



UNIVERZITET U NOVOM SADU
PRIRODNO-MATEMATIČKI FAKULTET
DEPARTMAN ZA MATEMATIKU I
INFORMATIKU



Sovjetski digitalni računar *АЦБМ М-1*

Seminarski rad iz predmeta Istorija informatike

Student:

Nikola Vetnić 82m/23

Novi Sad, decembar 2023.

SADRŽAJ

1 Uvod	5
2 Automatski digitalni računar M-1	6
2.1 Ideja i patent	6
2.2 Projekat i razvoj.....	8
2.3 Arhitektura i izrada	13
2.4 Ocena i kompletiranje.....	17
2.5 Karakteristike i upotreba	18
3 Zapadni računari od kraja Drugog svetskog rata do 1952. godine.....	20
3.1 ENIAC	21
3.2 EDSAC	22
3.3 UNIVAC I.....	24
3.4 Manchester Mark 1	25
3.5 IBM 701.....	27
4 Zaveštanje sovjetskog računarstva danas	28
Literatura	30

1 Uvod

Razvoj računarstva danas se obično vezuje za tzv. "zapadni svet", labavi geografski termin koji obuhvata Sjedinjene Američke Države, članice nekadašnjih Evropskih zajednica, kao i Britanski Komonvelt nacija. Zaista, već tokom Drugog svetskog rata pojedine članice ove grupe usmerile su značajne naučne i materijalne resurse na razvoj računara, pre svega kao deo ukupnih ratnih napora - u prilog ovoj tvrdnji dovoljno je spomenuti računare Kolos (*Colossus*) iz Blečli parka (*Bletchley Park*) koji su koristili dešifranti Enigme, i *ENIAC* koji je svoj doprinos dao razvoju američkih atomskih bombi bačenih na Japan u avgustu 1945. godine.

Uprkos veličini poduhvata, izdvajanje takvih materijalnih i ljudskih resursa nije bilo nepremostiv problem za zapadne države, budući da se rat na teritoriji većine njih nije ni vodio, dok je sa druge strane već postojala istraživačko-proizvođačka osnova iz predratnih godina koju je bilo moguće iskoristiti za izgradnju računara još tokom rata.

Oštro kontrastirajući zapadu, Savez sovjetskih socijalističkih republika sredine XX veka sinonim je za najteža ratna stradanja - oko 27 miliona ljudskih žrtava i neizmerna materijalna šteta skoncentrisana na do tada veoma razvijenom zapadu zemlje, bili su zaveštanje divljanja nacističke soldateske tokom četiri ratne godine. Lična tragedija pojedinaca u SSSR-u pak počinje i pre izbijanja rata - idološki obračuni i čistke istaknutih ličnosti u kojima je prednjačio Staljin (*Иосиф Виссарионович Джугашвили Сталин*), eliminisali su određeni broj pripadnika naučne, privredne i vojne elite zemlje, te je time situacija u državi kada je mir nastupio u septembru 1945. godine bila neverovatno teška.

Ipak, ruska tradicija koja seže još u carsko doba iznedrila je veliki broj vrhunskih svetskih matematičara, fizičara i inženjera različitih profila, od kojih su većina bili plodni pisci. Na taj način postojala je naučna osnova da se zemlja oslobođena ratnog bremena uvede u računarsko doba, i upravo tog zadatka se latilo mlado pokolenje poletnih stvaralaca, ne zaostajući time nimalo za uspesima ratom gotovo neokrnjenog zapadnog sveta.

Istorija izračunavanja korišćenjem različitih uređaja u Sovjetskom savezu počinje pre drugog svetskog rata sa izgradnjom neobičnih analognih hidrauličnih računara. Metoda hidrauličnih analogija i odgovarajući uređaji počeli su da se primenjuju u SSSR-u i SAD praktično istovremeno.

U Sovjetskom savezu hidrointegrator je razvio Vladimir Sergejević Lukjanov (*Владимир Сергеевич Лукьянов*) 1936. godine za proučavanje mehanizma nastanka temperaturnih pukotina u betonu pri izgradnji nosača železničkog mosta. Nakon toga, dizajn analognog uređaja se stalno usavršavao i Lukjanovljev hidrointegrator je postao jedan od prvih računara koji je serijski proizveden (1955). Studije su pokazale da se do pojave računara metod hidrauličnih analogija uspešno koristio u proučavanju različitih tehnoloških i prirodnih procesa.

U Sjedinjenim Državama, patent za uređaj koji koristi metodu hidrauličnih analogija i koji je bio namenjen proučavanju termičkih procesa, hidrokal (eng. *hydrocal*), izdat je Arturu Muru (*Arthur Moore*) 1937. godine. Međutim, zbog brojnih nedostataka u dizajnu, Murov uređaj nije bio široko primenljiv za rešavanje inženjerskih problema. [1]

Izbijanje Velikog otadžbinskog rata¹ preusmerilo je sva sredstva na ratne napore velike države, te je bilo kakav naučno-istraživački rad morao sačekati dolazak mira.

2 Automatski digitalni računar M-1

Istorija sovjetskog, a kasnije i ruskog računarstva u onom vidu u kakvom ga poznajemo danas počinje krajem 1940-ih godina XX veka, kada su Isak Semjonovič Bruk (*Исаак Семенович Брук*) i Sergej Aleksejevič Lebedev (*Сергей Алексеевич Лебедев*), nezavisno od zapadnih naučnika a dobrim delom i jedan od drugog, razvili osnovne principe arhitekture elektronskih digitalnih računara. U nastavku rada biće reči o radu Bruka koji se tek nešto malo pre Lebedeva ovenčao uspehom.

Već u prvim posleratnim godinama dolazi do naglog razvoja računarstva u Sovjetskom savezu. Isak Bruk i Bašir Iskandarović Ramejev (*Рамеев Башир Искандарович*), čiji je patent za automatski digitalni računar (rus. *автоматическая цифровая вычислительная машина*) zaveden pod brojem 10475 4. decembra 1948. godine, smatraju se rodonačelnicima sovjetske informatike. Rezultat rada dvojice naučnika bio je automatski digitalni računar M-1 (*АЦБМ М-1*), prvi u seriji računara koji će se proizvoditi u SSSR-u sve do kraja osamdesetih godina XX veka. [2]

2.1 Ideja i patent

Isak Bruk rođen je 27. oktobra 1902. godine u radničkoj porodici u gradu Minsku. Godine 1920. upisuje Moskovsku višu tehničku školu "Nikolaj Ernestovič Bauman" (*Московское высшее техническое училище им. Н. Э. Баумана*, skraćeno *МВТУ* - danas je to Moskovski državni tehnički univerzitet "Nikolaj Ernestovič Bauman", *Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана*, skraćeno *МГТУ*), na kojoj diplomira radom na temu regulacije asinhronih motora u kaskadnom kolu. Maja 1925. godine zapošljava se u Državnom eksperimentalnom elektrotehničkom institutu, ali zaposlenje prekida u periodu od



Slika 1. Isak Semjonovič Bruk (*Исаак Семенович Брук*). [3]

¹ Veliki otadžbinski rat je osnovni deo Drugog svetskog rata i obuhvata sukob Saveza sovjetskih socijalističkih republika sa Trećim rajhom i njemu pridruženim satelitskim državama.

septembra 1925. do maja 1926. godine radi službe u Crvenoj armiji. Nakon službe se vraća na staro radno mesto u funkciji rukovodioca grupe mašinskog i hardverskog odeljenja Svesaveznog instituta energetike (*Всесоюзный энергетический институт*). Akademsku karijeru gradi u periodu od 1935. do 1956. godine kao istraživač i kasnije rukovodilac laboratorije energetskih sistema Energetskog instituta Akademija nauka SSSR "Gljeb Maksimilijanović Kšižanovski" (*Глеб Максимилианович Кржижановский*). [3]

Bašir Ramejev rođen je 1. maja 1918. godine u porodici rudarskog inženjera u selu Bajmak (*Баймак*) Orenburške gubernije (*Оренбургская губерния*) Ruskog carstva. Potiče iz porodice intelektualaca, budući da je Baširov deda po sa očeve strane u carsko doba bio ne samo imućan zlatar nego i pesnik, već tada priznat klasikom tatarske književnosti. Kao bogatom intelektualcu Ramejevu starijem je za vreme Crvenog terora prisvojena etiketa "neprijatelja naroda", da bi 1938. godine za vreme Staljinovih čistki bio uhapšen i osuđen na pet godina radnog logora, gde je naposljetku 1943. godine i umro. Ne iznenađuje da ni Bašir nije bio pošteđen maltretiranja, te je mladić 1938. godine ispisan sa fakulteta i još dugo nakon toga ostao bez formalne potvrde o visokom obrazovanju. On



Slika 2. Bašir Iskandarovič Ramejev
(*Рамеев Башир Искандарович*). [4]

ipak uspeva da se zaposli na Svesaveznom naučno-istraživačkom institutu radara (*Всесоюзный научно-исследовательский институт радиолокации*) 1940. godine, da bi odatle otišao kao dobrovoljac vezista u bataljon Ministarstva za vezu SSSR po izbijanju Velikog otadžbinskog rata. Nakon učestvovanja u operacijama na Dnjepru i u Kijevu u sklopu Prvog ukrajinskog fronta, službe je oslobođen 1944. godine kako bi učestvovao u naporima obnove narodne privrede. Početkom 1947. godine Ramejev saznaje za računar *ENIAC* izgrađen u SAD i odlučuje se za novu i uzbudljivu naučno-tehničku oblast računarstva. Po preporukama svog rukovodioca Aksela Ivanovića Berga (*Аксель Иванович Берг*) obraća se dopisnom članu Akademija nauka SSSR-a Isaku Bruku i u maju 1948. godine biva primljen u Laboratoriju elektrosistema Istituta za energetiku Akademije nauka SSSR-a kao inženjer-konstruktor. [4]

Iako predmet njegovog profesionalnog interesovanja u početku nije obuhvatao računarstvo, Isak Bruk se ka konstrukciji automatskog digitalnog računara M-1 kretao dosledno i sa zavidnom koncentracijom. Kao rukovodilac laboratorije energetskih sistema započeo je istraživanja proračuna režima rada moćnih elektroenergetskih sistema i njihove statičke stabilnosti, proučavanje pitanja kompenzacije reaktivne snage dalekovoda i raznim drugim problemima elektroprivrede. Kao alat za ovu namenu u laboratoriji nastaje

svojevrsan mehanički računar specijalizovan za proračun naizmenične struje pri modelovanju složenih električnih mreža. Rad u ovom pravcu Bruk nastavlja 1936. godine kada izrađuje mehanički instrument za rešavanje običnih diferencijalnih jednačina, a nakon toga 1939. godine kada je razvijen, izrađen i u Energetski institut "Kšizanovski" postavljen mehanički integrator, koji je mogao da rešava diferencijalne jednačine do šestog reda. Ovakav integrator se prema savremenoj klasifikaciji prepoznaje kao analogni računar.

Isak Bruk nastavlja svoja istraživanja nakon službe u Velikom otadžbinskom ratu. Godine 1946. izrađuje mehanički instrument za približno rešavanje diferencijalnih jednačina Poasona (*Siméon Denis Poisson*) i Laplasa (*Pierre-Simon Laplace*). Ipak, Bruk je bio svestan velikih i konstantno rastućih mogućnosti radioelektronike. Nedugo zatim u laboratoriji je razvijen i izrađen elektronski diferencijalni analizator, koji je predstavljao analogni računar namenjen integriranju jednačina do dvadesetog reda, a ujedno i Brukov prvi susret sa praktičnom upotrebom radioelektronike. [3]

2.2 Projekat i razvoj

Leta 1948. godine Isak Bruk prima inženjera Bašira Ramejeva kao inženjera-konstruktoru u laboratoriju Instituta "Kšizanovski". Već u avgustu dva naučnika uspevaju da razrade projekat digitalnog elektronskog računara, koji krajem te iste godine upućuju u Državni komitet Saveta ministara SSSR-a za uvođenje naprednih tehnologija u narodnu privredu, zajedno sa više od deset pratećih prijava za razvoj i izradu sastavnih delova takve mašine. Nakon pregleda projektne dokumentacije Komitet je odobrio ukupno deset projekata, među kojima su množitelj brojeva u binarnom sistemu, neprekidni sabirač, uređaj za pretvaranje binarnih brojeva u dekadni sistem, množilac sa dvorednim brojačima, elektronski numerički integrator, automatski digitalni računar, jednocifreni sabirač binarnih brojeva, relejno-kodni množitelj, množilac za istovremeno množenje više brojeva u binarnom sistemu, sabirač za istovremeno sabiranje više brojeva u binarnom sistemu.

Sam računar se u projektnoj dokumentaciji opisuje kao "automatski digitalni računar brzog dejstva i opšte primene", a kao željene karakteristike se, između ostalih, navodi sledeće:

- glavni softverski senzor mašine se pokreće na početku svakog ciklusa start signalom i uključuje pojedine elemente mašine u skladu sa programom za rešavanje problema, koji zatim rade autonomno jedan ciklus,
- primenjuje se relejno-kodni princip rada sa istovremenim prenosom svih cifara broja u svim elementima mašine,
- pomoćni računar se koristi sa nekoliko fiksnih programa snimljenih na kontinuirano rotirajućim dobošima za interpolaciju i obavljanje računskih operacija koje se često ponavljaju,
- koriste se poseban sabirač, množilac i delilac, izrađeni prema aplikacijama br. 381421-IV, br. 381433-IV, br. 381478-IV, br. 364301-IV, br. 364298,
- za kontrolu rada mašine koriste se dekoderi binarnog koda, izrađeni prema aplikacijama br. 363668-III, br. 363665-III. [3]

U odgovoru Državnog komiteta se između ostalog navodi sledeće:



Slika 3. Patent Bruka i Ramejeva br. 10475 od 4. decembra 1948. godine. [3]

"...Automatski digitalni računar za obavljanje aritmetičkih operacija nad brojevima predstavljenim u binarnom brojevnom sistemu, sa primenom preliminarog snimanja ulaznih numeričkih podataka i plana za rešavanje zadatka na programskoj traci, sa primenom glavnog softverskog senzora koji se kontroliše podacima sačuvanim na navedenoj programskoj traci i koji raspodeljuje ulazne numeričke podatke među pojedinim komponentama uređaja u skladu sa planom rešenja, sa primenom elektronskih ili drugih uređaja prilagođenih za obavljanje aritmetičkih operacija u binarnom brojevnom sistemu, sa primenom ventilskih uređaja ovog ili drugog tipa, koje kontroliše pomenuti glavni softverski senzor, i koji su namenjeni za ulaz ili izlaz digitalnih vrednosti u čvorovima uređaja, sa primenom elektronskih ili drugih uređaja za skladištenje prilagođenih za čuvanje numeričkih podataka

tokom određenog vremena, sa primenom pomoćnog digitalnog računara sa fiksnim radnim programom za interpolaciju tabelarnih digitalnih podataka, sa primenom izlaznih uređaja koji evidentiraju brojeve dobijene tokom rada u binarnom sistemu uz naknadnu transformaciju pomenutih brojeva u dekadni sistem i štampanje na papiru, koji se odlikuje time što se glavni programski senzor mašine pokreće na početku svakog radnog ciklusa startnim signalom i okreće na, u skladu sa programom, pojedinim komponentama mašine, koje zatim autonomno rade jedan ciklus..." [5]

Početkom 1950. godine Isak Bruk se obraća Prezidijumu Akademija nauka SSSR-a sa predlogom da se u plan rada laboratorije elektrosistema uključi izgradnja automatskog digitalnog računara *M-1*. Predlog je prihvaćen i po nalogu prezidijuma od 22. aprila 1950. godine laboratorija dobija finansijska sredstva i dodatne specijaliste neophodne za rad na računaru *M-1*. [3]

Nedugo zatim Bruku se pridružuje diplomac radiotehničkog fakulteta Moskovskog instituta energetike (*Московский энергетический институт*, skraćeno *МЭИ*) Nikolaj Jakovljevič Matjuhin (*Николай Яковлевич Матюхин*) u svojstvu mlađeg naučnog saradnika. Matjuhin se ubrzo pokazao kao dostojan poverenog mu zadatka, budući da uspeva da prilično brzo usvoji ideju i osnovne principe na kojima počiva izgradnja električnih računara. Matjuhin započinje rad na *M-1* razvojem logičke sheme trouglastog sabirača i opšteg kola aritmetičke jedinice. [3]

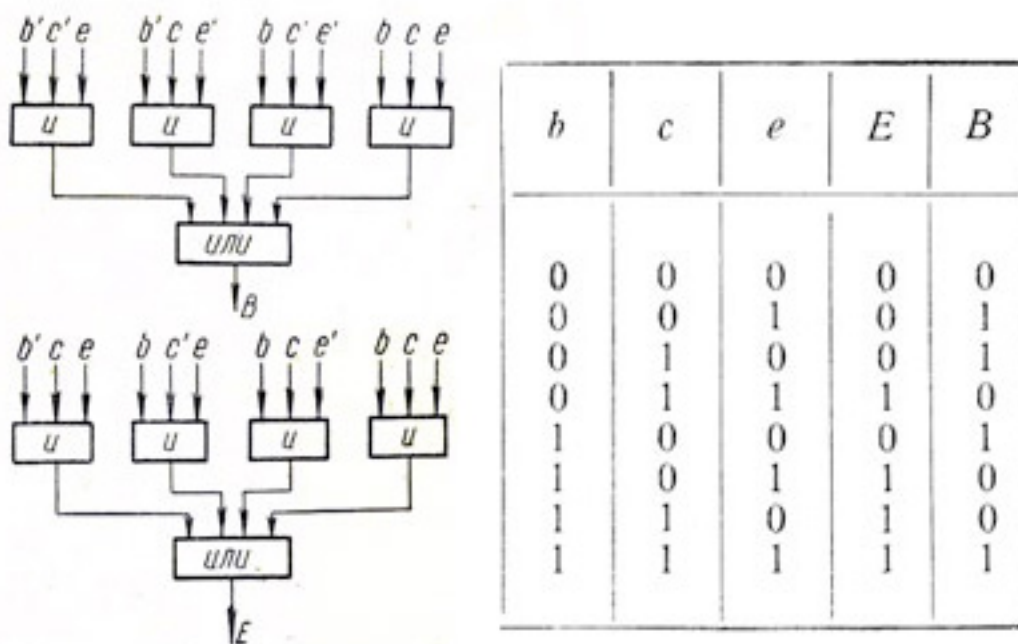


Slika 4. Nikolaj Jakovljevič Matjuhin
(*Николай Яковлевич Матюхин*). [3]

Svaka digitalna cifra aritmetičke jedinice sadržala je binarni sabirač sa tri ulaza, četiri okidača numeričkih registra izgrađenih na radio cevima 6H8C² (dva registra sabiraka, registar prelazne jedinice i registar pomeranja) i prijemni okidač digitalne magistrale izgrađen na osnovi dve 6Π6 vakuumске цеви. Na taj način je svaka od cifara sadržala 22 vakuumске цеви, od kojih se 16 (reč je o 6X6 diodama) koristilo pri izgradnji logičke sheme.

Početkom juna 1950. godine je izgrađena umanjena maketa računara prema električnoj shemi aritmetičke jedinice koju je razvio Nikolaj Matjuhin. Dimenzije makete ukazivale su na gigantske razmere budućeg uređaja koji je bio toliko impozantan da se Laboratorija elektrosistema mogla naći u problemu pri njegovom razmeštanju.

² Oznake sastavnih komponenti računara u tekstu su date u originalu, odnosno zapisane su ruskim ćirilničnim pismom.



Slika 5. Logička shema i istinitosna tablica trouzalnog sabirača računara *M-1*. Oznake b i c predstavljaju izlaze okidača sabiraka, dok oznaka e označava izlaz okidača prelazne jedinice. Logička kola označena su kurzivnim ćirilničnim u (AND) i uu (OR). [3]

Pošto se većina vakuumskih cevi koristila za konstruisanje logičkih kola, Bruk je predložio da se sprovede istraživanje o mogućnosti korišćenja poluprovodničkih uređaja u dekodecima i mikserima, imajući pri tom u vidu KBMΠ-2-7, ispravljače od bakar-oksida malog gabarita. Projektu se tada priključuje Jurij Vasiljević Rogačov (*Розачёв Юриѝ Васильевич*), koji je na osnovu podataka sopstvenih statističkih istraživanja tehničkih parametara velikog broja takvih ispravljača ukazao na stabilnost njihovih tehničkih karakteristika. Reč je konkretno o odnosu direktnog i obratnog otpora, vrednosti kojih kod KBMΠ-2-7 iznose 3-5 kΩ, odnosno 0,5-2 MΩ - ukoliko je odnos ove dve vrednosti najmanje 1:100 komponenta je u stanju da pouzdano obezbedi ispunjavanje diodnih funkcija u logičkim shemama. Uzimajući ove parametre u obzir, proračunato je električno kolo sabirača i napravljen model aritmetičke jedinice, koja je po funkcionalnoj shemi identična sabiraču na osnovi vakuumskih cevi. [3]

Razlog odluke da se vakuumске cevi zamene poluprovodničkim komponentama je trojak: opšta posleratna nestašica najrazličitijih materijala i komponenti zajedno sa željom da se smanji ukupna količina električne energije koju bi uređaj trošio bili su jedna strana medalje, dok je druga svakako obilje elektronske i radio opreme koju je sovjetska vojska donela iz Nemačke kao ratni plen. Upravo naziv bakar-oksidnih ispravljača odomaćen u sovjetskoj literaturi - "kuproksni" ispravljači - ukazuje na nemačko poreklo (nem. *Kupferoxydul Gleichrichter*). Uprkos pojedinim navodima da su ovakvi ispravljači u SSSR-u po prvi put nezavisno proizvedeni već 1935. godine u Nižnjem Novgorodu, sve činjenice ukazuju na to da su prve komponente ovog tipa u Sovjetskom savezu nastale kopiranjem Siemens-ovih SIRUTOR ispravljača. [6]

Proučavanje makete računara u statičkom režimu pouzdano je pokazalo ispravne rezultate operacije sabiranja za sve moguće kombinacije ulaznih podataka. Sledilo je utvrđivanje mogućnosti njihovog korišćenja u impulsnim kolima. Eksperimentalne studije prototipa u impulsnom režimu takođe su pokazale njegov stabilan rad u širokom frekventnom opsegu. Stabilnost rada kola je određena uzimajući u obzir odstupanja nivoa napona napajanja i varijacije u parametrima komponenti. Posebna pažnja je posvećena stabilnosti i pouzdanosti samih bakar-oksidsnih ispravljača.



Slika 6. Mihail Aleksandrovič Karcev (Михаил Александрович Карцев). [3]

Već u avgustu 1950. godine postaje jasno da kolo funkcioniše pouzdano i da ispravljači na bazi bakar-oksida stabilno obavljaju logičke funkcije dioda. Završna ispitivanja ovog prototipa su sprovedena uz direktno učešće Isaka Bruka, tokom kojih su sprovedeni testovi potvrdili pouzdan rad logičkih kola izgrađenih na bazi minijaturnih bakar-oksidsnih ispravljača. Na osnovu rezultata ovih ispitivanja, Bruk je doneo konačnu odluku da napravi logička kola mašine *M-1* koristeći poluprovodničke uređaje KBMII-2-7. Komentarišući ovu odluku, Isak Bruk je, ne skrivajući emocije oduševljeno izjavio: "Ovo je revolucionaran korak, pravi trijumf! To je prvi korak, koji će otvoriti put ka tome da svaki inženjer na svom radnom stolu ima računar!..."

Nikolaj Matjuhin se u svojim memoarima na ovu odluku osvrnuo sledećim rečima: "Jedna od osnovnih odluka koja je, čini mi se, predodredila uspeh našeg prvog uređaja i omogućila njegovu izgradnju za tako kratko vreme, bio je pravac kojim je krenuo Bruk opredelivši se za korišćenje poluprovodničkih elemenata. U to vreme takvi elementi bili su prisutni u našoj industriji samo u vidu malogabaritnih bakar-oksidsnim ispravljačima koji su se proizvodili za potrebe merne tehnike. Bruk je napravio dogovor o proizvodnji posebne modifikacije takvog ispravljača dimenzija običnog otpornika, dok smo mi napravili skup standardnih kola. U radionici pri laboratoriji počelo se sa proizvodnjom i ugradnjom blokova, a za manje od godinu dana mašina je već 'prodisala'. U uređaj je ugrađeno nekoliko hiljada bakar-oksidsnih ispravljača i svega nekoliko stotina vakuumskih cevi. Na taj način je *M-1* postao prvi u svetu digitalni računar u kome su logička kola bila izgrađena na osnovi poluprovodničkih komponenti. Primena bakar-oksidsnih ispravljača umesto vakuumskih cevi je takođe značajno smanjila razmere uređaja čime su ublaženi zahtevi kada je reč o prostoru neophodnom za razmeštanju računara (za koji je bila odvojena jedna iz prostorija površine 15m²), te smanjena neophodna jačina električne energije potrebna za rad uređaja što je

automatski poboljšalo i temperaturni režim, smanjilo obim radova pri izradi računara, a samim tim i rokove izrade."

Septembra 1950. godine grupa angažovana oko izrade *M-1* proširena je diplomcima i studentima završnih kurseva Moskovskog instituta energetike, od kojih su se kasnije kao naučnici i istraživači istakli Tamara Minovna Aleksandridi (*Тамара Миновна Александриди*) i Mihail Aleksandrovič Karcev (*Михаил Александрович Карцев*, rukovodilac grupe koja će biti odgovorna za razvoj i izradu računara *M-2* i uopšte jedan od velikana sovjetskog računarstva). [3]

U ovom trenutku jasno su određena lica odgovorna za pojedinačne delove računara i njegovih komponenti. Opšte rukovodstvo razvojem bilo je povereno Nikolaju Matjuhinu. Razvojem aritmetičke jedinice i elementne osnove bavili su se Matjuhin i Jurij Rogačov, razvoj glavnog softverskog senzora bio je poveren Karcevu i Šidlovskom, jednom od novih saradnika laboratorije. Konstrukciju magnetnog doboša je pod tehničkim rukovodstvom Isaka Bruka projektovao konstruktor Kokalevski (*И. А. Кокалевский*), a elektronska kola magnetne memorije Matjuhin i Žurkin (*Л. М. Журкин*). Tamara Aleksandridi je u svojstvu teme diplomskog projekta dobila zadatak razvoja elektronske memorije na elektrostatičkim cevima. Konačno, Zalkind (*А. Б. Залкинд*) i specijalista za telegrafsku opremu Jermočenkov (*Д. У. Ермоченков*) razradili su shemu povezivanja predajnika i teletajpa širokog formata sa aritmetičkom jedinicom. [3]

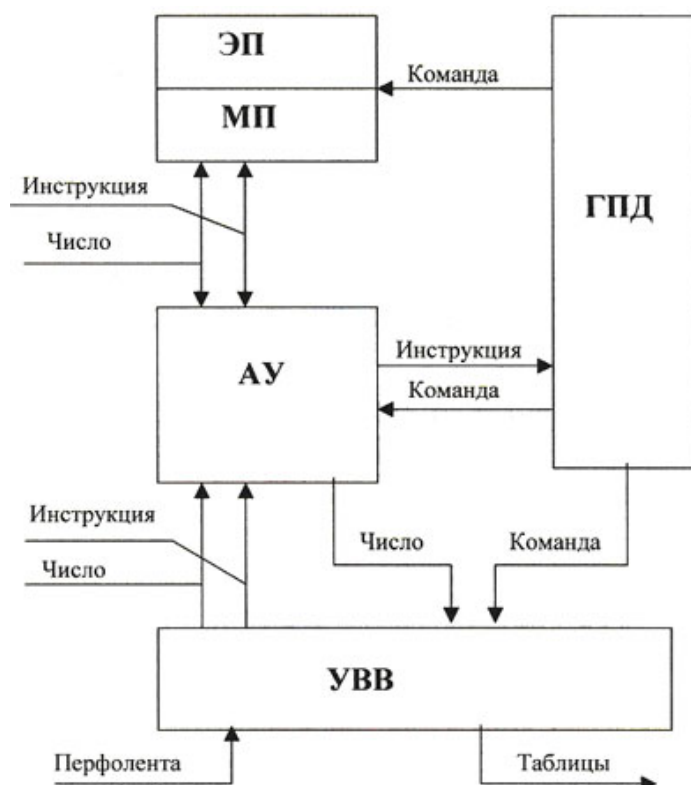
2.3 Arhitektura i izrada

U ovom periodu pod naučnim rukovodstvom Isaka Bruka, a uz učešće Nikolaja Matjuhina i Mihaila Karceva, otpočeo je tehnički razvoj arhitekture mašine. Bruk je u ovaj poduhvat dodatno uključio i matematičara Julija Anatoljeviča Šrejdera (*Юлий Анатольевич Шрејдер*), a periodično je u radu grupe učestvovao i matematičar i akademik Sergej Ljvovič Soboljev (*Сергей Львович Соболев*). Grupa naučnika je u ovom sastavu sproveda detaljno istraživanje algoritama za rešavanje različitih zadataka, koji su doveli do odluke da se u računaru koristi dvoadresni sistem komandi, na osnovu koje je i izrađen tehnički projekat. Mašina je obuhvatala aritmetičku jedinicu (арифметический узел, oznaka АУ na slici 7), glavni softverski senzor (главный программный датчик, oznaka ГПД), internu memoriju dva tipa - elektronsku (электронная память, oznaka ЭП) i magnetnu (магнитная память, oznaka МП), i ulazno-izlaznu jedinicu (узел ввода/вывода, oznaka УВВ). [3]

Aritmetička jedinica je sadržala 24 digitalna bloka, blok znaka broja, blok za izvršavanje sabiranja i oduzimanja, blok za izvršavanje množenja i deljenja i blok za generisanje i pojačavanje impulsa. U sastav glavnog softverskog senzora ulazilo je 12 vrsta blokova: generator takta, startni i sinhronizacioni blok, distributer impulsa, blok za generisanje impulsa, adresni registar, startni registar, izborni registar, registar za poređenje, blok za operacije i kôd, blok ventila, blok za izbor memorije i blok za operacije poređenja. Planirana je izrada dve vrste memorijskih uređaja, i to magnetnog (sa magnetnim dobošem) i elektronskog (koristeći elektrostatičke cevi).

Na osnovu praktičnog iskustva u razvoju novih serija asinhronih motora stečenog tokom rada u Svesaveznom elektrotehničkom institutu "Vladimir Iljič Lenjin" (*Всесоюзный*

электротехнический институт им. В.И. Ленина), kao i tokom rada na pronalasku sinhronizatora avionskog topa tokom Velikog otadžbinskog rata koji je obezbedio mogućnost



Slika 7. Blok-shema računara M-1. Prevod termina: *инструкция* - instrukcija, *число* - broj, *команда* - komanda, *перфолента* - bušena papirna traka, *таблицы* - tabele. [3]

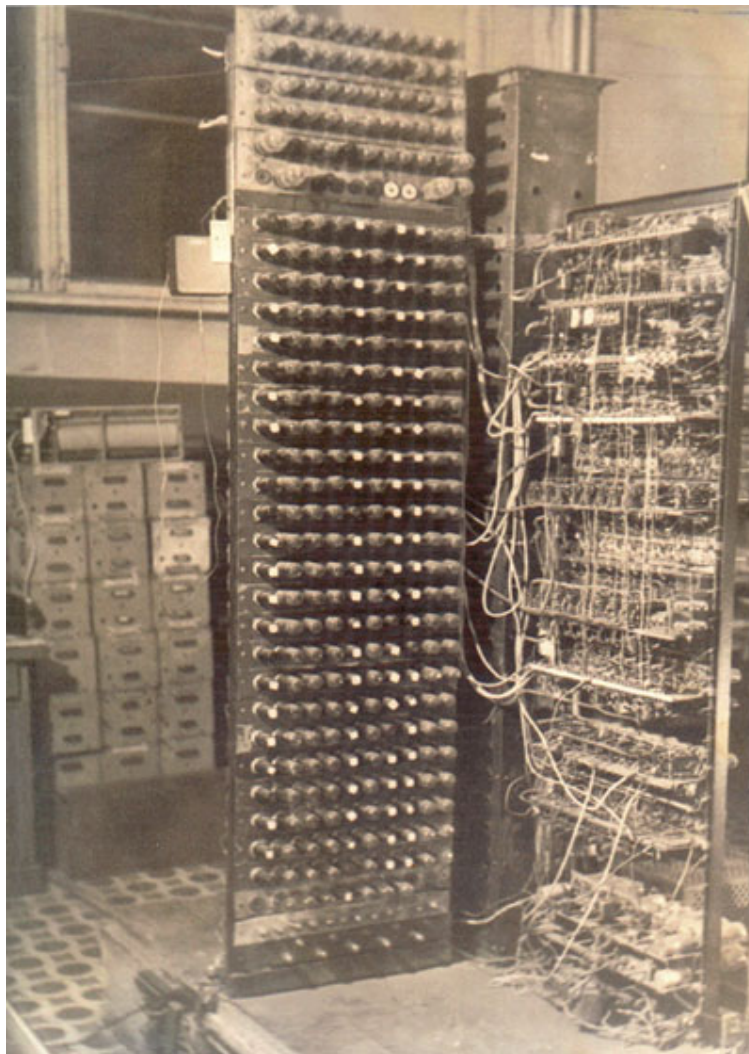
pucanja kroz rotirajući propeler, Bruk je 1950. godine doneo odluku da dizajnira magnetni bubanj kao magnetni memorijski uređaj računara *M-1*. Glavna jedinicu ove magnetne memorije činio je rotirajući duraluminijski cilindar prekriven feromagnetnim slojem i magnetnim glavama smeštenim duž generatriše cilindra. Elektronski deo je sadržao generatore impulsa za pisanje, pojačivače za čitanje i ventil za čitanje.

Predviđeno je korišćenje elektrostatičkih cevi za široku primenu kao skladišnih elemenata elektronske memorije. Elektronska memorijska jedinica je uključivala blok od devet elektrostatičkih cevi ЛО-737, kola za horizontalno skeniranje, ventile za čitanje i upisivanje, kola za vertikalno skeniranje, kolo pozadinskog osvetljenja, RF generatore, pojačivače za čitanje i stroboskope.

Ulazno-izlazni čvor izrađen je na osnovi standardne telegrafске opreme, odnosno teletajpa i predajnika. Instrukcije i vrednosti koje je bilo potrebno uneti u memorijske jedinice mašine ukucavale su se perforatorom teletajpa na standardnoj bušenoj traci i pomoću predajnika se uvodile u računar. Ispis digitalnih rezultata vršio se u vidu štampanih tabela na teletajpu širokog formata.

Započet je intenzivan rad na izradi projektne konstruktorske dokumentacije elektronskih jedinica koje su činile blokove računara. Nakon što bi dijagrami bili završeni, predavani su u montažnu radionicu laboratorije na izradu. U sobi posebno namenjenoj

razmeštanju *M-1* računara izgrađeno je postolje površine oko 4m², u čijem centru je instalirana pravougaona ventilaciona kolona sa rupama za hlađenje panela. Vazduh je u kolonu upumpavao snažan ventilator razmešten ispod postolja. Na bočnim stranama stuba nalazile su se police namenjene za pričvršćivanje blokova sa elektronskim kolima jedinica. Kako je proizvodnja napredovala, blokovi su postavljeni na svoja redovna mesta u regalima za konfiguraciju i autonomno pristajanje.



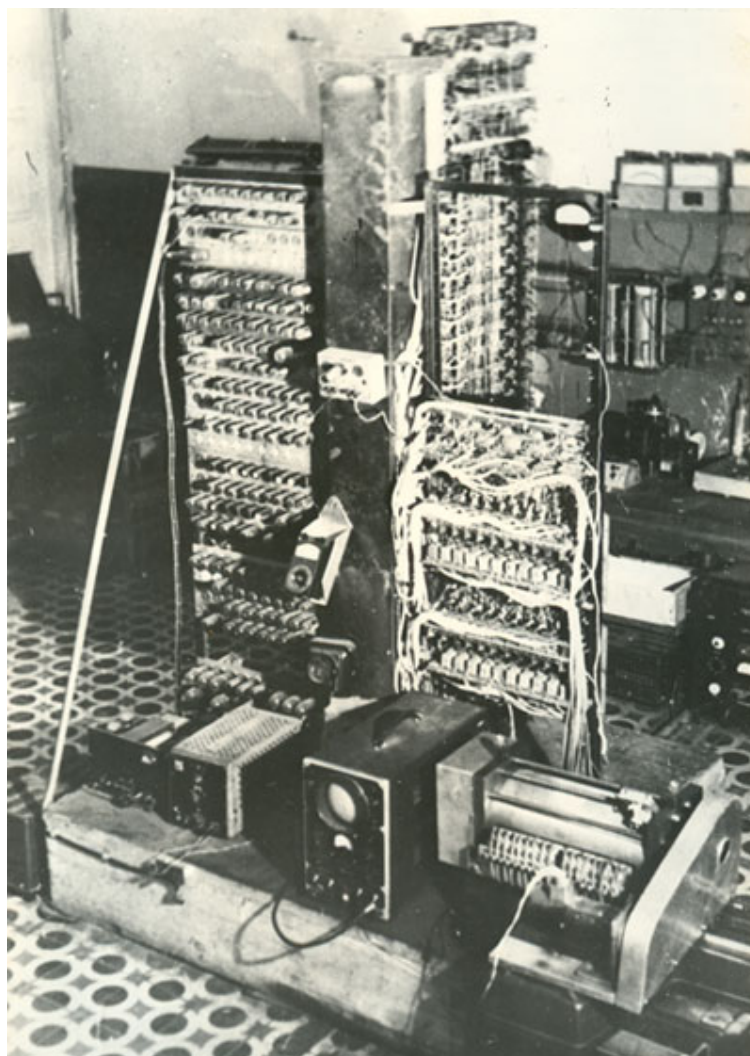
Slika 8. Digitalni računar M-1 u martu 1951. godine (pogled sa prednje strane aritmetičke jedinice). [3]

Septembra 1950. godine završen je razvoj projektne konstruktorske dokumentacija za blokove lokalnog softverskog senzora³ aritmetičke jedinice. Početkom oktobra Mihail Karcev pristupa razvoju glavnog softverskog senzora, i to počevši od njegove blok sheme. U procesu projektovanja ovog uređaja razvijena su specifična kola koja implementiraju fundamentalno novo tehničko rešenje - dvoadresni komandni sistem, koji je kasnije našao široku primenu

³ Lokalni softverski senzor (*местный программный датчик*, skraćeno *МПД*) iz glavnog softverskog senzora (*главный программный датчик*, skraćeno *ГПД*) prima jedan od četiri moguća impulsa, koji ukazuje na to kakvu akciju je potrebno izvršiti nad brojevima preuzetim iz registara A, B i C. Nakon kraja dejstva lokalni softverski senzor prosleđuje rezultate u softversko-digitalnu magistralu (*программно-цифровая магистраль*, skraćeno *ПЦМ*), istovremeno šaljući u glavni senzor impuls kojim ga izveštava o kraju operacije.

kako u sovjetskoj, tako i u zapadnoj računarskoj tehnici. Nakon završetka rada na dokumentaciji, montažna šema jedinice predata je instalaterima na proizvodnju.

Rad na projektovanju magnetne memorije je takođe polako privođen kraju. Elektronska kola pisanja i čitanja magnetnih signala bila su zadaća diplomaca Moskovskog



Slika 9. Digitalni računar M-1 u martu 1951. godine (pogled sa strane magnetnog doboša). [3]

instituta energetike Matjuhina i Zalkinda. Korišćenje magnetnih glava kućnih magnetofona rešilo je problem nedostatka namenskih delova, dok su u eksperimentalnom proizvodnom pogonu Instituta energetike Akademije nauka SSSR-a proizvedeni mehanizam i duraluminijumski cilindar za magnetni doboš. Oblaganje površine cilindra feromagnetnim slojem obavili su specijalisti Svesaveznog radiokomiteta (*Всесоюзный комитет по радиовещанию при Народном комиссариате почт и телеграфов СССР*, Svesavezni komitet za radio-difuziju pri Narodnom komesarijatu pošta i telegrafa SSSR-a). [3]

Decembra 1950. godine završena je izrada blokova aritmetičke jedinice i počelo je i montiranje ploča i blokova drugih uređaja. Februara 1951. godine završena je izrada blokova glavnog softverskog senzora, a početkom proleća iste godine izrađena su i priključena elektronska kola i doboš magnetne memorije. Marta 1951. godine sve jedinica bile su u

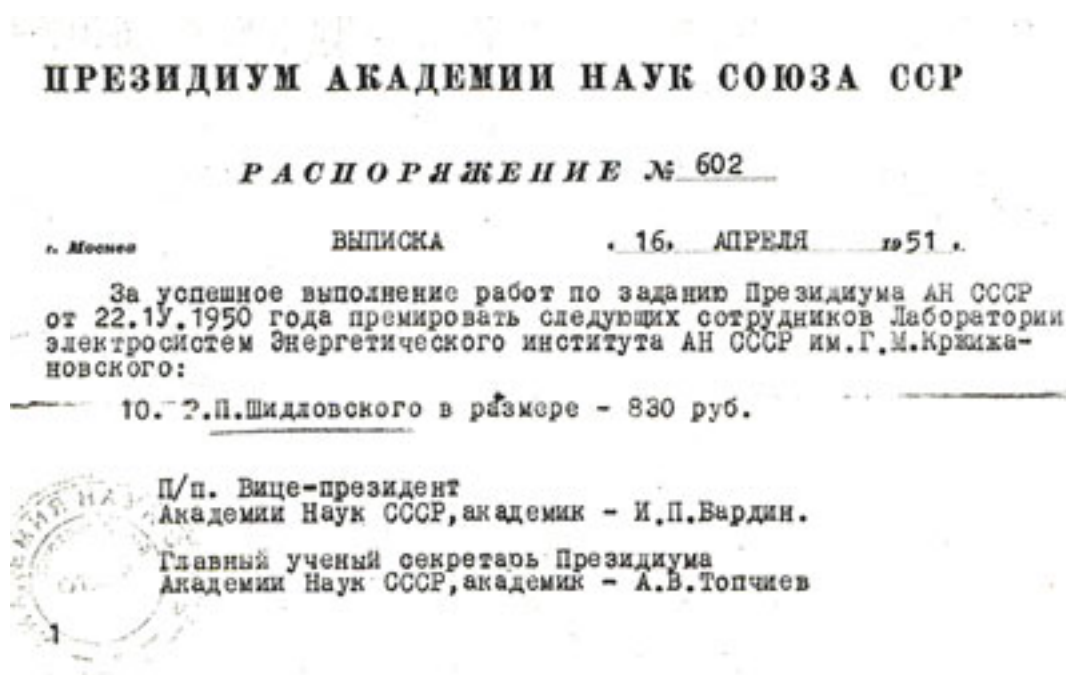
potpunosti opremljene odgovarajućim blokovima. Nastavljena je ugradnja bloka elektronskih memorijskih cevi. Aritmetička jedinica je u tom momentu već bila proverena i izvršavala operaciju sabiranja u automatskom režimu. [3]

2.4 Ocena i kompletiranje

Početkom aprila 1951. godine rezultate rada na izradi računara M-1 ocenjivala je komisija Prezidijuma Akademije nauka SSSR-a, u čijem sastavu su bili akademici Ivan Pavlović Bardin (*Иван Павлович Бардин*, metalurg), Aleksandar Vasiljević Topčiev (*Александр Васильевич Топчиев*, hemičar), Gljeb Maksimilijanovič Kšižanovski, Mihail Aleksejevič Lavrentjev (*Михаил Алексеевич Лаврентьев*, matematičar i mehaničar), Sergej Ljvovič Soboljev, kao i niz drugih predstavnika Akademije nauka i industrije zemlje.

Demonstracija automatskog rada aritmetičkog uređaja ostavila je ogroman utisak na posetioce. Svetlosna indikacija digitalnih registara vizuelno je pokazivala automatski proces obavljanja operacije sabiranja, što je naročito bilo izraženo pri radu uređaja u režimu brojača, kada se jarka svetlost indikatorskih lampica prvih cifara postepeno smanjivala, dok se svetlost srednjih pretvarala u treperenje koje je pri uključivanju svake sledeće cifre postajalo sve manje i manje učestalo.

Na osnovu rezultata ove posete Prezidijum Akademije nauka SSSR-a je naredbom br.



Slika 10. Fotokopija rešenja o isplati jedne od nagrada za rad na računaru M-1 od strane Prezidijuma Akademije nauka SSSR-a. [3]

602 od 16. aprila 1951. godine za uspešan završetak radova po zadatku od 22. aprila 1950. godine nagradio deset vodećih tvoraca mašine. [3]

U narednom periodu nastavljena je autonomna konfiguracija preostalih komponenti računara i njihovo delimično spajanje. Na napajanje električnom energijom je priključen magnetni doboš proizveden u probnoj proizvodnji Instituta energetike Akademije nauka SSSR-a. Na posebnom stolu u prostoriji računara postavljen je predajnik i kablovima sa konektorima spojen na stalak mašine, obezbeđujući unos u mašinu početnih podataka i programa za rešavanje zadataka sa bušene papirne trake, kao i teletajp širokog formata na kom su se štampale brojučane tablice sa rezultatima rešenja zadataka. Istovremeno je počeo razvoj testnih programa. Razvijeni su komandni sistem i tehnologija programiranja. U ovom poduhvatu učestvovali su matematičar Julijus Šrejder, Mihail Karcev, Nikolaj Matjuhin i niz drugih potencijalnih korisnika računara, uključujući i Sergeja Soboljeva. Svi oni su razvijali programe za rešavanje specifičnih problema na *M-1*, a takođe i obučavali učesnike razvoja računara kao i buduće korisnike programiranju. Da bi se pratio ispravan rad mašine tokom složenog sklapanja sastavnih komponenti, napisani su programi za rešavanje jednostavnih problema čiji su rezultati relativno lako mogli da se provere. Veoma uspešnim se pokazao program rešavanja jednačine parabole $y = x^2$. Identični rezultati rešenja za pozitivne i negativne vrednosti x omogućili su da se utvrdi ispravan rad mašine upoređivanjem ispisa simetričnih vrednosti rešenja. Ovaj program može se smatrati prvim testnim programom računara *M-1*.

Krajem avgusta 1951. godine započet je proces otklanjanja grešaka na računaru, i to izvođenjem aritmetičkih i logičkih operacija u automatskom režimu. Grupi naučnika su se tom prilikom pridružili Belinski (*В. В. Бельинский*) i Pšiemski (*Ю. Б. Пржиемский*). Sveobuhvatno podešavanje i ispitivanje mašine završeno je početkom decembra 1951. rešenjem niza kontrolnih zadataka, uključujući one koje je sastavio Sergej Soboljev. Računar je tada, zajedno sa projektom naučnog izveštaja o završetku radova obavljenih po nalogu Prezidijuma Akademije nauka SSSR-a od 22. aprila 1950. godine, predstavljen prijemnoj komisiji. Dana 15. decembra 1951. godine izveštaj o radu sa naslovom "Automatski digitalni računar *M-1*" odobren je od strane direktora Instituta energetike Akademije nauka SSSR-a akademika Gljeba Kšižanovskog. Po njegovom nalogu računar *M-1* je početkom 1952. pušten u trajnu eksploataciju. [3]

2.5 Karakteristike i upotreba

Računar M-1 opisan je sledećim osnovnim karakteristikama:

1. Brojevni sistem je binaran, sa fiksnim decimalnim zarezom.
2. Maksimalni broj binarnih cifara je 24.
3. Aritmetička jedinica je paralelna.
4. Komandni sistem je dvoadresni.
5. Kapacitet interne memorije:
 - na magnetnom dobošu - 256 25-bitnih brojeva,
 - na elektrostatičkim cevima - 256 25-bitnih brojeva.
6. Broj operacija u sekundi:
 - uz korišćenje magentne memorije - 20 operacija u sekundi,

76000000	1	74040000	5	74000000	1	70200000	5
72000000	1	64440000	5	70000000	1	61000000	5
66000000	1	55440000	5	64000000	1	52200000	5
62000000	1	47040000	5	60000000	1	44000000	5
56000000	1	41040000	5	54000000	1	36200000	5
52000000	1	33440000	5	50000000	1	31000000	5
46000000	1	26440000	5	44000000	1	24200000	5
42000000	1	22040000	5	40000000	1	20000000	5
36000000	1	16040000	5	34000000	1	14200000	5
32000000	1	12440000	5	30000000	1	11000000	5
26000000	1	07440000	5	24000000	1	06200000	5
22000000	1	05040000	5	20000000	1	04000000	5
16000000	1	03040000	5	14000000	1	02200000	5
12000000	1	01440000	5	10000000	1	01000000	5
06000000	1	00440000	5	04000000	1	00200000	5
02000000	1	00040000	5	00000000	1	00000000	5
02000000	5	00040000	5	04000000	5	00200000	5
06000000	5	00440000	5	10000000	5	01000000	5
12000000	5	01440000	5	14000000	5	02200000	5
16000000	5	03040000	5	20000000	5	04000000	5
22000000	5	05040000	5	24000000	5	06200000	5
26000000	5	07440000	5	30000000	5	11000000	5
32000000	5	12440000	5	34000035	2	14200000	5
36000000	5	16040000	5	40000000	5	20000000	5
42000000	5	22040000	5	44000000	5	24200000	5
46000000	5	26440000	5	50000000	5	31000000	5
52000000	5	33440000	5	54000000	5	36200000	5
56000000	5	41040000	5	60000000	5	44000000	5
62000000	5	47040000	5	64000000	5	52200000	5
66000000	5	55440000	5	70000000	5	61000000	5
72000000	5	64440000	5	74000000	5	70200000	5
76000000	5	74040000	5				

1951. првобитно програмирање
 основних делова на М-1

Slika 11. Primer ispisa rezultata rada M-1. [3]

- uz korišćenje elektronske memorije operacija sabiranja se izvršavala za 50μs, a operacija množenja za 2000μs.

7. Moguće operacije obuhvataju sabiranje, oduzimanje, množenje, deljenje i niz pomoćnih operacija.

8. Unos informacija i programa se vršio sa bušene trake pomoću predajnika.

9. Izlaz rezultata i štampa su se vršili na teletajpu širokog formata.

10. Komponente računara obuhvatale su vakuumske cevi 6H8C, 6Ж4 i 6Π6, bakar-oksidne ispravljače KBMII-2-7 i elektrostatičke cevi JIO-737.

11. Broj vakuumskih cevi je 730.

12. Računar zauzima površinu od 15m².

13. Potrošnja energije je 8kV. [7]

Digitalni računar *M-1* koristio se za najrazličitije proračune, razvoj tehnologije programiranja, a takođe su njegovim korišćenjem rešavani mnogi naučni problemi u interesu laboratorije elektrosistema i drugih laboratorija Instituta energetike. Naučnici i inženjeri koji su do tada svoje probleme rešavali na računskom stolu ili mehaničkom integratoru, prelazili su sada na proračune realizovane računarom *M-1*. Na taj način je spontano formirana grupa programera sačinjena od iskusnih korisnika *M-1*, koja je obuhvatala specijaliste moskovskog gradskog energetskog preduzeća (*Мосэнерго*) i naučnike zaposlene u laboratoriji elektrosistema koji su zajedno proizvodili proračune režima rada gradskih električnih mreža, zatim naučnike Laboratorije za termotehniku "A. S. Predvoditeljev" (*А. С. Предводителев*) koji su počeli sa izradom prvih proračuna zagrevanja balističkih raketa pri letu kroz atmosferu, te saradnike Projektantskog biroa "Sergej Pavlovič Koroljov" (*Сергей Павлович Королёв*), koji su tabele sa rezultatima proračuna parametara vazduha iza udarnog talasa smesta predavali projektantima sa ciljem određivanja neophodne količine termo-zaštitnog materijala rakete.

M-1 je takođe korišćen za rešavanje drugih velikih naučnih problema od strane nezavisnih organizacija, gde je među prvim takvim korisnicima bio akademik Sergej Soboljev koji je učestvovao i u samom razvoju računara, a koji je u to vreme bio zamenik za naučni rad u institutu akademika Igora Vasiljevića Kurčatova (*Игорь Васильевич Курчатов*, "otac" sovjetske atomske bombe). Za Kurčatovljevu grupu su na *M-1* izvršeni početkom 1952. proračuni inverzije visokodimenzionalnih matrica. Računar *M-1* bio je eksploatisan oko tri godine, najintenzivnije od januara 1952. do leta 1954. godine kada je u rad pušten njegov naslednik elektronski računar *M-2* (электронно-вычислительная машина *M-2*, skraćeno *ЭВМ M-2*). U navedenom periodu *M-1* je bio jedini elektronski računar u SSSR-u, a takođe i jedan od prvih u svetu. [7]

3 Zapadni računari od kraja Drugog svetskog rata do 1952. godine

Tokom kasnih 1940-ih i ranih 1950-ih, u istom periodu kada se razvijao sovjetski računar *АЦБМ M-1*, zapadni svet je bio svedok revolucionarne transformacije u oblasti računarstva. Ovo doba označilo je prelazak sa teorijskih koncepata računarstva na praktičnu realizaciju elektronskih računara. Preovlađujuća tehnologija koja je pokretala ovu revoluciju bila je vakuumska cev, uređaj koji je pojačavao električne signale i omogućavao obradu složenih proračuna brzinom bez presedana.

Vakumske cevi, prvobitno razvijene za radio tehnologiju, postale su osnovne komponente ranih elektronskih računara. Ovi računari su predstavljali seizmički pomak u odnosu na ranije mehaničke računarske uređaje, kao što su analitička mašina Čarlsa Bebidža (*Charles Babbage*) i druge mašine zasnovane na bušenim karticama. Elektronski računari ove ere bili su sposobni da izvedu proračune pri brzinama koje su bile nezamislive sa mehaničkim uređajima.

Upotreba vakuumskih cevi u računarstvu dovela je do napretka u nekoliko ključnih tačaka. Prvo, omogućio je izgradnju prvih digitalnih računara opšte namene, mašina koje su

se mogle programirati za obavljanje niza različitih zadataka, što je oštar kontrast u odnosu na njihove mehaničke prethodnike koji su tipično dizajnirani za jedan specifičan proračun. Drugo, ova tehnologija je omogućila skladištenje i brzu obradu velikih količina podataka, postavljajući temelje za razvoj naprednijih računarskih sistema.

Pred ovim ranim računarima stajao je ipak i niz izazova. Bili su ogromni, često zauzimajući čitave prostorije i trošili su ogromne količine električne energije. Rani računari su takođe stvarali mnogo toplote i bili su skloni čestim kvarovima zbog ograničene pouzdanosti vakuumskih cevi. Uprkos ovim nedostacima, ove mašine su bile instrumentalne u različitim oblastima, uključujući naučna istraživanja, vojne operacije, a kasnije i u komercijalnim scenarijima.

Razvoj *ALQBM M-1* u Sovjetskom Savezu tokom ovog perioda odvijao se paralelno sa ovim značajnim napretkom na Zapadu. Bila je ovo još jedna u nizu utakmica u globalnoj trci za tehnološkim inovacijama tokom ere posle Drugog svetskog rata, gde je računarska tehnologija brzo evoluirala i uskoro postala ključno sredstvo u različitim sektorima. Ovaj period je postavio pozornicu za budućnost računarstva, na kraju dovodeći do razvoja tranzistora i integrisanih kola, što je dovelo do nove revolucije u ovoj oblasti i utrlo put računarima savremenog doba. [8]

U nastavku biće dat kratak pregled pet najznačajnijih zapadnih računara izgrađenih u SAD i Ujedinjenom kraljevstvu u periodu od kraja Drugog svetskog rata do momenta kada je sovjetski računar *M-1* zamenjen moćnijim *M-2*.

3.1 *ENIAC*

ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Computer), završen 1945. godine, bio je revolucionaran elektronski računar opšte namene. Razvijen od strane Džona Adama Prespera Ekerta Mlađeg (*John Adam Presper Eckert Jr.*) i Džona Moklija (*John Mauchly*) na Univerzitetu u Pensilvaniji (*University of Pennsylvania*), prvobitno je dizajniran za artiljerijske tablice gađanja za američku vojsku koja je i finansirala njegov razvoj i izgradnju.

Arhitektonski, *ENIAC* je, poput kasnijeg *M-1*, bio modularan računar, sastavljen od pojedinačnih panela koji su obavljali različite funkcije povezanih fleksibilnim sistemom električnih kablova. Sastojao se od 20 akumulatora za aritmetičke operacije, koji su služili i kao računarske i kao memorijske jedinice, kao i drugih specijalizovanih jedinica poput brzog množioca, delioca i koreničara. Ovi moduli su radili zajedno preko opštih sabirnica, omogućavajući računar da izvodi proračune bez pokretnih delova, što ga čini svestranim i efikasnim u obradi. Interni kapacitet memorije *ENIAC*-a bio je ograničen na 20 brojeva, što je krajnje skromno u poređenju sa *M-1* koji je posedovao magnetnu i elektronsku memoriju sa ukupnim kapacitetom od 512 25-bitnih brojeva.

ENIAC je bio težak više od 27 tona i, sa dimenzijama od 2x1x300 metara, zauzimao je površinu od 28m², mnogo više nego što je to slučaj sa potonjim *M-1*. Sadržao je za to vreme neverovatan broj komponenti, uključujući 18.000 vakuumskih cevi, 7.200 kristalnih dioda, 1.500 releja, 70.000 otpornika, 10.000 kondenzatora i otprilike 5.000.000 ručno lemljenih spojeva, doprinoseći njegovoj značajnoj veličini, težini i potrošnji energije (*M-1* je koristio

drastično manji broj vakuumskih cevi). Uprkos operativnim izazovima, uključujući česte kvarove cevi, *ENIAC* je predstavljao monumentalni korak u računarstvu, sa svojom sposobnošću da izvodi hiljade operacija u sekundi i rukovanje složenim sekvencama poput petlji i grana.

Programiranje *ENIAC*-a nije bilo interno uskladišteno već je ručno konfigurisano koristeći ploče sa utičnicama i prekidače. Ovaj proces postavljanja bio je složen i dugotrajan, ali je pružao fleksibilnost za rešavanje širokog spektra problema. Budući da je koristio vakuumске cevi za logiku i memoriju bio je značajno brži od njegovih mehaničkih prethodnika, ali su ga upravo ove karakteristike učinile fizički ogromnim potrošačem velike količine električne energije. Sovjetski *M-1* je takođe bio programabilan, ali je unos programa bio daleko jednostavniji budući da je koristio bušenu traku. [9]

Unos podataka za obradu bio je moguć pomoću *IBM*-ovog čitača kartica, dok je za izvoz podataka korišćen *IBM*-ov uređaj za bušenje kartica, koje je bilo moguće proizvesti i offline korišćenjem neke od *IBM*-ovih računovodstvenih mašina poput *IBM 405*. Tek osam godina kasnije *ENIAC*-u je dodata memorija sa magnetnim jezgrom kapaciteta 100 reči koju je izradila kompanija *Burroughs Corporation* i time zamenila čuvanje izlaznih podataka na karticama. [10]

Računar je koristio decimalne brojeve i nije imao koncept fiksnog ili pokretnog zareza u aritmetici. Aritmetičke operacije su izvođene paralelno, a rezultati su se prenosili između jedinica kroz sistem sastavljen od metalnih tacni i kablova. Ovaj sistem je bio preteča današnjeg sistema sabirnice u računarima.

Uticaj *ENIAC*-a bio je dubok. Bio je instrumentalan u proračunima za hidrogensku bombu i drugim naučnim istraživanjima, a takođe je i jedan od razloga za popularizaciju Monte Karlo metoda u nauci. Njegov razvoj označio je početak ere računara i postavio temelje za budući dizajn računara, vodeći prelazak od elektromehaničkog ka elektronskom računanju. Uprkos svojim ograničenjima, *ENIAC* je demonstrirao potencijal i snagu elektronskog računanja i inspirisao je naredne generacije računara. [9]

Jedan od tvoraca *M-1* Bašir Ramejev direktno je bio inspirisan *ENIAC*-om kada se odlučio da karijeru posveti izgradnji računara.

3.2 *EDSAC*

EDSAC (*Electronic Delay Storage Automatic Calculator*), prvi put operativan početkom 1949. godine, predstavljao je značajan napredak u ranom računarstvu. Razvijen na Univerzitetu u Kembridžu (*University of Cambridge*) pod vodstvom Ser Morisa Vilksa (*Sir Maurice Wilkes*), *EDSAC* je bio jedan od prvih računara koji je koristio koncept memorije sa uskladištenim programom.

Fizički, *EDSAC* je koristio 9-inčne cevi za praćenje, kao i čitač petošupljinske trake i teleprinter kompanije *Creed*. Memorijski sistem se sastojao od linija kašnjenja na bazi žive (eng. *mercury delay lines*), a logika je izvedena pomoću vakuumskih cevi smanjene snage, pri čemu je potrošnja energije iznosila 11 kW. *EDSAC* je imao ciklus od 1,5 ms za većinu instrukcija i 6 ms za množenje. [11]

Inicijalno, registri su bili ograničeni na akumulator i registar množioca. Akumulator je bio dvostruko duži registar povezan sa sabiračem, što je omogućavalo sabiranje ili oduzimanje brojeva preuzetih iz memorije sa brojem koji se već nalazio u akumulatoru. Ovaj dizajn je osigurao da ne dođe do gubitka cifara prilikom množenja dva broja od 35 bita i njihovog dodavanja akumulatoru. Akumulator je mogao da obrađuje neograničena sabiranja ili proizvode brojeva, uz mere opreza kako bi se izbeglo prekoračenje (eng. *overflow*). Takođe, *EDSAC* je imao instrukcije za pomeranje brojeva u akumulatoru, množenje ili deljenje brojeva stepenima broja dva, i ispravno zaokruživanje brojeva. Ipak, nije imao instrukciju za deljenje, pa se za tu svrhu koristio potprogram. [12]

Dejvid Viler (*David Wheeler*) je 1953. godine, nakon boravka na Univerzitetu u Ilinoisu, dizajnirao indeksni registar kao proširenje originalne *EDSAC* opreme. Iako je magnetofonski pogon dodat 1952. godine, on nikada nije zadovoljavajuće funkcionisao. Glavna memorija *EDSAC*-a inicijalno je imala samo 512 reči od 18 bita (*M-1* je, kako je već rečeno, imao takođe 512 ali 25-bitnih reči), dok sekundarna memorija nije postojala. Potpuna memorija od 1024 reči postala je dostupna tek 1955. ili početkom 1956. godine.

Što se tiče programiranja, *EDSAC* je koristio dvojni komplementarni binarni sistem, a brojevi su bili ili 17-bitni (jedna reč) ili 35-bitni (dve reči). Posebno je bilo zanimljivo da je množilac tretirao brojeve kao fiksno-pozicionirane razlomke u opsegu $-1 \leq x < 1$, odnosno da je binarna tačka bila odmah desno od znaka. Dostupne instrukcije uključivale su sabiranje, oduzimanje, množenje i sabiranje, logičko *AND* i sabiranje, pomak ulevo, aritmetički pomak udesno, učitavanje registra množioca, čuvanje (i po potrebi brisanje) akumulatora, uslovni skok, čitanje ulazne trake, štampanje karaktera, zaokruživanje akumulatora, *NOOP* i zaustavljanje. Moris Vilks je diskutovao o relativnim adresnim modusima za *EDSAC* u radu objavljenom 1953. godine, kako bi olakšao korišćenje potprograma.

EDSAC se koristio za rešavanje naučnih problema i razvoj mnogih ranih tehnika koje su danas uključene u operativne sisteme. Korisnici su pripremali svoje programe na taj način što su ih bušili na papirnoj traci - nakon što bi program bio spreman, tada bi se kačio na konopac pored čitača trake. Mašinski operateri bi birali sledeću traku iz reda i učitavali je u *EDSAC*.

EDSAC je bio specifično dizajniran kao deo podrške Matematičke laboratorije Univerziteta u Kembridžu - prvi naučni rad objavljen uz pomoć računara bio je rad Ronalda Fišera (*Ronald Fisher*). Vilks i Viler su koristili *EDSAC* za rešavanje diferencijalnih jednačina vezanih za učestalosti gena. [11]

Pored svega navedenog, *EDSAC* računar se takođe smatra i kolevkom video-igara. Godine 1952. Sendi Daglas (*Sandy Douglas*) je razvio *OXO*, verziju "Iks-Oks" igre za *EDSAC*, sa grafičkim izlazom na VCR97 6-inčnu katodnu cev. Daglasov primer sledio je Stenli Gil (*Stanley Gill*) koji je kreirao igru koja je uključivala tačku (koja je predstavljala "ovcu") i koja se približavala liniji na ekranu u kojoj se može otvoriti jedna od dve kapije. Igrač je sa računarom interahovao korišćenjem svetlosnog snopa *EDSAC*-ovog čitača papirne trake, i to tako što, ako bi bio prekinut (npr. prekrivanjem rukom) otvorila bi se gornja kapija, inače bi se otvorila donja. [13]

3.3 UNIVAC I

UNIVAC I (Universal Automatic Computer I) je bio prvi elektronski digitalni računar opšte namene dizajniran za poslovnu primenu koji je proizveden u Sjedinjenim Američkim Državama. Projektom razvoja *UNIVAC I* računara rukovodili su Džon Presper Ekert i Džon Mokli, tvorci *ENIAC*-a. Rad na računaru je započela Ekertova i Moklijeva kompanija *Eckert-Mauchli Computer Corporation* (skraćeno *EMCC*), a uređaj je završen nakon što je preduzeće kupila kompanija *Remington Rand* (koja je kasnije postala deo *Sperry*-ja, danas *Unisys*).

Dizajniran za poslovnu i administrativnu upotrebu, *UNIVAC I* je predstavljao odstupanje od kompleksnih numeričkih proračuna naučnih računara, fokusirajući se na jednostavne aritmetičke i operacije sa podacima. U početku, njegova nesposobnost da čita ili buši kartice ograničila je njegovu privlačnost, što je kasnije rešeno dodatkom opreme za offline obradu kartica⁴. Uprkos manjoj tržišnoj prodaji u početku, *UNIVAC I* stekao je slavu tačno predviđajući ubedljivu pobedu Ajzenhauera na predsedničkim izborima 1952. godine, što je znatno povećalo javnu svest o računarskoj tehnologiji i učinilo računarska predviđanja standardnim delom izbornih emisija. Prva prodaja *UNIVAC*-a *I* bila je uglavnom državnim agencijama, pri čemu je prva instalacija bila u Pentagonu 1952. godine nakon početne prodaje Birou za popis. [14]

UNIVAC I se sastojao od 6,103 vakuumske cevi⁵, bio je težak preko 7 tona, i zahtevao je 125kW električne energije. Što se hardverskih specifikacije tiče, uključivao je CPU sa taktom od 2.25 MHz i dupleksnu aritmetičku jedinicu za detekciju grešaka. Sastojao se od 1.000 reči memorije realizovane kroz sto živinih linija kašnjenja, svaka sa po 10 reči, i više procesorskih registara. Takođe, imao je dva 60-rečna bafera, jedan za čitanje trake i drugi za pisanje na traku. Reč u ovom sistemu mogla je sadržati 12 alfanumeričkih karaktera, 11-cifreni operand sa znakom ili dve instrukcije.

Karakteristi su bili kodirani sa 6 bita i dodatnim bitom za proveru pariteta. Optimalno vreme za sabiranje bilo je oko pola milisekunde. Za pomoćnu memoriju, sistem je bio opremljen sa osam magnetnih traka poznatih kao *Uniservos*, sposobnih za različite operacije čitanja i pisanja, uključujući čitanje unazad i brzo premotavanje. Metalna traka bila je široka pola inča, a na kolutu od oko 450m moglo se snimiti oko 1,5 miliona karaktera. Dizajn sistema omogućavao je paralelno procesiranje, što je *CPU*-u omogućavalo da preklapa operacije čitanja, pisanja i aritmetičke operacije. *Offline* uređaji za trake omogućavali su unos sa tastature na traku i ispis na električnoj pisačkoj mašini, pri čemu su *Uniservos*-i mogli da čitaju sa ili pišu na ove posebne trake.

UNIVAC I nije imao operativni sistem, što je od operatera zahtevalo da ručno učitavaju programe i podatke. Zabrinutost oko pouzdanosti digitalnog logičkog kola dovela je

⁴ Reč je o uređajima koji su prebacivali podatke sa magnetnih traka na bušene kartice nakon završetka izvršavanja programa.

⁵ Zanimljivo je primetiti da je *UNIVAC I* sadržao nekoliko puta više vakuumskih cevi od sovjetskog *M-1* računara (6.103 u odnosu "nekoliko stotina", prema rečima Matjuhina), a bio je komercijalni proizvod namenjen privredi. Drugim rečima, američke privatne kompanije tog vremena imale su pristup višestruko većoj količini određenih vitalnih resursa nego čitava Sovjetska država.

do inovativnih izbora dizajna i praksi održavanja, doprinoseći njegovom relativno stabilnom radu uprkos izazovima rane računarske tehnologije. [15]

3.4 Manchester Mark 1

Autor računara *Manchester Mark 1* Frederik Vilijams (*Frederic C. Williams*) je do 1946. godine radio već sedam godina u Telekomunikacionom istraživačkom institutu (*Telecommunications Research Establishment*, skraćeno *TRE*), gde je predvodio tim specijalizovan za rešavanje problema u radarima i elektronici za vazduhoplovstvo. Tokom posete SAD-u u julu 1946. godine, shvatio je da je elektronsko digitalno skladištenje podataka ključni izazov u razvoju elektronskih računara. Po povratku, započeo je istraživanje skladištenja digitalnih informacija koristeći konvencionalnu radarsku katodnu cev (*cathode ray tube*, skraćeno *CRT*) i do novembra iste godine uskladištio jedan bit informacija.

U decembru je Vilijams prešao na Univerzitet u Mančesteru (*University of Manchester*) kao profesor na Departmanu za elektroinženjerstvo. Sa sobom je poveo dvojicu kolega sa *TRE*-a, od kojih je jedan bio Tom Kilbern (*Tom Kilburn*), kako bi nastavili započeta istraživanja.

Do oktobra 1947. godine grupa je razvila sistem za skladištenje 2048 bita na standardnoj katodnoj cevi. Mehanizam je koristio matricu dimenzija 64x32 fosforna naboja na ekranu, od kojih je svaki postavljen na jedan od dva različita načina, predstavljajući tako ili 0 ili 1. Međutim, problem je predstavljalo gubljenje naboja za svega 0,2 sekunde, što je rešeno postavljanjem detektora ispred CRT-a zajedno sa mehanizmom čiji je zadatak bio da kontinualno prelazi preko svih ćelija matrice elektronskim snopom, čime bi se vrsta naboja na svakoj poziciji mogla detektovati i osvežiti, što je kao posledicu imalo održavanje naboja u matrici. Resetovanje pojedinih bitova i čitanje vrednosti moglo se takođe preplitati s mehanizmom osvežavanja.

Do juna 1948. godine, grupa naučnika je izgradila računar *Small Scale Experimental Machine* (Mala eksperimentalna mašina, skraćeno *SSEM*) prema dizajnu Toma Kilberna, poznatu i kao *Baby* (Beba). Zadatak ovog uređaja bio je pre svega test da li će CRT memorija i dalje efikasno raditi na brzinama koje zahteva računar željenih specifikacija.

SSEM je imao samo glavnu memoriju od 32x32-bitne reči i koristio je jednu CRT. Drugi dostupan CRT bio je namenjen samo držanju 32-bitnog akumulatora, dok je treći sadržao adresu trenutne instrukcije kao i samu instrukciju. Četvrti CRT bio je bez mehanizma za skladištenje i postavljen na konzoli, te je mogao da bude podešen tako da prikaže kopiju trenutnog bitnog obrasca na bilo kojoj od skladišnih cevi, odnosno vršio je funkciju izlaznog uređaja. Ulaz je ostvaren kroz tastaturu od 32 dugmeta ne računajući ručne prekidače, kojom se mogao postaviti bilo koji bitni obrazac u bilo kojoj reči.

Oktobra 1948. godine doneta je odluka da se izgradi računar punih dimenzija u Departmanu za elektroinženjerstvo. Budući da je Kilbern i ovog puta bio odgovoran za dizajn, osnovna arhitektura oslanjala se na iskustvo ostvareno tokom razvoja *SSEM* računara. Grupa saradnika je proširena, te je sada uključivala Daja Edvardsa (*Dai Edwards*) zaduženog

za CRT skladištenje i CPU, Aleka Robinsona (*Alec Robinson*) koji se od juna 1947. bavio množiteljem, G. E. Tomas (*G. E. Thomas*) čiji je zadatak bio doboš, i Džef Tutil (*Geoff Tootill*) koji je bio generalista u timu još od vremena *TRE*-a. Konačno, od strane vlade Ujedinjenog kraljevstva angažovana je kompanija *Ferranti Ltd.* koja je trebala da izgradi komercijalnu varijantu računara zasnovanu na rezultatima razvoja.

Završen računar nazvan je *Manchester Mark 1* i u odnosu na *SSEM* i osnovnu fon Nojmanovu (*John von Neumann*) arhitekturu odlikovao se dvema značajnim karakteristikama: brzom memorijom na dva nivoa, i registrima modifikacije registara (tzv. *B-linije*).

Opšte prihvaćeno mišljenje u to vreme bilo je da je potrebno da računar ima nekoliko hiljada reči glavne memorije kako bi bio prigodan za opštu primenu. Iako izgradnja takve memorije nije bila neizvodljiva, iz razloga štednje grupa se odlučila za dodavanje memorijskog skladišta u vidu magnetnog doboša koji je rotirao sinhronizovano sa brzinom skeniranja, čime se prenos čitanja koji resetuje CRT završavao u jednom obrtu.

Druga inovacija bilo je uvođenje B-cevi koja sadrži dva posebna registra od 20 bita (odnosno osam u *Ferranti*-jevim mašinama što se pokazalo kao korisnije), nazvana "B-linije". Svaka instrukcija sadržala je polje koje je određivalo jednu od B-linija, i čim bi sledeća instrukcija bila preuzeta iz memorije sadržaj B-linije se dodavao instrukciji pre nego što je bila u potpunosti dekodirana i izvršena. Sadržaj B0 se po konvenciji uvek držao na 0, tako da se B0 koristio gde god modifikacija nije bila potrebna. Prava pogodnost ovog dodatka bila je u modifikaciji adresa instrukcija; ovo je ubrzo postalo osnovna sposobnost većine računara, pri čemu se modifikacija ograničavala na adresu operanda u instrukciji. Ovo je klasično olakšavalo pristup opštim podacima, na primer:

- pristup elementu niza fiksne pozicije, gde F daje osnovu niza a V indeks, i
- pristup skalaru u zapisu ili steku, gde V daje osnovu zapisa/steaka a F relativnu adresu skalara.

Naravno, kako se veličina memorije povećava, B-linije omogućavaju pristup adresama memorije izvan opsega koji može biti određen adresnim poljem instrukcije. Stoga, B-linije predstavljaju, kako su korišćene, ono što bi se danas moglo nazvati "indeksnim registrima".

Manchester Mark 1 bio je operativan oktobra 1949. godine, sa glavnom memorijom od 128 reči od 40 bita i kapacitetom magnetnog bubnja koji je nastavio da raste do oko 3.000 reči. Međutim, varijanta nazvana *Intermediate Version* (Srednja verzija) bila je dostupna za opštu upotrebu drugih odeljenja i kompaniju *Ferranti* tek od aprila 1949. godine. U to vreme je zabeleženo da je *Mark 1* uspešno završio 9-satni noćni rad na Mersenovim prostim brojevima 16. i 17. juna 1949. godine. Još uvek nije imao ulaz/izlaz putem papirne trake i programabilne transfere bubnja. Magnetni bubanj je radio, ali je kolo za uključivanje transfera u set instrukcija još uvek bilo nezavršeno, tako da su transferi vršeni intervencijom operatera nad zaustavljenim programom. Ipak, bio je neprocenjiv za čuvanje unapred pripremljenih ulaznih podataka i programa, izlaza, korisnih rutina i međupračuna za dugotrajne programe.

Od leta 1949. godine pažnja se sve više preusmerava na prenos i unapređivanje dizajna budućeg računara *Ferranti Mark 1*. Prvi ovakav računar isporučen je Univerzitetu u

februaru 1951. godine i imao je suštinski istu arhitekturu kao i *Manchester Mark 1*, s tim da su broj instrukcija, CRT, magnetna memorija i brzina rada bili znatno povećani i poboljšani. Uz redizajniran multiplikator i rekonstruisan doboš, glavna memorija je sada sadržala 256 reči od 40 bita, dok je maksimalni kapacitet doboša bio oko 16.000 reči. [16]

3.5 IBM 701

Računar predstavljen javnosti 21. maja 1952. godine, čije je puno ime *IBM 701 Electronic Data Processing Machine* (IBM 701 Elektronska mašina za obradu podataka) bio je IBM-ov prvi komercijalni naučni računar kao i njihov prvi serijski proizvedeni mejnfrejm (eng. *mainframe*) računar. Razvijen je od strane Džeriera Hadada (*Jerrier Haddad*) i Natanijela Ročestera (*Nathaniel Rochester*) na osnovi IAS-ovog računara (*Institute for Advanced Study*) u Prinstonu (*Princeton*). [17]

IBM 701 bio je paralelan binarni računar prvenstveno namenjen rešavanju velikih problema u nauci i inženjerstvu. Reč je o prvom sistemu tog tipa koji je serijski proizveden u velikim količinama. Računar se kontrolisao uskladištenim programom sačinjenim od jednoadresnih instrukcija. Imao je veliku internu memoriju velike brzine, čak i u poređenju sa uređajima koji su mu prethodili. Ovakav skladišni prostor je dopunjen sporijom magnetnom memorijom na principu magnetnog doboša, kao i magnetnom trakom, koji su oba imali veći kapacitet od brze memorije. Postojao je kompletan set ulazno/izlaznih komponenti u sistemu, uključujući bušene kartice i linijski štampač, kao i magnetne trake, i sve to pod direktnom kontrolom računarskog programa. Broj takvih ulazno/izlaznih uređaja je mogao da varira kako bi se prilagodio zahtevima pojedinačnih korisnika.

Aritmetička brzina računara *701* bila je uporediva sa brzinom drugih brzih računara tog vremena. Ipak, kod *701* velika brzina bila je kombinovana sa velikim skladišnim kapacitetima i brzim ulazom, odnosno izlazom. Stoga, kod velikih problema koji zahtevaju dopunu internog kapaciteta eksternim uređajima, ovaj računar je mogao da proizvede rezultate brže nego bilo koji računar do tada sagrađen. Ova činjenica ne iznenađuje kada se ima na umu da je *701* specifično dizajniran da izlazi na kraj sa problemima koji izlaze van granica mogućnosti postojećih računara. S druge strane, svestranost ulazno/izlaznih opcija dozvoljavala je da se *701* koristi i za male probleme koji se javljaju u velikim količinama, u čemu je takođe pomagala centralna kontrola periferallja od strane računara. [18]

Sa ciljem smanjenja složenosti hardvera aritmetika sa pokretnim zarezom, prevođenje između binarnog i decimalnog i indeksiranje su prepušteni programeru. Osmišljena je instrukcija *COPY* kako bi se omogućilo programeru da kontroliše ulazno/izlaznu opremu do detalja, čime se izbegava potreba za mnogo složenijim hardverom. Jedan poziv *COPY* instrukcije mogao je da pročita jednu binarnu reč (od kojih svaka sadrži dve instrukcije) iz jednog reda kartice. Tako je bilo moguće napisati program za pokretanje koji je ukucan na kartici, što bi omogućilo programu da samog sebe učita u računar i inicijalizuje ga kako bi mogao da čita dalje programe. [17]

4 Zaveštanje sovjetskog računarstva danas

Računar *M-1* bio je mnogo manji od *ENIAC*-a, što ne iznenađuje budući da je potonji u trenutku završetka *M-1* bio već 7 godina star. Proces smanjivanja komponenata je do 1952. na zapadu značajno odmakao, tako da je *IBM*-ov *701* već bio značajno manji od *M-1*. Uzevši u obzir ostale tehničke karakteristike, *M-1* je uopšteno govoreći bio uporediv sa starijim zapadnim računarima, dok je zaostajao za tada savremenim uradcima poput *IBM 701*. O komparativnom pregledu performansi i uspešnosti bilo kojeg para predstavljenih uređaja je nezahvalno govoriti, uzevši u obzir činjenicu da se arhitektura računara u tim pionirskim danima drastično razlikovala od slučaja do slučaja i da je veoma zavisila od namene budućeg računara. Posmatrajući na taj način može se reći da je svaki od šest računara o kojima je bilo reči bio uspešan, budući da je služio nameni za koju je i razvijen.

Međutim, objektivnan značaj *M-1* i kasnijeg *БЭСМ* računara Sergeja Lebedeva (rus. *быстродействующая электронная счетная машина*, brzi elektronski računar) je u činjenici da su postavili osnove autohtone sovjetske škole izgradnje digitalnih računara koji će ubrzo dostići zapadne mašine po performansama, a izvedene od delova dostupnih u uslovima uništene privrede i opšte nestašice. Uspeh sovjetskih inženjera privukao je pažnju kolega sa zapada i tako stvorio plodno tle za razvoj naučne saradnje među sukobljenim stranama.

Tokom 1960-ih i 1970-ih godina došlo je do otopljanja odnosa između zapada i Sovjetskog saveza, i u ovom periodu dolazi do intenzivnih kontakata prvaka sovjetskog računarstva sa predstavnicima zapadne industrije, pre svega *IBM*-a. Vrhunac ove saradnje trebala je da bude saradnja na unapređenju sovjetskog računara *ЕС ЭВМ* (unifikovan sistem elektronskih računara, rus. *Единая система электронных вычислительных машин*), koji je bio svojevrsni pandan legendarnom *IBM*-ovom *OS/360* računar. *IBM* je formalno izrazio zainteresovanost za razvoj jedne od verzija *ЕС ЭВМ* između 1974. i 1976. godine, ali do saradnje ipak nije došlo zbog sankcija uvedenih zbog ulaska sovjetske vojske u Afganistan 1979. godine.

Nakon toga sovjetska industrija izgradnje računara beleži pad. Računar *ЕС ЭВМ* je bio u proizvodnji i upotrebi u zemljama socijalističkog bloka od 1968. do 1998. godine kao čisto sovjetski autorski rad. Nakon pada socijalizma, sve istočne zemlje, uključujući i samu Rusiju takoreći "zvanično" su prešle na *IBM* kompatibilne računare i kasnije drugi na zapadu proizveden hardver i softver.

Ipak, uprkos katastrofalnom padu i raspadu tokom 1990-ih godina, savremena Rusija nije odbacila autohtonu računarsku industriju. Najpoznatiji ruski procesor danas pripada seriji Elbrus CPU-ova (*Эльбрус*), čiji je prvi primerak proizveden 1979. godine u sovjetskom savezu. U periodu pre 2010-ih računari na bazi Elbrus procesora prvenstveno su se izrađivali na Institutu precizne mehanike i računarske tehnike "S. A. Lebedev" (*Институт точной механики и вычислительной техники имени С. А. Лебедева РАН*) kao vojni poljski laptopi ili kao jedinice namenjene upotrebi od strane Roskosmosa (Državna korporacija za kosmičku delatnost "Roskosmos", *Государственная корпорация по космической деятельности "Роскосмос"*). Danas pak, u uslovima najžešćih zapadnih sankcija u istoriji zemlje, rusko tržište se okreće sopstvenim proizvodnim kapacitetima te se od 2022. godine u ponudi omske kompanije *BITBLAZE* mogu pronaći potrošački laptop računari sa Elbrus procesorima i

ostalim hardverom koji je u potpunosti proizveden u Rusiji. Na računare je moguće instalirati kako *Linux* tako i *Windows* operativni sistem, a tokom demonstracije računara prikazane su različite savremene video igre sa zavidnom količinom detalja.

Literatura

- [1] Minina E, Platonova M. (2018, March 20-21) Lukyanov's Hydraulic Integrator and Moor's Hydrocal: Experience in Applying of the Hydraulic Analogies Method in the USSR and the USA [Paper presentation]. 2018 International Conference on Engineering Technologies and Computer Science (EnT), Moscow, Russia. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/xpl/conhome/8419341/proceeding>
- [2] Prokhorov, S. P. Computers in Russia: science, education, and industry. IEEE Annals of the History of Computing. 1999 July-September;21(3):4–15
- [3] Муравьев С А, составитель. Отечественная электронная вычислительная техника. Издательский дом Столичная энциклопедия, Москва: 2014
- [4] Кравец С Л, ответственный редактор. Большая российская энциклопедия. Большая российская энциклопедия, Москва: 2004-2017
- [5] Пройдаков Э М, составитель. Страницы истории отечественных ИТ. Альпина паблишер, Москва: 2015
- [6] Eremenko, A. (2021, May 20) Unique and forgotten: the birth of the Soviet missile defense system. Brooke and M-1. TopWar. <https://en.topwar.ru/182774-unikalnaja-i-zabytaja-rozhdenie-sovetskoj-pro-chast-iii-bruk-i-m-1.html>
- [7] Alexandridi T M, Rogachov U V. (2006, July 3-7) Automatic Digital Computer M-1 of the I.S. Brook Laboratory [Paper presentation]. 1st Soviet and Russian Computing (SoRuCom), Petrozavodsk, Russia. URL: <https://dblp.org/db/conf/ifip9/sorucum2006.html>
- [8] Copeland, J. The Modern History of Computing. In: Zalta E N, editor. The Stanford Encyclopedia of Philosophy, Winter 2017 Edition. Stanford: Metaphysics Research Lab Philosophy; 2017. URL: <https://plato.stanford.edu/archives/win2020/entries/computing-history>
- [9] Burks A W, Burks A R. First General-Purpose Electronic Computer. Annals of the History of Computing. 1981 October-December;3(4):310-389
- [10] Goldstine H H, Goldstine A. The electronic numerical integrator and computer (ENIAC). IEEE Annals of the History of Computing. 1996, April-June;18(1):10-16
- [11] Robinson P, Spärck Jones K. EDSAC 99 Commemorative Booklet. University of Cambridge Computer Laboratory, Cambridge: 1999
- [12] Wilkes, M. V. Arithmetic on the EDSAC. IEEE Annals of the History of Computing. 1997 January-March;19(1):13-15
- [13] Smith, A. R. The Dawn of Digital Light. IEEE Annals of the History of Computing. 2016 October-December;38(4):74-91
- [14] Lukoff, H. From Dits to Bits: A personal history of the electronic computer. Robotics Press, Portland (Oregon): 1979

- [15] Johnson, L. R. Coming to Grips with Univac. IEEE Annals of the History of Computing. 2006 April-June;28(2):32-42
- [16] Napper, R. B. E. The Manchester Mark 1 Computers. In: Rojas R, Hashagen U (editors). The First Computers: History and Architectures. Cambridge: MIT Press; 2000. URL: <https://mitpress.mit.edu/9780262681377/the-first-computers/>
- [17] Rochester, N. The 701 Project as Seen by Its Chief Architect. IEEE Annals of the History of Computing. 1983 April-June;5(2):115-117
- [18] Buchholz, W. The System Design of the IBM Type 701 Computer. Proceedings of the IRE. 1953 October;41(10):1262-1275