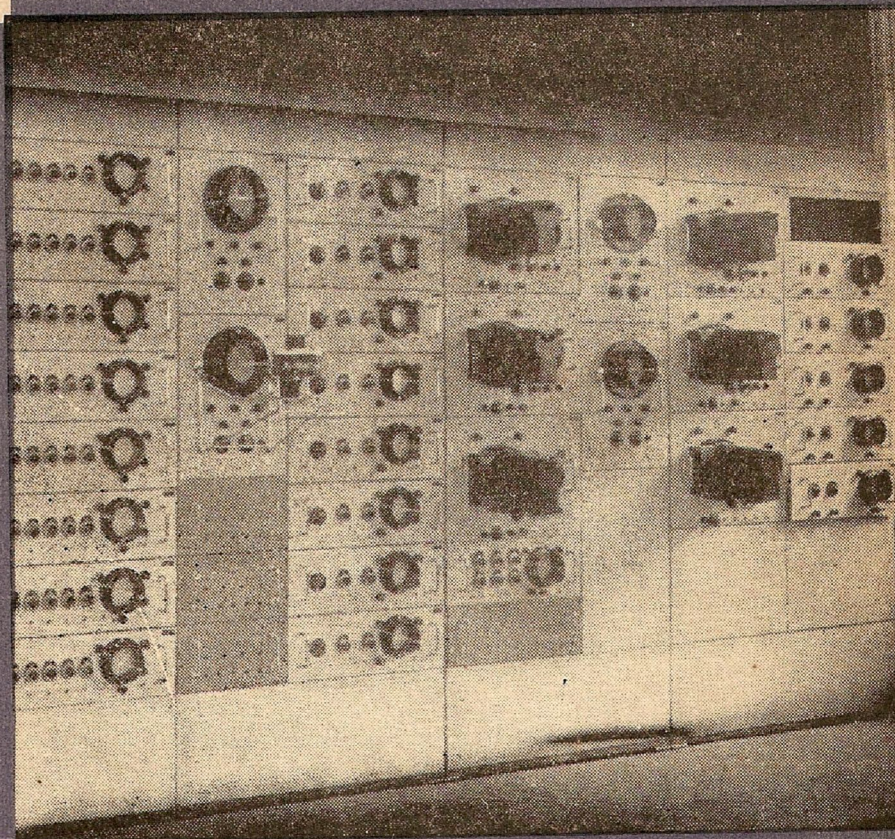


B I B L I O T E C Z K A
T O W A R Z Y S T W A
W I E D Z Y P O W S Z E C H N E J



SERIA
PRZYRODNICZA

II

PAWEŁ SZEPTYCKI

**NOWOCZESNE MASZyny
MATEMATYCZNE**

PAWEŁ SZEPTYCKI

NOWOCZESNE MASZyny
MATEMATYCZNE

1956

»WIEDZA Powszechna«

Handwritten signature

Redaktor odpowiedzialny
ADAM MAZUREK

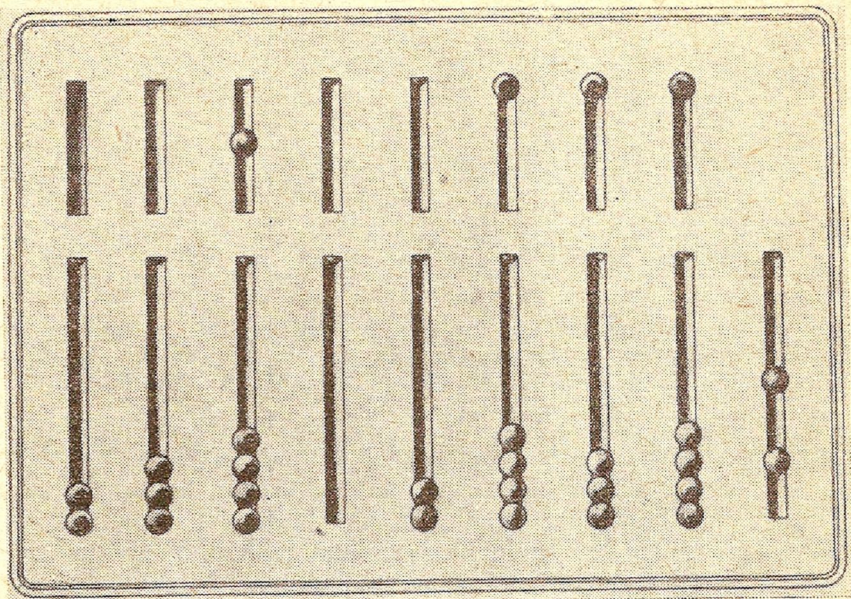
Wszelkie prawa zastrzeżone

Na zlecenie Zarządu Głównego Tow. Wiedzy
Powszechnej PW „Wiedza Powszechna”

PW „WP”. Warszawa 1956 Wydanie I
Nakład 7 000+176 egz. Obj. 1,9 ark., wyd., 3,5 ark. druk.
Papier druk. sat. kl. V, 60 g, 70×100/32, z Młynowa.
Odd. do sk. 19.9.56. Podp. do dr. 6.12.56. Druk uk. 10.12.56.
Stołeczne Zakłady Graficzne. Warszawa Zam. nr 775
B-19. Cena zł 1.—

Konieczność rozwiązywania zagadnień stawianych przez potrzeby praktyczne od bardzo dawna zmuszała człowieka do wykonywania pewnych obliczeń. Przypuszczać należy, że pierwszą z tych potrzeb był handel — prowadzenie rachunków kupieckich. Z czasem okazało się, że stworzony dla celów handlowych aparat rachunkowy może być również przydatny przy rozwiązywaniu różnych zagadnień w takich zaczynających się rozwijać naukach, jak astronomia, fizyka, geodezja itd.

Oczywiście, w początkowym okresie ludzie nie liczyli tak, jak my dzisiaj; używali środków znacznie bardziej prymitywnych, jakimi do dziś posługują się niektóre ludy pierwotne. Pierwszym takim narzędziem do liczenia była ręka — liczono przy pomocy palców. Z czasem ten najprymitywniejszy z przyrządów do liczenia został zastąpiony przez różne prototypy dzisiejszych liczydeł, z których najbardziej popularnym w krajach Azji Mniejszej, Rzymie i Grecji stał się tzw. abak (ryc. 1). Było to naczynie gliniane z otworami, w które wkładano



Ryc. 1. Abak — pierwsze narzędzie do liczenia

kamyki; odpowiednio przesuwając je wykonywano poszczególne działania.*

Z czasem ilość zagadnień rozwiązywanych metodami rachunkowymi wzrastała, metody te coraz bardziej się komplikowały i zaistniała konieczność ujęcia ich w jedną naukę. W taki mniej więcej sposób powstała matematyka. Dalszy rozwój tej nauki sprawił, że wykroczyła ona znacznie poza swoje ramy pierwotne; sztuka obliczeń, która dała jej po-

* Działania arytmetyczne wykonujemy przy pomocy liczydła, przesuwając jego paciorki z jednej pozycji na inną, na abaku zaś liczono zupełnie podobnie, z tym, że zamiast paciorków nanizanych na druty, przesuwano tam kamyki z otworu do otworu.

czątek, stała się obecnie jednym z jej działów znanym pod nazwą *m e t o d n u m e r y c z n y c h*.

Z drugiej strony, rozwijały się metody pomiarów odległości, powierzchni itd. (pomiarы gruntów, budownictwo, astronomia), tworząc podwaliny geometrii.

Nie będziemy się tu zatrzymywać nad całą problematyką metod numerycznych, zajmiemy się wyłącznie różnymi narzędziami, które w tych metodach są użyteczne, a w szczególności narzędziami nowoczesnymi, jakimi są maszyny matematyczne.

Co mają wspólnego obliczenia z rozwojem techniki?

Przed przystąpieniem do omawiania zasadniczego tematu tej pogadanki postaramy się najpierw odpowiedzieć na postawione tu pytanie. Dopiero po tym stanie się jasne, dlaczego tak ważnym dla techniki i nauk ścisłych jest szybki rozwój narzędzi do liczenia. Aby na pytanie to odpowiedzieć, zatrzymamy się na następującym przykładzie. Przypuśćmy, że stawiamy sobie za zadanie wybudowanie mostu przerzuczonego nad rzeką. Od mostu tego żądamy, by nie zawalił się w czasie jego użytkowania. Mogłoby się zdawać, że warunek ten można łatwo spełnić, budując most z odpowiednio grubych belek utwierdzonych na solidnej podstawie. Okazuje się jednak, że tak dobrze nie jest. Znamy z historii budownictwa przypadki, że mosty wytrzymujące ciężar wielkich wozów załamywały się, gdy prze-

chodził przez nie rytmicznym krokiem mały oddział wojska. Zagadnienie komplikuje się więc z tego względu, że przy budowaniu mostu trzeba uwzględnić nie tylko ciężar, jakim most będzie obciążony, lecz również sposób, w jaki ten ciężar będzie na moście umieszczony. Jak więc zbudować most, aby nie zawalił się ani pod 10-tonowym samochodem, ani pod oddziałem 100 żołnierzy maszerujących „noga w nogę“.

Pierwsza odpowiedź na to pytanie jest łatwa — zbudować most jakikolwiek, poddać go różnym możliwym próbom, a gdy próby te wytrzyma uznać go za dobry i zostawić. Jeżeli próby dadzą wynik niepomysłny, zbudować inny most, starając się przy tym uniknąć popełnionych przedtem błędów. Taka metoda kolejnego przybliżania się do dobrego mostu jest niewątpliwie dobra. Wymaga ona jednak szeregu prób, które byłyby kosztowne i niebezpieczne. Bardziej racjonalna metoda polega na przedstawieniu występujących w obciążonym moście zjawisk za pomocą pewnych zależności matematycznych, a następnie — na wyznaczeniu z tych zależności nieznanymi wielkościami charakteryzującymi most.* Mogą one określać na przykład, w jaki sposób siły działające na poszczególne belki i wiązania mostu zależą od obciążenia, wywieranego na most

* Zależności te stanowią matematyczne sformułowanie własności mostu — fizycznych praw jego zachowania się w różnych sytuacjach.

przez przejeżdżające samochody, przechodzące oddziały wojska itp. Szukane wielkości mogą na przykład charakteryzować grubość poszczególnych belek oraz sposób wykonania wiązań gwarantujących odpowiednią wytrzymałość mostu.

W ten sposób zaprojektowanie mostu zostało w pewnym sensie sprowadzone do określonego zagadnienia matematycznego. Po jego rozwiązaniu można już wykonać projekt mostu, o którym z góry wiadomo, że spełnia ustalone poprzednio warunki. W podobny sposób odbywa się projektowanie każdego nowego urządzenia: samochodu, samolotu, obrabiarki, turbiny parowej itd. Przebieg projektowania poprzedzającego budowę takich urządzeń można wyobrazić przy pomocy następującego schematu:

1. sporządzenie ogólnego planu urządzenia
2. znalezienie zależności matematycznych, opisujących zachowanie się ogólnie zaprojektowanego urządzenia w różnych okolicznościach.
3. obliczenie z otrzymanych zależności matematycznych wszystkich danych opisujących dane urządzenie (przy spełnieniu warunku, by zachowywało się ono poprawnie, to znaczy zgodnie z wymaganiami projektanta),
4. sporządzenie na podstawie otrzymanych danych dokładnego projektu urządzenia i jego konstrukcja zgodnie z tym projektem.

Schemat powyższy jest szczególnym przypadkiem podobnego schematu postępowania przy rozwiązywaniu na drodze matematycznej każdego zagadnienia fizyki, astronomii i innych nauk przyrodniczych (nie tylko techniki). Najbardziej istotnym, a równocześnie wymagającym największego wkładu twórczego w tym postępowaniu jest etap, który można by zatytułować „przetłumaczenie zagadnienia przyrodniczego na język matematyczny”. Etap ten polega na ujęciu, przy pomocy pewnych zależności matematycznych, praw rządzących przebiegiem zjawiska, którego dotyczy zagadnienie. Jeśli na przykład chcemy obliczyć jak silny powinien być traktor, by pociągnął pięciotonowy wóz po nierównej drodze, musimy przede wszystkim zastanowić się, jakie jest zasadnicze prawo rządzące tym zjawiskiem. Najprościej można by je sformułować mówiąc, że im silniejszy jest traktor, tym prędzej będzie poruszał się wóz. Takie jednak sformułowanie jest za mało ściśle dla obliczenia szukanej siły traktora. Dopiero po przetłumaczeniu na pewne wzory matematyczne staje się ono użyteczne dla obliczeń. Po pokonaniu pierwszego etapu, to znaczy po matematycznym sformułowaniu praw rządzących danym zjawiskiem, można już ściśle matematycznie sformułować dotyczące tego zjawiska zagadnienie. Gdy i to zostanie zrobione, następuje nowa faza pracy — znalezienie sposobu

rozwiązania zagadnienia matematycznego, otrzymanego z pierwotnego zagadnienia przyrodniczego. Zasadniczym celem tej ostatniej fazy jest podanie sposobu, przy pomocy którego można otrzymać liczbową odpowiedź na postawione zagadnienie.

Zatrzymamy się nieco dłużej nad punktem trzecim powyższego schematu.

Znalezienie wielkości poszukiwanych na podstawie danych zależności matematycznych rozpada się na dwa zasadnicze etapy. W pierwszym z nich matematyk szuka teoretycznej metody znalezienia tych wielkości i w oparciu o nią opracowuje przepis postępowania mówiący, jakie i w jakiej kolejności rachunki trzeba wykonać, aby uzyskać szukany wynik. Gdy przepis taki jest opracowany, rozpoczyna się drugi etap, polegający na praktycznej realizacji przepisu, na kolejnym wykonywaniu rachunków wskazanych przez matematyka. W zależności od charakteru zagadnienia zdarzyć się może, że wykonanie tych rachunków jest nietrudne — zabiera niewiele czasu. Jest to jednak przypadek raczej rzadki, zwłaszcza w zagadnieniach rozwiązywanych przez współczesną technikę, fizykę i inne gałęzie nauk ścisłych, które wymagają tak wielkich ilości rachunków, że ich wykonanie w jakimś rozsądnym okresie czasu jest możliwe jedynie przy pomocy dużego zespołu rachmistrzów. W związku z tym bardzo często upraszczano wyjściowe zależ-

ności matematyczne, uzyskując przez to zredukowanie ilości rachunków, lecz równocześnie zmniejszając dokładność uzyskanego wyniku. Dla pewnych działów nauki i techniki wyniki takich rachunków przybliżonych były jednak bezwartościowe — na przykład biura konstrukcji lotniczych domagały się wyników dokładnych, od nich bowiem w dużej mierze zależała precyzja działania i bezpieczeństwo budowanych samolotów.*

Dla wykonywania takich obliczeń organizowano biura rachmistrzów, pracujące pod kierownictwem matematyków, które próbowały zaspokoić te stale rosnące żądania techniki. Biura te nie były jednak w stanie usunąć „wąskiego gardła” w projektowaniu różnych urządzeń, jakim był proces znajdowania potrzebnych dla ich konstrukcji danych liczbowych. Można przypuszczać, że jedną z wielu przyczyn niezakończenia przez Niemcy daleko już zaawansowanych prac nad budową broni atomowej było to, iż nie zdołano tam (na szczęście) wykonać w dostatecznie krótkim czasie potrzebnych do jej konstrukcji obliczeń. Zbudowanie tej broni w tak krótkim czasie w USA było w dużej mierze zasługą pracujących w dzień i w nocy setek (jeśli nie tysięcy) rachmistrzów.

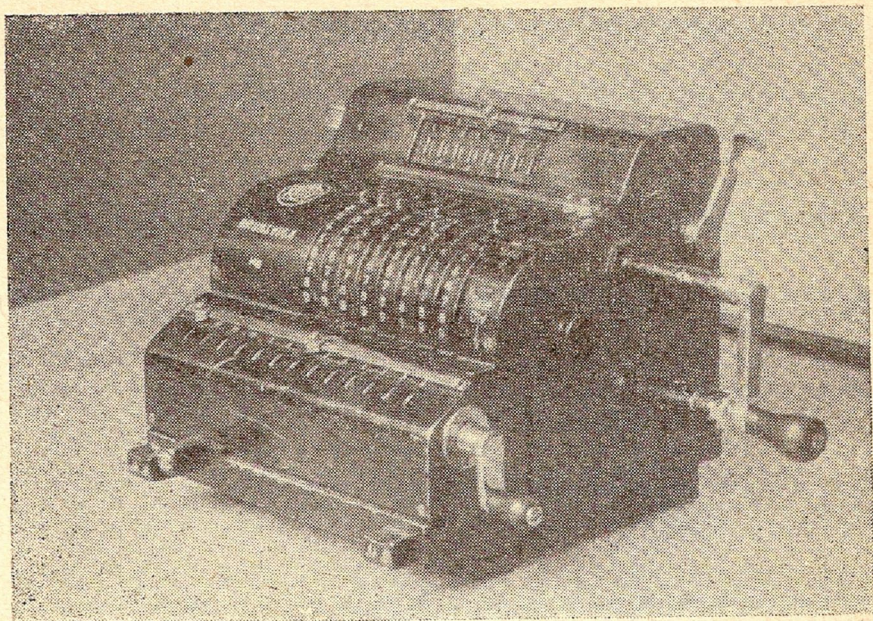
* Podobne żądania były stawiane przez szereg działów fizyki, w szczególności fizyki atomowej, astronomii i innych działów nauki i techniki.

MASZYNY MATEMATYCZNE

Człowiek stale dąży do ułatwienia sobie pracy na wszystkich odcinkach życia — fakt ten jest jednym z głównych motorów postępu technicznego. Z przytoczonych przykładów wynika, że w obecnej chwili postęp ten jest niemal niemożliwy bez wykonywania dużej ilości obliczeń. Z drugiej strony ręczne wykonywanie tych obliczeń można by na dzisiejszym etapie rozwoju techniki i nauk przyrodniczych porównać do przedzenia za pomocą ręcznego kołowrotka, a biura rachmistrzów do średniowiecznych manufaktur.

Podobnie jak to było z zastąpieniem manufaktur przedziałniczych przez zmechanizowane fabryki, myśl człowieka szła również w kierunku ułatwienia pracy, którą wykonywał on rachując, w kierunku jej zmechanizowania. Po starożytnym abaku i średniowiecznym liczydłem pierwszym udoskonaleniem był tu mechaniczny arytometr (ryc. 2), który został wymyślony znacznie wcześniej, lecz wszedł w użycie dopiero w drugiej połowie ubiegłego stulecia, a w wieku dwudziestym stał się powszechnie używanym narzędziem rachmistrzów.

Chociaż arytometr jest urządzeniem, którego omówienie w zasadzie odbiega od tematu niniejszego odczytu, wspomnimy tu krótko o zasadzie jego działania. Znamy wszyscy sposób posługiwania się zwykłym liczydłem, które do dziś jest bardzo



Ryc. 2. Arytmometr mechaniczny. Przez pokręcanie kor-
bką dokonuje się działań arytmetycznych

rozpowszechnionym narzędziem, używanym przede wszystkim w biurach. Liczydło takie składa się z ramki, w której na drutach nanizane są paciorki — na każdym drucie po dziesięć. Poszczególne druty reprezentują poszczególne miejsca cyfr danej liczby, ilość przesuniętych na danym drucie paciorków odpowiada cyfrze stojącej na odpowiadającym mu miejscu. Tak więc cyfrze zero odpowiada zerowa ilość paciorków przesuniętych, cyfrze 1 jeden przesunięty paciorek itd. Za pomocą liczydła można dodawać i odejmować. Działania te wykonujemy na liczydłe, podobnie jak za pomo-

cą ołówka i kawałka papieru z tym tylko, że zamiast pisać cyfry odkładamy je za pomocą paciorków na poszczególnych drutach. Musimy oczywiście pamiętać o zasadach „przenoszenia” przy „dodawaniu” i „pożyczania” przy odejmowaniu.

Arytmometr mechaniczny, jeśli chodzi o ideę jego działania jest niczym innym, jak zwykłym liczydłem, z tą tylko modyfikacją, że elementami, przy których pomocy reprezentuje się cyfry, są nie druty z nanizanymi paciorkami, lecz kółka zębate obracające się na osi. Każde kółko ma dziesięć zębów — ząb oznaczony cyfrą 0, cyfrą 1 ... aż do 9. Każdej cyfrze odpowiada więc w arytmmetrze położenie pewnego kółka zębatego, a w związku z tym każdej liczbie odpowiada zespół położeń tylu kółek zębatach, ile cyfr liczy dana liczba. Czynności przenoszenia paciorków w liczydłe odpowiada w arytmmetrze obracanie kółek na osi. Przez odpowiednie obracanie kółek wykonuje się dodawania i odejmowania. Mnożenie na arytmmetrze zastępuje się przez szereg dodawań, podobnie dzielenie — przez szereg odejmowań. Pierwszy zbudowany przez Pascala (druga połowa XVIII w.) arytmmetr mechaniczny miał, podobnie jak wiele dziś spotykanych arytmmetrów, napęd ręczny — działań na takich arytmmetrach dokonuje się przez odpowiednie pokręcanie korbką. Oczywiście od pierwszych arytmmetrów mechanicznych do arytmmome-

trów nowoczesnych prowadziła długa droga. Dokonano całego szeregu udoskonaleń i uproszczeń, napęd ręczny zastąpiono elektrycznym, zautomatyzowano mnożenie i dzielenie, jednak zasadnicza idea arytmometru nie uległa zmianie.

Arytmometr był wprawdzie znacznym postępem w technice obliczeniowej, niemniej jednak „wąskiego gardła” w tym zakresie nie zlikwidował i problem pełnego zaspokojenia potrzeb obliczeniowych techniki pozostał nadal otwarty.

Parę lat przed ostatnią wojną zaczęły powstawać koncepcje maszyn znacznie bardziej nowoczesnych, których realizacja skróciłaby dziesiątki, setki, a nawet tysiące razy dotychczasowy czas pochłaniany przez obliczenia. W roku 1936 zbudowano nawet w Instytucie Technologii w Massachusetts (USA) prototyp takiej maszyny, która rozwiązywała szereg problemów obliczeniowych bez porównania prędszej, niż wszystkie ówczesne biura obliczeniowe. Właściwy jednak początek ery nowoczesnych maszyn matematycznych przypada na okres drugiej wojny światowej. Przyczyną wzmożonych badań nad tego rodzaju aparatami oraz niezwykle szybkiej realizacji ich projektów było wielkie zapotrzebowanie na obliczenia, których wyniki były potrzebne w niezwykle krótkim czasie dla budowy i eksploatacji różnych nowych rodzajów broni. Z drugiej strony w okresie wojny odbywał się bardzo inten-

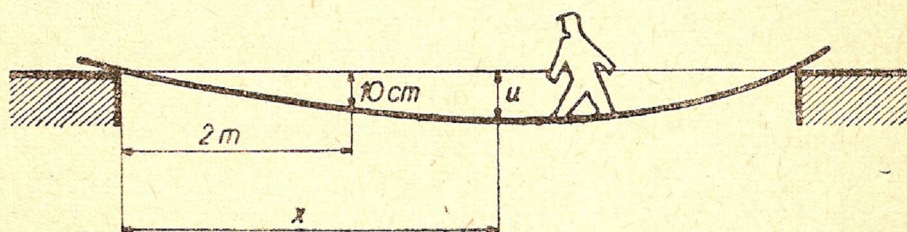
sywny rozwój radiotechniki i elektrotechniki (wynalezienie radaru i jego udoskonalenie), który stworzył odpowiednią bazę techniczną dla budowy nowoczesnych maszyn matematycznych.

Rozwój nowoczesnych maszyn matematycznych od samego początku dokonywał się w dwu zasadniczych kierunkach, istotnie się od siebie różniących i wykorzystujących dwie, z gruntu odmienne możliwości budowy aparatów matematycznych. Dlatego też oba te kierunki omówimy tu oddzielnie w kolejności chronologicznej.

MASZYNY MATEMATYCZNE DZIAŁAJĄCE NA ZASADZIE ANALOGII

Aby zrozumieć w jaki sposób pracują maszyny działające na zasadzie analogii, postarajmy się przede wszystkim zapoznać z pojęciami dla tych maszyn podstawowymi, a mianowicie pojęciem analogii i pojęciem realizacji. Dla wyjaśnienia tych pojęć zatrzymajmy się nieco dłużej nad wspomnianym już przykładem mostu. Przypuśćmy, że most ten jest po prostu zwykłą kładką przerzuconą przez rzekę. Od kładki takiej żądamy, by nie ugięła się zbyt mocno pod przechodniem (zbytne ugięcie może spowodować jej złamanie). Załóżmy, że mamy do czynienia z sytuacją przedstawioną na ryc. 3. Za pomocą linii cienkiej przedstawiony jest kształt kładki nie obciążonej, a za pomocą linii grubej

— kształt kładki ugiętej przez przechodnia. Znając grubość kładki, materiał, z którego jest ona zbudowana, oraz ciężar przechodnia można ułożyć pewne zależności matematyczne mówiące o tym, w jaki sposób zmienia się wychylenie kładki od położenia swobodnego, tzn. położenia kładki nie obciążonej (oznaczone strzałką) w zależności od odległości od



Ryc. 3. Znany jest ciężar człowieka, miejsce w którym stoi oraz materiał, z którego kładka jest zrobiona i jej wymiary. Wówczas ugięcie U kładki jest funkcją odległości x od brzegu. Znalezienie tej funkcji wymaga często trudnych rachunków. Linie ugięcia kładki wyznacza wykres funkcji

brzegu. Zależności te opisują więc kształt linii ugięcia kładki. Wyznaczenie z tych zależności kształtu linii ugięcia kładki jest często trudne i zajmuje dość dużo czasu. Czy jednak przeprowadzenie tych rachunków jest niezbędne dla znalezienia kształtu ugiętej kładki bez jej budowania? Oczywiście, że nie. Można postąpić następująco: zbudować model kładki w pomniejszeniu, obciążyć go odpowiednim (również zmniejszonym) ciężarkiem, a następnie zmierzyć oznaczone strzałką odległości między linią ugięcia kładki, a linią kładki nie ugiętej. Powiększa-

jąc (mnożąc przez odpowiednią liczbę) te odległości w tym samym stosunku, w jakim zmniejszyliśmy kładkę budując jej model, otrzymujemy kształt linii ugięcia kładki o wielkości naturalnej. Tak więc rozwiązanie zależności matematycznych opisujących kształt ugiętej kładki można uzyskać przez pomiar pewnej wielkości (odległości oznaczonej strzałką na ryc. 3) w modelu tej kładki. Innymi słowy, rozwiązanie tych zależności można uzyskać przez pomiar dokonany na modelu opisywanej przez nie kładki.

Ten sposób postępowania można znacznie rozszerzyć; okazuje się mianowicie, że stosunkowo łatwo jest zbudować pewien model kładki, który, jakby się na pierwszy rzut oka zdawało, nie ma z tą kładką nic wspólnego. Modelem takim może być urządzenie elektryczne, w którym napięcie będzie się zmieniało tak samo, jak wychylenie poszczególnych punktów kładki od położenia swobodnego. Tę zmienność napięcia należy rozumieć następująco. Wyobraźmy sobie obserwatora, który porusza się wzdłuż kładki z pewną stałą prędkością. Obserwator ten dokonuje równocześnie dwóch pomiarów — mierzy on równocześnie wielkość ugięcia kładki w danym punkcie (oznaczoną strzałką na ryc. 3) oraz napięcie w urządzeniu elektrycznym w tej samej chwili. Urządzenie to posiada tę własność, że przy odpowiednim obraniu jednostek dłu-

gości i napięcia wyniki obu pomiarów są takie same, to znaczy wielkość napięcia jest w każdej chwili taka sama jak wielkość ugięcia kładki. Jak powiedzieliśmy, obserwator porusza się wzdłuż kładki ze stałą prędkością, jego odległość od brzegu można więc mierzyć czasem, w jakim od brzegu się oddala.

Własność tę można sformułować także w ten sposób, że jeśli za początek pomiaru czasu przyjąć chwilę, w której obserwator zaczyna oddalać się od brzegu, to po dowolnym odstępie czasu wielkość napięcia mierzona w urządzeniu elektrycznym jest identyczna z wielkością ugięcia kładki w punkcie, do którego dotarł obserwator po tym czasie. Innymi słowy, napięcie w naszym urządzeniu elektrycznym zmienia się tak samo w zależności od czasu, jak zmienia się wielkość ugięcia kładki w zależności od odległości od brzegu punktu, w którym ugięcie to mierzymy. Wspomnijmy jeszcze, że można zbudować inne urządzenie elektryczne, w którym wzdłuż pewnego przewodnika napięcie zmienia się tak samo, jak ugięcie kładki. Mamy tu do czynienia z sytuacją nieco inną, niż w omawianym poprzednio urządzeniu: tym razem napięcie zmienia się tak samo nie w czasie, lecz wzdłuż pewnego przewodnika.

Inaczej mówiąc, napięcie w obu urządzeniach elektrycznych spełnia te same zależności matema-

tyczne, które rządzą ugięciem kładki. Możemy więc rozwiązać te zależności albo mierząc ugięcie modelu kładki, albo też, co jest znacznie łatwiejsze, mierząc w odpowiedni sposób napięcie w jednym ze zbudowanych układów elektrycznych. Widzimy więc, że przybliżone rozwiązanie niektórych zależności matematycznych można uzyskać przez pomiar pewnych wielkości fizycznych (w naszym przykładzie napięcia elektrycznego, ugięcia modelu kładki) w zbudowanym w tym celu urządzeniu. Ten sposób rozwiązywania różnych zależności matematycznych nazywa się rozwiązywaniem przy pomocy *a n a l o g i i*.

W omówionym przykładzie mieliśmy do czynienia z trzema różnymi zjawiskami: uginaniem się kładki, zmianą napięcia elektrycznego w czasie oraz zmianą napięcia wzdłuż pewnego przewodnika. Okazało się, że te trzy różne na pozór zjawiska mają pewną cechę wspólną. Wielkość ugięcia kładki i napięcia w obu omawianych układach zmieniają się tak samo, z tym tylko, że zmienia się ona w zależności od odległości od brzegu w pierwszym z urządzeń elektrycznych — w zależności od czasu, w drugim — w zależności od położenia punktu, w którym wielkość tę mierzymy na pewnym przewodniku. Fakt ten można sformułować w ten sposób, że w tych trzech zjawiskach wyróżnione wielkości czynią zadość tej samej zależności matematycznej.

O zjawiskach, które posiadają taką własność, mówimy, że są one *analogiczne*.

W przyrodzie można się zetknąć z wieloma zjawiskami o naturze zdawałoby się zupełnie odmiennej, które są analogiczne ze względu na pewne wielkości. Z drugiej strony istnieje cały szereg przykładów zjawisk o bardzo zbliżonej naturze, które ze względu na pewne wyróżnione wielkości nie są analogiczne. Fakt, że jakieś dwa zjawiska są analogiczne ze względu na pewną wyróżnioną wielkość, można także sformułować mówiąc, że są one *realizacjami* tej samej zależności matematycznej, lub też *realizują* one tę samą zależność matematyczną.

Wróćmy jeszcze na chwilę do metody rozwiązywania zagadnień matematycznych przy pomocy analogii. Korzystając z omówionych przed chwilą pojęć możemy powiedzieć, że metoda ta polega na odtworzeniu dla danej zależności matematycznej zjawiska będącego jego realizacją, a następnie na pomiarze wielkości, będącej w tym zjawisku realizacją danej zależności matematycznej.

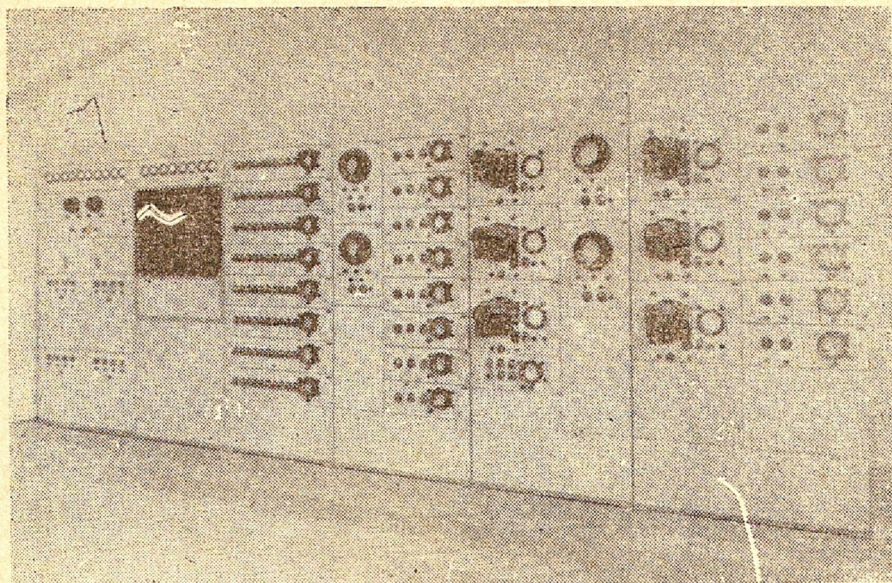
Mogłoby się wydawać, że metoda rozwiązywania przy pomocy analogii jest metodą stosunkowo mało uniwersalną, to znaczy, że przy jej pomocy można rozwiązywać tylko pewne szczególne zagadnienia matematyczne. Można by również przypuszczać, że dla każdego, wynikającego z techniki czy fizyki zagadnienia matematycznego, trzeba budować specjal-

ne urządzenia będące jego realizacją. To ostatnie zwłaszcza powodowałoby duże koszty związane z wykorzystywaniem metody rozwiązywania przez analogię. Tak źle jednak nie jest. Okazuje się mianowicie, że można budować urządzenia modelujące dla różnych typów zależności matematycznych, które są w pewnym sensie uniwersalne, to znaczy mogą być wykorzystane przy rozwiązywaniu nie tylko jednego zagadnienia, lecz całego szeregu różnych zagadnień pokrewnych. Uniwersalność takich urządzeń można by w pewnym sensie porównać z uniwersalnością odbiornika radiowego. Przez pokręcenie gałek można nastawiać odbiornik na różne stacje — tak samo przez zmianę różnych wielkości w urządzeniu (na przykład w urządzeniach elektrycznych — wielkości oporów cewek itp.) można dostosowywać omawiane urządzenia do realizowania różnych zależności matematycznych. Urządzenia takie można przy tym budować w ten sposób, by pomiar szukanej wielkości był w nich łatwy i dokładny. Aparaty posiadające cechy, o których mowa powyżej, tzn. uniwersalność, możliwość łatwego i dokładnego pomiaru nazywa się maszynami matematycznymi działającymi na zasadzie analogii. Mówiliśmy przed chwilą o przykładach dwóch realizacji dla zależności matematycznych opisujących ugięcie kładki. Jedną realizacją był mechaniczny model kładki, drugą jej model elektryczny. Widzimy stąd, że danej zależności matematycznej może

odpowiadać nie tylko jedna, lecz cały szereg realizacji, mogą to być realizacje elektryczne, mechaniczne, hydrauliczne itd. Praktyka wykazała, że najłatwiejszymi w budowie, najwygodniejszymi w użyciu, a równocześnie stosunkowo najbardziej uniwersalnymi są realizacje elektryczne. Dlatego też maszyny matematyczne działające na zasadzie analogii są obecnie niemal wyłącznie maszynami elektrycznymi. Aparaty takie były budowane już od dość dawna, chyba pierwszym pomyslanym na większą skalę tego typu urządzeniem był zbudowany około roku 1936 wspomniany analizator z Massachusetts (USA). Szeroki rozwój budowy maszyn działających na zasadzie analogii rozpoczął się dopiero w latach wojny. Przyczyną tego rozwoju, jak już wspominaliśmy, było zwiększone zapotrzebowanie na wyniki różnego rodzaju obliczeń oraz duży wzrost bazy technicznej.

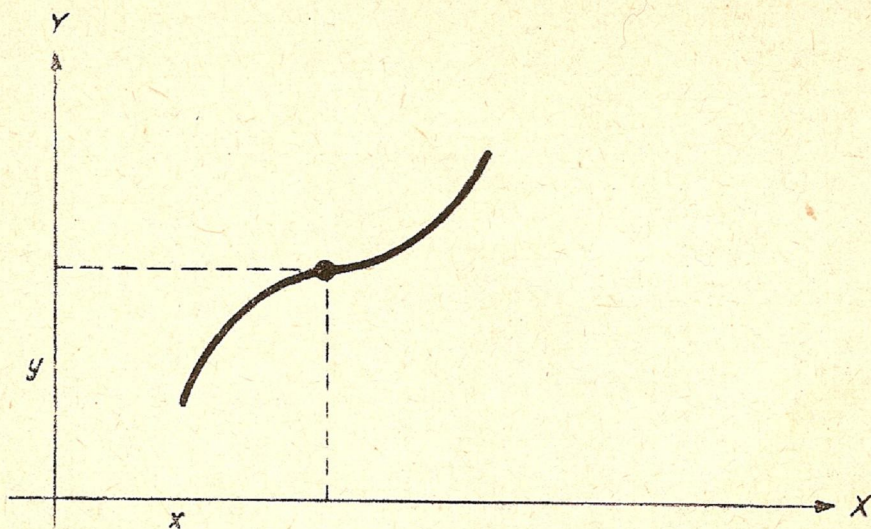
Aby lepiej unaocznić to, co powiedzieliśmy przed chwilą o sposobie pracy maszyn działających na zasadzie analogii, zatrzymamy się nieco dokładniej nad działaniem zbudowanej w Polsce maszyny matematycznej: Analizatora Równań Różniczkowych (w skrócie ARR, ryc. 4). Aparat ten przeznaczony jest do rozwiązywania zależności matematycznych, w których niewiadomymi szukanymi są pewne wielkości zwane przez matematyków funkcjami.

Nie podamy tu ścisłej definicji funkcji, ograniczymy się tylko do paru charakterystycznych włas-



Ryc. 4. Analizator Równań Różniczkowych

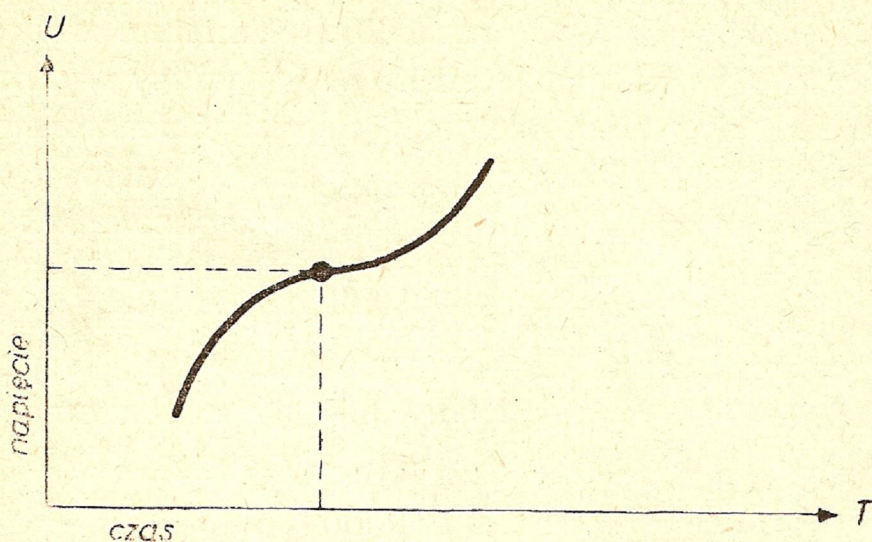
ności dających wyobrażenie o istocie tego pojęcia. Zaczniemy od prostych przykładów. Na przykład droga, którą przebywa samochód, jest funkcją czasu (zmienną niezależną jest tu czas, wartości funkcji — to miary przebytej drogi); procent wykonania planu produkcyjnego jest pewną funkcją włożonej pracy (zmienną niezależną jest ilość pracy, wartością funkcji — procent wykonania planu); oznaczone strzałką ugięcie kładki (ryc. 3) jest pewną funkcją odległości punktu, w którym ugięcie to mierzymy, od brzegu (zmienną niezależną jest tu odległość punktu kładki od brzegu, wartościami funkcji — wielkości ugięć); temperatura w ciągu dnia jest pewną funkcją czasu (zmienna niezależna — czas,



Ryc. 5. Wykres funkcji zmiennej niezależnej

wartości funkcji — wielkości temperatury w poszczególnych chwilach). Tak więc mówiąc z grubsza, funkcja — to pewien przepis, przy pomocy którego pewnemu układowi liczb (tzw. zmiennej niezależnej) przyporządkowany jest pewien (na ogół inny) układ liczb. Przepis ten ma przy tym tę własność, że każdej liczbie z pierwszego układu, przyporządkowuje jedną liczbę z drugiego układu; liczbę tę nazywa się wartością funkcji dla danej wartości zmiennej niezależnej.

Funkcje często przedstawia się przy pomocy wykresów, które sporządza się na przykład w taki sposób, jak na ryc. 5. Na osi poziomej odkłada się wartości zmiennej niezależnej (x), dla której funkcja jest określona (w naszych przykładach ilości



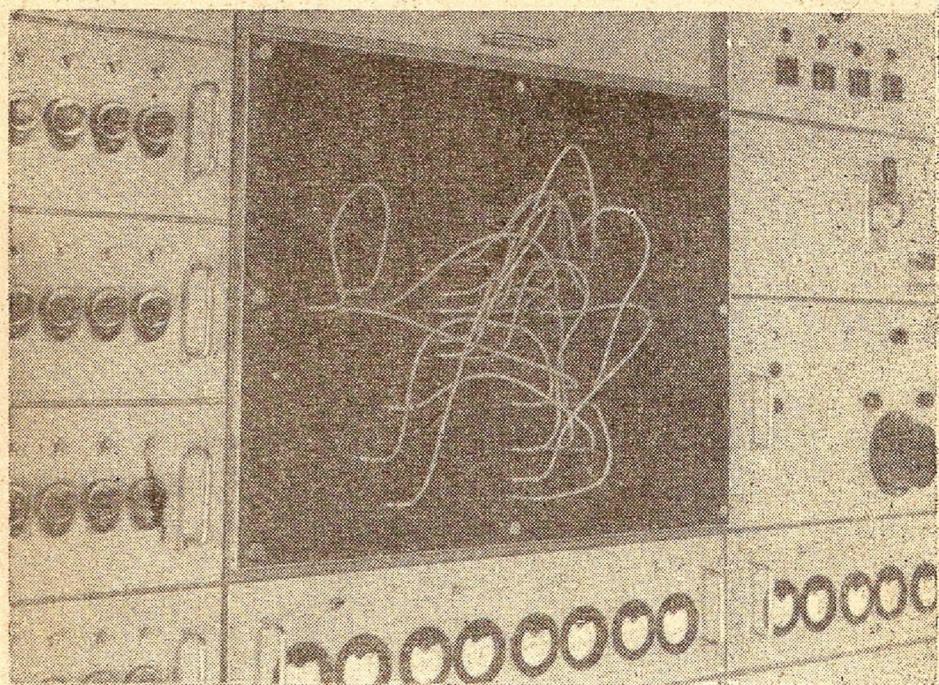
Ryc. 6. Przebieg napięcia odpowiadający funkcji na ryc. 5

włożonej pracy, odległości punktu kładki od brzegu, czasu). Na osi pionowej Y odkłada się wartości y , jakie funkcja przyjmuje dla odłożonych na osi poziomej X wartości x . W wyniku takiego postępowania otrzymujemy pewną krzywą, którą nazywa się wykresem danej funkcji. Z wykresami takimi spotykamy się często w życiu codziennym, na przykład wykres temperatury w ciągu dnia, wykres wykonania planu produkcyjnego itp.

Ażeby zrozumieć ideę działania Analizatora Równań Różniczkowych, musimy najpierw odpowiedzieć na pytanie: w jaki sposób w analizatorze tym realizuje się funkcje? Otóż w ARR poszczególnym, występującym w danym zagadnieniu funkcjom odpowiadają pewne napięcia zmieniające się w pewien

specjalny sposób w czasie. Takie zmienne napięcia można również przedstawiać przy pomocy wykresu, odkładając na osi poziomej poszczególne momenty czasowe, natomiast na osi pionowej wartości napięcia w tych momentach. Przyporządkowanie między napięciami w analizatorze a funkcjami jest takie, że funkcji odpowiada napięcie o takim samym wykresie, jakim jest ona przedstawiona. Na przykład funkcji, której wykres jest przedstawiony na ryc. 5, odpowiada przebieg napięcia o wykresie pokazanym na ryc. 6.

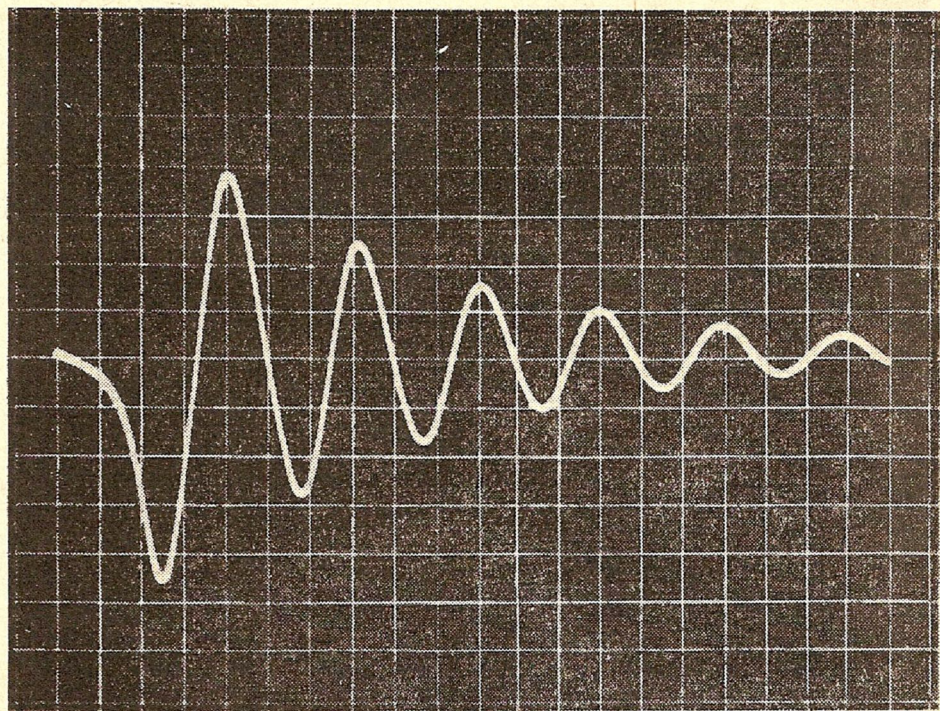
Na funkcjach, podobnie jak na liczbach, można wykonywać szereg operacji; można je dodawać, odejmować, mnożyć itd. Podobne operacje można również wykonywać na napięciach odpowiadających tym funkcjom. Aby rozwiązać wyżej wymienione zależności matematyczne, to znaczy aby znaleźć funkcje spełniające te zależności, trzeba wykonać na tych funkcjach cały szereg operacji. Analizator Równań Różniczkowych zawiera cały szereg urządzeń, wykonujących na funkcjach przedstawionych przy pomocy napięć takie właśnie operacje. Zawiera on na przykład urządzenie, które dwa napięcia odpowiadające dwóm danym funkcjom zamienia na napięcie odpowiadające ich sumie, iloczynowi itp. Urządzenia te można łączyć ze sobą w różny sposób, w zależności od postaci danej do rozwiązania zależności matematycznej. Połączeń



Ryc. 7. Tablica łączeniowa polskiego analizatora ARR

takich dokonuje się na tzw. tablicy łączeniowej, przedstawionej na ryc. 7:

Tablica ta jest więc urządzeniem, przez które zadaje się Analizatorowi Równań Różniczkowych pytania. Na pytania te analizator odpowiada przy pomocy wykresu funkcji szukanej, który można obserwować na ekranie specjalnej lampy, podobnej do lamp używanych w ekranach odbiorników telewizyjnych. Cały szereg ekranów takich lamp jest widoczny na zdjęciu całego analizatora (str. 23). Przykład odpowiedzi analizatora na postawione mu pytanie przedstawiony jest na ryc. 8. Wykres ten



Ryc. 8. Odpowiedzi otrzymuje się w postaci takiego wykresu na oscyloskopie

stanowi rozwiązanie pewnego zagadnienia matematycznego — równania różniczkowego, pojawiającego się przy pewnych zagadnieniach teorii drgań. Uzyskanie podobnego wykresu na drodze rachunkowej jest bardzo pracochłonne. Analizator daje taki wykres natychmiast po dokonaniu połączeń na tablicy i odpowiednim nastawieniu poszczególnych gałek.

Powiedzieliśmy, że za pomocą Analizatora Równań Różniczkowych można znajdować przebieg rozwiązań pewnych zależności matematycznych, zwanych równaniami różniczkowymi. Często dla

techniki ważne jest również zagadnienie w pewnym sensie odwrotne, polegające na tym, że w danej zależności matematycznej należy tak dobrać występujące w niej wielkości, by rozwiązanie tej zależności miało przebieg z góry dany. Na przykład wstrząs samochodu na nierówności drogi można przedstawić przy pomocy wykresu. Wykres taki jest rozwiązaniem zależności matematycznych, opisujących ruch samochodu na nierównej drodze. W zależnościach takich występuje na przykład sprężystość resorów. Wielkość tej sprężystości chcemy tak dobrać, by wykres wstrząsu samochodu był dosyć „łagodny”, tzn. by samochód nie ulegał zbyt silnym wstrząsom. Wielkości sprężystości, po ustawieniu zależności opisujących ruch samochodu, odpowiada na analizatorze jedna z gałek (których tak dużo widzimy na ryc. 4). Na jednym z ekranów obserwujemy rozwiązanie danych zależności, tzn. wykres ruchu samochodu, a równocześnie pokręcamy gałkę odpowiadającą sprężystości resorów. Z chwilą gdy zobaczymy, że wykres przyjmuje najbardziej „łagodny” kształt, odczytujemy z pokręcanej gałki (która jest zaopatrzona w skalę) liczbę charakteryzującą sprężystość resorów. Opisane proste postępowanie zastępuje cały szereg niejednokrotnie skomplikowanych i kosztownych prób, wykonywanych na zbudowanym już samochodzie. Nie trudno się domyślić, że przytoczony przed chwilą schemat postępowania odnosi się nie tylko do zagadnienia

resorowania samochodu. Równie dobrze może on służyć dla obliczania danych technicznych samolotu odrzutowego, okrętu, łodzi podwodnej itd.

Istnieje bardzo wiele typów maszyn matematycznych działających na zasadzie analogii, których idea i zakres rozwiązywania zagadnień są zupełnie odmienne od omówionych przed chwilą. Jako o jednym z bardzo licznych możliwych przykładów wspomnimy tu tylko o aparacie przeznaczonym do prędkiego rozwiązywania zagadnień matematycznych, którego używa się między innymi dla obliczania ugięć oraz wytrzymałości sufitów. Zagadnienie to, zdawałoby się proste, wymaga całego szeregu zmu-dnych rachunków, których dokładne wykonanie za pomocą ręcznych środków zajmuje bardzo dużo czasu. Jak ważną jest rzeczą dokładnie rozwiązywać takie zagadnienia, nie trzeba tu tłumaczyć. Znajomość dokładnych danych pozwala budować sufity bezpieczne, nie grożące zawaleniem się przy lada okazji, a równocześnie nie za grube, co daje bardzo dużą oszczędność materiału (większość budowanych bez takich obliczeń sufitów była nawet kilkakrotnie za gruba). Dodajmy jeszcze, że wyniki tego rodzaju obliczeń mają duże znaczenie, jeśli chodzi o zabezpieczanie podstaw umieszczanych pod silnikami w fabrykach przed nadmiernymi drganiami. Złe obliczenie takiej podstawy może prowadzić do tak dużych jej drgań, że cały budynek się zawali. Dokładne i prędkie wykonanie potrze-

bnych w takich zagadnieniach obliczeń możliwe jest tylko przy użyciu maszyn matematycznych.

Przytoczone powyżej przykłady zastosowań maszyn matematycznych działających na zasadzie analogii są oczywiście bardzo fragmentaryczne. Nie wspomnieliśmy tu o całym szeregu zastosowań tych aparatów do różnych zagadnień automatycznego pilotażu samolotów i raket, obliczeń związanych z lotami międzyplanetarnymi, wykorzystaniem energii atomowej, planowaniem gospodarczym i wielu innych. Wachlarz zastosowań maszyn matematycznych działających na zasadzie analogii jest tak szeroki, że samo jego przedstawienie zajęłoby znacznie więcej stron, niż ich liczy niniejszy tekst. Mimo tak licznych zastosowań maszyny matematyczne działające na zasadzie analogii nie zaspokajają całokształtu potrzeb techniki i fizyki w zakresie obliczeń. Dzieje się tak z dwóch powodów. Po pierwsze, maszyny działające na zasadzie analogii, pomimo swej dużej uniwersalności, nie obejmują wszystkich zagadnień matematycznych stawianych przez technikę i fizykę. Istnieją zagadnienia, których za ich pomocą rozwiązać nie można. Po drugie, istnieje cały szereg zagadnień, które wprawdzie za pomocą tych maszyn można rozwiązać, lecz uzyskana przy tym dokładność nie jest wystarczająca dla użytkownika. Z chwilą gdy pojawiły się takie zagadnienia, zaczęto przemyśliwać nad nowym typem maszyn, bardziej dokładnych i uniwersalnych.

W wyniku szeregu badań zbudowano w czasie wojny w Stanach Zjednoczonych pierwszą (spośród już dość licznych dzisiaj) maszynę cyfrową.

MATEMATYCZNE MASZYNY CYFROWE

Jak powiedzieliśmy w poprzednim rozdziale, maszyny działające na zasadzie analogii dają odpowiedź na ogół w różnych postaciach. Mogą one odpowiadać na postawione im pytania za pomocą wykresu na ekranie lampy, za pomocą wykresu na taśmie papierowej, czy też za pomocą wyników pomiarów dokonanych w różnych punktach aparatu. Otrzymane z tych maszyn wyniki są wprawdzie dość dokładne, niemniej jednak ich dokładność jest ograniczona. Podstawową zewnętrzną różnicą między aparatami cyfrowymi a maszynami działającymi na zasadzie analogii jest to, że aparaty cyfrowe dają odpowiedź w postaci gotowych liczb. Dokładność wyników dawanych przez te aparaty jest przy tym w zasadzie dowolna, to znaczy wyniki te są tak dokładne, jak tego żąda użytkownik.

Zanim przejdziemy do wyjaśnienia zasady działania aparatów cyfrowych, zatrzymajmy się na chwilę nad ogólnym omówieniem przedmiotu działania matematyki zwanego „metodami numerycznymi”, o którym wspomnieliśmy już na wstępie.

Zagadnienia nauk przyrodniczych i techniki można ogólnie rzecz biorąc sprowadzić do pewnych zagadnień matematyki wyższej. Gdy jednak chodzi o liczbowe rozwiązanie tych zagadnień, problem sprowadza się zawsze do wykonania w odpowiedniej kolejności mniejszej lub większej ilości działań arytmetycznych (dodawania, odejmowania, mnożenia i dzielenia). Jakie mają być te działania, na jakich liczbach i w jakiej kolejności należy je wykonać, by możliwie najprędzej dojść do szukanego wyniku — oto zagadnienia, którymi zajmują się metody numeryczne. Za ich pomocą otrzymujemy więc przepisy, umożliwiające liczbowe rozwiązywanie różnych zadań matematyki wyższej. Realizacja tych przepisów, jak już powiedzieliśmy, należy do rachmistrzów.

Na tle tego, co powiedzieliśmy przed chwilą, występuje wyraźnie następujący fakt. Przy rozwiązywaniu różnych zagadnień matematycznych metodą analogii cała strona numeryczna zagadnienia odgrywa rolę stosunkowo niewielką — nie jest istotnym pytaniem, w jaki sposób można by rozwiązanie danego zagadnienia sprowadzić do szeregu działań arytmetycznych, natomiast istotne jest, jak zbudować urządzenie będące fizyczną realizacją zależności matematycznych, których dotyczy to zagadnienie. Cały proces rachunków zostaje tu pominięty i zastąpiony przez pomiar jakiejś wyróżnionej wielkości w pewnym urządzeniu, zwykle ele-

ktrycznym. Opierając się wyłącznie na metodzie analogii, musielibyśmy zupełnie zrezygnować z rozwiązywania całego szeregu ważnych zagadnień, lub też poprzestać na niepełnym ich rozwiązaniu. Na tym właśnie, jak już wspomnieliśmy, polega zasadnicza wada metody analogii i aparatów działających na tej zasadzie.

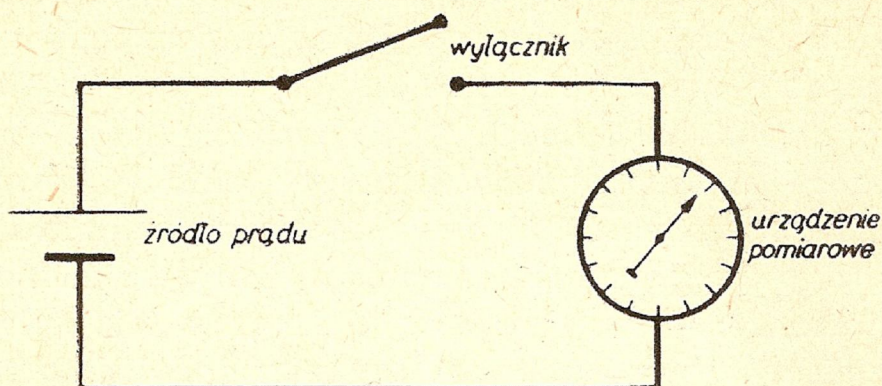
Z drugiej strony poważnym mankamentem uniwersalnych w zasadzie metod numerycznych było do niedawna to, że w większości przypadków nawet stosunkowo proste zagadnienia, wynikające z potrzeb praktycznych, prowadzą do przepisów obliczeniowych zawierających bardzo duże ilości działań arytmetycznych, których ręczne wykonywanie, nawet za pomocą arytmetometrów, jest bardzo pracochłonne. Zwiększenie tempa realizacji tych przepisów rachunkowych mogło nastąpić jedynie drogą zastąpienia pracy rachmistrza przez pracę automatu. Automatyzacja obliczeń na drodze mechanicznej mogła dać zysk prędkości niewspółmiernie mały w porównaniu z trudnościami realizacji technicznej. Jedynym racjonalnym wyjściem okazała się automatyzacja procesów obliczeniowych na drodze elektronowej, z którą mamy do czynienia w elektronowych maszynach cyfrowych.

Aby wyjaśnić zasadę działania aparatu cyfrowego, wróćmy raz jeszcze do omawianego już na początku odczytu biura rachmistrzów. Powiedzieliśmy, że biura takie składają się po pierwsze — z mate-

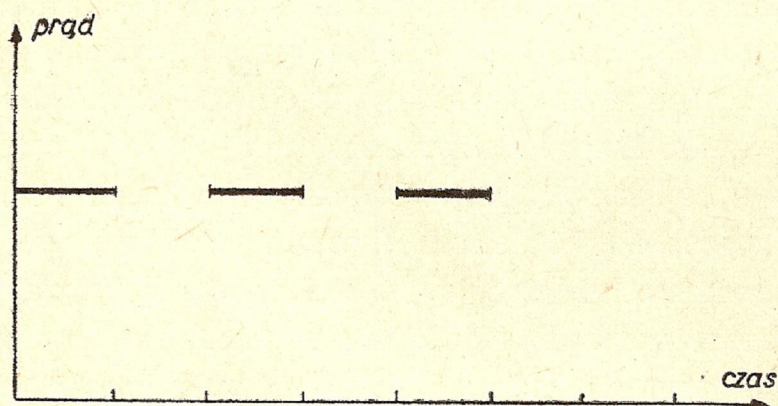
matyków układających programy obliczeń, tzn. przepisy postępowania, którego wynikiem ma być uzyskanie szukanych wielkości, po drugie — z rachmistrzów, ludzi umiejących szybko liczyć za pomocą arytmomometru. Matematycy układają programy w ten sposób, by przy ich realizowaniu rachmistrze nie potrzebowali już wykonywać żadnej poważniejszej pracy myślowej. (Program taki może brzmieć na przykład: weź liczbę x dodaj do niej liczbę y podzieloną przez liczbę x , to co otrzymasz podziel przez dwa i zapisz wynik. Z otrzymanym wynikiem postąp tak, jak postępowaleś poprzednio z liczbą x). Rolę rachmistrza przy wykonywaniu takiego programu można by więc porównać do roli wprawnej maszynistki przepisującej czytelnie i bezbłędnie napisany tekst. Organizacja biura rachmistrzów jest dosyć skomplikowana; często wyniki jednego z rachmistrzów potrzebne są dla pracy pozostałych, potrzebna jest stała kontrola otrzymywanych wyników itd. Istotne jednak momenty w jego pracy polegają na ułożeniu programu, przekazaniu go rachmistrzom, a następnie koordynacji ich pracy w czasie obliczeń oraz odebraniu od nich gotowych wyników. Zupełnie podobne momenty możemy zaobserwować w aparacie cyfrowym.

Aparat taki posiada kilka zasadniczych elementów, które omówimy za chwilę.

Ponieważ, jak powiedzieliśmy na początku, aparaty cyfrowe wykonują poszczególne operacje wy-



Ryc. 9. Schemat urządzenia elektrycznego do podawania liczb wg określonego klucza



Ryc. 10. Wykres liczby 10101 uzyskanej na skutek włączania i przerywania dopływu prądu

łącznie na liczbach, czyli układach cyfr, postarajmy się więc przede wszystkim zrozumieć, w jaki sposób w aparacie takim liczby są przedstawiane.

Wyobraźmy sobie w tym celu zwykły drut, przez który za naciśnięciem jakiegoś guziczka można przepuszczać prąd elektryczny (ryc. 9). Z pomocą takiego urządzenia można już przedstawić dwie

cyfry, a mianowicie cyfry 0 i 1. Można to zrobić przyjmując następującą umowę. Jeśli przez układ pokazany na ryc. 9 przepływa prąd (co można zauważyć na urządzeniu pomiarowym), wówczas układ ten przedstawia cyfrę 1, gdy prąd nie płynie — przedstawia on cyfrę 0. Jeśli teraz w równych odstępach czasu naciskać guziczek lub go wyłączać, przez układ nasz popłynie prąd, który można zobrazować za pomocą wykresu (ryc. 10).

W myśl poprzedniej umowy włączenia i wyłączenia, których wynik został przedstawiony na ryc. 10, odpowiadają następującemu układowi zer i jedynek: 1, 0, 1, 0, 1. Umiemy już zatem przedstawiać za pomocą urządzenia elektrycznego następujące po sobie w określonym porządku zera i jedynki. Jeśli udałoby się jeszcze zapisać przy pomocy samych zer i jedynek wszystkie liczby, wówczas umielibyśmy również zapisać za pomocą naszego urządzenia wszystkie liczby. Zapisywanie liczb przy pomocy zer i jedynek wymaga zbudowania następującego prostego słownika:

0 — 0;	8 — 1000
1 — 1;	9 — 1001
2 — 10;	10 — 1010
3 — 11;	11 — 1011
4 — 100;	12 — 1100
5 — 101;	13 — 1101
6 — 110;	14 — 1110
7 — 111;	15 — 1111 itd.

Podobnie można ułożyć słownik dla ułamków

$$\frac{1}{2} = 0,1$$

$$\frac{1}{4} = 0,01$$

$$\frac{1}{8} = 0,001 \text{ itd.}$$

Widzimy więc, że każdą liczbę można przedstawić przy pomocy ustawionych w odpowiedniej kolejności zer i jedynek. Na takich zero-jedynkowych przedstawieniach liczb można wykonywać te same działania arytmetyczne, jakie wykonujemy na zwykłych przedstawieniach liczb. Trzeba tylko pamiętać o tym, że „przenoszenia” dokonuje się, gdy jakaś cyfra wyniku przekracza 1.

Mamy np.

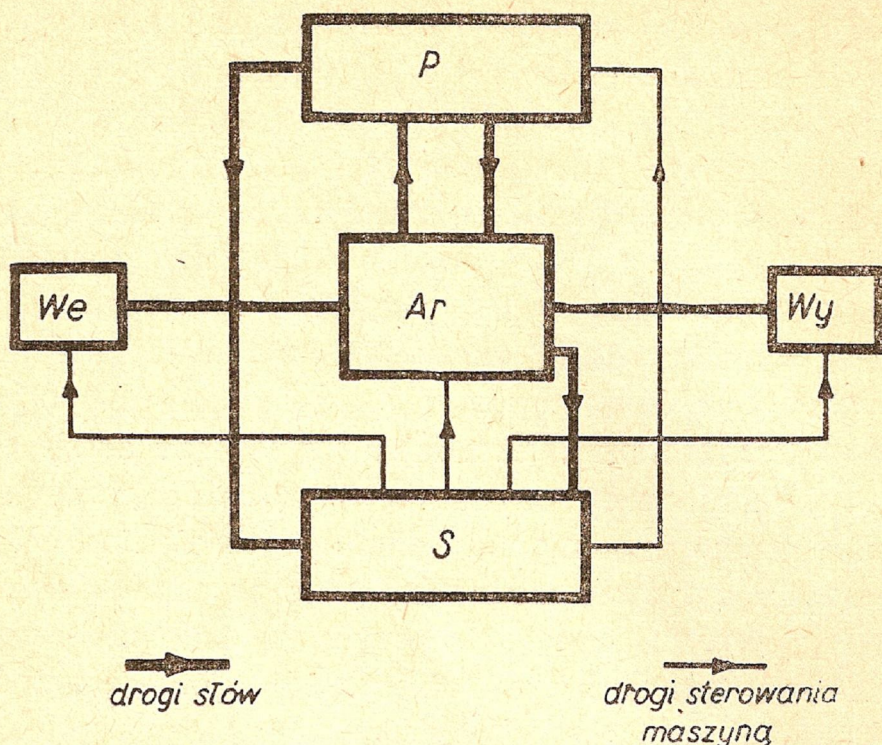
7	111
+ 5	+ 101
-----	-----
=12	=1100

Podobnie ma się sprawa z odejmowaniem, mnożeniem i dzieleniem*. Okazuje się, że można zbudować urządzenie elektryczne, które na opisanych poprzednio elektrycznych realizacjach zero-jedynkowych przedstawień liczb wykonuje wszystkie operacje arytmetyczne. Urządzenie takie jest właśnie jedną z podstawowych części maszyny cyfrowej zwaną arytmetrem. Oczywiście techniczna re-

* Omówione przedstawienie liczb przy pomocy zer i jedynek oraz wykonywanie działań na liczbach zapisanych w ten sposób nazywa się w matematyce liczeniem w układzie dwójkowym.

alizacja takiego urządzenia nie jest prosta; zawiera ona nieraz setki lamp elektronowych.

Wspomnijmy jeszcze, już mniej szczegółowo, o dwóch pozostałych zasadniczych urządzeniach aparatu cyfrowego. Urządzeniami tymi są „p a m i ę ć” i u r z ą d z e n i e s t e r u j ą c e. „Pamięć” jest urządzeniem, które posiada tę własność, że przez dowolny okres czasu można w nim przechowywać przepis postępowania oraz różne potrzebne do obliczeń liczby. Urządzenie sterujące służy do koordynacji pracy arytmometru według przepisu pobieranego z pamięci. Schemat działania całej maszyny cyfrowej można by więc przedstawić tak, jak na ryc. 11. Rycina ta przypomina do złudzenia schemat pracy biura obliczeniowego. „Pamięć” można by porównać do kartki papieru, na której zapisana jest kolejność działań oraz liczby, na których działania te należy wykonać. Liczby te są dostarczane do arytmometru i pobierane z arytmometru (linie grube). Poszczególne pozycje przepisów postępowania (programu), czyli tzw. rozkazy, przekazywane są przez „pamięć” urządzeniu sterującemu, które zgodnie z nimi kieruje pracą arytmometru. Dla maszyny takiej niezbędne są jeszcze urządzenia, za pomocą których człowiek obsługujący ją mógłby wprowadzić do niej spis rozkazów, czyli przepis postępowania, oraz liczby, od których rachunki należy rozpocząć. Potrzebne jest również urządzenie, za pomocą którego maszyna przeka-



Ryc. 11. Schemat działania maszyny cyfrowej. Liczby wprowadzone przez wejście *We* do arytmometru *Ar* są umieszczone w pamięci *P*. Podobną drogą wprowadzane są przepisy (rozkazy wykonania odpowiednich działań) do urządzenia sterującego *S*. Wyniki obliczenia wprowadzane są przez wyjście *Wy*

zuje użytkownikowi obliczone przez siebie wyniki. W pierwszym z tych urządzeń, które budową swoją przypomina nadajnik telegrafu, poszczególne rozkazy są tłumaczone na język zrozumiały dla urządzenia sterującego maszyną, podobnie jak w stacji telegrafu nadawane teksty są tłumaczone na język alfabetu Morse'a. (W większości przypadków język

taki jest zapisywany przy pomocy odpowiednich konfiguracji otworów na taśmie papierowej). Zewnętrznie urządzenie to przypomina zwykłą maszynę do pisania. Urządzenie, podające wynik wykonanych w maszynie działań, drukuje ten wynik w postaci liczb na taśmie papieru.

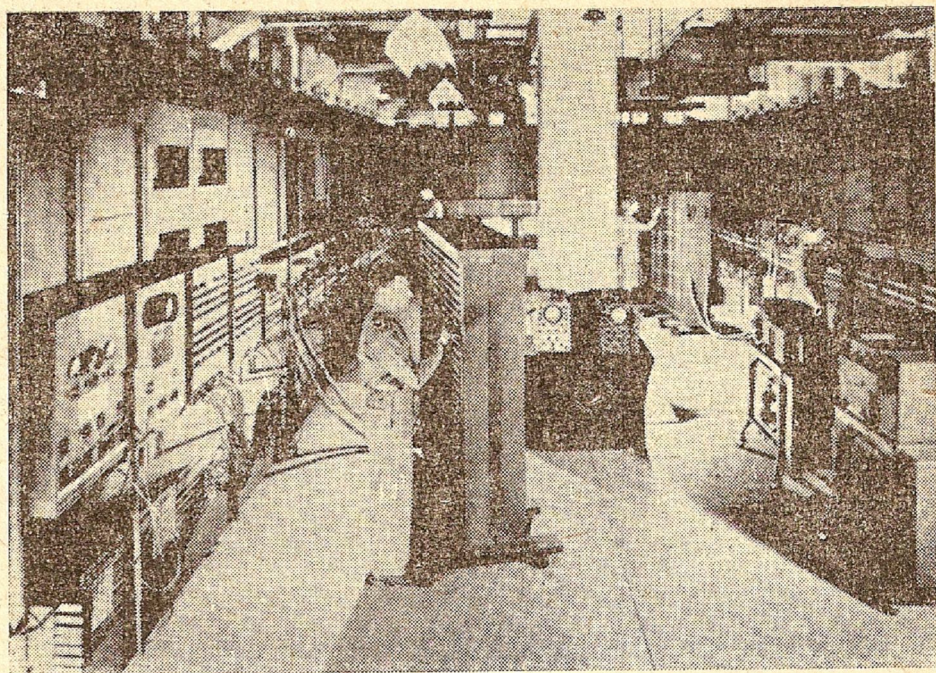
Działająca na opisanym zasadzie maszyna wykonuje, jak widzieliśmy, operacje matematyczne w kolejności nakazanej przez program umieszczony w jej „pamięci”. Praca człowieka przy liczbowym rozwiązywaniu danego zagadnienia matematycznego sprowadza się do jego zaprogramowania i wprowadzenia tego programu do maszyny. Wszystkie dalsze operacje są już samodzielnie wykonywane przez maszynę.

Pierwsza nowoczesna maszyna omówionego typu ENIAC* (ryc. 12) została zbudowana w Stanach Zjednoczonych w roku 1946. Zawierała ona około 18 800 lamp i wykonywała około 1000 operacji w ciągu sekundy. Zastępowała biuro obliczeniowe składające się z kilkunastu tysięcy rachmistrzów.**

Z czasem maszyny te były coraz bardziej udoskonalane, przy czym udoskonalenia te polegały przede wszystkim na zmniejszaniu ilości użytych do ich budowy części, oraz na zwiększeniu szybkości pra-

* Elektronowa numeryczna maszyna do całkowania i liczenia. (Electronic Numerical Integrator and Calculator).

** Dla zobrazowania szybkości działania tej maszyny wspomnimy, że ENIAC oblicza tor pocisku armatniego w czasie parokrotnie krótszym od trwania lotu tego pocisku.



Ryc. 12. Nowoczesna maszyna matematyczna cyfrowa typu ENIAC

cy. Budowane obecnie maszyny liczą już „tylko” około tysiąca lamp i osiągają szybkość do 100 000 operacji na sekundę. Maszyna taka może zastąpić pracę biura rachunkowego, złożonego z dziesiątków tysięcy rachmistrzów. Pamiętajmy przy tym, że elektronowa maszyna cyfrowa wykonuje tylko 4 działania arytmetyczne — dodaje, odejmuje, mnoży i dzieli, z tym, że działania te wykonuje niezmiernie szybko. Nawiązując do tego, co powiedzieliśmy na początku niniejszego rozdziału, każde zagadnienie matematyczne, dla którego znana jest metoda numeryczna jego rozwiązywania, można

sprowadzić do kolejnego wykonywania tych czterech działań. Czasochłonność, która była podstawową wadą metod numerycznych przy rozwiązywaniu zadań praktycznych została więc w ten sposób przezwyciężona.

Możliwość wykonywania tak olbrzymich ilości obliczeń w krótkim stosunkowo czasie zmienia w sposób zasadniczy nasze możliwości w zakresie nauki i techniki. Dla wielu zjawisk, o przebiegu których nie mogliśmy przedtem nic z góry powiedzieć, zostały opracowane, dzięki zastosowaniu maszyn matematycznych, szczegółowe teorie. Dzięki temu rozszerzyły się również w znacznym stopniu horyzonty rozwoju technicznego. Warto może zastanowić się nad charakterem postępu w nauce i technice, jaki wniosły tu maszyny matematyczne w ogóle, a elektronowe maszyny cyfrowe w szczególności. Jeśli chodzi o najbardziej istotną i wymagającą największego wkładu twórczego fazę badania konkretnego zjawiska przyrody na drodze matematycznej, jaką jest przejście od tego zjawiska do jego opisu matematycznego, to maszyny matematyczne nie tylko nie ułatwiły badaczowi tej pracy, lecz nawet zwiększyły wymagania, jakie musi on sobie stawiać. Możliwość prędkiego rozwiązywania nawet bardzo skomplikowanych zagadnień zmusza badacza do uwzględniania szeregu subtelności, które dawniej z uzasadnionej obawy przed trudnościami rachunkowymi były pomijane. Z drugiej strony ist-

nienie potężnych środków pozwala na znacznie większą, niż dawniej swobodę w stawianiu zagadnień — swobodę, pozwalającą badaczowi opisywać zjawisko przy pomocy takich zależności matematycznych, które stanowią możliwie najbardziej wierne obraz rzeczywistości, a nie takich, które są najłatwiejsze do rozwiązania. Fakt zbudowania maszyn elektronowych stał się bezpośrednim bodźcem do rozwiązania całego szeregu zagadnień, które dotąd czekały na rozwiązanie, oraz do śmiałego stawiania nowych zagadnień, których dotąd nie podejmowano z uwagi na podstawowe trudności przy ich liczbowym rozwiązywaniu.

Jako o jednym z bardzo licznych przykładów wspomnimy tu tylko o problemie przewidywania pogody. Wiemy z życia, jak często prognozy takie bywają niezgodne ze stanem faktycznym. Nasuwa się pytanie, w jaki sposób można by pogodę przepowiadać możliwie dokładnie, nie obawiając się ciągłych niespodzianek. Można by to robić ułożwszy pewne zależności matematyczne, opisujące zmiany warunków atmosferycznych w czasie, a następnie, rozwiązując te zależności układać prognozę pogody na parę najbliższych dni. Związane z tym rachunki są jednak tak liczne, że samo ich wykonanie zajęłoby znacznie więcej czasu, niż wynosi okres ważności otrzymanych danych. Dopiero zastosowanie maszyny cyfrowej czyni taki sposób postępowania realnym. Na podstawie doko-

nanych już w tym zakresie prób, można przypuszczać, że w niedalekiej przyszłości pogodę będzie się przepowiadało w oparciu o metody matematyczne.

Z tego co powiedzieliśmy wynika, że maszyny cyfrowe znacznie przewyższają aparaty działające na zasadzie analogii pod względem uniwersalności i dokładności oraz szybkości działania. Dlaczego więc nie należy rezygnować całkowicie z budowania maszyn działających na zasadzie analogii i zdecydować się na dokonywanie wszystkich obliczeń za pomocą aparatów cyfrowych? Względy przemawiające przeciwko temu są następujące. Przede wszystkim z tego co tu podaliśmy wynika, że maszyny cyfrowe są w chwili obecnej urządzeniami bardzo skomplikowanymi, dużymi i kosztownymi. Ponadto obsługa ich wymaga licznego i wysoko-kwalifikowanego personelu. W związku z tym maszyny cyfrowe są urządzeniami, które nadają się do eksploatacji i są opłacalne jedynie w dużych placówkach obliczeniowych i naukowych. Małe, proste w obsłudze i stosunkowo tanie analizatory mogą natomiast znakomicie spełniać swoje zadanie w małych placówkach obliczeniowych, instytutach badawczych i jednostkach produkcyjnych. Podczas gdy w chwili obecnej ilość wszystkich maszyn cyfrowych na świecie wynosi około tysiąca i szereg krajów nawet o wysoko rozwiniętej technice ma-

szyn takich nie posiada, aparaty działające na zasadzie analogii już od dość dawna weszły w stadium produkcji seryjnej. Świadczy to między innymi o tym, że właściwe zaspokojenie potrzeb obliczeniowych można uzyskać jedynie za pomocą obu typów równocześnie.

Mówiąc o maszynach cyfrowych wspomnimy jeszcze szkicowo o jednym, budzącym może największą sensację ich zastosowaniu, znajdującym się jeszcze w stadium prób. Chodzi mianowicie o automatyczne tłumaczenie. Prace nad tym zagadnieniem zostały zapoczątkowane w latach 1948/49 przez uczonych angielskich i amerykańskich, a pierwszy pokaz tłumaczenia automatycznego odbył się w roku 1954 w firmie IBM w Nowym Yorku, gdzie na maszynie cyfrowej, zbudowanej przez tę firmę, przetłumaczono krótki tekst rosyjski na język angielski. Podobne próby odbyły się w roku 1955 w Związku Radzieckim; za pomocą maszyny BESM wykonano tłumaczenie próbki matematycznego tekstu angielskiego na język rosyjski.

Obserwowany z zewnątrz proces takiego tłumaczenia przedstawiał się następująco: za pomocą maszyny do pisania, połączonej z urządzeniem wejściowym, wprowadzono do maszyny tekst przeznaczony do tłumaczenia, po czym z urządzenia wyjściowego ukazał się wydrukowany na taśmie papierowej przetłumaczony tekst.

Postaramy się wyjaśnić ogólną ideę takiego tłumaczenia automatycznego. Aby lepiej tę ideę zrozumieć, zastanówmy się nad tym, jak odbywa się zwykle tłumaczenie wykonywane przez człowieka.

Zasadniczym elementem języka jest jego zasób słów — słowa są elementem języka wyrażającym poszczególne pojęcia. Drugim niemniej ważnym elementem w języku jest jego struktura gramatyczna. (Tych dwóch elementów nie można od siebie oddzielić — są one ze sobą nierozzerwalnie związane). Z poszczególnych słów w oparciu o zasady gramatyczne buduje się zdania; formy gramatyczne i kolejność słów wyrażają stosunki między pojęciami odpowiadającymi tym słowom i stanowią o treści zdania. Celem tłumaczenia jest zastąpienie zdania sformułowanego w jednym języku przez zdanie wyrażające tę samą treść w innym języku. Proces tłumaczenia polega najpierw na zastąpieniu poszczególnych słów zdania tłumaczonego słowami odpowiadającymi im w języku, na który zdanie to się tłumaczy, a następnie na odczytaniu ze związków i form gramatycznych, w jakich słowa te występują, kolejności i form gramatycznych, w jakich słowa im odpowiadające winny znaleźć się w zdaniu przetłumaczonym.

Pierwszy punkt procesu tłumaczenia jest realizowany przy pomocy słownika, przy czym przez słownik należy rozumieć zarówno zasób słów pa-

miętanych przez tłumacza, jak · słownik-książkę, którym tłumacz posługuje się w celu odnalezienia słów nie znanych lub zapomnianych. Umiejętność znajdowania słów w słowniku jest ściśle związana ze znajomością struktury gramatycznej języka — na przykład szukając w słowniku słowa polskiego: „człowiekowi“, Francuz musi pamiętać, że trzeba najpierw odrzucić końcówkę „owi“ i dopiero po takiej operacji można będzie słowo to odnaleźć. Jeśli Francuz będzie chciał odnaleźć w słowniku znaczenie słowa: „ludzie“, trudności jego będą jeszcze większe, a w najlepszym razie znajdzie on obok tego słowa odsyłacz: „patrz — człowiek“, co zmusi go do ponowienia poszukiwań.

Drugi element pracy tłumacza — ustawienie słów w odpowiedniej kolejności i formach gramatycznych — jest jeszcze trudniejszy. Zastępowanie słowa za słowem w zdaniu tłumaczonym odpowiednimi słowami innego języka, nawet użytymi w poprawnej formie gramatycznej, prowadzi w większości przypadków do zdań pozbawionych sensu. Jeśli na przykład tłumaczyć słowo za słowem angielskie zdanie: „You have seen“, to otrzymuje się: „ty masz widziany“, co oczywiście po polsku nic nie znaczy, natomiast poprawne tłumaczenie brzmi: „ty widziałeś“.

Podobne błędy nie występują, jeżeli przy tłumaczeniu uwzględnia się zasady gramatyczne obowiąz-

zujące w obu wchodzących w grę językach, które można ująć w postaci ścisłych reguł.

Powiedzieliśmy, że maszyny cyfrowe operują wyłącznie na liczbach (rozkazy programu są również reprezentowane przy pomocy liczb), podczas gdy w procesie tłumaczenia operacji dokonuje się na słowach. Żeby więc dostosować maszynę cyfrową do tłumaczenia, należy słowom przyporządkować pewne odpowiedniki liczbowe. Można to uczynić zastępując litery przez układy, na przykład dwóch cyfr. Fragment takiego „słownika” literowo-liczbowego, lub inaczej mówiąc kodu, wygląda następująco: a — 16, b — 06, c — 22, d — 30, e — 08,.... x — 09, y — 04, z — 25.

Każde słowo zapisane alfabetem łacińskim można używając tego kodu, zastąpić liczbą. Tak więc słowu „tak” odpowiada liczba 21 16 19, słowu „nie” — liczba 15 12 08. W podobny sposób układami cyfr zastępuje się znaki pisarskie. Można również w odpowiednim kodzie cyfrowym zapisać poszczególne reguły gramatyczne.

Po przyjęciu cyfrowego kodu dla słów można już wprowadzić do „pamięci” maszyny słowa jednego języka wraz z odpowiadającymi mu słowami drugiego języka. W ten sposób sporządza się tzw. słownik automatyczny. Oprócz poszczególnych słów, w słowniku umieszcza się również pewne informacje ich dotyczące. Informacje takie mogą

mówić o tym, jaką częścią mowy jest dane słowo, mogą podawać jakieś szczegóły jego odmiany, podawać jego znaczenia w różnych zestawieniach (przy słowach wieloznacznych) itp.

Znalezienie jakiegoś słowa w takim słowniku jest rzeczą stosunkowo prostą — wprowadzone do maszyny zakodowane słowo jest kolejno porównywane ze słowami mieszczącymi się w słowniku. Po odnalezieniu w słowniku identycznego słowa notowane jest brzmienie tego słowa w języku, na który maszyna tłumaczy.

Do wykonania drugiej części tłumaczenia, to znaczy gramatycznej analizy tekstu tłumaczonego służy specjalny program, który zawiera przepisy postępowania prowadzącego do całkowitego określenia form gramatycznych tego tekstu. Ta ostatnia czynność również jest rozbita na szereg kolejnych prób, polegających na porównywaniu danego zdania z szeregiem schematów znajdujących się bądź w programie, bądź też w informacjach słownika. Po analizie gramatycznej tekstu tłumaczonego następuje zestawienie, na podstawie otrzymanych z niej informacji, zdania będącego tłumaczeniem zdania wyjściowego. Cały proces tłumaczenia automatycznego można by więc rozbić myślowo na cztery zasadnicze etapy:

1. wprowadzenie do maszyny tekstu tłumaczonego (na przykład tekstu angielskiego),

2. analiza tekstu tłumaczonego (zidentyfikowanie brzmienia poszczególnych słów angielskich w języku, na przykład rosyjskim oraz analiza gramatyczna tekstu angielskiego),

3. synteza tekstu przetłumaczonego (ustawienie otrzymanych ze słownika słów rosyjskich w formach i kolejności zgodnych z informacjami otrzymanymi z analizy tekstu angielskiego i zasadami gramatyki rosyjskiej),

4. wydrukowanie tekstu przetłumaczonego.

Zastanówmy się jeszcze, czy przy pomocy podanego poprzednio sposobu można przetłumaczyć dowolny tekst, na przykład z języka angielskiego na język rosyjski, a jeśli nie, to od czego zależy zakres nadających się do tłumaczenia tekstów. Można się domyślić, że w odpowiedzi na to pytanie decydujące znaczenie ma tu ilość słów, które maszyna potrafi przetłumaczyć oraz ilość reguł gramatycznych, którymi maszyna dysponuje. Obie te ilości są ograniczone przez pojemność „pamięci” maszyny cyfrowej (największą ilość liczb, jaką można w „pamięci” umieścić). Z drugiej strony, zwłaszcza w literaturze pięknej, często spotykamy się ze zdaniami, których dosłowne, nawet zgodne z zasadami gramatyki, przetłumaczenie na inny język całkowicie wypacza sens oryginału. Aby właściwie oddać ten sens trzeba niejednokrotnie zastąpić to zdanie zupełnie innym. Oczywiście takich zdań na drodze automatycznej tłumaczyć nie moż-

na. W dotychczasowych próbach tłumaczenia automatycznego brano pod uwagę próbki tekstów specjalnych, do których „dopasowywano” program. Na przykład przy pomocy maszyny BESM przetłumaczono niewielki fragment tekstu matematycznego, dla którego specjalnie ułożono program, uwzględniając zwroty spotykane najczęściej w tekstach matematycznych. Słownik zawierał 952 słowa rosyjskie i 1073 angielskie. Widać stąd, że w chwili obecnej droga do zbudowania maszyny, która mogłaby tłumaczyć dowolnie dany tekst z określonego języka, jest jeszcze bardzo długa. Dotychczasowe próby, jeszcze raz podkreślamy, dotyczyły stosunkowo łatwych tekstów, dla których specjalnie układano program. Wyniki tych prób pozwalają przypuszczać, że w przyszłości teksty techniczne będą mogły być z powodzeniem tłumaczone przy pomocy maszyn cyfrowych.

Na zakończenie jeszcze parę słów o obecnym stanie nauki o maszynach matematycznych na świecie. Niewątpliwie pierwsze miejsce, zarówno w zakresie badań teoretycznych, jak również w budowie maszyn matematycznych zajmują Stany Zjednoczone. Do niedawna były one zupełnie bezkonkurencyjne, zwłaszcza jeśli chodzi o budowę aparatów cyfrowych. Dopiero w jesieni 1955 r. prasa podała wiadomość o zbudowaniu w Związku Radzieckim kilku maszyn cyfrowych, z których najdoskonalsza BESM nie ustępuje typom amerykańskim. Na dal-

szym miejscu stoi Anglia i niektóre kraje Europy zachodniej. W Polsce badania nad aparatami matematycznymi zostały rozpoczęte stosunkowo niedawno, bo około 7 lat temu. W ich wyniku powstały projekty oraz prototypy kilku maszyn działających na zasadzie analogii oraz rozpoczęto prace nad budową maszyny cyfrowej.

Na zakończenie nadmienimy jeszcze, że podaliśmy tu zaledwie małą część wiadomości o budowie i działaniu maszyn matematycznych oraz o ich zastosowaniach. Pominęliśmy w szczególności omówienie technicznej realizacji poszczególnych typów maszyn, zatrzymując się tylko pokrótce nad ogólną ideą ich działania. Nie wspomnieliśmy nawet o całym szeregu zastosowań aparatów matematycznych w technice, w szeregu urządzeń ułatwiających życie codzienne itd. Być może powyższe pobieżne omówienie zagadnień maszyn matematycznych pobudzi zainteresowanie czytelnika i skłoni go do głębszego zaznajomienia się z tym działem nauki, który ma coraz więcej do powiedzenia we wszystkich niemal działach wiedzy i techniki.

SPIS TREŚCI

Maszyny matematyczne	11
Maszyny matematyczne działające na zasadzie analogii	15
Matematyczne maszyny cyfrowe	32

BROSZURY BIBLIOTECZKI TWP

*można nabywać
w następujących księgarniach PP „Dom Książki“:*

- WARSZAWA, Nowy Świat 49,
Piękna 31, Kredytowa 9
Ciechanów, Warszawska 37
Mińsk, Świerczewskiego 33
Piaseczno, Kościuszki 13
Płock, Narutowicza 1
Pułtusk, Armii Czerwonej 71
Siedlce, Świerczewskiego 66
Sochaczew, Staszica 18
Wołomin, Stalina 5
Żyrardów, 1 Maja 25
BIAŁYSTOK, Księgarnia Nr 2
Ełk, Księgarnia Nr 34
BYDGOSZCZ, Al. 1 Maja 17
Grudziądz, Rynek 13
Inowrocław, Rokossowskiego 31
Toruń, Rynek Staromiejski 30
Włocławek, Stalina 25
GDAŃSK
Sopot, pl. Wolności 10
Elbląg, Bielańska 12/13
Tczew, pl. Wolności 3
Kwidzyń, Dworcowa 14
Wejherowo, Sobieskiego 260
KATOWICE, 3 Maja 12
Będzin, Kollataja 21
Bielsko-Biała, Dzierżyńskiego 33
Bytom, Janty 18
Chorzów, Stalina 11
Cieszyn, Armii Czerwonej 3
Częstochowa, Al. NMP 23
Dąbrowa Górnicza, Sobieskiego 15
Gliwice, Zwycięstwa 17
Mysłowice, Stalina 11
Rybnik, Zamkowa 8
Sosnowiec, Stalinogrodzka 23
Zabrze, Powstańców 2
Zawiercie, Duracza 17
KIELCE, Sienkiewicza 30
Skarżysko, 1 Maja 14
Radom, Żeromskiego 27
Starachowice, pl. Świerczewskiego 36
Ostrowiec, Al. Stalina 2
KRAKÓW, pl. Mariacki 9, Rynek
Kleparski 4, Sławkowska 10
Chrzanów, Dobczyńska 17
Nowy Sącz, Jagiellońska 5
Nowa Huta, Osiedle Al.
Rużkowskiego
Nowy Targ, pl. Pokoju 22
Oświęcim, pl. Stalina 9
Tarnów, pl. Sobieskiego 6
Wadowice, pl. Armii Czerwonej 21
Żywiec, pl. Wyzwolenia 19
LUBLIN, Krak. Przedmieście 29,
Krak. Przedmieście 68
Chełm, Lubelska 30
Zamość, Żeromskiego 2
ŁÓDŹ, Piotrkowska 47, Piotrkowska 86
Pabianice, Armii Czerwonej 19
Tomaszów Mazowiecki, pl. Kościuszki 23

Piotrków Trybunalski, Słowackiego 1	Ostrów Wlkp., Świerczewskiego 6
OLSZTYN, pl. Wolności 2/3	Piła, Bydgoska 42
OPOLE, Rynek 2	RZESZÓW, Kościuszki
Racibórz, Rynek 2	Przemyśl, Mickiewicza
Nysa, Pocztowa 23	Krosno, Grunwaldzka 22
Brzeg, Rynek 2	Jarosław, Księgarnia Nr 2
Prudnik, Bojowników o Wolność 15	WROCLAW, Rynek 45, Stalino-grodzka 28
POZNAŃ, Al. Armii Czerwonej, Kraszewskiego 17	Jelenia Góra, 1 Maja 10
Gniezno, Chrobrego 39	Legnica, Środkowa 14
Jarocin, Rynek 16	Wałbrzych, Słowackiego 1
Kalisz, Żymirskiego 14	ZIELONA GÓRA, Żeromskiego 16
	Gorzów, Chrobrego 9
	Nowa Sól, Rynek 3

Broszury Biblioteczki Towarzystwa Wiedzy Powszechnej można abonować i nabywać w Zarządzie Głównym, Warszawa, Pałac Kultury i Nauki, pok. 1338, telefon 6-69-08 oraz we wszystkich Zarządach Wojewódzkich TWP.

Białystok, Rynek Kościuszki 2, tel. 37-58
 Bydgoszcz, 1 Maja 88, tel. 40-61; 10-44
 Gdańsk-Wrzeszcz, Grunwaldzka 76/78, tel. 4-29-60
 Katowice, Warszawska 37, tel. 3-16-76
 Kielce, Mickiewicza 8, tel. 39-55
 Koszalin, Matejki 3, tel. 24-18
 Kraków, Basztowa 15, tel. 5-93-28
 Lublin, Waryńskiego 4, tel. 36-38
 Łódź, Piotrkowska 68, tel. 1-15-00
 Olsztyn, Kościuszki 41, tel. 40-60
 Opole, 1 Maja 9, tel. 20-41
 Poznań, Fredry 9, tel. 5-02-33
 Rzeszów, Asnyka 11, tel. 18-34
 Szczecin, Wojska Polskiego 36, tel. 44-58
 Warszawa, Pałac Kultury i Nauki, tel. 6-50-51 w. 24-24
 Wrocław, Świerczewskiego 74, tel. 76-73
 Zielona Góra, Topolowa 16

CENA ZŁ 1-

Biblioteczka TWP zawiera serie:

PRZYRODNICZA I

biologia, antropologia, zoologia,
botanika, medycyna

PRZYRODNICZA II

fizyka, matematyka, chemia,
astronomia, nauka o Ziemi

ROLNICZA

produkcja roślinna, produkcja
zwierzęca

TECHNICZNA

przemysł, transport, energetyka,
mechanizacja, automatyzacja

NAUK SPOŁECZNYCH

filozofia, historia, ruch robot-
niczy, zagadnienia międzynaro-
dowe i polityki wewnętrznej,
ekonomia polityczna, literatura,
sztuka, pedagogika