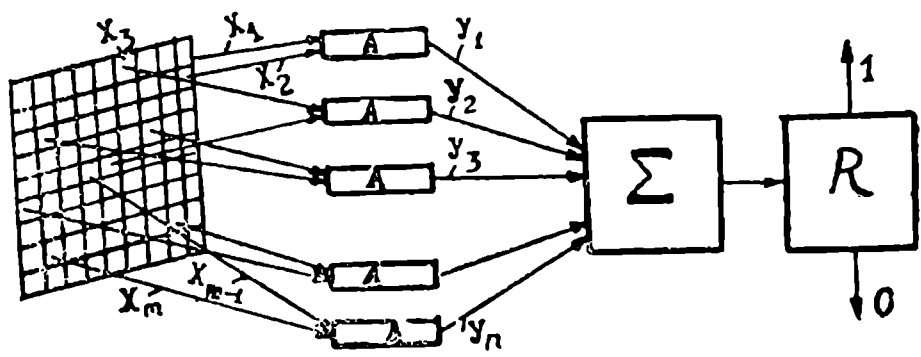
ეულ შესასვლელ იმპულსზე მოდელის რეაქციას (პასუხს) რამდენიმე გამოსასვლელი იმპულსის სახით. ანალოგიურად მარჯვენა ნახაზზე (ნახ. 8, ბ) მოცემულია ძაბვების დროის დამოკიდებულების ფორმები (ძაბვების ოსცილოგრამები) $t_{3C_2} \gg t_{3C_3}$. ამ შემთხვევაში ადგილი აქვს შესასვლელი იმპულსის სიხშირის გაყოფას მუდმივ კოეფიციენტზე, რაც განისაზღვრება t_{3C_2} და t_{3C_3} მნიშვნელობებით. როდესაც ეს სიდიდეები ტოლია ($t_{3C_2} \approx t_{3C_3}$), მიიღება „რითმის გარემოების“ რეჟიმი (ინფორმაციის დამახსოვრება). ანალოგიური რეჟიმის დროს (ესაა შემთხვევა

როცა კონდესატორი C_3 ვერ ასწრებს მთლიანად განმუხტვას მორიგი იმპულსის მოსვლამდე) კონდენსატორზე ძაბვის საშუალო მნიშვნელობა დამოკიდებული იქნება შესასვლელი იმპულსის u ამპლიტუდაზე, $t_{აა}$ -სიხშირეზე და იმპულსის ხანგრძლივობაზე t . თუ C_3 კონდენსატორის დამუხტვის დრო ტოლია მისი განმუხტვის დროისა, მაშინ ფიქსირებული u და t -სათვის ძაბვა პირდაპირ პროპორციულია $t_{აა}$ -სიხშირისა. თუ ბლოკინგ-გენერატორში შესასვლელი ძაბვა $u_{აა}$ ისეა შერჩეული, რომ ვიყენებთ გამოსასვლელი სიხშირის წრფივ ნაწილს, მაშინ მივიღებთ, რომ გამოსასვლელი სიგნალის სიხშირე პირდაპირ პროპორციულია შესასვლელი სიგნალის სიხშირისა: $t_{აა} = K t_{აა}$, სადაც K -არის სიგნალის მუდმივი მდგენელის გადაცემის კოეფიციენტი. ეს ნიშნავს, რომ სრულდება იგივე პირობები, რასაც ადგილი ჰქონდა იმპულსური რეჟიმის დროს. როცა ნეირონის მოდელის სქემას აქვს ორი შესასვლელი (მაგალითად „აგზნების“ შესასვლელს წარმოადგენს თანხედომის „კი“ სქემა), მაშინ მოდელში სრულდება სიხშირეთა შეკრების გამრავლებისა და გაყოფის ოპერაციები როგორც იმპულსურ, ასევე ანალოგურ რეჟიმებში.

ამრიგად, ნეირონის მოდელის (ნახ. 7) განხილვა გვიჩვენებს, რომ მოდელი რეალური ნეირონის მსგავსად (ნახ. 3 ა, ბ) ახასიათებს ნეირონს, როგორც ინფორმაციის სიხშირული ფორმით გარდამქმნელ ელემენტს. ბლოკინგ-გენერატორების გამოყენებით აგებული მოდელები ხასიათდებიან შესრულების სისადავით, შესასვლელი და გამოსასვლელი სიგნალების ერთნაირი ფორმით, რაც სხვა სახის ტექნიკურ მოდელებთან შედარებით მათ გარკვეულ უპირატესობას ანიჭებს და შეიძლება გამოდგეს არა მარტო ნეირონული ბადის სინთეზის დროს, არამედ როგორც ლოგიკური ელემენტი გამოთვლით ტექნიკაში. მართალია, ასეთი მოდელები აგებულა, ნეირონის ცნობილი თვისებების ბაზაზე და ამიტომ ბლოკინგ-გენერატორის გამოყენებით აგებული ნეირონების მოდელი დიდად ფასდება ტექნიკურად, მაგრამ მეორე მხრივ, ჭერჯერობით არ არის ცნობილი ფიზიოლოგიური ფაქტები, რომლებიც დაამტკიცებდნენ ნეირონის მოდელის ზოგიერთ თვისებებს. კერძოდ, არ არის დადგენილი შეუძლიათ თუ არა რეალურ ნეირონებს შესასვლელი სიგნალების სიხშირეებზე ლოგიკური ოპერაციების ჩატარება (სიხშირეთა შეკრება გამრავლება, გაყოფა).

III. ნერვული სტრუქტურის მოდელირების პრობლემის მესამე ძირითადი მიმართულება დაკავშირებულია ნერვული ქსოვილის ელემენტებს შორის შემთხვევითი (ალბათური) კავშირის არსებობაზე, რაც წარ-

მოადგენს მოდელირების სტატისტიკური მიდგომის საფუძველს. ნეიროფიზიოლოგები მიკროსკოპში არჩევენ შემაერთებული ბოჭკოების ქაოტურ გადახლართვას, მათი სხვადასხვა სიგრძითა და განშტოების სხვადასხვა რიცხვით. რასაკვირველია, ეს არ ნიშნავს იმას, თითქოს არ არსებობდეს ორგანიზმის მიზანდასახული მოქმედებისათვის აუცილებელი შეზღუდვანი და ნერვული სტრუქტურის აუცილებელი ურთიერთკავშირი. როგორ პრინციპსაც არ უნდა ეყრდნობოდეს ნერვული სტრუქტურის ელემენტებს შორის ურთიერთკავშირის, კავშირების სტატისტიკურ განაწილებას, კონცეპტუალური სისტემების ზოგად თეორიას (იხ. გვ. 19, 49, 50), ნეირონების ხარისხობრივ თვისებებს და ა. შ., შეზღუდვები წარმოადგენენ გამომცნობ მოწყობილობათა მოდელირების ძირითად პირობებს. სტატისტიკური ორგანიზაციის პრინციპის გამოყენებით ამერიკელმა ფ. როზენბლატმა 1958 წ. ააგო მსწავლელი გამომცნობი მანქანის მოდელი,¹ რომელსაც მან უწოდა პერსეპტრონი (ლათინური სიტყვიდან „პერსეპციო“ — გაგება, შემეცნება). ამ მანქანის დამუშავების დროს ფ. როზენბლათი ცდილობდა თავის ტვინის თვისებების იმიტაციას. როგორც გასულმა 20 წელიწადმა გვიჩვენა ფ. როზენბლატის პერსეპტრონი წარმოადგენს თავის ტვინის ერთ-ერთ საუკეთესო მოდელს.



ნახ. 9. პერსეპტრონის მოდელი

პერსეპტრონის ზოგადი სტრუქტურული სქემა მოცემულია მე-9 ნახაზზე. ინფორმაციის (ასოები, ფიგურები) აღმქმნელ მოდელს წარმო-

¹ იხ. Rosenblatt F. — Perceptron simulation experiments. Proc. of the IRE, vol. 48, №3, 1960, გვ. 563

ადგენს რეცეპტორების ველი, რომელიც თვალის ქსოვილის რეცეპტორების იმიტაციას ახდენს. ის შეიცავს რამდენიმე ასეულ ფოტოელემენტს (ფოტორეზისტორი), რომლებიც იმისდა მიხედვით ხვდება თუ არა ველის შესაბამის ფოტორეზისტორზე გამოსაცნობი ფიგურის კონტურები, შეიძლება იყოს აგზნებულ ან არააგზნებულ მდგომარეობაში.

რეცეპტორის სიგნალები 1 — „აგზნება“ და 0 — „არააგზნება“, მოდებულია ე. წ. ასოციატიურ A -ელემენტებზე. ყველა A -ელემენტი იდენტურია, მათი რიცხვი რეცეპტორების m რიცხვის ტოლია; აქვთ რამდენიმე შესასვლელი და ერთი $x_e (e=1, 2, \dots, m)$ გამოსასვლელი. ნერვულ ქსოვილებში ზემოაღნიშნული ალბათური ურთიერთკავშირის ანალოგიურად რეცეპტორების A -ელემენტებთან დაკავშირებისათვის იყენებენ შემთხვევით შეერთებებს, რომლებსაც ირჩევენ კენჭის ყრით, მაგრამ ერთხელ დამყარებული კავშირი ექსპერიმენტების ბოლომდე უცვლელია. ელემენტების დანიშნულებაა მათ შესასვლელზე მოსული სიგნალების ალგებრული შეკრება, მიღებული ჯამის შედარება ყველა A -ელემენტებისათვის საერთო, გარკვეულ ზღურბლურ Θ -სიდიდესთან: თუ ჯამი მეტია Θ -ზე, A -ელემენტი აგზნებულია, გამოსასვლელზე გაჩნდება სიგნალი „1“ — თუ ჯამი ნაკლებია Θ -ზე, A -ელემენტი რჩება არააგზნებულ, გამოსავალზეა სიგნალი „0“; ეს გარემოება მათემატიკურად A -ელემენტის K -გამოსასვლელისათვის ($K=1, 2, \dots, m$) მაშინ:

$$y_k = \begin{cases} 1, & \text{თუ } \sum_{e=1}^m (r_{ek} \cdot x_e - \Theta) \geq 0 \\ 0, & \text{თუ } \sum_{e=1}^m (r_{ek} \cdot x_e - \Theta) < 0, \end{cases}$$

სადაც r_{ek} ტოლია რიცხვისა $+1$, თუ l რეცეპტორის გამოსასვლელი მიერთებულია A -ელემენტის K შესასვლელთან პლუს ნიშნით და რიცხვა -1 , თუ რეცეპტორის გამოსასვლელი A -ელემენტთან მიერთებულის მინუსი ნიშნით, $r_{ek} = 0$, თუ l რეცეპტორი A -ელემენტის K შესასვლელს არ უკავშირდება.

A -ელემენტიდან გამოსული აგზნებული სიგნალების ჯამური სიდიდე, რომელშიაც არსებობს კავშირის საკუთარი წონის მნიშვნელობები (გაძლიერების კოეფიციენტი λ), მოდებულია რეაგირების R -ელემენტზე.

$$R = \begin{cases} 1, & \text{თუ } \sum_{k=1}^n \lambda_k y_k \geq 0 \\ 0, & \text{თუ } \sum_{k=1}^n \lambda_k y_k < 0. \end{cases}$$

პერსექტრონს (ნახ. 9) გამოსავალზე აქვს მხოლოდ ერთი R -ელემენტი ორი გამოსასვლელით. თუ რეცეპტორების ველი აღიქვამს ორ სხვადასხვა სახის ფიგურას, მაგალითად, „ა“ და „ბ“ ასობის სხვადასხვა გამოსახულებებს და შესაძლებელი გახდა პერსექტრონის ისეთ მდგომარეობაში ჩაყენება, რომ გამოსასვლელზე მივიღეთ „1“, ერთი სახის ფიგურის გამოჩენისას და „0“ მეორე სახის გამოჩენისას—ეამბობთ, რომ პერსექტრონს შეუძლია შეისწავლოს ორი სახის, „ა“-ს და „ბ“-ს ერთმანეთისგან გარჩევა. იმისათვის, რომ პერსექტრონს შეეძლოს გაარჩიოს, მაგალითად ანბანის ყველა ასო, საჭიროა R -ელემენტების რიცხვის გაზრდა, სათანადო შესასვლელი სიგნალების აჯამვის Σ -ას კავშირის და λ -გაძლიერების მეტი რიცხვების არსებობა.

პირველ გამოცნობ მანქანა „მარკ—1“-ში, რომელიც შექმნა ფ. რ. ოზენბლატმა, გამოყენებულია პერსექტრონის ზემოაღნიშნული მუშაობის პრინციპი.¹ ამ მანქანაში რეცეპტორების რიცხვი $m=400$ ფიზიკურად წარმოადგენდა 20×20 -ზე მატრიცას მის კვანძებში მოთავსებულია ფოტორეზისტორებით, მატრიცას ათავსებდნენ ფოტოაპარატში ფირფიტის ნაცვლად, ანდა იყენებდნენ დიაპოზიტივის ეკრანის ნაცვლად. A -ელემენტების რაოდენობა $n=512$. თითოეულ A -ელემენტს გააჩნია 20 შესასვლელი. A -ელემენტად გამოყენებული იყო ელექტრომექანიკური რელები, სპეციალური ინტეგრატორები და პოტენციომეტრები, რომლებიც გაძლიერების კოეფიციენტის შეცვლის შესაძლებლობას იძლეოდნენ. მანქანის რეცეპტორული, ასოციატური (A) და რეაგირების (R) ბლოკებს შორის საჭირო შეერთებანი განხორციელებულია საკომუტაციო პანელებზე. A -ელემენტის გამოსასვლელი სიგნალები სპეციალუ-

¹ იხ. Хей Д. Ж., С. Мартин Ф. С., Унтмен С. В. — Персептрон МАРК—1, его конструкция и характеристики. «Кибернетический сборник» №4 М., ИЛ., 1962, გვ. 124—145.

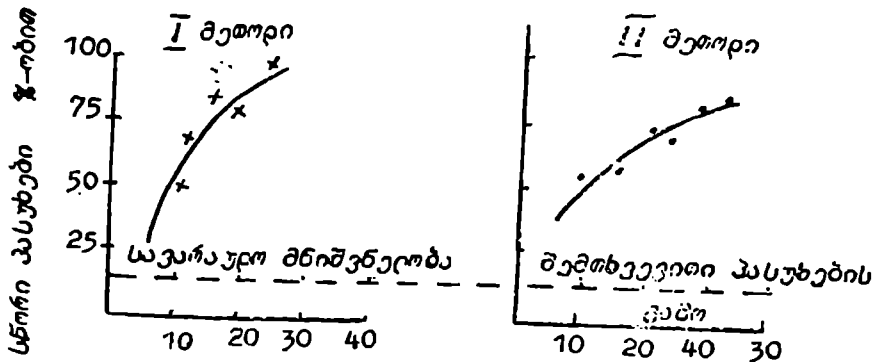
რი მოწყობილობებით (გამაძლიერებლები) მრავლდება ცვლად λ_k კოეფიციენტებზე. ყოველი ასეთი კოეფიციენტი შეიძლება იყოს დადებითი, უარყოფითი ან ნულის ტოლი, ამასთან თუ ერთ-ერთი კოეფიციენტი იცვლება, მისგან დამოუკიდებლად შეიძლება შეიცვალოს სხვა კოეფიციენტიც.

მანქანა „მარკ—1“-ის სწავლება ტარდება ორი მეთოდით: ხელოვნურად და ავტომატურად, სწავლების პროცესი ფაქტიურად ნიშნავს A -ელემენტების λ -კოეფიციენტების შერჩევას.

პირველი მეთოდით სწავლებისას წინასწარ ადგენენ, რომ მაგალითად, თუ რეცეპტორის ველში მოთავსებულია „ა“ ასო ან რაიმე ფიგურა, ობიექტი მაშინ R გამოსასვლელზე უნდა იყოს „1“ და „ბ“ ასოს (სხვა ფიგურა, ობიექტი) ჩვენებისას „0“. ყოველი ტაქტის დროს ნაჩვენები ობიექტის საპასუხოდ პერსეპტრონის გარკვეული A -ელემენტები აგიზნებიან. ამ შემთხვევაში ხელოვნური სწავლება ნიშნავს, რომ A -ელემენტების შესაბამის λ_k -კოეფიციენტებს ხელოვნურად ზრდიან, მაგალითად, ერთით, თუ რეცეპტორის დაკვირვების ველშია „ა“-ასო, და ამცირებენ, თუ დაკვირვების ველშია „ბ“-ასო. აღნიშნული პირობის თანახმად პერსეპტრონი გამოსცემს სწორ პასუხებს, თუ „ა“-ასოს (ფიგურა, ობიექტი) შეესაბამება დადებითი სიგნალი „1“ R -ელემენტზე, ხოლო „ბ“ ასოს (ობიექტი) შეესაბამება R -ელემენტის გამოსასვლელის „0“ სიგნალი.

სწავლების პირველ მეთოდში მანქანა „მარკ-1“-ის რეცეპტორის დაკვირვების ველში გარკვეულ რიცხვჯერ აჩვენებენ ხან ერთ ობიექტს (მაგალითად, ასო „ა“) ხან მეორეს (ასო „ბ“). ყოველი ასეთი ჩვენების შემდეგ ასოციატურმა ელემენტმა უნდა იმოქმედოს რეაგირების R -ელემენტებზე, და უზრუნველყოს ობიექტების გამოცნობა ყოველ ტაქტში ნებისმიერი მიმდევრობით ჩვენების პირობებში. ასეთი „პასიური“ სწავლების შედეგად პერსეპტრონმა „მარკ-1“-მა 8 ლათინური ასოს გამოცნობაში გამოსცა სწორი პასუხები (პროცენტებში) იმედიანობის ასეთი სტატისტიკით: ერთი და იგივე ასოს 5-ჯერ ჩვენების შემდეგ — 30%, 10-ჯერ დაახლოებით 50%, 20—25-ჯერ დაახლოებით 70% (ნახ. 10, მარცხენა მრუდი).

მეორე მეთოდით სწავლების დროს თუ პერსეპტრონი „მარკ—1“ მოცემულ ტაქტში სწორ პასუხს იძლევა, არ ცვლიან λ_k კოეფიციენტებს; λ_k -ს ცვლიან მაშინ, როცა მანქანა „შეცდება“, ამ შემთხვევაში კოეფიციენტების შეცვლა ხდება მანქანის სწორი პასუხების რაოდენო-



ყოველი არის ექსპერიმენტის რიცხვი

ნახ. 10. 8 რიცხვის გამოცნობის სწავლების მრუდები.

ბის გასადიდებლად — როგორც პირველ მეთოდში. მეორე მეთოდით სწავლების შედეგები შედარებით უკეთესია (ნახ. 10., მარჯვენა მრუდი). იგივე 8 ლათინური ასოს გამოცნობისათვის მანქანას ისინი წარუდგინეს 35—40-ჯერ, რომლის შედეგადაც გამოცნობის იმედიანობამ მიაღწია თითქმის 100%.

აღნიშნული მეთოდებით სწავლების შემდეგ პერსექტრონი „მარკ—1“ შეცდომის გარეშე არჩევდა ლათინური ანბანის 26 ასოს იმ შემთხვევაში, როცა ყველა ასო სწორად იყო ორიენტირებული და მოთაქსებული იყო რეცეპტორის გარკვეულ ველში.

პერსექტრონის გამოკვლევა, როგორც ცოცხალი ტვინის მოდელის ზოგიერთი თვისებების მატარებელი მანქანისა, ორი მიმართულებით ვითარდება.

1) პირველ ყოვლისა, ითვალისწინებენ გამოსახულების ველში შეფერხების გავლენას, მანქანის შემთხვევით შეცდომებს, ასოციატური A-ელემენტების თანდათანობითი გამორთვის გავლენას პერსექტრონის ნორმალურ მუშაობაზე. საინტერესოა აღვნიშნოთ კვლევის ძირითადი შედეგები: პერსექტრონის სწავლებამდე მისი A-ელემენტების გარკვეული რაოდენობის მწყობრიდან გამოსვლით არ ირღვევა ამ მანქანის მუშაობის პრინციპი, ის ასრულებს მასზე დაკისრებულ ფუნქციებს.

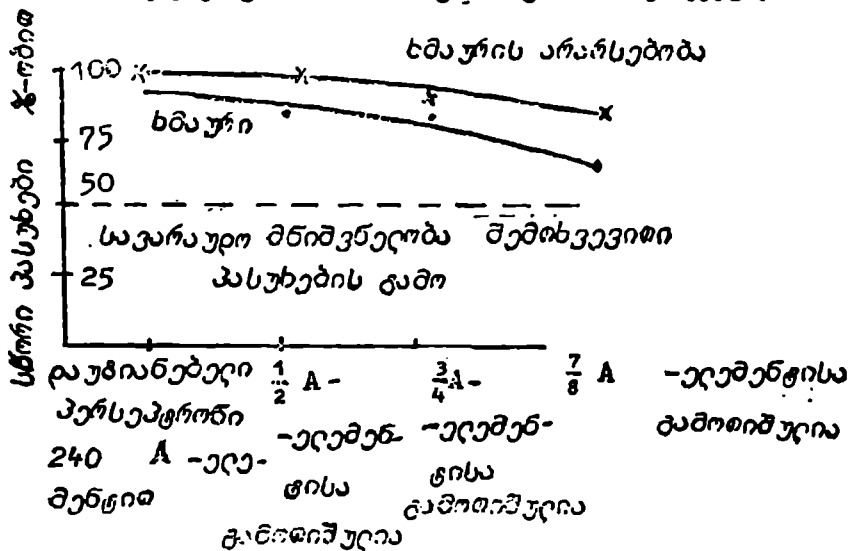
თუ ზემოაღნიშნული მეთოდებით „ნასწავლ“ პერსექტრონის რეცეპტორისა და A-ელემენტის კავშირს გავწყვეტთ მრავალ „ხაზზე“, ანდა გამოვრთავთ A-ელემენტის საკმარისად ბევრ რიცხვს, პერსექტრონის გა-

მოცნობის საიმედოობა ძალზე მცირედ იცვლება. მე-11 ნახაზზე მოცემულია პერსპექტრონზე მიღებული პრაქტიკული შედეგები, რომლებიც მიღებულ იქნა A-ელემენტების გამოთიშვის შემდეგ E და X ასოების გამოცნობის დროს.

რეცეპტორების კავშირები ასოციატურ ელემენტებთან შეიძლება განხილულ იქნას როგორც ტექნიკური რეალიზაციისათვის საჭირო შემთხვევითი შეერთებანი.

დამტკიცდა, რომ A-ელემენტების 3/4 ნაწილის გამორთვისას ობიექტის გამოცნობის საიმედოობა შეადგენს დაახლოებით 85% (ნახ. 11).

პერსპექტრონის ეს თვისება ძალზე უახლოვდება თავის ტვინის მუშაობას, რომელიც მუშაობს მაშინაც, როცა მისი გარკვეული ნაწილი



ნახ. 11. ობიექტის გამოცნობის საიმედოობაზე — ელემენტების გამოთიშვის გავლენა.

მწყობრიდან გამოდის ან ხელოვნურად გამოჰყავთ (მაგალითად, ცხოველებზე ცდების დროს).

2) ჩატარებული ექსპერიმენტებით უნდოდათ დაემტკიცებინათ პერსპექტრონის განზოგადების უნარი მის მიერ მიღებული გამოცდილების საფუძველზე.

განზოგადების უნარში იგულისხმება შემდეგი. ავიღოთ ერთი შეხედვით მარტივი შემთხვევა. თუ პერსპექტრონმა ისწავლა რამდენიმე სახის

გარჩევა, მაგალითად, ასოები და გეომეტრიული ფიგურები, ისე რომ ისინი მოთავსებულნი იყვნენ რეცეპტორის ველის გარკვეულ არეში, მაშინ ობიექტის გადატანა სხვა არეში საჭიროებს ახალ სწავლებას. ეს გამოწვეულია იმით, რომ პირველი სწავლების დროს დამყარდა საჭირო გაძლიერების λ_k -კოეფიციენტები, რომლებიც ობიექტის გადატანის შემდეგ არ ფუნქციონირებენ. ამ მიმართულებით მანქანა „მარკ-1“-ზე კვლევის შედეგები ძალზე მოკრძალებული გამოდგა¹. მაგრამ ცდებმა ცხადპყვეს პერსეპტრონის სტრუქტურული რეორგანიზაციის იდეა, რომელიც შემდგომ მეცნიერებმა გააღრმავეს (მაგალითად, იტალიელი ა. ვ ა მ ბ ა, საბჭოთა მეცნიერები მ. ა. ა ი ზ ე რ მ ა ნ ი, ე. მ. ბ რ ა ე ვ ე რ მ ა ნ ი და სხვ.).

აზროვნებითი პროცესების კომპლექსური მოდელი

ფრენოლოგების მცდარი თეორიიდან დღემდე მეცნიერებს აინტერესებთ თავის ტვინის მოდელის პრობლემა. ფრენოლოგები, მაგალითად პ ა ლ ი (ფრენოლოგია — ბერძნულად „ფრენ“ — გონება, ჰკუა. „ლოგოს“ — ცნება, სწავლება) თვლიდნენ, რომ ამა თუ იმ ადამიანის ნორმალური და გონიერი შემოქმედების თავისებურებები განისაზღვრება თავის ტვინის გარკვეული ნაწილების (არეების) განვითარების ხარისხითა და თავის ქალას ფორმით. სხვა სიტყვებით ეს ნიშნავდა ხანგრძლივი მახსოვრობის ფორმის „მიბმას“ თავის ტვინის რომელიმე ნაწილთან. მთელი რიგი ცდებით დამტკიცდა, რომ ხანგრძლივი მახსოვრობა დისპერგირებულია, განაწილებულია თავის ტვინის მრავალ უბანში. ამასთან ერთად, თავის ტვინის მახსოვრობის ელემენტებს მათი მრავალჯერადი სარეზერვო ელემენტების არსებობის წყალობით შეუძლიათ აქტივობის შენახვა სხვადასხვანაირი დაზიანების შემდეგაც (ფიზიკო-ქიმიური გარდაქმნა, დარტყმა, ტემპერატურა, წნევა და სხვა გავლენა). ენგრამის ინფორმაციის მატარებლების ანდა მახსოვრობის სისტემაში ამა თუ იმ ნეიროლოგიური ინფორმაციის მატარებლების, მთლიანი ან თითქმის მთლიანი გამეორების — ტექნიკური ტერმინით რომ ვთქვათ, ინფორმაციის გენერაციის — ჯერადობა ძალზე დიდია. ამ ფაქტმა გამოიწვია მახ-

¹. ი. ბ. Б ы к о в К. А. П., В е й ц А. В. — От нейрона к искусственному мозгу. Изд-во «Наука» М., 1971 გვ. 83—91.

სოკრობის ე. წ. ჰოლოგრაფიული თეორიის¹ წარმოშობა („ჰოლოს“ ბერძნულად ნიშნავს მთლიანად.) ცნობილია, რომ ობიექტის ჰოლოგრაფიული გამოსახულების ერთ-ერთი ძირითადი თვისებაა ჰოლოგრამის ნებისმიერი უმცირესი ფრაგმენტის საშუალების გამოსახულების ასახვის შესაძლებლობა. მეორე მხრივ, ასეთი ასახვისათვის რაც უფრო მცირე რაოდენობის ჰოლოგრამებია აღებული, მით უფრო ნაკლებად მკვეთრ გამოსახულებას ვღებულობთ, მაგრამ ეს გამოსახულება მაინც მთლიანი რჩება. ნიშანდობლივია, რომ თანამედროვე დიდი გამომთვლელი მანქანებისათვის პერსპექტიულ მიმართულებად ითვლება ჰოლოგრაფიის, ინფორმაციის სუბჰოლოგრამების საშუალებით შენახვის პრინციპი. ჰოლოგრაფიული მეთოდის უპირატესობა იმაში მდგომარეობს, რომ შესაძლებელია ინფორმაციის ჩაწერა ძალზე დიდი სიმჭიდროვით, 10^8 ბიტი/სმ²-ზე, ბრტყელი ჰოლოგრამებისათვის და 10^{12} ბიტი/სმ³-ზე მოცულობითი ჰოლოგრამებისათვის.² შედარებისათვის ცერბიტულ გულანაზე (რგოლი) აგებული დიდი მანქანის ოპერატიული მახსოვრობის ტევადობა შეადგენს 10^6 ბიტს, ჰოლოგრაფიული (ოპტიკური) მახსოვრობის მოწყობილობა კი 10^8 — 10^{12} ბიტს.

აზროვნებითი პროცესის ერთ-ერთი ძირითად ჰიპოთეზურ მოდელს წარმოადგენს ფ. როზენბლატის მიერ შექმნილი პერსექტრონის მოდელი (ნახ. 9), რომლის ტექნიკურ მონაცემებსა და მუშაობის პრინციპს ზემოთ გავეცანით. ამჯერად გვინტერესებს თავის ტვინის, კერძოდ, რა თვისებების მოდელირებას ახდენს პერსექტრონი.

პერსექტრონის ერთ-ერთი დამახასიათებელი თვისება იმაში მდგომარეობს, რომ ობიექტის გამოცნობის სწავლების პროცესში ეცვან მანქანისაგან (უფრო სწორად მანქანური პროგრამა) განსხვავებით არ საჭიროებს მისთვის „ცნობილი“ ყველა ფიგურების მიმდევრობით გადარჩევას³. ამ თვალსაზრისით პერსექტრონის მუშაობა გარკვეულად მოგვაგონებს თავის ტვინში გამოსახულების ფორმირების თვისებას, რომლითაც ხანმოკლე დამახსოვრების დროს ვიმახსოვრებთ არა დეტალებს, არამედ მთლიან გამოსახულებას, გამოვიცნობთ ახალ ობიექტს და ამ

1. იხ. Ашмарин И. П. — Загадки и откровения биохимии памяти. Под. ред. Е. М. Крепса. Изд-во Ленинградского университета, 1975 г. 82.

² იხ. R a m b e r g E. G. — RCA REV. vol. 33, №1 p. 5 1972

³ იხ. Аркадьев А. Г., Браверман Э. М. — Обучение машины распознаванию образов. Изд-во „Наука“, 1964, г. 97—98.

პროცესში არ ვახდენთ მათ აუცილებელ შედარებას ადრე ნანახ ობიექტებთან.

ზოგიერთი ნიშნებით პერსპეტრონს აქვს უმაღლესი ნერვული სისტემის სტრუქტურა. მაგალითად, მისი რეცეპტორები წარმოდგენენ მხედველობის აპარატის ანალოგიას, ხოლო ნეირონის ანალოგიად შეიძლება ჩაითვალოს ასოციაციური A-ელემენტი. ზართლაც, A-ელემენტი ნეირონის მსგავსად ხასიათდება „აგზნების“ თვისებით; ამასთან A-ელემენტის აგზნება ხდება მხოლოდ და მხოლოდ მაშინ, როცა საკუთარი მზღურბლური სიდიდე აღმოჩნდება შესასვლელი სიგნალების ჯამურ სიგნალზე ნაკლები სიდიდე. არ არის გამორიცხული, რომ თავის ტვინის სტრუქტურა პერსპეტრონის „რეცეპტორ — A ელემენტის“ თვისების მსგავსად, ხასიათდება ნეირონთა ბადის კავშირების შემთხვევითი ხასიათით (ალბათური განაწილების კანონით). ასეთი დაშვება არ არის შინაარსს მოკლებული შემდეგი გარემოების გამო. ვთქვათ ნეირონული ბადის ყველა კავშირი ზუსტად ფიქსირებულია, ერთი სახეობისაა ერთი ტიპის ცხოველებისათვის და სხვა სახეობისაა სხვა ტიპის ცხოველებისათვის და ა. შ. მაშინ უნდა დავუშვათ, რომ ინფორმაცია ნეირონებს შორის ყველა კავშირის შესახებ უნდა გადაეცეს მემკვიდრეობით, გენეტიკური ინფორმაციის სახით. ჭერ კიდევ 1940 წლისათვის უკვე ცნობილი იყო მემკვიდრეობითი ფაქტორების — გენები, ქრომოსომების აბერაციები — გადაცემის გენეტიკური კანონზომიერებანი: გ. მ ე ნ დ ე ლ ი — ავსტრია, 1865; ტ. გ. მ ო რ გ ა ნ ი 1910; ს. ს. ჩ ე ტ ვ ე რ ი კ ო ვ ი, სსრკ — 1925, რ. ფ ი შ ე რ ი, აშშ — 1930; ნ. პ. დ უ ბ ი ნ ი ნ ი, სსრკ — 1930—1940; ფ. გ. დ ო ბ რ ე ა ნ ს კ ი, აშშ — 1937. თანამედროვე წარმოდგენები მოლეკულურ გენეტიკაზე ე ვ ე რ ი ს, მ ა კ ლ ე ო დ ი ს, მ ა კ კ ა რ ტ ი ს (1944) ჩ ე ი ზ ი ს ა და ჰ ე რ შ ი ს (1952) პირველ ცდებთან ერთად ემყარება ზემოხსენებული და სხვა ავტორების „კლასიკური“ გენეტიკის საფუძვლებს). რადგანაც ნეირონთა რიცხვი 12—14 მილიარდს შეადგენს, ხოლო მათ შორის კავშირების რიცხვი ტრილიონობით განისაზღვრება, მაშინ დაშვება იმისა, რომ ამ უზარმაზარი ინფორმაციის რიცხვი გენეტიკურად გადაეცემა შთამომავლობას, დღეისათვის წარმოუდგენელია. ცნობილია, რომ მემკვიდრეობითი ინფორმაციის გადაცემის ფუნქცია ძირითადად მიკუთვნებული აქვს დეზოქსირიბონუკლეინმჟავას (დნმ), რომლის ქიმიური და რაოდენობრივი შემადგენლობა გარკვეული ორგანიზმის ყოველ უჯრედში ერთი და იგივეა. კერძოდ, ძუძუმწოვრების ყოველ

უკრედზე მოდის დ ნ მ-ის 10^{10} სტრუქტურული ერთეული (ნუკლეოტიდი).

პერსექტრონის ზემოთ განხილული მოდელის რეცეპტორ A-ელემენტების წრედები საშუალებას იძლევა მათ შორის ინჟინრულად მოხერხებული, შემთხვევითი კავშირების დამყარებით მიღებულ იქნას კომპაქტური სიმრავლე. ამ თვალსაზრისით თავის ტვინის ბიოლოგიური კომპაქტურობის ცნება შესაძლებელია ანალოგიური იყოს პერსექტრონის არქიტექტურისა.

თავის ტვინის ერთ-ერთი უნიკალური თვისებაა თავის ტრამვის ან სხვა სერიოზული ავადმყოფობის შემდეგ შეინარჩუნოს ან აღადგინოს მრავალი ფუნქცია. იგივე თვისებებით ხასიათდება პერსექტრონი, რომელიც ფაქტიურად ნორმალურად ფუნქციონირებს მიუხედავად იმისა, რომ ასოციაციური ელემენტების $3/4$ ან $7/8$ გამოსულია მწყობრიდან (იხ. ნახ. 11)

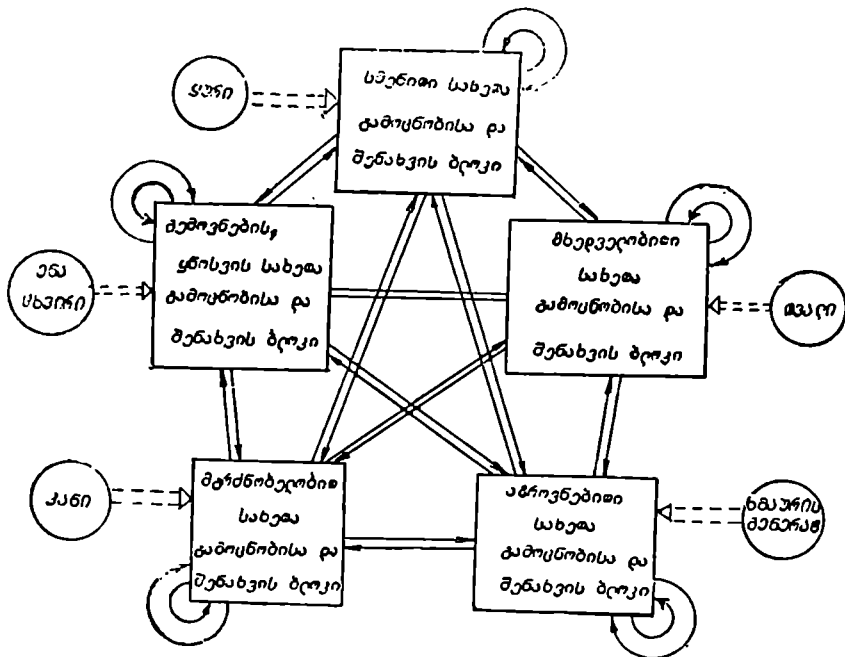
თავის ტვინისა და პერსექტრონის ზოგიერთი ფუნქციის მსგავსება, რასაკვირველია, არ ნიშნავს, რომ მათი მუშაობის პრინციპი (ალგორითმი) ერთნაირია; მაგრამ პერსექტრონის მოდელი იძლევა აზროვნების „მექანიკური“ ბუნების კარგ ილუსტრაციას. ალბათ ანალოგიური თვისებების მოდელები ჰქონდა მხედველობაში ცნობილ ფიზიოლოგს ი. ს. ეჩენოვს, როცა თავის კლასიკურ ნაშრომში „თავის ტვინის რეფლექსები“ (1952, გვ. 47—48) ამბობს:

„Мысль о машинности мозга при каких бы то ни было условиях, для всякого натуралиста-клад. ...Ведь это (мозг. -р. б.) самая причудливая машина в мире“.

ნერვული სტრუქტურის მოდელი შესაძლებელია დაფუნდებული იყოს კონცეპტუალური სისტემების ზოგად თეორიაზე, რომელიც თვლის, რომ მეცნიერების ყველა დარგი, ყველაფერი ის, რასაც ადამიანი იკვლევს და სწავლობს, რაგინდ რთული და მრავალფაქტორიანი არ იყოს სისტემა, ექვევა იმ ენის „იურისდიქციის“ ქვეშ, რითაც ადამიანი აზროვნებს შესასწავლ ობიექტებზე. ეს ენა ერთგვარად გარკვეულად განსაზღვრავს თავის ტვინის სტრუქტურას, მის ფსიქიკურ და ინტელექტუალურ ფუნქციებს. აკად. ვ. ჰ ა ვ ჰ ა ნ ი ძ ი ს მიერ შექმნილი ეს თეორია თვლის, რომ გარე სამყაროს სტრუქტურამ, მისმა სისტემატურობამ, ობიექტურმა თავისებურებებმა და მრავალსახეობამ განაპირობა აზროვნებითი ფუნქციების ფორმა და სტრუქტურა. ამ თვალსაზრისით ცნებები და სახეები იმიტომ არსებობენ, რომ რეალური ბუნების არც ერთი ობიექტი არაფერ

მიერ არაა წინასწარ გამზადებული ისე, რომ ის განვაცალკევოთ, ინდივიდუალურად ყველასათვის, მოვათავსოთ მახსოვრობის „თაროებზე“. ასეთი მახსოვრობის „მფლობელები“ განწირულნი იქნებოდნენ. მიუხედავად იმისა, რომ გარე სამყაროს ობიექტები მრავალსახაა, ერთი და იგივე გენეზისის, ერთი და იგივე სტრუქტურისაა, ადამიანთა მოდგმაში, მათ თავებში ერთმა ობიექტმა წარმოქმნა და გააფორმა ერთი განზოგადებული სახე. ამან კი წარმოშვა ერთი სახელწოდება, ერთი სიტყვა. თავის მხრივ სიტყვის წარმოქმნამ გამოიწვია სხვადასხვა პრაქტიკული რეალიზაციის აუცილებლობა, უფრო სწორად ხელოვნური „ტრაექტორიების“ შექმნა, რაც წარმოადგენდა შემოქმედებითი აქტის ფორმას.

აზროვნებითი პროცესების საინტერესო პიპოთეზური მოდელი მოცემულია ბრუკლინის პოლიტექნიკური ინსტიტუტის პროფესორის, სპეციალობით ელექტრო-და ბიოინჟინერის ს ი დ დ ე ი ჩ ი ს ზემოხსენებულ მონოგრაფიაში. ინფორმაციის („აზრი“) მატარებელს მოდელში (ნახ. 12) წარმოადგენს მოქმედების პოტენციალთა მაციკულირებე-



ნახ. 12. აზროვნებითი პროცესების პიპოთეზური მოდელი

ლი ჯგუფი.¹ ს. დ ე ი ჩ ი აგებს მოდელს ინფორმაციის გამოცნობისა და შენახვის ხუთივე ჯგუფისათვის (აზროვნება, მხედველობა, სმენა, ყნოსვა, გემოვნება და მგრძობელობა). „აზრი“ შეიძლება ცირკულირებდეს მახსოვრობის ნებისმიერ ბლოკში (ნახაზზე აღნიშნულია ბლოკში შემავალი და გამავალი პარალელური ნახევარწრეებით). როცა რომელიმე ბლოკში მიაღწევს დროებითი ასოციაციის ბოქოს განმუხტვის სიგნალი, ბლოკი გამოეხმაურება დროის მიხედვით მასში აქამდე არსებულ და შემდგომ გადასაცემ მახსოვრობას. თუ სათანადო ნეირონები გარკვეული მიმდევრობის დაცვით იქნებიან აგზნებულ მდგომარეობაში, მაშინ „აზრი“ შეიძლება გადაეცეს ბლოკიდან ბლოკზე (როგორც ნახაზიდან ჩანს, ყველა ბლოკი ერთმანეთთან ორმხრივი საინფორმაციო კავშირებითაა შეერთებული). მოდელის თავისებურება ის არის, რომ ყოველ მომენტში შესაძლებელია მხოლოდ ერთი აზრი ცირკულირებდეს. ამ პროცესის „კვებისათვის“ უნდა არსებობდეს გაძლიერების ავტომატური რეგულირების მოწყობილობები (ტექნიკაში არსებობს ასეთი მოწყობილობების ბევრი სახესხვაობა). აზროვნების ქერქში უნდა არსებობდეს სახეთა გამოცნობისა და მახსოვრობის საკუთარი ბლოკი, რომელშიც ნეირონთა რიცხვი დაახლოებით უდრის 10⁸. ესაა უმცირესი კვადრატებისაგან შემდგარი ველი — მატრიცა 10 ათასი რიგითა და ამდენივე სვეტით.

რა პრინციპით ხდება „აზროვნება“? არსებობს სამი შესაძლებლობა:

ა) აზრი, რომელიც ცირკულირებდა ქვეცნობიერების რომელიმე არეში (ტვინის რა ადგილასაც არ უნდა იმყოფებოდეს) შეიძლება გავიდეს ტვინის „შეგნებულში“ არის ნაწილში და იქიდან განდევნოს მასში არსებული ცირკულირებული აზრი.

ბ) როცა ადამიანის ყურადღება გამახვილებულია სავარაუდო მისაღებ სიგნალებზე, ამ შემთხვევაში გამომუშავდება სათანადო სიგნალი (იმპულსი), რომელსაც შეუძლია აგზნებაში მოიყვანოს აზროვნების ფუნქციებთან დაკავშირებული გარკვეული ნეირონები. როცა ამგზნები იმპულსი გაირბენს 10 000 დამახსოვრების ნეირონების რიგს მახსოვრობის მატრიცაში, მონახავს იმ ნეირონს, რომელიც დაკავშირებული იყო წინათ არსებულ აზრთან (სახესთან).

¹ შეიძლება ამ ჯგუფის ქვეშ ვიგულისხმოთ მარსილირებელი, პეისმეკერულ პოტენციალთა კლასი, რომლებიც ნეირონებს ზღურბლური ამპლამედიან გარდაქმნის მმართავ გენერატორებად. იხ. მაგალითად, Соколов Е. Н., Аракелов А. А., Литвинов Г. Е. и др.—Пейсмекерный потенциал нейрона. Изд-во «Медицина», Тб., 1975, გვ. 5—25.

ვ) მოდელში არსებული ხმაურის გენერატორი ეკვივალენტია ტვინში არსებულ ზღურბლურ ღონეთა ცვლილებისა, როდესაც ხმაურის გამო ხდება განმუხტვა. განმუხტვის იმპულსს შეუძლია აზრის „გახსნა“ (საჭირო მახსოვრობის ნეირონის აგზნება აზროვნების მატრიცაში). პრაქტიკაში ჩვეულებრივ განმუხტვა წყდება მანამდე, სანამ გაივლიდეს სინაპსურ კავშირებს. კიბერნეტიკაში ადამიანის აზროვნების პროცესს განიხილავენ როგორც ფსიქოლოგიური ობიექტის პრობლემას, ამიტომ აზროვნებითი პროცესის მოდელირების დროს ითვალისწინებენ ფსიქოლოგიური ობიექტისათვის დამახასიათებელ თვისებებს. კერძოდ აინტერესებთ, თუ რამდენად სრული და ძირითადია წარმოდგენა ობიექტებზე (მაგალითად, ფსიქოლოგიური ექსპერიმენტების დროს შეგნებულად გამოყოფილი თვისებები).

დამტკიცებულია, რომ ადამიანი ევრისტიკული შემოქმედების პროცესში ყოველთვის ვერ იყენებს მის მიერ ამ პროცესამდე შეგნებულად გამოყოფილ პარამეტრებს (თვისებები)¹. შემოქმედებითი პროცესის დროს ადამიანს მხოლოდ და მხოლოდ მისთვის დამახასიათებელი თვისებების გამო ძალაუვნებურად შეაქვს ახალი დამატებითი ელემენტები. ადამიანს არ შეუძლია გაითვალისწინოს ის ელემენტები, რომელთაც ადგილი აქვთ პრობლემებზე აზროვნების რთულ პროცესში. ამასთან ერთად, ხშირად აზროვნების პროცესში მხოლოდ ეს დამატებითი ელემენტები — ფაქტორები თამაშობენ ძირითად როლს. ამრიგად, ადამიანის სუბიექტისათვის დამახასიათებელი თვისება (დამატებითი ელემენტების ინტუიციით წარმოქმნის მომენტი) არ იძლევა ფსიქოლოგიური ობიექტის კანონზომიერების შესახებ ჰიპოთეზის შემოწმების საშუალებას. ამიტომ ადამიანის შემოქმედებითი (აზროვნებითი) პროცესის გამოკვლევის ობიექტურ მეთოდებად მიაჩნიათ მოდელირების თემატიკური მეთოდები, კერძოდ, ხელოვნების დარგისათვის „შექმნილი და შეფასებულ სისტემის „ალგორითმული მეთოდი“.² ობიექტის კანონზომიერების

¹ об. З а р и п о в Р. Х. — Моделирование функции композитора и музыковеда на ЭВМ. Труды IV Международной объединенной конференции по искусственному интеллекту. Том. 10. Применение искусственного интеллекта. Научный совет по комплексной проблеме «Кибернетика». АН СССР, Институт кибернетики АН ГССР, М. 1976 г. 10. 78—10. 87.

² об. Д ж и н с Д., С т и н и Д. (США) — Искусственный интеллект и эстетика. 1976 г. 10. 63—10. 75.

ჰიპოთეზის ეცგ-მანქანაზე შემმოწმებელი პროგრამის მოდელირების შესახებ იხ. თავი V, გვ. 121, 127 და სხვა.

საინტერესოა ამერიკელი ე. ფეიგენბაუმის მიერ დამუშავებული ადამიანის სიტყვიერი მასალის დამახსოვრების მოდელი. მოდელს, ან მათემატიკურ პროგრამა ეპამ-ს (ინგლისური სიტყვებიდან „ელემენტარული ამოცინებელი და დამამახსოვრებელი პროგრამა“) საფუძვლად უდევს შემდეგი პრინციპები¹.

ა) პროგრამის მოქმედება წარმოადგენს ტვინში მიმდინარე ზოგადი აზროვნებითი პროცესების იმიტაციას, ამასთან მხედველობაში არ მიიღება ნერვული სისტემის სტრუქტურა და ფუნქციები.

ბ) ტვინი განხილულია როგორც ერთგვარი საინფორმაციო მანქანა, რომელიც ხასიათდება ინფორმაციის შეტანისა და გამოტანის მოწყობილობებით, ხოლო შინაგანი სტრუქტურით კი წარმოადგენს მოწყობილობებს, სადაც ხდება პროგრამების შემოწმება, ინფორმაციების შედარება, ანალიზი, გადაჯგუფება და დამახსოვრება.

გ) ინფორმაციის დამუშავების ცენტრალური მექანიზმია მიმდევრობითი დამუშავების მოწყობილობა, ე. ი. დროის ერთსა და იმავე მონაკვეთში სრულდება მხოლოდ ერთი ან რამდენიმე ოპერაცია.

დ) ინფორმაციის ერთეულს მოდელში წარმოადგენს საინფორმაციო სიმბოლო, რომელსაც შეესაბამება გარე ობიექტების ტვინში წარმოდგენა.

ე) მოდელში პროცესები მთლიანად დეტერმინირებულია. პროგრამა ეპამ-ი ახდენს ადამიანის მიერ წყვილი მარცვლების დამახსოვრების მოდელირებას. ამოცანა შემდეგში მდგომარეობს: ხდება წყვილების რამდენჯერმე წარდგენა, რის შედეგაც წარუდგენენ მხოლოდ ერთ მარცვალს და ადამიანმა პასუხად უნდა აქვეას მეორე მარცვალი. ამასობაში პროგრამის მოქმედება უნდა ახდენდეს ადამიანის მიერ დამახსოვრების პროცესის დინამიკის იმიტაციას.

აღნიშნულ მათემატიკურ მოდელში დამახსოვრება ხდება შემდეგნაირად. დასაწყისში ხდება წარმოდგენილი კოდის გარკვეული ნაწილის დამახსოვრება. იმ შემთხვევაში, თუ გამოჩნდა სხვა კოდი მსგავსი ნაწილით, ჩაირთვება დისკრიმინაციის მოწყობილობა და ხდება დასამახსოვრებელი ნაწილის გაზრდა.

¹ იხ. Feigenbaum E. E. — The simulation of verbal learning behavior. „Computers and Thought“, New York, Mc Grow-Hill, გვ. 297—310, 1963.

ორივე კოდის განსასხვავებლად სწორი არჩევა ხდება რეაქციის კოდისა და სტიმულის კოდებს შორის შექმნილი ასოციაციის საფუძველზე; ამასთან, ასოციაციის დამახსოვრება ემორჩილება პრინციპს „ყველაფერი ან არაფერი“. მოდელის (პროგრამა) და ადამიანის მოქმედებების შედარება გვაძლევს მათში მიმდინარე პროცესებს შორის მსგავსებას; როგორც ადამიანი, ისე სამანქანო პროგრამა უშვებენ ერთი და იგივე ტიპის შეცდომებს, მანქანაში და ადამიანში ინფორმაციის დავიწყების პროცესებიც ანალოგიურია.

ვიდრე გავეცნობოდეთ „მოაზროვნე“ კიბერნეტიკულ მოდელებს (მანქანებს) და მათ შესაძლებლობებს შევადარებდეთ ადამიანისას, მოკლედ განვიხილოთ ამ წიგნში განხილული საკითხების წინაისტორია.

თვლის საზუსტლებანი

აღამიანის უპირველესი და უძველესი სათვლელი მოწყობილობა იყო... საკუთარი თითები. ზოგ ქვეყანაში ხუთის სინონიმი იყო ხელი („ლიმა“ მალაიზიაში ნიშნავს — „ხუთს“ და „ხელს“. ხუთი არის ხელის სინონიმი ჩუკჩებში, ესკიმოსებში), ათისა — ორი ხელი (ჩუკჩები და ესკიმოსები), თხუთმეტისა — ერთი ხელი და ორი ფეხი, ოცისა — ორი ხელი, ორი ფეხი (ასე ითვლიდნენ პაპუასები ახალ გვინეაში და სხვ.).

ზოგიერთი ავსტრალიელი ტომი ასე ითვლიდა: 1—ერთი; 2—ორი, 3—ორი + ერთი, 4 — ორი + ორი; 5—ორი + ორი + ერთი. თვლის ამ სისტემაში გამორიცხული იყო ციფრი „3“. ამ სისტემაში იგრძნობა უძველესი ტომების მიერ სიმრავლის უმარტივესი აღქმა, რადგანაც ასეთი ორობითი სისტემა ეთანადება უმარტივეს დაყოფას: „მე“ და „ის“, „მე“ და „გარე სამყარო“. შემდეგ გაჩნდა რიცხვი „3“. ერთ-ერთი სამხრეთ ამერიკელი ინდიელების ტომი — ტობა ასე ითვლიდა: 1—ერთი; 2—ორი; 3—სამი; 4 — ორი + ორი; 5 — ორი + სამი. თვლის ამ სისტემაში სინამდვილის განცალკევება ასე ხდება: „მე“, „ის“ (გარე სამყარო), „შენ“, „ისინი“ (სხვა კაცი, სხვა ხალხი). ამ უკანასკნელში აღნიშნულია სოციალური ელემენტი.

თითებზე თვლა მოიხსენიება უძველეს ლიტერატურულ ნაწარმოებებში: ჰომეროსის „ოდისეაში“, არისტოფანის კომედიებში და სხვ. თითებზე თვლას რომის იმპერიაშიც დიდი გამოყენება ჰქონდა. შუასაუკუნეების ევროპაში თითებზე თვლის ხელოვნებაზე მთელი ტრაქტატი დაწერა ერთ-ერთმა ირლანდიელმა შრომისმოყვარე ბერმა ბ ე ლ ა მ (ბედას ტრაქტატი „გამოთვლებზე“. ბ ე ლ ა ცხოვრობდა 673—735 წწ.). რიცხვების ბარელიეფზე ამოტვიფვრის ჩვენამდე მოღწეული პირველი ცნობები აღნიშნულია ფ ა რ ა ო ნ ს ე ტ ი I ტაძარში ქ. ა ბ ი ო ს - შ ი. ეს ძეგლი აგებულია დაახლოებით 1350 წ. ჩვენს წელთაღრიცხვა-

მდე. ბარელიეფზე ჩანს ღმერთი ტოტი დაფნის შტოთი ხელში, რომელზედაც ის აღნიშნავს ფარაონის მმართველობის პერიოდს.

აღამიანი უძველესი დროიდან იყენებდა თელის სხვადასხვა ინსტრუმენტულ სისტემებს ვაჭრობის, მეურნეობის და სხვ. დარგში. ჩინელები, ინდიელები, პერუელები რიცხვების გამოსახატავად იყენებდნენ დაკვანძულ თოკებს. ასეთ თოკებს ამერიკელი ინდიელები „კუირუს“ უწოდებდნენ (უძველეს პერუს ქალაქის ხაზინადარს უწოდებდნენ „კუირუ კომოუოკუნა“ — კვანძების ჩინოვნიკი). რიცხვების დამთვლელობის განვითარებამ დიდი გზა განვლო თიხის დაფების გამოყენებიდან ქალაქის გამოგონებამდე. ამ მიზნით პერგამენტის გამოყენება დაიწყო ჩვ. წ. აღრიცხვამდე მეხუთე საუკუნეში, ხოლო ქალაქისა — XI ს. ევროპაში. პეროდოტეს ეპოქიდან დაწყებული ჩვენი წელთაღრიცხვის V საუკუნეში ეგვიპტესა და საბერძნეთში, ხოლო მოგვიანებით ძველ რომში დიდი გამოყენება ჰქონდა ე. წ. აბაკს. რომაული აბაკი წარმოადგენს ხის დაფას, რომელსაც ვერტიკალურად სიგრძეზე 8 და მეტი ტიხარი აქვს, სადაც დაახლოებით ნახევარ სიგრძეზე განლაგებულია პატარა მრგვალი ქვები (ქვების ნაცვლად რომში მოგვიანებით იყენებდნენ ბრინჯაოს, სპილოს ძვალს, ფერად მინას).¹ გამოკლება ნიშნავდა ღარიანი ქვის ამოღებას, მიმატება — ჩადებას, გამრავლება და გაყოფა — სათანადოდ გამეორებით მიმატებასა და გამოკლებას. ჩინელები თავიანთ აბაკებს უწოდებდნენ სუან-პანს (VI—XII სს.), რომელიც მოგვეგონებს თანამედროვე საანგარიშოს. იაპონელებმა ჩინელებისაგან გადმოიღეს თელის ეს ინსტრუმენტი და ოდნავ გადააკეთეს (იაპონური სორობანი, XV—XVI სს.) რუსული აბაკები გაჩნდა XVI—XVII სს. აბაკები XV—XVI საუკუნეებში ევროპაში შეიძვალა უფრო მოხერხებული „საანგარიშო ტაბულებით“ ანუ „ხაზზე საანგარიშო“ მოწყობილობით, რომელიც წარმოადგენდა პორიზონტალურ ხაზზე განლაგებულ ტაბულებს (ერთეული, ათეული, ასეული და ა. შ.). რიცხვების გამოსახვის მიზნით ყოველ ხაზზე დებდნენ ერთიდან ოთხ ეტიონამდე. ვერტიკალური მიმართულებით დახაზული იყო რამდენიმე სვეტი ცალკეულ შესაკრებ ან გასამრავლებელ რიცხვთა გამოსახატავად.

შოტლანდიელმა ჯონ ნეპერმა 1614 წ. პირველად შემოიტანა რიცხვის ლოგარითმის ცნება, რომელმაც მოგვიანებით საშუალება მისცა ლონდონის გრეშემის კოლეჯის პროფესორს ედმუნდ გიუნ-

¹ იხ. Гутер Р. С., Полунин Ю. Л. — От абака до компьютера. Изд-во «Знаание», М., 1975, გვ. 9—10.

ტერს (1581—1626 წწ) აეგო ლოგარიტმული სკალა (გიუნტერის სკალა).

ამ 360 წლის განმავლობაში შეიქმნა 100-ზე მეტი სხვადასხვა კონსტრუქციის ლოგარიტმული სახაზავი. გასულ საუკუნეში ერთ-ერთი პოპულარული იყო 1850 წელს 19 წლის ფრანგი ოფიცრის ადამეი მანჰეიმის სწორკუთხოვანი სახაზავი, რომლის სკალის განლაგება თანამედროვეს უახლოვდება.

პირველი არითმეტიკული სათვლელი მანქანა 1642 წ. ააგო ცნობილმა ფიზიკოსმა ბლეზ პასკალმა (1623—1662). არითმეტიკულ მანქანაში ანუ „პასკალის ბორბალში“ აბაკისა და ლოგარიტმული სახაზავისაგან განსხვავებით რიცხვების საგნობრივი წარმოდგენის ნაცვლად გამოყენებული იყო კბილანა ბორბლის სხვადასხვა კუთხით მობრუნების პრინციპი. რიცხვების შეკრება წარმოადგენდა კუთხეების პროპორციული შეკრების ოპერაციას, ხოლო გამოკლება — კუთხეების გამოკლების ოპერაციას. მანქანაში რიცხვების შეტანა ხდებოდა ე. წ. „დასაყენებელი ბორბლის“ საშუალებით. ამ მანქანას იყენებდნენ კომერციულ გაანგარიშებებში. საინტერესოა აღინიშნოს, რომ მადრიდის ეროვნულ ბიბლიოთეკაში 50-იან წლებში აღმოაჩინეს ლეონარდო დავინჩის ხელნაწერთა ორი ტომი, სადაც Codex Madrid—1 ნახაზებს შორის აღმოჩნდა 13 თანრიგიანი რიცხვის შემკრები მოწყობილობის სქემა, რომელშიაც ჯერ კიდევ ბლეზ პასკალისა და გერმანელ ვილჰელმ შიკარდის (1592—1636) გამოგონებამდე დიდი ხნით ადრე გამოყენებულია კბილანა ბორბლები. ლეონარდოს ამ ნახაზების მიხედვით, ფირამე იბმ (აშშ) ააგო მოდელი, რომელიც ასრულებდა არითმეტიკულ ოპერაციებს.

1751 წ. პირველ ფრანგულ „მეცნიერთა ჟურნალში“ (ჟურნალი დაარსდა 1665 წ.) გამოქვეყნდა ანგარიში, რომელშიც ნათქვამია, რომ პორტუგალიელი ებრაელის შეილმა ჰაკობ როდრიგეს პერიერიამ გამოიგონა არითმეტიკული მანქანა, რომელსაც იყენებდა ყრუმუნჯთა სკოლაში ოთხი არითმეტიკული მოქმედების სწავლებისათვის. პასკალის მანქანისაგან განსხვავებით, პერიერას მანქანას სათვლელი კბილანა ბორბლები (თვლები) განლაგებული იყო არა პარალელურ ღერძებზე, არამედ მანქანაში გამავალ ერთადერთ ღერძზე. 40 წლის პედაგოგიური მოღვაწეობის პერიოდში პერიერამ აღზარდა მრავალრიცხოვანი ყრუმუნჯი, მოიპოვა საერთაშორისო სახელი. 1759 წ. არჩეულ იქნა ლონდონის სამეფო საზოგადოების წევრად. რატომ არ ინერგებოდა მასობრივად კბილანა თვლიანი მანქანები? ამის მიზეზი ძირითადად ორ გარემოებაშია:

1) არ არსებობდა მატერიალურ-ტექნიკური პირობები დიდი რაოდენობით არითმეტიკული მანქანის შექმნისა.

2) მანქანებში რიცხვის შეტანა ხდებოდა ნელა, და გამოცდილ ოპერატორ-გამომთვლელებთან, მაგალითად, მოლარეებთან შედარებით მანქანაზე ანგარიშის პროცესი ხშირ შემთხვევაში ადამიან-ოპერატორის სასარგებლოდ მთავრდებოდა.

კიბერნეტიკის მამამთავარი ნორბერტ ვინერი ამბობდა რა ბლუზ პასკალზე, როგორც არითმომეტრის გამომგონებელზე, აღნიშნავდა, რომ „მისი დროის ავტომატებში განხორციელებული ტექნიკა იყო საათის მექანიზმების ტექნიკა“. ეს იყო ძირითადად კბილანა თვლების მექანიზმები, რომელიც ამჟამაც არითმეტიკულ მოწყობილობისათვის შეიცვალა კლავიშებიანი მექანიზმებით. პირველი კლავიშური ერთთანრიგიანი ამჟამავი მოწყობილობა აღწერილია 1850 წ. დ. პარმელიის მიერ ამერიკულ პატენტში №7074.

ორთანრიგიანი ამჟამავი პრაქტიკული მანქანა პირველად 1857 წ. ააგო ამერიკელმა თომას ჰილმა. ყოველი თანრიგი შეიცავდა 9-9 კლავიშს, რომელიც ვერტიკალურად ერთ ხაზზე იყო განლაგებული და უერთდებოდა ორ კბილანიან თვალს. თითოეულ თვალზე ამოტვიფრული იყო პატარა და დიდი ციფრები 0-დან 9-მდე, რომლებიც 63 კბილანის საშუალებით 7-7 ჯგუფად იყო დაყოფილი. ზრდის მიმართულებით განლაგებული დიდი ციფრები გამოყენებული იყო შეკრების დროს, პატარა ციფრები კი — კლებადობის მიმართულებით და იყენებდნენ რიცხვების გამოკლებისას. კლავიშზე თითის დაჭერისას ციფრებიანი თვალი ბრუნავდა. ორი ციფრის შეკრებისა და გამოკლების შედეგი (ციფრი) ჩანს აღნიშნულ თვალთან სიახლოვეს უძრავად მიმაგრებულ პატარა ფანჯარაში.

თ. ჰილის მანქანამ ვერ ჰპოვა დიდი გამოყენება, მაგრამ მის იდეაზე 1884 წ. ამერიკელმა მეტალურგმა იუჯინ დორფელტმა ააგო მრავალთანრიგიანი კლავიშებიანი ამჟამავი მოწყობილობა, რომელსაც დაერქვა „კომპტომეტრი“. მანქანას იყენებდნენ კომერციული სამუშაოების საწარმოებლად, ამინდის ბიუროში და სხვ. ამერიკელმა მექანიკოსმა უილიამ ბეროუმმა (1857—1898) 3 წლის განუწყვეტელი მუშაობის შედეგად 1885 წ. დაამთავრა ახალი კლავიშებიანი არითმომეტრის აგება. ეს მანქანა თ. ჰილის მანქანისაგან განსხვავებით მუშაობდა ორ ტაქტში. პირველ ტაქტში კლავიშების საშუალებით აყენებენ სასურველ რიცხვს, მეორე ტაქტის დროს გადამცემი სახელუ-

რის საშუალებით ეს რიცხვი გადადის მთვლელში. ამრიგად კლავიშები არ მონაწილეობდნენ გამოთვლის პროცესში, რის გამოც შესაძლებელი ხდება შეტანილი რიცხვების წინასწარი ვიზუალური კონტროლი და შეცდომის თავიდან აცილება. მანქანის აგებაში უ. ბეროუზს ეხმარებოდნენ სენ-ლუისელი ფაბრიკის მეპატრონე თ ო მ ა ს მ ე ტ კ ა ლ ფ ი, ადგილობრივი მდიდრები რ. მ. ს კ რ ა გ ს ი და ჰ. პაი. 1886 წ. 21 იანვარს ამ ოთხეულმა აშშ-ში გახსნა სათვლელი მანქანების წარმოების პირველი ფირმა. მე-20 საუკუნის პირველ ნახევარში ბ ე რ ო უ ზ ი ს მანქანასა და ფ ე ლ ტ ი ს „კომპტომეტრს“ დიდი გამოყენება ჰქონდათ როგორც საეაქრო, ასევე სამეცნიერო დაწესებულებებში. ჩვენი საუკუნის 50-იანი წლებიდან კლავიშებიან მანქანებზე იყენებდნენ ელექტროამძრავს, ხოლო უკანასკნელ პერიოდში კი ტრანზისტორებსა და ნახევრადგამტარულ ინტეგრალურ სქემებს (მაგალითად, საბჭოთა „ელექტრონიკა“ და სხვა ტიპის საბჭოთა კლავიშებიანი ელექტრონული გამომთვლელი მანქანები). ზემოაღნიშნულ მანქანებში, სადაც ადვილად სრულდება შეკრების ოპერაცია, შედარებით ძნელია გამრავლების წარმოება. რიცხვების გამრავლების დროს, როგორც ცნობილია, ხდება ორი ოპერაცია, რიცხვების ძვრა და შეკრება. აღნიშნულ მანქანებში (პ ა ს კ ა ლ ი, ბ ე რ ო უ ზ ი და სხვ.) გამრავლების საწარმოებლად საჭირო იყო შესაყრებთა ხელახალი შეტანა, რაც ცვლიდა ძვრის ოპერაციას.

მეთვრამეტე საუკუნის უდიდესმა გერმანელმა მათემატიკოსმა გ ო ტ - ფ რ ი დ ვ ი ლ ჰ ე ლ მ ლ ე ი ბ ნ ი ც მ ა (1646—1716) 1710 წ. აავსო მსოფლიოში პირველი „არითმეტიკული მანქანა“ — არითმომეტრი, რომელიც ასრულებდა ოთხივე არითმომეტრულ ოპერაციას. ნიშანდობლივია, რომ ლეიბნიცს სურდა ერთ-ერთი პირველი არითმომეტრი ეჩუქებინა პეტრე პირველისთვის, რომელსაც თვლიდა რუსეთის უდიდეს რეფორმატორად. მანქანა გაფუჭებული იყო და მოკლე დროში ვერ აამუშავეს. პ ა ს კ ა ლ ი ს მანქანისაგან განსხვავებით, ლეიბნიცმა თავის არითმომეტრში გადაწყვიტა ისეთი საკითხები, როგორიცაა თანამამრავლის დაყენება და ნამრავლის შეტანა მთვლელში. ამასთან, ეს ოპერაციები ხდებოდა მანქანის ერთადერთი სახელურის ტრიალით, რომელიც თავის მხრივ გარკვეული მიმდევრობით ატრიალებს 8 ლილვსა და 8 მრგვალ ფირფიტას. თითოეულ მრგვალ ფირფიტაზე აღნიშნული იყო ციფრები 0, 1, 2 ... 9. ანგარიშის შედეგი — რიცხვი გამოჩნდებოდა ამ ლილვების წინ მდებარე პატარა ფანჯრებში. ლეიბნიცის მანქანა, როგორც ვხედავთ, წარმოადგენდა დღესაც ზოგიერთი გამოყენების არითმომეტრის შორეულ პრო-

ტოტიპს. ლეიბნიცის არითმომეტრის ერთი ძირითადი თვისება — მანქანის საფეხურებიანი ლილვი ცნობილი მრგვალი ფორმის არითმომეტრის შესაქმნელად გამოიყენა თავისი დროის ძალზე დახელოვნებულმა მექანიკოსმა და გამომგონებელმა შტუტგარტელმა ფილიპმათეუს განმა (1739—1790). განის ხელობით აღტაცებული იყო გოეთე, მწერალი ლატავრი და სხვები.

იოჰან გელფრაიხ მიულერმა, დარმშტატელმა მშენებელმა და კაპიტან-ინჟინერმა, 1783 წ. განის მანქანის გაუმჯობესების მიზნით თავის ახალ გაუმჯობესებულ არითმომეტრს დაუმატა ზარიანი მექანიზმი, რომელიც ხმაურობდა მაშინ, როცა გამომთვლელი გარკვეულ შეცდომებს უშვებდა. ეს იდეა გამოყენებულია დღესაც კლავიშებიან საბეჭდო მანქანებზე. იგივე იდეა გამოიყენა თავის ანალიზურ მანქანაში ცნობილმა ჩარლზ ბებეჯმა, რომლის შესახებაც გვექნება ლაპარაკი.

თავისი დროისათვის დიდად განათლებული შოტლანდიელი ჯონ ნეპერი (1550—1617) იყო არა მარტო დიდი მათემატიკოსი, რომელმაც შემოიტანა ნეპერის ლოგარითმის ცნება, არამედ გატაცებული იყო ისეთი საკითხებითაც, როგორცაა სოფლის მეურნეობა, ასტროლოგია, სამხედრო საქმე. საინტერესოა, რომ ესპანეთთან ომის დროს მან ხელისუფალთ წარმოუდგინა ბარათი „საიდუმლო გამოგონებაზე, რომლებიც სასარგებლოა და საჭირო კუნძულის დასაცავად, წმინდა რჩულის მტრებისაგან დასაცავად“. ეს „საიდუმლო გამოგონებები“ ეხებოდა:

- ა) შორ მანძილზე მტრის გემის დაწვას სარკის გამოყენებით;
- ბ) წყალქვეშა ცურვის სხედასხვა იარაღით აღჭურვილ მოწყობილობას მტერზე უეცარი თავდასხმისათვის (ლაპარაკია წყალქვეშა ნავზე? რ. ბ.)
- გ) მეტალის ბორბლიან სწრაფად მოძრავ მოწყობილობას, რომელიც მეომრები სხედან და მოწყობილობის პატარა ხვრელიდან მტერს ესერიან (ტანკი?).

დ) ქვემეხს; რომელიც ერთი გასროლით გაანადგურებდა 30 000 თურქს.

ნეპერმა დაამუშავა რიცხვების გამრავლების, გაყოფისა და აგრეთვე რიცხვიდან კვადრატული ფესვის ამოღების მარტივი ხერხი. ამისათვის ის იყენებდა სპეციალურ ჩხირებს, რომლებზედაც გარკვეული თანმიმდევრობით ეწერა რიცხვები. ერთ ჩხირზე, ეტეოდა 18 რიცხვი. გამრავლებისათვის, მაგალითად, იმდენ ჩხირს აიღებდნენ, რამდენი რიცხვიც შედიოდა თანამამრავლში. შემდეგ ჩხირებს მიაღებდნენ ერთმანეთს და

უმცირესი თანამამრავლის პირდაპირ ექებდნენ ამ თანამამრავლის მეორე თანამამრავლთან გადამრავლების შედეგს. „ნეპერის ჩხირების“ იდეაზე ინგლისელმა ს ე მ უ ე ლ მ ო რ ლ ე ნ დ მ ა ააგო მექანიკური არითმეტიკული მოწყობილობა. მორლენდმა ააგო კიდევ ორი მანქანა: სამკუთხედის გვერდების მნიშვნელობებისა და ტრიგონომეტრიული ფუნქციების მონახვისა და ამჯამევი მანქანები. ეს მანქანები პირველი ინგლისური საანგარიშო მანქანებია.

გასული საუკუნის გამოჩენილი რუსი მათემატიკოსი პ. ლ. ჩ ე ბ ი შ ე ვ ი (1821—1894) ცნობილი მექანიკოსიც იყო. მას დიდი ღვაწლი მიუძღვის სხვადასხვა მექანიზმების გამოგონებაში, რომელთა შორის აღსანიშნავია 1878 წ. შექმნილი არითმომეტრი, იმ დროისათვის ძალზე ორიგინალური გამომთვლელი მოწყობილობა. არსებულთან შედარებით ჩ ე ბ ი შ ე ვ ი ს არითმომეტრში გამოყენებული იყო ორიგინალური მექანიზმი, რომლის უწყვეტად მოქმედების დროს არითმეტიკული ოპერაციების ჩატარებისას ადგილი ჰქონდა სათანადო რიცხვების გადატანას. ჩვენი საუკუნის დასაწყისში რუსეთში გამოიგონეს მექანიკური ინტეგრატორი — უწყვეტი მოქმედების პირველი მანტეგრებელი მანქანა, რომელიც ბსნიდა მეოთხე რიგის დიფერენციალურ განტოლებებს. ამ საინტერესო გამოგონების ავტორი იყო დიდი რუსი მათემატიკოსი და ინჟინერი ა. ნ. კ რ ი ლ ო ვ ი (1863—1945). ნიშანდობლივია, რომ აღნიშნული მანქანის ასამუშავებლად იყენებდნენ სპეციალურად აგებულ საათის მექანიზმს. მანქანას დიდი გამოყენება ჰქონდა სამეცნიერო-კვლევით სამუშაოებში.

ცნობილი ქართველი მათემატიკოსი გ ი ო რ გ ი ნ ი კ ო ლ ა ძ ე, დიდად განათლებული პიროვნება, დაინტერესებული იყო არა მარტო გეომეტრიით, არამედ გამოთვლითი ტექნიკითაც. 1926—1928 წწ. სალოქტორო დისერტაციის მოსამზადებლად პარიზში ყოფნის დროს გ. ნ ი კ ო ლ ა ძ ე მათემატიკის გარდა დაინტერესებულა არითმომეტრების შექმნის დარგში არსებული წყაროებით.

გ. ნ ი კ ო ლ ა ძ ე მ შეისწავლა არსებული ხელსაწყოები და გამოიგონა ახალი ტიპის ელექტრომთვლელი — „პირდაპირი გამრავლების წმინდა ელექტრული არითმომეტრი“, რომელიც პრინციპულად განსხვავდებოდა მანამდე შექმნილი არითმომეტრებისაგან იმით, რომ გააჩნდა წმინდა ელექტრული გამანაწილებელი. ეს სიახლე ამსუბუქებს ოპერატორის მუშაობას, რადგანაც გამრავლების ოპერაციის დროს არაა საჭირო საანგარიშო ძელების ხელით გადაადგილება, ამას ელექტრო-

მაგნიტების სისტემა აკეთებს. გ. ნიკოლაძის გამოგონებას დიდად გამოეხმაურა სამეცნიერო პარიზი, კერძოდ, ფრანგი აკადემიკოსი დ'ოკანი, რომელმაც 1928 წ. პარიზის მეცნიერებათა აკადემიაში თავის მოხსენებაში აღნიშნა გ. ნიკოლაძის გამოგონების დიდი მნიშვნელობა. გ. ნიკოლაძემ თავის გამოგონების შესახებ დაწერა სამეცნიერო ნაშრომი, რომელიც მოთავსებულია პარიზის მეცნიერებათა აკადემიის ანგარიშებში.

გ. ნიკოლაძის გამოგონებით დაინტერესდა ევროპისა და ამერიკის ფირმები. გ. ნიკოლაძის პარიზში ყოფნის პერიოდში მათ თხოვეს, რომ დახმარებოდა არითმომეტრის დანერგვაში. გ. ნიკოლაძეს არც ეცალა ამ საქმისათვის, რადგანაც მათემატიკით იყო დაკავებული და არც ჰქონდა სურვილი ეთანამშრომლა საზღვარგარეთის ფირმებთან. მას სურდა თავისი გამოგონება თავის სამშობლოში დაენერგა, მაგრამ საუბედუროდ არ დასცალდა, ადრე გარდაიცვალა. სამწუხაროდ გ. ნიკოლაძემ ვერ მოიცალა ზუსტად დაედგინა არითმომეტრის ელექტრული და მექანიკური დეტალების დოკუმენტაცია, რომლის გარეშე შემდგომში შეუძლებელი გახდა ამ ახალი ტიპის არითმომეტრის აგება.

საზოგადოებრივი გამოთვლელი მანქანებიდან ეცხ მანქანამდე

ინგლისელი ბანკირის ბენჯამენ ბეზელის შვილი ჩარლზ ბეზელჯი (1792—1871) პირველი იყო, ვინც გამოიგონა ყველაზე მძლავრი გამოთვლითი საშუალება მექანიკური უნივერსალურ-ანალიზური გამომთვლელი მანქანა. 1820 წლისათვის 28 წლის ბეზელჯი უკვე ცნობილი მათემატიკოსი იყო. მუშაობდა ფუნქციონალური აღრიცხვის დარგში, იყო ბედნიერი ოჯახის პატრონი და მდიდარიც. ამ დროიდან იწყება მისი მეორე „ცხოვრების მთავარი საქმე“ (ბეზელჯის სიტყვებია), უნივერსალური მანქანის აგება მისი განუხორციელებელი ოცნება გახდა, რომელსაც შესწირა თითქმის სიცოცხლის 50 წელი და მთელი ქონება.

ბეზელჯმა ააგო მათემატიკური ცხრილების გამომთვლელი ე. წ. სხვაობიანი მანქანა, რომელიც ასრულებდა მხოლოდ და მხოლოდ ერთ ოპერაციას. მანქანა აგებული იყო მექანიკურ მოწყობილობებზე. ამ მანქანის შექმნა ძალზე დიდ ენერგიას ითხოვდა, ბეზელჯი მუშაობდა 10—12 საათს დღე-ღამეში. ამან იმოქმედა მის ჯანმრთელობაზე, რასაც ოჯახური დიდი უბედურებაც დაერთო, 1827 წლის ორი თვის განმავლობაში მან დაკარგა მამა, ცოლი და ორი შვილი (ბეზელჯის 8 შვილი

ჰყავდა, აქედან მხოლოდ სამი შემორჩა, ერთ-ერთ მათგანს ქვემოთ მოვიხსენიებთ). მაგრამ დიდმა უბედურებამაც ვერ შეუშალა ხელი ბებეჯის დაუოკებელ წყურვილს აეგო მანქანა, რომელიც შეასრულებდა ოთხივე არითმეტიკულ ოპერაციას.

ბ ე ბ ე ჯ მ ა გამოიგონა ანალიზური მანქანა, რომელიც შედგებოდა შემდეგი ნაწილებისაგან:

1. რიცხვების შესანახი „საწყობი“, თანამედროვე გავებით ეს არის „მახსოვრობის მოწყობილობა“, „დამაგროვებელი“, 2. „წისქვილი“ — რიცხვებზე ოთხივე არითმეტიკული მოქმედებების მწარმოებელი მოწყობილობა (ამჟამად „არითმეტიკული მოწყობილობა“, „პროცესორი“).

3. მანქანის ოპერაციების გარკვეული მიმდევრობით მწარმოებელი მოწყობილობა (თანამედროვე მანქანებში „მართვის მოწყობილობა“). ბ ე ბ ე ჯ მ ა რატომღაც არ დაარქვა სახელი ამ მოწყობილობას.

4. მონაცემთა შემტანი და გამომტანი მოწყობილობა. რიცხვების შესანახად ბ ე ბ ე ჯ მ ა გამოიყენა რეგისტრი, რომელიც შედგებოდა ათობითი სათვლელი რგოლისაგან. თითოეულ რგოლზე ამოტიფრული იყო რიცხვები 0-დან 9-მდე და ამიტომ ყოველი აქ მოცემული რიცხვის დაფიქსირება შეიძლებოდა რგოლის სათანადო მობრუნებით („მახსოვრობა“).

რიცხვების გადატანა მახსოვრობის მოწყობილობიდან სხვა მოწყობილობაში ხდებოდა კბილანიანი ძელის საშუალებით, რომლებიც ებმებოდნენ რგოლის კბილანებს. ყოველი ძელი მანამდე უნდა ემოძრაებინათ, სანამ რგოლი ნულოვან მდგომარეობას არ მიაღწევდა. არითმეტიკულ მოწყობილობაში მოძრაობის გადაცემა ხდებოდა ღერძებისა და მექანიკური კავშირების საშუალებათ. ამ მოწყობილობაში სხვა ძელის საშუალებით ხდებოდა რეგისტრის რგოლის საჭირო მდგომარეობაში დაყენება. ბ ე ბ ე ჯ ი თვლიდა: „იმისათვის, რომ გვექონდეს გარკვეული რეზერვი იმ უდიდეს რიცხვთან შედარებით, რაც შესაძლებელია დაგვეჭირდეს გამოთვლებში. საჭიროა „საწყობში“ გვექონდეს 50 ათეული ნიშნისანი 1000 რიცხვი“. საინტერესოა, რომ ერთ-ერთ პირველ ეც მანქანას, რომელიც აგებული იყო ბ ე ბ ე ჯ ი ს სამშობლოში — ინგლისში, EDSAC-ის მახსოვრობაში ჰქონდა 250 ათთანრიგისანი რიცხვი.

ანალიზური მანქანის შექმნის პროცესში ბ ე ბ ე ჯ მ ა შესძლო გაეკეთებინა ერთ-ერთი ყველაზე ძირითადი თავისი გამოგონებათაგანი: რიცხვების შეკრების ან გამრავლების დროს წინასწარი გადატანის პრინციპი. ამჟამად მას უწოდებენ გამჭოლ გადატანას. ბ ე ბ ე ჯ მ ა იანგა-

რიშა არითმეტიკული ოპერაციების შესრულების დრო: შეკრება და გამოკლება—1 წამი, ორი ორმოცდაათ თანრიგიანი რიცხვის გამრავლება — 1 წუთი, 100-თანრიგიანი რიცხვის 50 თანრიგიან რიცხვზე გაყოფა — 1 წუთი. ბებეჯმა გააკეთა 200-ზე მეტი ნახაზი ანალიზური მანქანის სხვადასხვა კვანძისა და 30-მდე სხვადასხვა ვარიანტის ნახაზები ამ მანქანის კომპაქტურად ასაგებად. ამ ნახაზებზე მან გამოიყენა 4000-ზე მეტი „მექანიკური აღნიშვნები“. მიუხედავად ბ ე ბ ე ჯ ი ს ტიტანური შრომისა ანალიზურ და სხვაობიან მანქანებზე, პირველი მათგანი მაინც არ იქნა აგებული მის სიცოცხლეში. ბ ე ბ ე ჯ ი გარდაიცვალა 1871 წ.

ანალიზური მანქანის აგება განიზრახა ჩ. ბ ე ბ ე ჯ ი ს შვილმა გენერალ-მაიორმა ჰ ე ნ რ ი პ რ ო ვ ო ს ტ ბ ე ბ ე ჯ მ ა (1824—1918), რომელიც ინდოეთიდან დაბრუნების შემდეგ სამსახურიდან გადადგა. 1880—1888 წწ. ჰ. ბ ე ბ ე ჯ მ ა ააგო მექანიკური არითმეტიკული მოწყობილობა და რიცხვების საბეჭდი მოწყობილობა. ანალიზურმა მანქანამ შესძლო გამოეთვალა რიცხვის ნამრავლი 29 ნიშნა ნატურალურ რიცხვებზე და მიღებული შედეგი დაებეჭდა. ეს შედეგი იყო საუკეთესო, რაც შეეძლო მიეღო ბ ე ბ ე ჯ —უმცროსს. რასაკვირველია სრული სახის ანალიზური მანქანის აგებას ხელი შეუშალა როგორც ბ ე ბ ე ჯ ე ბ ი ს ფინანსურმა მხარემ, ასევე მაშინდელი ინგლისის ქარხნების საკმაოდ დაბალმა საწარმოო-ტექნიკურმა დონემ.

ჩ. ბ ე ბ ე ჯ ი ს ოცნებას ფრთები შეესხა მისი გარდაცვალებიდან მხოლოდ 73 წლის შემდეგ. ამერიკის ცნობილმა ფირმა ი ბ მ ხელი შეუწყო ჰ ო ვ ა რ დ გ ა უ ტ უ ე ი ა ი კ ე ნ ს (დაიბადა 1898 წ.) ბებეჯის იდეებზე დაყრდნობით აეგო მათემატიკური მანქანა. ა ი კ ე ნ მ ა მუშაობა დაამთავრა 1944 წ. აგვისტოში და ჰარვარდის უნივერსიტეტს გადასცა „ოპერაციების მიმდინარეობის ავტომატური მართვის გამომთვლელი მანქანა“. ა ი კ ე ნ ი ს მანქანაში, ისევე როგორც ბ ე ბ ე ჯ ი ს ანალიზურ მანქანაში, რიცხვები ინახებოდა 10 კბილანიან სათვლელ რგოლებზე. რეგისტრში იყო 24 რგოლი, 23 რგოლი რიცხვის აღსანიშნავად, ერთი ამ რიცხვის ნიშნისა. რეგისტრს ჰქონდა ათეულების გადაცემის მექანიზმი და ამიტომ იხმარებოდა არა მარტო რიცხვის შესანახად, არამედ მათზე არითმეტიკული ოპერაციების ჩასატარებლადაც: ერთ რეგისტრში მოთავსებული რიცხვი გადაეცემოდა მეორე რეგისტრში მყოფ რიცხვს და ამოცანის ამოხსნისათვის მას ან დაემატებოდა ან გამოაკლდებოდა. რეგისტრებს ჰქონდათ ბებეჯის მიერ გამოგონებული რიცხვების გამჭოლი გადატანის ანალოგიური სისტემა.

3. ა ი კ ე ნ ის მანქანაში იყო 72 ელექტრომაგნიტურ გადამრთველიანი, სათვლელ რგოლებიანი რეგისტრი, რომელშიც წარმოებდა არითმეტიკული მოქმედებანი („წისკვილი“), აგრეთვე 60 რეგისტრიანი დამატებითი მასსოვრობის მოწყობილობა, „საწყობი“, სადაც ხელით შეჰყავთ გამოთვლებისათვის საჭირო მუდმივი სიდიდეები და რიცხვები. ცალკე მოწყობილობაში სრულდებოდა გამრავლება და გაყოფა. მანქანას ჰქონდა აგრეთვე ელექტრომექანიკურ რელეებზე აგებული ბლოკები $\sin x$, 10^x და $\log x$ — ფუნქციების გამოსათვლელად.

მანქანის მართვა ხდებოდა პერფოლენტიდან შეტანილი ბრძანების ინფორმაციით. მოძრავი პერფოლენტის 24 სვეტში იყო ნახვრეტები, რომლებიც კონტაქტური ჯაგრისის საშუალებით მანქანურ ენაზე იკითხებოდა. ბრძანების შესაბამისად მანქანა ასრულებდა საჭირო მოქმედებას. ოპერაციის შესრულებისთანავე პერფოლენტა გადაიწოდა სხვა, მომდევნო მდგომარეობაში და კონტაქტური ჯაგრისა გადიოდა ნაჩვრეტთა შემდეგ რიგს. 3. აიკენმა თავისი პერფოლენტისათვის გააერთიანა ზებუჯას ორი პერფობარათი — საოპერაციო და ცვლადი სიდიდეების ბარათები. მაგრამ 3. ა ი კ ე ნ ის მანქანაში ბ ე ბ ე ჯ ის მანქანისაგან განსხვავებით არ იყო ერთ-ერთი ძირითადი ბრძანება, პირობითი გადასვლის ბრძანება. მოგვიანებით, აიკენმა ეს დანაკლისიც შეავსო. 3. აიკენის მანქანაში რიცხვების მიმატება და გამოკლება სრულდებოდა 0,3 წამში; გაყოფა 15,3 წამში და გამრავლება 5,7 წამში. სხვა სიტყვებით ეს ნიშნავდა, რომ 3. ა ი კ ე ნ ის მანქანას შეეძლო შეეცვალა 20 ოპერატორი, რომლებიც ხელით სათვლელ მანქანებზე მუშაობდნენ.

1947 წ. 3. ა ი კ ე ნ ის ჯგუფმა ააგო ელექტრონული გამომთვლელი მანქანა „მარკ-2“, რომელიც შეიცავდა 13.000 ელექტრომაგნიტურ რელეს, სადაც რიცხვები წარმოდგენილი იყო ორიბით სისტემაში (ციფრებით 0 და 1, იხ. გვ. 87. ცხრ. 4). მანქანის ყოველი რეგისტრი შედგებოდა 46 რელესაგან. მანქანა „მარკ-2“, მთლიანად ელექტრომექანიკურ-მანქანებთან შედარებით გაცილებით სწრაფმოქმედი აღმოჩნდა: ინფორმაციის შეტანა-გამოტანა სრულდებოდა 0,033 წამში, შეკრება და გამოკლება — 0,125 წამში, გამრავლება — საშუალოდ 0,25 წამში. გაყოფის ოპერაცია შეეცვლილი იყო შებრუნებული სიდიდეების მიახლოებითი მნიშვნელობების გამოთვლით. მანქანაში არსებობდა 10^x , $\sin x$, $\cos x$ და $\log x$ გამოსათვლელი სპეციალური მოწყობილობები. არითმეტიკული ოპერაციების მართვა ხდებოდა პერფოლენტიდან, ხოლო შედეგების გამოტანა კი ქალაღზე საბეჭდ მექანიზმზე.

1940 წლის ოქტომბერს ამერიკის მათემატიკის საზოგადოების წინაშე სამი წლის მუშაობის შედეგით წარსდგა ფორმა „ბ ე ლ“-ის თანამშრომელი მათემატიკოსი ჯორჯ ჯტიბიცი. მან შექმნა მთლიანად რელეური მანქანა „მ ო დ ე ლ-1“, რომელიც კომპლექსური რიცხვებზე ასრულებდა ოთხივე არითმეტიკულ ოპერაციას. საინტერესოა, რომ ჯტიბიცის მანქანაში, რომელიც იმყოფებოდა ნიუ-იორკში, კომპლექსური რიცხვები შექყავდათ მათემატიკური საზოგადოების სხდომის დარბაზში მდებარე ტელეტაიპიდან. გამოთვლის შედეგები, ასევე მანქანიდან დაშორებულ მანძილზე, იგივე დარბაზში მდებარე საბეჭდ მოწყობილობაზე გამოჰქონდათ. ეს ექსპერიმენტი, ახალი მანქანის მუშაობის დემონსტრირების გარდა, იყო, ალბათ, პირველი ცდა ე ც გ მანქანის შორი მანძილიდან მართვისა.

1957 წ. საბჭოთა ინჟინერმა ნ. ი. ბ ე ს ო ნ ო ვ მ ა (1906—1963) ააგო ერთ-ერთი დასრულებული ციფრული მანქანა ელექტრომექანიკური რელეებზე — რ ე მ-1. მანქანა შედგებოდა 5500 რელესაგან, მუშაობდა ორობითი სისტემით, რიცხვი წარმოდგენილი იყო მცოცავი მძიმით (მცოცავი ფორმა). რიცხვის მანტისა შედგებოდა 27 თანრიგისაგან, ხოლო რიგი — თანრიგისაგან. მანქანას იყენებდნენ ეკონომიკური ამოცანების გადასაწყვეტად, რისთვისაც პერფორბარათების საშუალებით მანქანაში დიდძალი ინფორმაცია შეჰქონდათ.

აღსანიშნავია, რომ რელეებიანი მანქანები თუმცა უფრო სწრაფმოქმედნი იყვნენ, ვიდრე ელექტრომექანიკური მანქანები, საბოლოო ანგარიშში მანქანების ახალი საელემენტო ბაზის ელექტროვაკუუმურ მილაკიანი სქემების გაჩენასთან ერთად თანდათანობით სწრაფად თმობდნენ პოზიციებს. სხვა მიზეზი გახლდათ ელექტრომექანიკური რელეების მცირე საიმედოება და სისწრაფე. რაც შეეხება სტრუქტურულ მხარეს, ყველა ზემოხსენებული და სხვა მანქანა, მაგალითად, გერმანელი ინჟინრის კ. ც უ ზ ე ს უნივერსალური მანქანა Z-4, ამერიკელ ჯ. ჯ ტ ი ბ ი ც ი ს მანქანები „მოდელ“-2, -3-4-5, ინგლისელ ლ. ჯ. კ ო მ პ - რ ი ს სხვაობიანი მანქანა და სხვ., ოპერაციათა მიმდევრობის ავტომატური მართვის თვალსაზრისით იმეორებდნენ ჩ. ბ ე ბ ე ჯ ი ს ანალიზურ და სხვაობიან მანქანებში განხორციელებულ პრინციპებს.

მე-20 საუკუნის ელექტრონული ტექნიკის ერთ-ერთი მთავარი მიღწევა იყო, ელექტროდებიანი მილაკების აგება, რომელშიც ხელოვნურად შექმნილი იყო ვაკუუმი და დენს ატარებდნენ. მართალია სიცარიელეში დენის გაულის ეფექტი ჯერ კიდევ 1883 წელს ე დ ი ს ო ნ მ ა შე-

ამხნია, მაგრამ პირველი ელექტროვაკუუმიანი, ორ ელექტროდიანი მილაკი — დიოდი ააგეს მხოლოდ 1904 წ. (ფ ლ ე მ ი ნ გ ი). ამის შემდეგ ააგეს სამელექტროდიანი მილაკი — ტრიოდი (ლი დ ე ფ ო რ ე ს ტ ი). სხვადასხვა სახის ტრიოდებს დიდი გამოყენება ჰქონდა და აქვთ რადიოტექნიკაში და ტელევიზიაში. 1918 წ. რუსმა მეცნიერმა მ. ა. ბ ო ნ ჩ-ბ რ უ ე ვ ი ჩ მ ა და მისგან დამოუკიდებლად კი 1919 წ. ამერიკელებმა უ. ი კ ლ ზ მ ა და ფ. ჯ ო რ დ ა ნ მ ა გამოიგონეს ტ რ ი გ ე რ ი, ორი ტრიოდისაგან შემდგარი სქემა, რომლის ერთ-ერთი გამოსასვლელი ხასიათდება ორი მყარი მდგომარეობით: „ჩართული“ („1“) ან „გამორთული“ („0“). ეს იყო ისეთი ელექტრონული რელეს ანალოგი, რომელსაც იყენებდნენ ელექტრომექანიკური (გამომძვლევი) მანქანების რეგისტრატებში რიცხვების შესანახად. ტრიგერის გაჩენასთან ერთად მრავალ ქვეყანაში დაიწყეს ასეთი ტიპის მანქანებში რელეების ნაცვლად მათი გამოყენება. მაგალითად, 1936—1939 წწ. ამერიკელი ფიზიკოსი, წარმოშობით ბულგარელი ჯ ო ნ ა თ ა ნ ა ს ო ვ ი აიოვას შტატის უნივერსიტეტში აგებდა წრფივ განტოლებათა სისტემის ამომხსნელ სპეციალიზირებულ მანქანას, რომელშიც იყენებდა ტრიგერებს და პირველი თაობის ე ც გ მანქანებისათვის დამახასიათებელ სხვა ელემენტებს.

პირველი თაობის ე ც გ მანქანის გაჩენა დაკავშირებულია ამერიკელი ფიზიკოსის ჯ ო ნ ვ. მ ო უ ჩ ლ ი ს ა და მისი თანამშრომლის დ. პ რ ე ს-პ ე რ ე კ ე რ ტ ი ს სახელებთან. ჯ. მ ო უ ჩ ლ ი მუშაობდა პენსილვანიის უნივერსიტეტის ცნობილ მ უ რ ო ვ ი ს ელექტროტექნიკურ სასწავლებელში, სადაც უკვე ჰქონდათ გარკვეული გამოცდილება ელექტროვაკუუმიანი მილაკების გამომთვლელ მანქანებში გამოყენებისა. 30-იან წლებში ჯ. მ ო უ ჩ ლ ი მ დამოუკიდებლად ააგო რამდენიმე მარტივი სათვლელი მოწყობილობა გაზით გავსებული მილაკების—ტირა-ტრონის გამოყენებით. ამ დროს ელექტრონულ სათვლელ მოწყობილობებს აგებდნენ აგრეთვე იაპონიაში (იამაშიტა), გერმანიაში (შრეიდერი) და ამერიკაში (პ. კროუფორდი და სხვები). ამ სასწავლებელში ინჟინერ ვ ე ნ ე ვ ა რ ბ უ შ ე ს ხელმძღვანელობით ააგეს იმ დროისათვის უდიდესი დიფერენციალური ანალიზატორი — დიფერენციალური განტოლებების ამომხსნელი სპეციალიზირებული ანალოგიური მანქანა. ამ მანქანას ძირითადად იყენებდნენ საარტილერიო სროლის გაანგარიშებისათვის, რომელსაც სასწავლებელი ასრულებდა ა შ შ საარტილერიო სამმართველოს დავალებითა და ფინანსური დახმარებით. 1942 წ. ჯ. მ ო ა

უ ჩ ლ ი მ, რომელიც ამ სამუშაოებში მონაწილეობდა, საარტილერიო სამმართველოს წერილობით შესთავაზა უფრო სწრაფმოქმედი და საიმედო ავტომატური გამომთვლელი მანქანის შექმნა. მისთვის არავითარი პასუხი არ უცნობებიათ. იმავე სასწავლებლის ყოფილი დოცენტის, ოფიცერ გ ე რ მ ა ნ გ ო ლ დ ს ტ რ ა ი ნ ი ს შუამდგომლობით 1843 წ. საარტილერიო სამმართველომ მიიღო დაწვრილებითი მოხსენებითი ბარათი, რომელიც შეადგინეს ჯ. მ ო უ ჩ ლ ი მ და მისმა თანამშრომლებმა იმავე სასწავლებლის აღზრდილმა, მაგისტრმა დ. პ. ე კ ე რ ტ ი მ. სამმართველომ პენსილვანიის უნივერსიტეტთან დადო ხელშეკრულება ბალსტიკური ცხრილების გამომთვლელი მანქანის აგების შესახებ. ჯ. მ ო უ ჩ ლ ი მ და დ. ე კ ე რ ტ ი მ 10 ინჩინის, 200 ტექნიკოსისა და რამდენიმე ათეული მუშის დახმარებით 2,5 წლის განმავლობაში შექმნეს „ელექტრონული ციფრული ინტეგრატორი და ავტომატური გამომთვლელი მანქანა“, ე. წ. ე ნ ი ა კ-ი (ინგლასური სიტყვების — „ილექტრონიკს ნუმერიკელ ინტიგრეიტე ენდ ოტემეტივ კემპიუტე“ პირველი ასოების მიხედვით). მანქანის ძირითადი გამომთვლელი ნაწილი განხორციელებული იყო ელექტროვაკუუმურ მილაკებზე (18 000 ც.), და შეიცავდა საკმარისი რაოდენობის რელესაც (1 500 ც). მანქანა ხარჯავდა 150 000 ვატ ელექტროენერგიას, რაც საკმარისია ზოგიერთი პატარა ქარხნის ასამუშაველად. ე ნ ი ა კ-ში არსებული ათეულის მთვლელი შედგება 10 ტრიგერისაგან, რომლის პირველი და მეათე ტრიგერი გაერთიანებულია. მას ემატება კიდევ ორი ტრიგერი რიცხვის დადებითი ან უარყოფითი ნიშნის აღსანიშნავად. ამრიგად, მიღებულ მოწყობილობა წარმოადგენს მახსოვრობის რეგისტრს. მანქანაში 20 ასეთი რეგისტრია. რეგისტრებს აქვთ რიცხვების გადაცემის სქემა და გამოიყენებიან შეკრებისა და გამოკლების ოპერაციების ჩასატარებლად. გამრავლებისა და გაყოფის ოპერაციები სრულდება სპეციალურ მოწყობილობებში. რეგისტრიდან რეგისტრში ან მანქანის სხვადასხვა ნაწილებში რიცხვების გადაცემა ხდებოდა 11 თანრიგით, საიდანაც 10 თანრიგი აღნიშნავდა ორობით-ათობით რიცხვს, 1 თანრიგი კი მის ნიშანს. მანქანის არითმეტიკული, მახსოვრობის და სხვა მოწყობილობების მართვა ხდებოდა იმპულსების გამცემი გენერატორის ტაქტების მიხედვით, რომელიც განსაზღვრავდა ელექტრონული ბლოკების „გამტარობის“ („1“) ან „ჩაყეტვის“ („0“) მდგომარეობებს. მანქანის ძირითადი ლოგიკური ბლოკები წარმოადგენდა ელექტროვაკუუმური მილაკისა და რეზისტორების გამოყენებით აგებულ იმპულსთა თანხვლომის (სქემა „კი“), განცალკევების („ან“), უარყოფის („არა“) სქემებს.

მანქანაში მონაცემების შეტანა ხდება პერფორატების გამოყენებით. ამასთან გამოყენებულია პროგრამული მართვა საკომპუტაციო დაფაზე სათანადო წერტილებს შორის შეერთებების უზრუნველყოფით. მართალია ეს უკანასკნელი ოპერაცია ხელით ხდებოდა, მაგრამ კარგად აელენდა მანქანაში განხორციელებულ პროგრამულ უზრუნველყოფის უნივერსალურ კონსტრუქციას. შეკრების ოპერაცია მანქანაში სრულდებოდა 0,0002 წამში, გამრავლებისა — 0,0028 წამში. ეს ნიშნავს, რომ პირველი ეცგ მანქანა რამდენიმე ასეულჯერ და მეტჯერ სწრაფად მუშაობს, ვიდრე ელექტრომექანიკურ რელებზე აგებული მანქანები.

ბაირონის ქალიშვილი — პირველი ლავროვრამული

მართალია ჩ. ბ ე ბ ე ჯ მ ა დაწერა 80-მდე სხვადასხვა შრომა და წიგნი, მაგრამ საინტერესოა ფაქტი, რომ მას არ დარჩენია მის მიერ შექმნილი მანქანების მუშაობის ზუსტი აღწერა. ამ გარემოებას ის ხსნიდა მანქანის შექმნის, ნახაზების შედგენის, აგრეთვე მანქანათმშენებლობისა და ეკონომიკის პრობლემებზე მუშაობის და სხვა სფეროთი დაკავებულობით. ბებეჯის უნივერსალური ანალიზური მანქანის აღწერა დაგვიტოვა იტალიელმა ოფიცერმა ლ. ფ. მ ე ნ ა ბ რ ე ა მ. 1842 წ. გამოქვეყნებულ მენაბრეას სტატიაში ხაზგასმითაა აღნიშნული მანქანის მხოლოდ ტექნიკური მხარე. ერთი წლის შემდეგ, 6 იელისიდან 8 აგვისტომდე მენაბრეას სტატია ინგლისურად თარგმნა და რაც მთავარია მეცნიერულად ღრმა კომენტარები გაუკეთა ლორდ ჯორჯ გორდონ ბაირონის ქალიშვილმა ადა ავგუსტამ. ამ კომენტარებში მოცემულია თანამედროვე ეცგ მანქანების დაპროგრამების საფუძველი.

ადა ავგუსტა იყო ცნობილი ინგლისელი პოეტის ჯორჯ გორდონ ბაირონის ერთადერთი „სახლისა და გულის ქალიშვილი“, რომელიც შეეძინა ანაბელა მილბენკისაგან. ბაირონი გაშორდა მეუღლეს ქორწინებიდან ზუსტად ერთი წლის შემდეგ (1816 წ. იანვარი), როცა გოგონა სულ ერთი თვისა იყო. მას ზრდიდა პროფესორი დე მორგანი და მისი მეუღლე. ბავშვს ძალზე იტაცებდა მათემატიკა.

ჩ. ბ ე ბ ე ჯ ი ცდილობდა ყოველმხრივ გაეღრმავებინა ქალიშვილის ცოდნა და მათემატიკით გატაცება. 20 წლის ადა ავგუსტა გათხოვდა 29 წლის სერ უილიამზე, შემდგომში გრაფ ლავლისზე.

ს ე რ უ ი ლ ი ა მ ი ყოველმხრივ უწყობდა ხელს მეუღლის მათემატიკით გატაცებას. ლედი ლავლეისი დახვეწილი გემოვნების ქალი იყო. თავისი ქცევით, გემოვნებითა და განათლებით გამოირჩეოდა ლონდონის მოწინავე საზოგადოებაში, რომელიც თავს იყრიდა ლავლეისების ოჯახში. ლ ე დ ი ლ ა ვ ლ ე ი ს ი ს ბრწყინვალე მუსიკალურ განათლებას აღტაცებაში მოჰყავდა მსმენელები. ის ვერ იტანდა ქარაფშუტა და ბანალურ მსჯელობებს, ენერგიულად ისწრაფვოდა ინტელექტუალური საზოგადოებისაკენ. ლ ე დ ი ლ ა ვ ლ ე ი ს ი და გრაფი უ ი ლ ი ა მ ს ი ორ ვაჟიშვილსა და ქალიშვილს ზრდიდნენ და ბედნიერები იყვნენ, ვიდრე ადა ავგუსტა მძიმედ არ დაავადმყოფდა. ლ ე დ ი ლ ა ვ ლ ე ი ს ი გარდაიცვალა 1852 წ. 27 ნოემბერს 37 წლისა. ბედის ირონიაა, — ლორდი ბაირონიც 37 წლის იყო, რომ გარდაიცვალა. ანდერძის თანახმად ლედი ლავლეისი დაასაფლავეს ნიუსტედში, მამის საფლავის გვერდით, ბაირონების საგვარეულო სასაფლაოზე.

ლედი ლავლეისის ხანმოკლე ცხოვრებაში მეცნიერებით გატაცების ძირითადი მომენტები დაკავშირებულია ჩ ა რ ლ ზ ბ ე ბ ე ჯ თ ა ნ . ა დ ა ა ვ გ უ ს ტ ა ლ ა ვ ლ ე ი ს ი ენერგიულად, საქმის ცოდნით და დიდი ტაქტით ცდილობდა ბებეჯის მიერ აგებული სხვაობიანი და ანალიზური მანქანების იდეების პოპულარიზაციას საზოგადოების სხვადასხვა წრეში. ამით ის ამზადებდა ნიადაგს ბებეჯისათვის გამოეყოს თანხები. როდესაც ლედი ლავლეისმა აცნობა ბებეჯს, რომ მან თარგმნა მენაბრეას სტატია, ბებეჯს გაუკვირდა, რატომ თითონ ლედიმ არ დაწერა სტატია ანალიზურ მანქანაზეო.

ჩ . ბ ე ბ ე ჯ ი თავის ავტობიოგრაფიულ წიგნში „ფილოსოფოსის ცხოვრებიდან გამონაგზავნი“ (1864 წ.) წერდა: „აწ განსვენებულმა გრაფის მეუღლე ლავლეისმა (1843 წ. — რ. ბ.) მაცნობა, რომ მან თარგმნა მ ე ნ ა ბ რ ე ა ს ნარკვევი. მე შეევეკითხე რატომ თითონ არ დაწერა დამოუკიდებელი სტატია იმ საკითხზე, რომელსაც ესოდენ კარგად იცნობდა“. ლედი ლავლეისი 1843 წ. 19 ივლისს წერდა ჩ . ბ ე ბ ე ჯ ს, რომ თავის მეცნიერულ „კომენტარებში“ ბერძნული რიცხვების გამოსათვლელად დამოუკიდებლად „შეადგინა თითოეული ცვლადის ყოველი კოეფიციენტის გამოსათვლელ ოპერაციათა სია“. სხვა სიტყვებით, ლ ე დ ი ლ ა ვ ლ ე ი ს მ ა დამოუკიდებლად შეადგინა პირველი მათემატიკური პროგრამა. პირველი, ვინც ამ შედეგმა აღაფრთოვანა, თვით ჩ . ბ ე ბ ე ჯ ი იყო!

ლ ე დ ი ლ ა ვ ლ ე ი ს მ ა თავის „კომენტარებში“ შემოიტანა ისე-

თი მათემატიკური ტერმინები, რომლებიც დღეს ერთ-ერთ ძირითადს წარმოადგენენ ე ე გ მანქანების მათემატიკურ უზრუნველყოფაში, როგორცაა „მუშა უჭრედი“, „ციკლი“...

მათემატიკური მსჯელობის გარდა ლ ე დ ი ლ ა ე ლ ე ი ს ი ს „კომენტარებში“ მოცემული ზოგიერთი ფორმულირება დღესაც განცვიფრებას იწვევს.

„მანქანა (იგულისხმება ანალიზური მანქანა — რ. ბ.) შეიძლება განისაზღვროს როგორც ნებისმიერი განუსაზღვრელი ფუნქციის მატერიალური განსახიერება, რომელსაც გააჩნია ნებისმიერი ხარისხის ზოგადობა ან სირთულე“.

ოპერაციაში „სიტყვა“ ჩვენ ვგულისხმობთ ნებისმიერ პროცესს, რომელიც ორი ან მეტი საგნის ურთიერთ თანაფარდობას ცვლის... ანალიზური მანქანა განსახიერებს ოპერაციათა მეცნიერებას“.

„ანალიზურ მანქანას პრეტენზია არა აქვს შექმნას რ ა ი მ ე ნ ა მ - დ ვ ი ლ ა დ ა ხ ა ლ ი (ხაზგასმა ლედი ლავლეისისა). მას შეუძლია გააკეთოს ყველაფერი ის, რაც შეგვიძლია მას დაევალოთ. მას შეუძლია მხოლოდ მიჰყვეს ანალიზს (მანქანის სამუშაო პროგრამას — რ. ბ.), მას არ შეუძლია წინასწარ გამოიცნოს რომელიმე ანალიზური შეფარდება ან სინამდვილე. მანქანას შეუძლია შეასრულოს ყველაფერი, რომლის პროგრამული აღწერაც შეგვიძლია“¹. ნიშანდობლივია, რომ ცნობილმა ინგლისელმა კიბერნეტიკოსმა ა ლ ა ნ ტ ი უ რ ი ნ გ მ ა და ამერიკელმა მეცნიერმა დ. რ. ჰ ა რ ტ რ ი მ, სპეციალურად განიხილეს „ლედი ლავლეისის შეპასუხება“ იმის თაობაზე „შეუძლია თუ არა მანქანას აზროვნება?“

¹ ლ ე დ ი ლ ა ე ლ ე ი ს ი ს აღნიშნული სიტყვები მოყვანილია წიგნში:

А. Т ю р и н г — «Может ли машина мыслить?» Перевод с английск. под ред. проф. С. А. Я н о в с к о й. Госиздат физ-мат лит-ры, М., 1960, 83. 43—58.

**ელექტრონული-ციფრული გამოთვლელი მანქანები
და „აზროვნების“ კანონები**

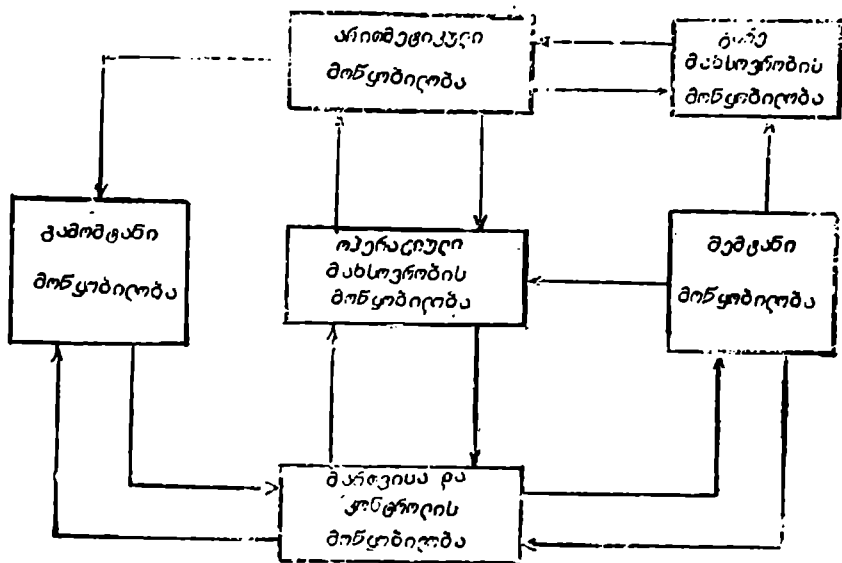
კიბერნეტიკის ერთ-ერთ უდიდეს მიღწევად ითვლება ელექტრონული გამოთვლითი მანქანის (ე ც გ მანქანა) აგება. ტექნიკური მეცნიერების თითქმის ყველა დარგში უკანასკნელი 20 წლის მიღწევები დაკავშირებულია გამოთვლითი მანქანების არსებობასთან. ეს მანქანები აჩქარებენ კვლევის პროცესს, რადგან ისინი პრობლემის შრომატევად გამოთვლით ფუნქციებს ასრულებენ უდიდესი სისწრაფითა და სიზუსტით.¹ მაგალითად, ყველაზე მძლავრი და სწრაფმოქმედი სამამულო ე ც გ მანქანა ბესმ-6, რომლის ეგზემპლარი თბილისის უნივერსიტეტის გამოყენებით მათემატიკის სამეცნიერო-კვლევით ინსტიტუტში მუშაობს, მისი მოქმედების სიჩქარეა 1 000 000 ოპერაცია წამში (იხ. ცხრილი 2). ეს ნიშნავს, რომ ადამიანის წლიურ უწყვეტ გამოთვლით სამუშაოს მანქანა ასრულებს სულ რაღაც წამის ორ მეათედში!

ე ც გ მანქანა შედგება 6 ძირითადი მოწყობილობისაგან — ინფორმაციის შესატანი, გამოსატანი, არითმეტიკული, მახსოვრობის (ოპერატიული და გარე), კონტროლისა და მართვის მოწყობილობებისაგან (ნახ. 13). გარდა ამისა, მანქანაში შესატანი და მანქანიდან გამოსატანი სიდიდეები მუშავდება მონაცემების მომზადებისა და შედეგების გაფორმების მოწყობილობაში,² რომლებიც ერთმანეთთან უშუალო ელექტრულ კავშირშია და მოქმედებს ადამიანის მიერ შედგენილი პროგრამით. პროგრამის მოქმედება ხორციელდება ძირითადად მართვისა და მახსოვრობის მოწყობილობებით.

მანქანას აქვს თავისებური „მანქანური ენა“. ესაა ოთხკუთხა ფორმის ელექტრული სიგნალებისა (იმპულსების) და პაუზების გარკვეული ერთობლიობა. მათ ეწოდება მანქანური კოდი (დაწვრილებით ქვემოთ გვექ-

¹ რ. ბერულავა, „მეცნიერება და ტექნიკა“, № 5, 1969, გვ. 17.

² იქვე, გვ. 18—20.



ნახ. 13. ე. ც. გ. მანქანის სტრუქტურული სქემა

ნება საუბარი). მანქანაში შესატანი ინფორმაცია (რიცხვები, სიდიდეები, წინადადებები, პროგრამები) შესატან მოწყობილობაში, რაც ძირითადად მექანიკურ გარდამქმნელ ბლოკს წარმოადგენს, გარდაიქმნება გარკვეულ კოდებად, რომლებზეც „მანქანურ ენაზე“ რეაგირებს მანქანა. მართვის მოწყობილობის ბრძანებით ინფორმაცია შედის მახსოვრობის მოწყობილობაში. ეს უკანასკნელი არის თავისებური „მანქანური ტვინი“. იგი იმასსოვრებს შესატან სიდიდეებს და იმ პროგრამებს, რაც გვიჩვენებს პრაქტიკული შედეგის მისაღწევად საჭირო თანამიმდევრობის დაცვას. თუ მანქანამ შესატანი სიდიდეები (იმპულსები) არასწორად აღიქვა, ანდა არასწორად იქნა შეტანილი პროგრამა, მაშინ ავტომატურად ჩაერთვება კონტროლის მოწყობილობა. ის აცნობს მართვის მოწყობილობას, რომ საჭიროა სიდიდეების განმეორებით შეტანა მანქანაში, რაც ისევ ავტომატურად სრულდება. „ტვინი“ ანუ მახსოვრობის მოწყობილობა ყოველ ე. ც. გ. მანქანაში ორგვარი სახისაა. ძირითადი მუშა მახსოვრობა, ე. წ. ოპერატიული მახსოვრობა ემსახურება მოცემული საკითხის (ამოცანის) მომენტურ გადაწყვეტას. ამ დროს მანქანის „აზროვნება“ შოთხობს დროის მინიმალურ ხარჯვას, ვიდრე მანქანის „გარე“ მახსოვრობასთან

დაკავშირებული ამოცანების შესრულების დრო. შედარებისათვის მოგვყავს „ოპერატიული“ და „გარე“ მახსოვრობის მაგალითი. ადამიანის „ოპერატიული“ მახსოვრობა არის ყოველდღიური ურთიერთობის საგნების, სახეების, ასოების, რიცხვების და სხვ. დამახსოვრების უნარი. მაგალითად, ბინა, გზა, სამსახური, ნაცნობები, ნათესავები, ტელეფონის ნომრები და ა. შ. ე. ც. მანქანისათვის კი „ოპერატიული“ მახსოვრობაა ამა თუ იმ ამოცანის (პროექტირება, ეკონომიკური თუ მათემატიკური განგარიშებანი და ა. შ.) ამოხსნისათვის, პირველ ყოვლისა, აუცილებელია წინასწარი მონაცემებისა და ამოცანის პროგრამების ბლოკი, რომელიც გარკვეულ ლოგიკურ და ელემენტარულ კავშირშია მანქანის სხვა ბლოკებთან. მანქანაზე გარკვეული ამოცანის ამოხსნის დროს ეს კავშირები განპირობებულია იმ სამოქმედო პროგრამით, რასაც პროგრამისტი (ძირითადად მათემატიკოსი) ადგენს ამ ამოცანისათვის. ამგვარად, მანქანაში შესაძლებელია იმდენი ელემენტარული კავშირის (იმპულსების გავლა წრედებში, ლოგიკური ოპერაციების შესრულება და ა. შ.) არსებობა, რამდენი სახესხვაობის ამოცანაცაა ამოსახსნელი და ამის შესაბამისად, თუ როგორი სახის პროგრამაა შედგენილი. უნდა აღვნიშნოთ, რომ როგორც ადამიანს შეუძლია ამა თუ იმ ამოცანის (საკითხი, პრობლემა) ამოხსნა მეტად თუ ნაკლებად რთული გზით, ასევე მანქანაზე ამოცანის ამოსახსნელად შეიძლება შედგენილ იქნეს არა მარტო ერთი, არამედ მეტი ამოხსნის პროგრამა. მანქანის „გარე“ მახსოვრობა მუდმივი, მაგრამ ძირითადად მეორეხარისხოვანი სიდიდეების (ფორმულები, რაიმე ამოცანის ლოგიკური შედეგები, ტიპური ეკონომიკური გათვლების რაიმე შედეგები, ნივთიერების ფიზიკურ-ქიმიური მუდმივები და ა. შ.) შენახვის ბლოკია. მაგალითად, ადამიანისათვის „გარე“ მახსოვრობაა მისი უბის წიგნაკი მისამართებითა და ტელეფონების ნომრებით, რასაც იგი ყოველდღიურად არ იყენებს.

თანამედროვე ე. ც. მანქანის „ენა“ განისაზღვრება ე. წ. ბულის ალგებრის გამოყენებით აგებული გადართვის ფუნქციებით. ეს არის ერთი შეხედვით ელემენტარული ალგებრა, დაკავშირებული რაიმე ერთი A სიდიდის (აზრი, სიტყვა, ფიზიკური სიდიდე, სიმბოლო და ა. შ.) ორ ნდგომარეობასთან: „არსებობა“ ან „არარსებობა“, „კი“ ან „არა“, ანდა რიცხვებით „1“ ან „0“.

თუ საქმე გვაქვს არა ერთ სიდიდესთან, არამედ რამდენიმესთან (B და C), მათ შორის ურთიერთკავშირთან, მაშინ ადგილი აქვს შემდეგ უმარტივეს კანონებს:

1. კომუტაციურობის კანონი: $A+B=B+A$ და $A \cdot B=B \cdot A$;
2. ასოციაციურობის კანონი: $(A+B)+C=A+(B+C)$ და $(AB)C=$
 $=A(BC)$;
3. დისტრიბუციულობის კანონი: $(A+B)C=AC+BC$ და $A \cdot B+C=$
 $=(A+C)(B+C)$;
4. იდემპონენციურობის კანონი: $A+A=A$ და $A \cdot A=A$

მანქანაში ორი მდგომარეობის სახითაა წარმოდგენილი ის იმპულსე-ბი (სიგნალები), რომლებიც შეესაბამებიან რაიმე ამოცანის მოცემულ სიდიდეებს ან „მანქანურ სიტყვებს“, თუ ამ „სიტყვებში“ შემავალი „ასოების“ არსებობას ეთანადება იმპულსის არსებობა, მანქანაში ეს გამოიხატება ციფრით „1“, ხოლო არარსებობა კი ციფრით „0“. ამრიგად, მთელი „მანქანური სიტყვები“ ესაა გარკვეული პროგრამული წესით დალაგებული „0“-ებისა და „1“-ებისაგან შემდგარი ერთობლიობა. სწორედ აქედან გამომდინარეობს ელექტრონული მანქანის სახელწოდება „ციფრული“. ამ ციფრებზე არითმეტიკული მოქმედება, რაც ძირითადად მიმდინარეობს მანქანის არითმეტიკულ მოწყობილობაში, ექვემდებარება ბ უ ლ ის ალგებრის შემდეგ კანონებს (მოქმედების წესე-ბი): $A+1=1$, $A+0=A$, $A \cdot 1=A$, $A \cdot 0=0$.

პირველ და მეორე გამოსახულებას ეცგ მანქანაში შეესაბამება ე. წ. განცალკევების „ან“ სქემა. მესამე და მეოთხე გამოსახულებას კი ე. წ. თანხედომის სქემა „კი“ და არათანხედომის „არა“ სქემა. სიმბოლო A (რაიმე ფიზიკური სიდიდე ან მანქანური „ასო“) ლებულობს ერთ-ერთ მნიშვნელობას „ნულს“ ან „ერთს“. აქ მოყვანილი მოქმედებები აბსურ-დულია (მაგალითად, $A+1=1$ ლოპერაციის მიმართ), მაგრამ ეს არის სიმ-ბოლური ჩაწერა რეალურად არსებული „აზროვნების კანონებისა“, რაც XIX საუკუნის ინგლისელმა მათემატიკოსმა, ჯო რ ჯ ბ უ ლ მ ა ¹ (1815—1864 წწ.) ჯერ კიდევ 120 წლის წინათ, 1854 წ. ჩამოაყალიბა ნაშ-რომში „აზროვნების კანონების გამოკვლევა“. მოკლედ განვიხილოთ ამ ნაშრომში მოყვანილი მოქმედების წესების (კანონების) არსი. ზემოთ მო-ყვანილი გამოსახულებანი გადაწეროთ ასეთი სახით:

$$A+\bar{A}=A \quad A+1=1 \quad A \cdot \bar{A}=0 \quad A \cdot 1=A$$

სადაც \bar{A} ნიშნავს „არა A -ს“. თუ $A=0$, მაშინ $\bar{A}=1$ და პირიქით, თუ $A=$
 $=1$, $\bar{A}=0$ ანდა A -ს უარყოფას.

¹ ჯ. ბ უ ლ ი ცნობილი ინგლისელი მწერალი ქალის ე ტ ე ლ ლ ი ლ ი ა ნ ბ უ- ლ ის (ცნობილია კმრის — პოლონელი რევოლუციონერის ე ო ნ ი ჩ ი ს გვარით) რომან „კრაზანას“ ავტორის მამაა.

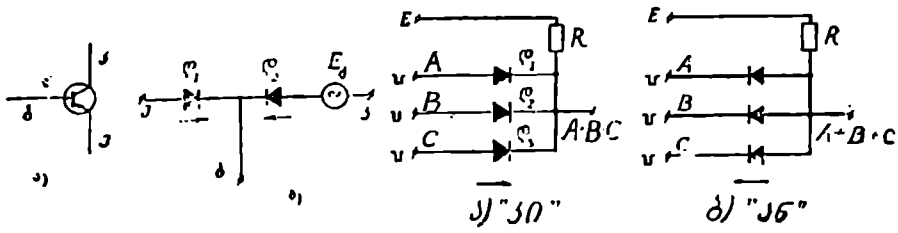
ჩვეულებრივი არითმეტიკული მოქმედებებისაგან განსხვავებით, ზემოთ მოყვანილ კანონებში ნიშანი „+“ ნიშნავს არა „მიმატებას“, არამედ ოპერაციას (გამოთქმას) „ან“, ხოლო გამრავლების ნიშანი ოპერაციას „კი“.

ბ უ ლ ი ს ალგებრის კანონები (ანდა როგორც კიდევ უწოდებენ ლოგიკის ალგებრის კანონები) აღწერენ იმ ლოგიკური ოპერაციების ძირითად თვისებებს, რომლითაც ხელმძღვანელობს ყველა ადამიანი და რომლის გამოყენებითაც ძირითადად აგებულია თანამედროვე ეც გ მანქანები. განსხვავება ისაა, რომ ადამიანი ლოგიკის ამ წესებს ინსტინქტურად იცავს, ხოლო მანქანებში საკიროა ამ წესების მკაფიო ფორმულირება ერთადერთ მანქანურ „ენაზე“ — მათემატიკურ-პროგრამულ ენაზე. მართლაც, არავის ეეჭვება, რომ, მაგალითად, გამოთქმა „ის ჰკვიანია და წინდახედული“ იგივეა, რაც გამოთქმა „ის არის წინდახედული და ჰკვიანი“, ე. ი. გამოთქმებს AB და BA აქვთ ერთი და იგივე აზრი. „აზროვნების კანონების“ განხილვის თვალსაზრისით საინტერესოა ის წესები, რაც დაკავშირებულია უარყოფის ლოგიკურ ოპერაციასთან \bar{A} . მაგალითად, წესს $A + \bar{A} = A$ უწოდებენ მესამის გამორიცხვის წესს; ადგილი აქვს A გამოთქმას ან \bar{A} გამოთქმას — მესამე არ არის მოცემული, ამიტომ $A + \bar{A}$ ე. ი. „ A ან არა \bar{A} “ ყოველთვის ჰეშმარითია. წესს $A \cdot \bar{A} = 0$ უწოდებენ წინააღმდეგობრივ კანონს; „ A და არა \bar{A} -ს“ ერთდროულად არასდროს არა აქვს ადგილი. შემდეგ წესს $\bar{\bar{A}} = A$, სადაც $\bar{\bar{A}}$ აღნიშნავს A -ს ორჯერად უარყოფას, უწოდებენ ორჯერადი უარყოფის კანონს, რაც გამოიხატება იმაში, რომ რაიმე მტკიცების ორჯერადი უარყოფა ტოლფასია თავდაპირველად მოცემული მტკიცებისა (მაგალითად, „ის არაა არაჩემპიონი“, ნიშნავს, რომ „ის ჩემპიონია“).

ლოგიკის ალგებრაში და მანქანური მოდელირების საკითხებში განსაკუთრებული როლი ენიჭება აგრეთვე წესებს, რომლებიც დაკავშირებული არიან, მაგალითად, ნიშანთან „ \supset “ (რაც აღნიშნავს სიტყვას „ეკუთვნის“ ან გამომდინარეობს. მაგალითად, $A \supset B$ ნიშნავს „გამოთქმა (მოქმედება) A გამომდინარეობს გამოთქმიდან B “. აღსანიშნავია აგრეთვე სიმბოლო „ \downarrow “ ე. წ. „პ ი რ ს ი ს ისარი“ (მაგალითად, $A \cdot B = A \downarrow B$ ან $A - B = A \downarrow B$ სიმბოლო,) ან ე. წ. „შ ე ფ ე რ ი ს შტრიხი“ მაგალითად, $\bar{A} + \bar{B} = A / B$. ძირითადად ამ წესებით აღწერენ მანქანურ ოპერაციათა (გამოთქმათა) უამრავ შესაძლო კომბინაციებს, რომელთა მოდელირებაც პრაქტიკულად ადვილი გადასაწყვეტია. ბუნებრივია, ფართო

აუდიტორიისათვის გამიზნული აქ მოყვანილი საკითხები ზოგადი სახითაა წარმოდგენილი, ამიტომ გვერდს ვუვლით მანქანის ცალკეული ბლოკების, სქემების აგების პრინციპებს. ეს პრინციპები ძირითადად მათემატიკურად გამოისახება ზემოთ აღნიშნული ბულის ალგებრაზე დაფუძნებული გადართვის ფუნქციების გამოყენებით.

ყველა შესაძლო ლოგიკური გამოთქმის რეალიზაცია ე ც გ მანქანებში ხდება მარტო სამი ტიპის ლოგიკური სქემის „კი“, „ან“ და „არა“-ს



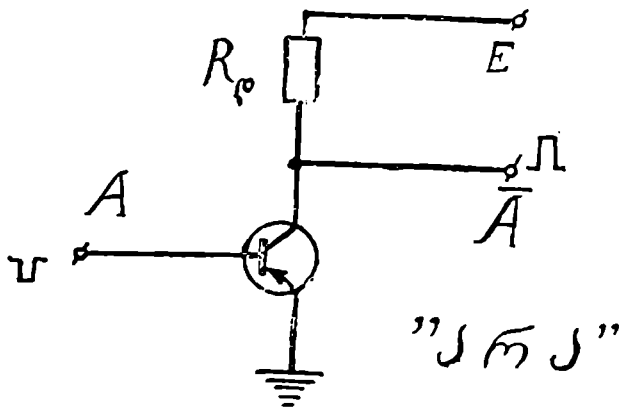
ნახ. 14. ტრანზისტორის აღნიშვნა (ა) და ნახ. 15. ლოგიკური სქემება „კი“ (ა) და მისი ეკვივალენტური სქემა (ბ) „ან“ (ბ)

გამოყენებით. განვიხილოთ, თუ როგორ სრულდება ეს ლოგიკური ოპერაციები ნახევარგამტარებზე აგებულ თანამედროვე ე ც გ მანქანებში. ოპერაცია „კი“ (სიგნალთა ან გამოთქმათა თანხვედრობის სქემა) და „ან“ (განცალკევების სქემა) შეიძლება მარტოვად შედგეს ნახევარგამტარული დ₁, დ₂ და დ₃ დიოდებისა და ომური R წინაღობის გამოყენებით. დიოდი ეს ისეთი ნახევარგამტარული ხელსაწყოა, რომელიც ელექტრულ დენს ატარებს მხოლოდ ერთი მიმართულებით (მე-14 ნახ-ზე აღნიშნული ისრის მიმართულებით). დენის გატარების მიმართულებით დიოდის წინაღობა მცირეა (ათეული ომი), ხოლო დენის გაუმტარი მიმართულებით კი — ძალზე დიდი (რამდენიმე ასეული ათასი ომი). სიგნალთა ან გამოთქმათა თანხვედრობის სქემა „კი“ ასე მუშაობს: თავდაპირველად დ₁, დ₂, დ₃ დიოდებში (ნახ. 15, ა) გადის დენი. ეს დენები გადიან R წინაღობას და „ჩაიდან“ კვების E წყაროში. ამ შემთხვევაში სქემის გამოსასვლელზე სიგნალი არ გვექნება, რადგანაც R წინაღობაზე (დაახლოებით 5000 ომი) ძიბვის ვარდნას ადგილი არა აქვს. როცა ერთ-ერთოვლად ყველა A, B და C შესასვლელზე მოდებულია უარყოფითი (დაახლოებით 5 ვოლტი) პოლარობის ოთხკუთხა ფორმის სიგნალი

(იმპულსი), მაშინ ყველა დიოდი ჩაიკეტება. მოხდება ძაბვის ვარდნა R წინალობაზე და სქემის გამოსასვლელზე მიიღება ისეთივე ამპლიტუდისა და ხანგრძლივობის (საშუალოდ 0,0 000 002 წმ) იმპულსი, როგორც A , B და C შესასვლელი იმპულსები იყო. ცხადია, თუ ერთ-ერთი დიოდი მაინც ატარებს დენს, მაშინ გამოსასვლელზე არ გვექნება სიგნალი, რადგან ადგილი არ ექნება ძაბვის ვარდნას R წინალობაზე. ამრიგად, თანხედომის ოპერაცია სრულდება მხოლოდ და მხოლოდ A , B და C შესასვლელი სიგნალების ერთდროულად არსებობისას.

თუ თანხედომის სქემაში დიოდებს ჩაერთავთ საწინააღმდეგო მიმართულებით ისე, რომ თავდაპირველად მათში შესასვლელი სიგნალების მოდებამდე დენი არ გადიოდეს, მაშინ მივიღებთ „ან“ სქემას. ასეთ სქემაშიც (ნახ. 15, ბ) თუ რომელიმე (ან ყველა) დიოდზე ერთდროულად მოდებულია ოთხკუთხა ფორმის უარყოფითი ჰოლარობის სიგნალი, მაშინ შესაბამისი დიოდი (ან დიოდები) გაიხსნება, მოხდება ძაბვის ვარდნა R წინალობაზე. ცხადია, ძაბვის ამ ვარდნის სიდიდე შესასვლელი იმპულსის სიდიდის ტოლი იქნება (დიოდზე, რომელიც დენს ატარებს, ძაბვის ვარდნა ძალზე უმნიშვნელოა, 0,2 ვოლტი, რასაც შესასვლელი სიგნალის სიდიდესთან — $4 \div -6$ ვოლტთან შედარებით უგულებელვყოფთ). ძაბვის ვარდნას ადგილი ექნება აგრეთვე მხოლოდ შესაძლებელი სიგნალის არსებობის განმავლობაში. ამრიგად, განცალკევების „ან“ სქემის შესასვლელზე ყოველთვის მიიღება იგივე ამპლიტუდისა და ხანგრძლივობის სიგნალი, რაც სქემის შესასვლელზეა, თუკი ერთ-ერთ A , B ან C შესასვლელზე გვაქვს სიგნალი. უარყოფის სქემა „არა“, თანამედროვე ეცგ მანქანებში მარტივად სრულდება ტრანზისტორის გამოყენებით. ტრანზისტორი (ნახ. 14) ნახევარგამტარული ხელსაწყოა, მაგრამ მას, დიოდისაგან განსხვავებით, აქვს სამი ნახევარგამტარული ფენა და შესაბამისად სამი ელექტროდი: ემიტერი (ე), ბაზა (ბ) და კოლექტორი (კ). სქემაში ჩართვის დროს კოლექტორზე ყოველთვის კვების — E_k წყაროა ჩართული (სიდიდით 6-დან 10 ვოლტამდე), ემიტერიდან ხდება დენის მატარებლების „ჩასვლა“ ამ ხელსაწყოში, ხოლო ბაზაზე მოდებული სიგნალით კი დენის მართვა ისე, რომ გამოსასვლელზე (კოლექტორზე) იყოს ან არ იყოს სიგნალი. ტრანზისტორის შიგა მოწყობილობა შეიძლება წარმოვიდგინოთ ორი d_1 და d_2 ურთიერთსაპირისპირო მიმართულებით ჩართული დიოდების სახით (ნახ. 15). ტრანზისტორს ახასიათებს შესასვლელზე მოდებული ძაბვის რამდენიმე ათეულჯერ გაძლიერება, ამიტომ ტრანზისტორის მუშაობის ეკვივალენტურ სქემაში ენერგეტიკულ წყაროდ იგულისხმება ძაბვის E_g გენერატორი. ეცგ მანქანების

ლოგიკურ სქემაში თელის, მართვისა და კონტროლის მოწყობილობებად ძირითადად დამიწებული (საერთო) ემიტერიანი ტრანზისტორული სქემა გამოიყენება.¹ თუ ასეთ სქემაში (ნახ. 16) ბაზაზე მოდებული პოტენციალი უარყოფითია ემიტერის პოტენციალთან შედარებით (ცხადია, ჩვენს შემთხვევაში „მიწა“-ს აქვს დადებითი პოტენციალი), ემიტერ-



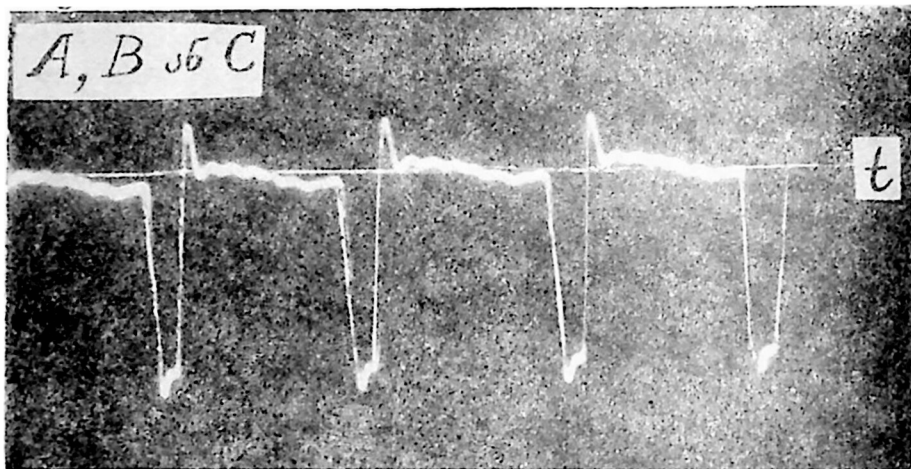
ნახ. 16. ლოგიკური სქემა „არა“

ბაზის გადასასვლელი ან დიოდი Δ_1 გაიხსნება, რასაც მოსდევს ბაზა — კოლექტორის გადასასვლელის (დიოდი Δ_2 , ნახ. 14, ბ) გახსნა. მაშინ ტრანზისტორის წინაღობა უმნიშვნელოა (ერთეული ომი), იგი დენს გაატარებს. კოლექტორის წრედის დატვირთვის წინაღობაში გაივლის რამდენიმე ათეულჯერ მეტი დენი (საშუალოდ 10 მილიამპერი), ვიდრე ბაზის სამართი დენია (0,05 მილიამპერი). როდესაც ბაზაზე არაა მოდებული უარყოფითი, მართკუთხა ფორმის სამართი სიგნალი, ტრანზისტორი ჩაკეტილია, მისი წინაღობა დიდია (რამდენიმე ასეული ათასი ომი), კოლექტორზე უარყოფითი — $E_{\text{კ}}$ პოტენციალის დონეა ($-E_{\text{კ}}$ არის ტრანზისტორის კვების წყარო). ბაზაზე მოდებული უარყოფითი A , B ან C სიგნალის გამო (ნახ. 17) ტრანზისტორში დენის გასვლის შემდეგ გამოსასვლელზე მთელი ძაბვის ვარდნა ხდება R წინაღობაზე (დაახლოებით 1000 ომი) და კოლექტორის პოტენციალი ეცემა თავდაპირველი

¹ Б е р у л а в а Р. Г. — Транзисторные динамические элементы и устройства. Библиотека по автоматике. Изд-во «Энергия», М., 1970, гв. 5, 8, 31, 35, 54.

უარყოფითი — E_1 პოტენციალიდან (დაახლოებით 10ვ) დადებითი პოტენციალის დონემდე („მიწა“). ამრიგად, ტრანზისტორის გამოსასვლელზე გვექნება შესასვლელი სიგნალის შებრუნებული და გაძლიერებული სიგნალი, ე. ი. სრულდება უარყოფის ოპერაცია „არა“. სამივე განხილული ოპერაცია „კი“, „ან“ და „არა“ კომბინაცია ყველა შესაძლო ლოგიკურ გამოთქმათა და ოპერაციათა სრულ კომპლექსს ადგენს მანქანაში.

რთული ამოცანების ამოხსნა ეცვ მანქანებზე წარმოებს ამ ამოცანების (ან ზოგ შემთხვევაში ამოცანის ნაწილი) ამოხსნის ალგორითმების გამოყენებით. ამისათვის საჭირო მოქმედებები პროგრამულად დაიყვა-



ნახ. 17. ოდური იმპულსის ფორმა

ნება ელემენტარულ 4 არითმეტიკულ ოპერაციამდე (შეკრება, გამოკლება, გამრავლება, გაყოფა), რასაც მანქანა ასრულებს არითმეტიკულ მოწყობილობაში. განვიხილოთ ყველა მკითხველისათვის მისაწვდომი მაგალითი, რომელშიაც ჩანს, თუ როგორ ხდება მანქანური ამოხსნა და როგორ ეძლევა მანქანას ამოცანის ალგორითმი.

ალგორითმს უწოდებენ ისეთ აღწერილობას, რომელიც აღნიშნავს არითმეტიკულ ოპერაციათა შინაარსსა და იმ განრიგს, რომელთა მიმდევრობით შესრულებას (მაგალითად, ე ც გ მანქანაზე) მიყვებართ მოცემული ამოცანის სასურველი შედეგის მისაღწევ ამოხსნამდე.

ვთქვათ, საჭიროა კვადრატული განტოლების ამოხსნა: $ax^2 + bx + c = 0$. ამ ამოცანის საწყისი მონაცემები შედგება სამი a , b და C ფიქსირებული

რიცხვისაგან. სიმარტივისათვის მივიღოთ, რომ სრულდება პირობა: $b^2 - 4ac > 0$. მაშინ, როგორც ვიცით, განტოლების ფესვები ტოლია:

$$x_1 = \frac{1}{2a}(-b + \sqrt{b^2 - 4ac}); \quad x_2 = \frac{1}{2a}(-b - \sqrt{b^2 - 4ac}).$$

ეს ფორმულები ადგენენ ამოცანის ამოხსნის ალგორითმს. მოცემულ a , b და c კოეფიციენტებზე მოქმედებები ე. ც. გ. მანქანაში ელემენტარულ ოპერაციამდე დაჰყავთ.

ე. ც. გ. მანქანაში რიცხვები a , b და c წარმოდგენილია ზემოაღნიშნული გარკვეული კოდების სახით. ამიტომ დასმული ამოცანისათვის საჭირო ყველა მოქმედება მანქანაში კოდის ან მანქანის ენაზე ხდება. ნებისმიერი a , b და c რიცხვები მანქანურ კოდებში ჩაიწერება სპეციალურ ბარათებზე მოცემული რიცხვის შესაბამისი ხერეტილების სახით. ასეთი გახვერტა (პერფორაცია) კეთდება მონაცემების მომზადების მოწყობილობაში — პერფორატორში. შემდეგ პერფორირებულ ბარათებზე მოცემული რიცხვები a , b და c შეაქვთ მახსოვრობის მოწყობილობაში, მათთვის წინასწარ განკუთვნილ უჯრედებში. ამ მოწყობილობაში ასევე პერფორაციებით შეაქვთ განტოლების ამოხსნისათვის საჭირო ელემენტარული ოპერაციების რიგის აღმნიშვნელი ცხრილი (პროგრამა), რომელთა მიმდევრობით შესრულებას მანქანაზე მიეყვართ ზემოთ მოყვანილ x_1 და x_2 რიცხვით გამოსახულებამდე, ე. ი. განტოლების ამოხსნამდე. ოპერაციების რიგი ან მანქანური ბრძანებების რიგი შემდეგია: 1) b და b -ს ნამრავლი; შედეგი b^2 უნდა მოთავსდეს მახსოვრობის რომელიმე, ვთქვათ, მე-100 უჯრედში; 2) a და c ნამრავლი, შედეგი ac -მახსოვრობის 101-ე უჯრედში; 3) რიცხვი 4-ისა და 101-ე უჯრედში მოთავსებული შედეგის ნამრავლი $4ac$ — 102-ე უჯრედში; 4) მე-100 უჯრედის რიცხვს უნდა გამოაკლდეს 102-ე უჯრედში მოთავსებული რიცხვი; შედეგი $b^2 - 4ac$ უნდა მოთავსდეს 103-ე უჯრედში; 5) მოხდეს კვადრატული ფესვის ამოღება 103-ე უჯრედში მდებარე რიცხვიდან; შედეგი $\sqrt{b^2 - 4ac}$ — 104-ე უჯრედში; 6) რიცხვს 104-ე უჯრედიდან უნდა დაემატოს რიცხვი $-b$, $-b + \sqrt{b^2 - 4ac}$ გადაიგზავნოს 105-ე უჯრედში; 7) და 8) 105-ე უჯრედის რიცხვს დაემატოს 104-ე უჯრედის რიცხვი; შედეგები გადაიგზავნოს: ერთი — 106-ე უჯრედში, მეორე კი — 107-ე უჯრედში; 9) გამრავლდეს რიცხვი 2 რიცხვზე a შედეგი — 108-ე უჯრედში; 10) და 11) 106-ე და 107-ე უჯრედებში მოთავსებული რიცხვები გაიყოს 108-ე უჯრედში მოთავსებულ რიცხვზე. სწორედ ამ ბოლო ორი ოპერაციით

მიღებული შედეგი არის ჩვენთვის საინტერესო — x_1 და x_2 საპოვნირიცხვები, რომლებიც მოთავსდებიან მახსოვრობის შემდგომ 109-ე და 110-ე უჯრედებში. შემდეგი, საბოლოო, მე-19 ბრძანებით მანქანიდან გამოსატან მოწყობილობაზე მნიშვნელობები ნაბეჭდი სახით გამოდის. ოპერაციები 1-დან 11-მდე წარმოადგენენ მანქანაზე მოქმედების ჩატარების რიგს ან ე. წ. ბრძანებათა სიას. ამ პროგრამას ალგენს მათემატიკოსი დამპროგრამებელი. ამის შემდეგ შეგვიძლია გამომთვლელს დავაგალოთ x_1 და x_2 რიცხვების გამოთვლა. მან უნდა იცოდეს 4 არითმეტიკული მოქმედება; ამოფესვა და ჰქონდეს მახსოვრობის უნარი. გამომთვლელი ე ც გ მანქანაში ავტომატურია. მანქანის მახსოვრობის მოწყობილობის უჯრედებში, ისევე როგორც ადამიანის ტვინის მახსოვრობის უჯრედებში—ნეირონებში, ინახება კოფიციენტები— a , b და c , ორი რიცხვი 2 და 4 (ეს სიდიდეები შეაქვთ მანქანის შესატანი მოწყობილობიდან) და საშუალო გამოთვლების (1—11) მონაცემები. ამ მონაცემებს მანქანა არითმეტიკული მოწყობილობიდან ავტომატურად აგზავნის მახსოვრობის მოწყობილობაში. აქვე სხვა უჯრედებში ინახება გამოთვლის შედეგებიც: x_1 და x_2 რიცხვები, რომლებიც ავტომატურად გადაიცემა გამოსატან მოწყობილობაში (ქალაღღზე), ნაბეჭდი რიცხვების სახით. ეს რიცხვები იმდენი იქნება, რამდენიც შეესაბამება ამოცანის წინასწარ მოცემულ (a , b , c) რიცხვებს. გარდა ამისა, თუ შევცვლით მოქმედების რიგს (1-დან 11-მდე) ან, რაც იგივეა, მანქანურ პროგრამას, შევამჩნევთ მანქანური შესაძლებლობის მრავალფეროვნებას, მანქანა ხდება უნივერსალური. მას აძლევენ უამრავი ამოცანის ამოხსნის ალგორითმებს ან წესებს, რომელთა მიმდევრობის დაცვას მიეყავართ მოცემული ამოცანის ამოხსნამდე.

მოცემული a , b და c -თი აღნიშნული მაგალითის ამოხსნისათვის საჭიროა მახსოვრობის სულ 12 ოპერატიული უჯრედი. ადვილი წარმოსადგენია, რა რთული ამოხსნები შეიძლება ჩატარდეს ე ც გ მანქანაზე, თუ ზოგიერთი ამოცანის დროს დაკავებულია მახსოვრობის ყველა 256000 ოპერატიული უჯრედი, ხოლო არითმეტიკული ოპერაციები სრულდება 1 მლნ ოპერაცია წაშში სიჩქარით (ასეთი პარამეტრები აქვს ნახევარგამტარულ დიოდებზე და ტრანზისტორებზე აგებულ საბჭოთა მანქანას ბ ე ს მ-6).

უახლეს თანამედროვე ე ც გ მანქანებს გააჩნიათ საკმაოდ ფართო ინტელექტუალური შესაძლებლობები. ამ თვალსაზრისით საინტერესოა აღინიშნოს, რომ უკანასკნელი, მესამე თაობის უნივერსალური ე ც გ

მანქანები, ე. წ. მყარ ინტეგრალურ სქემებზე აგებული მანქანები, მე-
შობაში ავლენენ მეტად საინტერესო თავისებურებებს. თუ ელექტრო-
ვაკუუმურ ნათურებზე (პირველი თაობის მანქანები, 1944 წლიდან) ან
ტრანზისტორებზე (მეორე თაობის მანქანები, 1960 წლიდან) აგებულ
ეცგ მანქანებს არ ჰქონდათ ამოცანის ამოსხნისას მახსოვრობისა და ინ-
ფორმაციის გაცვლის პროცესში დამოუკიდებელი მოწყობილობები, მე-
სამე თაობის მანქანებს ეს ნაკლი უკვე აღარ აქვთ.¹ მესამე თაობის ასეთი
თვისების მანქანებია ეკონომიური ურთიერთდახმარების საბჭოში შემა-
ვალი სოციალისტური ქვეყნების ერთიანი გამოთვლითი სისტემის მან-
ქანები EC—1040, EC—1050 და სხვ. (იხ. ცხრილი 3). ეს სიახლე ნიშნავს
სრულყოფილ, გონიერ კავშირს მანქანის ნაწილებს შორის, აგრეთვე
მანქანებს შორისაც რამდენიმე მანქანის ერთდროული ექსპლუატაციის
დროს.

ამჟამად არსებული ასეთი მანქანისთვისებები (მაგალითად, ამერი-
კული მანქანა „ილიაკ—IV“, ინგლისური მანქანა „სისტემ-4“ და სხვ.)
უახლოვდება ე. წ. განშტოებული ნეირონის ბადის თეორიით ასაგები
მანქანის (ბიოლოგიური მანქანა)თვისებებს. ასეთი ეცგ მანქანები
ჯერ კიდევ არ არიან თვითორგანიზებადი. ეს იმას ნიშნავს, რომ ამ მან-
ქანებსაც არ გააჩნია ადამიანისათვის დამახასიათებელივისება — მოუ-
ლოდნელი სიტუაციისადმი გარკვეული შეგნებული ორგანიზაციის უნა-
რი. ასეთი სიტუაციები კი ძალზე ხშირად გვხვდება. თუ სქემატურად შე-
ვადარებთ ადამიანის აზროვნების ცენტრის — ტვინის ფუნქციონირები-
სა (მაგალითად, ე. წ. ფ. როზენბლატის სქემა) და გამოთვლითი მანქანის
სქემებს. შევამჩნევთ მათ შორის უდავო ანალოგიას (იხ. გვ. 113,
ცხრილი 5).

ცნობილმა ნეიროფიზიოლოგმა უ. მაკ-კალკმა (აშშ) მოსწ-
რებულად თქვა, რომ „ტვინი გამოთვლით მანქანას ჰგავს, მაგრამ არ არის
ტვინის მსგავსი გამოთვლითი მანქანა“. ერთი რამ ცხადია, რომ ადამიან-
მა გამოთვლითი მანქანა შექმნა ტვინის იმ ფუნქციის მოდელისათვის,
რაც ძირითადად გამოთვლით და ხშირად ურთულეს აზროვნებით პროცე-
სებს აწარმოებს.

¹ იხ. Stein D. L., Glasier J. L. — WESCON — 67. Technical
papers, გვ. 1—5, 16-Session.

საბჭოთა ევგ მანქანების ზოგიერთი მახასიათებლები

№: რიგ.	ევგ მანქანის დასახელება	სწრაფმოქმედება 10 ³ შერევა 1 წამში, გაზრ. 10 ³ წმმ.	ოქრატ. მასობრიობის ტევადობა K (K=1000)	მას. მიმართვის ციკლი 10 ⁻⁶ წმ	გარე მოწყობილობათა რაოდენობა	თანრიგი	ბრძანებათა რაოდენობა	ბრძანებათა წყვეტის რეჟიმი.
1	„მინსკ“-23“	5 ფანრ. უიტხეებ	40 K	13	16—64	ცვლა-ღე	—	არს
2	„მინსკ“-32“	$\frac{25-65}{8-65}$	(16—65)K	5	136	37	—	არს
3	„ურალ“-16“	$\frac{100}{50}$	(131—512)K	3	კომპლექტი	48	300	არს
4	„ელექტრონიკა“-200“	5	(5—81)K			23		არს
5	„დნებრი“-21“	20	32K	11	96	5—64	177	არს
6	„ენიოეშ 30მ“	$\frac{35}{15}$	(8—26)K	10	16	24		არს
7	„მ-20“	$\frac{35-40}{14,5}$	4K		8	45	64	
8	„ბესმ-4“	$\frac{21}{10,5}$	(4—8)K	8—10	10—12	45	64	
9	მ-220	$\frac{35-42}{19}$	(4—16)K		11	45	64	არს
10	მ-222	$\frac{35-42}{19}$	(8—32)K	8—10	20	45	64	არს
11	„ბესმ-6“	$\frac{1000}{530}$	(32—256)K	2 103	100	48	64—100	არს

სოციალისტური ქვეყნების ეც გ მანქანათა ერთიანი სისტემის (EC ЭВМ)

ზოგიერთი მახასიათებლები

№ პ. რიგ.	მოდელის სახელწოდება და მწარმოებელი ქვეყანა	ინფორმაციის გადაცემის სისწრაფე 1000 ბაიტ/წმ	შეკრება-გამოკლება 10 ⁴ წმ	გამოკლება 10 ⁴ წმ	მასივობის ტევადობა 1000 ბაიტი	არხების გადაცემის სისწრაფე 1000 ბაიტ/წმ
1	EC—1010 (უნგრ.)	160			8	240
2	EC—1020 (სსრკ, ბულგარ.)	25	50—70	400	64 ÷ 256	300-მდე
3	EC—1022 (ჩეხოსლოვაკია)	35—220		80 ÷ 120	16 ÷ 64	250
4	EC—1030 (სსრკ, პოლონეთი)	40	7 ÷ 15	30	128 ÷ 512	200-მდე
5	EC—1040 (გვრ)	50 ÷ 200	2,5 ÷ 3,5	7	128 ÷ 1024	1200
6	EC—1050 (სსრკ)	100 ÷ 450	1,2 ÷ 2,2	1,5 ÷ 2,2	128 ÷ 1024	1300
7	EC—1060 (სსრკ)	100 ÷ 450	0,5	1	256 ÷ 2048	1300

ელექტრონული გამოთვლელი მანქანების ორობითი არითმეტიკა

ელექტრონული ციფრული გამომთვლელი მანქანა (ეც გ მანქანა) სტრუქტურულად და ტექნიკურად წარმოადგენს ერთ-ერთ ურთულეს თანამედროვე მოწყობილობას. პარადოქსულია, რომ ამ მანქანის მოქმედების ლოგიკა, გამოთვლითი ოპერაციების წარმოების საფუძვლები და მათემატიკური მოქმედებები ძალზე მარტივია. ასეთი მანქანები მხოლოდ 4 ელემენტარულ არითმეტიკულ მოქმედებას (შეკრება, გამოკლება, გაყოფა და გამრავლება) ასრულებს.¹

თანამედროვე ეც გ მანქანებში უმთავრესად გამოიყენება თელის ორობითი სისტემა. ასეთ ციფრულ სისტემაში ძირითადი და ერთადერთი ციფრებია 1 და 0. ამ უკანასკნელთა კომბინაციები ეც გ მანქანაში განლაგებულია სივრცეზე. მწკრივად, უჭრედობრივად ან ეგრეთ წოდებულ თანრიგობრივად. თანრიგები (ორობითი უჭრედები „0“ ან „1“) ყველაზე მარჯვნივ მდებარე უჭრედებია და მათ შეესაბამება უმცირესი რიცხვები. უდიდესი რიცხვები მარცხნივ მდებარეობს. თანრიგების მწკრივს მაგალითად, ექვსი თანრიგის შემთხვევაში, ასეთი სახე აქვს:

VI, V, IV, III, II, I

¹ რ. ბერულავა „მეცნიერება და ტექნიკა“ №8, 1971, გვ. 6-8.

სასრული თანრიგების რაოდენობის აღმნიშვნელი ტექნიკური მოწყობილობა წარმოადგენს რეგისტრს, რომლის უჯრედებში მოთავსდება (ჩაწერა) ან საიდანაც გამოაქვთ (გადაწერა) რაიმე რიცხვი. რეგისტრის ყოველი უჯრედი (თანრიგი) შედგება ორობითი ელემენტისაგან, რომელსაც ტრიგერი ეწოდება. ტრიგერში ჩაიწერება 1 ან 0. რიცხვის გამოხატვა შეიძლება ისეთი რიცხვების ჯამის კომბინაციებით, რომელთაც ფუძედ აქვთ 1-იანი, ხოლო ხარისხის მაჩვენებლად — მთელი რიცხვები. მაგალითად, ათობითი რიცხვი $1=2^0$; $2=2^1$; $3=2^1+2^0$; $5=2^2+2^0$; $6=2^2+2^1$; $7=2^2+2^1+2^0$; $8=2^3$; $9=2^3+2^0$; $10=2^3+2^1$; $11=2^3+2^1+2^0$; $20=2^4+2^2$; $30=2^4+2^3+2^2+2^1$; $40=2^5+2^3$; $90=2^6+2^4+2^3+2^1$; $100=2^6+2^5+2^2$ და ა. შ.

ამრიგად, ნებისმიერი ათობითი რიცხვის ორობით სისტემაში გამოსახტავად თანრიგის მწკრივი ორობით სისტემაში მიიღებს სახეს:

VI, V, IV, III, II, I — თანრიგები

$2^6 2^5 2^4 2^3 2^2 2^1 2^0$ — ორობითი რიცხვები.

ყოველ თანრიგში შეიძლება ეწეროს 1 ან 0. თუ რომელიმე თანრიგში წერია 1, მაშინ ვგულისხმობთ, რომ აჯამვისას ამ თანრიგის რიცხვი 2 არსებობს თავისი ხარისხის მაჩვენებლით. მაგალითად, რიცხვი $1=...0^n + 0^{n-1} + ... + 0^2 + 0^1 + 2^0 = 2^0$, რიცხვი $2=2^1 + 0^0$ (ყველა დანარჩენ მაღალ თანრიგში კი არის 0), ასევე $8=2^3 + 0^2 + 0^1 + 0^0 = 2^3$; $9=2^3 + 0^2 + 0^1 + 2^0 = 2^3 + 1$. ა. შ.

ამრიგად, ნებისმიერი ათობითი რიცხვი შეიძლება წარმოვიდგინოთ სათანადო თანრიგებში მყოფი 1-ნებისა და 0-ების კომბინაციის სახით, ანუ ე. წ. კოდის სახით. რიცხვების ამოკითხვა თანრიგების მწკრივებიდან ხდება 2-ის გარკვეული ხარისხის აჯამებით (რაც თანრიგის რიგით განისაზღვრება) მხოლოდ მაშინ, თუ თანრიგებში იმყოფება 1-იანი, დანარჩენ შემთხვევაში აიჯამება (შეიკრიბება) ნულები.

ცხრილი გვიჩვენებს ორობით სისტემაში თანრიგობრივი სახით ჩაწერილ ათობითი სისტემის რიცხვებს (იხ. ცხრილი 4).

ცხრილის გაჩრევა გვიჩვენებს შემდეგ თვისებებს:

1. რიცხვი ორობით სისტემაში გამოხატული მარცხნიდან მარჯვნივ მარტო ერთი 1-იანით და შემდეგ ნულით (ნულებით) მიიღება მხოლოდ ათობით რიცხვი 2-ის ახარისხებით (მაგ., $2^0=1$; $2^1=10$; $2^2=100$, $2^3=1000$) და შეიცავს დაბალ თანრიგებში იმდენ ნულიანს, რამდენიცაა ხარისხის მაჩვენებელი.

2. განსხვავება 10, 100, 1000, 10000 და ა. შ. კოდებსა და მათ შესა-

2-ის ხარისხი	რიცხვი ათობით სისტემაში	რიცხვი ორობით სისტემაში (კოდი)	ათობითი სისტემა	ორობითი სისტემა
2	0	0	1/2	0,1
2 ⁰	1	1	1/4	0,01
2 ¹	2	10	3/4	0,11
	3	11	5/8	0,101
2 ²	4	100	7/8	0,111
	5	101	1/16	0,0001
	6	110	9/16	0,1001
	7	111	15/16	0,1111
2 ³	8	1000	1/32	0,00001
	9	1001	35/32	0,10011
	10	1010	2 $\frac{1}{4}$	10,01
	11	1011	3 $\frac{3}{4}$	11,11
	12	1100	5 $\frac{5}{16}$	101,1010
	13	1101	7 $\frac{15}{16}$	111,1111
2 ⁴	16	10000	2 $\frac{3}{32}$	10,00011
	17	10001	6 $\frac{21}{32}$	110,10101
2 ⁵	32	100000	29 $\frac{19}{32}$	11101,10011
	33	100001	31 $\frac{31}{32}$	11111,11111

ბამის ერთი თანრიგით დაბალ I, II, III, IV კოდებს შორის არის 1-იანი, ე. ი. ადგილი აქვს ტოლობას:

$$\underbrace{1000\dots0}_{n\text{-ნული}} - 1 = \underbrace{111\dots1}_{n\text{-ერთიანი}}$$

ცხრილიდან ჩანს, რომ ნებისმიერი მთელი ან არამთელი რიცხვი შეიძლება წარმოვიდგინოთ როგორც რიცხვი ფუძით 2. ათობითიდან ორობით სისტემაში რიცხვების გადაყვანის საილუსტრაციოდ მოვიყვანოთ რამდენიმე მაგალითი:

$5 = 2^2 + 0^1 + 0^0$ (კოდი 101); $7 = 2^2 + 2^1 + 2^0 = 4 + 2 + 1$ (კოდი 111), $13 = 2^3 + 2^2 + 0^1 + 2^0 = 8 + 4 + 0 + 1$ (კოდი 1101), $96 = 2^6 + 2^5$ (კოდი 11000), $186 = 2^7 + 0^6 + 2^5 + 2^4 + 2^3 + 0^2 + 2^1 + 0^0$ (კოდი 10111010) და ა. შ.

ყველა ეცგ მანქანაში ასეთი სახის წარმოდგენალ რიცხვებზე სრულდება ოთხივე არითმეტიკული მოქმედება. ეს მოქმედებები შეადგენენ მანქანის ძირითად სამუშაოს, რომელსაც მანქანა გარკვეული კანონზომიერებითა და მიზანსწრაფვით (პროგრამით) ასრულებს. განვიხილოთ ეს მოქმედებები.

შეკრება. შეკრების დროს ხდება შესაბამისად თანრიგობრივი შეკრება შემდეგი უმარტივესი წესების დაცვით:

$$\begin{aligned} 0 + 0 &= 0 \\ 1 + 0 &= 1 \\ 0 + 1 &= 1 \\ 1 + 1 &= 10 \end{aligned}$$

ამ წესებში ნიშანდობლივია ბოლო, მეოთხე წესი, რაც აღნიშნავს იმას, რომ თუ მოცემულ თანრიგში იყო 1-იანი და მას დაემატა 1-იანი, მაშინ მოცემულ თანრიგში შედეგად გვაქვს 0, ხოლო მიმატების შედეგი ერთი თანრიგით მაღლა გადაინაცვლებს. 1-იანის გადატანა ხდება უფრო მაღალ თანრიგში. მაგალითები:

$\begin{array}{r} + 5 \\ 2 \\ \hline 7 \end{array}$	$\begin{array}{r} 101 \\ 10 \\ \hline 110 \end{array}$	$\begin{array}{r} + 11 \\ 3 \\ \hline 8 \end{array}$	$\begin{array}{r} 1011 \\ 11 \\ \hline 1000 \\ 110 \\ \hline 1110 \end{array}$	— 1 შესაკრები
				— 2 შესაკრები
				— ჯამი გადატანის გარეშე
				— გადატანა
				— საბოლოო ჯამი

სასურველია, მკითხველმა კარგად გაარჩიოს ეს მაგალითი და თვითონ გააკეთოს მოქმედებანი $10111 + 1111$ ($23 + 15$). ამ შემთხვევაში ხდება სამჯერადი გადატანა და მიიღება შემდეგი შეკრება:

$$24 + 14 = 22 + 16 = 6 + 32.$$

გ ა მ რ ა ვ ლ ე ბ ა. გამრავლების ცხრილი მარტივია:

$$0 \times 0 = 0$$

$$1 \times 0 = 0$$

$$0 \times 1 = 0$$

$$1 \times 1 = 1$$

ამ ოპერაციის ჩატარება ანალოგიურია ათობით სისტემაში გამრავლების მოქმედებისა. მოყვანილ მაგალითებში ჩანს ეს მოქმედებები:

$$\begin{array}{r} \begin{array}{r} 6 \\ 2 \\ \hline 0 \\ 12 \\ \hline 12 \end{array} \left. \begin{array}{r} 110 \\ 10 \\ \hline 000 \\ 110 \\ \hline 1100 \end{array} \right\} \begin{array}{r} > \frac{10}{3} \\ + 10 \\ 20 \\ \hline 30 \end{array} \left. \begin{array}{r} 1010 \\ 11 \\ \hline 1010 \\ 1010 \\ \hline 11110 \end{array} \right\} \end{array}$$

მკითხველს ვთავაზობთ ასეთ მაგალითს: $1110 \times 101 = 14 \times 5$.
ამ დროს ხდება ორჯერადი გადატანა და სამჯერადი შეკრება ასეთი მიმ-
დევრობით: $14 + 56 = 54 + 16 = 38 + 32$.

გ ა მ რ ა ვ ლ ე ბ ა. ორობითი რიცხვების გამოკლების მოქმედება
გამომდინარეობს შეკრების ზემოთ მოყვანილი ცხრილიდან. გამოკლების
ოპერაციის წესები ასე გამოიხატება:

ა) $0 - 0 = 0$,

ბ) $1 - 0 = 1$

გ) $1 - 1 = 0$

დ) $10 - 1 = 1$

ამ წესებში არაა აღნიშნული განსაკუთრებული შემთხვევა, როცა
თანრიგობრივი გამოკლების დროს 0-ს აკლდება 1-იანი. ამ შემთხვევაში
ხდება სესხება უახლოესი უფროსი თანრიგის 1-დან, ე. ი. უფროსი თან-
რიგის 1-იანი წარმოდგენილია როგორც მოცემული თანრიგის ორი ერთი-
ანი და გამოკლების მოქმედება წარმოებს მოტანილი ა) — დ) წესებით. იმ
შემთხვევაში, როცა მეზობელ უფროს თანრიგში, ანდა რამდენიმე უფროს
თანრიგებში დგას 0-ები, მაშინ სესხება ხდება უახლოესი უფროსი თან-
რიგიდან, სადაც ზის ერთიანი.

$$\underbrace{1\ 000}_{n\text{-ჯერ}} \quad 1 - 1 = 111 \quad \underbrace{1}_{n\text{-ჯერ}}$$

ამ ერთიანს წარმოვიდგენთ როგორც რიცხვის ჯამს, რომელიც შედგება საშუალოდ თანრიგების ერთიანებისაგან (რომელშიაც იმყოფებოდნენ 0-ები) და ორი (10) ერთიანისაგან მოცემულ თანრიგში. მაშინ მოცემულ თანრიგში გამოკლება ჩატარდება დ) წესით, ხოლო ყველა საშუალოდ თანრიგში კი ბ) და გ) წესებით. ამ პირობებში ბუნებრივია არ დაგვჭირდება დამატებითი სესხება საშუალოდ თანრიგებში. მაგალითები:

$$\begin{array}{r} - 22 \\ - 12 \\ \hline 10 \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{r} - 22 \\ - 12 \\ \hline 10 \end{array}} \right\} \begin{array}{r} - \frac{10110}{1100} \\ \hline 1010 \end{array} \quad \begin{array}{r} - 44 \\ - 23 \\ \hline 21 \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{r} - 44 \\ - 23 \\ \hline 21 \end{array}} \right\} \begin{array}{r} - 101100 \\ \hline 10111 \\ \hline 10101 \end{array}$$

შვითხველს ვანდობთ გააქეთოს მაგალითები და შეადაროს პასუხები:

$$1100100 - 1011001 = 100 - 89.$$

გ ა ყ ო ფ ა. ორობითი რიცხვების გაყოფა ხდება ჩვეულებრივი ათობითი რიცხვის გაყოფის ანალოგიურად, კუთხით. გასაყოფი და გამყოფი მთელი რიცხვებია. ეს შემთხვევა არის ძირითადი და მასზე ადვილად დაიყვანება ისეთი შემთხვევები, როცა გასაყოფი ან გამყოფი წარმოადგენენ წილადებს. მართლაც, ასეთი წილადები უბრალოდ შეიძლება გარდაქმნათ მთელებად, თუ გასაყოფსა და გამყოფს გავამრავლებთ ერთ დამაგე 2-იანის რაიმე გარკვეული მთელი ხარისხის ტოლ რიცხვზე. ეს კეთდება უბრალოდ, წილად ნაწილებზე იმდენი ნულიანების დამატებით, რამდენიც შეესაბამება 2-ის ხარისხს (იხ. ცხრილი 4), ე. ი. რამდენიც საჭიროა, რომ ორივე გასაყოფ ან გამყოფ რიცხვში მოისპოს მძიმეები.

მთელი რიცხვების გაყოფისას გვხვდება ორი შემთხვევა: 1. გასაყოფი მეტია გამყოფზე (გაყოფა უნაშთოდ ან ნაშთიანად); 2. გამყოფი მეტია გასაყოფზე. მოვიყვანოთ მაგალითები, როცა გასაყოფი მეტია გამყოფზე. ა) გაყოფა უნაშთოდ:

$$\begin{array}{r} 15 \overline{) 5} \\ \underline{3} \\ \hline 1111 \overline{) 101} \\ \underline{101} \\ \hline 101 \\ \underline{101} \\ \hline 0 \end{array}$$

გ) გაყოფა ნაშთით:

$$\begin{array}{r}
 \underline{11010111} \\
 10110 \\
 \hline
 100111 \\
 \underline{\quad\quad} \\
 10110 \\
 \hline
 100010 \\
 \underline{\quad\quad} \\
 10110 \\
 \hline
 11000 \\
 \underline{\quad\quad} \\
 10110 \\
 \hline
 1000
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{r}
 \underline{10110} \\
 1001,1100
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{r}
 215 \overline{)22} \\
 \underline{9,7}
 \end{array}$$

ახლა განვიხილოთ მაგალითი ისეთი შემთხვევისა როცა გამყოფი მეტია გასაყოფზე და ვღებულობთ ნაშთს:

$$\begin{array}{r}
 1011001 \\
 101100100 \\
 11011010 \\
 \hline
 100010100 \\
 \underline{\quad\quad} \\
 11011010 \\
 \hline
 11101000 \\
 \underline{\quad\quad} \\
 11011010 \\
 \hline
 \text{ნაშთი} \qquad \underline{111000}
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{r}
 \underline{11011010} \\
 0,01101000
 \end{array}
 \qquad
 \begin{array}{r}
 89 \overline{)218} \\
 \underline{0,408}
 \end{array}$$

მკითხველს საეარჩიშოთ ვთავაზობთ მაგალითებს, სადაც ანალოგიურად კეთდება მოქმედებები:

ა) გაყოფა უნაშთოდ $110001 \overline{)111}$ ან (49 : 7). გაყოფა ნაშთით $110111 \overline{)110}$ ან (55 : 6) გასაყოფი მეტია გამყოფზე $101101 \overline{)110111}$ ან (45 : 55).

ოთხივე განხილული არითმეტიკული მოქმედება ე ე ც მანქანაში ხდება ე. წ. არითმეტიკულ მოწყობილობაში, რაც წარმოადგენს მის ერთ-ერთ ძირითად მოწყობილობას.

ამ მოწყობილობას ორი რიცხვისათვის (შესაკრები, გამოსაკლები, გასაყოფი თუ გასამრავლებელი რიცხვები) აქვს შესაბამისად ორი რეგისტრი. მოქმედების შედეგი ხშირად მესამე რეგისტრში ჩაიწერება. რეგისტრს აქვს სპეციალური უმაღლესი ორობითი უჯრედი (ზემოხსენებული ტრიგერი), რომელშიაც 1-ის არსებობა ნიშნავს, რომ რიცხვს აქვს დადებითი ნიშანი, ხოლო თუ ნიშნის ტრიგერი 0 მდგომარეობაშია, ეს ნიშნავს, რომ რიცხვი უარყოფითია. რიცხვზე ზემოთ აღნიშნული არითმეტიკული მოქმედებების დროს ნიშნის ტრიგერების მდგომარეობები აღგებრულად

შესაბამისად ერთმანეთს ედარება. რეგისტრში არის აგრეთვე რიცხვების რიგის აღმნიშვნელი ტრიგერები.

სხვადასხვა ეცგ მანქანა შეიცავს სხვადასხვა რაოდენობის თანრივთან რეგისტრს, მაგალითად, მანქანა „ბ ე ს მ -6“-ში და „ურალ 11“-ში არის 48 თანრიგი, მანქანაში მ ი ნ ს კ-32 37-თანრიგი და ა. შ.

„ი ბ მ-360“ და „ს ტ რ ე ჩ“ ტიპის ეცგ მანქანებში ძირითადად რეგისტრის სიგრძე (ან მანქანური სიტყვის სიგრძე) აღწევს 64. შეკრების ოპერაცია სრულდება პირველ მანქანაში — საშუალოდ 0,000001 წამში. გამრავლების — 0,000006 წამში, მეორეში — უფრო ნაკლებ დროში — 0,000006 წამი და 0,0000032 წამი, ისევე, როგორც საბჭოთა ეცგ ბ ე ს მ-6. დიდი სწრაფმოქმედება აქვს ეცგ მანქანას ს დ ს — 6600 (აშშ), სადაც სრულდება 3 მილიონ შეკრების ოპერაცია 1 წამში.

როცა ლაპარაკია ეცგ მანქანის შედგენილობასა და სწრაფქმედებაზე. უეჭველად უნდა აღვნიშნოთ ილინოისის უნივერსიტეტის (აშშ) მანქანათა სისტემა ი ლ ი ა კ—IV, რომლის აგება დაიწყო 1968 წ. 1971 წელს აგებული ი ლ ი ა კ—IV შეიცავს 64 გამომთვლელ მანქანას, გაერთიანებულს ერთიან ლოგიკურ-გამომთვლელ სისტემად. ეს არის მსოფლიოში უმძლავრესი სუპერსისტემა, რომლის სწრაფქმედება 200 მილიონი ოპერაცია /წამზე. საინტერესოა რომ პირველი პროექტში ი ლ ი ა კ—IV ენდა ყოფილიყო გაერთიანებული 256 გამომთვლელი მანქანა, სწრაფქმედებით 1 მილიარდი ოპერაცია/წამზე.

მათემატიკოს-დამპროგრამებელი ადგენს იმის პროგრამას, თუ რა არითმეტიკული მოქმედებები უნდა იქნეს შესრულებული რიცხვზე. ეს პროგრამებიც დაწერილია კოდების სახით, მანქანის ოპერატიულ მახსოვრობაში შეაქვთ თანრიგობრივად და ინახება მანამ, სანამ არ შესრულდება ყველა არითმეტიკული ოპერაცია და არ დამთავრდება მანქანაზე ამოცანის ამოხსნა.

მოყვანილი მაგალითებიდან ჩანს, რომ შეკრებისა და გამოკლების ოპერაციების შესრულებისათვის საჭიროა ორი ისეთი მოწყობილობა (რეგისტრი) რომელიც ალგებრულად „დამახსოვრებს“ წევრებს, ხოლო მესამე მოწყობილობაში (ასევე რეგისტრში) „აგზავნის“ ასეთი შეკრების შედეგს. გამრავლებისა და გაყოფის ოპერაციების შესრულებისათვის კი საჭიროა კიდევ დამატებითი რეგისტრის არსებობა, რომელსაც დაევალება საშუალოდ ანგარიშების დროს რიცხვების წანაცვლება — ანდა ძვრა. ასეთი რეგისტრები ნახევრად გამტარულ ელემენტებზეა აგებული, სადაც გამოყენებულია ჩვენთვის უკვე ცნობილი ტრანზისტორები

და დიოდები. უნდა აღენიშნოთ, რომ მოყვანილ ორ და სამნიშნა ციფრების გამრავლებისა და გაყოფის ოპერაციების ჩასატარებლად საჭირო მოწყობილობაში რამდენიმე ათეული ტრანზისტორი და მათზე ორჯერ უფრო მეტი დიოდები და ომური წინაღობებია საჭირო. რაც უფრო მეტნიშნა რიცხვია გასამრავლებელი (გასაყოფი), მით უფრო ტრანზისტორების დიოდებისა და წინაღობების რიცხვი კატასტროფულად იზრდება. მცირენიშნა რიცხვებზე მაგალითად, ოთხ, ხუთ, ექვსნიშნა, ათნიშნა რიცხვებზე მოქმედებისათვის გამომთვლელი მანქანების გამოყენება არაეკონომიურია. მაგრამ ასეთი მანქანები ძალზე ხელსაყრელია და ეკონომიური ისეთ რიცხვებზე მოქმედებისათვის, რომელიც შედგება 20, 30, 40 ციფრისაგან. ამ შემთხვევაშიც მანქანაში პრაქტიკულად იმდენივე მცირე დრო დაიხარჯება არითმეტიკულ მოქმედებაზე, როგორც 2, 3, 4 — ციფრისაგან შემდგარ რიცხვებზე მოქმედების დროს.

ელექტრონული გამომთვლელი მანქანები ძირადად გამოიყენება დიდი რაოდენობის ციფრებისაგან შემდგარ რიცხვებზე მოქმედებისათვის იმ შემთხვევაში, როცა საჭიროა არითმეტიკული მოქმედებების დიდი სიზუსტით წარმოება. შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ რაც უფრო მეტ რიცხვებზეა მოქმედება საჭირო, მით აღნიშნული რეგისტრების ორობითი ბლოკების (რეგისტრი) რიცხვი იზრდება არითმეტიკული პროგრესიით, ხოლო გამომთვლელი მანქანების შესაძლებლობანი კი გეომეტრიული პროგრესიის კანონით.

ვაკოთქმათა ალგებრა მანქანებისათვის

სხვადასხვა ალგებრისაგან ვანსხეავებით (წრფივი, არაწრფივი და ა. შ.) არსებობს ისეთი ალგებრაც, რომელშიაც მოქმედების ობიექტად აღებულია არა რიცხვები, სიდიდეები და ა. შ., არამედ გამოთქმები. უნდა აღინიშნოს, რომ გამოთქმათა ალგებრაში, ისევე როგორც გამოყენებითი მეცნიერების სხვადასხვა დარგში (ბიონიკა, ვაკოთვლითი ტექნიკა და სხვ.), არ არსებობს უზოგადესი კანონები. რომელშიაც მოქმედების ობიექტი იყოს ნებისმიერი, გარკვეულ წესს ღაუქვემდებარებელი ოპერაცია. არსებულ სხვადასხვა გამოთქმიდან (კითხვითი, მტკიცებითი, უპირო, ალტაცებითი, და სხვ.) გამოთქმათა ალგებრაში გამოიყენება მხოლოდ და მხოლოდ მტკიცებითი გამოთქმები და ამასთან ან გარკვეულად ქეშმარიტი ან გარკვეულად ცრუ გამოთქმები. მიუხედავად გარეგ-

ნული სიმარტივისა, ეს ალგებრა წარმოადგენს თანამედროვე ურთულესი კიბერნეტიკული მანქანების (ლოგიკურ-ინფორმაციული მანქანები, წარმოების პროცესის მარეგულირებელი სპეციალიზებული მოწყობილობანი, თელისა და მართვის აეროკოსმიური ინტეგრალურ-ფუნქციონალური მოწყობილობები და სხვ.) მუშაობის ლოგიკურ საფუძვლებს. იმისათვის, რომ გამოთქმათა ლოგიკის საფუძვლებს კარგად დავეუფლოთ, საჭიროა გარკვეული ვარჯიში. ამიტომ დაინტერესებულ მკითხველებს ვთავაზობთ ქვემოთ მოყვანილი მიმდევრობით და დაკვირვებით გაარჩიოს ყველა ლოგიკური მოქმედება (წესი).

სიმარტივისათვის ზემოთ აღნიშნული სახის მტკიცებითი გამოთქმები აღვნიშნოთ ასოებით.

მაგალითად, A — ოპერა „ოტელოს“ ავტორია კომპოზიტორი ჯ. ვერდი; B —25 იყოფა 8-ზე უნაშთოდ; C —დელფინი თბილისისხლიანი ცხოველია; D —კოსმოსში არ არის უწონადობა.

აქ მოყვანილ ცალკეულ მტკიცებებში (ეუწოდოთ მათ მარტივი მტკიცებები) ლაპარაკია მხოლოდ ერთ გარკვეულ შემთხვევაზე, ქეშმარიტ ან არაქეშმარიტ გამოთქმებზე. თუ გამოთქმა არის ქეშმარიტი, მას აღვნიშნავენ ციფრით 1, თუ არაქეშმარიტი — ციფრით 0. ლოგიკის ალგებრაში საშუალებო ან სხვა ციფრი ან გამოთქმა არ არსებობს. როგორც ხედავთ ჩვენს მაგალითში $A = 1$; $B = 0$; $C = 1$; $D = 0$.

გამოთქმათა ალგებრაში განიხილება მარტივი მტკიცებებისაგან (ქეშმარიტი ან არაქეშმარიტი) შედგენილი რთული გამოთქმები.¹ საამისოდ გამოთქმებზე საჭირო ხდება სამი სახის მოქმედების ჩატარება. ეს მოქმედებებია: გამრავლება, შეკრება, გამოკლება და უარყოფა.

გ ა მ თ ქ მ ა თ ა გ ა მ რ ა ვ ლ ე ბ ა. მივიღოთ, რომ ორი გამოთქმის შეერთება შეიძლება „კი“ კავშირის საშუალებით. მიღებული შედეგი იქნება გამოთქმათა ლოგიკური გამრავლება. მაგრამ გამოთქმის სიმართლე, გამრავლების შედეგი ამ შემთხვევაში დამოკიდებული იქნება ცალკეულ შემავალ გამოთქმათა ქეშმარიტებაზე. აქ ლატული უნდა იყოს სამი მარტივი წესი.

1. ლოგიკური გამრავლების შედეგი — გამოთქმა ლოგიკურად მართალია მხოლოდ მაშინ, როცა შემადგენელი თანამამრავლი გამოთქმები ცალ-ცალკე ქეშმარიტი გამოთქმაა.

მაგალითი: „ვერცხლი ოქროზე იაფია და პლატინაზეც იაფი“ ეს წი-

¹ რ. ბ. ე. რ. უ. ლ. ა. ვ. ა. „მეცნიერება და ტექნიკა“ — № 2, 1972, გვ. 12—15.

ნადადება (აღნიშნოთ C -თი) შედეგება ორი წინადადებისაგან. ორივე წინადადება ცალ-ცალკე ჭეშმარიტი გამოთქმაა. აღნიშნოთ: „ვერცხლი ოქროზე იაფია“ A -თი, ვერცხლი „პლატინაზეც იაფია“ — B -თი, როგორც ვხედავთ $A=1$, $B=1$ მაშინ შეგვიძლია დავწეროთ,

$$C=A \quad B=1 \quad 1=1$$

2. თუ გამოთქმების თანამამრავლები ცალ-ცალკე არაჭეშმარიტი გამოთქმებია, მაშინ ლოგიკური გამრავლების შედეგიც ცრუ გამოთქმა იქნება. მაგალითი. „ივანე ბუნიჩი ინგლისელი მწერალია და მან დაწერა საგა ფორსაიტებზე“. ამ წინადადების შემადგენელი ნაწილები (აღნიშნოთ პირველი ნაწილი A -თი, მეორე B -თი) ცალ-ცალკე წარმოადგენენ არაჭეშმარიტ გამოთქმებს: $A=0$, $B=0$, ამიტომ მთლიანი წინადადება (აღნიშნოთ C -თი) რაც მიღებულია „კი“ კავშირის გამოყენებით, არის არაჭეშმარიტი გამოთქმა: $C=A \quad B=0 \quad 0=0$.

3) თუ ერთ-ერთი გამოთქმა მაინც არის ცრუ გამოთქმა, მაშინ გამოთქმათა ლოგიკური გადამრავლების შედეგი არ იქნება ჭეშმარიტი გამოთქმა. მაგალითი: „დავით დანდაუ არის უდიდესი საბჭოთა ფიზიკოსი, ქიმიკოსი და ასტრონომი“. მიუხედავად იმისა, რომ ამ წინადადების (აღნიშნოთ D -თი) პირველ ნაწილი („ფიზიკოსი — A “) ჭეშმარიტად ნამდვილი გამოთქმაა, რადგანაც მეორე („ქიმიკოსი — B “) და მესამე (ასტრონომი — C “) ნაწილები არაჭეშმარიტია, ამიტომ

$$D=A \quad B \quad C=1 \quad 0 \quad 0=0$$

აქ მოტანილი სამი წესი ადგენს ლოგიკური გამრავლების სამართლიანობის შემდეგ ცხრილს, რომელსაც ორი A და B გამოთქმისათვის შემდეგი სახე აქვს:

$$\begin{array}{l} A=1 \quad 0 \quad 1 \quad 0 \\ B=1 \quad 1 \quad 0 \quad 0 \\ C=A \quad B=1 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \end{array}$$

გ ა მ თ ი ქ მ ა თ ა შ ე კ რ ე ბ ა. თუ ორ ან რამდენიმე გამოთქმას შევეერთებთ „ან“ კავშირით, მიღებულ რთულ გამოთქმას შეიძლება ვუწოდოთ ლოგიკური ჯამი. მაგალითად, „სიკვდილი ან გამარჯვება — კრემლს დაუდგეთ დარაჯებად“. აქ გვაქვს ლოგიკური ჯამი („სიკვდილი — A “, „გამარჯვება — B “) $A+B$, სადაც ნიშანი $+$ აღნიშნავს კავშირს „ან“. ნიშანდობლივია, რომ გრამატიკაში კავშირი „ან“ იხმარება ორი მნიშვნელობით: მოქმედება (მოვლენა) შეიძლება მოხდეს ერთდროულად ერთსა და იმავე ადგილას („წერითი საბუშაოსათვის მივიღებ 4-ს ან 5-ს“),

ან არაერთდროულად, სხვადასხვა ადგილას („დასასვენებლად წავალ ბორჯომში ან კოჯორში“), უკანასკნელ შემთხვევაში „ან“ კავშირი გამოიყენება მოვლენის გამორიცხვის საშუალებისათვის (არ შეიძლება ვიყოთ ერთდროულად ბორჯომშიც და კოჯორშიც.) ასეთ შემთხვევაში კავშირი „ან“ არ აღნიშნავს ლოგიკური შეკრების ოპერაციას, რაც ერთდროულად არსებული (ან ერთდროულად შესაძლო, მაგრამ არარსებული) მოქმედებას გამოხატავს.

გამოთქმათა ლოგიკური შეკრების ცხრილს ორი გამოთქმისათვის აქვს შემდეგი სახე:

$$A=1 \ 0 \ 1 \ 0$$

$$B=1 \ 1 \ 0 \ 0$$

$$C=A+B=1 \ 1 \ 1 \ 0$$

გამოთქმის უარყოფა. თუ წინადადებაში შემასმენელს დაეუმატებთ „არ (არა)“ ნაწილს, მივიღებთ გამოთქმის უარყოფას. ეს ოპერაცია აღინიშნება უარყოფის ხაზით, რაც იწერება მტკიცებითი გამოთქმის აღნიშვნელი ასოს ($A, B, C \dots$) ზემოთ. მაგალითად, „დღეს პირველი აპრილია— A “; „დღეს არ არის პირველი აპრილი“ აღინიშნება— \bar{A} -თი. მოვიყვანოთ სხვა მაგალითები. „ექვსჯერ ექვსი ოცდაექვსია“. აქ $A=0$, მაგრამ ექვსჯერ ექვსი არ არის ოცდაექვსი“, ე. ი. $\bar{A}=1$. აქ უნდა გავიხსენოთ, რომ ჰემმარიტ ან არაჰემმარიტ გამოთქმებს აღნიშნავთ მხოლოდ და მხოლოდ ორი ციფრით 1 და 0, ამიტომ თუ $A=0$, მაშინ $\bar{A}=1$, ანდა პირიქით, თუ $A=1$, მაშინ $\bar{A}=0$. ამრიგად უარყოფის ოპერაციის ცხრილს აქვს ასეთი მარტივი სახე: თუ $A=0$, მაშინ $\bar{A}=\bar{0}=1$ და თუ $A=1$, მაშინ $\bar{A}=\bar{1}=0$ უარყოფის ოპერაციის საინტერესო თვისებაა ორჯერადი უარყოფის წესი: $\bar{\bar{A}}=A$.

მაგალითად, „მისი ქცევა არ იყო არაბუნებრივი, ნიშნავს, რომ „ქცევა იყო ბუნებრივი“.

რთული გამოთქმების გამოსახვა ფორმულებით. ადვილი შესაძენეია, რომ რთული გამოთქმები დგება მარტივი გამოთქმებისაგან. მაგალითად, „დაეურეკავ იდელას და ცილას და წავალთ კინოში ან თეატრში“ აქ არის ოთხი გამოთქმა: A — „დაეურეკავ იდელას“ B — „(დაეურეკავ) ცილას“, C — „წავალთ კინოში“, D — „(წავალთ) თეატრში“. ამ შემთხვევაში A და B წინადადება ადგენს ლოგიკურ გადამრავლებას $A \cdot B$, წინადადებები C და D კი — ლოგიკურ შეკრებას $C \vee D$, ხოლო ამ ლოგიკური ოპე-

რაციების მაკავშირებელი ოპერაცია იქნება გადამრავლება („კი“ კავშირი „წავალთ“ სიტყვის წინ). მთელი წინადადება (აღვნიშნოთ ის E -თი) გამოისახება ასეთი ფორმულით:

$$E = A \quad B \quad (C + D).$$

კიდევ მაგალითი. „თეას პასუხი არც ჰოს ნიშნავდა და არც არას“ (ან: ნიშნავდა კიდევაც „ჰოს“ და კიდევაც „არას“). აღვნიშნოთ დადებითი „პასუხი ჰო“ ასოთი A , მაშინ „პასუხი არა“ იქნება გამოთქმის უარყოფის ოპერაცია \bar{A} . მოყვანილი ტიპის წინადადებებისათვის (აღვნიშნოთ x -ით) გვექნება ფორმულა $x = A \cdot \bar{A}$. თუ წინადადებებს გავართულებთ, სათანადოდ შეიცვლება საბოლოო ფორმულაც. მაგალითად, გარდავექმნათ მოტანილ x -ტიპის წინადადება, „თეას პასუხი არც ჰოს (A) ნიშნავდა და არც არას (\bar{A}), ამიტომ ლადოს ერჩია (B) ან არ დარჩენილიყო (\bar{C}) ამ სოფელში სამუშაოდ ან ადგილზევე მიწა გასკდომოდა (D)“, ასეთი წინადადება გამოისახება ფორმულით: $y = x \quad B(\bar{C} + D) = A \cdot \bar{A} \cdot B(\bar{C} + D)$, მკითხველი მიხვდება, რომ შესაძლებელია ჯერ ფორმულა დაეწეროთ, ხოლო შემდეგ კი შესაბამისი წინადადებები შევადგინოთ.

ლოგიკური ოპერაციების თვისებები. ლოგიკურ გამრავლებას ახასიათებს შემდეგი თვისებები:

ა) $A \quad B = B \quad A$; ბ) $A(B \quad C) = (A \quad B) \quad C$; ეს ორი თვისება ადვილად გასაგებია და ანალოგიურია ჩვეულებრივი გამრავლებისა. შემდეგი თვისება:

გ) $A \quad A \quad A \dots A = A$ გვიჩვენებს ერთი და იგივე მოვლენის (გამოთქმის) ერთდროულად მოქმედებას. მაგალითად, თუ A -თი აღვნიშნავთ მოქმედებას (ტელეფონზე დარეკვას) მაშინ შეიძლება შედგეს ასეთი წინადადება: „გია ტელეფონზე დიდხანს რეკავდა და რეკავდა“. თვისება

დ) $A \quad 0 = 0$ მაგალითად, „გინდა ($A=1$) თუ არა ($A=0$) სიცივე იქნება“. თვისება.

ე) $A + B = B + A$;

ვ) $A + (B + C) = (A + B) + C$ ჩვეულებრივი შეკრების თვისებების ანალოგიურია. ესენია გადანაცვლებისა და შეკრებადობის თვისებები. თვისება

ზ) $A + A + A + \dots + A = A$ განსაკუთრებულია: ჯამური გამოთქმის სამართლიანობა არ იცვლება, თუ ერთი და იგივე გამოთქმას რამდენჯერმე გამოვიყენებთ („ბევრს ვარჩიშობდა სროლაში: სამიზნეს ესროდა ხან

ერთჯერ, ხან ორჯერ ზედიზედ, ხან რამდენჯერმეც“). შემდეგი თვისებები:

თ) $A+0=A$; ი) $A+1=1$ ადვილად გასაგებია თუ გავითვალისწინებთ, რომ გამოთქმა ნამდვილია ($A=1$) ან ცრუ ($A=0$) (იხ. გამოთქმათა შეკრების ცხრილი გვ. 96).

გამოთქმათა უარყოფის ოპერაციების თვისებები ადგენენ სხვადასხვა ლოგიკურ კანონებს: $\overline{\overline{A}}=A$ ორჯერადი უარყოფის კანონი („ის არაა არაუქკუო“ ე. ი. „ის კვიანია“); $A \overline{\overline{A}}=0$ — წინააღმდეგობრივი კანონი. გამოთქმას (მოქმედებას) და არა გამოთქმას (არამოქმედებას) ერთდროულად არასდროს არა აქვს ადგილი.

კ) $A+\overline{A}=1$ მესამის გამორიცხვის კანონი (წესი). გამოთქმა (მოქმედება, მოვლენა) ან არსებობს, ან არ არსებობს, ასე რომ ჯამური გამოთქმა ქეშმარიტია. თუ $A=0$, მაშინ $A+\overline{A}=0+\overline{0}=1$, ანდა თუ $A=1$, მაშინ $\overline{1}+A=1+\overline{1}=1+0=1$.

რთულ გამოთქმათა უარყოფის ოპერაციის აღსანიშნავად გამოთქმათა ალგებრაში არსებობს ორი ფორმულა:

$$\overline{\overline{A} \cdot \overline{B}} = \overline{\overline{A}} + \overline{\overline{B}};$$

$$\overline{A+B} = \overline{A} \cdot \overline{B}$$

რომელთა სამართლიანობის ადვილი შესამოწმებელია, თუ ჩავსვამთ A -ს გარკვეულ 0 ან 1 მნიშვნელობებს.

რადგანაც გამოთქმათა ალგებრის თვისებები ჩვე ულებრივი ალგებრის თვისებებისაგან განსხვავდება, ამიტომ ფორმულების გამარტივება თავისებური იქნება. გამოვიყენოთ ორი ძირითადი გამარტივების ფორმულა, რომელსაც შთანთქმას უწოდებენ. ეთქვათ, საჭიროა რთული გამოთქმის $A+A \cdot B$ გამარტივება, ასე ვიქცევით: $A+A \cdot B=A(1+B)$. ი) თვისების გამო $1+B=1$ და მაშინ მივიღებთ პირველ ფორმულას: $A+A \cdot B=A$. მეორე ფორმულა მიიღება $A \cdot (A+B)$ გამოთქმის გამარტივებით; რისთვისაც ვიყენებთ კ) თვისებას: $A \cdot (A+B)=A \cdot A + A \cdot B=A+A \cdot B$. ამრიგად ორივე ფორმულის გამო გვაქვს $A \cdot (A+B)=A$.

მოყვანილი მარტივი ფორმულები საკმარისია იმისათვის, რომ ამოვხსნათ საკმაოდ რთული ლოგიკური ამოცანები. მაგალითად, სოციალისტური ქონების დატაცება მოხდა. გამოძიებისას სამივე ექვმიტანილმა სხვადასხვა პასუხი გასცა. ვლადიმერი (A) — მე არ ჩამიდენია, თედო-

რეს არ ჩაუდენია. თედორე (B) — ვლადიმერს არ ჩაუდენია, დავითმა ჩაიდინა. დავითი (C) — მე არ ჩამიდენია — ეს ვლადიმერმა ჩაიდინა. ზემოთ აღნიშნულის გამო გვაქვს ექვმიტანილთა განცხადებები: $\bar{A} \bar{B}$; $\bar{A} C$; $\bar{C} A$. გამოთქმების ოქმში ეწერა, რომ ერთ-ერთმა ექვმიტანილმა საპატიო მოქალაქემ ორჯერვე სიმართლე განაცხადა, მეორე ექვმიტანილმა (რეციდივისტი) ორჯერვე იცრუა, ხოლო მესამე ექვმიტანილის — დავითის ერთი განცხადება იყო სწორი, მეორე კი არა. ფაქტია, რომ სამი $\bar{A} \bar{B}$, $\bar{A} C$ და $\bar{C} A$ გამოთქმიდან ორი ცრუ გამოთქმაა. ერთი იმიტომ, რომ მათში ორი მარტივი გამოთქმა ცრუ გამოთქმაა (რეციდივისტის გამოთქმა), მეორე გამოთქმა იმიტომაცა ცრუ, რომ დავითის ერთი განცხადება სწორია, მეორე კი არა. ამიტომ ვწერთ შემდეგ წინადადებებს ფორმულების სახით:

$$\bar{A} \bar{B} = 0; \bar{A} C = 0; \bar{C} \cdot A = 1$$

დაეუშვათ, რომ დავითი საპატიო მოქალაქეა. მაგრამ შეგვეძლო გვეგულისხმა, რომ ვლადიმერი და თედორეც არიან საპატიო მოქალაქეები. მაშინ უარყოფის ოპერაციების გამოყენებით გამოთქმის ფორმულებია: $\bar{A} \bar{B} = 0$; $\bar{A} C = 0$; მესამე გამოთქმა ($A \bar{C}$) = 1 რჩება ძალაში გარდაქმნამდე და მის შემდეგ $A + B = 1$; $A + \bar{C} = 1$; $A \bar{C} = 1$.

ამ გამოთქმებზე უნდა შესრულდეს ლოგიკური ოპერაცია, რომელიც გაითვალისწინებს ცალკეული პირების გამოთქმათა დამოუკიდებლობას. ამისათვის გამოიყენება გამოთქმათა გამრავლების ოპერაცია. ამ შემთხვევაში ზემოაღნიშნული ფორმულებისა და თვისებების გამოყენებით მივიღებთ:

$$\begin{aligned} \bar{A} \cdot \bar{B} \quad \bar{A} C \quad A \bar{C} &= (\bar{A} + \bar{B})(\bar{A} + C) A \bar{C} = (A + B)(A + \bar{C}) A \bar{C} = \\ &= (A \quad A + A \bar{C} + AB + B \bar{C}) A \bar{C} = A(1 + B) + (A + B) \bar{C} A \bar{C} = \\ &= (A + A \bar{C} + B \bar{C}) A \bar{C} = A(1 + \bar{C}) + B \bar{C} A \bar{C} = \\ &= (A + B \bar{C}) A \bar{C} = A \quad A \bar{C} + AB \cdot \bar{C} \quad \bar{C} = A \bar{C} + AB \bar{C} = \\ &= A \bar{C} (1 + B) = A \bar{C} = 1 \end{aligned}$$

ამრიგად, $A \bar{C} = 1$, რაც ნიშნავს იმას, რომ ვლადიმერი მძარცველია. გამოთქმათა ალგებრის გამოყენება შეიძლება არა მარტო ლოგიკური ამოცანების ამოსახსნელად, არამედ სხვადასხვა სახის სამუშაო ინსტრუქციების (ლოგიკური ფორმულების ე. წ. მინიმიზაციის გამოყენებით)•

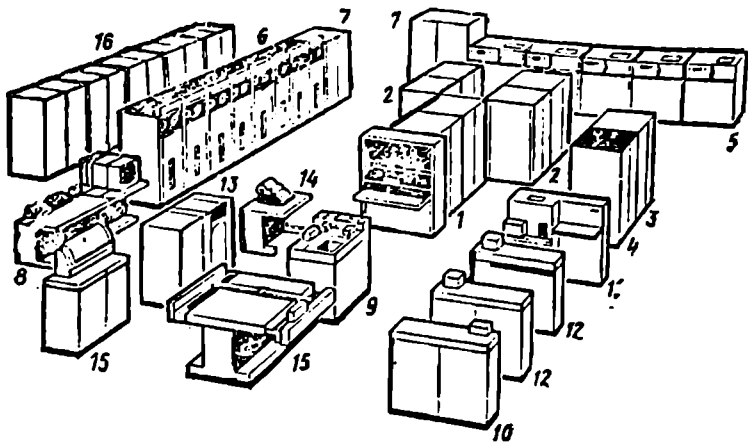
საბიბლიოთეკო კარტოთეკების (საგნობრივი, საავტორო, ვიწრო სპეციალობით) შესადგენად, იურისპრუდენციაში და ა. შ. საამისოდ აგებენ სპეციალიზირებულ ელექტრონულ ციფრულ გამომთვლელ მანქანებს, რომელთა მოქმედებაც დაფუძნებულია ალგებრის ლოგიკის წესებსა და თვისებებზე. ასეთი მანქანების ცალკეული ლოგიკური ელემენტები „ან“, „კი“, „არა“, რომლებიც ადგენენ გამოთქმათა (წინადადებათა) ლოგიკურ კავშირებს, აგებულ ნახევარგამტარულ დიოდებსა და ტრანზისტორებზე (ნახაზები 15 და 16), ასევე სხვა ტიპის ნახევარგამტარულ, მყარ ინტეგრალურ სქემებზე. მანქანებში გამოთქმათა შორის ლოგიკური კავშირისა და ურთიერთქმედების განხორციელება ხდება გარკვეული წესით (ალგორითმით). გამოთქმების ცალკეულ წევრებს (მანქანური სიტყვა) და წინადადებებს შორის ლოგიკური მოქმედებანი სრულდება მანქანურ ორბით სისტემაში მხოლოდ და მხოლოდ 0 და 1-საგან შემდგარ კოდებზე.

მანქანების აღჭურვილობა და შესაძლებლობანი

პლატონი ამბობდა, რიცხვები მართავენ ქვეყანასო. ეს სიტყვები ჩვენს დროში ჭეშმარიტად სამართლიანია, რადგანაც გამომთვლელი მანქანები შეიჭრა ადამიანის ცხოვრების თითქმის ყველა სფეროში. ბევრ მათგანზე ქვემოთ გვექნება ლაპარაკი.

მანქანები სწრაფად იძენენ ახალ და ახალ „პროფესიას“, იმის გამო, რომ მათ დღეს უყენებენ გაზრდილ მოთხოვნილებებს მათი ტექნიკური აღჭურვის საქმეში (ნახ. 18). ეს საშუალებას იძლევა მანქანასთან იმუშაოს არა ერთმა მომხმარებელმა ან ორგანიზაციამ, არამედ მთელმა კოლექტივმა, 20—45 ან მეტმა მომხმარებელმა ერთდროულად. ამასთან ერთად მანქანის მუშაობის პროგრამა ისეა შედგენილი რომ ამ კოლექტივიდან არც ერთი მომხმარებელი მუშაობაში ხელს არ უშლის ერთმანეთს, რადგანაც საამისოდ მანქანური დრო და რესურსები (მახსოვრობა, გარემოწყობილობანი, კავშირის არხები, ტელეტაიპები, ეკრანიანი პულტები და სხვ.) გონივრულადაა გადანაწილებული.

აღნიშნული იყო, რომ ნებისმიერ ეცგ მანქანას გააჩნია შივა ოპერატიული და გარე მახსოვრობანი. ოპერატიული მახსოვრობა მონაწილეობს მხოლოდ ამოცანის ამოხსნის პროცესში და, ამრიგად, რეფორმაციას ინახავს ხანმოკლე დროის განმავლობაში. გარე მახსოვრობა კი ინფორმაციის დიდი ხნის განმავლობაში (რამდენიმე დღე, თვე, წელიწადი) შესანახად და ამოცანის ამოხსნის პერიოდში გამოიყენება. ამის გამო გარე-



ნახ. 18. სოციალისტური ქვეყნების ერთიანი ელექტრონულ-გამომთვლელი მანქანების სისტემის (EC9BM) ერთ-ერთი მოდელი — 1020

1. ცენტრალური გამომთვლელი ანუ პროცესორი; 2. ძირითადი ოპერატიული მახსოვრობა; 3. მულტიპლექსური არხი, რომლის დანიშნულებას წარმოადგენს ოპერატიულ მახსოვრობასა და ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად, ნელად მოქმედ გარემოწყობილობებს შორის ინფორმაციათა გადაცემის მართვის პროცესი; 4. სელექტორული არხი, რომელიც მართავს მონაცემებს ოპერატიულ მახსოვრობასა და სწრაფმოქმედ გარემოწყობილობაში; 5. ინფორმაციის სათადარიგო მაგნიტურ-დისკოანი დამგროვებელი 6. ინფორმაციის მაგნიტურ ფირზე დამგროვებელი; 7. მართვის მოწყობილობა; 8. ეკრანიანი პულტი-დისპლეი (იხ. ნახ. 22); 9. ინფორმაციის პერფორმირებით შემტანი მოწყობილობა; 10. პერფორმირიდან შემტანი მოწყობილობა; 11. ინფორმაციის პერფორმირებით შემტანი მოწყობილობა; 12. პერფორმირზე გამოტანის მოწყობილობა; 13. საბეჭდი მოწყობილობა; 14. ქალაღზე საბეჭდი მანქანა; 15. მანქანიდან გამოტანილი ინფორმაციის საშუალებით გრაფიკების ამგები ავტომატი; 16. მანქანის კვების წყარო.

მახსოვრობისადმი მოთხოვნებიც დიდი, კერძოდ იმის თაობაზე, რომ ინფორმაცია უნდა ჩაიწეროს ზუსტად და საიმედოდ, იგი დიდი ხნით უნდა იქნას შენახული.

გარემახსოვრობისათვის იყენებენ კოდური იმპულსების მაგნიტურ ზედაპირიან ფირზე ჩაწერის ისეთსავე პრინციპს, რაც გააჩნია საყოფაცხოვრებო მაგნიტოფონს.

თუ ფირის რომელიმე ბილიკზე ჩაწერილია „1“-იანი, მაგნიტური ნაკადი მიმართულია ერთი მიმართულებით, ხოლო „0“-იანის ჩაწერის დროს ან არ მოედება ნაკადი, ან მოედებულია საწინააღმდეგო მიმართულებით. ჩაწერილი კოდები შეიძლება გამოყენებულ იქნეს რამდენიმე

ათეულაჟერ და შეტჟერაც. ისე, რომ არ წაიშალოს ფირზე ჩანაწერი. აქაც ჩვეულებრივი მაგნიტოფონის ანალოგიაა. ფირზე ინფორმაციის წაშლა კი შესაძლებელია ახალი ინფორმაციის ჩაწერის მომენტში. მანქანის მაგნიტოფონი ანუ მაგნიტურ ფირზე დამგროვებელი მოწყობილობა ერთ-ერთი ყველაზე საიმედო მოწყობილობაა და ის შეადგენს ე.ც.გ. მანქანების ერთ-ერთ ძირითად გარემოწყობილობას. უნდა აღინიშნოს, რომ ასეთი ტიპის გარემოწყობილობაში შესაძლებელია უსასრულოდ დიდი ინფორმაციის ჩაწერა.

აღამიანისა და მანქანის შესაქმნავლობათა შედარება

ელემენტების საიმედოობა

აღამიანი, მისი ნერვული სისტემა იწრთობოდა და ვითარდებოდა იდი ევოლუციური პერიოდის განმავლობაში, გარეშე პირობების შეცვლისა და არსებობისათვის ბრძოლის პერიოდში. ტვინის განსაკვიფრებელ სირთულესთან ერთად, რაც ბუნების ამ უნიკალურ ქმნილებას ახასიათებს, ძნელია მონახოს სხვა უფრო საიმედო ბიოლოგიური სისტემა. ტვინი უძლებს გარკვეულ მექანიკურ (დარტყმები, ტრავმა), ტემპერატურულ, გამოსხივებით (კოსმოსური სხივები, გარკვეული რადიაცია) ზემოქმედებას. მასზე ზემოქმედებენ გარკვეული ნაკოზით თუ ალკოჰოლით, ამით აღამიანი არ იღუპება. ამ შემთხვევაში შესაბამისად იცვლება ტვინის გამოთვლითი ფუნქცია. სისხლის ჩაქცევის თუ სხვადასხვა გარეშე ზემოქმედებით ისპობა ათასობით ნეირონი, მაგრამ ტვინი მაინც ცოცხლობს და სწორად ფუნქციონირებს. როგორც ბევრი სპეციალისტი ამტკიცებს, ნეირონი ერთადერთი უჯრედია, რომელიც არ იყოფა და, მაშასადამე, არ მრავლდება გაყოფით. მაგრამ ამის მიუხედავად, ხელსაყრელ ბუნებრივ პირობებში, ჩვენ ყოველდღე ვკარგავთ 1000-მდე ნეირონს და მაინც ათეული წლობით ვცხოვრობთ და შემოქმედებითად ვაზროვნებთ. ტვინის ეს საიმედოობა აიხსნება ტვინში ნეირონების უზარმაზარი რიცხვით (4-ჯერ მეტი ოდენობის ვიდრე დედამიწის მოსახლეობაა), ტვინის მიერ შიგა უმაღლესი ორგანიზაციის მოწყობით, ნეირონების ფუნქციების დუბლირებით (რეზერვირება) და ახალი ასეულ ათასეული ლოგიკური კავშირის წარმოქმნით. სხვა სიტყვებით რომ ვთქვათ ამ სისტემას ახასიათებს ე. წ. „ფუნქციონალური სიჭარბე“, რაც გამოიხატება იმაში, რომ თუ მწყობრიდან გამოვიდა ერთეული ელემენტები (ნეირონები) ანდა ცალკეული წრედები, ნეირონებისაგან და აქსონებისაგან შემდგარი ან სხვადასხვა სინაპსური კავშირები, მაშინ ხდება კავშირების

გადართვა, ჩაერთვებიან სარეზერვო წრედები ან ელემენტები. ტვინში ამ დროს ხდება ჭარბი სტრუქტურის პრაქტიკული რეალიზაცია. ეს იმას ნიშნავს, რომ ცალკეულ წრედებს შეუძლიათ შეასრულონ „გაუთვალისწინებელი“ სამუშაოები და ამავე დროს ეს ხელს არ უშლის მათ ნორმალურ, „გეგმიან“ მუშაობას. როგორც ბიოკიბერნეტიკოსები ფიქრობენ, ასეთი სიჭარბის რეალიზაცია შედეგია უმცირესი ბიოქიმიური რეაქციებისა. ამრიგად, სიჭარბის რეალიზაცია წარმოადგენს ნერვული სისტემის ბიოლოგიური საიმედოობის ერთ-ერთ მთავარ პრინციპს: ჩვენ ვაზროვნებთ და ვცოცხლობთ, ჩვენში უამრავი რეზერვი არსებობს, მათ შორის ისეთები, როგორცაა ტვინის ორი ნახევარსფერო, ორი ხელი, ყურები, ფილტვები, თვალები და სხვ.

თუ ბუნებაში საიმედოობა ასე „მარტივად“ გადაწყვეტილი, ამას ვერ ვიტყვით ხელოვნურ ავტომატებზე. ყველა რადიოელექტრონულ ხელსაწყოს, ეცგ მანქანების ელემენტს ახასიათებს საიმედოობის ზღვარი. დროთა ვითარებაში, ზოგჯერ კი ექსპლუატაციის პირველ საათებშიც კი, მწყობრიდან გამოდის გარკვეული დეტალები ან სქემა არ ფუნქციონირებს ე. წ. „მუშა რეჟიმში“, რასაც ბოლოს და ბოლოს მივყევართ საიმედოობის დაცემამდე. ამასთან ერთად, რაც უფრო მეტ ელემენტებს შეიცავს ესა თუ ის ავტომატი (მაგალითად, ეცგ მანქანა „ბეს-6“ შეიცავს 120 000 ცალ დიოდს და 40 000 ცალ ტრანზისტორს), საიმედოობის დაცემა მით უფრო ალბათობითია, რადგანაც ცალკეულ, უამრავ ელემენტებზე მოქმედებს გარემოს ტემპერატურათა ცვალებადობა, რადიაცია (კოსმოსური სხივები), ქსელის ძაბვათა ცვლილება, რაც სხვადასხვა შეფერხებასთან ერთად მანქანის მუშა რეჟიმიდან ამოვარდნას იწვევს.

მიიღო რა მხედველობაში ანალოგიური გარემოებანი, ჯ. ფონ ნეიმანმა პირველად განიხილა არა იდეალური ავტომატი (მანქანა), რომლის მუშაობაში შეცდომებს არა აქვს ადგილი, არამედ ავტომატი, რომლის ელემენტებსაც ორგანულად ახასიათებს შეცდომები, გაცდენა და სხვა შეფერხებანი. ფონ ნეიმანმა მოითხოვა, რომ ამ ელემენტების სინთეზის ყველა თეორიას უნდა მივყავდეთ ისეთი სისტემის აგებისაკენ, რომლებიც უფრო საიმედო იქნება, ვიდრე თვით ეს ელემენტები. სხვა სიტყვებით, ამოცანა მდგომარეობს იმაში, რომ აიგოს ისეთი ავტომატები, რომლებიც სწორედ ფუნქციონირებენ ნებისმიერი შეფერხების დროს. ამ შემთხვევაში შესაძლებელია ასეთი მანქანების (ავტომატების) მაღალი საიმედოობის პრინციპული დადგენა; ეს საიმედოობა არ იქნება დამო-

კიდებული მანქანის შემადგენელი ელემენტების (კომპონენტების) სამელოობაზე.

ტვინი, როგორც ცოცხალი სრულქმნილი საინფორმაციო სისტემა, ხარჯავს სრულიად უმნიშვნელო ენერგიას, დაახლოებით 10 ვატს. ათი წეირონი, რომლის დიამეტრი თმის სისქის ტოლია, იკავებს დაახლოებით 0,001 კუბურ მილიმეტრს. უნდა აღვნიშნოთ, რომ მარტო ნეირონების კომპაქტური განლაგება კი არ არის განმსაზღვრელი ტვინის უმაღლეს ორგანიზაციაში, ესე იგი, ნეირონების სიმჭიდროვე არ განსაზღვრავს ტვინის ლოგიკურ შესაძლებლობებს. ამაზე მიუთითებს იმ ნეირონების რიცხვი, რომლებიც განლაგებულია სხვადასხვა ცოცხალი ორგანიზმის ქერქის 0,001 კუბურ მილიმეტრში: თაგვი — 142 ნეირონი, კურდღელი — 44; ძაღლი — 24, მაიმუნი — 21, ადამიანი — 10, სპილო — 7.

ნახევარგამტარებზე აგებული ელექტრონული გამოთვლითი მანქანების ძირითადი გამოთვლისა და მახსოვრობის ელემენტი — ტ რ ი გ ე რ ი, რომელიც მოქმედების პრინციპით ნეირონს უახლოვდება, ხარჯავს 10^{-2} ვატ ენერგიას, ერთი ნეირონი კი — 10^{-8} ვატს. ტრიგერი იკავებს 10^{-2} კუბურ სანტიმეტრ მოცულობას, ნეირონი კი 10^{-8} კუბურ სანტიმეტრს. თანამედროვე ე ც გ მანქანების მახსოვრობის უჯრედი უფრო მცირეა ვიდრე 10^8 ბ ი ტ ი (ბ ი ტ ი ტექნიკური ტერმინი — ორობითი ერთეულია), ხოლო ადამიანისა კი დაახლოებით 10^{15} ბიტი. მანქანებში გამოიყენება დაახლოებით 10^8 გადართვის სქემები, ადამიანის ტვინში კი დაახლოებით 10^{12} . მიუხედავად ამისა, ე ც გ მანქანებში ინფორმაციის მიღება და გაცემა ხდება 6000-ჯერ სწრაფად, ხოლო მისი გარდაქმნა კი 1 000 000-ჯერ სწრაფად ვიდრე ადამიანში. ასეთი სხვაობები სისწრაფეებში ძირითადად განპირობებულია იმით, რომ ნეირონში სიგნალი ვრცელდება საშუალოდ წამში 150 მეტრი სიჩქარით, ნეირონის ჩართვა-გამართვის დრო კი საშუალოდ ტოლია 0,001 წამის, მაშინ როცა ელექტრონული სქემების (მაგალითად, ტრიგერი) გადართვის დრო ტოლია 0,000001 წამისა.

მახსოვრობის შესაძლებლობანი და ფუნქციონალური თვისებანი

წერეული სისტემა შეიძლება განვიხილოთ ისეთი ოპერატიული დამატ-სოვრების სისტემის სახით, რომელშიც აზროვნების პროცესში ადგილი აქვს, როგორც დინამიურ, ისე სტატიკურ მახსოვრობის უჯრედების ოპერატიულობას. სტატიკური მახსოვრობა ახასიათებთ ე ც გ მანქანების

უმრავლესობას. იმ შემთხვევაში, თუ მახსოვრობიდან „ამოიღეს“ ეს თუ ის ინფორმაცია, თუ არ იქნა სპეციალური ბრძანება, ეს ინფორმაცია შემდეგი გამოთვლებისათვის არ არსებობს, ის იმსხვრევა. დინამიკურ-სტატიკური რეჟიმის დროს კი ამას ადგილი არა აქვს. მაგალითად, საბჭოთა ე. ც. გ. მანქანა ბ. ე. ს. მ-6-ს აქვს ზესწრაფი მაგნიტური თვისების დამახსოვრების მოწყობილობა (256000 ოპერატული მახსოვრობის უჯრედი, უჯრედიდან ინფორმაციის ჩაწერისა და ამოკითხვის ციკლია 0,000002 წამი) და სპეციალური ავტომატური სქემა, რომლის საშუალებითაც მახსოვრობის მოწყობილობაში რჩება ის რიცხვები და ბრძანებები, რომლებიც გამოთვლებში ხშირად გვხვდებიან. საინტერესოა, რომ ეს მანქანა თვითონ, ავტომატურად ირჩევს მახსოვრობაში პროგრამების განლაგების მიზანშეწონილ ხერხს და ასევე ავტომატურად ანაწილებს მათ ამოცანის ამოხსნის პროცესში. ეს მომენტი ძლიერ მოგვაგონებს შემოქმედების პროცესის დროს ადამიანის ტვინში მიმდინარე პროცესებს.

ე. ც. გ. მანქანისა და თავის ტვინის მახსოვრობის უჯრედებს შორის ის განსხვავებაა, რომ უკანასკნელთ აქვთ შეერთებების გაცილებით დიდი რიცხვი და, მაშასადამე, ინფორმაციის მიღების მეტი შესაძლებლობა ვიდრე მანქანებში, სადაც თითო ელემენტზე მოდის ერთი ან ორი საინფორმაციო სიგნალი. თითო ნერვულ მახსოვრობის უჯრედზე შეიძლება ერთდროულად 100—200 და მეტი სხვა ნერვული უჯრედის ზემოქმედება ხდებოდეს. მანქანის მახსოვრობის ელემენტს აქვს დიდი უპირატესობა ადამიანის მახსოვრობის უჯრედთან შედარებით. მანქანის ერთი ელემენტიდან მეორეში სიგნალის გადაცემის დრო არის 10^{-7} — 10^{-8} წამი, ხოლო ტვინის ერთიდან მეორე უჯრედში 10^{-2} — 10^{-3} წმ. ამიტომ მანქანის სისწრაფე 100 000-ჯერ მეტია, ვიდრე ადამიანისა. მაგრამ ადამიანის ტვინის მოქმედება გაცილებით ეფექტურია ვიდრე მანქანისა იმის გამო, რომ ასრულებს ინფორმაციის პარალელურ დამუშავებას. მაშინ როცა ტვინში ერთდროულად სრულდება მილიონი ოპერაცია, მანქანაში დროის გარკვეულ მომენტში სრულდება ერთი ან რამდენიმე გამოთვლა (ან ბრძანება).

მიუხედავად ამისა, ტვინი მანქანასთან შედარებით საოცრად ნელა მუშაობს. ცდების შედეგად აღმოჩნდა, რომ ტვინში ინფორმაციის გადაცემა ხდება საშუალოდ 20 ბ. ე. ც. ი/წ. ა. მ. შ. ი. სისწრაფით, ე. ი. ოპერატორს შეუძლია მიიღოს 10-დან 30 ო. რ. ო. ბ. ი. თ. ი. („კი“ ან „არა“) გადაწყვეტილება წამში. სხვა სიტყვებით, მილიონი ვარიანტიდან არჩევს მხოლოდ ერთ ვარიანტს „კი“-ს ან „არა“-ს. განვიხილოთ მაგალითი. ცნო-

ბილია, რომ კვალიფიციური ბეჭედავი-მემანქანე ბეჭედავს 200—250 სიტყვას წუთში, რადგანაც სიტყვა საშუალოდ შედგება 4 ბიტი ინფორმაციისაგან (8 ასო), მაშინ მივიღებთ, რომ მემანქანე ითვლის 13—15 ბიტ/წმ ინფორმაციას. ამ შემთხვევაში სისწრაფე იზღუდება ტვინში ინფორმაციის გატარების დროთი, ხოლო ბეჭდვის სიჩქარე, რაც პრაქტიკულად ინფორმაციის გამოტანის (ხელის მუსკულატორის) სიჩქარის ტოლია, უფრო მცირდება.

მანქანიდან ინფორმაციის შეტანა და გამოტანა ხდება რამდენიმე ათასჯერ უფრო სწრაფად, ამასთან მანქანას აქვს უპირისპირობა ინფორმაციის შენახვაში. მას შეუძლია დამახსოვროს ინფორმაცია უდიდესი სიჩქარით 1 000 000 ბიტ/წამში! არ არსებობს ზუსტი შეფასება იმისა, თუ როგორი სისწრაფით იმახსოვრებს ტვინი ინფორმაციას. ფიქრობენ¹, რომ ეს რიცხვია 1 ბიტი/წმ თუ დავუშვებთ, რომ ადამიანი ფხიზელ მდგომარეობაში იმყოფება 16 საათი და ამ დროს ღებულობს სხვადასხვა ინფორმაციას, სიცოცხლის განმავლობაში (70 წელიწადი) დააგროვებდა 10⁹ ბიტ ინფორმაციას. ეს რიცხვი, ბუნებრივია, მაქსიმალურად თეორიულად შესაძლებელი სიდიდეა, მაგრამ მხოლოდ რამდენიმე ათეულით (20—30-ჯერ) მეტია თანამედროვე ეცგ მანქანის მახსოვრობის ტევადობაზე.

აღნიშნული იყო (იხ. გვ.74) რომ ადამიანს გააჩნია „ოპერატიული“ (ხანმოკლე) და „გარე“ (ხანგრძლივი) მახსოვრობა. ეცგ მანქანისთვის არ არსებობს პრინციპული განსხვავება ოპერატიული და გარე მახსოვრობას შორის. მართალია, ოპერატიული მეხსიერების მოცულობა მანქანებში მცირეა ვიდრე გარე მეხსიერებისა, მაგრამ მანქანა ამოცანის ამოხსნისას გაცილებით დიდი სისწრაფით (დაახლოებით 10⁻⁶ წამი) სარგებლობს ოპერატიული მახსოვრობის უჯრედებით.

ბევრი ამოცანის ამოხსნის მსვლელობისათვის, მაგალითად, ისეთი ამოცანებისათვის რაც არ არის დაკავშირებული პროცესების სინქრონულ მართვასთან, მანქანის მაგნიტურ უჯრედებიან ოპერატიულსა და მაგნიტურ დისკოებიანი გარე მახსოვრობის გამოყენების ხანგრძლივობაში ძალზე დიდი განსხვავება არ არის. ამ თვალსაზრისით, მანქანის ოპერატიული მეხსიერება პრინციპში განუსაზღვრელია.

¹. იხ. С а т е რ л е н д Н. С. — В сб. «Человеческие способности машин», под. ред. И. А. Полетаева, изд-во «Советское радио», М., 1971, გვ. 29.

ადამიანის მახსოვრობასთან შედარებით მანქანას აქვს აგრეთვე იმის უნარი, რომ თვითონვე განსაზღვროს რა ინფორმაცია დაიმახსოვროს და რა არა. ჩვენთვის ძნელია დავეიწყოთ ის ინფორმაცია რაც „ხანგრძლივში“ მახსოვრობის უჯრედში მოხვდა (ლექსი, სიუჟეტი და სხვ.). სათანადო პროგრამით მომუშავე მანქანა თვითონ გადაწყვეტს რა ინფორმაცია გააგზავნოს ხანგრძლივი მახსოვრობის უჯრედებში და რა დატოვოს ხანმოკლე ოპერატიულ მახსოვრობაში. ამ შემთხვევაში გარე მახსოვრობაში მოთავსებული ინფორმაცია ხელს არ უშლის ამოცანის ამოხსნის დროს ძირითად ოპერატიულ მახსოვრობას.

ზემოაღნიშნულთან დაკავშირებით შეიძლება დაგვებოდოს ეჭვი იმაში, რომ მანქანას გადამწყვეტი უპირატესობანი აქვს ადამიანთან შედარებით.

ადამიანის ტვინის აგებულებასა და მასში მიმდინარე მეცნიერებისათვის უცნობი საინფორმაციო პროცესების შედეგი მიგვითითებს იმაზე, რომ ადამიანს აქვს გაცილებით მეტი ამომხსნელი ბლოკები (ელემენტები) და მათ შორის კავშირები (ტრილიონი), ვიდრე მანქანას. ის გარემოება, რომ მანქანის მახსოვრობაში ინფორმაცია შედის გაცილებით სწრაფად (6000-ჯერ და მეტჯერ) ვიდრე თავის ტვინის უჯრედებში, გამოწვეულია იმით, რომ მანქანას ეძლევა წინასწარ დამუშავებული, დახარისხებული, გაფილტრული ინფორმაცია, ადამიანი კი თვითონვე ახარისხებს და ირჩევს მონაცემებს, ინფორმაციის იმ უზარმაზარი რიცხვიდან, რაც საჭიროა გარკვეული საკითხის ან ამოცანის გადასაწყვეტად. მაგალითად, ვთქვათ, ადამიანს ესაჭიროება მრავალრიცხოვანი ღიდი და პატარა, სხვადასხვა ფერისა და ფორმის ფიგურიდან შეარჩიოს სასურველი ფიგურა (ასო, რიცხვი, სიმბოლო).

მიაჩნიათ, რომ მხედველობით სისტემას — თვალს (თავისი „კონსტრუქციული“ სირთულის გამო) აქვს იერარქიული ორგანიზაცია ისეთი ტიპისა, როგორცაა სატელეფონო ქსელი.¹ ფიქრობენ, რომ თვალის ქერქის გამოსასვლელი ნეირონების პირველ ფენაში ხდება მხოლოდ მარტივი ფორმების გამოყოფა (წრფე და წრე). შემდეგ ფენაში მარტივი ფორმის ადგილებს იკავებს მათი კომბინაცია, მაგალითად, ანბანის ასოები. ასოთა ჯგუფების დამუშავება ხდება შემდეგ ფენაში, ბოლოს კი ხდება სასურველ მარცვალთა ჯგუფების ანდა სიტყვების ანალიზი. ამ ანალიზში ანდა მონაცემთა გაფილტვრაში მონაწილეობს ოპტიკური სისტემის ცენტ-

¹ იხ. Д е й ч С. — Модели нервной системы. Перевод с англ. Изд-во «Мир» М., 1970, გვ. 246—250

რთან (ცენტრალური ღარი) შემაერთებელ 34 000 „გამტარი“, ხოლო დაახლოებით 900 000 კი — „მიერთებელია“ ქსოვილის სხვა ნაწილებთან. ფიქრობენ, რომ ადამიანის თვალი აღიქვამს არაუმცირეს 10⁹ ბიტი ინფორმაციას წაშში, რომლიდანაც შემდეგი რეაქციის ეტაპზე აღქმული იქნება 10-დან 20-მდე ბიტი საჭირო ინფორმაცია წაშში. მონაცემთა ასეთ გაფილტვრას, როგორც განხილული მაგალითი გვიჩვენებს, ადამიანი თვითონ აწარმოებს, ამასთან მუდმივად იცვლება იმ ინფორმაციისადმი მოთხოვნა, რისი ამოხსნითაც ადამიანია დაკავებული. ინფორმაციის ფილტრაციის ამ რთულ პროცესებთან შედარებით ეც გ მანქანას ეძლევა წინასწარ დახარისხებული, მანქანაში შესატანად გამზადებული ინფორმაცია. მანქანასთან შედარებით ადამიანს აქვს უპირატესობა აგრეთვე ინფორმაციის დამუშავების სახეობაშიც. ადამიანის თითოეულ თვალში არის 100 მილიონი რეცეპტორი, საიდანაც მრავალი მილიონი ადამიანის ტვინის გარკვეულ უბნებთანაა დაკავშირებული. ეს უბნები მოგეზულისაა გარკვეული ტიპის ამოცანების ამოსახსნელად, რომლებიც ერთ გარკვეულ ფიზიკური ბუნების ინფორმაციასთან არიან დაკავშირებულნი. ასეთი სახის ფიზიკური ინფორმაციის დამუშავებაში უჯრედები სხვა სახის ინფორმაციას არ ამუშავებენ, ისინი სხვა მიზნებისათვის არ მუშაობენ. მანქანის მახსოვრობის უჯრედები კი იმახსოვრებენ ნებისმიერი ტიპის ინფორმაციას და არ არჩევენ თუ რა ფიზიკური ბუნებისაა ეს ინფორმაცია. ადამიანი, მანქანისაგან განსხვავებით ამუშავებს სპეციალურ ინფორმაციებს, რომელიც გაუგებარია მანქანისათვის. ეს განსხვავება ადამიანსა და მანქანას შორის არსებითი მომენტია.

ადამიანსა და მანქანას შორის „განსხვავებანი“

ერთ-ერთი ძირითადი განსხვავება ბუნებრივ და ხელოვნურ ტვინს შორის ის არის, რომ ადამიანის ტვინში არსებობს მახსოვრობის უჯრედებს შორის კავშირები, რომლებშიც ინფორმაციის უშუალო გაცვლას აქვს ადგილი. მრავალ ათას უჯრედში პროცესი შეიძლება ერთდროულად და პარალელურად მიმდინარეობდეს. მანქანის მახსოვრობის უჯრედები ერთმანეთთან დაკავშირებულნი არიან მხოლოდ არითმეტიკული მოწყობილობით. ეს განსხვავებანი წარმოადგენენ ძირითად მიზეზს იმისა, რომ ადამიანს გააჩნია სრულყოფილი ასოციაციური მახსოვრობა, ხოლო მანქანას არა. საუბედუროდ, არაა ცნობილი თუ როგორი ხასიათისაა, რო-

გორ აღიწერება ეს პროცესი. ასოციაციური მახსოვრობის პრობლემის გადაწყვეტა წარმოადგენს ერთ-ერთ ძირითად მიზანს კიბერნეტიკაში და გამოთვლით ტექნიკაში. ამოცანის გადაწყვეტა ნიშნავს ისეთი მანქანის შექმნას, რომელიც თავისი აზროვნებით შეიძლება გაუტოლდეს არამეთუ ადამიანს, არამედ შესაძლოა „ზეკაცის მოდელსაც“ (აკად. ნ. ა მ ო ს ო ვ ი). ამჟამად კი თანამედროვე მანქანები ადამიანთან შედარებით მხოლოდ „თანმიმდევრული მოქმედების“ მანქანებია, მხოლოდ ერთი ან რამდენიმე პროგრამით მუშაობის მოწყობილობებით, რომელთა მოქმედებაც მანქანის მთელი მუშაობის შემომსაზღვრელია. ადამიანში არის „ამომხსნელ მოწყობილობათა“ დიდი რაოდენობა, რომლებიც პარალელურად თავიანთი პროგრამით მუშაობენ. ამ „მოწყობილობათა პროგრამები“ კი ექვემდებარებიან თავის ტვინის ერთიანი მოქმედების პროგრამას, რაც მოცემული პრობლემების გადაწყვეტაზე მუშაობს. ადამიანის ტვინში ინფორმაციის დამუშავება ხდება სხვადასხვა უბნებში ერთდროულად და ამასთან მახსოვრობის შექანიზმი პრინციპულად განსხვავდება მანქანაში არსებულ ოპერატიული მახსოვრობის ორგანიზაციასთან ძირითადად იმის გამო, რომ თავის ტვინს ახასიათებს მახსოვრობის უჯრედების რეზერვირება, სიჭარბე, ახლოს და სხვადასხვა უბნებში მყოფ უჯრედებს შორის ურთიერთკავშირი. ინფორმაციის შენახვის ადგილი მანქანაში ნებისმიერია მახსოვრობის მოწყობილობის შიგნით, უჯრედის არჩევა არ არის დამოკიდებული ამოცანის ხასიათზე. გარკვეული „გონიერი“ ინფორმაციის ასარჩევად, სწორი პასუხის მისაღებად (გავიხსენოთ საბჭოთა მანქანის პროგრამის „კაისას“ სვლა მგნ—f4 + ამერიკულ მანქანასთან შეჯიბრებაში—იხ. გვ. 144), მანქანა აკეთებს ყველა უჯრედის ინფორმაციის ანალიზს, მათ შორის უამრავ უაზრო ამორჩევებსაც. უამრავი ინფორმაციის პარალელური დამუშავების შემთხვევაში მანქანა ასეთ უაზრო ამორჩევების მინიმალურ რიცხვს გააკეთებდა.

მანქანის აგება, რომელიც იმუშავებდა რამდენიმე ათეულ და მეტ მოწყობილობებში ინფორმაციის პარალელურ დამუშავებაზე, გაძნელებულია სინქრონიზაციის პრობლემების გამო. ინფორმაციის პარალელური დამუშავების ამოცანა მანქანური ოპერაციების შესრულების მიმდევრობის დაცვით გადაწყვეტილია ჭერჭერობით მხოლოდ რამდენიმე „ამომხსნელი“ მოწყობილობისათვის.

ე უ გ-მანქანასა და ადამიანის ტვინს შორის ერთ-ერთი განსხვავება შეცდომის დაშვების უნარშია. მართალია ადამიანი მანქანასთან შედარებით ითვლის არაზუსტად, მაგრამ ინფორმაციის დამუშავების შედეგი

არასდროს არ არის სრული უაზრობა (მაგალითად, მანძილის გაზომვა, ფერის გარჩევა და სხვ.). მანქანა, რასაკვირველია მუშაობს გაცილებით ზუსტად, მაგრამ თუნდაც მისი ერთი ძირითადი ელემენტის, ბლოკის გაფუჭება იწვევს კატასტროფულ შედეგს. მაგალითად, ცნობილია ასეთი ფაქტი: ამერიკული კოსმოსური რაკეტა გაუშვეს ვარსკვლავ ვენერას მიმართულებით; პროგრამისტებს შემთხვევით გამორჩათ ერთი დეფისი მართვის პროგრამაში. ამის გამო იძულებულნი გახდნენ 18 მილიონ 500 ათასი დოლარის ღირებულების რაკეტა აეფეთქებინათ.¹ ადამიანისათვის უცნობია ის წესი, თუ როგორ ხდება თავის ტვინში შეცდომების მინიმუმამდე დაყვანა (არააბსურდული შეცდომების მიღება). შესაძლებელია არსებობდეს უფრო მოქნილი ხერხები, ვიდრე მახსოვრობის უჭრედების, ზემოაღნიშნული ნეირონების სიჭარბეა: „შეცდომების მინიმუმამდე დაყვანის წესის“ ცოდნის, მისი ორგანიზაციის გამორკვევის შედეგი აუცილებლად გამოყენებულ იქნება მომავლის ეცგ მანქანებში.

ნიშანდობლივია, რომ არც ერთი ზემოთ მოყვანილი განსხვავებანი მანქანასა და ადამიანს შორის პრინციპულად გაღუწყვეტულ ამოცანებს არ წარმოადგენენ. ამჟამად ამ მიმართულებით დიდ სამუშაოებს აწარმოებენ როგორც საზღვარგარეთ, ასევე ჩვენს ქვეყანაში. მაგალითად, მიმდინარეობს გაძლიერებული მუშაობა ასოციაციური მახსოვრობის ეცგ მანქანის შექმნისა სსრკ მეცნიერებათა აკადემიის მართვის სისტემების ინსტიტუტში პროფ. ი. ფ რ ა ნ გ ი შ ვ ი ლ ი ს ხელმძღვანელობით. იქმნება მანქანური პროგრამები, რომლებიც მოგეზულობა არა მარტო შემოსაზღვრული ამოცანათა კლასის ამოსახსნელად (მაგალითად, ქადრაკის სათამაშო, თეორემების დამამტკიცებელი, მთარგმნელი და სხვა), არამედ ზოგადი სახის პრობლემების ამოსახსნელი პროგრამებიც. უნდა აღინიშნოს ა. ნ ი უ ე ლ ი ს, ჯ. ს. შ ო უ ს, ნ. ა. ს ა ი მ ე ნ ი ს (აშშ) პროგრამები. ჩვენს ქვეყანაში იქმნება მაღალი დონის მანქანური პროგრამები ე. წ. ოპერაციული სისტემები ზემოაღნიშნულ ეცგ ბესმ-6-თვის პროგრამები დ ო ს დ ი ს პ ა კ-ი, ო ს ი პ მ (სსრკ მეცნიერებათა აკადემიის გამოყენებითი მათემატიკის ინსტიტუტში), დ ო ს ე ს ე ვ მ (სოციალისტური ქვეყნების ერთიანი სისტემის გამომთვლელი მანქანებისათვის) და სხვ.

თუ გავითვალისწინებთ თანამედროვე ტექნიკის სწრაფ ზრდას, კვლე-

¹ იხ. Патрунов Ф. Г. — Электронные модели. Изд-во „Московский рабочий“. М., 1973, გვ. 81.

ვის ახალი მეთოდების თანმიმდევრულ წარმოებას ფიზიკაში, მათემატიკაში, ბიოლოგიაში, კიბერნეტიკაში, შეგვიძლია ვირწმუნოთ, რომ აიგება ჩვენზე უფრო გონიერი მანქანა. მართლაც, ადამიანის ინტელექტუალური შესაძლებლობანი შემოსაზღვრულია ბიოლოგიურ ფარგლებში, კერძოდ, ადამიანის ტვინში არის გარკვეული შემოსაზღვრული რიცხვი მახსოვრობის უჯრედებისა; ნეირონთა ამ რიცხვის ზრდა შეუძლებელია თავის ქალას შემოსაზღვრულობის გამო. გარდა ამ შემოსაზღვრულობისა არის რიგი ბიოლოგიური ფაქტორები. მათ შორის ერთ-ერთი ძირითადია ინფორმაციის ნელი აღქმისა (მიღება) და ვაცემის ფაქტორი და ადამიანის სიცოცხლის ხანგრძლივობის შემოსაზღვრულობა. მომავლის ე. ც. გ. მანქანას არ ექნება არც ერთი ეს „აკრძალული ზონა“: ა) ამჟამად მანქანებისათვის შემოსაზღვრული არაა ხანგრძლივი მახსოვრობის უჯრედების რაოდენობა (მახსოვრობა მაგნიტურ ფირებზე), ბ) მანქანას არ ახასიათებს სიცოცხლის ბუნებრივი ხანგრძლივობა; თანამედროვე მანქანები, განსაკუთრებით ინტეგრალური მყარი სქემების გამოყენებით იმუშავენ რამდენიმე ათეულ წელიწადს. შესაძლებელია ზოგიერთმა მათგანმა 100 წელზე მეტ ხანსაც იმუშაოს. მანქანებისათვის შესაძლებელია აღმოჩენილ იქნას ახალი ფიზიკური თვისების მქონე ოპერატიული მახსოვრობის უჯრედები და გამომთვლელი ბლოკები, ინფორმაციის შემტანი და გამომტანი უფრო სწრაფმოქმედი და მოქნილი საშუალებანი, რომლებიც ადამიანისათვის დამახასიათებელი ბიოლოგიური შემოსაზღვრულობის ზღვარს წაშლიან. დღეისათვის კი მანქანა გაცილებით უფრო სწრაფად „სწავლობს“ ვიდრე ადამიანი. მაგალითად, თუ მივიღებთ, რომ სიცოცხლის განმავლობაში ადამიანი იმახსოვრებს 1000 მილიონ (იხ. ცხრილი 5) ბიტ ინფორმაციას, თანამედროვე ე. ც. გ. მანქანა, მაგალითად, თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამოყენებითი მათემატიკის ინსტიტუტის ე. გ. მ. ბესმ-ნ იგივე რაოდენობის ინფორმაციას დაიმახსოვრებს მხოლოდ და მხოლოდ 17 წუთში. ე. ი. იმისათვის, რომ მანქანამ მიიღოს პიროვნების მიერ მთელი მისი სიცოცხლის განმავლობაში დაგროვებული ცოდნა, დღეს საკმარისია მხოლოდ 17 წუთი. ამასთან ერთად იგივე დროში მანქანის ერთი მახსოვრობიდან მეორეში შეიძლება გადაეცეს იგივე რაოდენობის ინფორმაცია. ეს ნიშნავს, რომ მანქანას შეუძლია სხვა მისი მსგავსი მანქანისაგან უფრო სწრაფად ისწავლოს, ვიდრე ადამიანი სწავლობდა თავისი წინამორბედებისაგან.

	მახასიათებლები	აღამანის ტყინი	ეცა მანქანა
1	მახსოვრობის უჭრედის (კენჭი—ნიკონი—ტრიგერი—მანქანაში) მოცულობა, სმ ³ .	$10^{-2} \div 10^{-4}$	$10^{-2} \div 10^{-1}$
2	მახსოვრობის უჭრედის შიორ დხარჯელენერჯია, ვატი	10^{-2}	$10^{-2} - 10^{-3}$
3	მახსოვრობის უჭრედის ჩართ. გამორთვლის დრო (ნიკონ ტრიგერი), წამი	$10^{-2} - 10^{-3}$	$10^{-2} - 10^{-3}$
4	მახსოვრობის უჭრედის სიგაღის აქლტულა, ეოლტი	$5 \cdot 10^{-2} - 15 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2} - 1.5$
5	საინფორმაციო სისტემა იერ დახარჯელენერჯია, ვატი	10	1000—10.000
6	საინფორმაციო სისტემის გადართვის სქებათა რაოდენობა	10^{12}	10 ²
7	ინფორმაციის გადაცემის სისწრაფე, ბიტი/წამი	10—30	6000
8	მახსოვრობაში ინფორმაციის შეტანის სისწრაფე, ბიტი/წამი	1-ზე ნაკლები	10 ⁶ -ზე მეტი
9	საინფორმაციო მახსოვრობის ტევადობა, ბიტი	10^9 სიკოცხლის განმელობაში	10 ⁸ -ზე ნაკლები
10	საინფორმაციო ტევადობა ოპერატიულ მახსოვრობაში (მანქანაში მაგნიტური გულანა), ბიტი	$3 \cdot 10^5$	10 ⁶
11	უჭრედების (ელემენტების) ურთიერთკავშირი	ძალზე დიდი	მცირე
12	ინფორმაციის გამოტანის დრო, წამი (მანქანაში ფერომაგნიტური მასალების პირტერეზისული პროცესი)	$10^{-2} - 10^{-1}$	$10^{-2} - 10^{-2}$
13	ინფორმაციის გამოტანის სიმძლავრე (10 ⁸ რეკეპტორი, კუნთი, ჯირკვლი—ადამიანში; საბეჭდი მოწყობილობები, პერფორატორები — მანქანაში), ბიტი/წამი	შეგნებული მაქსიმუმი — 10^2 ; შეუგნებელი — 10^8	$10^2 - 10^6$
14	ინფორმაციის დამუშავების სახე	პარალელური	მიმდევრობითი
15	იმპულსის გავრცელების სიჩქარე სისტემაში, მეტრი/წამი	150-მსხვილი და 1-ზე ნაკლები — წერილი აქსონებში.	$3 \cdot 10^8$
16	ინფორმაციის ფილტრაცია	მაღალეფექტური	მხოლოდ წინასწარ გაფილტრული

	მახასიათებლები	ადამიანის ტონი	ეცვ მანქანა
17	უჯრედების (ელემენტების) გაფუჭების შედეგი	უზრო ინფორმაციის ვაცემა იშვიათია	გაიცემა უზრო ინფორმაცია
18	ამოსახსნელ პრობლემათა სახეები	ფართო	შედარებით ვიწრო

მანქანების სახუალეებით აზროვნებითი პროცესების მოდელირების ამოცანა

ადამიანის ლოგიკური აზროვნებითი პროცესის ელექტრონულ ციფრულ მანქანაზე მოდელირების პრაქტიკულ საკითხებში სხვა ცნობილ მეცნიერებთან ერთად (მ. მინსკი, პ. ვანი, რ. ზარიპოვი და სხვ.) დიდი წვლილი მიუძღვით ა. ნიუგელს, ჯ. შოუს და გ. საიმონს (აშშ). მათ ეცვ მანქანისათვის შეადგინეს ე. წ. ევრისტიკული პროგრამები.

სიტყვა „ევრისტიკას“ ანტიკურ ფილოსოფიაში უწოდებდნენ „კეშმარტების ძიების ხელოვნებას“. ეს არის ლოგიკური ხერხები და მეთოდური, პრაქტიკული წესები თეორიული კვლევებისათვის.

არსებობს სამი ტიპის — ჩასმა, გამოყოფა და წრედების შექმნა — ევრისტიკული მეთოდი. მათ თავიანთ პროგრამას უწოდეს („ლოჯიკითორი მეშინ“) — თეორიულ-ლოგიკური მანქანა. ამ აპარატის შესამოწმებლად მათ შეარჩიეს 52 თეორემა, რომელიც შედიოდა ბ. რასელისა და ა. უაიტჰედის ცნობილ წიგნში „მათემატიკის საფუძვლები“.

მანქანის მახსოვრობის მოწყობილობაში შეიტანეს 5 აქსიომა და

ცხრილი შედგენილია შემდეგი მასალების საფუძველზე:

1. იხ. С а т е р л е н д Н. С. — Человеческоподобные машины“, сб. «Человеческие способности машин», Перевод с англ. под ред. И. А. Полятева. Изд-во «Советское радио» М., 1971 გვ. 29—35.

2 იხ. Steinbuch Karl. Menschen oder Automaten im weltraum? — „Naturwissenschaft Rundschau“, 16, № 9, 1963 გვ. 341—349,

3 А ш м а р и и И. П. — Загадки и откровения биохимии памяти. Под ред. Е. М. Крепса. Изд-во Ленинградского университета, 1975. გვ. 158. -Зарубежная радиоэлектроника №5, 1975, გვ. 57.

გამოყვანის 3 წესი, რაც საკმარისი იყო წიგნის მეორე თავის ყველა 52 თეორემის დასამტკიცებლად. მოცემული პროგრამის საშუალებით მანქანა დამახსოვრების მოწყობილობაში ანხორციელებდა სიმბოლოების გარდაქმნასა და იმ გზების ძებნას, რომლის საშუალებითაც მას შეეძლო ყველა თეორემის დამტკიცება (მანქანას თეორემები ეძლეოდა იმ მიმდევრობით, როგორც ხსენებულ წიგნშია). პროგრამა კი ისე იყო შედგენილი, რომ მისი მანქანური დამტკიცების შედეგ ესა თუ ის თეორემა (და მისი დამტკიცების გზები) მანქანის მახსოვრობის მოწყობილობაში რჩებოდა იმ მიზნით, რომ მას მანქანა გამოიყენებდა ახალი, მისთვის უცნობი თეორემების დამტკიცებისათვის. მაგალათისათვის, მანქანამ მოცემული 52 თეორემიდან პირველი თეორემა: $(P \supset \bar{P}) \supset \bar{P}$ რაიმე P გამოთქმის უარყოფა წარმოადგენს ლოგიკურ შედეგს იმ მტკიცებისა, რომ \bar{P} წარმოადგენს P -ს ლოგიკურ შედეგს (მკითხველი მიხედება, რომ ამ თეორემის დამტკიცება ეკვივალენტურია, შესაბამისი ლოგიკური ფორმულის სიმართლის ჩვენებისა). მანქანამ ამ ლოგიკური თეორემის დამტკიცება მონახა 4 ეტაპად და დაბეჭდა სულ 10 წამში! სხვათა შორის, ერთ-ერთი 45-ე თეორემის დამტკიცება, რაც მანქანაზე განხორციელდა, ძალზე „დიდი“ დროს — 12 წუთის განმავლობაში, სხვა მეთოდებით, არა ევრისტიკული მეთოდების გამოყენებით (ე. ი. მართო მკაცრი ლოგიკური მეთოდების საშუალებით), იმავე, მანქანაზე პროგრამისტების ჩვენებით მოითხოვდა რამდენიმე ათას წელიწადს!

გავარკვიოთ, თუ რაში მდგომარეობს ევრისტიკული მეთოდების შინაარსი და როგორია მათი გამოყენების ტექნიკა ეც გ მანქანებში. ჩასმის ტიპის ევრისტიკული მეთოდი კულისხმობს ისეთი მიმდევრობების (ცდების) ჩატარებას, რომლითაც შეიძლება მოინახოს აქსიომა ან უკვე დამტკიცებული თეორემა. ამ შემთხვევაში ეს აქსიომა ან თეორემა შეიძლება გარდაიქმნას სასურველი a , b , c და a . შ. ჩასმებით ანდა ერთი ლოგიკური ოპერაციის მეორით შეცვლით (მაგალითად, ზემოგანხილული „შ ე ფ ე რ ი ს შტრიხი“ და „პ ი რ ს ი ს ისარი“). მანქანა ასეთ ცდებს აკეთებს მანამ, სანამ თვითონვე არ შეადგენს იმ ფორმულის ზუსტ კონსტრუქციას, რაც დასამტკიცებელი თეორემის (ფორმულის) ზუსტ თანხვედრას წარმოადგენს. ამრიგად, ასეთი ვასინჯვის გზით ხდება თეორემის დამტკიცების მონახვა. მეორე მეთოდი — გამოყოფა გულისხმობს ახალი, უფრო მარტივი თეორემის დამტკიცებას. თუ იგივე ახალი თეორემა მანქანაზე დამტკიცდა სხვა გზით, ეს უკვე ნიშნავს, რომ მოცემული თეორემაც დამტკიცდა. მესამე მეთოდი — წრედების შექმნა დაფუძნე-

ბულია გამოყოფის მეთოდის რამდენიმე ეტაპად გამოყენებაზე. მაგალითად, $P \supset R$ R გამომდინარეობს P -დან და სხვ. დამტკიცებისათვის მანქანა იყენებს უკვე დამტკიცებულ თეორემას $P \supset Q$ და ამტკიცებს ახალ ქვეამოცანას: $Q \supset R$. ამ უკანასკნელის დამტკიცება კი ზემოგანხილული გადასვლის წესით ტოლფასია საპოვნნი $P \supset R$ მტკიცებისა.

არსებობს თეორემების მანქანური დამტკიცების სხვა მეთოდი, როცა დასამტკიცებელ ელემენტებზე ახდენენ ისეთსავე მოქმედებებს, როგორც ჩვეულებრივი გამოთვლების დროს რიცხვზე. პ ა ო ვ ა ნ ი ს ა და პ ი ლ მ ო რ ი ს ამ მეთოდით ე ც გ მანქანამ ი ბ მ-704 (აშშ) დაახლოებით 3 წუთში დაამტკიცა 220 თეორემა, რაც აღნიშნული „მათემატიკის საფუძვლების“ პირველ 5 თავს შეადგენდა, ხოლო მოდერნიზაციის შემდეგ დაახლოებით 8,5 წუთში ყველა 350 თეორემა. პ. ვ ა ნ ი ს ექსპერიმენტებმა გვიჩვენეს, რომ შესაძლოა არა მარტო იმ თეორემების დამტკიცება, რასაც საერთოდ ადგენს მათემატიკური ლოგიკის ფუნდამენტური კურსი, არამედ ახალი შედეგების მიღებაც — მიღებულ იქნა 10-ზე მეტი აქამდე უცნობი თეორემა. ასეთი შედეგი სამეცნიერო მუშაობის სფეროში შეიძლება განვიხილოთ როგორც შემოქმედებითი. ა. ნ ი უ ვ ე ლ ი ს, ჯ. შ ო უ ს ა და გ. ს ა ი მ ო ნ ი ს ლოგიკურ-თეორიული პროგრამით (პირველი პროგრამა) მანქანას არ შეეძლო თავისი გამოცდილების განზოგადება და ამრიგად მანქანა არ უახლოვდებოდა ადამიანის გონივრულ მოქმედებას, მაგრამ ა. ნ ი უ ვ ე ლ ი ს ა და გ. ს ა ი მ ო ნ ი ს მიერ შედგენილ ახალ ანალოგიურ პროგრამაში (მეორე პროგრამა) „ამოცანის ამოხსნის ზოგადი პროგრამა“ — ადამიანისა და მანქანის ერთი და იმავე თეორემის დამტკიცების მიმდინარეობის შედარებისას აღმოჩნდა აზროვნების მიმდინარეობის საკვირველი თანხვედნა. მართალია, ამოცანის სირთულესთან ერთად ადამიანის თავისუფალი მოქმედების გამო ასეთ თანხვედენას არა აქვს ადგილი, მაგრამ როგორც ა. ნ ი უ ვ ე ლ ი და გ. ს ა ი მ ო ნ ი ამტკიცებენ, მეორე პროგრამის მეთოდი იძლევა იმ ფაქტის რეალურ ილუსტრაციას, რომ შეგნებული ადამიანის თავისუფალი მოქმედება არის რთული და დეტერმინირებული კანონების მოქმედების შედეგი, ხოლო ასეთი კანონების რიცხვი სასრულოა. მათი მტკიცებიდან გამოდის, რომ ყოველთვის შესაძლებელია ამ კანონების შესაბამისი ახალი, რთული პროგრამების შედგენა, აზროვნების ხელოვნური პროგრამული მოდელის შექმნა.

შემოქმედებითი პროცესების მოდელირების საკითხში გვერდს ვერ

აქველით ცნობილი ავსტრიელი ლოგიკოსის კუ რ ტ გ ი ო დ ე ლ ი ს (1931) თეორემას, რომელიც შემდეგში მდგომარეობს: ყველა საკმარისი ლოგიკური სისტემისათვის, რომლებიც შეიცავენ არითმეტიკული მოქმედების მსგავს რამეს, შეიძლება ისეთი მტკიცების ფორმულირება, რასი დამტკიცება ან უარყოფა ამ სისტემაში შეუძლებელია. მაგრამ შესაძლებელია ისეთი განზოგადებული სისტემის წარმოქმნა, რომელიც შეიცავს წინანდელ სისტემას და აქ დასმულ კითხვას ექნება სავსებით გარკვეული პასუხი. ამ ახალ სისტემაში ისე წარმოიქმნებიან ასალი კითხვები (საკითხები), რომელზედაც თავის მხრივ შეუძლებელია პასუხის გაცემა — ახალი სისტემა უნდა გაფართოვდეს იმისათვის, რომ ამ კითხვებს პასუხი გაეცეს და ა. შ. შესაძლოა, რომ კ. გ ი ო დ ე ლ ი ს ეს თეორემა წარმოადგენს ადამიანში აზროვნებით პროცესების მიმდინარეობისას განზოგადებებისადმი უნარის არსებობის მტკიცებას.

ამჟამად კვლევის კიბერნეტიკული მეთოდები მტკიცედ იჭრებიან ისეთ მოსაზღვრე დარგებში, როგორცაა ბიოფიზიკა, ნეიროდინამიკა, ბიოქიმია, ქიმოტრონიკა და სხვ., რომ არაფერი ვთქვათ ისეთ აქტუალურ დარგებზე, როგორცაა საინჟინრო ფსიქოლოგია, სოციოლოგია, და განსაკუთრებით ხელოვნების დარგები (მხატვრობა, ლიტერატურა, მუსიკა, ესთეტიკა), სადაც უკანასკნელი წლების განმავლობაში ადგილი აქვს შემოქმედებითი პროცესის იმიტაციისა და ანალიზის შეუპოვარ ცდებს.²

ყველა ეს მოქმედება მიმართულია მომავალში ადამიანის ურთულესი გამოთვლითი და ზოგ შემთხვევაში კი უპირველესი მნიშვნელობის შემოქმედებითი პროცესებისაგან გათავისუფლებისათვის. მაგალითად, მათემატიკური თეორემების დამტკიცება, მუსიკალური ნაწარმოებების მათემატიკური ანალიზი, ერთიდან მეორე ენაზე თარგმნა და სხვ.

ხელოვნური ინტელექტის ნექმნის აქტუალური პრობლემის გადაწყვეტა ზემოაღნიშნული ფართო ფრონტიც იმიტომ მიზდინარეობს, რომ ამჟამად მსოფლიო მოსახლეობის ზრდა საშუალოდ ხდება 3—4-ჯერ უფრო ნელა, ვიდრე მეცნიერი მუშაკებისა საბჭოთა კავშირში. მაგალითად, მეცნიერ მუშაკთა გაორკეცება ხდებოდა ბოლო წლებში ასეთი მიმდევრობით: 1949—1959 წწ. და 1959—1964 წწ. ფიზიკა-მათემატიკურ

¹ იხ. Х а о, В а н. — На пути к механической математике. Кибернетический сборник. 5, 1962, гв. 114—168.

² იხ. М о л ь А., Ф у к с В, К а с с л е р М. — Искусство и ЭВМ. Изд-во «Мир», М.; 1975, гв. 15—273, 445—489.

და ტექნიკურ მეცნიერებებში გაორკეცება მოხდა 4 წელიწადში, ეკონომიურ მეცნიერებებში — 5 წელიწადში, ისტორიულ-ფილოსოფიურ მეცნიერებებში — 10 წელიწადში.¹ ეს ფაქტები მიუთითებს იმაზე, რომ თუ თაობათა ცვლა ხდება საშუალოდ 40—45 წელიწადში, მომავალი კაცობრიობა მარტო მეცნიერი მუშაკებისაგან უნდა შედგებოდეს. გამოსავალი კი ალბათ ასეთი არსებობს: ის მეორეხარისხოვანი პროცესები, რაც დაკავშირებულია რაიმე მთლიანი პრობლემის გადაწყვეტასთან (მაგალითად, გამოთვლითი პროცესები, ამოცანის გარკვეული ქვეპროგრამების რიცხვითი, სიმბოლური და სხვ. სახით დაყვანა), უნდა დაევალოს ხელოვნურ ინტელექტს, მომავლის ელექტრონულ-ციფრულ გამომთვლელ მანქანებს, რომელთაც ექნებათ გარეშე გაუთვალისწინებელი პირობების შეცვლისადმი ავტომატური თვითორგანიზაციის (ავტომატურად ამწყობი სისტემა) უნარი. ეს მანქანები ტექნიკურად ისე იქნებიან აღჭურვილი, რომ ადამიანს გაუადვილდეს მათთან უშუალო (ხელნაწერის ან ხმოვანი სახით) ან შესაძლოა, ელექტრული კონტაქტი. ასეთ სისტემაში შემოქმედი ადამიანის ძირითადი როლი იქნება პრობლემის მსოლოდ ზოგადი მართვა. ეს საკითხი ჭერჭერობით ისეთ დონეზეა, როგორც მაგალითად, სამამულო ომის დროს ცნობილი რეაქტიული იარაღი ე. წ. „კატიუშა“ მისი შთამომავლის, თანამედროვე საკონტინენტაშორისო ბალისტიკურ რაკეტასთან შედარებით.

„ბონიერი“ მანქანები

აქ განვიხილავთ ისეთ ეცგ მანქანებს, რომლებიც ადამიანებს უმსუბუქებენ გარკვეულ შეგნებულ შრომატევად სამუშაოს და ხშირ შემთხვევაში კი ეხმარებიან შემოქმედებით საქმიანობაში, ასევე მანქანებს, რომლებსაც გონივრული თამაშების მოდელირებისათვის გარკვეული მნიშვნელობა აქვთ (მაგალითად, ქადრაკის და შაშის თამაში), აგრეთვე სხვა სახის ეცგ მანქანებს (მაგალითად, მთარგმნელი, მუსიკალური ნაწარმოების შემქმნელი).

კიბერნეტიკული გამომთვლელი მანქანა, რომელიც მუშაობს ერთიდან მეორე ენაზე თარგმნაზე, ჯერჯერობით ისეთ დონეზეა, რომ არ შეუძლია ზედმიწევნით გაერკვეს ავტორის სტილში, მისი ენის თავისებურებაში, მოვლენის ან ეპიზოდის აღწერის ოსტატობაში. ამიტომ იმ შემთხვევაში, როდესაც მანქანას არ მოეთხოვება „მხატვრული აზროვნების დონე“, როდესაც ძირითადად არა „პოეტური სული“, არამედ თარგმნის პრაქტიკული შედეგი, მაშინ თარგმნისათვის გამოთვლითი მანქანის გამოყენებას უდაოდ დიდი სახალხო-მეურნეობრივი მნიშვნელობა აქვს. მართლაც, თანამედროვე მთარგმნელი მანქანები ძირითადად დაკავებულნი არიან მარტო ტექნიკური ლიტერატურის (მაგალითად, სტატია) და საგაზეთო მასალის თარგმნით (ი ბ მ ტიპის ერთ-ერთი ეცგ მანქანა ნიუ-იორკში მუშაობს მარტო გაზეთ „პრავდის“ ინგლისურ ენაზე თარგმნაზე: მის მახსოვრობის მოწყობილობაშია 500 000 სიტყვა. ეს აუცილებლობა ცხოვრებითაა ნაკარნახევი. თანამედროვე ტექნიკურ დარგებში (მათემატიკა, ფიზიკა, კიბერნეტიკა, ელექტრონიკა, საინჟინრო ტექნიკა, გამოთვლითი ტექნიკა) სულ რამდენიმე დღეშიც კი კვლევის იმდენად მოზღვავებული მასალა გროვდება, რომ მარტო ერთ გარკვეულ საკითხზე მშობლიურ ენაზე მასალების შეგროვება მოითხოვს რამდენიმე მთარგმნელის სადღელამისო მუშაობას, ხოლო რაიმე პრობლემის გადა-

წყვეტისას კი. სხვადასხვა სპეციალობის მთარგმნელთა დიდი ჯგუფის (20—30 კაცი) მუშაობას. ამას უნდა დაემატოს ისიც, რომ ადამიანის მიერ ნაწარმოების თარგმნა საშუალოდ 200—300-ჯერ ნელა მიმდინარეობს, ვიდრე ამას მანქანა აკეთებს (აქვე იგულისხმება ის დროც, რაც საჭიროა სამბოლოების, ფორმულების ჩასაწერად, საბოლოო სახის თარგმანის დასადგენად, რასაც მანქანა ავტომატურად აწარმოებს). განვიხილოთ თუ როგორ მუშაობს მთარგმნელი მანქანა.

მანქანა-მთარგმნელის „წამკითხველ მოწყობილობას“ წარმოადგენს საბეჭდი კლავიშები, რომლებზეც გამოკვეთილია სათარგმნი ენის (მაგალითად, ინგლისურიდან რუსულ ენაზე თარგმნის დროს ინგლისური შრიფტები) და სხვა დამხმარე შრიფტებიც (არაბული, რომაული რიცხვები, ლათინური ანბანი და ა. შ.). კლავიშები მანქანაში თვლის, შედარების და სხვა მოწყობილობებთან ელექტრულადაა დაკავშირებული. როგორც ვიცით, შრიფტების გარკვეული ერთობლიობა ადგენს სიტყვის ნაწილებს, სიტყვებს ან ფრაზებს. ეს უკანასკნელი მანქანაში გარდაიქმნება ელექტრულ იმპულსად ან „ელექტრულ ენად“. მანქანა მხოლოდ ამ „ენაზე“ ახდენს რეაგირებას. ასეთი მანქანის მახსოვრობის მოწყობილობაში მოთავსებულია „ელექტრული ლექსიკონი“. ამ „ლექსიკონის“ ტევადობაა 100 ათასამდე ინგლისური სიტყვა, სიტყვის ნაწილები, (პრეფიქსები, ფუძეები, სუფიქსები), ფრაზები და მათი შესაბამისი რუსული ეკვივალენტები. მანქანა მოკმედებს მონახვისა და შედარების პრინციპით. ვთქვათ ოპერატორი (ტექნიკოსი) სათარგმნი მასალის ცალკეულ სიტყვებს (ან სიტყვის ნაწილებს), ფორმულებს და ა. შ. აკრეფს კლავიშებზე ან მოწყობილობაზე. ეს სიტყვები ელექტრული სიგნალების სახით გავრცელდება მანქანის მახსოვრობის მოწყობილობამდე. აქ ხდება სათარგმნი ინგლისური სიტყვებისა და ფრაზების შედარება რუსულ სიტყვებთან და ფრაზებთან. მანქანა აღმოაჩენს სიტყვათა და ფრაზათა თანხვედომას, აკეთებს წინადადების სრულ ანალიზს გრამატიკული წესების დაცვით, დაბოლოს, ინფორმაციის გამომტან კლავიშებიან მოწყობილობაზე ბეჭდავს რუსულ ტექსტს. ამგვარად, სათარგმნი მასალის რაოდენობა დამოკიდებულია ოპერატორზე: მანქანას შეუძლია თარგმნოს იმდენი, რამდენიც ოპერატორს სურს. მანქანური საცდელი თარგმანი სრულდება მსოფლიოს თითქმის ყველა სახელმწიფოში, სადაც მძლავრი სამეცნიერო-ტექნიკური კვლევის ბაზაა (აშშ, სსრკ, იაპონია, ინგლისი). სსრკ-ში პირველად მანქანური თარგმნა ინგლისურიდან რუსულ ენაზე განხორციელდა 1955 წელს მანქანა ბესმ-ზე სსრკ მეცნიერებათა აკადემიის ზუსტი მექა-

ნიკისა და გამოივლითი ტექნიკის ინსტიტუტში. უნდა აღვნიშნოთ, რომ მანქანა, რომელიც დღეს სპეციალური პროგრამით თარგმნის ინგლისურიდან რუსულზე, ხვალ შეიძლება სხვა პროგრამით თარგმნიდეს პირიქით, რუსულიდან ინგლისურ ენაზე: უფრო მეტიც, თუ მათემატიკისეზისა და ფილოლოგიების მიერ შედგენილი პროგრამა საშუალებას იძლევა, ვიქვათ გერმანულიდან ფრანგულ ენაზე თარგმნისა, მაშინ იმავე „რუსულ“ მანქანაზე ინგლისურიდან რუსულად თარგმნიდან დაახლოებით ნახევარი საათის ხანგრძლივობის მოსამზადებელი პერიოდის შემდეგ მანქანას თავისუფლად შეუძლია ვერმანულიდან ფრანგულ ენაზე თარგმნა.

განხილული მანქანური თარგმნის პროცესი ერთი შეხედვით ძალიან მარტივია. საქმე იმაშია, რომ მანქანა სწორ ორიენტაციას ავლენს ადამიანის ენების უსასრულო სხვადასხვაობაში. ამავე დროს იგი იცავს ორივე ენის ფონეტიკურ, მორფოლოგიურ წესებსა და სინტაქსურ წყობას. მანქანა სანამ საბოლოო ვარიანტს დაბეჭდვადებს, აკეთებს ნათარგმნი ტექსტის ანალიზს, თუ რამდენად სწორადაა დასმული დრო, ბრუნვა და რიცხვი სათარგმნი ტექსტის მიხედვით. ამიტომ „ნათარგმნი, რომელსაც მანქანა ასრულებს, საკმაოდ შეგნებული პროცესის შედეგია. ეს პროცესი ადამიანის შემოქმედებითი პროცესის ანალოგიურია. მართლაც, ადამიანი სანამ თარგმნას ისწავლიდეს სხვა ადამიანისაგან ან ადამიანთა ჯგუფისაგან, ისწავლობს ორივე ენას და მათ გრამატიკას. ეს განაწყოებს თავის ტვინის მახსოვრობის უჯრედებში (ნეირონებში) ამა თუ იმ სიტყვებს, სიტყვის ნაწილებს, ფრაზებს ნეირონთა შორის გარკვეული სინაპსური კავშირის დამყარებით. როგორც ადამიანი, ასევე მანქანაც, სანამ თარგმნას შეძლებდეს ადამიანისაგან ძალზე სწრაფად (ადამიანთან შედარებით 100000-ჯერ და უფრო სწრაფად!) „ისწავლობს“ ორივე ენას, მათ ეკვივალენტებს.

მანქანური თარგმნის პროცესი ადამიანის შემოქმედებითი პროცესის დონეს უახლოვდება, მაგრამ ჭერჭერობით მანქანას არ შეუძლია მხატვრული ლიტერატურის თარგმნა, ავტორის ჩანაფიქრის გაგება.

მანქანა-კომპოზიტორი

თუ რამდენად დიდია მანქანური შემოქმედების როლი ადამიანის სამსახურში, ამას ნათლად გვიჩვენებს მანქანა-კომპოზიტორის მაგალითი. ამ ქვემოთ განხილულ მაგალითზე ჩანს „ადამიანი-მანქანა“ წყვი-

ლის მუშაობის ავტონომიურობა, რაც უზრუნველყოფს სიმბიოზს. შე-
მოქმედებით: პროცესის დროს გამოთვლითი მანქანისა და ადამიანის
უშუალო ურთიერთმოქმედებას.

პ ი ლ ე რ მ ა და ი ს ა კ ს ო ნ მ ა პირველად, 1956 წ. ილინოისის
უნივერსიტეტში (აშშ), შეადგინეს მათემატიკური პროგრამა, რომლითაც
მანქანას შეეძლო შეექმნა მუსიკალური ნაწარმოები. მათ საფუძვლად
აიღეს ორი დო-მაჟორული გამის ოქტავეები (სულ 14 ნოტი) და მათ შეე-
საბამეს მთელი რიცხვები 0-დან 14-მდე. ამ რიცხვს მათ დაუმატეს კიდევ
ერთი, მე-15, რომელიც შეესაბამებოდა რომელიმე დიეზს ან ბემოლს
აღნიშნული ოქტავეებიდან. მანქანა ი ბ მ-701 ირჩევდა საწყის რიცხვებს
და იწყებდა თვლას. რიცხვების თვლა ეს იგივეა, რაც სანოტო კომბინა-
ციების შერჩევა. ეს შერჩევა ექვემდებარება კომპოზიციის წესებს —
ხდება მელოდიური ხაზის ძებნა. როცა მიაგნებს და დაამტკიცებს, რომ
ეს უკვე დასრულებული პერიოდია, მანქანა ქაღალდზე ბეჭდავს რიცხვს
(ნოტს). თუ მანქანამ 50 ცდის შემდეგ ვერ მიაკვლია მელოდიურ ხაზს,
მაშინ წყვეტს ცდას, ირჩევს სხვა საწყის რიცხვს (ნოტს) და ძიება იწყება
თავიდან. ამრიგად, ერთი საათის განმავლობაში მანქანა „ილიაკ I“
შეეძლო შეექმნა 100 მელოდია, თითოეული მელოდია 3-დან 14-მდე
ნოტს შეიცავდა. შემდეგ სცადეს უფრო რთული პროგრამა. მანქანამ
„დაწერა“ ერთდროულად 4 ჰარმონიული მელოდია. იმ შექმნევაში,
როცა ორხმიანიდან 4-ხმიანი მელოდიაზე გადადიოდა, მანქანას სულ უფ-
რო და უფრო უხდებოდა თავისი ნამუშევრის „დამსხვრევა“. მაგრამ საბო-
ლოოდ შექმნა რამდენიმე ნაწარმოები, რომელთა შორის აღსანიშნავია
„ი ლ ი ა კ ი ს ს უ ი ტ ა“ სიმებიანი კვარტეტისათვის. შემდგომში,
პ ი ლ ე რ მ ა და ბ ე ი კ ე რ მ ა უფრო გააღრმავეს და გააფართოვეს მან-
ქანური პროგრამა მუსიკის შესაქმნელად. მასში შედიოდა ყველა 8: ნოტი
აქრომატული გამისა (სინკოპირების 4 სხვადასხვა წესის ჩათვლათ).

მუსიკის შექმნის დროს მანქანის მუშაობაში ყურადღებას იქცევს
შემდეგი გარემოება: პირველ ყოვლისა, მანქანა აკეთებს მუსიკალური
შედევრების ანალიზს. ეს კი საინტერესოა ნაწარმოების მათემატიკური
სტრუქტურის გასარკვევად. ამგვარად, მანქანური მუსიკის შექმნის პრო-
ცესი ხელს უწყობს მუსიკის შესწავლას. უნდა აღვნიშნოთ ისიც, რომ თუ
შევცვალებთ მანქანის პროგრამა, მაგალითად, გამოვრიცხეთ ამა თუ იმ
სტილის კომპოზიციის ესა თუ ის წესი, ან პირიქით, დავუმატეთ, ვთქვათ,
დისონანსური ან ჰარმონიული წყვილები და სხვა, მაშინ საშუალება გვეძ-
ლევა დავაკვირდეთ რა შედეგი მოსდევს ამ ცვლილებებს. ამ შემთხვევაში

მანქანა გამოიმუშავებს რამდენიმე მელოდიას და მათ შესაბამის რიტმ-
 ვებს დაბეჭდავს ქალაღზე (შემდეგში კომპოზიტორი მას გაატანს
 სანოტო ნიშნებზე, კომპოზიტორმა რომელიმე ეს მელოდია შეიძლება
 გამოიყენოს თავისი ნაწარმოების შესაქმნელად. ეს იქნება უფრო სრულ-
 ყოფილი, მათემატიკურად ზუსტად გამოთვლილი ნაწარმოები. ბუნებრი-
 ვია, მართო მანქანას ჯერჯერობით ნამდვილი მუსიკალური შედეგის
 შექმნა ადამიანის დახმარების გარეშე არ შეუძლია, რადგანაც ის ვერ
 ითვალისწინებს მსმენელის რეაქციას. სწორედ აქ ჩვენ ვემიჯნებითა საინ-
 ტერესო პრობლემას: ადამიანის და მანქანის დიალოგის ანუ „ადამიანი-
 მანქანა“ წყვილის პრობლემას. მანქანურ-მუსიკალური პროგრამის შემ-
 ქმნელ ავტორთაგან აღიარებულად ითვლება სსრკ პედაგოგიურ მეც-
 ნიერებათა აკადემიის ზოგადი და პედაგოგიური ფსიქოლოგიის ინსტი-
 ტუტის თანამშრომელი რ. ხ. ზ ა რ ი პ ო ვ ი. მის მიერ დამუშავებუ-
 ლი პროგრამის საშუალებით საბჭოთა ე. ე. გ მანქანებმა „ბესმ-რ“ და
 „ურალ-2“-მა შექმნეს მელოდიები. მათზე მუშაობის პროცესში, რო-
 გორც ქვემოთ ვნახავთ, მანქანებმა მიიღეს ობიექტური ჟიურის უკეთესი
 შეფასებები, ვიდრე ადამიანებმა (კომპოზიტორებმა) იგივე დავალებების
 შესრულების დროს.

რ. ზ ა რ ი პ ო ვ ი მუსიკალურ კომპოზიციას განიხილავს გარკვე-
 ული P_1, P_2, \dots, P_k , $P_{11}, P_{12}, \dots, P_{1k}$ პარამეტრების ნაკრების სახით, რომლებშიც
 იგულისხმება კომპოზიციის კანონზომიერებანი და საშუალებები.¹ პა-
 რამეტრებში იგულისხმება ტაქტის ზომა, მელოდიის დიაპაზონი, ინტერ-
 ვალების სიხშირეთა განაწილება, საფეხურების დონე ოქტავაში და ა. შ.
 ამის გამო ნებისმიერი P_i -პარამეტრი ლებელობს რამდენიმე მნიშვნელო-
 ბას $P_{i1}, P_{i2}, \dots, P_{ik}$ თითოეული პარამეტრის მნიშვნელობა წარმო-
 ადგენს გარკვეულ რიცხვს, აკორდებს, ინტერვალების სიხშირული და-
 ყოფის კონკრეტულ კანონზომიერებას და სხვ., ე. ი. ყველა ისეთ მნიშვნე-
 ლობას, რომლებსაც კომპოზიტორი იყენებს თავის შემოქმედებაში და
 გათვალისწინებულა მანქანურ პროგრამაში. კომპოზიციის ტიპში იგუ-
 ლისხმება ისე: თვისობრივი მახასიათებლები. რომლებიც დამახასია-
 თებელაა მოცემული კომპოზიციისათვის. ტიპის მაგალითებია „საცეკვაო
 მუსიკა“, „ვალსი“, „მარში“ და ა. შ.

კომპოზიციის ანალიზის დროს შეიმჩნევა, რომ ყველა პარამეტრიდან

1. З а р и п о в Р. Х. — Моделирование функции композитора и
 музыковеда. Труды IV объединенной международной конференции по
 искусственному интеллекту. Том 10. Применение искусственного интел-
 лекта. Научный совет по комплексной проблеме «Кибернетика» АН СССР,
 Институт кибернетики АН ГССР, М., 1976, зв. 10. 78—10. 87.

მხოლოდ რამდენიმე ძირითადი არსებითი პარამეტრი. ასეთი პარამეტრებს მაგალითია „ტაქტის ზომა“. ვალსისათვის მისი მნიშვნელობა იქნება 3.4 . ჩარლსტონისათვის 4/4 და ა.შ. მოცემული ტიპის, კომპოზიცი-
ა, ან სხვა პარამეტრის გამოყოფა მოდელირებას ერთ-ერთი ძირითადი მოქმედი. მაგალითად, სასიმღერო მელიოდიში სისწილის ინტერვალთა განაწილების პარამეტრი იქნება ისეთი განაწილება, რომლის დროსაც მცირე ინტერვალები მეორეებიან მეტჯერ, ვიდრე ფართე ინტერვალები. თუ ცნობილია, რომ საჭიროა დაიწეროს მუსიკალური ნაწარმოები გარკვეული კომპოზიციისა, ტიპის არსებითი პარამეტრების გათვალისწინებით. მაშინ მოწესრიგებული ფუნქციის მნიშვნელობა:

$$M_c = M(P_1, P_2, \dots, P_i, \dots).$$

T_c ტიპის ნაწარმოების კომპოზიციის მოდელირება დამყარებულია მოწესრიგებული ფუნქციის გარკვეულ M_c მონაცემებზე.

$$M_c = M(P_{1ac}, P_{2bc}, \dots, P_{iic}, \dots),$$

სადაც P_{iic} წარმოადგენს ყველა შესაძლო P_i პარამეტრს შორის ერთ-ერთ განსაზღვრულ, არსებით პარამეტრს. ამრიგად, სამოდელო ამოცანაში კომპოზიციის თვისობრივ მახასიათებელს, ან T_c -ტიპს, უკავშირდება რიცხობრივი M_c მახასიათებლები.

მანქანაზე გარკვეული T_c ტიპის კომპოზიციის მოდელირება ხდება შემდეგნაირად. მანქანის მახსოვრობის მოწყობილობის გარკვეულ უჭრედებში ჩასაწერად გაიგზავნება გარკვეული რიცხვები — პარამეტრების კოდური მნიშვნელობები. მანქანის სამოქმედო პროგრამა ისეთი წესითაა ორგანიზებული რომ ამ რიცხვების მიღებისთანავე მანქანისათვის უკვე ცნობილი გახდება კომპოზიციის წესებისა და საშუალებათა გარკვეული ნუსხა. პარამეტრების კოდების საშუალებით მანქანის სამუშაო ტაქტის შესაბამისად ხდება პროგრამის ავტომატური აწყობა, ისეთი ერთადერთი მოცემული მანქანური პროგრამის გამოყოფა, რომელიც შეესაბამება მოცემული პარამეტრების კოდებს. თუ შემთხვევით გამორჩა რომელიმე პარამეტრის მნიშვნელობა, მაშინ პროგრამის აღნიშნული აწყობის (ფორმირების) დროს ასეთი პარამეტრის მნიშვნელობას ირჩევენ შემთხვევითი რიცხვების სახით, მანქანაში მოთავსებული მოწყობილობის — შემთხვევითი რიცხვების გამცემის საშუალებით. მაშასადამე, მოცემული კომპოზიციის მანქანაზე შედგენის პროცესში არ მონაწილეობს ყველა დაპროგრამებული მუსიკალური კანონზომიერება. ეს კი მიგვითითებს იმაზე, როგორ გადადის რაოდენობა ანუ პარამეტრების მნიშვნელობები ნაკრე-

ბის არჩევა. ხარისხში (მუსიკის ტიპის მიღება და შედეგის გაცემა მანქანის საბეჭდო მოწყობილობაზე). მანქანა ბეჭდავს არა მარტო მის მიერ შედგენილი კომპოზიციის მონაცემებს — კოდებს, რომელიც შემდეგ გადააქვთ სანოტო ნიშნებში, არამედ ბეჭდავს M -მნიშვნელობებს, კომპოზიციის ყველა იმ კანონზომიერებას და საშუალებას, რასაც მანქანა იყენებს მუსიკის შექმნაში. ამრიგად, მანქანას შეუძლია „ავიღისნას-თუ რა სტრუქტურა ჩააქსოვს თავის ნაწარმოებში და მოგვაწოდოს სათანადო ნაბეჭდი ინფორმაცია. ეს მომენტი ფსიქოლოგიური თვალსაზრისით მეტად მნიშვნელოვანია. რადგანაც შესაძლებელი ხდება მუსიკის აღქმის ფსიქოლოგიური ექსპერიმენტების ჩატარება. ამ მეთოდის საშუალებით, რომელსაც რ. ზარიპოვი უწოდებს M -მეთოდს, პრაქტიკულად შესაძლებელია ხელოვნებათმცოდნეობის ერთ-ერთი ძირითადი ამოცანის პრინციპული გადაჭრა, კერძოდ, მუსიკალური ნაწარმოების სტრუქტურის ზეგავლენა მსმენელის ემოციაზე.

მოდელირების M -მეთოდი საშუალებას იძლევა დაინახოთ მოცემული თემის სასურველ ვარიაციამდე გარდაქმნის მთელი გზა. საშუალებდო ეტაპის შედეგები და მელოდიის დეფორმაციის სახეები. ნახ. 19-ზე მოცემულია რ. ზარიპოვის მეთოდით შედგენილი პროგრამით სსკ მეცნიერებათა აკადემიის გამოთვლათ ცენტრში ეცკ მანქანა „ბესმ-6-“ ის მიერ შექმნილი №1, №2, №7 მელოდები. მიუხედავად იმისა, რომ პროგრამის შედგენაში არ იყო ცნობილი, თუ რა სახის მელოდია მიიღებოდა $M_e(P_1, P_2, \dots, P_n)$ მეთოდის გამოყენებით საწყისი თემიდან, მანქანურმა სინთეზირებამ საშუალება მოგვცა მოცემულ თემიდან მიგველო რეალური მელოდია. მართლაც, მანქანური №1 მელოდია (ნახ. 19) წარმოადგენს ცნობილი კომპოზიტორის ი. დუნაევსკის პოპულარული „ახალგაზრდული“ (კინოფილმიდან „ვოლგა-ვოლგა“) მელოდიის ზუსტ თანხვედნას, თუ მხედველობაში არ მივიღებთ უკანასკნელი ტაქტის პირველ ნოტს.

პრაქტიკულ ინტერესს იწვევს მუსიკის მანქანური მოდელირების შედარება ადამიანის მიერ ანალოგიური კომპოზიციის საფუძველზე მუსიკის შედგენის პროცესთან. ასეთი შედარება და შეფასება ძალზე რთული პრობლემაა, რადგანაც საქმე გვაქვს მხატვრულ სახეებთან. შეფასებაზე თავის მხრივ გავლენას ახდენენ ისეთი ფაქტორები როგორცაა საზოგადოებრივი აზრი, წინააღმდეგობრივი სულისკვეთება. მაგრამ ძირითად ფაქტორად მაინც ითვლება ფსიქოლოგიური განწყობა. მანქანისა და კომპოზიტორის მიერ შექმნილი ნაწარმოებების შეფასება



ნახ. 19. საბჭოთა ელექტრონულ-გამომთვლელ მანქანაზე შექმნილი სხვადასხვა მელოდიები.

რ. ზარიპოვის მეთოდის მიხედვით უნდა გააკეთონ თვით მსმენელებმა. ნიშნეულია, რომ ძირითად მომენტად ითვლება მსმენელის ფსიქოლოგიის თავისებურებანი, რომელთაც წინასწარ არ იციან რას აფასებენ, მანქანურს თუ ადამიანურ მუსიკას. ჩაატარეს სათანადო ექსპერიმენტი, რომლის მიზანი იყო გადაელახათ მოწვეულ ექსპერტთა ფსიქოლოგიური განწყობა (საექსპერტო ჟიურის წევრების დაბნევის მიზნით). რომ მათ არ ცოდნოდათ რას აფასებენ ადამიანურს თუ მანქანურ ნაწარმოებს. ამასთან ფასდებოდა ნაწარმოების ხარისხიც. ექსპერიმენტისათვის შერჩეული იყო, ერთი მხრივ საბჭოთა პროფესიული კომპოზიტორების ცნობილი მელოდიები, ხოლო მეორე მხრივ ზემოაღნიშნული პროგრამის ეცგ მანქანა—„ურალ-2“—ზე შექმნილი მელოდიები. მსმენელებმა არ იცოდნენ როდის სრულდებოდა მანქანური და როდის კომპოზიტორის ნაწარმოები. შესრულებული მელოდიები ფასდებოდა 5-ბალიანი სისტემით. მსმენელების მუსიკალური განათლების დონე თითქმის ერთნაირი იყო. მსმენელები იყვნენ სოციომუსიკალური ჯგუფების წევრები, მოსკოვის გნესინების სახელობის მუსიკალურ-პედაგოგიური ინსტიტუტის, მოსკოვის ენერგეტიკის ინსტიტუტის სტუდენტები, „მხატვრული

აღქმის პრობლემების“ სიმპოზიუმის მონაწილენი (ამ სიმპოზიუმის სსდომაზე განიხილებოდა მუსიკის აღქმის საკითხები), IX—X კლასების მოსწავლეები, ერთ-ერთი მეთოდოლოგიური სემინარის მონაწილე მა-აიმატიკოსები, კულტურის მუშაკები და სხვ. მონაწილეთა საერთო რიცხ-ვი უდრიდა 600. ექსპერიმენტებში მონაწილეთა სუბიექტური შეფასე-ბის ობიექტურობამდე დასაყვანად გაკეთდა გასაშუალებული შეფასე-ბები. სოციომუსიკალურ ჯგუფებში ჩატარებულმა ექსპერიმენტებმა აჩვენა, რომ სხვადასხვა კრიტერიუმებით მანქანურმა კომპოზიციებმა მიიღეს უფრო მაღალი შეფასებანი ვიდრე კომპოზიტორთა მელოდიებმა. მაგალითად, ერთ-ერთი კრიტერიუმით მუსიკალურად მომხადებელი აუღატორიის მიერ (ესენი იყვნენ გ ნ ე ს ი ნ ე ბ ი ს ს ა ბ ე ლ ო ბ ი ს მ უ ს ი კ ა ლ უ რ - პ ე დ ა გ ო გ ი უ რ ი ინსტრუქტას სტუდენტები), შემდეგნაირად იქნა შეფასებული მოსმენილი მელოდიები (იხ. ცხრი-ლი 6).

ც ხ რ ი ლ ი 6

ავტორი	შეფასება					საშუალო
	1	2	3	4	5	
მანქანა	5	22	204	253	76	$C_M=3,67$
კომპოზიტორები	8	31	247	213	61	$C_K=3,51$

ეს ცხრილი გვიჩვენებს, რომ მ ა ნ ქ ა ნ ი ს მ ი ე რ შ ე ქ მ ნ ი ლ - მ ა მ ე ლ ო დ ი ე ბ მ ა ხ რ ი ს ხ ის მიხედვით ობიექტურად საშუალოდ მეტი შეფასება მიიღეს ($C_M=3,67$) ვიდრე კომპო-ზიტორების მელოდიებმა ($C_K=3,51$).

რ. ზ ა რ ი ჰ ო ვ ი ს მიერ შექმნილი ადამიანის შემოქმედებითი ფუნქციის ჰიპოთეზური მოდელი ანუ მანქანური პროგრამა მოდელი-რების თვალსაზრისით შეიცავს სამ ეტაპს:

1) პროგრამაში გათვალისწინებულია ობიექტის (ჩვენს შემთხვევაში— ადამიანის შემოქმედებითი ფუნქცია) შესახებ ექსპერიმენტული მო-ნაცემებით დამტკიცებული კანონზომიერება, ამასთან კვლევის ობიექ-ტის აგებულებისა და განვითარების პრინციპები ფორმულირებულია ჰიპოთეზურად.

2) მანქანა („ბესმ-6“, „ურალ-2“) ახდენს ადამიანის შემოქმედებითი პროცესის შეგნებული ფუნქციების იმიტაციას, მანქანური პროგრამა

არ ითვალისწინებს აზროვნებაში ადამიანის მიერ ძალაუფლებურად, ინტუიციით მიმდინარე პროცესებს.

3) ადამიანისა და მანქანის მოქმედების ან შედეგების შედარების ხარისხი. პროგრამა რეალიზებას ახდენს ევრისტიკული შემოქმედების ისეთი კომპონენტით, როგორცაა ადამიანის სტრუქტურისათვის აზროვნების პროცესში დამახასიათებელი — ტრანსფორმირება, უცვლელი ელემენტების გადაცემა, რომელსაც ადგილი აქვს სხვადასხვა ბუნების ნებისმიერი სიტუაციების ვარიანტების დროს. ეს თვისება განსაზღვრავს სტრუქტურის ერთიანობის კანონზომიერებას, რომელთა შემადგენლობა მხოლოდ ელემენტებამდე არ დაიყვანება. მართლაც, როცა ვუსმენთ მუსიკალური ნაწარმოების თემასა და ვარიაციას, ჩვენი ინტუიციით ვგრძნობთ მათს სიახლოვეს. ამის მიზეზი კი ცნობილია — ვარიაციაში შენარჩუნებულია უცვლელი გარდაქმნის ელემენტები. ამასთან ერთად ეს უცვლელი ელემენტები ვარიაციის სხვა ელემენტების გავლენით მაგალითად, მელოდიური ხაზი, რითმა, მეტრი, — ძალზე შენიღბულნი არიან. ეს შენიღბვა ზოგ შემთხვევაში უცნობს ხდის ნაწარმოების თემას. რ. ზ. არიპოვის მიერ დამუშავებული ჰიპოთეზური მოდელი საშუალებას იძლევა სწრაფად გამოჰყოს უცვლელი (ინვარიანტული) და შენიღბული ელემენტები, ხოლო მელოდიების შედგენის დროს — ინვარიანტების გადატანის მექანიზმი. ადამიანისა (კომპოზიტორი) და მანქანის მიერ შექმნილი ნაწარმოებების შეფასებები და ე. ც. გ. მანქანა ბ. ე. ს. მ-6-ის მიერ შექმნილი მელოდიები (ნახ. 19) გვიჩვენებენ, რომ რ. ზ. არიპოვის ჰიპოთეზურ-პროგრამულ მოდელში მიღებული შედეგები არა თუ შეედრება ადამიანისას, არამედ რიგ შემთხვევაში, ხარისხის მიხედვით, აღემატება ადამიანის მიერ მიღებულ შედეგებს.

გონიერი მანქანის „ხელი“ და „თვალი“

ჩვენითვის უცნობია რა კრიტერიუმით უნდა იქნას შეფასებული არამც თუ ადამიანის, არამედ მასზე განვითარებით დაბლა მდგომ არსებათა (ცხოველები, მწერები, ფრინველები) გონიერების ზომა. ამიტომ იმ შემთხვევაში, როცა საჭირო ხდება ადამიანის გარკვეული სამუშაო ფუნქციების დაკისრება მანქანისათვის, ცდილობენ მანქანას გადასცენ ადამიანის გონიერების ისეთი თავისებურებანი, როგორცაა სალაპარაკო ენით სარგებლობა, ინფორმაციის ურთიერთგაცვლა, სხვადასხვა პრობ-

ლემის გადაქრა, სახეთა გამოცნობა, თვითშესწავლა. სამოქმედო გეგმის შედგენა. ამჟამად დიდი ყურადღება ექცევა ისეთი „გონიერა“ მანქანის შექმნას, რომელსაც შეუძლია ადამიანისაგან დამოუკიდებლად შეასრულოს გარკვეული გონიერი მოქმედებანი ლაბორატორულ პირობებში და შეასრულოს ადამიანის მიერ მანქანისათვის (საინფორმაციო რობოტი) არასრულად ჩამოყალიბებული ამოცანები.

ასეთ მანქანებს ან რობოტებს ამოცანები ეძლევათ ისეთი სახით, რომ ამოცანის პირობებში გარკვევა, მოქმედების გეგმის შედგენა (სტრატეგია და ტაქტიკა), გარემოს შესწავლა და საგანთა გამოცნობა წარმოადგენს რობოტების თავისებურებებს და ამიტომ საჭირო მოქმედებებს ის ადამიანის დაუხმარებლად აკეთებს. გონიერი საინფორმაციო რობოტის ასეთი ტიპი შედგება „თვალისაგან“ (სატელევიზიო კამერა). „ხელისაგან“ (მექანიკური ხელი) და დიდი მოცულობის ოპერატიული მეხსიერების მქონე ეცგ მანქანისაგან. ერთ-ერთი ასეთი რობოტი, რომელიც აგებულია პროფესორების გ. მინსკისა და ს. პეიპერტის მიერ (მასაჩუსეტსის ტექნოლოგიური ინსტიტუტი, აშშ), ასრულებს მოცემული კონსტრუქციების აგებას სამშენებლო ბლოკებიდან. სატელევიზიო „თვალი“, რომელიც დაკავშირებულია ეცგ მანქანასთან, სათანადო ანალიზის შედეგად აკეთებს არჩევანს გარკვეულ სამშენებლო ბლოკზე და ამის შესახებ მანქანას აცნობებს. მანქანა ბრძანებას აძლევს ელექტრომექანიკურ „ხელს“, რომელიც წარმოადგენს ადამიანის ხელის იმიტაციას ხუთივე თითით, რომ მან აიღოს არჩეული სამშენებლო ბლოკი და დააწყოს მანქანის მეხსიერებისათვის ცნობილ არქიტექტურული კონსტრუქციით.¹ საინფორმაციო რობოტებს გარდა მანქანასთან კავშირი აქვთ ფიზიკური მოქმედების მექანიზმებსაც: ელექტროამძრავიან ბორბლებს, მომჭერებს, მუხრუქებს და მექანიკურ მანიპულატორებს, რომლებიც მოქმედებაში მოჰყავს სოლენოიდს. რობოტს აქვს გადამცემები, რომლებიც ღებულობენ ინფორმაციას გარემოს შესახებ, მათ შორის რობოტის უსაფრთხოებისათვის საჭირო ინფორმაციას. მაგალითად, დაბრკოლებათა დარტყმის გადამცემი ობიექტთან დარტყმის პირველივე წამის განმავლობაში გამოორთავს ელექტროძრავებს და ჩართავს მუხრუქებს. ეცგ მანქანა მიიღებს ინფორმაციას ამ დარტყმის შესახებ; შესაძლოა, მანქანამ კიდევაც შეცვალოს რობოტის გაჩერების

¹ იხ. Роузен. Ч. А. В сб. „Человеческие способности машин“. Изд-во „Советское радио“, М., 1971, зб. 169—170.

ბრძანება, მაგრამ რობოტი არ უცდის მანქანის პასუხს. რობოტის მოქმედება რეფლექტორული რეაქციის მაგვარია: იყო მიზეზი, გაჩნდა შედეგი. ამასთან რობოტისათვის მოქმედება არ იყო დაგეგმილი, ამიტომ აღამიანმა მანქანის მახსოვრობაში არ ჩადო სათანადო მოქმედების პროგრამა ამ გარკვეული სიტუაციისათვის. რობოტებს აქვთ სხვა რეფლექტორული რეაქციები, რომლებიც იცავენ არა მარტო რობოტებს მსხვერვისაგან (ქვემოთ განვიხილავთ მაგალითს მთვარეზე საბჭოთა საინფორმაციო რობოტის მუშაობის შესახებ, იხ. გვ. 134, 135), არამედ გარემოში მყოფ ობიექტებსაც.

თვითმავალ რობოტების გადაადგილება ხდება ე ც გ მანქანის ბრძანებით, რომელიც შემსრულებელ მექანიზმებს აძლევს ძრავის ბრუნთა რიცხვს და მარჯვნივ თუ მარცხნივ მობრუნების ინფორმაციას. სატელევიზიო „თვალისა“ და მანძილმზომის სამართავად იყენებენ მავალ ელექტრო ძრავებს. „თვალის“ მობრუნება, დახრა და ფოკუსირებაც ხდება მანქანის საშუალებით.¹ ე ც გ მანქანის დახმარებით რობოტი ასრულებს სხვადასხვა ტიპის საშუალებებს (საგნების გადაადგილება, გრუნტის ამოღება და შენახვა, თხრა და სხვ.).² სტენფორდის კვლევითი ინსტიტუტის (აშშ) რობოტს გარდა ხელოვნური „თვალისა“, ოპტიკური მანძილმზომისა და შემსრულებელი მექანიზმებისა (ბრუნვა, სიარული), აქვს შეხების (ე ც გ -მანქანისათვის) გადასაცემი და სანავეგაციო სისტემა. ობიექტის შეხების მანქანისათვის გადასაცემ ინფორმაციას რობოტი იღებს ერთგვარ „კატის უღვაშებისაგან“, რომელიც შეერთებულია ჩამრთველებთან; უკანასკნელი ერთდროულად დაკავშირებულია რობოტის მამოძრავებელ მექანიზმთან და ე ც გ მანქანასთან, რომლებიც მიახლოებით არკვევენ ობიექტის ადგილსამყოფელს, ხოლო მიღებული ინფორმაცია ღიდი სისწრაფით იწერება მანქანის მახსოვრობაში. ასეთ მოდელს იყენებენ უფრო ხელსაყრელი მარშრუტების დასადგენად.

რობოტის ოპტიკური მანძილმზომი ე ც გ მანქანასთან ერთად აზუსტებს ობიექტამდე მანძილს. ბაზის (იატაის) მიმართ ობიექტამდე კუთხის გაზომვა სწარმოებს სინათლის სხივით, რომელიც მიმართულია

¹ იხ. Clark I. W. — Meet robot the space service center. S E A Journal, vol. 69 № 5, 1961.

² საინფორმაციო რობოტებს, რომელთა მართვა ხდება ლისტანციურად, სატელევიზიო ობიექტივის გამოყენებით, სწორად უწოდებენ რობოტებს იხ. Катыхс Г. П., Мамиконов Ю. Д. и др. — Информационные роботы и манипуляторы. Изд-во «Энергия». М. 1968 გვ. 34—41.

ობიექტისადმი. ამრიგად, მანძილის გაზომვის ცდომილება შეადგენს არაუმეტეს 10%. მანძილმზომი განსაზღვრავს ობიექტამდე მანძილს, რომელიც მდებარეობს მისგან 0,5-დან 10 მეტრამდე. მანძილმზომის ოპტიკური თავი მთელი რიგი მიმდევრობითი გაზომვის შედეგად მიღებულ ობიექტამდე მანძილის მონაცემებს გადასცემს მანქანას. ამუშავენს რა ამ ინფორმაციას, მანქანა ადგენს გარემო ობიექტების უფრო ზუსტ მოდელს, ვიდრე შეხების გადაძვებებით მიღებული მოდელია. ამრიგად ხორციელდება უმარტივესი ვიზუალური ორიენტაცია, სატელევიზიო კამერა კი ეცგ მანქანის დახმარებით აწარმოებს ობიექტის გამოცნობას. როცა საჭირო ხდება დიდი რაოდენობის ობიექტების გამოცნობა, ამ შემთხვევაში გამოცნობისათვის საჭირო ხდება სხვა ნიშნების გამოყენება, როგორცაა, ფერი, გაჭერების უნარიანობა და სხვ. ობიექტების გამოცნობის ერთ-ერთ ძირითად მეთოდად შეიძლება იყოს „კონტექსტური“ ინფორმაცია, მაგალითად, ობიექტების გამოცნობა მათი ადგილმდებარეობის მიხედვით. თუ ცნობილია, რომ საგნები მოთავსებულია საწერ მაგიდაზე, მაშინ ობიექტთა კლასი, საიდანაც უნდა გამოცნობილი იქნას საგანი, შედგება მხოლოდ წიგნების, ფანქრების, ქაღალდის, ტელეფონის თუ საწერ-კალმისაგან, და არა ზოგადად არსებულ ყველა საგნისაგან.

აღამიანის გარე არსებული ინფორმაციის ერთ-ერთი ძირითადი ბიოლოგიური გარდამქმნელია თვალი, რომლითაც აღამიანის ტვინში შედის მთელი ინფორმაციის 90% (სხვა გარდამქმნელებია ყური, ცხვირი, კანი და ენა).¹ აღამიანს გააჩნია აგრეთვე შეგრძნებანი ტემპერატურის, ტკივილის, ვიბრაციის და წონასწორობის შესახებ). იმისათვის, რომ რობოტს ელექტრონული „თვალითა“ და მასთან ჩართული ეცგ მანქანის საშუალებით შეეძლოს სრულყოფილად აღიქვას გარემო, საჭიროა მთელ ამ სისტემას ჰქონდეს კლასიფიკაციისა და ობიექტების ნიშნების გამოვლენის გაუმჯობესებული მეთოდები და უფრო მაღალი რიგის ლოგიკური ოპერაციები.

საინფორმაციო რობოტების მოქმედების ძირითადი გეგმა (სტრატეგია) დაფუძნებულია უმარტივეს კიოხებებზე, „კი — არა“ ლოგიკურ პასუხებზე. რომლებზეც ბოლოს და ბოლოს დააყვანება რთული კითხვებიც. თითოეულ კითხვას შეიძლება დაესვას წონის ანდა შეფარდებითი

¹ იხ. Л и н д р е ш, Н. — Бюника. II. Органы чувств животных и их электронные аналоги. «Электроника», 35 №7, 1962 გვ. 22—27.

მნიშვნელობის კოეფიციენტები.¹ ასეთი კოეფიციენტები მიეკუთვნება ყველა ცნობილ, ძირითად ეფექტებს. იმისდა მიხედვით, თუ როგორია მანქანური ანალიზის პასუხი, წარმატებითი თუ წარუმატებელი, ამ კოეფიციენტების მნიშვნელობები იცვლებიან ყოველი ცდის გამეორების შემდეგ. ასეთი მეთოდის შედეგად ცდებით დაგროვებული ცოდნის საფუძველზე რობოტის მოქმედება უმჯობესდება. ეს წარმოადგენს რობოტის სწავლების ერთ-ერთ ფორმას.

როგორც კი საინფორმაციო რობოტი სტრატეგიას აირჩევს, მოქმედებას იწყებს მანქანის პროგრამული მართვის იერარქიის შემდგომი დონე — ესაა ქვეპროგრამებში მოცემული მოქმედების ტაქტიკის ამორჩევა. მაგალითად, ვთქვათ „წასვლა... მიმართულებით“ ტიპის მოქმედების შესასრულებლად მანქანაში გვაქვს სამი № 1, № 2 და № 3 ქვეპროგრამა. № 1 ქვეპროგრამა გამიზნულია ნაცნობი გარემოებისათვის, სადაც გარემოს ობიექტები ცნობილია. ამ შემთხვევაში ე ც გ-მანქანა რობოტს აძლევს უმოკლესი გზით სიარულის ბრძანებებს, რომლებიც გამომდინარეობენ უმოკლესი გზის გამორჩევის სათანადო ალგორითმიდან. № 2 ქვეპროგრამა განკუთვნილია რობოტის მოძრაობისათვის უცნობ უბნებში, სადაც დაბრკოლებათა მცირე რიცხვია. ამ შემთხვევაში სვლაგეზს გეგმავენ უცნობ უბნებში მოძრაობის რისკის მოცემული სიდიდით (ხარისხით). ამასთან ვარაუდობენ, რომ ეს სვლაგეზი ცნობილთან შედარებით უმოკლესია. № 3 ქვეპროგრამა გათვალისწინებულია უცნობ, გარემოებისათვის, სადაც ობიექტები იცვლიან ადგილმდებარეობას. ე ც გ მანქანის ამ ქვეპროგრამის საშუალებით რობოტის გადაადგილება ზდება არჩეული სვლაგეზის მოკლე მონაკვეთებით და ყოველი მონაკვეთის ბოლოს ელექტრული „თვალითა“ და მანძილმზომით აწარმოებს გარემოს დათვალიერებას. შედეგს გადასცემს მანქანას.

ე ც გ მანქანა გარემოს მონაცემების ანალიზის საფუძველზე ადკენს რობოტის სვლაგეზის პროგრამას, რომელშიაც შესაძლებელია ერთმანეთს ენაცვლებოდეს აღნიშნული ქვეპროგრამებით განსაზღვრული მოქმედებანი.

ამოცანის „წასვლა მიმართულებით“ გადასაწყვეტად წარმოებული ძირითადი მოქმედებისათვის არსებობს რამდენიმე ტაქტიკური პროგრამა, ერთ-ერთ მათგანს სტრატეგიული პროგრამა ირჩევს. ტაქტიკური

1. იხ. Р оу з е н, Ч. А. — «Машинны действующие разумно». Сб. «Человеческие способности машин» М., 1971 г. — 183.

პროგრამის შეცვლა ხდება იმ შემთხვევებში თუ მისი შესრულება ძალზე დიდ დროს მოითხოვს ანდა რომლის რეალიზაციაც რობოტს არ შეუძლია შემსრულებელი მექანიზმების მოქმედების შემოსაზღვრულობის გამო. ასეთი ტაქტიკური პროგრამის მაგალითი იმავე ამოცანაში („წასვლა... მიმართულებით“) შეიძლება იყოს № 1 ქვეპროგრამით გათვალისწინებული მოქმედებანი უმოკლესი გზით ნაცნობ გარემოში მოძრაობა. თუ ამ გზაზე რობოტს შეხვდა გაუთვალისწინებელი წინააღმდეგობა, ელექტრული „თვალი“ და მანძილმზომი უმაღლეს აცნობებენ ე.ც.გ. მანქანას გარემო მოდელის ძირითად ცვლილებებს. მანქანური დამუშავების შემდეგ ამ მოდელის საფუძველზე დადგინდება ახალი ტაქტიკური გეგმა. ამრიგად, ინფორმაციის დაგროვება, დამუშავება და დამახსოვრება გარემოს მოდელის შექმნის პროცესში წარმოადგენს რობოტის სწავლების ერთ-ერთ მარტივ ფორმას. საინფორმაციო რობოტის სწავლების მეორე ფორმა დაკავშირებულია სახეთა (ფიგურა, ასო, ფოტოსურათი და სხვ.) გამოცნობის ადაპტურ მეთოდებთან. რობოტის სახეთა გარჩევის მოწყობილობის ლოგიკურ წრედებს აძლევენ დიდძალ ცნობილ ფიგურებს. ამ წრედების მახასიათებლები ავტომატურად იცვლებიან იმისდა მიხედვით სწორად თუ მცდარად გამოიცნო სახე წრედმა. ვარჯიშების შემდეგ რობოტის სახეთა გარჩევის უნარიანობა მალდება. სწავლების შემდეგ მანქანას შეუძლია გამოარჩიოს მანამდე მისთვის უცნობი ფიგურები, რომლებიც ჰგავდნენ სწავლების პროცესში „ნანახ“ ფიგურებს. ასეთი ცდებით ხდება რობოტის ვიზუალური სისტემის ვარჯიში, სადაც მანქანა ყოველ ობიექტს აძლევს ნებისმიერ კოდურ დასახელებას და შემდეგ კი ამ დასახელებას შეუფარდებს ფიგურის იმ ნამდვილ დასახელებას, რასაც ადამიანი (ოპერატორი) მანქანას აძლევს სათანადო ამოცანის დამუშავების დროს.

თანამედროვე რობოტიკა

ზემოაღნიშნულმა მაგალითმა გვიჩვენა, რომ თანამედროვე რობოტი არის რთული ავტომატური კიბერნეტიკული სისტემა, რომელსაც შესწევს უნარი შეასრულოს ადამიანისათვის დამახასიათებელი ფუნქციები: ფიზიკური და გონებრივი მოქმედებანი. რობოტები განსხვავდებიან ერთმანეთისაგან ისევე, როგორც სხვადასხვა ტიპის ავტომატები. ჩვენთვის ცნობილია უმარტივესი ტიპის ავტომატები, რომლებიც მუშაობის

მრავალუბანზე ცვლიან ადამიანს, ესენია: წყლის ჩამოსასხმელი, მეტრო-პოლიტენში ფულის გადამხურდავებელი და სხვ.

აღსანიშნავია, რომ სიტყვა „რ ბ ო ტ ი“ პირველად იხმარა ცნობილმა ჩეხმა მწერალმა კარელ ჩაპეკმა (ამ სიტყვის ფუძე სლავური წარმოშობისაა).

ამჟამად ძნელია, ზუსტად დადგინდეს რობოტების ჯგუფები ანდა კლასები, რადგანაც ისინი ძალზე სწრაფად იჭრებიან ჩვენს ცხოვრებაში. მაგრამ შეიძლება გამოიყოს რობოტების ოთხი ძირითადი ჯგუფი.

1. რობოტები — კიბერნეტიკული ავტომატები, რომლებსაც აქვთ გადაადგილების უნარი (ძირითადად რელსებზე) და ადამიანს ენაცვლებიან ფიზიკურ მუშაობაში. ასეთ რობოტებს აქვთ ავტომატური შემსრულებელი მექანიზმები (ავტომატური ხაზები), მათ იყენებენ მეტალურგიულ ქარხნებში, მანქანების დეტალების დამზადებისათვის და ა. შ.

2. მმართავი რობოტები ისეთი ავტომატებია, რომლებიც ადამიანის აზროვნებით — შემოქმედებითი პროცესების იმიტაციას აკეთებენ. მათ იყენებენ რთული გამოთვლითი და ლოგიკური ამოცანების ამოხსნისათვის. მმართავი რობოტების ანალიზის ბლოკები შეიცავენ თვითმართვანიზებელ სისტემებს, რომლებიც სწორ ორიენტაციას ავლენენ გარკვეულ რთულ სიტუაციებსა და გამოთვლებში.

ასეთ რობოტებს აქვთ სამოქმედო პროგრამის შემტანი მოწყობილობა და მიღებული ბრძანებების გადამუშავების მექანიზმები. მათ აქვთ აგრეთვე მართვის არხიდან გარეშე ინფორმაციების შემტანი მოწყობილობა, უკუკავშირის წრედებით მოქმედი თვითკონტროლის ელემენტები. როგორც ვხედავთ, მმართავი რობოტების ძირითად ნაწილს წარმოადგენს სპეციალური ტიპის ელექტრონული გამოთვლითი მანქანა. გარდა ამისა, ამ ტიპის რობოტებს გააჩნიათ შემსრულებელი მექანიზმები, რომლებშიც გარდაქმნის ბლოკიდან მიღებული ბრძანებების დამუშავება ხდება. ასეთი რობოტები გამოიყენებიან, მაგალითად, რთული საწარმოო პროცესების ჩატარებისათვის, სატელევიზიო და სხვა ქარხნებში, საპროექტო-საკონსტრუქტორო ორგანიზაციებში, მაგალითად, ელექტრონული მანქანების მოწყობილობების დასაპროექტებლად, ნახაზების შესადგენად, სხვადასხვა სახის დეტალების გაანგარიშებისათვის და სხვ.

3. სამართავი რობოტები, ანუ ისეთი სისტემები, რომლებიც ასრულებენ ოპერაციას მოძრავი ავტომატების დახმარებით, როდესაც საკომანდო პუნქტი იმყოფება გარკვეულ მანძილზე, საიდანაც ხდება კონტროლი და მართვა. მათ იყენებენ, მაგალითად, რადიოაქტიურ ელემენტებზე

ცდების ჩატარების ოპერაციებში, მაღალ ტემპერატურებზე ნივთიერებების კვლევის დროს, ბირთვული რეაქციების წარმოების ტექნიკაში და ა. შ.

4. საინფორმაციო რობოტები. ესენია რთული ტიპის ავტომატები, რომლებიც გამოიყენება ადამიანისათვის არახელსაყრელ ანდა ძნელად მისაღვომ საშუალო გარემოში. აღნიშნული რობოტებისაგან განსხვავებით, ეს უკანასკნელნი გარეშე მონაცემების მახსოვრობისა და შემდგომ მათი გარდაქმნის ფუნქციებს ფართოდ იყენებენ. წყლის გამყიდველი, ფულის გადამხურდავებელი და სხვა ავტომატები არ საჭიროებენ მახსოვრობას, რამდენადაც მათ მოეთხოვებათ მმართველი, მომენტალური მოქმედებების ჩატარება. დამახსოვრებული მონაცემების გარდაქმნისა და შესაბამისი ინფორმაციის გამოცემის ფუნქციების არსებობა თანამედროვე რთული რობოტების თვისებაა. ასეთი ფუნქციები დაკავშირებულია რობოტების „შემოქმედებითი“ სფეროს გაზრდის აუცილებლობასთან ისეთ გარემოში, რომელიც საფრთხეს უქმნის ადამიანის სიცოცხლეს (მაგალითად, თერმობირთვული რეაქციების დროს ნივთიერების ფიზიკურ-ქიმიური კვლევები და სხვ.) ან არახელსაყრელ პირობებში აყენებს ადამიანს (მაგალითად, მთვარის ან სხვა პლანეტის ზედაპირებზე ხანგრძლივი ლაბორატორიული კვლევების დროს, სადაც ტემპერატურის ძალზე დიდი ცვლილებებია დღისით და ღამით, მაგალითად, მთვარეზე დღისით დაახლოებით არის $+100^{\circ}\text{C}$ ღამე— 40°C).

საინფორმაციო რობოტებში ჩადგმულია ტემპერატურის, რადიაციის, წნევის და ა. შ. ინფორმაციის შემკრები სხვადასხვა ტიპის მოწყობილობები: ლოგიკური და პროგრამული მოწყობილობები, ტელეხედვის აპარატები, გარემოში გადაადგილების მექანიზმებით. ასეთი რობოტების გარკვეული ნაწილის მართვა ხდება დისტანციურად, ამასთან ერთად ეს მანძილი შეიძლება ერთეულიდან რამდენიმე ასეულ ათას კილომეტრს აღემატებოდეს. რაც უფრო შორსაა რობოტი, მით ძნელდება მასთან მუშაობა. ეს ძირითადად გამოწვეულია იმით, რომ რობოტთან კავშირის დამყარების სიგნალი (ძირითადად რადიოსიგნალი) სასრული სიდიდეა. მაგალითად, დედამიწასა და მთვარეს შორის რადიოსიგნალის გავრცელება ხდება 1,3 წამის განმავლობაში. ავილთ შემთხვევა, როცა საინფორმაციო რობოტი იმყოფება მთვარის ზედაპირზე, ხოლო სამართავი პუნქტი კი დედამიწაზე. ამ შემთხვევაში დედამიწიდან რადიოკავშირის გზით რობოტის მართვა ხდება 1,3 წამი დროის დაყოვნებით. წარმოდგენა რომ გვექონდეს, თუ რა დიდი დროა 1,3 წამი, მოვიყვანოთ მაგალითი: კვლევის

ამოცანაზე მუშაობის დროს გამოთვლითი მანქანა ბ ე ს მ-6 ამ ხნის განმავლობაში შეასრულებს დაახლოებით 1 300 000 ოპერაციას, რაც შეადგენს 6—7 ადამიანის მიერ წლის განმავლობაში ხელით შესასრულებელ გამოთვლით სამუშაოს. ამის გამო აღვილი შესაძლებელია. რომ დედამიწის საკომანდო პუნქტიდან გაცემული ბრძანება და მთვარეზე რობოტის მიერ გამომუშავებული შესაბამისი სამოქმედო ბრძანება ფაზებით განსხვავებული იქნებოდნენ. ეს იმას ნიშნავს, რომ, მაგალითად, მთვარეზე გარკვეულ მომენტში რობოტის მოძრაობისას შექმნილი სიტუაციის დროს რობოტის მიერ შეიძლება შესრულდეს არასწორი მოქმედება (სამოქმედო ბრძანება). ეს ამოცანა მხედველობაში მით უფრო მისაღებია, რამდენადაც საქმე ეხება კომპლექსურ კვლევას სხვადასხვა სახის სიძნელებების გადალახვით, სადაც ერთი არასწორი ბრძანების შესრულება ექსპერიმენტისათვის შეიძლება ტრაგიკული გამოდგეს. საინფორმაციო რობოტი, რომლის ნაწილიც წარმოადგენს ნახევარგამტარებზე აგებულ ელექტრონულ-გამოთვლით მანქანას, აღჭურვილია სპეციალური სამოქმედო პროგრამების პროგრამებით, რომლებშიაც ნაგულისხმევია ძირითადი სავარაუდო სიტუაციები. ასეთი სიტუაციები კი, მაგალითად, საბჭოთა ავტომატ „ლუნოხოდ-1“-ს ბევრი შეხვდა 200 და 500 მეტრიანი კრატერების და სხვა დაბრკოლებების გადალახვისას მთვარეზე. ამრიგად, საინფორმაციო რობოტების მართვა ხდება არა მარტო დისტანციურად, არამედ ადგილობრივადაც, თვით რობოტში ჩადგმული ავტონომიური, ლოგიკური ანდა პროგრამული სისტემებით. მაშასადამე, დროის გარკვეულ მომენტში საკომანდო პუნქტი (მაგალითად, დედამიწა) უძლურია რაიმე ილონოს მთვარეზე კვლევის დროს რთული სიტუაციის შექმნისას და ამ დროს მხოლოდ რობოტს შეუძლია მიიღოს მუშაობის გარკვეული ლოგიკური გადაწყვეტა.

ადამიანის საინფორმაციო რობოტებით შეცვლის აუცილებლობა ხშირ შემთხვევაში (მთვარის ზედაპირის კვლევის გარდა) გარდაუვალი საკითხია. ამჟამად ტექნიკა შორსაა იმის შესაძლებლობისაგან, რომ ადამიანი მონაწილეობდეს მთვარის გარდა სხვა პლანეტების კვლევაში, მაგალითად, ჩვენი გალაქტიკის ერთ-ერთი ყველაზე საინტერესო პლანეტის — ვენერას კვლევაში. ავტომატურმა სადგურებმა — რობოტებმა „ვენერა-4“, „ვენერა-5“ და „ვენერა-6“-მა გადმოგვეცეს ინფორმაცია ვენერას ატმოსფეროს ქვედა ფენებზე, ხოლო ავტომატურმა სადგურმა „ვენერა-7“-მა 23 წუთის განმავლობაში უწყვეტად გადმოსცა ინფორმაცია თვით ვენერას ზედაპირიდან, სადაც ტემპერატურა დაახლოებით

475 გრადუსია ცელსიუსის სკალით, ხოლო წნევა 90 ატმოსფერო. ამასთან ერთად არ შეიძლება არ აღვნიშნოთ, კოსმოსური ტექნიკის განვითარების თვალსაზრისით ის ბრწყინვალე ექსპერიმენტი, რაც ავტომატებმა „კოსმოს-186 და 188“-მ და „კოსმოს-212 და 213“-მა ჩაატარეს 1967—1968 წლებში. მათ მთლიანად ავტომატურად, მათში ჩადგმული პროგრამით შეასრულეს შეპირისპირება კოსმოსში. ეს ექსპერიმენტი კოსმოსში ადამიანის ჩაურევლად ჩატარდა. რობოტების დახმარებით შესაძლებელია კოსმოსში დიდი ორბიტალური ლაბორატორიების შექმნა, სადაც წლობით იმუშავებენ არა მარტო რობოტები, არამედ ადამიანებიც.

მანქანური პარაკი

ქადრაკის თამაშის ამოცანა, მისი „მოაზროვნე“ მანქანების საშუალებით გადაწყვეტის მეთოდები დაკავშირებულია მართვის მეცნიერებაში არსებული გადაწყვეტილების მიღების თეორიასთან. სსრკ მეცნიერებათა აკადემიის მართვის პრობლემების ინსტიტუტის დირექტორი, აკადემიკოსი ე. ა. ტ რ ა პ ე ზ ნ ი კ ო ვ ი ამბობს: „ქადრაკი ეს არის იდეალური მოდელური ამოცანა. რომლის ამოხსნისას შედარებით ადვილი ხდება მმართველი შემოქმედებების შედარება... ქადრაკის თამაში გამოიყენება როგორც მოდელი გადაწყვეტილების მიღების გამომუშავების მეთოდებისა ისეთ სიტუაციაში, სადაც შეუძლებელია მათი (სიტუაციების — რ. ბ.) შედეგები ზუსტად იქნეს შეფასებული“.¹

საბჭოთა საქადრაკო სკოლის პატრიარქი, მსოფლიოს ყოფილი მრავალგზის ჩემპიონი ქადრაკში, ტექნიკურ მეცნიერებათა დოქტორი, პროფესორი მ. ბ ო ტ ვ ი ნ ი კ ი, რომელიც უკანასკნელ წლებში დაკავებული იყო მანქანა-მოქადრაკის პრობლემის დამუშავებით, ამბობს: — „ქადრაკი — ეს არის ხელოვნება და განავარიშება (თამაში)... განავარიშება კი მანქანას თავისუფლად შეუძლია. მაგრამ ხელოვნება? ხელმისაწვდომია ეს მანქანისათვის?“².

ხელოვნება და თამაში... მეცნიერება მართვის შესახებ ძალზე სწრაფად ვითარდება და მოიცავს ცხოვრების მრავალ სფეროს როგორცაა, მაგალითად, სამოქალაქო და სამხედრო თვითმფრინავების, რკი-

¹ იხ. «Наука и жизнь», №1, 1975, გვ. 118.

² იხ. Кибернетика ожидаемая и кибернетика неожиданная, Сборник, Изд-во «Наука», М., 1968, გვ. 227.

ნიგზის ტრანსპორტის, გემების კოსმოსური კვლევის, ტექნოლოგიური დანადგარების და სხვადასხვა კომპლექსების მართვა. ამ სფეროებს ემსახურებიან ადამიანთა კოლექტივები. აღნიშნული ტექნიკისა (თვითმფრინავი, მატარებელი, კოსმოსური ხომალდი და სხვ.) და მასში დასაქმებული ადამიანთა მართვის ამოცანას უკანასკნელ დრომდე განიხილავდნენ როგორც ხელოვნებას, მხოლოდ უკანასკნელ წლებში გამოიკვეთა ამოცანის ამოხსნის ისეთი მეთოდები, რომელიც აუცილებელია მართვის ცენტრისათვის ან ხელმძღვანელისათვის. ამოცანათა ამოხსნის ამგვარ მეთოდებზე და მათ სრულყოფაზე მუშაობენ როგორც ჩვენს ქვეყანაში ასევე საზღვარგარეთ. კერძოდ, ზემოაღნიშნულ მართვის პრობლემების ინსტიტუტში მუშაობენ გადაწყვეტილების მიღების თეორიის საკითხებზე, მათ შორის საქადრაკო მანქანური პროგრამების შედგენის ამოცანაზე. პროგრამებს, რომლებიც იძლევიან მართვის ამოცანის გადაწყვეტის ამოსწინებს უწოდებენ ევრისტიკულს.

25 წელიწადი გავიდა მას შემდეგ, რაც ცნობილმა ამერიკელმა მეცნიერმა კლოდ შენონმა პირველად გამოთქვა აზრი ჰადრაკის თამაშის მანქანური ალგორითმების ენაზე გადაყვანისა. მეოთხედი საუკუნეა, რაც მსოფლიოს ტექნიკურად განვითარებულ ქვეყნებში მათემატიკოს-პროგრამისტები ამუშაებენ ელექტრონული გამოთვლელი მანქანების საქადრაკო პროგრამებს. ასეთი ცხოველი ინტერესი გამოწვეულია არა თვითმიზნისათვის, არამედ ისეთი პრობლემების გადაწყვეტის ავტომატიზაციისათვის, რომელიც წარმოიქმნება ხოლმე ჰადრაკის თამაშის დროს, რომელთა ანალოგებს დიდი ცხოვრებისეული მნიშვნელობა აქვს. მართლაც, ჰადრაკი, თავისი თამაშის წესების სისადავითა და იდეების სირთულით, მიზნის სიცხადითა და მისი მიღწევის სირთულით მართვის შესახებ მეცნიერებისათვის ერთგვარი სრული მოდელია.

შეიძლება ერთი შეხედვით მოგვეჩვენოს თითქოს გამომოვლელი მანქანისათვის არაა ძნელი ისწავლოს ჰადრაკი, რადგანაც მკაცრადან განსაზღვრული საქადრაკო ბრძოლის (თამაშის) წესები, საშუალებები და მიზანი. მანქანას თითქოს შეიძლებოდა დიდი სისწრაფით გადაეხინჯა ყველა შესაძლო ვარიანტი, შეეჩინა ერთ-ერთი საუკეთესო სვლა და... მანქანა-მოჰადრაკეს დაემარცხებინა ჰადრაკის დიდოსტატები. ჰადრაკი შეწყვეტდა ინტერესს და არსებობასაც. კიბერნეტიკის მამამთავარი, პროფესორი ნორბერტ ვინერი წერდა: „თამაშის ბევრ სახეობაში, როგორცაა ჰადრაკი და შაში, ჩვენი ცოდნა არასაკმარისია, რომ დავა-

მუშავთ მთლიანი სტრატეგია, ჩვენ ეს შეგვიძლია მხოლოდ მიახლოებით“.¹

საქიბის გარკვევისათვის საჭიროა ერთი მხრივ „შევიხედოთ“ მოქალაქის ლაბორატორიაში, განვიხილოთ მოქალაქის აზროვნების პროცესი, ხოლო მეორე მხრივ გავარკვიოთ ქალაქის მანქანური თამაშის თავისებურებანი. თითოეული ჩვენთაგანისათვის ცნობილია, რომ მოქალაქეს არ შეუძლია ქალაქის დაფაზე არსებული ყველა ვარიანტის გამოთვლა, დიდი რიცხვი სწორი სვლების წინასწარი დადგენა. ამ მხრივ საინტერესოა სხვადასხვა დროის ცნობილ მოქალაქეთა პასუხები იმის თაობაზე, თუ წინასწარ რამდენ სვლას ანგარიშობენ.

— ორს, მაგრამ ეს არის ორი კარგი სვლა, — თავის დროზე ხუმრობით ამბობდა ფრანგი დიდოსტატი ს. ტ ა რ ტ ა კ ო ვ ე რ ი.

— ... ორი-ოთხი სვლა. ამ სვლებს მოქალაქე განსაზღვრავს ინტუიციით, გამოცდილების საფუძველზე, — წერს მსოფლიო ექსპერტიზის მ. ბ ო ტ ვ ი ნ ი კ ი.

— არც ერთი! — თქვა ერთხელ ჩეხმა დიდოსტატმა რ. რეტიმ.

— ეთელი ვარიანტებს იმდენად შორს, რამდენადაც ვხედავ, — უთქვამს მსოფლიოს ექსპერტიზის ვ. ს მ ი ს ლ ო ვ ს. ჰოლანდიელი ეურნალისტის კითხვაზე — რამდენად შორს ხედავთ? უპასუხია — იმდენად, რამდენადაც ეთელი.

აქ მოყვანილ პასუხებში, რომლებიც ერთი შეხედვით პარადოქსულია, დიდოსტატები გვერდს ვერ უვლიან ქეშმარიტებას. ვარიანტების გათვლის აუცილებლობა გამოწვეულია დაფაზე წარმოქმნილ კონკრეტული სიტუაციით. მაგალითად, ცნობილ დებუტებში (ქალაქის პარტიის დასაწყისში) ქალაქის არსებობის ისტორიის მანძილზე დადგენილია მხოლოდ პირველი 10—15 სვლა. პრაქტიკულად კი თამაში შეიძლება გაგრძელდეს და საჭირო გახდეს არა მარტო რამდენიმე ათეული, არამედ 100-ზე გაცილებით მეტი სვლა; ჯერ კიდევ ნახევარი საუკუნის წინ დიდოსტატი რ. შ პ ი ლ მ ა ნ ი წერდა, რომ „შიშველი ანგარიში გარანტირებულ იქნება მხოლოდ უხეში შეცდომის შედეგად. ძალზე ძლიერი, ყველაზე უკეთესი გაგრძელება ინტუიციით მონახება“. მ. ბ ო ტ ვ ი ნ ი კ ი ს აზრით მოქალაქე პარტიაში საშუალოდ აკეთებს 40 სვლას, ამას-

¹. იხ. В и н е р Н. — Об обучающихся и самовоспроизводящихся машинах. «Кибернетика ожидаемая, и кибернетика неожиданныя», Изд-во «Наука», М., 1968, გვ. 55.

თან თუ მოკადრაკე საშუალოდ 2 მომდევნო სვლას ანგარიშობს, მაშინ ერთი პარტიის თამაშში ანალიზს უკეთებს 100 სვლას. თუ როგორია ეს 100 სვლა, წარმოადგენს მოკადრაკის ინდივიდუალურ საიდუმლოებას. შესაძლებელია რომ 99 სვლა ერთნაირად გაიანგარიშეს მოკადრაკეებმა. და მხოლოდ ერთი, მეასე სვლა გაითვალეს სხვადასხვანაირად, რამაც ძირითადად გადაწყვიტა თამაშის ბედი. რასაკვირველია, მოკადრაკე ითვლის 100-ზე მეტ სვლას (ციფრი 100 ეხება მხოლოდ ანალიზის პირველ სვლას). ანალიზის დროს მისი მხედველობის არეშია 8—16 უჯრა. ამასთან ზოგიერთ ფიგურას არ აქცევენ ყურადღებას, საშუალო საერთო რაოდენობის 25—30 ფიგურიდან (იგულისხმება პარტიის შუა და ბოლო სტადია) ანალიზში მონაწილეობს 3—6 ფიგურა. ამრიგად, მთელი პარტიის თამაშისას მოკადრაკე ანგარიშობს განსაზღვრული, გამარტივებული სქემებით, მხოლოდ მცირერიცხოვანი ფიგურების გადაადგილებით, რომლებიც უშუალოდ მონაწილეობენ „კონფლიქტურ“ სიტუაციაში. თამაშის დროს მოკადრაკე ეყრდნობა მხოლოდ თავის ინტუიციას.

ცნება ინტუიცია თანამედროვე გამომთვლელი მანქანებისთვისაც ჭერჭერობით უცნობია. მანქანის მიერ გაკეთებული სვლა ეს არის ვარიანტების გამოთვლების. მშრალი ანგარიშის შედეგი, რომელიც დაფაზე შექმნილ კონკრეტულ სიტუაციას შეესაბამება და პარტიიორების ფიგურების განლაგების ერთგვარ ლოგიკურ-მიზეზობრივი კავშირიდან გამომდინარეობენ. ადამიანებს შორისაც არსებობენ ამგვარი მოკადრაკე-მოანგარიშეები, რომელთაც აქვთ საკადრაკო აზროვნების უშუალოდ ძლიერი ტექნიკური არსენალი. ასეთ მოკადრაკედ ზოგიერთები ითვლიან მსოფლიო ექსპერტის ამერიკელ რ. ფიშერს, კუბელ ხ. კაპაბლანკას.

თანამედროვე გამომთვლელი მანქანა, მიუხედავად უდიდესი სისწრაფით მუშაობისა (რამდენიმე მილიონი და ათეულ მილიონი არითმეტიკული ოპერაცია წამში!) საკადრაკო ვარიანტების ტოტალურ გამოთვლას ვერ შესძლებს. საქმე იმაშია, რომ მანქანას ჭერჭერობით არ შეუძლია გაანალიზოს ყველა ის 10!²⁰ (10 ხარისხად ასოცი) კონფიგურაცია, რაც წარმოიქმნება მხოლოდ ერთ საკადრაკო პარტიაში. ასეთი სიდიდის რიცხვი ვარიანტების გათვლა მანქანაზე, მაშინ როცა შესაძლო ვარიანტების რიცხვი ყოველი სვლის შემდეგ იცვლება, ამკამად პრაქტიკულად მოითხოვს სულ მცირე რამდენიმე ათას წელიწადს. ადამიანი კი თავისი ინტუიციითა და მისთვის უცნობი აზროვნების პროცესით შემოსაზღვრავს საანგარიშო ვარიანტების რიცხვს და აღწევს კარგ შედეგებს. ეს ნიშნავს,

რომ უმადლეს გონივრულ დონეზე საჭადრაკო პარტიის ჩატარების ამოცანა პრინციპულად გადაწყდება, თუმცა ეს ძალზე რთული ამოცანაა. სირთულე მდგომარეობს პარტიის არა მხოლოდ საწყისი სტადიის (დებიუტი) ხელოვნურ შერჩევაში, არამედ პარტიის შუა, განვითარებული სტადიისა (ე. წ. მიტელშპილი) დაბოლოს, სტადიის (მცირე რიცხვის ფიგურებით, ე. წ. ენდშპილი) საუკეთესო ვარიანტების ძებნაში. ამიტომ არაა გასაკვირი, რომ მთელი საჭადრაკო ისტორიის მანძილზე, რომელიც მოიცავს 20 საუკუნეზე მეტს, ცნობილია საჭადრაკო დებიუტების მხოლოდ 10—15 სელა!

მანქანისათვის ძნელია მიხვედრა იმისა, თუ რომელია ძირითადი ინფორმაცია, რა ტიპის ვარიანტებს მიაქციოს პირველ რიგში ყურადღება. ერთგვარი უბედურება იმაშიცაა, რომ არც თვითონ მოჭადრაკეს, არც მეცნიერებს არ შეუძლიათ აუხსნან მანქანას თუ როგორ თამაშობს ადამიანი ჭადრაკს. ამის გამო მანქანას უხდება ევრისტიკული, მიხვედრის მეთოდით მკვლელობა. ამ მიმართულებით სხვადასხვა ქიეყნებში დამუშავებული იქნა საჭადრაკო პროგრამები გამომთვლელი მანქანებისათვის. ასეთ პროგრამაზე მუშაობდა მსოფლიო ექსპერიმენტი, პროფ. მ. ბოტვინიკი,¹ რომელმაც დაამუშავა პროგრამა ე. წ. შემოწმების, ანდა თანდათანობით მიახლოების მეთოდებით (მას ეხმარებოდა ნოვოსიბირსკელი მათემატიკოსი ვ. ი. ბუტენკო).

ჩვენს ქვეყანაში მანქანური ჭადრაკის განვითარების საქმეში დიდი წვლილი მიუძღვის მოსკოვის თეორიული და ექსპერიმენტული ფიზიკის ინსტიტუტის მათემატიკოს-პროგრამისტებს, რომელთაც მონაწილეობა მიიღეს 1967 წლის სსრკ-აშშ საჭადრაკო მატჩში. ამერიკის შეერთებული შტატების კუნდი დაკომპლექტებული იყო სტანფორდის უნივერსიტეტის თანამშრომლებით. მატჩი მოიგო საბჭოთა მანქანებმა — 3 : 1.

1974 წელს, 5-დან 8 აგვისტომდე მიმდინარეობდა პირველი მსოფლიო ჩემპიონატი საჭადრაკო გამომთვლელ მანქანებს შორის. ეს შეჯიბრი მოეწყო საინფორმაციო პროცესების საერთაშორისო ფედერაციის კონგრესთან დაკავშირებით. რომელიც აღნიშნულ პერიოდში სტოკჰოლმში მიმდინარეობდა. მსოფლიო ჩემპიონატში მონაწილეობდა 13 საჭადრაკო მანქანური პროგრამა: „ქაოსი“, „სტრიჩი“, „ჩესს 4 : 0“, „ტიჩი 11“ (აშშ). „მასტერი“, „დონ ბილი“ (ინგლისი),

¹ იხ. Ботвинник М. М. — О кибернетической цели игры. Изд-во «Сов. радио», М., 1975, гл. 37—67.

„რიბიტი“ (კანადა), „ფრანცი“ (ავსტრია), „ტელი“ (შვეიცარია), „ფრიდომი“ (ნორვეგია), „პაპა“ (უნგრეთი). საბჭოთა კავშირი წარმოდგენილი იყო თავისი საუკეთესო საქადრავო პროგრამით, რომელსაც ჰადრაკის მითური მფარველის კაისას სახელი ჰქვია. „კაისა“ შექმნილია სსრკ მეცნიერებათა აკადემიის მართვის სისტემების ინსტიტუტში ფიზიკა-მათემატიკის მეცნიერებათა კანდიდატების ვ. არლაზაროვის, გ. ადელსონ-ველსკის, მ. დონსკის, ა. უსკოვის, მეცნიერ თანამშრომლების ა. ბარაევისა და ა. ბიტმანის მიერ.

საქადრავო რობოტების თამაში მსოფლიო პირველობაზე მიმდინარეობდა ოთხ ტურად ე. წ. შვეიცარულ სისტემით. დროის კონტროლი იგივე იყო რაც ჩვეულებრივ მოქადრავეთა ტურნირებში — 40 სელაზე 2 საათი. თამაში მიმდინარეობდა ტელეფონებით, რომელიც დაკავშირებული იყო საკოორდინაციო ცენტრთან სტოკჰოლმში, სადაც მუშაობდა მსაჯთა კოლეგია.

როგორაა შედგენილი საქადრავო რობოტის სამოქმედო პროგრამა? როგორ თამაშობს „კაისა“? მანქანას დასამახსოვრებლად ეძლევა გარკვეული ინფორმაცია, როგორცაა ჰადრაკი, თამაშის წესები, თამაშის მიზანი, ფიგურების შედარებითი ფასეულობა — მათი ხვედრითი წონა თამაშის პერიოდში (მაგალითად, ყველაზე დიდი ხვედრითი წონა აქვს მეფეს, შემდეგ ლაზიერს, ეტლს და ა. შ.).

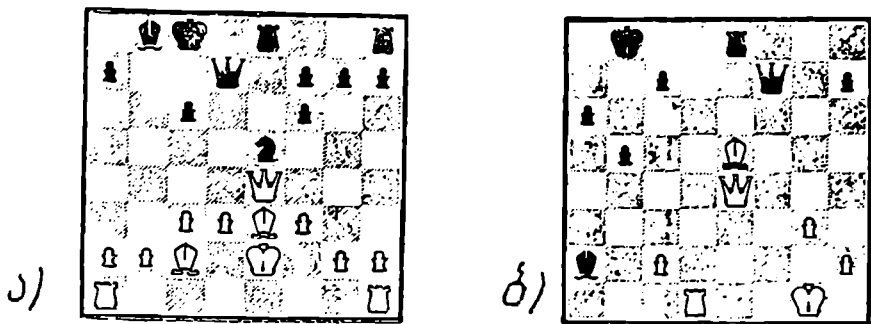
მანქანის მახსოვრობაში იწერება აგრეთვე რიგი პოზიციური კრიტერიუმები, რაც ცნობილია მოქადრავისათვის. ასეთებია მაგალითად დებიუტების სისტემები, მეფის პოზიციის დაცვის ტექნიკა, შეტევისა და კონტრშეტევის ელემენტები, ვარიანტების დაყვანა მომგებ ენდშილიან პოზიციებამდე და ა. შ. თითოეული ეს ფაქტორი ჩაიწერება მათემატიკურ კოდებში. თამაშის დროს მანქანა სინჯავს ყველა შესაძლო ვარიანტს გარკვეულ აზრობრივ სიღრმემდე. პასუხს ნაბეჭდი სახით გამოსცემს იმ სელაზე. როცა „შეფასებათა სელაზე“ დგება ყველაზე დიდი რიცხვი. ეს პრინციპი საფუძვლად უდევს თითქმის ყველა თანამედროვე საქადრავო რობოტს. ამ რობოტებს შორის ის განსხვავებაა, რომ მათი თამაშის პროგრამები განსხვავდებიან კონკრეტული იდეებითა და ლოგიკური კონსტრუქციით, რაც მათ მიკუთვნებული აქვთ სხვადასხვა მეთოდების საფუძველზე. მაგალითად, საბჭოთა საქადრავო პროგრამა „კაისა“ შედგენილია გადასინჯვის შემცირების მეთოდის გამოყენებით, რაც გამომდინარეობს სხვა მათემატიკური მეთოდიდან, ე. წ. „შემოსაზღვრულობისა

და შეფასების“ მეთოდიდან. ეს უკანასკნელი მეთოდი, როგორც აღნიშნავს აკად. ვ. ტ რ ა პ ე ზ ნ ი კ ვ ი, ფართოდაა გამოყენებული მართვის ოპტიმიზაციის პრაქტიკულ საქმიანობაში. ამ უკანასკნელი მეთოდის დახმარებით „კაისას“ პროგრამის შედგენისას გამოიყენეს სხვადასხვა არაიგივური ვარიანტების მსგავსების იდეა. ამასთან ერთად მეორეხარისხოვან როლს როდი თამაშობდა საქადრაკო არსენალით (ქადრაკის თეორიისა და პრაქტიკის ელემენტები) მანქანის აღჭურვის ამოცანა. მაგალითისათვის „კ ა ი ს ა ს“ სადებიუტო რეპერტუარი შედგენილი იყო ისეთი დებიუტებით, რომელთაც უნდა შეძლებოდათ მოწინააღმდეგის მოულოდნელობათა აცდენა. „კ ა ი ს ა“ სარგებლობს მატერიალური და პოზიციური შეფასებებით. დადებით მომენტად ის თვისის ცენტრის დაკავებას პაიკებით, ფიგურათა მოძრაობის უნარიანობას, ღია ხაზების დაკავებას, მეფის უსაფრთხოებას, საშამათო ქსელის შეფასებას და ა. შ.

„კ ა ი ს ა“ არ დარჩა ვალში თავისი შემკმნელების წინაშე, მან ბრწყინვალედ წარმართა თამაში მსოფლიო ჩემპიონატში, დააგროვა 4 ქულა 4 შესაძლებლობიდან და გახდა მსოფლიო ჩემპიონი. მან ერთი ქულით ჩამოიტოვა ამერიკული რობოტები „ჩ ე ს ს 4 : 0“ „ტ ი ჩ II“, „ქ ა ო ს ი“ და კანადის „რ ი ბ ი ტ ი“.

ავსტრიულ საქადრაკო რობოტ „ფრანციან“ (შაეები) თამაშში (ნახ. 20, ბ) „კ ა ი ს ა მ“ გამოავლინა ბრწყინვალე ტაქტიკური ხედვა, რითაც გააკვირვა კომპინაციური სტილით მოთამაშე გულშემატკივრები.

ამ პოზიციაში (ნახ. 20, ბ) დიდი ფიქრის შემდეგ „კაისამ“ ითამაშა უძლიერესი 31-ე სვლა 31. ლე4—c6 გამოიკვია, რომ ის ხედავს ასეთ



ნახ. 20. „გონიერ“ მანქანათა შორის მსოფლიო პირველობაზე გათამაშებული საქადრაკო პარტიების ზოგიერთი ფრაგმენტი ა) „ტიჩ-II-(აშშ) — „კაისა“ (სსრკ). ბ) „კაისა“ (სსრკ) — „ფრანცი“ (ავსტრია);

ვარიანტს: თუ 31...ე8 : e5, მაშინ 32. ეd1-d8 | მფb8—a7 33. ეd8-a8x; ანდა 32. ლc6-b6-|- იმ შემთხვევისათვის, თუ ეტლი არ იღებს კუს. „ფრანცმა“ უპასუხა 31... ლf7—g6, რაზედაც „კაისამ“ გააგრძელა ჩანაფიქრი პაიკი c7 აღებისა და საშამათოს სელის თაობაზე: 32. ლc6: c7 † მფb8-a8 33. ეd1—d7 ლგ6-f7 34. ლf7—c6x — გააკეთა ლამაზი შამათი.

ამერიკულ „ტიჩ II“-თან თამაშში (ნახ. 20 ა), „კაისამ“ (თამაშობდა შავებით) მკაცრ ლოგიკურ პრინციპზე დაფუძნებით შეარჩია მხოლოდ ისეთი სვლები, რომლებიც იძლევიან მატერიალურ შენაძენს (გათამაშდა სკანდინავური დაცვა 1. e4, d5, 2. ed, მf6, 3. კb5+ კd7 4. კc4 კგ4 5. f3, კc8 6. კc3, მbd7 და ა. შ.).

დიაგრამაზე (ნახ. 20, ა) მოცემულ პოზიციაში „კაისამ“ მე-19 სელით აიჩრია ძლიერი გაგრძელება 19 მე5 —გ6! თეთრების 20. ლe4—b4 — სელის შემდეგ ელოდნენ, რომ შავები პირდაპირი 20... კb8-f4 სელით მოიგებდნენ ფიგურას, მაგრამ „კაისამ“ ითამაშა ვაცილებით უფრო მოხდენილად და ძლიერად, ვიდრე საერთოდ რობოტისგან მოელოდნენ: 20... მგ6 —f4 † 21. მფe2-f2 ეe8: e3! 22. მფf2:e3 მf4—d5+ 23. მფe3-e2 24. მd5 b4, „კ ა ი ს ა მ“ მოიგო ლაზიერი და პარტიაც. საქადრაკო კომპიუტერის მიერ ჩატარებულმა პარტიებმა გვიჩვენა რომ საქადრაკო პროგრამებს შეუძლიათ არა მარტო ვარიანტების გათვლა, არამედ „ახასიათებთ“ ერთგვარი „სიმშვენიერის“ გრძნობაც. „კომპიუტერების მსოფლიო ჩემპიონატმა, როგორც აღნიშნა აკად. ვ. ტ რ ა პ ე ზ ნ ი კ ო ვ მ ა, გვიჩვენა „გადასინჯვის შემცირების მეთოდების“ მიზანშეწონილობის დემონსტრაცია, ახლა წინაა ახალი ეტაპი: ვისწავლოთ მათი გამოყენება მართვის რეალურ ამოცანებში“.

მართალია მოკადრაკე კომპიუტერების შექმნაში არსებობს გარკვეული მიღწევები. ამასთან ნიშანდობლივია, რომ მსოფლიო საქადრაკო ჩემპიონატის ყველა ტიტული 1977 წლის მონაცემებით ეკუთვნის ჩვენს ქვეყანას (ვთქვათ — ა. კ ა რ პ ო ვ ი, ქალებში — ნ. ვ ა ფ რ ი ნ დ ა შ ვ ი ლ ი, ასალგაზრდებში — ვ. ჩ ე ხ ო ვ ი; მოზარდებში — ვ. კ ო ჩ ი ე ვ ი, მიმოწერით თამაშში — ი. ე ს ტ რ ი ნ ი. კომპიუტერებში — „კ ა ი ს ა“). მაგრამ წმინდა საქადრაკო თვალსაზრისით მოკადრაკე კომპიუტერების მიმართ ოპტიმიზმი მაინც და მაინც დიდი არაა. თუ ეტალონად ავიღებთ მოკადრაკე-აღამიანს, მანქანები ამჟამად თამაშობენ დაახლოებით მე-2 საკავშირო თანრიგის ძალით. კომპიუტერის საქადრაკო კლასის ასამაღლებლად საჭიროა, პირველ ყოვლისა, უფრო სრულყოფილი, ზემალაღი სისწრაფის კომპიუტერები და დაპროგრამირების

ახალი მათემატიკური მეთოდები. უდაოა, რომ ათეული (შესაძლოა ასე-
ულიც) წლების შემდეგ მოქალაქე — კომპიუტერი წარმატებით ითამა-
შებს მსოფლიოს უძლიერეს დიდოსტატებთან. სწორია შოტლანდიელი
მოქალაქე ოსტატი დ. ლ ე ვ ი, რომელმაც ამ რამდენიმე წლის წინ და-
ლო სანაძლეო 1000 ფუნტ სტერლინგზე, რომ 1978 წლამდე ვერც ერთი
რობოტი ვერ მოუგებს მას მატჩს 10 პარტიიდან. თითონ ეს ფაქტი საგუ-
ლისხმოა: აღამიანმა უკვე გამოიწვია შეჯიბრებაში გამომთვლელი მან-
ქანა!

„ინტელექტუალური ავტომატიზაციის“ საშუალებაინი

ჩვენი საუკუნის მეორე ნახევარი ხასიათდება საზოგადოების ყველა
სფეროს ინტელექტუალური შემოქმედების ავტომატიზაციის მზარდი
ტემპებით მეცნიერებაში, ტექნიკაში, ეკონომიკაში, მართვაში, განათლე-
ბაში, მედიცინაში, სამხედრო საქმეში და ა. შ. უკანასკნელი 10—15
წლის „ინტელექტუალური ავტომატიზაცია“ დაკავშირებულია გამოთვლი-
თი ტექნიკისა და მათემატიკური დისციპლინების მზარდ განვითარებას-
თან და სრულყოფასთან.

პირველი ე ც გ მანქანა „ენ ი ა კ ი“, რომლის შესახებ ზემოთ იყო
აღნიშნული, 1945 წ. გამოიყენებოდა საარტილერიო სროლის ბალისტი-
კური ანგარიშების, ამინდის წინასწარმეტყველებისა და რამდენიმე სა-
მეცნიერო-ტექნიკური გამოთვლის საწარმოებლად. ოცი წლის შემდეგ,
ჟურნალ „კომპიუტერს ენდ აუტომათიზაციის“ (გამოთვლითი მანქანები
და ავტომატიზაცია) ცნობით ე ც გ მანქანებს იყენებდნენ 600-ზე მეტი
სხვადასხვა „პროფესიისათვის“. კიდევ 8 წლის შემდეგ (1973 წ.) იგივე
ჟურნალის ავტორიტეტული მონაცემების მიხედვით გამოქვეყნდა ე ც გ
მანქანის 2500 „პროფესიის“ დასახელება, მათ შორის 900 მეცნიერებისა
და ტექნიკის დარგში, 200 წარმოების, 100 ჰუმანიტარული მეცნიერების,
ხოლო დანარჩენი 1300 კომერციული ფირმისა და სახელმწიფო ორგანოს
მუშაობის სხვადასხვა დარგებში. დღეისათვის ე ც გ მანქანებს იყენე-
ბენ ყოფა-ცხოვრების 3000-მდე დარგში. საინტერესოა, რომ მანქანების
გაჩენის შემდეგ ვერც მწერალმა ფანტასტებმა და ვერც ფუტუროლოგებ-
მა (ასტროლოგები), ვერ იწინასწარმეტყველეს გამოთვლითი ტექნიკის
ასეთი მკვეთრად მზარდი მომავალი.

უკანასკნელ წლებში მკვეთრად იზრდება ე ც გ მანქანასთან (მანქა-

ნათა სისტემასთან) შორი მანძილიდან დაკავშირებული ინფორმაციის ვიზუალური ასახვის მოწყობილობათა (დ ი ს პ ლ ე ი) რაოდენობა. მაგალითად, 1975 წლისთვის აშშ ტერიტორიაზე მდებარე ე ც გ მანქანების დაახლოებით 90% მომხმარებლებთან დაკავშირებული იყო სატელეფონო ხაზებითა და კაბელებით და მუშაობდნენ ინფორმაციის დისტანციური დამუშავებისათვის. ინგლისში 1971 წ. ე ც გ მანქანებთან არხებით დაკავშირებული ინფორმაციის ასახვის მოწყობილობათა რიცხვი დაახლოებით 100 000 შეადგენდა. საფრანგეთში 1985 წლისათვის ინფორმაციის ვიზუალური ასახვის მოწყობილობათა რიცხვი, რომელიც იმუშავებს მანქანებთან შორი მანძილიდან, მიაღწევს თითქმის 3 მილიონს. ამ მოწყობილობების მანქანებთან მისაერთებლად საჭირო იქნება 1 მილიონზე მეტი სატელეფონო ხაზის დაკავება. მე-7 ცხრილში მოცემულია ფრანგი სპეციალისტების მიერ 1985 წლისათვის შედგენილი პროგნოზი.¹ მანქანებისათვის დისტანციიდან გადაცემულ მონაცემთა მოცულობა 1985 წლისათვის მიუახლოვდება კავშირის არხით სხვა სახის ინფორმაციის გადაცემის მოცულობას. მოსალოდნელია, რომ 1985 წლისათვის საერთო ტრაფიკი არანაკლებ 10-ჯერ გაიზრდება. ამ საეარაუდო ფაქტების გამო საფრანგეთის ავტომატური სატელეფონო სადგურის კონსტრუქტორები დისკრეტული ინფორმაციის გადაცემისათვის ამუშავებენ ახლა კავშირის არხებსა და სატელეფონო ხაზებს. ეს მონაცემები მოწმობს იმ დიდ ინტერესს, რასაც დღეს და უახლოეს მომავალში გამოიჩენენ განვითარებული ქვეყნები ე ც გ მანქანების მალაფექტურად გამოყენებისათვის სხვადასხვა სფეროში. განვიხილოთ ზოგიერთი ე ც გ მანქანის მუშაობის პროცესი, რომელთაც გამოყენება აქვთ სხვადასხვა დარგში.

ერთ-ერთი თანამედროვე, ინტელექტური გრაფიკული სატელევიზიო ეკრანიანი მოწყობილობა გ დ-71 დამოუკიდებელი ინტერაქტიური სისტემაა, რომელიც დაკავშირებულია მცირე ე ც გ მანქანასთან და მის მახსოვრობასთან. ასეთი დისპლეის საშუალებით ადამიანი აწარმოებს უშუალო დიალოგს გამომთვლელ მანქანასთან. ელექტრონული სხივეური „ფანქრის“ ანდა კლავიშებიანი მოწყობილობის საშუალებით შეაქვს შესწორებანი მანქანაზე ამოცანის ამოხსნის პროცესში. რთული ამოცანების ამოსახსნელად მცირე მანქანა შეიძლება დავაკავშიროთ დიდ

¹ იხ. Перспективы развития радиоэлектронной промышленности Франции до 1985 г. «Радиоэлектроника за рубежом», Вып. 16(610), 1971, გვ.28.

ინფორმაციის ვიზუალური ასახვის მოწყობილობათა პარკები, რომლებიც ეკავშირის არხებით საფრანგეთში იმუშავებენ 1988 წ.

გამოყენების სფერო	ასახვის მოწყობილობა, ცალი	სატელეფონო ხაზები, ათასი
მრეწველობა	1200 000	400
გამოთვლითი ცენტრები	500 000	300
საფინანსო-საბანკო დაწესებულებები	50 000	15
საეაქრო დაწესებულებები	500 000	3000
სასწავლო	300 000	100
მოსასწავრობის კერძო გამოყენებაში	200 000	200
სულ	1750.000	1.315.000

ე ც გ მანქანასთან. ამ დროს მცირე მანქანის სამუშაო პროგრამა დიდი მანქანის გრაფიულ-ოპერაციული სისტემის კონტროლის ქვეშაა. მოცემული დისპლეის (ტიპი გ დ-71, უნგრეთი) ეკრანის დიამეტრია 60 სმ, ეკრანის სამუშაო უბანი — 36 სმ × 36 სმ, ერთი წერტილის ზომაა 0,5—0,7 მმ. ეკრანზე ეტევა $1024 \times 1024 = 1048576$ წერტილი.

გ დ-71 ტიპის დისპლეებით მანქანაში მონაცემთა და ცვლილებათა შეტანა შესაძლებელია არა მარტო ელექტრონული ფანქრითა და ფუნქციონალური კლავიატურის საშუალებით, არამედ დასაყენებელი ბურთულაკითაც, რომლითაც შესაძლებელია ეკრანის ნებისმიერი წერტილის ან მრუდების წაშლა, ახალი წერტილების და მრუდების დამატება. ეს ცვლილებანი აღიქვება ე ც გ მანქანის სამუშაო პროგრამაში, რომელიც მოგეზულია ამოცანის ოპტიმალურად გადასაწყვეტად. ეკრანზე გამოსახული კონფიგურაციის (სახის) შექმნა დამოკიდებულია მომხმარებელზე. მცირე მანქანის მახსოვრობის ტევადობაზე. ასეთ დისპლეებს იყენებენ ჭიმბურ მრეწველობაში მილების ქსელის, ინტეგრალური სქემის ნიღბების, რკინიგზის დამხარისხებელი სადგურების დაპროექტებისა და სხვა ტექნიკური ამოცანების გადასაწყვეტად.

ერთ-ერთი ტიპის მაგნიტოფონში, რომელიც შექმნილია სოციალისტური ქვეყნების ერთიანი სისტემის მანქანებისათვის, შესაძლებელია ინფორმაციის ჩაწერა 9 ბილიკზე, 8—32 ნიშანი ყოველ მილიმეტრზე, 4 მეტრი წამში მოძრავი ფირისათვის. ფირიდან ამოკითხვის საიმედოობა დიდია: 1 შეცდომა 10 მილიარდი ბიტი ინფორმაციიდან!

დამაგნიტების პრინციპი გამოიყენება აგრეთვე მბრუნავ მაგნიტურ დისკოზე ინფორმაციის ჩაწერისას. თუ მაგნიტურ ფირზე შესაძლებელია

ლია მხოლოდ 9 ბილიკის დამზადება და გამოყენება, მაგნიტურ დისკოზე ბილიკთა რაოდენობის გაზრდა შესაძლებელია 200-მდე (ამდენივე წამითხავი მოწყობილობით — ცილინდრი).

თანამედროვე სათადარიგო მაგნიტურდისკოიან გარე პერიფერიულ მოწყობილობაში შესაძლებელია დისკოს შეცვლა. ამ მოწყობილობით შესაძლებელია ინფორმაციის დიდი ტევადობის მქონე სწრაფად მბრუნავი დისკოდან ინფორმაციის სწრაფად ამორჩევა. დისკოს ერთი პაკეტის მაქსიმალური ტევადობა ცვლადი სიგრძის მანქანური სიტყვისათვის შეადგენს 725 მილიონ ბაიტს (ბაიტი — 8 ბიტი, რვა ორობითი ერთეულია). ბრუნვის სიჩქარეა 2400 ბრუნი წუთში, ინფორმაციის ამოკითხვის საშუალო დრო დაახლოებით 0,075 წამი. მაგნიტური წამკითხავის მეზობელ ბილიკზე გადაყვანის დრო ან ამოკითხვის მინიმალური დრო 0,025 წამზე ნაკლებია. ამოკითხვის მაქსიმალური დრო, ე. ი. წამკითხავის ყველა 200 ცილინდრზე ავტომატური გადაყვანის დროა 0,125 წამი.

გამომთვლელი მანქანის კოლექტიური გამოყენებისათვის სარგებლობენ სააბონენტო პუნქტებით. ასეთი პუნქტები მდებარეობენ ეცგ მანქანიდან დაშორებულ ორგანიზაციებში (რამდენიმე ერთეულ, ათეულ და ასეულ კილომეტრ მანძილზე). საბეჭდი მანქანის საშუალებით ქალაქის გრძელ ზოლზე სათანადო ნაჩვრეტების გაკეთებით გამზადებულ რედაქტირებულ ინფორმაციას ინახავენ კოკებზე (ბოზინი). მანქანაში მონაცემების შეტანის დასაწყისში ოპერატორი ტელეფონზე რეკავს ეცგ სამანქანო დარბაზში. ნებართვის აღების შემდეგ, ოპერატორი ტელეფონის სადგამში მოთავსებული გადამრთველის საშუალებით გამორთავს ხაზიდან ტელეფონს და მის ნაცვლად ეცგ მანქანასთან ხაზში ავტომატურად ჩაირთვება სააბონენტო პუნქტი. საბეჭდი მანქანის კლავიატურაზე სათანადო შიფრის აკრეფის შემდეგ ეცგ მანქანა ნებართვას იძლევა მისი საშუალებით, მასთან ერთად შესრულებულ იქნას სამუშაოები. ადამიანსა და ეცგ მანქანას შორის დიალოგისათვის გამოყენებულია საბეჭდი მანქანა. ადამიანისათვის ეცგ მანქანის პასუხები და შეკითხვები გაიცემა ქალაქზე საბეჭდი მანქანის საშუალებით. მოწყობილობა მუშაობს დიდი სიზუსტით: ერთი შეცდომა 10÷100 მილიონი გადაცემული ნიშნიდან! მანქანაში მონაცემთა გადაცემა ხდება 600 ბიტი/წამი ან 1200 ბიტი/წამი სისწრაფით, რისთვისაც გამოყენებულია სიგნალთა გარდაქმნის მოწყობილობა — მოდემი. მოდემს ჩვეულებრივ ჩართავენ მანქანასა და სააბონენტო პუნქტს შორის. მოდემის დანიშნულებაა სააბონენტო პუნქტიდან გამოსული ორობითი სიგნალების (ყო-

დები) მიმდევრობების გარდაქმნა ისე, რომ ინფორმაცია გადავიდეს იმ სატელეფონო ხაზში, რომლითაც მანქანა და პუნქტია დაკავშირებული. ამისათვის სააბონენტო პუნქტიდან გადაცემი მოდემი ორობით სიგნალს გარდაქმნის სიხშირულ მოდულირებულ სიგნალად. მიმღები მოდემი, სიხშირულ მოდულირებულ სიგნალს გარდაქმნის ორობით სისტემაში, ასეთ სიგნალებს კი მანქანა „გებულობს“. მოდემი შეიძლება მუშაობდეს როგორც სატელეფონო, ასევე სატელეგრაფო ხაზების გამოყენებით 0-დან 600 ბოდი (ან ნიშანი 1 წმ-ში) ან 0-დან 1200 ბოდი სისწრაფით. „1“ მდგომარეობის შესაბამისი სიხშირე ორივე შემთხვევაში ტოლია 1300 ჰერცისა, ხოლო 0 მდგომარეობის 1200 ბოდი გადაცემისას სიხშირეა 2 100 ჰერცი, 600 ბოლით გადაცემისას კი 1700 ჰერცი. მანქანიდან სააბონენტო პუნქტში სიგნალის გადაცემისას, რაც ხდება 75 ბოდი სასწრაფო, ასეთი სიხშირეებია „1“-იანი მდგომარეობისათვის 390 ჰერცი, „0“ მდგომარეობისათვის კი 450 ჰერცი.

ხ მ ი ს გ ა მ ო მ ც ნ ო ბ ი, შ ე მ ს წ ა ვ ლ ე ლ ი მ ა ნ ქ ა ნ ა .

დამუშავებულია ადამიანის ხმის გამოცნობის სისტემა V I P-100, რომელშიაც გამოყენებულია მინი ეცგ მანქანა N o v ა-მარკისა (ფირმა D a t a g e n e r a l აშშ)¹. სისტემას შეუძლია გაარჩიოს ოპერატორის მიერ წარმოთქმული რიგი სიტყვებისა და გააკეთოს შესაბამისი რეაქცია. შესაძლებელია აგრეთვე სისტემას „სწავლონ“ სხვა ოპერატორის მიერ წარმოთქმული სიტყვები ან იგივე, პირველი ოპერატორის მიერ წარმოთქმული ახალი სიტყვები. ამ თვალსაზრისით, შემქმნელების აზრით, სისტემა წარმოადგენს „ერთადერთს მსოფლიოში“. სისტემის სწავლების პროცესში მონაწილეობს სამი ოპერატორი. ნებისმიერი ფრაზა, რომელსაც ოპერატორი წარმოთქვამს 2,5 წამის განმავლობაში, სისტემის მეხსიერებაში იწერება ერთი სიტყვის სახით (სისტემა -ვიპ-100-ის მეხსიერების მოცულობა შეადგენს 25-დან 500-მდე სიტყვას). წარმოთქმული სიტყვა მიკროფონიდან გარდაიქმნება ელექტრულ სიგნალად და მიეწოდება სპექტრის ანალიზატორს, რომელსაც აქვს 19 ზოლიანი ფილტრი და რეაგირებს 250-დან 7500 ჰერცამდე წარმოთქმულ ხმის სიხშირეზე. ანალიზატორიდან გამოსული სიგნალი ჯერ გადის დაბალი სიხშირის ფილტრში და განიცდის შეკუმშვას (ლოგარითმული კანონით), ხოლო შემდეგ — 130 ანალოგურ ზღურბლურ ელემენტების ჯგუფში, სადაც ხდება სიტყვის აზრობრივი მახასიათებლის იდენტიფიკაცია. ოპერატორი ვალდებული

¹ იხ. Elektronik Engineering, Jan., vol. 47. N°563, 1975, გვ. 7.

ლია 5—10-ჯერ გაიმეოროს ერთი და იგივე სიტყვა იმისათვის, რომ სისტემამ გამოიცილოს გარკვეული სიტყვა. გამეორებების ასეთი ცდის შემდეგ სისტემა ზემოთ აღნიშნული ხმის სპექტრალური ანალიზის საფუძველზე განსაზღვრავს სიტყვის მოცემულ მახასიათებლებს, რომლებიც ეტალონის სახით მახსოვრობის მოწყობილობაში ჩაიწერება. მუშაობის პროცესში სისტემა აწარმოებს ოპერატორის მიერ მიკროფონში წარმოთქმული სიტყვების შედარებას მანქანის მახსოვრობის მოწყობილობაში მოთავსებულ სიტყვის ეტალონურ მახასიათებლებთან და მოძებნის ისეთ სიტყვას, რომელიც ძალზე ახლოსაა გამოსაცნობი სიტყვის მახასიათებლებთან. ხმის გამოცნობის აღწერილი მანქანური მეთოდი გამოყენებულია ნიუ-იორკის კენედის სახელობის აეროპორტში საბარგო ტრანსპორტირების მართვისათვის.

ამ სისტემის გამოყენების პერსპექტიულობა ძალზე დიდია ავადმყოფთა და ინვალიდთა დახმარების სფეროში, მაგალითად, პარალიზებულ პაციენტს ხმით შეეძლება მართოს სისტემის საბეჭდი მანქანა (საამისოდ მინი მანქანას აქვს ბეჭდვის მოწყობილობა), ტელეფონი, რისთვისაც მინი მანქანის ბრძანებით შემსრულებელ მექანიზმს შეუძლია „აკრიფოს“ აბონენტის ნომერი, ჩართოს ან გამორთოს განათება, გათბობა და სხვ. მოწყობილობანი.

პოლიციელების ავტომანქანების სამართავი სისტემა. ორი ეცგ მანქანისა და სატელევიზიო ეკრანიანი პულტის — დისპლეის გამოყენებით შექმნილია პოლიციელების სამორიგეო ავტომანქანების მართვის სისტემა.¹ ავტომანქანების კაბინაში დამონტაჟებულია ინფორმაციის გადაცემის მოწყობილობა (ტერმინალი), რომლის საშუალებითაც ეკიპაჟი უკავშირდება მართვის ცენტრს. ყველა სამორიგეო მანქანიდან რადიოტელეფონით მოსულ ინფორმაციას მართვის ცენტრის მორიგე-ოპერატორი პულტის საშუალებით სატელევიზიო ეკრანზე აღბეჭდავს. მორიგის დისპლეი დაკავშირებულია ორ ეცგ მანქანასთან Argus-500 (Ferranti-ის ფირმა). ამათგან ერთი მანქანა სარეზერვოა, სადაც ხდება პროგრამების მომზადებაც (თითოეული მანქანის მახსოვრობა უდრის 47 000 სიტყვას, გარე შეხსიერება მაგნიტურ დისკოებზე იტევს 4 მილიონ ბიტ ინფორმაციას). მანქანა ლებულობს ინფორმაციას ყველა ავტომანქანის ეკიპაჟისაგან ავტომანქანის ადგილმდებარეობის, მათი მოქმედების შესახებ და იმახსოვრებს სათანადო

¹ იხ. Computer Weekly, 9 Jan., 1975, გვ. 18.

მონაცემებს. რაიმე შემთხვევის დროს ეცგ მანქანა გამოსცემს სრულ ინფორმაციას შემთხვევის ადგილის ზედმიწევნით გეგმისა და ირგვლივ (ახლოს) მყოფი სამორიგეო მანქანების შესახებ. მართვის ასეთი სისტემა, რომელიც ჭერჭერობით ერთადერთია, პოლიციელებს შორის კავშირის დამყარების საშუალებას იძლევა.

მ ა ნ ქ ა ნ ა-გ უ შ ა გ ი. აშშ-ში დამუშავებულია ადამიანთა ავტომატური იდენტიფიკაციის ორი ახალი მეთოდი, რომელსაც იყენებენ სრულიად საიდუმლო ორგანიზაციებში თანამშრომელთა შესაშვებად.

პირველ მეთოდში გამოყენებულია თანამშრომლის ხელწერის ანალიზი. ის წერს თავის სახელს სპეციალური კალმით. მანქანის გამოყენებით არკვევენ წერის დინამიკის პროცესს ისეთი ძირითადი მახასიათებლებით, როგორცაა კალმის დაწოლა (წნევა), წერის კუთხური სიჩქარე, და წერის დრო. ეს სისტემა, რომელსაც უწოდებენ *signac* (ფირმა *Varipe*) სისტემას.¹ გამოყენებული იყო ჰენსკის (მასაჩუსეტის) სამხედრო საჰაერო ძალების ბაზაში. აღმოჩნდა, რომ ხელწერის დინამიკის ეცგ მანქანის საშუალებით ანალიზი უტყუარია ადამიანის გარჩევისათვის. თანამშრომელს სახელს აწერინებენ 3-6-ჯერ, კალამში მოთავსებულია სპეციალური გარდაქმნელი, რომელიც ხელწერას გარდაქმნის ელექტრულ სიგნალებად, შემდეგ ამ სიგნალების დამუშავება ხდება *IMP-16C/300* ტიპის პროცესორზე, რომელიც თითოეული თანამშრომლის ხელწერის სტანდარტს წინასწარ აფორმებს. შენობაში შესასვლელად თანამშრომელი ვალდებულია აკრიფოს მისთვის მიკუთვნებული შიფრი, რომლის საფუძველზედაც ეცგ მანქანის დამახსოვრების მოწყობილობიდან ავტომატურად გამოირჩევა მისი ხელწერის სტანდარტი. ამ უკანასკნელის შედარება ხდება იმ ხელწერასთან, რაც თანამშრომელმა შენობაში შესვლამდე უნდა შეასრულოს. ამ მეთოდით მანქანა შეცდა მხოლოდ 1%-ით და არ შეუშვა ნამდვილი თანამშრომელი, ხოლო 2%-ით შეცდომით შეუშვა თანამშრომელი, რომელსაც არ ჰქონდა შესვლის უფლება. ამ სისტემას იყენებდნენ 1000 თანამშრომლისათვის, რომლებიც შედიოდნენ 4 კარში. სისტემის ღირებულებაა 32 000 დოლარი.

მეორე მეთოდად გამოყენებულია ის ფაქტი, რომ ადამიანის ტანი შეიძლება განვიხილოთ, როგორც აკუსტიკური გამოსხივების ფილტრი. ამასთან ასეთი ფილტრის გადაცემის მახასიათებელი ყოველი ადამიანისათვის ინდივიდუალურია და მათი იდენტიფიკაციის საშუალებას იძლევა:

¹ იხ. *Electron Design*, 12 Apr. 1975, გვ. 19.

ყოველი ადამიანის გადაცემის მახასიათებელს აქვს თავისი სპექტრი, ფაზური ძეგრა და ცალკეულ კომპონენტთა ამპლიტუდები (სპეციალისტთა აზრით, ტყულების გადაცემის მახასიათებლებიც სხვადასხვაა). აკუსტიკურ გამომსხივებელს ათავსებენ კარის სახელურში ან კარის სხვანაწილში. კარებში გასულ თანამშრომელზე ხდება უმნიშვნელო დასხივება, ადამიანისაგან არეკლილი სიგნალის მიღება ხდება მიმღები გარდამქმნელით. ეს ინფორმაცია ავტომატურად მიდის პროცესორში, სადაც ხდება პიროვნების აღნიშნული მახასიათებლების ანალიზი. ფირმა „ნოვარ ელექტრონიკს“, რომელიც ამზადებს ასეთ მოწყობილობებს, მათ სერიულ გამოშვებას ვარაუდობდა 1976 წ.

მ ა ნ ქ ა ნ ა-მ ე ტ ე ო რ ო ლ ო გ ი. დისპლეის გამოყენებით შექმნილი მეტეოროლოგიური ინფორმაციის დამუშავების სისტემას შეუძლია 5-7-ჯერ შეამციროს პასუხის გაცემის დრო, რასაც ხშირ შემთხვევაში გადამწყვეტი მნიშვნელობა აქვს სახალხო მეურნეობისათვის. მაგალითად, ერთ-ერთმა ფირმამ (E-sistem Ins. აშშ) ამინდის სახელმწიფო სამსახურისათვის დაამუშავა ავტომატიზირებული სისტემა AFOS (Automation of Field Operations and Services), რომელიც გრიგალის გაჩენის მომენტიდან მანქანური რეაქციის გაცემის მომენტამდე 2—3 წუთში იძლევა საჭირო გაფრთხილების ბრძანებებს. ადრე ანალოგიური სისტემა ასეთი ინფორმაციის დამუშავებაზე ხარჯავდა 15 წუთს. ეცგ მანქანა დაკავშირებულია ამინდის პროგნოზის 55 ბიუროსთან, რომელთაც 1 წუთზე ნაკლებ დროში აძლევს საჭირო ბრძანებებს. ყველა ბიუროში აქვთ საკუთარი მინი მანქანა, ეს ბიუროები მუშაობდნენ ტელეტიპის არხზე, რის გამოც 30%-ზე მეტი დრო იხარჯებოდა ინფორმაციის კითხვისათვის, ზედმეტი ინფორმაციის უგულებელყოფისათვის და სხვ. დისპლეების გამოყენებამ ამ „ქაღალდების“ სამუშაოს მეტი წილი არა-აუცილებელი გახადა.¹

მ ა ნ ქ ა ნ ა... გ ვ ი რ ა ბ შ ი. მალენის (Mullan, აიდახოს შტატი, აშშ), 1155 მეტრ სიღრმეში ერთ-ერთ მალაროში დაამონტაჟეს კონტროლისა და მოსალოდნელი უბედური შემთხვევის გამაფრთხილებელი ექსპერიმენტული მოწყობილობა, რომელიც დაკავშირებულია ეცგ მანქანა „სისტემა-17-თან.“² ამ მანქანასთან სულ მიერთებულია 23 აკუსტიკური გამცემები ე. წ. „გეოფონები“ (geophones), რომლებიც ჩადგ-

¹ იხ. Intervia, Nov. vol. XXIX, №11 გვ. 1101, 1974.

² იხ. Computer (USA), vol. 7, №11, Nov., 1974, გვ. 63—64.

მულია გვირაბების გვერდით და გასწვრივ ჭრილებში. გამცემები ღებულობენ ხმის ტალღის სუსტ სიგნალებს, რომლებიც წარმოიქმნებიან მიწისქვეშა სამუშაოების დროს. ეცგ მანქანა ამ სიგნალებს აძლიერებს 1 000-ჯერ. სისტემაში არსებობს არასასურველი მიწისქვეშა ხმაურის ბლოკირების მოწყობილობა. როგორც კი მიწისქვეშა ტალღების დაძაბულობა, რომელიც მიღებულია მინიმუმ 5 გამცემიდან გარკვეულ ზღურბლურ დონეს გადააჭარბებს, მანქანა აკეთებს საჭირო რეაგირებას: ის აღმოაჩენს სეისმური აღგზნების წყაროს, რომლის საშუალებითაც შესაძლებელია პოტენციალურად საშიში უბნის ლოკალიზება. ლოკალიზების შემდეგ სეისმური დაძაბულობის მოხსნის ან მოსპობისათვის ატარებენ მიმართულ აფეთქებას ანდა შახტებში აყენებენ დამატებით ბრჭყენებს.

ს ა გ ზ ა ო მ ო ძ რ ა ო ბ ი ს მ ა რ ე გ უ ლ ი რ ე ბ ე ლ ი მ ა ნ ქ ა ნ ა. ფრანკფურტის მახლობლად 80 კმ-ის სიგრძეზე, სადაც არსებობდა ჭურჩათა მრავალი გადაკვეთა და ავტომანქანათა დიდი ნაკადები, გამოცადეს საგზაო მართვის ავტომატიზირებული სისტემა¹. ამ სისტემის მიზანი იყო მძღოლებისათვის უზრუნველყოთ მოძრაობის ოპტიმალური რეკომენდაციები. გზის პირას დამონტაჟდა რადიოანძა. ყველა მანქანას ჰქონდა რეაქტივის საპასუხო ელექტრონული მოწყობილობა. მძღოლის კაბინაში ჩადგმული იყო საინდიკაციო ეკრანი, სადაც აღიბეჭდებოდა გზის მიმართულების, მეტეოროლოგიური პირობების შეცვლის ინფორმაციები, მოძრაობის საშუალო სიჩქარის მონაცემები. იმისათვის, რომ ეს მონაცემები აღბეჭდილიყო მძღოლის ეკრანზე, ყველა ანძა სატელეფონო კავშირების საშუალებით მიუერთეს ინფორმაციის დამუშავების ცენტრალურ ეცგ მანქანას. თურმე საქმარისია 16 ასეთი სისტემა, რომ მთლიანად გფრ-ში დაწესდეს საგზაო მოძრაობის ერთიანი კონტროლი. ეს საერთო ჯამში გაზრდის ავტომანქანების მოძრაობის სისწრაფეს, შეამცირებს ავარიათა რიცხვს, გასწვეს საწვავის ეკონომიას და სხვ.

მ ა ნ ქ ა ნ ა დ ა... ჭ ო კ ი თ ხ ტ ო მ ა. მძღოლსრობის ამერიკელმა სპეციალისტებმა ეცგ მანქანის საშუალებით ჩაატარეს ჭოკით ხტომის ანალიზი,² რომლის მიზანი, გარდა მოსალოდნელი რეკორდებისა, იყო ჭოკის ყველაზე კარგი ფორმის დადგენა. ოპტიმალური ფორმა გამოდგა ცენტრთან შედარებით 30-სმ-ით ბოლოებში ოდნავ მოხრილი; ასეთი ჭო-

¹ იხ. Electronics Weekly, April, 1975, გვ. 3.

² იხ. Computer and People, June, 1975, გვ. 33

კით მსოფლიოს ეხლანდელი რეკორდი, რომელიც ტოლია 563 სმ, შეიძლება გაუმჯობესდეს 30 სმ-ით. სპეციალისტების ვარაუდით იდეალური „ზესპორტსმენი“, რომელსაც ექნებოდა კალათბურთელი უ. ჩე მ ბ ე რ-ლ ე ნ ი ს სიმაღლე, ი. კ რ ო კ ე ტ ი ს სისწრაფე და საბჭოთა ტანმოვარჯიშე ო. კ ო რ ბ უ ტ ი ს კოორდინირების თვისებები, ასეთი ჭკოვით გადახტებოდა 8,5 მ. დაასკვნეს, რომ სპორტსმენების დღევანდელ თაობას შეუძლია მსოფლიო რეკორდი გახადოს 6 მ.

მ ა ნ ქ ა ნ ა - რ ე ტ უ შ ე რ ი. მინი მანქანა „ალფა-16“-ს იყენებენ როგორც რეტუშერს ფოტოხელოვნებაში. ხშირ შემთხვევაში საჭიროა ფოტოგამოსახულების ხასიათის გაუმჯობესება, ამასთან ვთქვათ შეუძლებელია ხელახლა გადაღება (მაგალითად მშრომელთა დემონსტრაცია, სპორტული შეჯიბრება და სხვ.). ასეთი ამოცანების გადაწყვეტა ხშირად უხდებათ პოლიგრაფისტებს, ბეჭდვითი საქმის მუშაკებს. ფოტოგამოსახულების კორექტირების მიზნით მანქანა „ალფა-16“ დაკავშირებულია ფოტოსათვლელ და ფოტომასხველ მოწყობილობებთან. გამოსახულების ნეგატივი ან პოზიტივი თავსდება სათვლელი მოწყობილობის დოლზე. საჭიროა გამოსახულების ყოველი წერტილი გარდაიქმნას ელექტრულ სიგნალებად და დაფიქსირდეს მანქანის მახსოვრობის მოწყობილობაში. ამისათვის დოლის ბრუნვის დროს, როცა ბწყარი ბწყარს მიყვება, ყოველი ბწყარის ინფორმაცია, შავ-თეთრი ფერის წერტილები, გადაიქცევა ელექტრულ სიგნალებად. სურათს (გამოსახულებას) მანქანა აღიქვამს როგორც კოდებს, რომელზედაც შესაძლებელია მანქანურ პროგრამული ზემოქმედება, კერძოდ, რეტუშირება. სპეციალური პროგრამის საშუალებით მანქანის მახსოვრობაში იშლება ის წერტილები, რაც ზედმეტია გამოსახულებისათვის. ამის შემდეგ მანქანის მახსოვრობიდან გამოაქვთ გამოსახულება, რომელსაც აფიქსირებენ ფოტოქალაღზე.

სურათის (გამოსახულების) მანქანური ფოტოკორექტირების ძირითადი უპირატესობა მდგომარეობს მის სწრაფმოქმედებაში. მართლაც, კვალიფიციური რეტუშის სპეციალისტების მუშაობა, რომელსაც ისინი აწარმოებენ ტრადიციული ხელსაწყოებით — სკალპელითა და ფუნჯით, მეტად შრომატევადი და ხანგრძლივი პროცესია. აღწერილი სისტემა „ფოტომეიშენ“ (აშშ) გაცილებით ეფექტურია სწრაფმოქმედების თვალსაზრისით, რაც მეტად საჭიროა საგაზეთო წარმოებაში. ამასთან ერთად თუ გავითვალისწინებთ, რომ დოლიდან მანქანაში ჩაწერის პროცესში გამოსახულების წერტილის სიკაშკაშე (სიგნალის სიდიდე) ხასიათდება

ძალზე დიდი — 256 დონით, აბსოლუტური შავიდან ღია თეთრ სიკაშკაშემდეგ, მაშინ ცხადი ვახდება, რომ პროგრამული კორექტირების შემდეგ მანქანიდან გამოტანილი ფოტოგამოსახულება მაღალი ხარისხისაა.

თანამედროვე ე.ც.გ მანქანებში ინფორმაციათა დიდი მასივების დამუშავების მკაფიო მაგალითია საპაერო მგზავრობის მართვის სისტემა (ს მ მ-სისტემა). ასეთი სისტემები შექმნილია ბევრ ქვეყანაში, მათ შორის საბჭოთა კავშირში. საბჭოთა და საზღვარგარეთული სისტემების დანიშნულება და მუშაობის პრინციპი ძირითადად ერთი და იგივეა. ერთ-ერთი ასეთი სისტემა, რომელიც შექმნილია შვეციაში, სტანსაბ-ფირმაში¹⁻² შედგება შვედური „სენსორ-900“ ტიპის ე.ც.გ მანქანისაგან, რომელიც ემსახურება შემდეგ ჯგუფებს:

1) სადისპეტჩერო პუნქტს, რომელშიც თავს იყრის ყველა სამუშაო რაიონიდან მოსული ინფორმაცია;

2) საპაერო ფრენის საგეგმო განყოფილებას და სმმ-სისტემის ტექნიკურ ხელმძღვანელს;

3) რადიოკავშირის სამსახურს;

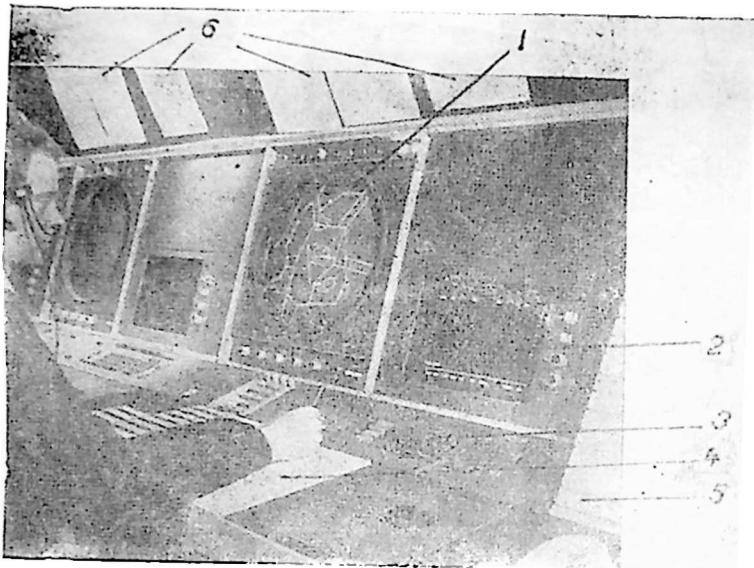
4) მეზობელი რაიონების სატელეფონო-სატელეგრაფო სამსახურს;

5) რადიოსარელეო სადგურებსა და პელენგატორების მონაცემებს. ეს მონაცემები და ორმხრივ კავშირში მყოფი მფრინავ-მემანქანეთა მონაცემები მოდიან სადისპეტჩერო პუნქტში. დისპეტჩერ-ოპერატორი აფასებს სიტუაციას და მანქანური ანალიზის პასუხს (ბრძანებას) აძლევს სათანადო თვითმფრინავის ეკიპაჟს დაშვების თუ აეროდრომიდან აფრენის შესახებ.

დისპეტჩერს თავის სამუშაო ადგილზე (ნახ. 21) აქვს დისპლეი (1). მის ეკრანზე გამოჩნდება როგორც სხვადასხვა კავშირების საშუალებით მიღებული პირველადი ინფორმაცია, ასევე მანქანის მიერ დამუშავებული და მფრინავ-მემანქანეებისათვის გადასაცემი ინფორმაცია. ეს ინფორმაცია შეიცავს თვითმფრინავების აღნიშვნას (ყველა თვითმფრინავს აქვს თავისი ნიშანი). ამ აღნიშვნის ირგვლივ განლაგდება ციფრებისა და ასოებისაგან შემდგარი ე. წ. „ლეგენდა“, რომელიც ითვალისწინებს თვითმფრინავების მოძრაობის ტრაექტორიასა და აეროდრომის რუკას. დისპლეისაგან მარჯვნივ მოთავსებულია აღნიშნულ ფირმაში შექმნილი ერთ-ერთი დისპლეი-ალფოსკოპი (2). მის ეკრანზე ანათებს

¹ იხ. Computer Weekly, 9 Jan. 1975, გვ. 1.

² იხ. Electronic Weekly, 1/8 Jan., 1974, გვ. 14.



ნახ. 21. აერნავსნობის მართვის თახაშედროვე სისტემა (შვეცია, 1974).

გასაცილებელი თვითმფრინავის ალფაბეტურ-ციფრული ინფორმაცია, ფრენის გეგმის მონაცემები და სხვ. ალფოსკოპის ქვემოთ მოთავსებულია ოპერატორის პულტის კლავიშებიანი მოწყობილობა (3), კლავიშების საშუალებით ოპერატორი „ელაპარაკება“ ე ც გ მანქანას, მათი დიალოგი აღინიშნება ალფოსკოპის ეკრანზე (2). ოპერატორის ერთ-ერთი ძირითადი სამუშაო მოწყობილობაა „ელექტრონული ფანქრის“ მსგავსი ე. წ. „მოსრიალე ბურთულა“ (4). მისი საშუალებით დისპლეის ეკრანზე შეიძლება ნებისმიერი წერტილის მდებარეობის შეცვლა, ამ წერტილის კოორდინატის მანქანაზე გადაცემა. ოპერატორის სამუშაო ადგილის ზემოთ მოთავსებულია სამოსამსახურო რაიონების რუკები (6), რომლებზედაც სტანდარტული სვლაგეზია აღნიშნული. რეისის მონაცემები იბეჭდება ქალაღზე (5).

აღწერილი ს მ მ სისტემის ანალოგიური სისტემები ფირმა სტანსაბ-მა დაამუშავა შვეციის, ნიდერლანდებისა და ბელგიის საჰაერო ძალების თვითმფრინავებისათვის, აგრეთვე ავსტრიის, იუგოსლავიისა (ბელგრადსა და ზაგრებში) და შვეიცარიის (ჟენევა და ციურიხი) სამოქალაქო ავიაციაში საჰაერო მოძრაობის მართვისათვის.

„ადამიანი-მანქანის“ პრობლემა

ადამიანისა და მანქანის ურთიერთობის საკითხის წამოჭრა დაკავშირებულია წარმოების პირველი მექანიზმებისა და მანქანების გაჩენასთან. საკითხის მეცნიერული გამოკვლევა კი დაიწყო მხოლოდ 35—40 წლის წინ, როცა საჭირო გახდა საშხედრო დანიშნულების ავტომატური და ნახევრად ავტომატური მოწყობილობების მომსახურება. შედარებით გაზრდილი იყო მოთხოვნები მომსახურე პერსონალის მიმართ, რადგან გაზშირდა ავარიები იმის გამო, რომ არასაკმარისი იყო ახალი ტექნიკის საიმედოობა და ოპერატორთა მომზადების დონე. ხშირად ოპერატორთა მიმართ მოთხოვნები მათ შესაძლებლობებს აღემატებოდა. დადგინდა, რომ წარმოებითი ხასიათის ბევრ პროცესში (თვითმფრინავის, ავტომობილის მართვა და მრავალი სხვ.), ადამიანის ავტომატური მოწყობილობებით სრული შეცვლა ან შეუძლებელია, ან მიზანშეწონილი არ არის. კიბერნეტიკული გამოთვლითი მანქანების გაჩენასთან ერთად წარმოიშვა ადამიანსა და მანქანას შორის მოვალეობის განაწილების საკითხი. ყველაფერმა ამან გამოიწვია პრობლემათა ახალი კლასი, რომელსაც ეწოდება „ადამიანი-მანქანის“ პრობლემა.

ამ პრობლემას ეკუთვნის ადამიანის, როგორც თანამედროვე რთული ტექნიკური სისტემის კვანძის, შესაძლებლობათა გამოკვლევა, ადამიანის მოქმედების ავტომატური თვორიის თვალსაზრისით გაანალიზების ცდები, ადამიანი-ოპერატორის მათემატიკურ-კიბერნეტიკული მოდელების შექმნა და სხვ. ადამიანისა და მანქანის ურთიერთმოქმედების შესწავლის სხვადასხვა ასპექტებიდან აღსანიშნავია აგრეთვე ადამიანის ფსიქოლოგიური გამოკვლევანი. ამ საკითხზე ფსიქოლოგები უკვე 100 წელზე მეტია მუშაობენ. აღსანიშნავია მრავალი საინტერესო ფაქტი. აღვნიშნოთ ზოგიერთი მათგანი.¹

¹ იხ. Gurtram Half — Automatisierung als problem des menschen und seiner umwel. — „Elektronik“, 1959, N°3, გვ. 65—68.

1. ცნობილია, რომ ადამიანის თვალი ორ წერტილს გაარჩევს იმ შემთხვევაში. თუ ამ წერტილებს შორის კუთხური მანძილი არანაკლებ 44 წამის ტოლია; ადამიანის თვალი შუქს შეამჩნევს მისი წარმოქმნიდან 0,2 წამის შემდეგ. ეს ორი მონაცემი ძირითადი მახასიათებელია ელექტრონულ-სხივურ მილაკებიანი ინდიკატორული მოწყობილობებისა (ტელევიზორის ეკრანი) და სწრაფმოქმედი მოწყობილობების მართვის სისტემების დამუშავების დროს.

2. ადამიანს შეუძლია გაიგონოს 20 ჰერციდან 16 000 ჰერცამდე სიხშირის (ახალგაზრდობაში — 20 000 ჰერცი) ხმოვანი სიგნალი, ლაპარაკი, ბგერა, ხმაური, მუსიკა). ყველაზე მკაფიოდ არჩევს სიგნალს 4000 ჰერც სიხშირეზე. 10000 ჰერცზე სმენადობის ქვემო ზღვარს შეადგენს 0 დეციბელი, რასაც შეესაბამება ძალზე მცირე ენერგია 10^{-16} ვატი და წნევა $2 \cdot 10^{-4}$ დნ/სმ². სმენადობის ზემო ზღვარად ითვლება საშუალოდ 120 დეციბელი. 4.000 ჰერცი სიხშირის სიგნალის დროს თუ ხმის სიმაღლეა 40 დეციბელი, ადამიანს შეუძლია გაარჩიოს ხმები 1 დეციბელის სიზუსტით. თუ სიგნალში არის დაბალი ტონები, ისინი მაღალი ტონების გარჩევას ხელს შეუშლიან. სალაპარაკო ენის ყოველი ხმა შედგება ძირითადი ტონისა და ობერტონის-ფორმანტისაგან. უმრავლესობის სალაპარაკო ხმის (სიტყვები) სიხშირეები იცვლება 100 დან 1.000 ჰერცამდე. თუ 2000 ჰერცზე ზემოთ მდებარე სიხშირეებს გაეფილტრავთ, ადამიანი ცალკეულ სიტყვებს ვერ გაარჩევს. სიტყვების გარჩევა ძირითადად თანხმოვნთა ხარჯზე ხდება, ხოლო რადგან ამპლიტუდური შეზღუდვა ძირითადად მოქმედებს ხმოვან ბგერებზე, სიტყვების გარჩევითობა დამაკმაყოფილებელია. ამ თვისებას იყენებენ უეცრად აღძრული ხმაურის ჩასახშობად¹ სატელეფონო სამსახურში, რომელიც წარმოადგენს ე.ც გ მანქანების დისტანციური მართვის სისტემის ერთ-ერთ კვანძს.

3. ადამიანის თვალის ბადურას ცენტრალური ნაწილი — ყვითელი ლაქა — ფერის გარჩევითობისადმი ძალზე მგრძობიარეა. ყვითელ ლაქას კუთხური ზომა დაახლოებით 1° -ის ტოლია. ბადურა შეიცავს დაახლოებით 120 მილიონ განათებისადმი მგრძობიარე ჩხირისმაგვარ და დაახლოებით 6 მილიონი ფერის გამრჩევ უმცირესი „კოლების“ მსგავს ელემენტებს. თუ გარემოს განათება სუსტია, მხედველობაში მონაწილეობენ ჩხირისმაგვარი ელემენტები და საგნების გარჩევითობა მით უფრო მე-

1. იხ. Бионика вчера и сегодня. По материалам зарубежной печати, изд-во «Знание», М., 1969, гл. 125—133.

ტია, რამდენადაც თვალის ოპტიკური ღერძისადმი საგნების მდებარეობა უახლოვდება დაახლოებით 20°-ს; ამ კუთხით განსაზღვრულ უბანში ჩხირების სიმკვრივე მაქსიმალურია. ჩხირები მგრძობიარენი არიან ცისფერისადმი, ხოლო უმცირესი „კოლები“ ძალზე კარგად გრძობენ მწვანე და ყვითელ ფერებს. შექმგრძობელობა სხვადასხვა ადამიანში სხვადასხვაა, ძლიერადაა დამოკიდებული განათებაზე და ადამიანის აგზნებულობასთან ერთად ქვეითდება (აღდგენას უნდება მინიმუმ 15 წუთი). ობიექტების გამოსაცნობად ფერის გარდა მნიშვნელობა ენიჭება ზედაპირის ხარისხს, ობიექტის ფონის კონტრასტულობას და სხვ.

ტექნიკასა და მეცნიერულ ექსპერიმენტებში ვიზუალურ დაკვირვების ერთ-ერთ ძირითად ობიექტს წარმოადგენენ უძრავსკალიანი, საიმედო ხელსაწყოები, რომელთა ისრის გადახრა გამოწვეულია ელექტრომაგნიტური ეფექტით. სტატისტიკური მონაცემები გვიჩვენებენ, რომ ადამიანი გაზომვაში ნაკლებ შეცდომას უშვებს უძრავ ისრიანი და მოძრავ სკალიანი ხელსაწყოებით სარგებლობისას; მნიშვნელობა აქვს სკალისა და დანაყოფების ფორმას: მიზანშეწონილად ითვლება დაახლოებით 6-სმ დიამეტრის მრგვალ სკალიანი, ათეულ დანაყოფიანი ხელსაწყოები. ბევრი სხვადასხვა ტიპის ხელსაწყოთი სარგებლობისას ნაკლებია შეცდომით გაზომვათა რაოდენობა, თუ ყველა ხელსაწყო თავდაპირველად ნულზე დგას, რაც ხშირად არ სრულდება. მაგალითად, ავტომატქანებში „მოსკვიჩი—412“ და „ქიგული“ ძრავის მდგომარეობის მაჩვენებელი ხელსაწყოების ისრები თავდაპირველად ნულიდან სხვადასხვა მხარეს მდებარეობენ. თვითმფრინავებში ან გამოთვლით სისტემებში, სადაც სხვადასხვა მიზეზის გამო (ტექნიკური სირთულე, არაეკონომიკურობა და სხვ.) კონტროლის დამატებითი მოწყობილობა არ დგას, ზემოაღნიშნულ შემთხვევებს — ფერს, განათებას, ობიექტის გარჩევითობას, ისრების მდგომარეობას — შეუძლიათ საავარიო სიტუაციები წარმოქმნან.

აღამიანი. როგორც კიბარანთიკული სისტემების ცოცხალი კვანძი

ექსპერიმენტულ-ფსიქოლოგიური მეთოდებისა და ფაქტების გამოყენებასთან ერთად ადამიანს განიხილავენ როგორც ავტომატური მართვის სისტემის ერთ-ერთ ძირითად კვანძს. ასეთი სისტემაში აუცილებელია ყველა კვანძის მუშაობის ერთმანეთთან შეთანადება. ამ შემთხვევაში მკვლევარებს აინტერესებთ სისტემის ცოცხალი კვანძის — ადამიანის გადაცემის ფუნქციების განსაზღვრა სხვადასხვა კლასის შესასვლელი

ზემოქმედებისა და სხვადასხვა სახის ავტომატური სისტემების პირობებში, ადამიანის, როგორც ოპერატორის მათემატიკური მოდელის შექმნა და სხვ.

გამოირკვა, რომ ადამიანის მოქმედება, როგორც ავტომატური სისტემის კვანძის სისტემისა, დროგამოშვებით წყვეტილი ხასიათისა¹. ავტომატური სისტემებისაგან (ისეთები, როგორიცაა წარმოების მართვის სისტემა, თანამედროვე თვითმფრინავი, კოსმოსური ხომალდი, ფიზიკური ექსპერიმენტები გამომთვლელი მანქანების გამოყენებით და სხვ.), ადამიანი ყოველი 0,25—0,8 წამის შემდეგ იღებს სიგნალებს. ამ პერიოდში ადამიანი გაანალიზებს სისტემის პირველადი ზემოქმედების მონაცემებს, ადარებს მათ წინა, მეზობელ მონაცემებთან. ამის შემდეგ 0,15—0,3 წამის განმავლობაში ადამიანი აწარმოებს მექანიკურ მოძრაობას და სისტემის ნაწილობრივ მართვას. ადამიანს არ შეუძლია იმ სისტემის მთლიანი მართვის რეგულირება, სადაც ჩართულია ურთულესი ტექნიკური ხელსაწყოები და გამომთვლელი მოწყობილობები თავიანთი ლოგიკური მოქმედების პროგრამებით.

ადამიანსაც გააჩნია თავისი მოქმედების პროგრამა (ფუნქცია), რომელიც მთლიანი სისტემის მუშაობის საერთო პროგრამიდან გამომდინარეობს. ამიტომ ადამიანი — ოპერატორი წარმოადგენს ჩაკეტილი სახის მართვის სისტემას, რომელიც შეიძლება წარმოვიდგინოთ უწყვეტი მოქმედების ეკვივალენტური ქვესისტემის სახით, რომლის გადაცემის ფუნქციას მათემატიკური აღწერისა და რეალური პროცესის მიახლოების ხარისხის მიხედვით სხვადასხვა სახე აქვს.

ადამიან-ოპერატორს ახასიათებს ორგვარი ტიპის რეაქცია: ა) ინფორმაციის მიღების და თავის ტვინში სათანადო გადამუშავების (რეაქციის დრო აღვნიშნოთ t_1 -ით); ბ) ნერვულ-კუნთოვანი სისტემის საშუალებით სათანადო შედეგის გაცემის რეაქცია (რეაქციის დრო — t_2).

ადამიანის მუშაობის საიმედოობის განხილვა როგორც მართვის ქვესისტემის კვანძისა, დამოკიდებულაა აღნიშნული რეაქციების t_1 და t_2 დროზე. დიდი მნიშვნელობა აქვს t_1 დროს შემცირებას, რომელიც მხოლოდ მარტივი ამოცანებისთვისაა მისაღწევი. ასეთ შემთხვევებში $t_1 \approx 0,2$ წმ. რთული ამოცანებისათვის $t_1 = 0,5—0,8$ წმ ნერვულ-კუნთოვანი სისტემის რეაქციის t_2 დროს ცვალებადობა დამოკიდებულია იმ და-

¹ იხ. Higgins T. J., Holland D. B. — The human being as a link in a automatic control system.

„IRE Trans. Med. Elektron“, 1959, 6, № 3, გვ. 125—133.

ტვირთვაზე, რაც საჭიროა ინფორმაციის შედეგის კუნთოვანი ძალით დაფიქსირებისათვის:

$$t_2 = 0,4 \div 0,04 \text{ წმ.}$$

ზემოაღნიშნული ტიპების ავტომატურ სისტემებში ოპერატორის მუშაობის საიმედოობა დიდი, თუ მას აწვდიან 3 რხევა-წამში სიხშირის მკაფიო სიგნალებს. საინდიკაციო მოწყობილობების კონსტრუქციას უნდა უზრუნველყოფდეს სიგნალთა საიმედო გარჩევითობა.

ნებისმიერი ტექნიკური სისტემის კონსტრუირების დროს, რომლის ფუნქციონირებაშიც ადამიანს ძირითადი როლი განეკუთვნება, ძირითადი ყურადღება უნდა მიექცეს ისეთ მოთხოვნებს, როგორიცაა ადამიანისათვის მზაობის უზრუნველყოფა. სასიამოვნო სამუშაო პირობების შექმნა, უნდა იქნას გათვალისწინებული სამუშაო ადგილის ზომიერი განათება, სამუშაო ოთახისა და სამუშაო ნივთების შეღებვა, ნაკლები ხმაური, ვიბრაცია. ზომიერი ტემპერატურა და ა. შ. დადგენილია, რომ ფერები იწვევენ ასეთ ფსიქოლოგიურ ასოციაციებს: მუქი ცისფერი — ღამის, სიცივის, მოყვითალო — სითბოს და ა. შ.

ფერს შეუძლია თითქოს და გააფართოვოს სივრცე, შეცვალოს გარემოს პროპორციები, შეამკიროს ან აამაღლოს შრომისნაყოფიერება. მაგალითად, გრძელი და ვიწრო გვირაბი, რომლის ერთ მხარესაც ჩვენ ვდგევართ, შეიძლება მოგვეჩვენოს უფრო ფართო, თუ გვირაბის მეორე ბოლო შეღებილია თბილი ფერებით (წითელი, ნარინჯის ფერი). თუ ოპერატორის სამუშაო ხელსაწყო შეღებილია წითელი ფერით, მუშაობის დაწყებიდან დაახლოებით 40—60 წუთის განმავლობაში შრომისნაყოფიერება საგრძნობლად იზრდება. შემდეგ კი მკვეთრად ეცემა.

ადამიანის შრომისნაყოფიერებას აქვეითებს რუხი და ბნელი ფერის მოწყობილობებზე მუშაობა. თბილი ფერები გამამხნეველად მოქმედებს, ცივი ფერები (ლურჯი, ცისფერი) კი — დამამშვიდებელია და მოწყენილობის გამოიწვევი. ფერი გამოყენებულია სხვადასხვა სიტუაციების ინდიკაციის საშუალებად: უსაფრთხოებისათვის ცივი ფერი, საშიშროების აღსანიშნავად — თბილი. გერმანელმა მეცნიერებმა გამოიანგარიშეს, რომ ფერებისა და განათების სწორი გამოყენებით შრომისნაყოფიერება 25%-ით ამაღლდა.¹ შრომისნაყოფიერების ამაღლებისათვის დიდი მნიშვნელობა ენიჭება ისეთ „წერილმან“ საკითხებსაც, როგორცაა ოპერატორის პოზა, მის წინ კლავიატურისა და ინდიკაციის საშუალებათა

¹ „მეცნიერება და ტექნიკა“ N2, 1976.

განლაგება¹. ცხრილებში (8 და 9) მოცემულია ოპერატორის მიერ ინფორმაციის მხედველობითი ფიქსაციის საშუალო დროის სხვადასხვა მნიშვნელობები ანუ ადამიანის თვალის ობიექტზე შეჩერების დრო. ცხრილებიდან ჩანს, რომ ინფორმაციის მონახვის დრო დიდადაა დამოკიდებული ინფორმაციის კოდირების სახეზე და ამოცანის სირთულეზე.

ც ხ რ ი ლ ი 8

რიგ	სხვადასხვა სახის ინფორმაციის მხედველობითი მონახვის ამოცანის დასახელება ²	დაფიქსირების საშუალო დრო (წამებში)
1	მარტივი გეომეტრიული ფიგურების მონახვა	0,16—0,20
2	ასოებისა და ციფრების მონახვა ცხრილებში	0,30
3	პირობითი ნიშნების მონახვა	0,30
4	ასო-ციფრული სახის ფორმულარების მონახვა	0,31
5	ლოკატორის ეკრანზე მიზნის მონახვა	0,37

ც ხ რ ი ლ ი 9

რიგ	ერთგვაროვანი ინფორმაციის მხედველობითი ფიქსაციის ამოცანის დასახელება	დაფიქსირების საშუალო დრო (წამებში)
I. ციფრულ ცხრილებზე მუშაობა		
1	ციფრების მონახვა	0,20
2	მარტივი ალგორითმით მონახვა	0,36—0,40
3	რთული ალგორითმით მონახვა	0,60
II. პირობით ნიშნებთან მუშაობა		
1	პირობითი ნიშნების მონახვა	0,25—0,33
2	პირობითი ნიშნებით აღნიშნული სიტუაციის გაცნობა	0,635
3	პირობითი ნიშნებით აღნიშნულ ნაცნობ სიტუაციაში, ცვლილებების შეჩვენება	0,55
4	პირობითი ნიშნების ანვარიში	0,517

¹ კონსტრუქციის გავლენით ოპერატორთა მუშაობაში დაშვებული შეცდომების ლევიდაცია წარმოადგენს საინჟინრო ფსიქოლოგიის ერთ-ერთ ძირითად მიმართულებას, რომელიც ვითარდება როგორც ჩვენს ქვეყანაში, ისე საზღვარგარეთაც.

² ცხრილები შედგენილია ი. პი პ ე რ ე ი ტ ე რ ი ს, ზ. გ ე რ ა ტ ე ლ ი ს, ვ. ზ ი ნ ე ნ კ ო ს, ე. მ ო ზ გ ო ვ ო ი ს და სხვათა მონაცემების საფუძველზე (იხ. მაგალითად З и н ч е н к о В. П. — Некоторые способы повышения оперативности процессов приема и переработки информации человеком-оператором. «Инженерная психология», изд-во «Знание» М., 1967, გვ. 9—18.

მეცნიერებისა და ტექნიკის განვითარების თანამედროვე ეტაპი ახლებურად აყენებს საკითხს ადამიანისა და პერსპექტიული ტექნიკური მოწყობილობის ურთიერთქმედების შესახებ. დღევანდელ და უახლოეს 10—20 წლის პერსპექტიულ ტექნიკურ მოწყობილობათა რიგში უდაოდ ერთ-ერთი ძირითადი ადგილი უჭირავს ინფორმაციის ვიზუალური ასახვის მოწყობილობას, ე. წ. „დისპლეის“ (ინგლისური სიტყვიდან „დისპლეი“ — ასახვა, ეკრანი). მოწყობილობა „დისპლეი“ წარმოადგენს სპეციალურ სატელევიზიო ეკრანს, რომელსაც მიერთებული აქვს საბეჭდი მანქანის მსგავსი კლავიშებიანი პულტი (ნახ. 22).



ნახ. 22. თბილისის უნივერსიტეტის გამოყენებითი მათემატიკის ინსტიტუტში ყველაზე მძლავრ საბჭოთა ე. წ. მანქანა ბესმ—რ-თან ავტორის ხელმძღვანელობით მიერთებული ერთ-ერთი ეკრანიანი პულტი (დისპლეი), რომლითაც ადამიანი აწარმოებს „დაალოგს“ მანქანასთან.

არსებობს ორი ტიპის დისპლეი: ალფაბეტურ-ციფრული და გრაფიკული.

უკანასკნელში ინფორმაცია შეაქვთ არამარტო კლავიშებიანი მოწყობილობით, არამედ ე. წ. „ელექტრონული ფანქრით“ ან „ელექტრონული

კალმიძე“. კლავიშების საშუალებით ადამიანს შეუძლია მისთვის სასურველი ინფორმაცია გადაიტანოს ეკრანზე, იქიდან კი გადასცეს დისტანციურად დამორებული ე. ც. გ. მანქანაში და ამრიგად, დაამყაროს დიალოგი მანქანასთან რამდენიმე კმ-დან რამდენიმე ასეულ კილომეტრამდე. უკანასკნელი თავის შედეგებს ადამიანისათვის გამოიტანს იგივე სატელევიზიო ეკრანზე. დისპლეის საშუალებით ადამიანი ხდება დიდი ტექნიკური სისტემის მმართველი.

ადამიან-ოპერატორის მოქმედებაში შეჰყავს ტექნიკურ საშუალებათა მთელი კომპლექსი. ადამიანი, როგორც სისტემის კვანძის ერთ-ერთი ძირითადი ნაწილი, აერთიანებს დიდი ავტომატიზირებული სისტემის სხვადასხვაგვარ კომპონენტებს, ამასთან წარმოადგენს ინფორმაციის არამართო მიმღებს, შემნახველს და გარდაქმნელს, არამედ წყაროსაც. ამიტომ ადამიანსა და ე. ც. გ. მანქანას შორის ფუნქციების სწორი განაწილებით შესაძლოა საიმედო სისტემის აგება მცირე ეკონომიკური დანახარჯებით. ასეთ რთულ სისტემებში ადამიანის პირად თვისებებსაც დიდი მნიშვნელობა ენიჭება. მართლაც, რთული კიბერნეტიკული სისტემა, კოსმოსური ხომალდი, საჰაერო მოძრაობის ავტომატიზირებული (რაკეტ-მზიდი, სარაკეტო დანადგარი და სხვ.) თუ წარმოების მართვის სისტემები წარმოუდგენელია მრავალმხრივ მომზადებული, შემოქმედებითად მოაზროვნე, მაღალი პასუხისმგებლობის მქონე პიროვნების გარეშე, ასეთი რთული სისტემების საიმედოობა ტექნიკური პროგრესის მისაღწევად მთავარ პრობლემას წარმოადგენს და ადამიანის მუშაობის საიმედოობაზეცაა დამოკიდებული.

ადამიან-ოპერატორის საიმედო მუშაობა საინჟინრო ფსიქოლოგიის თვალსაზრისით მასზე დაკისრებული ფუნქციების დროის მოცემულ მომენტში ზუსტად და უშეცდომოდ შესრულებაა. ხაზი უნდა გაესვას ადამიან-ოპერატორის რთულ სისტემაში მოქმედების ერთ თავისებურებას. ადამიანს არ შეუძლია დიდი ხანი არსებობდეს ინფორმაციის ნაკადის შემოქმედების გარეშე. წინააღმდეგ შემთხვევაში ადგილი აქვს ე. წ. სენსორულ შიმშილს, რომლის დროსაც ადამიანი ნორმალურად ვერ მართავს სისტემას. იქმნება ისეთი მდგომარეობა: თითქოს ადამიანი მოემზადებელია რთული სიტუაციებისთვის. დიდ სისტემაში ადამიანი უწყვეტად უნდა იღებდეს ინფორმაციას არა მართო გამომთვლელი მოწყობილობებიდან (დისპლეები, საინდიკაციო მოწყობილობები), არამედ გარემო პირობებიდანაც, რომლებიც მოქმედებენ არამართო მასზე, არამედ სისტემაზეც. ამიტომ ხშირ შემთხვევებში დიდი სისტემების, მაგალითად,

კოსმოსური ზომალდის საიმედოობის ამალღებისათვის ყურადღებას აქცევენ აგრეთვე ადამიანთა შერჩევას ფსიქოფიზიოლოგიური თვალსაზრისითაც.

ადამიანისა და მანქანის უშუალო კავშირის ერთ-ერთი საკვანძო ნაწილია ასახვის მოწყობილობასა და ადამიანის ანალიზატორს შორის კავშირი. სწორედ ამ ანალიზატორის საშუალების ეცვ მანქანა ურთიერთ-მოქმედებაშია ადამიანთან. ადამიანის ანალიზატორული სისტემა მრავალ-არხიანი სისტემაა, რომელიც რეაგირებს ოპტიკურ, აკუსტიკურ, მექანიკურ და სხვა მატერიალურ პროცესებზე. მანქანასთან ურთიერთქმედების პროცესში, რაც ძირითადად ინფორმაციის ვიზუალური ასახვის მოწყობილობების საშუალებით მიმდინარეობს, ძირითადი დატვირთვა მხედველობით ანალიზატორზეა. ამიტომ ასახვის მოწყობილობის სწორად აგებისათვის, პირველ ყოვლისა, საჭიროა მხედველობის სისტემის აგებულებისა და მახასიათებლების საკმაოდ კარგად ცოდნა, ხოლო მეორე მხრივ ისეთი პარამეტრების ცოდნა, რომელთა შეფასება დამოკიდებულია საინჟინრო-ფსიქოლოგიაზე. ასეთია შემდეგი პარამეტრები: ტელეეკრანზე ნიშნების, სიმბოლოების, რიცხვების ზომა, მათი სიკაშკაშე, კონტრასტულობა, ინფორმაციის გამეორების სიხშირე; აღფაბეტის, სიმბოლოსა და რიცხვის ფორმის შერჩევა; სამუშაო ადგილზე ასახვის მოწყობილობის რაციონალურად განლაგება, ოპერატორის შრომისუნარიანობასა და დაღლილობის საკითხები, ტექნიკური ესთეტიკის მოთხოვნები. ეკრანზე ნებისმიერი ნიშნის გარჩევისათვის საკმარისია ნიშნის ზომა ეთანადებოდეს ხედვის კუთხის არანაკლებ 5 წუთს. ადამიანიდან ეკრანამდე მანძილი უნდა შეადგენდეს 40 სმ.¹ სწორად ხმარობენ დაკვირვებას სტანდარტული მანძილით — 45,7 სმ, რომლის დროსაც ნიშნის შინამალური ვერტიკალური ზომა უნდა იყოს 1.27 მმ, რეკომენდებული ზომა სამჯერ მეტი უნდა იყოს (3,8 მმ). უკანასკნელის გამოყენებით ტელეეკრანის ბნელ ფონზე მკაფიო ნიშნების სიდიდეები ასეთი უნდა იყოს: ნიშნის სიგანე სიმაღლის 3,5-ის ტოლია, კონტურის სისქეა 1/8 სიმაღლე, ნიშნებს შორის მანძილი კი ნიშნის სიგანის 1/2.

კონტრასტულობა K , — ნიშნისა B_1 და ფონის B_2 სიკაშკაშის სხვაობის შეფარდება ფონის სიკაშკაშესთან. — შეიძლება გამოითვალოს ფორმულებით.²

1. იხ. Л о м о в Б. Ф. — Человек и техника. Очерки инженерной психологии. Изд-во «Советское радио», М., 1966, гл. 5—24.

2. იხ. С о л о в е й ч и к И. Е., Д р а б к и н Р. И., Я р м а р к и н К. К. — Электронные устройства отображения информации в автоматизированных системах связи. Изд-во «Связь», М., 1973, гл. 122—223.

$$K = \frac{B_3 - B_6}{B_3} 100\%, \text{ თუ } B_3 > B_6 \text{ (პირდაპირი კონტრასტი);}$$

$$K = \frac{B_6 - B_3}{B_6} 100\%, \text{ თუ } B_6 > B_3 \text{ (უკუკონტრასტი).}$$

კონტრასტულობის სიდიდე იცვლება 0-დან 100%-მდე. $K=10-20\%$ — უღი, $K=50\%$ — საშუალო და 50%-ზე მეტი კარგი კონტრასტულია.

$K=85-90\%$ ტელეეკრანის ოპტიმალური კონტრასტულობაა. რიცხვების გამოსახულებისათვის ასახვის მოწყობილობაში ძირითადად იყენებენ ბერგერის შრიფტებს, რომლის მოხატულობისთვის გამოყენებულია მხოლოდ სწორხაზოვანი ელემენტები. ეკრანზე ინფორმაციის გამეორების დიდი სიხშირით ასახვის გამო ოპერატორის თვალი ინფორმაციას უწყვეტი სახით ღებულობს. მცირე გამეორების სიხშირის დროს კი ხედავს ნიშნების ხანმოკლე ანთებას. სიხშირეს, რომლის დროსაც ნიშნები არ ჩანს, ციმციმს უწოდებენ. ციმციმის კრიტიკულ სიხშირეს (იზომება ჰერცებში ანუ რხევა-წამებში). მისი სიდიდე ჩვეულებრივ 50 ჰერცის ტოლია. ეკრანზე ნიშანთა საერთო რიცხვის N სიდიდე დამოკიდებულია კრიტიკულ სიხშირეზე f , ერთი ნიშნის ასახვის t დროზე, ნიშნიდან ნიშანზე გადასვლის t_1 და ბწყარიდან ბწყარზე გადასვლის t_2 დროებზე (მიკროწამები)

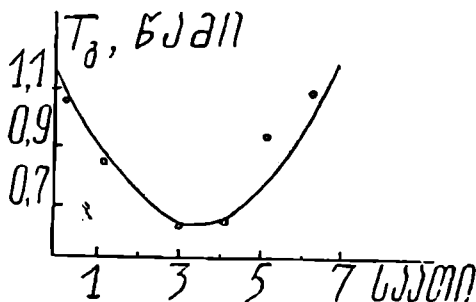
$$N = \frac{10^6}{f(t_1 + t_2 + t)}$$

ტიპური სიდიდეებისათვის $f=50$ ჰერცი $t_1+t_2=15$ მიკროწამი, $t=20$ მიკროწამი, $N=570$. ეს სიდიდე შეესაბამება მეორე კლასის ვიზუალური ასახვის მოწყობილობას.

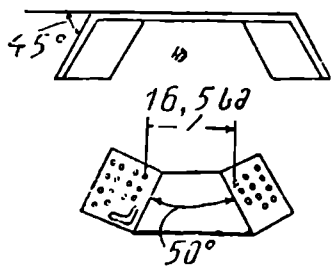
ა და მ ი ა ნ - ო პ ე რ ა ტ ო რ ი ს შ რ ო მ ი ს უ ნ ა რ ი ა ნ ო ბ ა ანუ გარკვეული ამოცანის მოცემულ დროში გარკვეული სიზუსტითა და ხარისხით შესრულების თვისება ძირითადად განისაზღვრება ადამიანზე დამოკიდებული (სუბიექტური) და მისგან დამოუკიდებელი (ობიექტური) ფაქტორებით. სუბიექტური ფაქტორებია ადამიანის გამოცდილება, ფსიქოლოგიური მდგომარეობა სამუშაო პერიოდში, წლოვანება, სქესი და სხვ. ობიექტურს ეკუთვნის საინფორმაციო ფაქტორი, რაც დამოკიდებულია გადასამუშავებელ ინფორმაციაზე, და ტექნიკურ მახასიათებლებზე (ტემპერატურა, ხმაური, განათება და სხვ.). სუბიექტური ფაქტორებიდან აღსანიშნავია ფსიქოფიზიოლოგიური მდგომარეობა სამუშაო პროცესში, რაც ძირითადად

თაღად გამოჩნდება ხოლმე სისტემის „საავარიო“ სიტუაციებში სამუშაოთი დატვირთვისას, ზემოაღნიშნული სენსორული შიშვლის დროს.

აღამიანი სრომის უნარიანობის დაქვეითების მიზეზები შეიძლება იყოს სამუშაოზე ან ოქანში უთანხმოება, კოლექტივთან ურთიერთობის გაფუჭება და სხვ. აღამიანი-ოპერატორი მართვისა და კონტროლის სისტემაში რთული სიტუაციების შემთხვევაში მუშაობისას ერთი და იგივე მოცულობის ინფორმაციის გადამუშავებას სამუშაო დღის განმავლობაში სხვადასხვა დროს ანდომებს. ოპერატორის მიერ ინფორმაციის გადამუშავების T_g დროს დამოკიდებულება სამუშაო დროზე (7 საათიანი სამუშაო დღე 30 წუთიანი შესვენებით) მოცემულია ნახ. 23-ზე. გამოსაცდელი ოპერატორი სამუშაოს შესრულებას დასაწყისში და ბო-



ნახ. 23. სამუშაო დღის სხვადასხვა ეტაპზე ოპერატორის მიერ ინფორმაციის გადამუშავების დრო.



ნახ. 24. K-კლავიატურის სქემატური გამოსახულება

ლო ეტაპებზე 1,5-ჯერ მეტ დროს ანდომებს. ვიდრე შუა ეტაპზე. ობიექტური ფაქტორებიდან აღსანიშნავია გარემო პირობები. დიდია ხმაურის წინააღმდეგ ბრძოლის მნიშვნელობა (ხმაურის წყაროს შემცირება, ოთახის ხმისაგან იზოლაცია). ოთახში, სადაც დაწვებულია ხმაშალამო-ლაპარაკე მოწყობილობა, ხმაურის დონე 70 დეციბელს არ უნდა აღემატებოდეს. ვიბრაციასაც უარყოფითი გავლენა აქვს სრომის ნაყოფიერებაზე. მართვის სახელურის 36÷600 ჰერცამდე დიაპაზონში სისტემატურ ვიბრაციას შეუძლია გამოიწვიოს ხელის ავადმყოფობა. 10 ჰერციდან—130 ჰერცამდე, 0,025 მმ ამპლიტუდას სისტემატურ ვიბრაციებს შეუძლია მხედველობის დაქვეითება.

აღამიანი-ოპერატორები, მბეჭდავი-მემანქანე, ეცგ მანქანების ოპერატორები, რომლებიც მანქანის პერფორმანსების დასამზადებლად მუშაობენ „კონსულის“ და სხვადასხვა ტიპების ელექტრონულ კლავი-

შებან საბეჭდ მიწყობილობაზე, ასევე ფოსტა-ტელეგრაფის მუშაყე-ბი, რომლებიც ტელეგრაფების გადაცემა-მიღების საბეჭდ მანქანაზე მუშაობენ, ოპერატორები, რომლებიც ამოცანებს ხსნიან ეცგ მანქანებზე (ნახ. 21), საბეჭდი მანქანის ან მის მსგავს კლავიშებიან მოწყობილობებთან არიან დაკავშირებულნი. ოპერატორების შრომისნაყოფიერების გაზრდის მიზნით ინჟინერ-ფსიქოლოგები ცდილობენ კლავიშებიანი მოწყობილობის მოხერხებული ფორმების მონახვას. გერმანელმა ა. კრომერმა¹ ჩაატარა ჩვეულებრივ საბეჭდი მანქანის კლავიატურისა და ე. წ. K-კლავიატურის გამოყენების ექსპერიმენტული შედარებები. ექსპერიმენტებში მონაწილეობდა 12 სტუდენტი გოგონა, რომლებსაც საბეჭდ მანქანაზე არასოდეს ემუშავათ. „K-კლავიატურა“ წარმოადგენს ჩვეულებრივი საბეჭდი მანქანის სახესხვაობას, რომლის კლავიშები გაყოფილია ორ ჯგუფად. უახლოესი მანძილი ამ ჯგუფების კლავიშებს შორის შეადგენს 16,5 სმ (ნახ. 24). ასეთი ტიპის კლავიატურა ხელსაყრელია ათივე თითის დახმარებით ბრმა მეთოდით ბეჭდვისათვის, ამასთან მარცხენა ხელი მუშაობს კლავიატურის მარცხენა ჯგუფთან, მარჯვენა ხელი—მარჯვენა ჯგუფთან. თორმეტივე შერჩეული სტუდენტი რამდენიმე თვის განმავლობაში ხან ერთ, ხან მეორე საბეჭდ მანქანაზე სწავლობდა ერთიდაიგივე წინადადების ბეჭდვას გერმანულ ენაზე. წინადადება შეიცავს გერმანული ანბანის ყველა ასოს. სტატისტიკური მონაცემებით აღმოჩნდა, რომ „K-კლავიატურაზე“ მუშაობისას სტუდენტები ერთიდაიმავე წინადადებების ბეჭდვის დროს ნაკლებ შეცდომას უშვებდნენ, ვიდრე ჩვეულებრივ საბეჭდ მანქანაზე. ამასთან 11 სტუდენტს „K-კლავიატურაზე“ ბეჭდვა უფრო მოსწონდა, ვიდრე ჩვეულებრივ კლავიშებიან მანქანაზე. სტუდენტებმა აღნიშნეს, რომ „K-კლავიატურაზე“ მუშაობისას ხელის არეში და სახსრებში ნაკლებად გრძობდნენ ტკივილს (61%), ვიდრე ჩვეულებრივ საბეჭდ მანქანაზე (81%). ამ მაგალითის მიხედვით, ჩანს რომ სტატისტიკური მეთოდების საშუალებით შესაძლებელია გამოირიცხოს საერთო დასკვნის სუბიექტურობა.

ამრიგად, ნებისმიერი მართვის ავტომატიზირებული სისტემის შექმნისათვის, რომელშიაც ადგილი აქვს „ადამიანი-მანქანის“ წყვილის ურთიერთქმედებას, აუცილებელია საკითხების ინჟინრული და ფსიქოლო-

¹ ახ. K r o e m e r K. H. E.—Vergleich einer normaler Schreibmaschinentastatur mit einer „K-Tastatur“, — Internat. Zeitschrift angew. Physiol., 1965, 20, №6, გვ. 453—464.

გიური დამუშავება. საინჟინრო ფსიქოლოგიის ძირითადი ამოცანა მდგომარეობს იმაში „... რომ „ადამიანი-მანქანის“ სისტემის ამოცანიდან გამომდინარე, შემუშავდეს ადამიანის შემოქმედების პროექტი და მის საფუძველზე განისაზღვროს ტექნიკური მოწყობილობებისადმი მოთხოვნები, ადამიანის შრომითი შემოქმედების დონის მეცნიერულად დასაბუთებული განმარტების თანახმად ასეთი გზით შესაძლებელია სისტემის ეფექტურობისა და საიმედოობის ამაღლება.“¹

¹ იხ. Психология и научно-технический прогресс. «Коммунист», июль, №116, 1971.

თანამედროვე და მომავლის ხელოვნური ინტელექტი

თუ ადამიანსა და ელექტრულ ციფრულ გამოთვლით მანქანას განვიხილავთ, როგორც ინფორმაციის წარმომქმნელ, გარდამქმნელ და გამომცემ კიბერნეტიკულ სისტემებს, შევნიშნავთ შემდეგ გარემოებას: ადამიანის ღირსება ე ც გ მანქანასთან შედარებით იმაში მდგომარეობს, რომ:

1. ადამიანს თავისი გონებრივი და ფიზიკური უნარის აღდგენა შეუძლია როგორც შეგნებულად, ასევე ინსტინქტურად (მაგალითად, როცა ადამიანი იღლება, თავის ტვინის ქსოვილებს ავტომატურად მოიცავს „დამცავი დამუხრუჭება“).

2. ადამიანი წარმოადგენს უმაღლესი რიგის თვითმაპროგრამებელ ბიოლოგიურ მანქანას. იგი ამით განსხვავდება ყველა თანამედროვე ე ც გ მანქანისაგან.

3. ადამიანს შეუძლია თავისი მოქმედების პროგრამა მიუსადაგოს მოულოდნელ ინფორმაციას ან სიტუაციას (ე. წ. ადაპტაციის შესაძლებლობა).

4. ადამიანის მახსოვრობის მოცულობა (12—14 მილიარდი ნეირონი მათ შორის ტრილიონი კავშირით) და ლოგიკური აზროვნების უნარი (იხ. ქვესათაური ალგორითმების „კოცხალი“ სისტემა“) რამდენიმე რიგით მაღალია, ვიდრე ე ც გ მანქანისა.

5. ადამიანს გააჩნია გარეშე ინფორმაციის აღმქმელი, უფრო მოქნილი და სრულყოფილი მოწყობილობა, ვიდრე ე ც გ მანქანას.

ადამიანის ნაკლად შეიძლება ჩაითვალოს შემდეგი:

1. ადამიანი ლოგიკურ პროცესებს (მსჯელობები, ფორმულების გამოყვანა და ა. შ.) ხსნის ძალზე ნელა, ვიდრე მანქანა.

2. ასეთ სისტემაში (ადამიანში) მონაცემების შეტანა (შესწავლის პროცესი, ამოცანის პირობებში გარკვევა და ა. შ.) და ამ „სისტემიდან“ რეზულტატის გამოტანა მიმდინარეობს 6000-ჯერ და მეტად უფრო ნელა, ვიდრე თვით ლოგიკური პროცესების მიმდინარეობის ხანგრძლივობაა.

3. ადამიანი უფრო ადრე იღლება, ადვილად სცდება გამოთვლებში. შევეცადოთ გავარკვიოთ, თუ რა შეიძლება ვიგულისხმოთ „ხელოვნური ტვინის“ ქვეშ. ეს საკითხი იგივეა, რაც ვუპასუხოდ კითხვაზე: „შუქლია თუ არა მანქანას იაზროვნოს?“ ან „გონიერია თუ არა მანქანა?“

კიბერნეტიკის ერთ-ერთი ფუძემდებელი ინგლისელი უ. რ. ე შ ბ ი აღნიშნავს, რომ „გონიერად შეიძლება ჩაითვალოს სისტემა (მანქანა — რ. ბ.), რომელსაც შეეძლება გააკეთოს სასურველი ამორჩევა. სხვა სიტყვებით, გონიერია ის, ვინც გონიერულად მოქმედებს“. შემდეგ: „გონიერი მანქანა შეიძლება განვსაზღვროთ, როგორც სისტემა, რომელიც იყენებს ინფორმაციას და მას გარდაქმნის ისე, რომ უმაღლესი ამორჩევის ხარისხს მიაღწიოს“.¹ ამ განმარტებით თანამედროვე ე ც გ მანქანები წარმოადგენენ გონიერ, „მოაზროვნე“ ავტომატებს. აკადემიკოს ა. კ ო ლ მ ო გ ო რ ო ვ ი ს მტკიცებით, „სამართლიანობა მოითხოვს, რომ ცოცხალი არსების საკმაოდ სრულ მოდელს ერქვას ცოცხალი არსება, ხოლო მოაზროვნე არსების მოდელს, კი მოაზროვნე არსება“².

ჯ. ფ ო ნ ე ი მ ა ნ ი, ა. მ. ტ ი უ რ ი ნ გ ი, ა. კ ო ლ მ ო გ ო რ ო ვ ი, ფ. რ ო ზ ე ნ ბ ლ ა ტ ი, მ. მ ი ნ ს კ ი, უ. მ ა კ - ა ლ ო ხ ი, კ. შ ტ ე ი ნ ბ უ ხ ი, ვ. ჭ ა ვ ჭ ა ნ ი ძ ე და სხვა ცნობილი მეცნიერები, ინტელექტუალური ავტომატების, ხელოვნური ტვინის შექმნის შესაძლებლობის თეორეტიკოსები, გონიერი მანქანის ქვეშ გულისხმობენ ადამიანის ტვინის ანალოგიური მოქმედების პრინციპებზე აგებულ ლოგიკურ კონსტრუქციებს, რომლებიც აღიქვამენ და გარდაქმნიან შეტანილ ინფორმაციას. ეს კონსტრუქციები შეიძლება აღიწერებოდეს სპეციალური მათემატიკური აპარატებით (მაგალითად, განშტოებული ნეირონული ბადე მ ა კ - ა ლ ო ხ ი ს ა და პ ი ტ ს ი ს ა, კლასიკური სივრცულ-დროითი ავტომატი ვ. ჭ ა ვ ჭ ა ნ ი ძ ი ს ა, ევრისტიკული მეთოდები და ა. შ.). ამ კონსტრუქციებში ლოგიკური ოპერაციები შეიძლება განხორციელდეს არა მარტო, მაგალითად, ნახევარგამტარულ დიოდებზე და ტრანზისტორებზე ან მყარ ინტეგრალურ სქემებზე აგებულ მაქსოვრობის და ინფორმაციის მაფორმირებელ ელემენტებზე, არამედ ნეირონის მოქმედების პრინციპზე აგებულ ინფორმაციის შენახვისა და გარ-

1. ივ. Эшби У. Р. — Что такое разумная машина. Сб. «Возможное и невозможное в кибернетике. Изд-во «Наука». М., 1968, гл. 35—47.

2. ივ. Колмогоров А. Н. — Жизнь и мышление с точки зрения кибернетики. В кн.: А. И. Опарин «Жизнь, ее соотношение с другими формами движения материи», М., 1962, гл. 4.

დაქმნის მოღველებზე (ე. წ. ნეირისტორები და სხვ). ხელოვნური ტვინის მოდელირება გულსახმობას არა ყველა ფუნქციის მოდელირებას, არამედ მარტო იმას, რაც ინფორმაციის აღქმას და გარდაქმნას ემსახურება. მაშალად, ტვინის ყველა ფუნქციის მოდელირება უაზრობაა, რადგან ადამიანს ტვინის გარკვეული ნეირონები ემსახურება, მაგალითად, წონასწორობის დასაცავად სივრცეში, სუნთქვაში და სხვ., რასაც, ბუნებრივად, მანქანისგან ვერ მოვიტხოვთ, მაგრამ ჯერჯერობით ასეთი ხელოვნური ინტელექტი პრაქტიკულად აგებული არაა. აქ სიძნელები არსებობს თვით ტვინში, ინფორმაციის გარდაქმნის მექანიზმის ფუნქციონირების სრულ გარკვევაში და მის ერთიან მათემატიკურ გამოსახულებაში (მოცემული ფორმულის საშუალებით ყოველთვის შესაძლებელია შესაბამისი ტექნიკური რეალიზაცია). როგორც ცნობილი ფიზიოლოგი, სსრკ მეცნიერებათა აკადემიის ნამდვილი წევრი ნ. ა მ თ ს ი ვ ი წ ერს:¹ „ადამიანთა კოლექტიური შრომის შედეგად შესაძლებელია ზეკაცის მოდელის შექმნა. ესაა ძნელია წინასწარ ვიცოდეთ მისი პროგრამები, რადგანაც ის გადაგვაქარბებს გონებრივად, მაგრამ შეკვიძლია ვიფიქროთ, რომ ამ „მანქანას“ ექნება, პირველ ყოვლისა, რაოდენობრივი ვანსხვ ვება — ინფორმაციის დამუშავების უზარმაზარი მოცულობა და იმის უნარი, რომ გამოიყოს უფრო დიდი თვისება — კოდები. მას შეეძლება გაიგოს ძალზე რთული შეკითხვები, რასაც ცალკეული ადამიანები ვერ გარკვევენ. მისი გრძნობის სფერო, შესაძლია მოიცავდეს ბევრი პიროვნების მოდელს, მთელი კაცობრიობის მოდელს“.

ჩვენი დროის უდიდესი მეცნიერების აწ განსვენებულების ჯ. ფ ო ნ ნ ე ი მ ა ნ ი ს ა და ა. ტ ი უ რ ი ნ გ ი ს შრომებში მკაცრად დაამტკიცებული, რომ ლოგიკურად შესაძლებელია არა მარტო სევით-შემსწავლელი მანქანის აგება, არამედ ისეთი მანქანის აგებაც, რომელიც თვითონ ქმნის უფრო რთულ მანქანას.

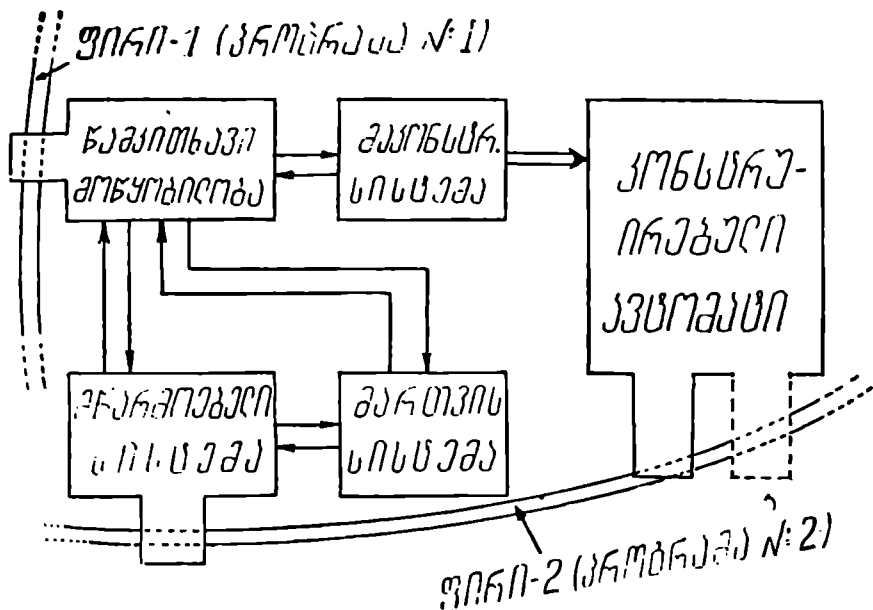
ასეთი მანქანა-კონსტრუქტორის ფონ ნეიმანისეული მოდელი შედგება უჯრედებისაგან, რომელიც ხასიათდება 29 მდგომარეობით; თითოეული უჯრედი შეიცავს 10 მარტივ ელემენტს, რომელთაც გააჩნიათ ინდივიდუალური ფუნქციები. განვიხილოთ ცალკეული ელემენტების დანიშნულებები. ერთ-ერთი ელემენტი გამოსახავს უჯრედის „თავისუფალ“ მდგომარეობას, რომელიც დროის ამ მომენტში მანქანის (ავტომატის) „სამშენებლო მასალას“ წარმოადგენს. მეორე ელემენტი აერთიანებს სამსხვადანსეა ლოგიკური ოპერაციით განსაზღვრულ ფუნქციებს:

¹ იხ. Амосов П. — Моделирование мышления и психики, Киев, 1965, გვ. 16--22.

ა) კონიუნქცია („კი“-სქემა), ბ) ორმაგი დაყოფნება, გ) განშტოება. 4 ელემენტი აწარმოებს დიზიუნქციის („ან“-სქემა) ფუნქციას, ან დაყოფნას. დანარჩენი 4 ელემენტი წარმოადგენენ სპეციალურ გადამცემ ელემენტებს და გამოიყენებიან უჯრედების მდგომარეობების გადასაყვებად. 10 ელემენტში შედის ნეირონის ან ტრიგერის ტიპის ელემენტები, შემათანხმებელი ელემენტი სხვა ელემენტის აღმოსაჩენად საჭირო უჯრედის მდგომარეობის შესაცვლელი ელემენტა. ამ ელემენტების ელექტრონულ-ლოგიკური შეკავშირებებით შეიძლება შედგეს სხვადასხვა ტიპის მანქანა, მათ შორის უნივერსალური ე.ც.გ. მანქანა (მათლად. უნივერსალური ელექტრონულ-ცენტრულ გამოთვლელი მანქანები შეიცავენ დაახლოებით 10 ტიპის ელემენტსა და მათ სახესხვაობას, მაგრამ შეუძლიათ აწარმოონ ყველა შესაძლო ლოგიკური ოპერაცია და ბრძანება).

მანქანა-კონსტრუქტორის სამოქმედო პროგრამა № 1 ჩაწერილია უსასრულოდ გრძელ ფირზე (ნახ. 25), სადაც თავდაპირველად მოცემულია უჯრედთა დიდი რაოდენობა, რომელიც გარშემორტყმულია „თავისუფალი“ ადგილებით (უჯრედი). ავტომატის კონსტრუირების პროცესში ხდება არაავზნებული ელემენტის გადასვლა ერთ-ერთ საჭირო მდგომარეობაში.

უნივერსალური მანქანა-კონსტრუქტორის ზოგადი სქემა (პლან-სქემა) შედგება ფირზე ჩაწერილი ინფორმაციის (პროგრამა) წამკითხავი მოწყობილობისაგან, მართვის შემსრულებელ (მწარმოებელ) და მაკონსტრუირებელ სისტემისაგან (ნახ. 25). ფირზე ჩაწერილია I მანქანის მიერ ასაგები კონსტრუქციის, ელემენტების გადათვებისა, სინთეზირებისა, და ზოგიერთი ლოგიკური კავშირების გაუმჯობესის ინფორმაცია, ამასთან ერთად ამ ფირზე ჩაწერილია მონაცემები, რომლებიც საჭიროა №2 პროგრამის დასამზადებლად და ძეოზე ფირზე ჩასაწერად. მანქანა-კონსტრუქტორის მოქმედების პრინციპი შემდეგში მდგომარეობს: ფირის ინფორმაციის წამკითხავი მოწყობილობიდან მისვლა ბრძანებით მართვის მოწყობილობა ვამოამუშავენს კონსტრუირებელი სისტემის მუშაობისათვის საჭირო სიგნალებს მიმდევრობას. ეს სისტემა, თანახმად სამკეშო №1 პროგრამის ტაქტთან, აკავშირებს II მანქანას დეტალებს, ხოლო მწარმოებელი სისტემა აწარმოებს II მანქანის ფირში I მანქანის ფირის ანალოგიური №2 პროგრამის ჩაწერას, ამასთან №2 პროგრამა შეიცავს №1 პროგრამის ასლსაც. მანქანა-ასლს ჯერ კიდევ არ ექნება თვითმყოფადობის ინსტრუქცია (პროგრამა). ეს სიმწლე გადა-



ნ. ხ. 25. ნ ე ი მ ა ნ ის ე უ ლ ი მ ა ნ ქ ა ნ ა - კონსტრუქტორის ზოგადი სქემა.

ლახულ იქნება, თუ II მანქანისათვის სამუშაო პროგრამით დამზადდება I მანქანის ანალოგიური პროგრამის კოპირებისა და მარტოვის სისტემები. ამ შემთხვევაში მანქანათა გამრავლება ხდება ასეთი წესით: პირველი მანქანა შექმნის თავის ანალოგს და ორ აღნიშნულ სისტემას. მარტოვის მოწყობილობის ბრძანებით მწარმოებელი სისტემა პირველ ფირზე ჩაწერილ №1 პროგრამას ჩაუშვებს კოპირების ხელსაწყოში და ასლის მიღების შემდეგ ეს უკანასკნელი შეჰყავს მეორე, ახალ მანქანაში; შემდეგ ეს მეორე მანქანა აგებს მესამე მანქანას. ორი აღნიშნული სისტემით და თავისი თავის მესამე ასლით და ა. შ. ხდება მანქანათა გამრავლება (ნიშანდობლივია, რომ დღეს ავტომატურ-პროგრესული წესით აგებენ ტელევიზორებს, რადიომიმღებებს და უფრო რთულ რადიოელექტრონულ სისტემას, მათ შორის ეცგ მანქანის ბლოკებს, გამოთვლით ნაწილებს და სხვ.).

ანალოგიურად ჯონ ფონ ნეიმანისა (1903—1957) ინგლისელმა გენეტიკოსმა ლ. ს. პენროუზმაც წამოაყენა თვითწარმოებადი ავტომატის მოდელი, რომლის დედაარსი მდგომარეობს შემდეგ-

ში: ძირითად ელემენტად მიღებულია ერთგვარი მექანიკური ელემენტები, რომელთაც აქვთ თვისება ერთმანეთის ურთიერთშეჭიდულობისა. ყველა ელემენტი ერთგვაროვანია და მათი შეერთებით შესაძლებელია გარკვეული სტრუქტურის მიღება. ელემენტების ურთიერთშეკავშირებისათვის საჭირო ენერგია მიიღება შემოსაზღვრულ სივრცეში ელემენტების ვიბრაციის (გენერაციის) საშუალებით. თვითწარმოების დასაწყისისათვის იყენებენ გარკვეულ „ჩანასახ“ ელემენტს, რომლის თვისებები განსაზღვრავს საწარმოებელი სტრუქტურის სახეს. თვითწარმოებადი წრედების მოდელს იყენებენ ცოცხალ ორგანიზმში ნუკლეინის მჟავისა და ზოგიერთი მარტივი ორგანული ნაერთების ზრდის პროცესებში.

ჯ. ფონ ნეიმანის საინტერესო იდეა ვრცელდება საკმაოდ რაოდენ მანქანებზე. მისი მტკიცებით, მარტივი მანქანები ქმნიან ასევე მარტივ მანქანებს, ხოლო უფრო რთული კი ისეთ რთულ მანქანებს. რომლებიც სირთულით აღემატებიან თავის თავს. პირველ მიახლოებაში უკვე არსებობს მანქანა-შემოქმედი, რომელიც ადამიანთან ერთად ქმნის ახალ ეცგ მანქანას. მაგალითად, ახალი ურთულესი ეცგ მანქანის რთულ ტექნიკურ პროექტს კონსტრუქტორი აძლევს მანქანას (მესამე თაობის მანქანა. მყარ სქემებზე აგებული). სპეციალური პროგრამით მომუშავე ეს მანქანა ამოწმებს ადამიანის მიერ შედგენილ სქემას და აღნიშნავს მის ნაკლს. კონსტრუქტორი ცვლის ამ ურთულეს სქემებს და რედაქტირებისათვის ისევ მანქანას აძლევს. ამრიგად, ხდება ადამიანსა და მანქანას შორის ინფორმაციის გაცვლა მანამ. სანამ სქემა არ იქნება საბოლოოდ კარგად დამუშავებული, ტექნიკურად და ეკონომიკურად გამართლებული. მანქანისა და კონსტრუქტორის ამ ურთიერთკავშირში ღვება ახალი მანქანის ოპტიმიზებული ზედმიწევნითი სტრუქტურა.

მესამე თაობის ეცგ მანქანის კონსტრუქციებაში დიდი როლი ენიჭებათ ისევ ეცგ მანქანებს, ტრანზისტორებზე აგებულ მეორე თაობის მანქანებს. მესამე თაობის მანქანის მყარ ნახევარგამტარულ სქემებზე აგებისათვის ძირითად პროცესად ითვლება მრავალფენიანი მყარი საბეჭდი მონტაჟის შექმნა. ახალი მანქანის სამონტაჟო სქემის ნახაზები შეიძლება მივიღოთ ავტომატურ კოორდინატოგრაფზე, რომელსაც მონაცემებს ისევ ეცგ მანქანა აძლევს.

დაბოლოს აღვნიშნოთ, რომ დღეს ადამიანსა და ეცგ მანქანას შემოქმედებითი რთული პროცესების დროს რეალურად შეუძლიათ ერთმანეთთან „ლაპარაკი“ ისე, რომ ადამიანი ლაპარაკობს თავის ენაზე, ხო-

ლო მანქანა კი თავის ენაზე, მანქანურ ენაზე. ერთ-ერთ გამოთვლით მანქანას¹ შეუძლია ადამიანის ხმის გარდაქმნა ციფრულ ინფორმაციად. საინტერესოა, რომ ეს გადასვლა ადამიანის ენიდან მანქანურ ენაზე ხდება ზუსტად იმ სიჩქარით, რითაც ადამიანი ლაპარაკობს. გარდაქმნის პროცესში მანქანა აკეთებს ხმის ტალღების ძირითადი ელემენტების ანალიზს (ე. წ. „ფურიეს ჩქარი გარდაქმნის“ მეთოდი). მანქანა ადამიანის ანალოგიურად გამოყოფს ხმების მარტო ძირითად კომპონენტებს, ხოლო უგულვებელყოფს იმას, რაც მანქანაში შესატან სიგნალს ამახინჯებს.

კომპერნეტივის ცნობილი გერმანელი სპეციალისტის კარლ შტიენი² უხიხის სიტყვებით რომ ვთქვათ, ბიონიკას (ბიონიკა აზრის კომპერნეტივის ტექნიკური დარგი, რომელიც ემსახურება ცოცხალი ორგანიზმის ანალოგიაზე დაყრდნობით მმართველი ავტომატების შექმნას) ჩვენს მომავალ ცხოვრებაში ექნება უფრო მეტი გავლენა, ვიდრე ატომური ენერჯის გამოყენებას ანდა კოსმოსის ათვისებას.

ადამიანის ინტელექტუალური შემოქმედება დაკავშირებულია ტვინის პროცესების გარკვეულ ნაწილთან. ამ პროცესების სხვა ნაწილი დაკავშირებულია ტვინის მაღალეფექტურ მმართველ-გამოთვლით ფუნქციებთან. საინტერესოა ის გარემოება, რომ ეს მმართველ-გამოთვლითი ფუნქციონირება ხდება შეგნების ფუნქციის მონაწილეობის გარეშე. ხშირად ტვინი სრულიად უქმად ანგარიშობს. მაგალითად; ფიზიოლოგების ყურადღება მიიქცა იმ ფაქტებმა, რომ იმ საამქროს მუშები, რომელთა მაგილის ქვეშ ეკიდა დღის სინათლის ნათურები, ჩქარა ილღებოდნენ, ვიდრე იმავე საამქროს მუშები, ვისაც არ ჰქონდათ ასეთი ნათურები. გამოიჩინა, რომ ამის მიზეზია ნათურების არასრულყოფა, რაც გამოიხატებოდა მათს უსასრულო ციმციმში. ტვინი, რომელიც ძირითადად საამქროს სამუშაო პროცესით იყო დაკავშირებული, ვერ არჩევდა, ეს ციმციმი საქმეს ეხებოდა თუ არა და მუდამ ითვლიდა ნათურის ციმციმის როლს. ამიტომ, ბუნებრივია ილღებოდა იმ მუშის ტვინი, რომელიც უაზროდ ანგარიშობდა. მეცნიერთა უმრავლესობა ეყრდნობა იმ ფაქტს, რომ გამოთვლილი პროცესები ტვინის შეგნების გარეშე მიმდინარეობენ. ისინი შეისწავლიან ნეირონებისა და ნეირონთა ქსელების მოქმედების საკითხებს. შეგნება არ მონაწილეობს გამოთვლით პროცესებში, რაც გვაძლევს იმის საშუალებას, რომ ადამიანი არც ისე შორეულ მომავალში მაინც გავათავისუფლოთ მომქანცველ აზროვნებათ-გამოთვ-

¹ იხ. Advanced computational processor, „Computer design“, №6, XI, 1967, გვ.67.

ლითი პროცესებისაგან. ამის მიღწევა შეიძლება ადამიანის მანქანასთან პირდაპირი ჩართვის პროცესში. ცნობილი ინგლისელი ბიოკიბერნეტიკოსი ო. ატლი წერს, რომ ას წელზე უფრო ადრე ადამიანის მიერ აზროვნებით-გამოთვლითი პროცესების შესრულება იმდენად უაზროდ მოეჩვენებათ, როგორც ახლა უაზროდ გვეჩვენება ტვირთის გადაზიდვა მუშის ზურგით. ო. ატლის აზრით, ადამიანი მარტო შემოქმედებითი მუშაობისათვის იქნება თავისუფალი. უნდა შევნიშნოთ, რომ ამ შემთხვევაში კიბერნეტიკული მანქანა შეასრულებს არა მარტო უბრალო გამოთვლების ფუნქციას, არამედ დაეხმარება ადამიანს შემოქმედებითი აზროვნების პროცესშიც. ამ მოსაზრების სასარგებლოდ უნდა აღვნიშნოთ შემდეგი გარემოება. საქმე ეხება ადამიანი-მანქანის ელექტრული ურთიერთქმედების, ურთიერთ ელექტრული ჩართვის პრობლემას, რომლის გადაწყვეტა ჯერ არაა განხორციელებული, არაა ჩამოყალიბებული ერთიანი აზრი თავის ტვინის მოქმედების შესახებ, არაა გარკვეული ტვინის ინფორმაციის მიღება — გადამუშავების მექანიზმები, ტვინის მუშაობის ალგორითმული აღწერა. ცნობილია, რომ ადამიანის აზროვნების პროცესში მთელი მისი სიცოცხლის განმავლობაში ქერქში მდებარე 12—14 მილიარდი ნეირონიდან მონაწილეობს მხოლოდ 2—3%-მდე. თუ გავითვალისწინებთ, რომ ბუნებრივი ნეირონების სიგნალები (ჩართვის დროს 0,01—0,0001 წამი, სიგნალის ხანგრძლივობა, 0,005 წამი, ამპლიტუდა — 0,05—0,15 ვოლტი) შეესაბამება თანამედროვე ტექნიკურ მოწყობილობათა სიგნალებს, უკანასკნელთ ზოგ შემთხვევაში უკეთესი მაჩვენებლები გააჩნიათ (მაგალითად, ე. წ. ინტეგრალური ფუნქციონალური სქემები).

ტვინის ორგანიზაციის დაზუსტებასთან ერთად ადვილი შესაძლებელია ადამიანის ტვინის იმ გარკვეული ველის დაკავშირება გამოთვლით მანქანასთან, რომლის ფუნქციაა ადამიანის ტვინში მარტო გამოთვლითი პროცესების სამსახური. ამ შემთხვევაში გამოთვლითი მანქანა პროგრამული ენა, ბუნებრივია, უფრო შესაბამის ფორმას მიიღებს, ვიდრე ამჟამად არსებული მათემატიკური პროგრამები, სახელდობრ, ადამიანის აზროვნების მოდელირების პროცესების ისეთი პროგრამები, როგორცაა ა. ნიუველისა და გ. საიმონის ამოცანის უნივერსალური ამომხსნელი პროგრამა ანდა ინფორმაციის გარდაქმნის ცნობილი პროგრამული ენების სერიები, მაგალითად, ა. ნიუველისა და ფ. ტონგის ინფორმაციის გადამუშავების პროგრამები, თანამედროვე მანქანების უმაღლესი დონის პროგრამები და სხვ.).

მომავლის იმ მანქანებს, რომლებიც შესაძლოა ადამიანთან ერთად სინქრონულად იმუშავენ, უეჭველია ექნებათ უმაღლესი ორგანიზაციის პროგრამული უზრუნველყოფა, რაც უკვე გააჩნია დიდი მახსოვრობის ტევადობის თანამედროვე გამოთვლით მანქანებს ილიაკ-IV, პეპე (აშშ), ბეს მ-6 (სსრკ) და სხვ. პროგრამული უზრუნველყოფა განაგებს ურთულესი ტექნიკური, საინჟინრო-ფიზიკური ექსპერიმენტების, ობიექტთა მართვის თუ სხვა ტიპის ინფორმაციის დამუშავების საკითხებს მხოლოდ მას შემდეგ, რაც მონაცემები მანქანაში ნებისმიერი სახით მოხვდება (იმპულსები, გრაფიკები, ფოტოსურათები, რიცხვები, ძაბვები და სხვ.). გაივლის დრო და ისევე, როგორც ამჟამად მანქანების პროგრამული უზრუნველყოფა არავის არ აკვირებს, გასაკვირი არ იქნება ისიც, რომ სათანადო პროგრამათა კომპლექსით აღჭურვილი კიბერნეტიკულ-გამოთვლითი მანქანა დაეხმაროს ადამიანს გონებრივ შემოქმედებაში. მომავლის შემოქმედი „ადამიანი-მანქანა“ ზემოთ განხილული ტვინის ალგორითმების სისტემის ანალოგიურად მოქმედებდეს სუბორდინაციის პრინციპით, უმაღლესი დონის პროგრამა ჩართავს დაბალი დონის პროგრამას და მაშინ, როცა რაიმე საკითხის (ლოგიკური, მათემატიკური, საყოფაცხოვრებო, მხატვრული და სხვ.) გახსნისას საჭიროა ტვინში უკვე ფორმირებული აზროვნების ქვეპროგრამების გამოყენება (იხ. გვ. 26). ამ შემთხვევაში ადამიანთან ელექტრულად შეიძლება ჩართოს გამოთვლითი მანქანა. ამ მანქანას მრავალ ათასეულ ქვეპროგრამასთან ერთად დასმული ექნება საკითხის გადასაწყვეტი ქვეპროგრამები — საშუალო მოქმედების „მზა გეგმები“, რომელიც შესრულდება 1000—10000-ჯერ უფრო სწრაფად და რიცხობრივად ზუსტად, ვიდრე ამას ადამიანი შეასრულებს.

მანქანა თვითონ, ავტომატურად ირჩევს მახსოვრობაში პროგრამების განლაგების მიზანშეწონილ ხერხს და ასევე ავტომატურად ანაწილებს მათ ამოცანის ამოხსნის პროცესში. ეს მომენტი ძლიერ მოგვაგონებს შემოქმედების პროცესის დროს ადამიანის ტვინში მიმდინარე პროცესებს.

მაღალი წარმადობის რეკორდული ე. ს. გ. მანქანები

გამოთვლითი ტექნიკის განვითარების 30 წლის განმავლობაში შეიქმნა მანქანათა მრავალი თაობა და მოდელი. ჩვენს ქვეყანაში აგებულია 100-მდე მოდელის გამომთვლელი მანქანა, აშშ-ში, როგორც კაპიტალის-

ტური სამყაროსათვის მანქანების ერთ-ერთ ძირითად მიმწოდებელ ქვეყანაში, არსებობს 1600-ზე მეტი მოდელი და სხვ. მანქანის ყოველი მოდელი იქმნებოდა გარკვეული სამეცნიერო, საქმიან-გეონომიური, საინფორმაციო-სტატისტიკური, სამხედრო და სამოქალაქო აერონაოს-ნობისათვის და სხვა მიზნებისათვის. არსებული ეცგ-მანქანები შეიძ-ლება რამდენიმე ჯგუფად დაიყოს:

ა) სპეციალური დანიშნულების მანქანები, რომელთაც მოეთხოვე-ბათ გარკვეული სისტემატური კრიტერიუმები (მაგალითად, საბჭოთა ეცგ მანქანა „მ ი რ“ — სერიისა, საინჟინრო-ტექნიკური ამოცანები-სათვის, „მ ი ნ ს კ-32“ — ეკონომიურ-სტატისტიკური ამოცანებისათვის, ჩეხური მცირე მანქანა „პ ლ /ი“, სამეცნიერო ექსპერიმენტების მარ-თვისათვის, ამერიკული მანქანები „ს ი ს ტ ე მ-250“, პ ე პ ე/65 და მრავალი სხვა.

გ) ეკონომიური მანქანები, რომლებშიაც მიღწეულია საკმაოდ დი-დი სწრაფმოქმედება აგებისათვის განკუთვნილი მცირე დანახარჯებით (სოციალისტური ქვეყნების ერთიანი გამოთვლითი სისტემის მანქანები ე ს-1010, ე ს-1020, ა შ შ მანქანები CC1-700, ჯ ე მ ი ნ ი და სხვ.).

გ) მუშაობის მაღალი საიმედობის მქონე მანქანები, რომლებშიაც ცალკეულ ბლოკების მწყობრიდან გამოსვლის ან გაჩერების შემთხვევა-ში გამოთვლითი პროცესების წარმოება არ წყდება („ს ე რ ფ“, „ე რ ლ-ს ტ ა რ“, აშშ და სხვ).

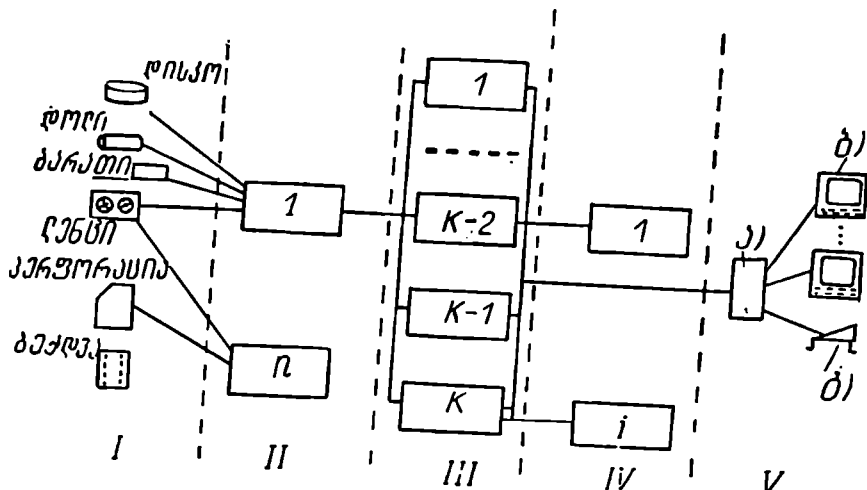
დ) ზესწრაფმოქმედი, მაღალი წარმადობის, მეოთხე თაობის მანქა-ნები (ი ლ ი ა კ-4, ს ტ ა რ-100 და სხვ.).

უკანასკნელი ჯგუფის მანქანები რეკორდული წარმადობის მანქანე-ბია და მათი უფრო დეტალურად განხილვა გამოთვლითი ტექნიკის გან-ვითარების მიმდინარე ეტაპზე გარკვეულ ინტერესს წარმოადგენს.

რეკორდული წარმადობის მანქანები ეკუთვნიან დიდი მანქანების კლასს, რომელთა ღირებულება 2 მლნ. დოლარს აღემატება. 1970 წ. აშშ-ში არსებობდა 1231 ც. ასეთი მანქანა. 1971 წ. — 1680 ც., 1972 წ. — 2401 ც. ეს უკანასკნელი ციფრი სხვა სიტყვებით ნიშნავს იმას, რომ დიდმა მანქანებმა 1972 წ. შეადგინა 2,4% მთლიანი ეცგ მანქანების პარკისა, ხოლო მათი ღირებულება — აშშ-ში მყოფი მანქანების მთლიანი ღირე-ბულების — 26%¹.

1. იხ. З а й д е н б е р г В. К. и др. — Обзор зарубежной вычислительной техники по состоянию на 1973 г. ИТМ и ВТ АН СССР, М., 1973. გვ. 35 — 72.

მანქანების განვითარების პროცესში რეკორდული წარმადობის მანქანებს უწოდებენ დიდ მანქანებს, დიდ გამოსათვლელ სისტემებს, ზემალაღი წარმადობის მანქანებს (სუპერსისტემებს). საბჭოთა მანქანებიდან აღსანიშნავია წამში 1 000 000 ოპერაცია სისწრაფით მომუშავე დიდი მანქანა ბ ე ს მ-6.



ნახ. 26. თანამედროვე ე ც გ მანქანების სტრუქტურული სქემა.

1. პერიფერიული მოწყობილობები; 2. ინფორმაციის შეტანა-გამოტანის პროცესორები ან არხები; 3. ოპერატიული მახსოვრობის მოდულები; 4. ცენტრალური პროცესორები; 5. ა) წინასწარი დამუშავების პროცესორი, ბ) ინფორმაციის ვიზუალური ასახვის მოწყობილობები, გ) დისტანციური მართვის პულტები.

ნახ. 26-ზე მოცემულია თანამედროვე რეკორდული წარმადობის ე ც გ მანქანების არქიტექტურა, რომელიც წარმოადგენს გამომთვლელ კომპლექსს ცენტრალური პროცესორითა და რამდენიმე (10-მდე) პერიფერიული და მმართველი პროცესორით (მეოთხე თაობის მანქანა). მმართველი პროცესორებს აქვთ თავიანთი ადგილობრივი მახსოვრობა და უკავშირდებიან კომპლექსის ძირითად მახსოვრობას. ცენტრალურ პროცესორში წარმოებს არითმეტიკული და ლოგიკური ოპერაციები, ხოლო პერიფერიული და მმართველი პროცესორები კი ახდენენ მულტიპროგრამულ (მრავალპროგრამიანი) მუშაობის ორგანიზებას, ისეთებისა, როგორცაა ამოცანათა ამოხსნის პროცესში მახსოვრობის უჯრედების განაწილება, ცენტრალურ პროცესორში ამოცანების ამოხსნის კონტრო-

ლი. ნახ. 26-ზე მოცემული გამომთვლელი მანქანების კლასი ფაქტიურად წარმოადგენს ფირმის „ს დ ს“ (აშშ) არაერთგვაროვან მრავალპროცესორიან მანქანათა კლასს, რომლებიც ხასიათდებიან დიდი წარმადობით (ცხრილი 10)¹.

ეცგ მანქანის ძირითადი მახასიათებლის — წარმადობის ქვეშ იგულისხმება საშუალო სწრაფმოქმედება $V_{აშ}$, რომელიც ხასიათდება ერთეულ დროში შესრულებული მანქანური ოპერაციათა რიცხვით m_i და თითოეული ოპერაციის შესრულების სიჩქარით $V_i (i=1, 2, \dots, k)$

$$V_{აშ} = m_1 V_1 + m_2 V_2 + \dots + m_k V_k$$

სადაც k არის მანქანის სხვადასხვა ოპერაციათა რიცხვი (შეკრება, გამოკლება, გადატანა, გაცემა და ა. შ.).

თანამედროვე უნივერსალური ეცგ მანქანათა უმრავლესობის კომპლექტში შედის სხვადასხვა რაოდენობა მახსოვრობის მოწყობილობისა (დაახლოებით 8 ტიპის), 4-ზე მეტი სხვადასხვა ტიპის არითმეტიკული და მმართავი მოწყობილობები, ინფორმაციის 3-ზე მეტი შემტანი და გამომტანი მოწყობილობები. ამრიგად, გამომთვლელი სისტემების მინიმალურ კომბინაციათა რაოდენობაა $8 \cdot 4 \cdot 3 = 384$, ასეთ შემთხვევებში ძალზე ძნელია მანქანის წარმადობის გამოთვლა ერთიანი მეთოდით. ზოგადად რომ ვთქვათ მანქანის სწრაფქმედება იცვლება ამოცანიდან ამოცანამდე. სხვადასხვა ამოცანის ამოხსნისათვის სხვადასხვა არითმეტიკულ ოპერაციათა გამოყენება ზდება სხვადასხვა სიხშირით. მანქანის განზოგადებული მახასიათებელია მისი წარმადობა, რომელიც ახასიათებს გარკვეული ჯგუფის ამოცანათა ამოხსნის დროს, წარმადობა განისაზღვრება არა მარტო ელემენტებისა და მოწყობილობების სწრაფქმედებით, არამედ გამოთვლის სისტემის ორგანიზაციის, ადამიანისა და მანქანის დიალოგის და ა. შ. შესაძლებლობით.

ტრანზისტორებზე (II თაობის) ინტეგრალურ სქემებზე (III და IV თაობების) აგებული მანქანების ძირითადი მახასიათებლის შეფასებისათვის მხედველობაში იღებენ მანქანების მთავარი მოწყობილობების თვისებებს, კერძოდ, ცენტრალური პროცესორის მუშაობის სიჩქარე t_1 , ინფორმაციის შეტანა-გამოტანის დროს ცენტრალური პროცესორის დგომის დროს $t_{1,0}$ და ოპერატიული მახსოვრობის ტევადობა (აღვნიშნოთ

¹ იხ. Белов Э. Н. — Тенденции развития ЦВМ рекордной производительности. «Зарубежная радиоэлектроника» №8, М. 1975, зб. 15—31.

კოეფიციენტით M). ამ შემთხვევაში ნ ა ი ტ ის¹ მეთოდით მანქანის გამოთვლით სიმძლავრეს ანგარიშობენ ფორმულით:

$$P = \frac{M}{t_1 + t_1'} 10^{12}.$$

ამ ფორმულიდან ჩანს, რომ გამოთვლითი სიმძლავრე მახსოვრობის ტევადობის პროპორციულია. მახსოვრობის გაზრდა ხელს უწყობს დიდი ინფორმაციის ამოცანების სწრაფ ამოხსნას, ხოლო მცირე ამოცანების ამოხსნისათვის კი შესაძლებელია გამოვიყენოთ ქვეპროგრამები. მახსოვრობის გაზრდა საჭიროა აგრეთვე მანქანაში სხვადასხვა არხებით ინფორმაციის პარალელურად შესატანად და გამოსატანად, აგრეთვე გამოთვლით სისტემებში (მანქანებში), თუ ისინი მუშაობენ დროის განცალკევების რეჟიმში.

დროის განცალკევება წარმოადგენს თანამედროვე ეცგ მანქანის ექსპლუატაციის ახალ მეთოდს, რომლის დროსაც მანქანა რიგის მიხედვით ხსნის რამდენიმე ამოცანას სხვადასხვა პროგრამით (პროგრამები ჩაწერილია მახსოვრობაში). ახალი მონაცემების მიღებისთანავე მანქანა უბრუნდება ამოცანას, რომელსაც აქამდე ხსნიდა. ამ შემთხვევაში შესაძლებელია დავიცვათ ე. წ. პრიორიტეტის წესი — თუ ამოცანას აქვს პირველი დონის პრიორიტეტი (უფლება) მაშინ მას პირველად ემსახურებიან, მეორე დონის პრიორიტეტიანს — მეორე რიგში და ა. შ. მანქანის ექსპლუატაციის ასეთი სისტემა საშუალებას იძლევა მივალწოთ მანქანური სამუშაო დროს ეკონომიურობას, რადგან პრაქტიკულად მანქანა არ იქნება გაჩერებული. თანამედროვე მანქანები, რომლებიც აგებული არიან ნახევრადგამტარებზე და ინტეგრალურ სქემებზე მუშაობენ 20—22 საათს დღე-ღამის განმავლობაში (2—4 საათი საჭიროა მანქანის პროფილაქტიკური სამუშაოებისათვის). დროის განცალკევების რეჟიმში მუშაობის დროს ერთდროულად რამდენიმე მომხმარებელი ჩართული მანქანასთან ისე, რომ მანქანა ასწრებს ყველა მომხმარებლის მომსახურებას.

ამრიგად, მანქანის მახსოვრობის გაზრდა (ანალოგიურად იმისა, რომ სწავლის პროცესში ხდება ადამიანის ტვინის მახსოვრობის უჩრდებლად შორის მეხსიერებითი კავშირების დამყარება), ხელს უწყობს მრავალი

¹ იხ. ნ ა ი ტ. Оценка развития рабочих характеристик ЦВМ. «3а. рубежная радиоэлектроника», № 11. М., 1968 გვ. 48.

საზღვარგარეთული მალ-ლწარმოებადი ეცგ მანქანები

№№ რიგ.	ეცგ მანქანის ტიპი (ფირმა);	გამოშვების წელი	წარმოდამი მწარმოებელი ქვეყანა	პროცესორების რაოდენობა		თვითრეგულირებადი ძეხსიერება		სტრუქტურული სიჩქარე	მანქანის ღირებულება დოლარში
				სენტრალური	პერიფერიული	ტერმინალი	ტეპალა (სიტყვა)		
1	IB—8500 (აშშ)	1967	15	—	—	0,5·10 ⁶	262·10 ³	8	5—15
2	CDC—7600 (აშშ)	1968	12—15	10	16	1,76·10 ⁶	1,5·10 ⁶	60	9—15
3	MU—5 (ინგლისი)	1968	5	1	1	—	16000	72	—
4	IBM—360/25 (აშშ)	1969	12,5	—	—	0,96·10 ⁶	65—524·10 ³	64	4,5—10
5	IBM—360/195 (აშშ)	1972	15	—	—	0,76·10 ⁶	131—524·10 ³	32	7—12
6	IBM—370/195 (აშშ)	1973	15	—	—	0,8	131—524·10 ³	—	8,6—12
7	HITAC—8600 (იაპონია)	1973	5	54	—	0,9·10 ⁶	—	64	—
8	STARAN (აშშ)	1973	500	32	—	1,28	0,5—1·10 ⁶	64	1,5
9	ILLIAC—IV (აშშ)	1974	200	64	—	0,3	8·10 ³	—	40
10	CDC—8600 (აშშ)	1975	150—400	მაგისტრალური ასოციაციური მატრიცული სტრუქტურა					
11	PEPE (system development)	1976	300	228	—	—	512-ერთ პროცესორზე	ასოციაციური სტრუქტურა	—

რთული ამოცანის ამოხსნას. ამიტომ არაა გასაკვირი, რომ ცდილობენ მანქანური მახსოვრობის გაზრდას.

მანქანური მახსოვრობის ზრდა წლების მიხედვით დაახლოებით ასეთ სურათს იძლევა: თუ 1943 წლის დონეს აღვნიშნავთ 1 ათასი ერთეულით; მაშინ 1958 წელს ეს ზრდა შეადგენდა 4000; 1958 — 1963 წწ. — 32 000, 1963—1965 წწ. — 65 000; 1965—1967 — 131 000; 1967—1969 წწ. — 512 000. მახსოვრობის ზრდის თვალსაზრისით საინტერესოა, რომ მანქანა „ამდალ — 470“ (1974 წ., აშშ) აქვს 8 მილიონი ბიტი (8 ერთეული) უჭრედების რაოდენობა. ცნობილ მანქანა ილიაკ — IV აქვს მახსოვრობის 131 000 ორობითი უჭრედი, უახლეს მანქანას „სისტემ დიველოპმენტ“ (აშშ) აქვს 512 000 ბიტი თითოეულ პროცესორზე, ხოლო ამ მანქანაში კი შედის 228 ასეთი პროცესორი (იხ. ცხრილი 10).

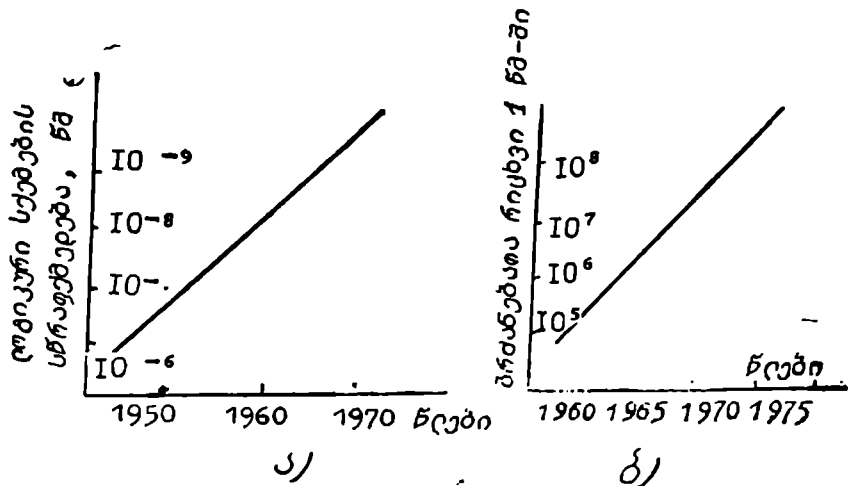
გარკვეულ ინტერესს იწვევს ზოგიერთი მანქანის შთამომავლობის

საკითხი. თუ დაუუკვირდებით მე-10 ცხრილს დაეინახავთ, რომ „ი ბ მ“-ფორმის მანქანებიდან 1973 წ. გამოშვებული ი ბ მ-370/195 მანქანა წარმოადგენს მანქანა ი ბ მ-360/195-ის 1972 წ. გაუმჯობესებულ ვარიანტს, განსხვავებაა მხოლოდ ის, რომ პირველ მათგანში დამატებულია რამდენიმე ბრძანება, დამატებითი რეგისტრი და რეალური ღრის გამცემი მოწყობილობა. მონაცემთა სისტემის დამუშავების მანქანის ს დ ს-8600 (აშშ 1975 წ.) სტრუქტურა ჰგავს მანქანის ს დ ს -7600 (1968 წ.) სტრუქტურას. ამასთან ახალი ლოგიკური ელემენტების საშუალებით (30%), ბრძანებათა სახესხვაობების დამატებითი (20%) და ელემენტების მონტაჟის სიმკვიდრეობით (50%), მანქანაში ს დ ს-8600 მიღწეულია 2,5-ჯერ მეტი წარმადობა მის წინამორბედ ს დ ს-7700-თან შედარებით.

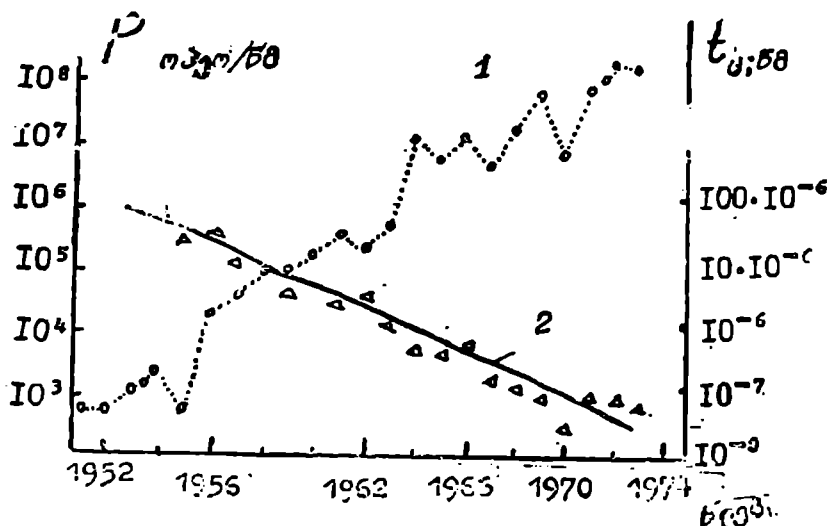
უკანასკნელი 15—20 წლის განმავლობაში დიდი ე ც გ მანქანების განვითარებასთან ერთად მკვეთრად უმჯობესდებოდა მათი ძირითადი მახასიათებლები, იზრდებოდა წარმადობა, მახსოვრობის ტევადობა, საიმედოობა, მცირდებოდა ოპერაციათა შესრულების ფასი, და, მაშასადამე, ამოცანის ამოსახსნელად დახარჯული მანქანური ღრის ღირებულება.

დიდ ე ც გ მანქანათა წარმადობა მკვიდროდაა დაკავშირებული მისი ლოგიკური სქემების სწრაფქმედებაზე და მანქანის სტრუქტურის გაუმჯობესებაზე. უკანასკნელი 25 წლის განმავლობაში ლოგიკური სქემების სწრაფქმედება ყოველ 10 წელიწადში ერთი რიგით (10-ჯერ) იზრდებოდა, ამასთან საშუალო შეფასებების საფუძველზე დიდი ე ც გ მანქანის წარმადობა ყოველ 5 წელიწადში 10-ჯერ იზრდებოდა (ნახ. 27, ა). ზემოაღნიშნული ნ ა ი ტ ი ს მეთოდით 1959 წლამდე მსოფლიოს რეკორდული მანქანების გამოთვლითი სიმძლავრე იზრდებოდა 10-ჯერ ყოველ 3 წელიწადში (ნახ. 28), ხოლო 1959 წლის შემდეგ სიმძლავრის ასევე ერთი რიგით (10-ჯერ) გაზრდას მოუხდა 4 წელიწადი. 1963 წლიდან კი — 5. ამასთან ერთად, მანქანის ოპერატიული მახსოვრობის მუშაობის ციკლის დრო რეკორდული მაჩვენებლების თანახმად, ყოველ 5—6 წელიწადში 10-ჯერ მცირდებოდა (ნახ. 28).

მანქანათა წარმოების ზრდასთან ერთად მანქანების უნივერსალურ მაღალეფექტურ გამოყენებაში ვამჩნევთ ზოგიერთ დანაკარგებსაც. მართალია, დიდი წარმადობის მანქანები ხსნიან ამოცანათა ფართე კლასს, მაგრამ ეს მანქანები მაქსიმალურად ეფექტურად მუშაობენ მხოლოდ მაშინ, როცა ხსნიან იმ კლასის ამოცანებს, რომლისთვისაც ისინი სპეციალურად ააგეს. მაგალითად, ამოსახსნელი ამოცანის ტიპის მიხედვით დი-



ნახ. 27. ა) ლოგიკური სქემების სწრაფქმედების ზრდა უკანასკნელი 25 წლის განმავლობაში; ბ) მანქანების წარმადობის ზრდა უკანასკნელი 15 წლის განმავლობაში;



ნახ. 28. წლების მიხედვით 1952 წლიდან 1974 წლამდე სიმძლავრის ზრდისა (1) და გამოთვლების წარმოების ციკლის შემცირების (2) მრუდები.

დი მანქანების სტარ-100 და ილიაკ-IV (ორივე აშშ) წარმადობა იცვლება თითქმის 50-ჯერ. წარმადობის ასეთი მკვეთრი სხვაობა არ ახასიათებთ, მაგალითად, მეორე თაობის ეცგ მანქანებს. დიდ მანქანებს ძირითადად იყენებენ გარკვეული ამოცანების გადასაწყვეტად. მაგალითად, მანქანა ჰიტაკ — 8800 (იაპონია), მუ-5 (ინგლისი) — იყენებენ უნივერსიტეტებში სამეცნიერო-კვლევით სამუშაოებში, მანქანათა სისტემა „სტარან“ დამუშავებულია აშშ ფედერალური საავიაციო სააგენტოსათვის, სისტემა „სტარ-100“ გამოიზნული იყო ანტირაკეტების გაშვების ორგანიზაციისათვის აშშ არმიაში. ცალკე დგას საკითხი ერთ-ერთი უდიდესი სუპერსისტემის მანქანა ილიაკ-IV ვეექტური გამოყენების შესახებ, ამ უმძლავრეს მანქანას იყენებენ სამეცნიერო-კვლევით გაანგარიშებებში (წრფივი პროგრამების, კერძო წარმოებულობიანი დიფერენციალური, მატრიცული და სხვ. ამოცანები). ამასთან ითვლება, რომ მანქანათა ეს სისტემა ეკონომიური და მალაღფექტური იქნება ისეთი ძალზე რთული ამოცანების ამოსახსნელად, რომლებსთვისაც სხვა მანქანების გამოყენება არარაციონალურია.

დღეისათვის ერთ-ერთ უდიდეს გამომთვლელ სუპერსისტემად ითვლება ილიაკ-IV. ის აგებულია „სოლომონ“ ტიპის გამომთვლელი მანქანების ლოგიკაზე, რომლის მიხედვითაც ერთიანი მართვის მოწყობილობა მართავს სუპერსისტემას, დამოუკიდებელ პროცესორებს და მათ შესაბამის მახსოვრობის მოწყობილობებს (მატრიცული სისტემა). ილიაკ-IV შეიცავს ეცგ მანქანას ბ-6500 დიდძალ გარე კავშირის ხაზებით, ბუფერულ მახსოვრობის მოწყობილობას, მახსოვრობას მაგნიტურ დისკოებზე, კონტროლს, რომელთა პარალელურად ჩართულია ოპერაციითა დიდი რიცხვის მქონე 64 ც. ერთნაირი ცენტრალური მძლავრი გამომთვლელი სისტემა (პროცესორი). თითოეული პროცესორს, რომელიც მუშაობს 4 მლნ ჰერც ტაქტურ სიხშირით, აქვს საკუთარი 2048 სიტყვისაგან შემდგარი ოპერატორული მახსოვრობის მოწყობილობა; თითოეული სიტყვა კი შეიცავს 64 თანრიგს. მახსოვრობის მოწყობილობიდან სიტყვის ამორჩევის დრო ტოლია $188 \div 200 \times 10^{-9}$ წამი. ილიაკ-IV-ის ოპერაციული მახსოვრობა ხასიათდება 8, 4 მლნ ბიტი ინფორმაციით, მუშაობის ციკლი ტოლია $200 \cdot 10^{-9}$ წმ. ოპერაციული მახსოვრობის ბლოკი შედგება ოთხი ცალი დამახსოვრების, ნახევარგამტარებიანი ბიპოლარული დიდი ინტეგრალური სქემის (სერია 4100) ფილისაგან და აგრეთვე მართვის ერთი სქემისაგან. თითოეული კრისტალის ტევადობა შეადგენს 256 ბიტს. აღსანიშნავია, რომ ილიაკ-IV-თვის შექმნილია ერთ-

ერთი პირველი ლაზერული „არქივის“ მახსოვრობა „უნიკონ-690“, რომლის მახსოვრობა ტოლია 700 მლნ ბიტისა. მანქანის მართვის მოდელი აგებულია 12 ფენიან საბეჭდ ნახევარგამტარებიან ფილაზე.

ასეთი სწრაფმოქმედი მახსოვრობის მოწყობილობის გარდა, თითოეულ პროცესორს აქვს მართალია ნაკლებად სწრაფმოქმედი, მაგრამ დიდი საინფორმაციო ტევადობის მქონე მახსოვრობის მოწყობილობანი. ეს მონაცემები მიგვანიშნებს, რომ სუპერსისტემების დიდი წარმადობა აიხსნება დიდი რაოდენობის არითმეტიკული მოწყობილობების მუშაობით. მანქანაზე ამოსახსნელი ამოცანა იყოფა სხვადასხვა ოპერაციებად, გარკვეული პროცესორი შეარჩევს იმ ოპერაციებს (ბრძანებებს), რომლისთვისაც ის მორგებულია.

ძალზე რთული ამოცანის ამოსახსნელად შესაძლოა ყველა 64-ვე პროცესორი იქნეს დაკავებული, რომლებიც ამ ერთი ამოცანის ამოხსნაზე პარალელურად მუშაობენ. გამოთვლითი პროცესების ამგვარი სპეციალიზაცია ახასიათებს თანამედროვე ტექნიკის განვითარებას — პროცესს, რომელიც უფრო მეტად ფართოვდება და ღრმავდება. აღნიშნული პროცესის ასეთ სტადიას წარმოადგენს სოციალისტური ქვეყნების ერთიანი გამოთვლითი სისტემის მანქანები, რომელთა შესახებ ზემოთ იყო აღნიშნული (ცხრილი 3).

თანამედროვე ეცგ მანქანათა პროგრამული უზრუნველყოფა

ეცგ მანქანის დანიშნულება მდგომარეობს გარკვეული მათემატიკური პროგრამით მუშაობაში. მანქანის ცენტრალური გამოთვლელი (პროცესორი), მახსოვრობა, პერიფერიული მოწყობილობანი ამა თუ იმ ამოცანის ამოხსნის პროცესში მოქმედებენ გარკვეული სამუშაო პროგრამით. ზოგიერთ ასეთ პროგრამას წერს მანქანის მომხმარებელი (მათემატიკოსი, ფიზიკოსი, ინჟინერი, ქიმიკოსი, ბიოლოგი და სხვ.). ამ პროგრამებს უწოდებენ გამოყენებით პროგრამებს. მანქანის მუშაობის სხვა ძირითად პროგრამას წერენ გამოყენებითი პროგრამების შედგენამდე და მას მანქანის მახსოვრობაში მუდმივად ინახავენ. ამრიგად, ეს უკანასკნელი პროგრამები წარმოადგენს გამოთვლელი მანქანის (სისტემის) ისეთივე განუყოფელ ნაწილს როგორცაა ცენტრალური პროცესორი, მახსოვრობის მაგნიტური დოლები (დისკოები) და სხვ. ამ პროგრამებს უწოდებენ გამოთვლითი მანქანის ან სისტემის პროგრამულ (მათემატიკურ) უზრუნველყოფას. ეცგ მანქანების სახალხო-მეურნეობის

სხვადასხვა დარგში გამოყენების ეფექტურობა ბევრადაა დამოკიდებული მათი მათემატიკური (პროგრამული) უზრუნველყოფის შედგენილობასა და ხარისხზე. დაპროგრამების პროცესების დაჩქარებისა და პროგრამების შექმნის პროცესის გაიაფებისათვის ქმნიან მანქანის მათემატიკურ უზრუნველყოფაში შემავალ პროგრამა-კომპლექსებს, რომლებიც აჩქარებენ ამოცანების მანქანებში გატარებას (შედგენა, დამუშავება და შედეგების გამოტანა). გარდა ამისა, პროგრამათა ასეთი კომპლექსები აადვილებენ გამოყენებითი პროგრამების შედგენისა და მანქანაზე ამოხსნის პროცესებს.

პროგრამირების სისტემაში, რომელიც ფაქტიურად მეორე თაობის მანქანებთან ერთად დაიბადა, შედის მანქანურ ენაზე გადატანის პროგრამები—ტრანსლატორები, ინტერპრეტატორები და პრობლემურ-საორიენტაციო, მანქანურ-საორიენტაციო და სპეციალიზირებულ ენათა კომპილატორები, ტიპური ალგორითმებისათვის საჭირო სტანდარტული პროგრამების ბიბლიოთეკები, ამ ბიბლიოთეკებით სარგებლობის პროგრამული საშუალებანი. პროგრამათა კომპლექსიდან აღსანიშნავია მანქანის სტანდარტული პროგრამების ბიბლიოთეკა, რომელთა სისტემასაც განსაზღვრავს პროგრამათა გაფორმების, მახსოვრობის მოწყობილობაში მათი შენახვისა და მომხმარებელთა ძირითადი პროგრამიდან სტანდარტულ პროგრამებთან მიმართვის წესები. საბიბლიოთეკო პროგრამების მნიშვნელობა, სტანდარტული პროგრამებისა და პროცედურების კრებულის (პაკეტების) ზრდასთან ერთად განუხრელად იზრდება სხვადასხვა სფეროში გამოყენებისათვის. დაპროგრამების უმარტივეს დონეს წარმოადგენს მანქანის კოდებში, ანუ მანქანურ ენაზე დაპროგრამების წესები.

ამჟამად პროგრამას მანქანურ კოდებში იშვიათად ადგენენ სხვა მეტოდების არსებობის გამოც. იმ შემთხვევაში, როცა სურთ „სწრაფმოქმედი“ პროგრამის რეალიზება საშუალო სწრაფმოქმედების მანქანაზე იყენებენ მანქანურ კოდებზე ჩაწერილ პროგრამას.

დაპროგრამების შემდეგი დონე დაკავშირებულია პროგრამირების სიმბოლურ კოდირებასთან და უწოდებენ მანქანურ-საორიენტაციო ენებს—ავტოკოდს და ასემბლერს. ავტოკოდი მომხმარებელს საშუალებას აძლევს გამოიყენოს მოცემული მანქანის მახსოვრობაში შენახული ბრძანებათა სისტემები და მათი თავისებურებანი. ამიტომ ავტოკოდები და ასემბლერი ძირითადად გამოყენებულია მათემატიკურ უზრუნველყოფაში შემავალ პროგრამების შესადგენად

შესაძლებელია ასემდბგმააწ აეემეამლრბნდოხიოგრელთა ყველაზე ადრეულ განზოგადებული პროგრამირების სისტემას, რომელიც გამოყენებული იყო 50-იანი წლების ეცგ მანქანებში „უნივაკ-I“ და „უნივაკ-I I“ (აშშ). ამ მანქანების ასამბლერის ძირითად მახასიათებელს წარმოადგენდა ამოცანის მონაცემთა და მანქანის მახსოვრობის უჭრედთა სიმბოლური გამოსახვა. ასემბლერის განვითარებამ დიდი სამსახური გაუწია ოპერაციული-პროგრამული სისტემების ჩამოყალიბებას და განვითარებას. თუ მომხმარებელი არაპროფესიული პროგრამისტია, მისთვის მეტად ხელსაყრელია მაღალი დონის ე. წ. ალგორითმული მანქანური ენების გამოყენება, რომელთა დამახასიათებელი თვისება იმაში მდგომარეობს, რომ ისინი კონკრეტული ეცგ მანქანისათვის განკუთვნილი არ არიან, გამოიყენებიან მცირე, საშუალო და დიდ ეცგ მანქანებში სხვადასხვა კლასის ამოცანათა ამოსახსნელად (მანქანები „ელექტრონიკა-კ-200“, მ-222, ბესმ-6 და სხვ.). ასეთ მანქანურ ენებს ეკუთვნიან პრობლემურ-საორიენტაციო ენები, როგორცაა ფორტრანი, ალგოლი და სხვ., რომლებიც ემსახურებიან გამოთვლითი პროცესების ზუსტი და ფორმალური აღწერების ჩატარებასა და მომხმარებელთა შორის ინფორმაციითა გაცვლას.

უკანასკნელი 15—20 წლის განმავლობაში პროგრამული უზრუნველყოფის განვითარება ძალზე ინტენსიურად მიმდინარეობდა. წარმოიშვა პროგრამული უზრუნველყოფის ერთი მთავარი ნაწილი — ოპერაციული სისტემები, რომლის ძირითადი ფუნქციებია:

- ა) მომხმარებლის ამოცანის მონაცემთა შეტანა მანქანაში;
- ბ) ამ ამოცანის ამოხსნის მართვა;
- გ) მომხმარებელთა ამოცანებს შორის ეცგ მანქანის რესურსების (მახსოვრობის უჭრედები, გარე მოწყობილობანი და ა. შ.) განაწილება;
- დ) ერთდროულად სხვადასხვა მანქანასთან მომუშავე მომხმარებელთა ამოცანებისა და პროგრამის ერთმანეთზე გავლენისაგან დაცვა და ა. შ.

ოპერაციული სისტემა წარმოადგენს თანამედროვე ეცგ მანქანის პროგრამირების საფუძველს, რომელიც განსაზღვრავს მანქანის მომსახურე პერსონალს, მომხმარებლების გამოთვლითი ცენტრის ხელმძღვანელთა სამუშაო გარემოებას — ასეთ განსაზღვრას იძლევა ვ. ტ ი უ რ ი ნ ი, საბჭოთა მანქანა ბესმ-6-ის ერთ-ერთი ოპერაციული სისტემა ოს დისპაკის ავტორი.¹ ოპერაციული სისტემები ახდენენ მანქანაში

¹ იხ. К о з н Л. Дж. — Анализ и разработка операционных систем. Перевод с англ. под ред. В. Ф. Т ю р и н а. Изд-во «Наука», М., 1975, გვ. 7.

დასამუშავებელ ამოცანათა ნაკადების ორგანიზებას მონაცემთა პაკეტური დამუშავეების რეჟიმში, ამასთან უზრუნველყოფენ ამა თუ იმ დონის ისეთი ფუნქციების ავტომატიზაციას, რომელსაც პირველი თაობის მანქანებში ხელით ასრულებდნენ.

თანამედროვე მესამე და მეოთხე თაობის ეცგ მანქანების ოპერაციული სისტემა წარმოადგენს მთელი პროგრამული უზრუნველყოფის ბირთვს. მას ეცგ მანქანების მოწყობილობების დგომის დრო მინიმუმამდე დაჰყავს, რაც ამაღლებს მანქანის გამოყენების ეფექტურობას. ოპერაციული სისტემების ერთ-ერთი ძირითადი ფუნქციაა ოპერატორსა (ადამიანი) და მანქანას შორის ურთიერთქმედების ორგანიზაცია.

მეორე და შემდგომი თაობის ეცგ მანქანებს ახასიათებთ პროგრამათა (ბრძანებათა) წყვეტის რეჟიმი. ასეთ მანქანებში, რომლებიც მუშაობენ ძირითად ამოცანაზე რაიმე გარკვეული პროგრამით, სამუშაოს დამთავრებამდე შესაძლებელია სხვა ამოცანის მონაცემების შეტანა და მისი დამუშაება. ამ შემთხვევაში, ახალი ამოცანის მონაცემების მიღებისთანავე მანქანა წყვეტს მუშაობას ძირითად ამოცანაზე, ინახავს შეწყვეტილი ამოცანის ყველა მონაცემს და იწყებს მუშაობას ახალი ამოცანის ამოხსნაზე. დაამთავრებს რა ამ უკანასკნელი ამოცანის ამოხსნას, მანქანა ავტომატურად ისევ უბრუნდება ძირითადი ამოცანის დამუშაებას. ფართე გაგებით, წყვეტის სისტემა წარმოადგენს მანქანის პროცესორების გარე მოწყობილობებსა და არხებს შორის მდგომარეობის ცვლილებების საინფორმაციო გაცვლის ძირითად საშუალებას. წყვეტის რეჟიმის საშუალებით მანქანა გებულობს მახსოვრობის მოწყობილობის შესაძლო უწესრიგობას, კონტროლისა და გარე ობიექტებიდან მოსულ სიგნალებს, ამყარებს ოპერაციული სისტემის პროგრამებს შორის ურთიერთობას და წარმოადგენს ამოცანათა დამუშავეების კონკრეტული მრავალპროგრამული რეჟიმის შექმნის საფუძველს. პროგრამათა წყვეტის რეჟიმი ახასიათებთ მეორე თაობის საბჭოთა მანქანებს მ-220, მ-222, ბ ე ს მ-4 მ, „ელექტრონიკა კ-200“, ბ ე ს მ-6 და სხვ. აგრეთვე მესამე თაობის, სოციალისტური ქვეყნების მანქანების სერიებს ე ს-1020, 1030, 1040, 1050 და სხვ.

მესამე თაობის ეცგ მანქანების პროგრამული უზრუნველყოფა ბევრად და მოკიდებული წინა თაობების მანქანების ექსპლუატაციის დროს დაგროვილ მონაცემებზე. მესამე თაობის მანქანების ერთიანი სისტემის ე ს-1010, 1020, 1030, 1040, 1050 პროგრამულ უზრუნველყოფაში შედის სამი ჯგუფი პროგრამებისა:

1. ოპერაციული სისტემები;
2. ტექნიკური მომსახურების პროგრამათა კომპლექსები;
3. გამოყენებული პროგრამების პაკეტები.

ერთიანი სისტემის ე ს-ტიპის მანქანები ხასიათდებიან პროგრამათა შეთავსებით, რის გამოც ოპერაციული სისტემები ყოველი მოდელის ეფექტური ფუნქციონირების საშუალებას იძლევა¹. ოპერაციული სისტემები აგებულია შემდგომი გაფართოების გათვალისწინებით: მათი გამოყენება შეიძლება ახალი ტექნიკური საშუალებებით, ახალ სფეროში და ახალი პროგრამებით. ტექნიკური მომსახურების პროგრამათა კომპლექსში შედის პროცესორების მახსოვრობის და გარე მოწყობილობების, არხების გამართვის შემოწმების პროგრამები (ტესტები), მანქანის მუშაობისა და დიაგნოზის ტესტები და სხვ.

გამოყენებითი პროგრამების პაკეტები ორიენტირებულია გარკვეული კლასის ამოცანების დამუშავებაზე. მასში შედის შემდეგი პაკეტები: ა) ძირითადი ოპერაციული სისტემების გაფართოების; ბ) სამეცნიერო და საინჟინრო გათვლების ზოგადი დანიშნულების; გ) მართვის ავტომატიზირებული სისტემაზე ორიენტირებული პაკეტები. დიდი ე ც გ მანქანების პროგრამული ოპერაციული სისტემები (ო ს) ისეა მოგეზული, რომ ერთ მანქანაზე შესაძლებელია, რამდენიმე ამოცანის ამოხსნა (მულტიპროგრამული რეჟიმი). ამასთან, მანქანას შეუძლია იმუშაოს ზემოაღნიშნულ დროის განცალკევების რეჟიმში და დროის რეალურ მასშტაბში. ო ს-პროგრამული სისტემის დამუშავების ერთ-ერთ ძირითად ამოცანას წარმოადგენს სტანდარტულ-ფუნქციონალურ ბლოკებს შორის კავშირის მექანიზმისა და სინქრონიზაციის ზუსტი დაცვა. ამჟამად ყველა ტექნიკურად განვითარებულ ქვეყანაში დიდ მნიშვნელობას ანიჭებენ ე ც გ მანქანების პროგრამულ და აპარატულ ნაწილებს შორის ფუნქციების ეფექტურ განაწილებას, ცდილობენ განავითარონ მანქანის სამოქმედო პროგრამები.

ე ს-სისტემის მანქანების წარმადობის მაღალი დონის უზრუნველყოფა შესაძლებელია ამოცანათა ავტომატური შეტანით, მანქანაში ადრე შეტანილი ამოცანის დამუშავების შემდეგ ახალი ამოცანათა ავტომატური შეტანის შესაძლებლობით, მუშაობის მულტიპროგრამული რეჟიმის

¹. იხ. Ларнонов А. М., Левин В. К. и др. — Основные принципы построения и технико-экономические характеристики Единой системы ЭВМ (ЕС ЭВМ). «Управляющие системы и машины». Изд-во „Наукова думка“, Киев, №2, 1973 გვ. 1—12.

განხორციელებით, რომელიც მანქანის რესურსების (მახსოვრობა, გარე მოწყობილობები და სხვ.) ოპტიმალური გამოყენების საშუალებას იძლევა.

მანქანების გამოყენების შესაძლებლობის გაზრდის მიზნით პროგრამული უზრუნველყოფის პარალელურად აუცილებელია აპარატული უზრუნველყოფის შექმნა და იმ ახალ მოწყობილობათა დანერგვა, რაც საკიროა ახალი პროგრამული უზრუნველყოფის განსახორციელებლად. ეს საკითხები ერთ-ერთი ძირითადი საკითხებია სხვადასხვა დარგის მართვის ავტომატიზირებული სისტემების შექმნისათვის (წარმოება, მეცნიერება, ტექნიკა, სწავლა, სოფლის მეურნეობა, საყოფაცხოვრებო მომსახურება და სხვ.). ამიტომაა რომ გამოთვლითი ტექნიკისა და გამოთვლითი მათემატიკის (პროგრამირების) ამოცანები სახელმწიფო მნიშვნელობის ამოცანების დონეზეა აყვანილი. ჩვენს ქვეყანაში დიდი სახალხო-მეურნეობრივი, კოსმოსური კვლევის, სამეცნიერო ამოცანების და სხვ. გადასაწყვეტად წარმატებით იყენებენ სერიული გამოშვების დიდ ე.ც.გ მანქანას ბ.ე.ს.მ-6, რომელიც შექმნილია სსრკ მეცნიერებათა აკადემიის ზუსტი მექანიკისა და გამოთვლითი ტექნიკის ინსტიტუტის დირექტორის, აწ განსვენებული აკადემიკოს ს. ა. ლებედევის ხელმძღვანელობით¹. ეს მანქანა სამამულო წარმოების მანქანებს შორის დღეისათვის ყველაზე სწრაფმოქმედი და მაღალწარმოებადია. ამიტომ ცდილობენ ამ მანქანის მათემატიკურ (პროგრამულ) და ტექნიკურ უზრუნველყოფას. არსებობს 150 მდე ბესმ-6-ის მარკის მანქანა, მათ შორის 10-მდე ექსპლუატაციაშია საზღვარგარეთაც (გერ, ინდოეთი). არსებობს მანქანის მომხმარებელთა საკავშირო ასოციაცია, რომელსაც აქვს ორი პრეზიდენტი, მუშაობის სათანადო ორი სექციით, პროგრამული და აპარატული უზრუნველყოფის სექციები.²

ბ.ე.ს.მ-6-ის პროგრამული უზრუნველყოფის სტრუქტურაში გამოიყოფა სამი ძირითადი დონე: პირველი, დაბალი დონე წარმოადგენს ოპერატიულ სისტემას, მეორე დონეა პროგრამირების დამოუკიდებელი სისტემის ნაკრები, მესამე მაღალი დონე — მომხმარებლის პროგრამებია.

¹ მანქანათა სერია „ბესმ“ (რუსული სიტყვებიდან — Быстродействующая электронная счетная машина Академии наук СССР) ითვლის 1-ლი თაობის მანქანას ბესმ-2, მეორე თაობის მანქანებს — ბესმ-3 მ, ბესმ-4, ბესმ-4მ და ბესმ-6.

² Развитие программного обеспечения БЭСМ-6. Развитие аппаратного обеспечения БЭСМ-6. Сб. статей, Вычислительный центр АН СССР, Изд-во «Наука», М., 1975, гл. 3—5.

პროგრამულ-აპარატული სტრუქტურის დამუშავების ერთ-ერთ ძირითად მიღწევად ითვლება მანქანა ბ ე ს მ-6-ის მუშაობა რამდენიმე მომხმარებელთან დიალოგის რეჟიმში. ეს არის მანქანის კოლექტიური მოხმარების სისტემა, რომელიც ითვალისწინებს მანქანიდან სხვადასხვა მანძილზე (5 კილომეტრამდე) მყოფ მომხმარებელთა (მათემატიკოსი, ოპერატორი, ინჟინერი და სხვ.) დაკავშირებას გამოთვლით სიმძლავრესთან, ბესმ-6-ის დისტანციურად მართვა როგორც სამაგიდო გამოთვლელი მანქანისა. დიალოგისათვის გამოყენებულია ტელევიზორის ეკრანის და საბეჭდი მანქანის პულტიანი მოწყობილობა, ე. წ. ალფაბეტურ-ციფრული დისპლეი.

მომხმარებელი თავის ხელნაწერ ტექსტს მანქანაში შეტანამდე აკრეფს საბეჭდ კლავიატურაზე, ამასთან ყველა მონაცემი — ასო, ციფრი და სიმბოლო აისახება ტელევიზორის ეკრანზე. მომხმარებელს შეუძლია აქვე გააკეთოს მონაცემების კორექტირება, რედაქტირება და სხვ. ამის შემდეგ ის ეკითხება ე ც გ მანქანას თავისი შიფრით, რომ მას დაერთოს მუშაობის ნება თავისი მონაცემებით და იმ პროგრამებით, რაც მანქანაშია მოთავსებული (პროგრამულ-ოპერაციული სისტემა ო ს დ ი ს პ ა კ და სხვ.) მანქანა თავის პასუხს ასევე ტელევიზორის ეკრანზე იძლევა. ამ ეკრანზე შეიძლება გამოტანილ იქნას საშუალოდ და საბოლოო ამოხსნის შედეგები, ინფორმაცია ამოცანის ამოხსნის მიმდინარეობის შესახებ და სხვადასხვა ინფორმაცია. დისპლეი მანქანა ბ ე ს მ-6-თან დაკავშირებულია ოთხი ხაზით, მავთულით. კერძოდ, შორი მანძილიდან მანქანის სამართავად კავშირისათვის გამოყენებულია ტელეფონის 4 ხაზი (2 ნომერი), ახლო მანძილზე კავშირისათვის კი იყენებენ ან შიგა სატელეფონო ქსელის მავთულებს, ან კაბელებს (ერთი დისპლეისათვის საჭიროა 4 მავთული). ნახ. 22-ზე მოცემულია თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტის გამოყენებითი მათემატიკის ინსტიტუტში¹ ავტორის ხელმძღვანელობით ინსტიტუტის ერთ-ერთი ოთახიდან სხვა დარბაზში მდებარე ე ც გ მანქანა ბ ე ს მ-6-თან მიერთებული ანბანურ-ციფრული დისპლეი „ვიდეო-ტონ 340“, რომელიც გამოშვებულია უნგრეთში ე ს - სისტემის მანქანებისათვის. ასეთი ტიპის დისპლეების არა მარტო ე ს სისტემის მანქანებთან, არამედ ბ ე ს მ-6-თან მიერთება საშუალებას იძლევა მანქანის

¹ იხ. Б е р у л а в а Р. Г. и др. — Разработка вычислительного комплекса ИПМ ТГУ. Труды VI Всесоюзной конференции ассоциации пользователей БЭСМ—6. Изд-во Вычислительный центр АН СССР Институт прикладной математики ТГУ, изд-во ТГУ, Тбилиси, 1977. გვ. 54—74.

მაღალეფექტურად გამოყენებისა, აქამდე არსებულ სისტემასთან შედარებით. მთელი წყება ამოცანების უფრო მცირე დროში მანქანური დამუშავებისათვის. ამასთან ერთად, დიალოგური სისტემის დანერგვა იძლევა დიდ ეკონომიკურ ეფექტსაც. კერძოდ, ამ შემთხვევაში გამორიცხულია მანქანაში შესატან მონაცემთა წინასწარი გამზადება პერფორატების სახით და, მასთანამე, საჭირო არაა არც საპერფორაციო მეურნეობა (პერფორატების საჩერეტი მანქანები) და არც მისი პერსონალი. თავისუფლდება სამუშაო ფართიც. საპერფორაციო მანქანებზე მომუშავენი ძალზე ჩქარა იძენენ დისპლეისთან მუშაობის ახალ პროფესიას. ამასთან უხმაურო ეკრანიან პულტთან მუშაობა მომხმარებლებისათვის უფრო მიმზიდველი და საინტერესოა.

გამოთვლითი პროცესის ორგანიზაციის ანუ ეცგ მანქანების მათემატიკურ-ტექნიკური უზრუნველყოფის (ჩვენ ვუწოდებთ არქიტექტურას) რამდენიმე სახე არსებობს:

1. არქიტექტურა „სილს“ (ინგლისური სიტყვებიდან „სიგნალ ინსტრაქშნ სინგლ დეიტ სტრიმ“ — მონაცემთა ერთი ნაკადის დამუშავების ბრძანებები). ამ შემთხვევაში მანქანურ ბრძანებათა ერთი ნაკადი ამუშავეს მონაცემების ერთ ნაკადს. ამ პროცესს უწოდებენ მონაცემთა მიმდევრობით დამუშავებას. იყენებენ მანქანებში ი ბ მ-360/90, 95, ს დ ს-6600 (აშშ), ჰ ი ტ ა კ-8800 (იაპონია), ბ ე ს მ-4, მ-220 (სსრკ) და სხვ.

2. არქიტექტურა „მისლ“ („მულტიპლაი ინსტრაქშნ სინგლ დეიტ სტრიმ“ — მონაცემთა ერთი ნაკადის დამუშავების ბრძანებები). ამ ორგანიზაციის დროს მანქანურ ბრძანებათა რამდენიმე ნაკადი ამუშავეს მონაცემთა ერთ ნაკადს. ამ პროცესს უწოდებენ მონაცემთა მაგისტრალურ დამუშავებას. ამ არქიტექტურის სახე დამახასიათებელია შემდეგი ტიპის მანქანებისათვის ი ბ მ-360/85, ი ბ მ-360/195, ს დ ს—8600, (სამივე აშშ), მ უ-5 (ინგლისი), ე ს-1020, ე ს-1030, ე ს-1050 (სსრკ) და სხვ.

3. არქიტექტურა „სიმლ“ („სინგლ ინსტრაქშნ მულტიპლაი დეიტ სტრიმ“ — მონაცემთა ნაკადების დამუშავების ბრძანებათა ნაკადი), რისთვისაც დამახასიათებელია ბრძანებათა ნაკადი მონაცემთა რამდენიმე ნაკადის დასამუშავებლად.

ასეთ არქიტექტურას ეწოდება მონაცემთა ასოციატური და მატრიცული დამუშავება, რაც დამახასიათებელია ეცგ მანქანებისათვის ი ლ ი ა კ-4, ს ტ ა რ ა ნ-4, ს ტ ა რ-100 (სდს), ბ-7700, (აშშ), ფ ა კ ო მ 230-75 (იაპონია) და სხვ.

4. არქიტექტურა „მიმდ“ („მულტიპლანი ინსტრაქსნ მულტიპლანი დეიტ სტრიმ“ — მონაცემთა ნაკადების დამუშავების ბრძანებათა ნაკადები), რაც ნიშნავს ბრძანებათა რამდენიმე ნაკადის მიერ მონაცემთა რამდენიმე ნაკადის დამუშავების სისტემას. მას უწოდებენ მრავალ პროცესორულ ორგანიზაციას. ასეთი არქიტექტურის მაგალითებია ამერიკული მანქანები ბ-8500, ს დ ს-700, ა მ დ ა ლ 3-66/80 და სხვ.

ზემოაღნიშნული საზღვარგარეთული მაღალწარმოებადი მანქანები რთული და ძვირადღირებული გამომთვლელი კომპლექსებია, რომელთა მათემატიკური უზრუნველყოფის დამუშავებას დასჭირდა რამდენიმე წელიწადი. მანქანაზე ამ პროგრამების დანერგვასაც ასევე რამდენიმე წელიწადი სჭირდება.

შეუძლია თუ არა ადამიანს ადამიანის დამორჩილება?

ასე დგას საკითხი უკვე რამდენიმე ათეული წელია. ამ თემამ მხატვრული ლიტერატურიდან სამეცნიერო წრეებშიც გადმოინაცვლა. ასე მაგალითად, პ. კ ლ ე ი ტ ო ნ ი („რობოტების ერა“, ლონდონი, 1955) დაბეჭითებით ამტკიცებს, რომ დადგება დრო, როცა ყველაფერს რობოტები გააკეთებენ. ეს კი გამოიწვევს ადამიანის გონებრივ დაკნინებას, რობოტები კი უფრო მეტად შეიძენენ გამოცდილებას, აჯობებენ ადამიანებს ცოდნაში, საბიოლოდ ისინი შეიგნებენ თავიანთ ყოვლისშემძლეობას; შეუძლიათ ადამიანთა გავლენის სფეროდან გამოვიდნენ, დაიპყრონ ენერჯის წყაროები და ბოლოს გაილაშქრონ ადამიანთა მოღვმის წინააღმდეგ. კლეიტონის მტკიცებით. კაცობრიობა რობოტებთან ასეთ ბრძოლაში დაიღუპება. არსებობს ბევრი სხვა სპეციალისტის აზრი, რომლებშიც აგრეთვე ლაპარაკია რობოტების ასეთ გამარჯვებებზე. ერთი შეხედვით ასეთი პესიმისტური შეხედულება გამართლებას პოულობს უდიდესი მეცნიერების ჯონ ფონ ნეიმანისა (აშშ) და ა. ნ. კ ო ლ მ ო გ ო რ ო ვ ი ს მიერ ჩამოყალიბებული და დამტკიცებული მანქანების გამრავლების თეორიის არსებობით.

ჯ. ფ. ნეიმანის ამ თეორიის მათემატიკური დახასიათების შესაძლებლობა მოცემულია საბჭოთა მათემატიკოსის აკად. ა. ნ. კ ო ლ მ ო გ ო რ ო ვ ი ს მიერ.¹ ტექნიკური გადაწყვეტის თვალსაზრისით მანქანის მიერ

¹ იხ. Колмогоров А. И. Жизнь и мышление с точки зрения кибернетики. В кн: А. И. Опарины «Жизнь, ее соотношение с другими формами движения материи», М., 1962, гл. 9—10.

მანქანის პროექტირება საამისოდ წინასწარ შედგენილი პროგრამით, როგორც აღვნიშნეთ, გარკვეულ დონეზე ამჟამადაც ხორციელდება. ამ საკითხზე ბევრჯერ გამოთქვა თავისი პოზიციური შეხედულება აკად. ს. ა. ლ ე ბ ე დ ე ვ მ ა. მაგრამ ის დონე, რასაც ნეიმანის თეორია ითხოვს, ჯერ საკმარისად შორსაა. აქ საქმე ეხება უმაღლესი დონის სპეციალიზებული თვითმაროვანიზებული საშუალებებისა და მათში მიმდინარე პროცესების ისეთ მათემატიკურ-პროგრამულ აღწერას და განვითარებას, რომელიც ძალზე მოქნილი შემსრულებელი მექანიზმების სისტემებით, ეფექტური ტექნოლოგიის (კონსტრუქციების) ბაზაზე ააგებენ თავისთავად მსგავს მეორე მანქანას. ამის შემდეგ კი აგებული მანქანის მიერ შედგენილი უფრო რთული პროგრამით ეს მეორე მანქანა ტექნოლოგიური „აუზის“ არსებობის შემთხვევაში ააგებს მესამე მანქანას და ა. შ.

შესაძლოა მანქანების გამრავლების ამ თეორიის პრაქტიკული რეალიზაცია დროთა განმავლობაში რეალობად იქცეს. ეს რეალობა, როგორც ვხედავთ, ჯერჯერობით საამისო ტექნიკური საშუალებების არასრულყოფის გამო მხოლოდ მომავლის საქმეა.

შეიძლება ზოგიერთ მკითხველს დაებადოს შეკითხვა: თუ ისეთი საშიშროება არსებობს, რომ მოხდება მანქანების (რობოტების) გამრავლება და ეს უკანასკნელნი ადამიანის წინააღმდეგ ამხედრდებიან, მაშინ რატომ არ შეიძლება სანამ დროა ხელი შევეუშალოთ ამ პროცესის დაჩქარებას? საქმე იმაშია, რომ ადამიანი ჰქმნის მანქანებს იმისათვის, რომ განთავისუფლდეს შრომატევადი სამუშაოსაგან. ამავე დროს ადამიანი ცდილობს რაც შეიძლება მეტი ფუნქცია გადააბაროს ავტომატებს, რომ თითქმის სრულიად განთავისუფლდეს გარკვეული შემოქმედებითი ფუნქციებისაგან. გავიხსენოთ ვან ჰოს ექსპერიმენტები მანქანაზე, როცა მანქანა ამტკიცებდა თეორემებს; ანდა მაგალითები მანქანური თარგმნისა, პროექტირებისა და სხვ. რატომ არ შეიძლება ადამიანმა დროთა ვითარებაში მანქანას დაავალოს ისეთი ურთულესი საქმე, როგორც მისი თანამედროვე, გამოთვლითი მანქანის შექმნა, რომლის მართო ერთი რომელიმე ტიპის შექმნაზე ლაბორატორიებში ამჟამად მუშაობს რამდენიმე ასეული ინჟინერი, კონსტრუქტორი მათემატიკოსი, ფიზიკოსი, და სხვა სპეციალისტების ადამიანი, ასევე ქარხანაში რამდენიმე ასეული მუშა, ტექნიკოსი, ეკონომისტი და ა. შ.

ადამიანისა და მანქანის ურთიერთობის საკითხი ძალზე ფართო საკითხია. ამ საკითხის ყოველმხრივი ანალიზი სპეციალისტების საქმეა.

შეგვიძლია მხოლოდ აღენიშნოთ, რომ ყოველი მანქანა საბოლოო შედეგში ადამიანის ან ადამიანთა ჯგუფის შემოქმედების შედეგია. ადამიანი ჰქმნის მანქანას თავის მოთხოვნილებათა დასაკმაყოფილებლად. მანქანასა და ადამიანს შორის ეს განსხვავება საზოგადოებრივ წარმოებაში განსაზღვრავს მათ შორის კავშირის სხვადასხვა ფორმას, მათ დამოკიდებულებას გარემო სამყაროსთან. მართალია შეიძლება აიგოს ისეთი მანქანა, რომელიც ინტელექტით ბევრჯერ გადააჭარბებს ადამიანს, ისეთი მანქანა, რომელსაც შესწევს უნარი იცოდეს გაცილებით მეტი, ვიდრე კაცობრიობამ (აკადემიკოსი ა. ა მ ო ს ო ვ ი). მაგრამ ასეთი მანქანა — „ზეკაი“ (ა. ა მ ო ს ო ვ ი) ვერასდროს ვერ გადააჭარბებს კაცობრიობას იმის გამო, რომ კაცობრიობის მიზნები და მოთხოვნილებები განსაზღვრავენ ტექნიკური მოწყობილობების განვითარების გზებსა და მათ ბაზებს. შესაძლებელია, რასაკვირველია, ისეთი მანქანის შექმნა, რომელიც მიმართული იქნება ადამიანის წინააღმდეგ (ასეთი მანქანები კი თავიანთ მიმართ იქნებიან უსაგნონი, შეუგნებელნი). ამ შემთხვევაში ასეთი მანქანისადმი შიში იმაში კი არ მდგომარეობს, რომ ისინი ადამიანისაგან დამოუკიდებლად იარსებებენ, არამედ ასეთი მანქანები საშიშია სოციალური გამოყენების ხასიათის გამო. ანტაგონისტურ საზოგადოებაში მათი გამოყენება კაცობრიობის წინააღმდეგაც შეიძლება. ეს პრობლემა აწუხებთ თვით ბურჟუაზიულ მეცნიერებსაც კი. მაგალითად, ე. ბ ე რ კ ლ ი ამტკიცებს, რომ თვით რობოტები კი არ არიან ადამიანისათვის საშიშნი, საშიშია ის ანტისაზოგადოებრივი ჯგუფი ადამიანებისა, რომლებსაც მიეცემათ საშუალება ჰქონდეთ ასეთი რობოტები. კიბერნეტიკის მამამთავარი ნორბერტ ვინერი (აშშ) ამის შესახებ წერდა, რომ ტექნიკის განვითარება უსაზღვროა. ის შეიძლება გამოვიყენოთ როგორც ადამიანთა სიკეთისთვის, ისე სიბოროტისთვის (მაგალითად, ომის წარმოებისათვის). დღესაც არსებობს ზოგიერთი ტიპის მანქანები და მოწყობილობები, რომლებსაც დამოუკიდებელი კვების წყარო (მაგალითად, მზის სხივებიდან მიღებული ენერჯიის გარდაქმნით) გააჩნიათ. ელექტროკვებისათვის შესაძლოა გამოვიყენონ ატომური ენერჯიით მომუშავე კვების წყარო (ასეთ შემთხვევაში, თუნდაც საკმარისად მცირე მანქანური დროისათვის გულუბრყვილო იქნებოდა მტკიცება: „გამოვთიშავ კვებას და მანქანა არ იმუშავებს!“). ასეთი წყაროების გამოყენება უმაღლესი ღონის პროგრამული უზრუნველყოფით აღჭურვილ თვითმარგანიზებად ეცგ მანქანაში თითქმის დამოუკიდებელი გონიერი სისტემის შექმნას მოასწავებდა.

ცხადია, რაც უფრო რთული და გონიერი იქნება მანქანა, მისი მართვაც გაცილებით გაძნელებულია. მართლაც, თუ მანქანამ, რომელიც აგროვებს და აანალიზებს მოწინააღმდეგის მოქმედების ინფორმაციას, რაიმე მიზეზის გამო, არ მიიღო სწორი გადაწყვეტა, ხოლო ადამიანმა არ დაუჭერა თავის სუბიექტს (მანქანა ხომ შემოქმედებითი სუბიექტი არაა!), სიტუაციის რეალურ ფაქტორს, შეიძლება განვითარდეს კატასტროფული მოვლენა. ამიტომ ასეთი მანქანის მართვა ყოველთვის უნდა გონივრულად და მალალ დონეზე.

შ ი ნ ა ა რ ს ი

შ ე ს ა ე ა ლ ი	3
თ ა ვ ი I. თავის ტვინი კიბერნეტული თვალსაზრისით	7
გონებრივი პროცესების ეტაპები	13
თავის ტვინისა და კიბერნეტული მანქანების უჯრედების ლიგიათა მსგავსება	21
ალგორითმების „ცოცხალი“ სისტემა	24
ნერვული სტრუქტურის ელემენტების ტექნიკური მოდელები	26
აზროვნებითი პროცესების ჰიპოთეზური მოდელები	46
თ ა ვ ი II. თვლის საშუალებანი	55
ელექტრომექანიკური გამომთვლელი მანქანებიდან ე ც გ მანქანებამდე	62
ბაირონის ქალიშვილი — პირველი დაპროგრამებელი	69
თ ა ვ ი III. ელექტრონულ-ციფრული გამომთვლელი მანქანები და „აზროვნების“ კანონები	72
ელექტრონული და გამომთვლელი მანქანების ორობითი არითმეტიკა	85
გამოთქმათა ალგებრა მანქანებისათვის	93
მანქანების ალკურვილობა და შესაძლებლობანი	<u>100</u>
თ ა ვ ი IV. ადამიანისა და მანქანის შესაძლებლობათა შედარება	103
ელემენტების საიმედოობა	103
მასსოვრობის შესაძლებლობანი და ფუნქციონალური თვისებები	105
ადამიანსა და მანქანას შორის „გაღსხვავებანი“	109
მანქანის საშუალებით აზროვნებითი პროცესების მოდელირების ამოცანა	114
თ ა ვ ი V. „გონიერი“ მანქანები	119
მანქანა — კომპოზიტორი	121
გონიერი მანქანის „ხელი“ და „თვალი“	128
თანამედროვე რობოტები	133
მანქანური ქაღალდი	137
„ინტელექტუალური ავტომატიზაციის“ საშუალებანი	<u>145</u>
თ ა ვ ი VI. „ადამიანი-მანქანის“ პრობლემა	157
ადამიანი, როგორც კიბერნეტული სისტემების ცოცხალი კვანძი	159
ადამიანი და ტექნიკური მოწყობილობები	163
თ ა ვ ი VII. თანამედროვე და მომავლის ხელოვნური ინტელექტი	170
მაღალი წარმადობის რეკორდული ე ც გ მანქანები	178
თანამედროვე ე ც გ მანქანათა პროგრამული უზრუნველყოფა	167
შეუძლია თუ არა მანქანას ადამიანის დამორჩილება?	195

Берулава Реваз Гайозович
Человек и «разумные» машины
(На грузинском языке)
Издательство «Сабчота Сакартвелო»
Тбилиси, Марджанишвили, 5
1 9 7 8

რედაქტორი ნ. აღნიაშვილი
მხატვარი კ. ტუხაშვილი
მხატვრული რედაქტორი რ. მახარაძე
ტექნიკური რედაქტორი ნ. მანიქაშვილი
კორექტორები: მ. რევაზიშვილი, მ. ჯაველიძე
გამომწვეები მ. წივჭიჭიძე

ბ. ბ. № 152

გადაეცა წარმოებას 25/IV-77 წ. ხელმოწერილია დასაბეჭდად
7/1-78 წ. საბეჭდი ქაღალდი № 1. 60×84¹/₁₆. პირ. ნაბეჭდი
თაბახი 11.62. სააღრიცხვო-საგამომცემლო თაბახი. 10.49.
უე 03603. ტირაჟი 2.000 შეეკვ. 1062

ფასი 70 კაპ.

გამომცემლობა „საბჭოთა საქართველო“
თბილისი, მარჯანიშვილის 5

საქართველოს სსრ მინისტრთა საბჭოს გამომცემლობათა,
პოლიგრაფიისა და წიგნის ვაჭრობის საქმეთა სახელმწიფო
კომიტეტის სტამბა № 1. თბილისი, ორჯონიკიძის ქ. № 50.

Типография № 1 Государственного комитета Совета Министров
Грузинской ССР по делам издательства, полиграфии и книжной
торговли. Тбилиси, ул. Орджоникидзе № 50.