

# Myślą czy nie myślą?

Mgr ZDZISŁAW PAWLAK

**P**

AJĄKI mimo czterech par oczu widzą źle. Znacznie więcej wrażeń niż oczy dostarczają im nogi. Nogi pająka pokryte są włoskami czuciowymi, które łączą się z zakończeniami nerwów. Dzięki temu pająk wyczuwa nawet bardzo lekkie drgnięcia pajęczonej. Gdy mucha zaplącze się w sieć, pająk natychmiast pędzi w jej stronę, aby omotać ją nicią; jeśli dotkniemy sieci drgającym kamertonem, pająk postąpi podobnie: rzuca się na kamerton i usiłuje go omotać. Pająk reaguje tylko na jedną cechę muchy: na wibracje jej skrzydeł rozchodzące się po pajęczonej. Gdy wibracje na chwilę ustają, pająk przestaje się ofiarą interesować, gdy zaś mucha ponownie zaczyna się szamotać — znów dąży w jej stronę.

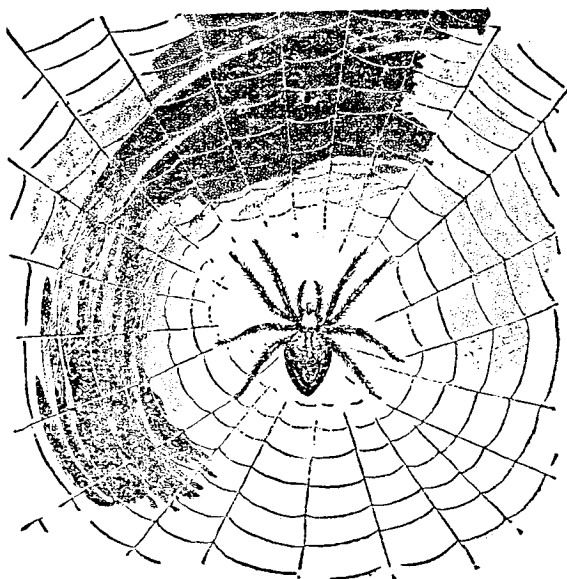
A teraz inny obrazek.

Leci odrzutowiec myśliwski. Leci bez pilota: tego bowiem zastępuje aparat matema-

tyczny. Przyrządy pomiarowe dostarczają do aparatu matematycznego danych o pracy silnika i o locie samolotu, radar zaś dostarcza danych o otoczeniu. Na podstawie tych danych aparat matematyczny steruje samolotem. Gdy radar wykryje w otoczeniu samolot nieprzyjacielski, automatyczny myśli-

wiec rusza do ataku. Aparat matematyczny i radar kierują również ogniem. Po wykonaniu zadania odrzutowiec wraca nad macierzyste lotnisko i ląduje. Wszystko to dzieje się zupełnie automatycznie, bez udziału człowieka. Czy automatyczny odrzutowiec nie przypomina pająka? Reaguje on tylko na jedną cechę samolotu nieprzyjacielskiego: na odbijanie przezeń fal elektromagnetycznych. Na cechę tę reaguje pościgiem, podobnie jak pająk na drgania pajęczonej.

Roboty, sztuczni ludzie, homunculusy, me-



Pająk wyczuwa nawet bardzo lekkie drgnięcia pajęczonej.

chaniczne zwierzęta, maszyny grające w szachy i podobne im dziwy — do niedawna głównie domena pomyłonych wynalazców, alchemików czy nawet zwykłych oszustów, a w najlepszym wypadku pisarzy powieści fantastycznych — znalazły się nagle w kręgu zainteresowań ludzi najzupełniej normalnych, trzeźwych, co więcej, znanych i szanowanych uczonych.

Zmianę tę wywołał w czasie ubiegłej wojny znany matematyk amerykański Norbert Wiener. Profesor Wiener prowadził wówczas z grupą matematyków, inżynierów i fizjologów pewne badania w dziedzinie automatów i aparatów matematycznych. Pod wpływem tych badań doszedł on do wniosku, że nowoczesne aparaty matematyczne są prawie idealnym modelem zjawisk zachodzących w systemie nerwowym, a także częściowo modelem zjawisk zachodzących w społeczeństwie, stwarzając w ten sposób podstawy do odrodzenia w nowej formie mechanicyzmu w biologii i socjologii. Ten nowy mechanicyzm nosi nazwę *cybernetyki*.

Mechanicyzm pod wpływem wielkich sukcesów mechaniki i matematyki XVII i XVIII wieku usiłował wszelkie zjawiska przyrody — nawet biologiczne i społeczne — wyjaśnić za pomocą praw mechaniki. Cybernetyka natomiast pragnie przenieść na grunt biologii i socjologii osiągnięcia współczesnej techniki: elektroniki, telekomunikacji i automatyki, i odwrotnie, niektóre problemy techniki sprowadzić do zagadnień biologicznych i socjologicznych. Stąd w teorii aparatów zjawiają się terminy dziwnie nieprzyszyczone ucho inżyniera biologiczno-psychologicznym zabarwieniem: aparaty „pamiętają“, „decydują“, „uczą się“, a nawet „rozmnażają“, stąd nazwa „mózgi

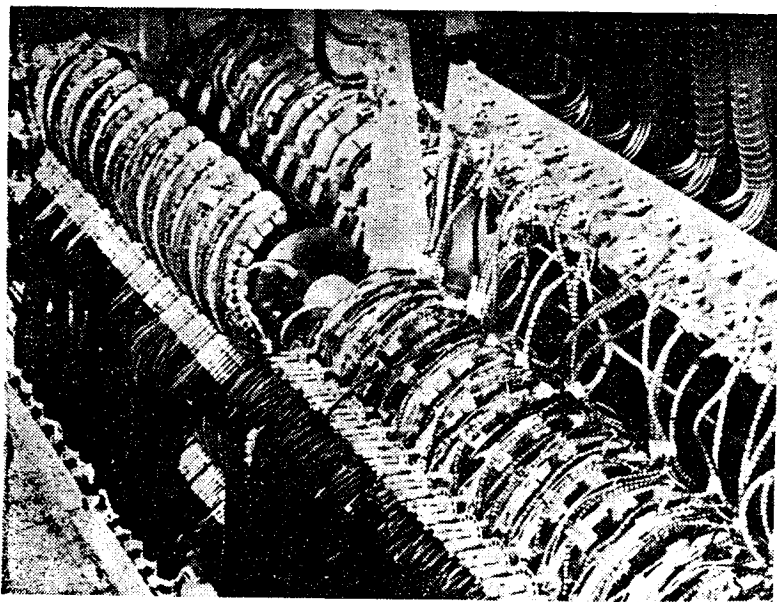
elektronowe“, stąd wreszcie elektronowe myszy, żółwie czy inne zabawki budowane przez mniej lub więcej poważnych ludzi na Zachodzie, osłaniających swą zabawę woalem naukowości.

Nowoczesne aparaty w nieznacznym stopniu przypominają swych nieudolnych przodków. Ich własności i zastosowania są zadziwiające, czasem niewiarogodne, a nawet fantastyczne. Tym bardziej warto zdać sobie sprawę z tego, że aparat to nie organizm, a zachodzące między nimi analogie są drugorzędne, różnice natomiast mają charakter zasadniczy.

Mechanizm łykania pokarmu przez amebę można naśladować „łykaniem“ cząstek ciał przez rozlaną na szkle kroplę chloroformu, lecz z tego nie wynika, że oboma zjawiskami rządzą te same prawa. Jakkolwiek gramofon doskonale naśladuje głos człowieka, jednakże nie podobna mierzyć jedną miarą gramofonu i człowieka.

Zadanie matematyczne na klasówce można rozwiązać bądź samodzielnie, bądź z pomocą kartki otrzymanej od kolegi. Choć oba rozwiązania wyglądają jednakowo, należy pamiętać, że pierwsze jest rezultatem samodzielnego myślenia, a drugie — mechanicznego postępowania, bez rozumienia tego, co się robi, bez wnikania w treść rozwiązywanego zadania, chciałoby się powiedzieć — wynikiem „bezmyślnej roboty“. Ocena zadania zależy nie tylko od poprawności wyników.

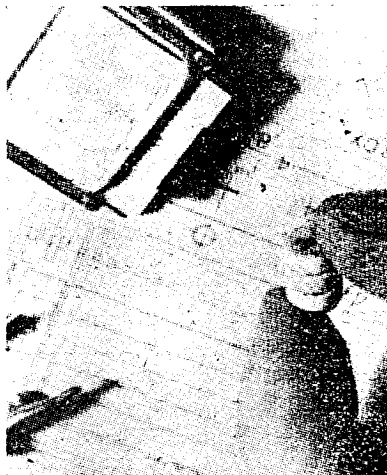
**N**AJNOWOCZEŚNIEJSZY aparat matematyczny, zawierający tysiące lamp elektronowych, nie rozwiąże *s a m o d z i e l n i e* nawet najprostszego problemu; należy w nim uprzednio nastawić szczegółowy przebieg rozwiązania. Możliwości istniejących,



Fragment „pamięci“. Zapisywanie liczb w przedstawionej aparaturze odbywa się na zasadzie podobnej do zapisywania dźwięku na taśmie magnetofonowej.

najdoskonalszych nawet aparatów nie wykraczają w istocie poza zakres „beźmyślnej roboty“. Jeżeli „ściągający“ uczeń i aparat matematyczny mają pewne cechy wspólne, to raczej ucznia wypadałoby nazwać automatem, a nie aparat — mózgiem. Nazwa nie byłaby zresztą specjalnie ważna, gdyby nie sugerowała fałszywych skojarzeń. Od „mózgu elektronicznego“ bowiem należałoby się spodziewać bodaj że niektórych przejawów inteligencji, myślenia — właściwości, których żaden aparat matematyczny nie ma. Na usprawiedliwienie zwolenników nazwy „mózg elektroniczny“ przypominamy, że naszych ojców pasjonowało „ucho elektryczne“, „oko elektryczne“, że gdy Edison po raz pierwszy demonstrował fonograf, zdumione audytorium doszukiwało się w tajemniczej skrzynce również czegoś z człowieka. Dzisiaj o „oku“ i „uchu elektrycznym“ już zapomnieliśmy. Gramofon został zdegradowany. Nie przypisuje mu się cech ludzkich, lecz odwrotnie: chcąc podkreślić podobieństwo gadatliwej osoby do mechanizmu, nazywa się ją gramofonem czy katarynką. Degradacja ta nie odnosi się, rzecz jasna, do jego użyteczności. Słuchamy go z coraz większą przyjemnością. W przyszłości, gdy aparaty matematyczne znajdą się we wszystkich biurach konstrukcyjnych, fabrykach i urzędach, gdy spowszednieją, a inne „cuda techniki“ zajmą ich miejsce — spotka je los podobny do „elektrycznego ucha“, „oka“ i gramofonu. Nikt się nie będzie zastanawiał, czy aparaty myślą, czy są „mózgami“. Sprawa będzie oczywista.

Aby mieć właściwy pogląd na współczesne aparaty matematyczne, należy sobie jasno zdać sprawę z tego, że powstały one pod wpływem konkretnej praktycznej potrzeby zautomatyzowania obliczeń. W tej dziedzinie stanowią one już dzisiaj niezastąpione narzędzie pracy. Sensacyjna atmosfera wokół aparatów matematycznych powstała nie na skutek ich wątpliwego podobieństwa do mózgu, lecz wskutek ich olbrzymiej użyteczności. Tymczasem bardzo często różne sprawy marginesowe są rozdmuchiwane do takich rozmiarów, że całkowicie wypaczają i fałszują obraz aparatów. Celem tego artykułiku jest pokazanie spraw marginesowych we właściwym świetle. Najważniejsza i najciekawszą grupę aparatów ma-



**Obliczenia, wymagające dawniej niezmiernie żmudnej pracy, można obecnie przy użyciu elektronicznych maszyn liczących wykonywać prawie momentalnie.**

tematycznych stanowią nowoczesne aparaty cyfrowe. Historia ich jest krótka, ale pełna sukcesów i chwwały. Pierwszy nowoczesny aparat cyfrowy powstał w czasie ostatniej wojny w Stanach Zjednoczonych. Obecnie pracuje na świecie prawdopodobnie kilkaset aparatów tego rodzaju. W czasie ostatniej (październik 1955 r.) konferencji międzynarodowej w Darmstadtzie (Niemcy Zachodnie) poświęconej aparatom cyfrowym opublikowano dane radzieckiego aparatu cyfrowego BESM<sup>1</sup>. Aparat ten ocenili międzynarodowi specjaliści jako najszybszy w Europie i nie ustępujący nowoczesnym aparatom amery-

kańskim. Ponadto w ZSRR zbudowano drugi mniejszy aparat cyfrowy — „Ural“, przeznaczony do seryjnej produkcji dla potrzeb przemysłu i instytutów naukowych. Prace w tej dziedzinie prowadzone są również w Polsce.

Dla łatwiejszego i lepszego zrozumienia zasady działania aparatów cyfrowych, poświęćmy nieco uwagi ich genezie. Kilkaset lat wstecz „produkcja“ liczb była znikoma. Głównymi „konsumentami“ liczb byli kupcy. Do nie tak dawna jeszcze zapotrzebowanie na liczby było nieznaczące. Pierwsze silniki parowe, spalinowe, samoloty czy samochody budowano bez obliczeń, na wycieczkę. Jeżeli wykonywano nawet jakieś obliczenia, nie grały one zasadniczej roli. Rezultaty takiej roboty były dość przypadkowe. Dzisiaj jest inaczej. Konstruktor chciałby bardzo dokładnie przewidywać własności budowanego przez siebie urządzenia. Umożliwiają mu to obliczenia, ale jest ich tak wiele, że za pomocą ręcznego arytmetru trzeba by je wykonywać dziesiątki, setki, a czasem nawet tysiące lat. Brak możliwości szybkiego wykonywania obliczeń stał się poważnym problemem techniki dwudziestego wieku. Do rozwiązania tego problemu zmusiła ostatnia wojna. Wielkie ilości obliczeń potrzebnych do celów wojennych nie mogły być wykonane na czas stojącymi wówczas do dyspozycji środkami i dlatego w USA postanowiono zbudować specjalny aparat umożliwiający bardzo szybkie liczenie w sposób całkowicie automatyczny. Aparat ten nazwano *Electronic Numerator Integra-*

<sup>1</sup> *Быстродействующая Электронная Счетная Машина* — szybko działająca elektroniczna maszyna licząca.

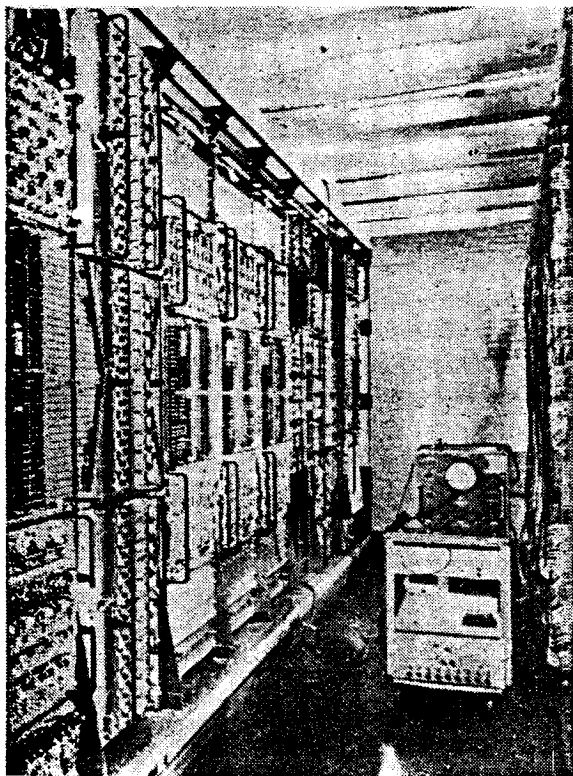
tor and Computer, w skrócie — ENIAC<sup>2</sup>. ENIAC z miejsca zrewolucjonizował obliczanie i odsłonił przed nauką i techniką nowe perspektywy i możliwości. Aparaty pracujące na podobnej do niego zasadzie nazywane są automatycznymi aparatami cyfrowymi lub krótko: aparatami cyfrowymi.

Podstawowym elementem każdego aparatu cyfrowego jest bardzo szybki arytmometr. Nowoczesna technika elektronowa umożliwia zbudowanie arytmometru bez żadnych części ruchomych, bez żadnych elementów mechanicznych. Dzięki temu arytmometr elektronowy ma olbrzymią szybkość liczenia, np. za pomocą arytmometru „Whirlwind” (Huragan) można dodać 100 000 liczb sześciocyfrowych w ciągu sekundy. Rzecz jasna, ręczne obsługiwanie takiego arytmometru nie miałyby sensu. Nastawianie liczb i odczytywanie wyników trwałoby tysiące razy dłużej niż samo liczenie. Dlatego człowiek jest tutaj zastąpiony przez urządzenie sterujące. Trzecim elementem aparatu cyfrowego jest „pamięć”. W pamięci są zmagazynowane liczby i instrukcje opisujące szczegółowo przebieg obliczenia. Urządzenie sterujące wykonuje za pomocą arytmometru kolejne instrukcje zawarte w „pamięci”.

**D**O ZROZUMIENIA zasady działania aparatu cyfrowego, przynajmniej w najogólniejszym zarysie, nie jest potrzebna znajomość ciekawych zresztą szczegółów konstrukcyjnych<sup>3</sup>. Dlatego, aby dopomóc

<sup>2</sup> ENIAC — elektronowe urządzenie do liczenia, całkowania i rachowania.

<sup>3</sup> Szczegółowe wiadomości o działaniu aparatów cyfrowych można znaleźć w artykule doc. R. Marczyńskiego pt. *Elektronowe automatyczne maszyny cyfrowe* w czasopiśmie *Zastosowania Matematyki*, II, 3 (1955).



wyobraźni, zastąpmy w myśli skomplikowany arytmometr tablicami zawierającymi obliczone już wyniki czterech działań arytmetycznych na wszystkich liczbach naturalnych, np. dziesięciocyfrowych (dlaczego dziesięcio-, a nie np. dwunasto- czy piętnastocyfrowych, niebawem się przekonamy). W ten sposób unikniemy wyjaśniania zasady działania arytmometru, nieważnej z punktu widzenia działania całego aparatu. Podobnie wyobraźmy sobie „pamięć” jako pokratkowany arkusz czystego papieru. Załóżmy, że na arkuszu znajduje się 999 kratki, że każda kratka jest oznaczona liczbą trzycyfrową oraz że w każdej kratce można zapisać jedną liczbę dziesięciocyfrową albo instrukcję. Instrukcję zapisaną w kratce np. nr 4 będziemy nazywali czwartą instrukcją. Instrukcja może brzmieć: „Pomnóż liczbę znajdującą się w kratce nr 521 przez liczbę w kratce nr 131, a wynik zapisz w kratce nr 423, po czym wykonaj następną instrukcję.” Oczywiście instrukcja nie jest zapisana w „pamięci” słownie, jak wyżej, lecz symbolicznie: 3 521 131 423. Pierwsza cyfra (licząc od lewej) 3 oznacza mnożenie, a pozostałe trzy grupy cyfr — numery kratki, w których znajdują się: mnożna, mnożnik i gdzie ma być umieszczony iloczyn. Instrukcja może również brzmieć: „Przepisz liczbę z kratki nr 348 do kratki nr 421, po czym wykonaj następną instrukcję” — symbolicznie: 5 348 421 000. Pierwsza cyfra 5 oznacza przepisywanie. Instrukcja 0 000 000 000 oznacza: „przerwij liczenie”. Każda instrukcja składa się z dziesięciu cyfr. Pierwsza cyfra oznacza działanie (przepisywanie liczby z kratki do kratki również uważamy za działanie) — trzy pozostałe grupy cyfr numery kratki „pamięci”, z których mamy brać liczby i gdzie zapisywać wyniki. W dalszym ciągu będziemy używali następujących oznaczeń:

dodawanie . . . . .	1
odejmowanie . . . . .	2
mnożenie . . . . .	3
dzielenie . . . . .	4

Przypuśćmy, że chcemy w „pamięci” zapisać wykonanie działania:

$$\frac{a + b \cdot c - d}{e \cdot f}$$

gdzie  $a, b, c, d, e, f$  — są dziesięciocyfrowymi liczbami naturalnymi. Liczby te zapisze-

Fragment urządzenia sterującego aparatu  
WHIRLWIND (USA).

my w „pamięci“ w kratkach np. podanych w poniższej tabelce:

nr kratki	liczba
100 . . . . .	a
101 . . . . .	b
102 . . . . .	c
103 . . . . .	d
104 . . . . .	e
105 . . . . .	f

Niżej podane są instrukcje potrzebne do wykonania tego obliczenia:

nr kratki	instrukcja
001 . . . . .	3 101 102 106
002 . . . . .	1 100 106 107
003 . . . . .	2 107 103 108
004 . . . . .	3 104 105 109
005 . . . . .	4 108 109 110
006 . . . . .	0 000 000 000

Urządzenie sterujące wykonuje kolejno instrukcje. Po wykonaniu pięciu instrukcji, w kratce 110 znajdzie się wynik obliczenia. Instrukcja opisuje ruch aparatu, podobnie jak np. wyrażenie  $Ke8-e7$  opisuje ruch figury szachowej na szachownicy. Wszystkie ruchy aparatu potrzebne do wykonania jakiegoś obliczenia noszą nazwę operacji. Wszystkie instrukcje opisujące daną operację są zwane programem tej operacji.

W podanym przykładzie program składa się z sześciu instrukcji. Każdy z łatwością ułoży programy wielu innych prostych obliczeń.

Weźmy inny przykład. Chcemy za pomocą aparatu cyfrowego dodać sto liczb  $a_1, a_2, \dots, a_{100}$ . Liczby te umieścimy w kratkach według tabelki:

nr kratki	liczba
101 . . . . .	$a_1$
102 . . . . .	$a_2$
. . . . .	. . . . .
200 . . . . .	$a_{100}$

Na podstawie poprzedniego przykładu łatwo można ułożyć program obliczenia. Program ten składałby się ze stu instrukcji. Program tego obliczenia można zapisać znacznie krócej, stosując instrukcję warunkową. Instrukcja warunkowa może brzmieć: „Jeżeli w kratce nr 844 jest zapisane zero, wykonaj kolejną instrukcję, jeżeli jest zapisana liczba różna od zera, wykonaj instrukcję zapisaną w kratce nr 321.“ Symbolicznie: 6 844 321 000; 6 oznacza instrukcję warunkową. Oczywiście, zamiast 844 i 321 mogą być w instrukcji warunkowej numery innych kratek.

Znaczenie instrukcji warunkowej poznamy na rozpoczętym przykładzie. Oprócz liczb sumowanych zapiszemy w pamięci liczby 0, 1, 100, 1 000 000.

nr kratki	liczba
201 . . . . .	0 000 000 000
300 . . . . .	0 000 000 001
301 . . . . .	0 000 000 100
302 . . . . .	0 001 000 000

Program sumowania przy użyciu instrukcji warunkowej ma wtedy postać:

nr kratki	instrukcja
001 . . . . .	1 101 201 201
002 . . . . .	2 301 300 301
003 . . . . .	1 001 302 001
004 . . . . .	6 301 001 000
005 . . . . .	0 000 000 000

Po wykonaniu instrukcji pierwszej, w kratce 201 znajdzie się suma liczb zanotowanych w kratkach 101 i 201.

Instrukcja w kratce drugiej spowoduje zanotowanie w kratce 301, że zostało do wykonania jeszcze 99 sumowań.

Wykonanie instrukcji trzeciej spowoduje zmianę znaczenia instrukcji pierwszej. Instrukcja pierwsza będzie miała teraz postać 1 102 201 201.

Instrukcję czwartą należy czytać: „Jeżeli w kratce nr 301 nie ma zera, wykonaj instrukcję pierwszą, w przeciwnym wypadku — instrukcję piątą.“ Ponieważ w kratce nr 301 jest liczba 99, więc urządzenie sterujące przewodzi do wykonania instrukcji pierwszej. Instrukcja pierwsza ma obecnie inne znaczenie niż wtedy, gdy urządzenie sterujące wykonywało ją po raz pierwszy; obecnie znaczy ona: dodaj liczby zapisane w kratkach 102 i 201, a nie jak poprzednio — w kratkach 101 i 201.

Urządzenie sterujące wykonuje ponownie instrukcje drugą, trzecią i czwartą i dzieje się to tak długo, aż dodane zostaną wszystkie liczby, tzn. w kratce nr 301 znajdzie się liczba 0.

Wtedy po wykonaniu instrukcji czwartej urządzenie sterujące wykona instrukcję piątą, tj. przerwie liczenie.

**Z**APOZNALIŚMY się z siedmioma instrukcjami: dodawaniem, odejmowaniem, mnożeniem, dzieleniem, przepisywaniem, instrukcją warunkową oraz końcem liczenia. W rzeczywistości używa się ich więcej, przede wszystkim około dwudziestu. Oczywiście, każdy aparat może wykonywać tylko takie instrukcje, które zostały ustalone przed jego budo-

wą. Warto zauważyć, że program to po prostu idealna ściągaczka. Nie trzeba rozumieć, aby z jej pomocą wykonać poprawnie obliczenie. Całe postępowanie sprowadza się tylko do poprawnego wykonywania instrukcji zawartych w programie.

Widzimy, że zasada działania aparatu cyfrowego jest dość prosta. Jednakże, jak to na ogół bywa, zasadę od jej technicznej realizacji dzieli mnóstwo najrozmaitszych, niełatwych do pokonania trudności. W aparatach cyfrowych trudności te tak komplikują prostą zasadę, że aparaty cyfrowe są uważane, przynajmniej przez ich konstruktorów, za najbardziej skomplikowane urządzenia, jakie kiedykolwiek zostały zbudowane przez człowieka. Jest w tym niewątpliwie nieco przesady, a może i zarozumiałości. Mimo to aparaty cyfrowe są rzeczywiście urządzeniami skomplikowanymi. O trudnościach konstrukcyjnych może świadczyć np. to, że poprawne działanie aparatu cyfrowego zależy od właściwego współdziałania wszystkich

najdrobniejszych nawet elementów. Nie zauważone uszkodzenie, trwające choćby mniej niż tysięczną część sekundy, wywołuje w krótkim czasie tak duży błąd w obliczeniach, że otrzymane wyniki są pozbawione najzupełniej sensu, w przeciwieństwie np. do samolotu czy odbiornika radiowego, które mimo znacznych i trwałych uszkodzeń pracują mniej lub więcej poprawnie.

To była zasada działania. A jak pracuje rzeczywisty aparat cyfrowy? Na to pytanie jest trudno odpowiedzieć jasno i krótko, dlatego pominiemy je lepiej milczeniem. Warto tylko dodać, że przeciętny aparat cyfrowy waży kilka ton, posiada kilka tysięcy lamp elektronowych, wyniki obliczeń są drukowane za pomocą elektrycznej maszyny do pisania, liczenie odbywa się przeważnie w systemie dwójkowym (ale wyniki są drukowane w systemie dziesiętkowym).

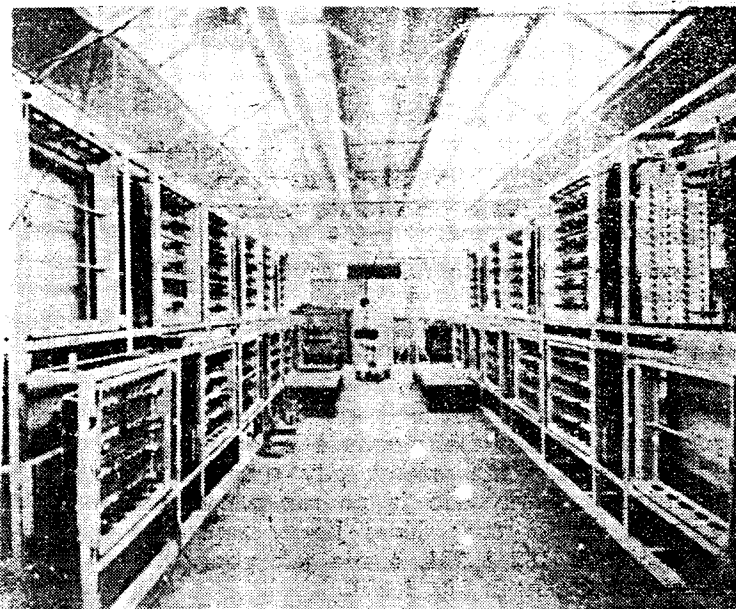
Gdyby ktoś chciał znaleźć w aparacie cyfrowym wielki arkusz papieru, na którym są zapisane liczby i instrukcje, doznałby zawodu. Rolę papieru grają bowiem lampy elektronowe, atramentu — impulsy elektryczne. Nie powinno to specjalnie dziwić. Przecież liczby nie zawsze były zapisywane na papierze. Dawniej zapisywano je za pomocą węzłków na sznurkach, nacięć na kijku, kamieni czy pestek na piasku, kulek drewnianych na drutach (liczydło). Lampa elektronowa jest kolejnym naturalnym ogniwem tego łańcucha i na pewno nie ostatnim. Ten fragment aparatu nazwano „pamięcią“.

„Pamięć“ aparatu ma taki sam związek z pamięcią ludzką, jak kartka papieru czy płyta gramofonowa. Wyjaśnimy to bliżej.

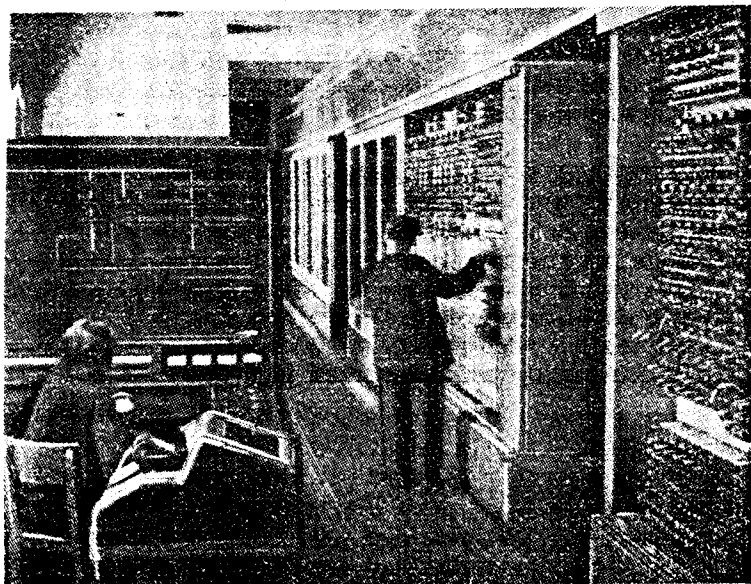
**G**DY CHCEMY wiersz utrwalić na płycie czy na kartce — zapisujemy kolejno poszczególne jego słowa. Utrwalenie wiersza (w znanym sobie języku) w pamięci ma nieco inny charakter. Nie staramy się zapamiętać poszczególnych słów wiersza — słowa te bowiem już znamy — ale dążymy do ustalenia pewnych związków między nimi, tak aby każde słowo wiersza wywoływało w świadomości następne.

Wiązanie słów może być dwojakie: skojarzeniowe i sensowne.

Co to jest wiązanie skojarzeniowe? Jeżeli słyszymy lub powtarzamy często jakąś grupę słów, to między nimi powstaje w pamięci „połączenie“, tzn. jedno słowo pociąga za sobą słowa pozostałe. Jeżeli np. chcemy zapamiętać, że stolicą Peru jest Lima, wy-



Ogólny widok aparatu cyfrowego uniwersytetu w Manchester (Anglia).



Widok ogólny aparatu BESM (ZSRR).

starczy parę razy powtórzyć „Peru — Lima“. Na skutek tego między słowami Peru i Lima powstanie w pamięci związek, tak że słowo Peru pociąga za sobą słowo Lima i odwrotnie. Mówimy, że słowa te zostały ze sobą skojarzone. Fakt, że między nimi powstało skojarzenie, nie zależy od ich treści, tylko od tego, że jednocześnie lub bezpośrednio po sobie występowały wielokrotnie w naszej świadomości. Otóż zapamiętanie wiersza — to takie powiązanie jego słów, że pierwsze pociąga drugie, drugie trzecie itd., aż do końca, podobnie jak przewrócenie pierwszego klocka powoduje przewrócenie szeregu klocków stojących za nim.

Słowa wiersza są połączone również pewną więzią logiczną. Na przykład między słowami „zielona trawa“ istnieje związek sensowny. Znacznie szybciej zapamiętamy wiersz, jeżeli zdamy sobie sprawę ze związków sensownych między jego poszczególnymi słowami, jeżeli zdamy sobie sprawę z jego treści.

Jeżeli chcę zapamiętać, że pan X ma telefon nr 407 22, to wielokrotnie powtarzam go z nazwiskiem pana X lub liczbie 407 22 nadając sztucznie sens: 407 cm — to szerokość mojego pokoju, a 22 to mój wiek. A więc telefon pana X, to szerokość mojego pokoju i mój wiek.

„Pamięć“ aparatu polega na magazynowaniu (liter lub cyfr), natomiast u podstaw pamięci ludzkiej leży wiązanie tego, co chcemy zapamiętać, z tym, co już znamy i wiemy. „Pamięć“ aparatu nie jest próbą naśladowania pamięci ludzkiej. Anglicy i Niemcy, aby uniknąć niewłaściwych skojarzeń i sugestii, „pamięć“ aparatu nazywają „magazynem“ lub „spichrzem“.

Obecnie jedyną pracą umysłową, której wykonywanie za pomocą aparatów cyfrowych ma praktyczne znaczenie, jest obliczanie. Są robione próby rozszerzenia zakresu zastosowań aparatów cyfrowych na inne dziedziny, jednakże do tej pory nie mają one praktycznego znaczenia. W dalszym ciągu poświęcimy nieco uwagi możliwościom aparatów cyfrowych.

**W MATEMATYCE** — podobnie zresztą jak w każdej innej nauce — są dwa rodzaje zagadnień: pierwsze — to takie zagadnienia, które można rozwiązać znanymi metodami, drugie — których znanymi metodami rozwiązać się nie da. Rozwiązywanie zagadnień pierwszego rodzaju sprowadza się do postępowania według ustalonych już schematów, do naśladowania czynności innych ludzi. Rozwiązywanie drugich zagadnień — jest twórczą pracą umysłową. Schematy rozwiązywania zagadnień wymagające mecha-

nicznego wykonywania skończonej liczby pewnych prostych czynności nazywają się w matematyce algorytmami. W algorytmie przewidziane są wszelkie możliwe wypadki, mogące zajść w czasie rozwiązania, i na każdy wypadek przewidziany jest sposób reagowania. Człowiek postępujący według algorytmu wcale nie potrzebuje znać rozwiązywanego zagadnienia, dbać tylko musi o to, by w czasie pracy poprawnie stosować przepisane reguły.

Algorytmy spotykane w matematyce nie są szczegółowymi schematami rozwiązań, tylko ich szkicami, zawierającymi niezbędne informacje o przebiegu rozwiązania. Wiele drugorzędnych spraw pozostawia się domyślności i inwencji osoby rozwiązującej. Umieszczenie ich w algorytmie byłoby zbędne, a nawet szkodliwe, gdyż zaciemniałoby obraz całości. Typowymi algorytmami są np. wzory matematyczne. Odpowiedź np. na pytanie: „Jakie są pierwiastki równania kwadratowego  $ax^2 + bx + c = 0$ “ ma postać wzoru:

$$\frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Wzór ten właściwie nie jest gotową odpowiedzią, lecz opisem wszystkich najważniejszych czynności, które należy wykonać, aby ją otrzymać. W jakiej kolejności wykonywać działania, gdzie zapisywać wyniki — ze wzoru nie wynika. Łuki te jednak nie stanowią przeszkody w otrzymaniu rozwiązania, gdyż człowiek łatwo je uzupełnia. Algorytm niekoniecznie musi mieć postać wzoru.

Program — to nic innego jak bardzo szczegółowy algorytm, w którym nie ma ani odrobiny miejsca na domyślność. Każdy krok rozwiązania jest bardzo szczegółowo opisany, aparat bowiem niczego się nie domyśli. Rozpatrywany np. poprzednio wzór:

$$\frac{a + b \cdot c - d}{e \cdot f}$$

opisuje pewne czynności, które należy wykonać, aby otrzymać odpowiedź na jakieś pytanie. Nie wiemy jednak z tego wzoru, czy najpierw należy pomnożyć  $e$  przez  $f$ , czy  $c$  przez  $b$ , czy odjąć  $d$  od  $a$ . Kolejność ta nie gra roli i pozostawiona jest do wyboru człowiekowi. Odpowiadający wzorowi program jest również opisem czynności, prowadzących do otrzymania odpowiedzi na to samo pytanie — ale czynności nie człowieka, lecz aparatu. Opis ten nie jest przejrzysty, ale za to bardzo szczegółowy i jest tylko jeden sposób jego wykonania. W programie — rzecz jasna — muszą być uwzględnione

własności techniczne aparatu, za pomocą którego ma on być wykonany — inaczej program byłby bezużyteczny. Toteż programy tego samego zagadnienia dla różnych aparatów są różne.

Aby jakieś zagadnienie mogło być rozwiązane za pomocą aparatu cyfrowego, warunkiem koniecznym jest znajomość algorytmu rozwiązania. Algorytm może istnieć, ale możemy go jeszcze nie znać. Aparat nic nam wtedy nie pomoże. Znajomość algorytmu nie wystarcza jednak do rozwiązania problemu za pomocą aparatu. Aparat może działać za wolno, może być za mały, może mieć jakieś inne ułomności techniczne, tak że z jego pomocą, mimo znajomości algorytmu, zagadnienia nie rozwiążemy. Możliwości aparatów są więc ograniczone, z jednej strony, niedostateczną wiedzą o rozwiązywanym problemie, z drugiej — niedoskonałością techniczną aparatu. Rozwój aparatów jest dlatego ściśle uzależniony od rozwoju matematyki i techniki. Można by więc przypuszczać, że każde nie rozwiązane jeszcze zagadnienie będzie mogło być w przyszłości rozwiązywane za pomocą aparatów. Tak jednak nie jest. Dlaczego? — zaraz wyjaśnimy.

Znalezienie sumy liczb, znalezienie pierwiastków równania kwadratowego, rozwiązanie układu równań liniowych, to elementarne przykłady zagadnień, których rozwiązanie sprowadza się do prostych algorytmów. Oczywiście, były czasy, w których algorytmy te nie były znane i wtedy znalezienie sumy liczb, znalezienie pierwiastka równania kwadratowego, rozwiązanie układu równań liniowych były trudną, nie szablonową, jak dziś, pracą umysłową. Obecnie są również w matematyce takie zagadnienia, na których rozwiązanie nie jest znana recepta.

Otóż do niedawna wielu nawet matematycy sądzili, że istnieje algorytm rozwiązania każdego problemu matematycznego, że kiedyś całą wiedzę matematyczną będzie można sprowadzić do algorytmów. Tymczasem w 1931 roku matematyk austriacki Kurt Gödel dowiódł, że całej wiedzy matematycznej algorytmicznie ująć się nie da, a nawet więcej — że tylko w bardzo ubogich i elementarnych teoriach matematycznych jest możliwe algorytmiczne rozwiązywanie wszystkich zagadnień. Już np. w arytmetyce liczb naturalnych są zagadnienia, których nie można rozwiązać w ten sposób. Twierdzenie Gödela jest niewątpliwie jednym z największych współczesnych osiągnięć w podstawach matematyki. Wynika z niego między innymi, że większości zagadnień matematycznych nigdy nie będziemy mogli rozwiązywać za pomocą apa-

ratów budowanych na obecnych zasadach. A więc aparaty matematyczne nie tylko nie wnoszą w zasadzie nic nowego do matematyki, ale nawet nie obejmują jej całości, tylko wąski wycinek. Może ktoś pomyśli: a nuż zostaną wynalezione aparaty pracujące na całkiem nowych zasadach — umożliwiające rozwiązywanie zagadnień nie dających się rozwiązać algorytmicznie? Kto wie? Może i zostaną wynalezione. W każdym razie obecnie nic tego nie zapowiada. Oczywiście, nie jest to argumentem przeciwko nowym możliwościom. Wiele już było w historii techniki wynalazków, których nikt nie przewidział.

Rachowanie jest najważniejszą, chociaż nie jedyną czynnością umysłową dającą się wykonać szablonowo. Wyprowadzanie wniosków za pomocą reguł logicznych, podobnie jak rachowanie, może być wykonywane algorytmicznie. Dlatego za pomocą aparatu cyfrowego można również przeprowadzać prostsze rozumowania. Są one jednak tak elementarne i nieciekawe, że nie mają praktycznego znaczenia. Bogatszych rozumowań za pomocą aparatów przeprowadzić się nie da, nie można bowiem ich sprowadzić do algorytmu. Oczywiście, sam fakt, że niektóre rozumowania można wykonać mechanicznie, jest ciekawy. Wykrył to matematyk angielski żyjący przed przeszło 100 laty, George Boole. Jak widzimy, to, że za pomocą aparatów można rozumować, wcale ich nie utożsamia z mózgiem.

**O**STATNIO za pomocą aparatu cyfrowego IBM 701 (USA) tłumaczono proste teksty rosyjskie na angielskie. Oto kilka przykładów tych tłumaczeń:

Качество угля определяется калорийностью.  
(Gatunek węgla określa wartość opałowa).  
The quality of coal is determined by calory content.

Международное понимание является важным фактором в решении политических вопросов.  
(Międzynarodowe zrozumienie jest ważnym czynnikiem w rozstrzyganiu zagadnień politycznych).  
International understanding constitutes an important factor in decision of political questions.

Крахмал вырабатывается механическим путем из картофеля.  
(Krochmal wyrabia się drogą mechaniczną z kartofla).  
Starch is produced by mechanical methods from potatoes.

Динамит готовится химическим процессом из нитроглицерина с применением инертных соединений.  
(Динамит wytwarza się w procesie chemicznym z nitrogliceryny z zastosowaniem związków obojętnych).  
Dynamite is prepared by chemical process from nitroglycerine with admixture of inert compounds.



Rzecz na pierwszy rzut oka wygląda nieprawdopodobnie. Przyjrzyjmy się jej bliżej.

A więc najpierw opracowano słownik zawierający 250 słów rosyjskich i ich odpowiedników angielskich — oraz instrukcję tłumaczenia, tak że osoba nie znająca zupełnie języka rosyjskiego mogła za pomocą tego słownika i instrukcji poprawnie przetłumaczyć prostsze zdanie rosyjskie na angielski.

Fragment słownika pokazany jest poniżej.

величина	magnitude (→) 000
{ длин-	length (→) 000
- у	of (→) 303
{ дуг-	arc (→) 000
- и	of (→) 303
{ к	to (for) 202
кислороди-	oxygen (→) 006
лишени-	deprival (→) 020
материал-	material (→) 000
мы	we (→) 002
мысли	thoughts (→) 000
мног-	many (→) 000
медь	copper (→) 001
мест-	place (site) 502
механическ-	mechanical (→) 000
международн-	international (→) 000
на	on (for) 202
нападени-	attack (attacks) 200
наука	a science (→) 040
обработка	processing (→) 000
объект	objective (objectives) 200
{ офицер	an officer (the officer) 000
- ого	of (→) 302
- ом	by (→) 300
определяет	determines (→) 000
определяется	is determined (→) 000
оптическ-	optical (→) 000
орудие	gun (→) 030
отдел	section (→) 000
{ отношение-	relation (the relation) 500
- ем	by (→) 300
{ угол-	coal (angle) 203
- а	of (→) 323
радиус	radius (→) 010

Jak widzimy, różni się on od zwykłych słowników; oprócz całych wyrazów występują w nim części wyrazów (rdzenie i przyrostki); niektóre wyrazy występują nieraz w różnych formach gramatycznych, ponadto każdy wyraz angielski opatrzony jest trójcyfrową liczbą. Liczbę tę będziemy nazywali k o d e m danego wyrazu. Na przykład wyraz *many* (patrz słownik) ma kod 000, a wyraz *place* ma kod 502. Jeżeli jakiś wyraz rosyjski ma dwa znaczenia w języku angielskim, drugie znaczenie podane jest w nawiasie.

Instrukcja tłumaczenia podana jest w dziewięciu punktach. Każdy punkt opisuje

pewne czynności, które należy wykonać na słowach zależnie od ich kodu, aby dokonać poprawnie tłumaczenia. Należy zwrócić uwagę, że instrukcje dotyczą właściwie nie słów, ale ich kodów. Znaczy to, że do tłumaczenia niepotrzebna jest znajomość sensu tłumaczonego zdania ani znajomość znaczenia poszczególnych słów. Tłumaczenie odbywa się mechanicznie.

Instrukcja podana jest poniżej.

a. Każdy wyraz rosyjski w tłumaczonym zdaniu zastąp za pomocą słownika wyrazem angielskim.

b. Sprawdź kolejno we wszystkich słowach angielskich pierwsze cyfry ich kodów.

c. Jeżeli pierwszą cyfrą kodu danego wyrazu jest *i* ( $i=0,1,2,3,4,5$ ), to postąp według punktu nr *i* niniejszej instrukcji.

0. Weź pierwsze znaczenie wyrazu i porządek wyrazów pozostaw bez zmiany.

1. Jeżeli trzecią cyfrą kodu poprzedniego całego wyrazu jest 1, zamień oba wyrazy miejscami. W wypadku przeciwnym porządek wyrazów pozostaw bez zmiany. W obu wypadkach weź pierwsze znaczenie.

2. Jeżeli drugą cyfrą kodu następnego całego wyrazu albo części końcowej jest 1, weź pierwsze znaczenie — jeżeli 2, weź drugie znaczenie (wyraz w nawiasie). W obu wypadkach porządek wyrazów pozostaw bez zmiany.

3. Jeżeli trzecią cyfrą poprzedniego całego wyrazu albo jego części (rdzenia lub przyrostka) jest 2, weź drugie znaczenie wyrazu i zachowaj porządek następstwa wyrazów. W wypadku innym weź pierwsze znaczenie i oba wyrazy zamień miejscami.

4. Jeżeli drugą cyfrą kodu poprzedniego wyrazu lub części poprzedniego podzielonego wyrazu jest 3, weź pierwsze znaczenie; jeżeli 4, weź drugie znaczenie. W obu wypadkach porządek wyrazów pozostaw bez zmiany.

5. Jeżeli trzecią cyfrą kodu następnego całego wyrazu albo części następnego rozdzielonego wyrazu jest 3, weź drugie znaczenie. W wypadku innym weź pierwsze znaczenie. W obu wypadkach porządek wyrazów pozostaw bez zmiany.

**S**PRÓBUJMY za pomocą tego słownika i podanych reguł przetłumaczyć następujące zdanie:

Величина угла определяется отношением длины дуги к радиусу.

(Wielkość kąta określa się stosunkiem długości łuku do promienia.)

Zastępując za pomocą słownika każdy wyraz rosyjski w powyższym zdaniu wyrazem angielskim, otrzymamy: *Magnitude 000*

— coal (angle) 203 of 323 — is determined 000 — relation (the relation) 500 by 300 — ength 000 of 303 — arc 000 of 303 — to (for) 202 — radius 010. Aby „przetłumaczone“ zdanie angielskie miało sens i prawidłową budowę gramatyczną, należy wybrać właściwe znaczenie i zmienić odpowiednio porządek słów. Możemy tego dokonać zupełnie mechanicznie, postępując według podanej instrukcji. A więc sprawdzamy pierwsze cyfry kodów wszystkich słów angielskich i postępujemy według wskazanych przez nie punktów instrukcji. Wyraz *Magnitude* 000 pozostawiamy bez zmiany (zgodnie z punktem 0). W drugim wyrazie *coal (angle)* 203 wybieramy drugie znaczenie (zgodnie z punktem 2). Wyrazy *angle* 203 i *of* 323 zamieniamy miejscami (zgodnie z punktem 3). Wyraz *is determined* 000 pozostawiamy bez zmiany (zgodnie z punktem 0). W wyrazie *relation (the relation)* 500 wybieramy zgodnie z punktem 5 drugie znaczenie, *the relation* 500, gdyż trzecią cyfrą kodu jednej z części następnego rozdzielonego wyrazu (*length* 000 of 303) jest 3. Wyrazy *the relation* 500 i *by* 300, zgodnie z punktem 3 zamieniamy miejscami. Wyraz *length* 000 pozostawiamy bez zmiany (punkt 0). Wyrazy *length* 000 i *of* 303 zgodnie z punktem 3 zamieniamy miejscami. Podobnie wyraz *arc* 000 pozostawiamy bez zmiany i zamieniamy go miejscami z wyrazem *of* 303 (punkt 3). Zgodnie z punktem 2 w wyrazie *to (for)* 202 wybieramy pierwsze znaczenie. Wyraz *radius* 010 pozostawiamy bez zmiany. Otrzymaliśmy ostatecznie zdanie: „*Magnitude of angle is determined by the relation of length of arc to radius.*“

Dopiero mając metodę mechanicznego tłumaczenia można pomyśleć o aparacie, który mógłby według niej postępować. Do tłumaczenia przystosowano aparat cyfrowy IBM 701. W pamięci aparatu umieszczono słownik oraz opracowano program realizujący pokazane poprzednio instrukcje. Tłumaczenie sprowadzało się do napisania na odpowiedniej maszynie zdania w języku rosyjskim. Po 5 — 8 sekundach aparat drukował przetłumaczone zdanie.



Widzimy, że sedno sprawy leży nie w aparacie, lecz w metodzie.

Nie należy sądzić, że kiedyś wszelkie tłumaczenia sprowadzą się do włożenia tłumaczonego artykułu czy książki do odpowiedniego aparatu. Tłumaczenie dzieła literackiego związane jest z wieloma subtelnościami językowymi, niemożliwymi do ujęcia w precyzyjne reguły. Wątpliwe, aby w wymienionych dziełach literatury aparaty tłumaczące miały kiedykolwiek znaczenie... chyba, żeby literaci tak ograniczyli swój język, aby ich dzieła mogły być tłumaczone automatycznie... Ograniczenie i unormowanie języka w niektórych dziedzinach, np. w handlu, nauce, wydaje się możliwe i być może, za kilka lat aparaty tłumaczące mogą mieć tam praktyczne znaczenie. Za granicą sprawom automatycznego tłumaczenia przypisuje się duże znaczenie praktyczne i wiele instytucji prowadzi badania w tej dziedzinie, a jeden z nich wydaje nawet specjalne czasopismo, *Mechanical Translation* (Mechaniczne Tłumaczenie), poświęcone zagadnieniom mechanicznego tłumaczenia.

Gdy słyszymy, że aparaty liczą, rozumują, tłumaczą, wykonują czynności, które do niedawna były wyłącznym przywilejem człowieka — mimo woli równamy je z ludźmi, zapominając, że procesy w aparacie i organizmie są całkiem różne, nieporównywalne, a podobieństwo tylko powierzchowne.

Być może, Drogi Czytelniku, dotrą do Ciebie jeszcze dziwniejsze wieści o aparatach; może usłyszysz, że grają one w szachy, uczą się, piszą listy miłosne, a może nawet... powieści i poematy, może dowiesz się, że komponują utwory muzyczne. Pamiętaj, nie będzie to jednak oznaczało, że udało się aparaty obdarzyć inteligencją, lecz odwrotnie, że ktoś trudną do tej pory pracę umysłową usiłuje sprowadzić lub sprowadził do podrzędnej roli „beźmyślnego roboty“.

Widzimy, że nie ma widoków na to, aby aparaty mogły kiedykolwiek konkurować z rozumem ludzkim. A co z pajakiem? Zupełnie o nim zapomnieliśmy. Czy automatyczny odrzutowiec ma rzeczywiście coś wspólnego z pajakiem? Pomyślcie sami.