

KOMITET NAUKOZNAWSTWA PAN  
PRACOWNIA BADAŃ NAUKOZNAWCZYCH OD PAN

OGÓLNOKRAJOWE  
SYMPOZJUM  
NAUKOZNAWCZE

"MASZYNA MATEMATYCZNA  
INSTRUMENTEM BADAŃ NAUKOWYCH"

R E F E R A T Y

JABLONNA, 1-3 grudzień 1969 r.



D Z I S I E J S Z A M A S Z Y N A C Y F R O W A

"Po czym ten [ślepiec], któremu zrobiono prezent z łba odpowiedział "Panie słoń jest podobny do garnka", a ten który oglądał tylko ucho powiedział "Słoń jest podobny do kosza w wialni ... Wtedy zaczęli się kłócić".

..., Udana, część V rozdział IV.

Dzisiejsza maszyna cyfrowa jest podobna do słonia z buddyjskiego opowiadania oglądanego przez ślepeca. Wszystko zależy od punktu widzenia obserwatora. Opowiadanie o niej może dać tylko takie wyobrażenia jakie słuchacz miał z innych dziedzin. Tylko długotrwałe obcowanie z nią może otworzyć przed nim cały ogrom jej możliwości. Dlatego w krótkim referacie, zaledwie mogą pokazać ucho, nogę, czy kieł, a niestety słoń musi pozostać nieznanym.

Dzisiaj znajdujemy się na połowie drogi między pierwotnym wzorem maszyny cyfrowej, która była stosunkowo prostym aparatem do liczenia (choć z punktu widzenia mechaniki była skomplikowanym urządzeniem elektromechanicznym), a przyszłą maszyną, bardzo rozbudowaną i skomplikowaną - prawdopodobnie maszyną molekularną. Na drodze tej zmieniała się zarówno technologia maszyn, organizacja logiczna, sposób użytkowania

i zakres zastosowań.

W artykule tym chciałbym pokazać dzisiejszą maszynę cyfrową szczególnie od strony sprzętowej, przedstawić niektóre fragmenty rozwoju historycznego maszyn cyfrowych, jej stopniowe przekształcenie się z narzędzia prymitywnego do obecnego wysoce sprawnego urządzenia, wskazać gdzie się dziś znajdujemy, nakreślić maszynę jutra, przy jednoczesnym zwróceniu uwagi na możliwości, które dawała, daje i będzie dawać maszyna cyfrowa w przyszłości.

Będę rozpatrywał maszyny cyfrowe na świecie, a tylko dodatkowo ograniczę się do pewnych uwag o naszych maszynach. Postaram się również wykazać, że użytkowanie zbyt prymitywnego sprzętu, prymitywnego dla danego okresu czasu, powoduje hamowanie rozwoju, wytwarza niewłaściwe przyzwyczajenia, które to powodują w dalszym ciągu wiele strat bardzo trudnych do odrobienia, gdyż niewłaściwie wyszkolony pracownik powoduje straty znacznie groźniejsze do odrobienia niż całkowity brak wykszolenia w tym kierunku.

Dzisiejsza maszyna cyfrowa jest wynikiem 30-letniego rozwoju. Zanim zajmiemy się jej obecnym stanem, jej możliwościami oraz dalszymi kierunkami rozwoju, warto zastanowić się jakie były źródła inspiracji dla konstruktorów i badaczy. Co spowodowało, że dopiero w latach 40 naszego stulecia powstała nowoczesna maszyna matematyczna, chociaż możliwości techniczne zaistniały wcześniej. Na to czy dane urządzenie może powstać w danym okresie historycznym, mają wpływ dwa czynniki:

"zapotrzebowanie społeczne na wynalazek" i "istniejąca technologia". Brak zapotrzebowania - powoduje najczęściej brak wyników - przykładem jest Charles Babbage, którego wynalazki sto lat wyprzedziły zapotrzebowanie. Możliwości technologiczne - jak już wspomniałem - istniały wcześniej, lecz trzeba było aby potrzeby obliczeniowe, a mianowicie olbrzymie trudności w biurach obliczeniowych na skutek II wojny światowej spowodowały powstanie warunków, które przyczyniły się do powstania automatycznych maszyn cyfrowych.

Przekaznik elektryczny został wynaleziony przez Henrygo w roku 1835, lampa elektroniczna przez Fleminga w roku 1905, a w roku 1907 Lee de Forest stworzył prototyp lampy trójelektrodowej. Mimo tych wynalazków, które stworzyły techniczne możliwości do budowy maszyn cyfrowych upłynęło kilkadziesiąt lat do chwili zbudowania maszyny cyfrowej. Warto przy tym zauważyć, że występujące opóźnienie w wykorzystaniu nowych technik do m.c. coraz bardziej maleje - patrz tabela:

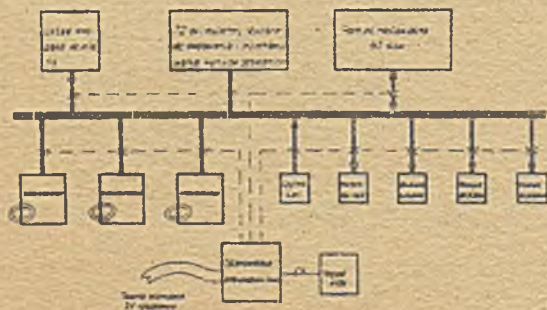
Data wynalazku	Rok zastosowania w budowie m.c.	Opóźnienie lat
przekaznik 1835	1939	96
lampa elektroniczna 1907	1946	40
tranzystor 1946	1957	11
układy scalone 1960	1964	4
magnetyczne bąbelki 1969	?	

Zestawienie to wykonuje gwałtowne zmniejszenie okresu między wynalezieniem nowej techniki a jej wprowadzeniem do

budowy maszyn cyfrowych. Oczywiście niektóre techniki mimo wielkich pierwotnie nadziei które w nich pokładano nie znalazły do dziś praktycznego zastosowania; przykładowo wymienię kriotrony, parametrony, diody tunelowe.

Rozwój maszyn cyfrowych będę chciał scharakteryzować kilkoma przykładami maszyn cyfrowych, a mianowicie: maszyną MARK I (pierwsza maszyna, która praktycznie liczyła), maszyną LARC (mniej więcej z połowy okresu omawianego) oraz maszyną CDC 7600 (obecnie najszybszą).

Maszyna MARK I zbudowana w latach 1939-44 była pierwszą dużą maszyną liczącą. Budowana była wspólnie przez Uniwersytet Harvarda i Firmę IBM. Składała się z typowych elementów używanych do maszyn analitycznych takich jak przekaźniki, liczniki mechaniczne, łącza i całe zespoły maszyn analitycznych, czytniki kart drukarki. Była to maszyna elektromechaniczna, głównym jej źródłem napędowym był silnik o mocy 4 KM. MARK I składał się z szeregu szaf o całkowitej długości 15 m, 2,4 m wysokich.



rys.1 Schemat blokowy maszyny MARK I

Jak widać na schemacie blokowym (rys.1), maszyna składała się z niezależnych zespołów. Zespoły mogły wykonywać tylko ściśle określone operacje. Wszystkie zespoły były połączone wspólną szyną, przez którą przesyłano informacje z jednego zespołu do drugiego. Sterowanie maszyny odbywało się z 24 dziurkowej taśmy papierowej, na której zakodowano kolejne czynności maszyny. Odpowiednie urządzenie sterujące dekodowało te informacje i wg nich łączyło i uruchamiało poszczególne zespoły. Szybkość czytania taśmy wynosiła 200 rzędów na minutę. Maszyna liczyła w systemie dziesiętnym na liczbach 23 cyfrowych. Do generacji funkcji takich jak sinus, log. itp. służyły interpolatory. Funkcje te były podawane do nich w postaci informacji wydziurkowanej na taśmach papierowych. Szybkość maszyny wynosiła 3 dodawania na sek., 1 mnożenie na 5,7 sek., 1 dzielenie na 15,3 sek. Generacja jednej wartości np. dla sinusa trwała 1 minutę. Według dzisiejszych pojęć maszyna ta nie była wyposażona w pamięć, a miała tylko bardzo małą pamięć stałą, którą można było ręcznie nastawiać, oraz rejestry służące do przechowywania wyników pośrednich.

Maszyna nie miała możliwości zmiany podczas pracy swego sztywnego programu, był to klasyczny przykład przeniesienia pracy normalnego procesu biura obliczeniowego na urządzenie techniczne.

ENIAC, pierwsza elektroniczna maszyna cyfrowa, miał strukturę bardzo podobną do MARKA I. W pierwszym okresie jej pracy była onateż maszyną o sztywnym programie. Główna różnica między nią a MARK I dotyczyła szybkości. ENIAC dodawał 5000

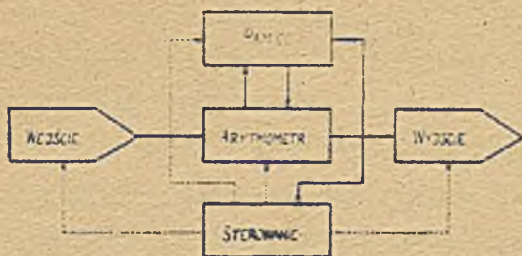
liczb 10 cyfrowych na sek. Jego szybkość mnożenia wynosiła 400 mnożeń na sek., a dzielenia 200 na sek. Warto dodać, że ENIAC w późniejszym czasie został przerobiony na maszynę z pamiętanym programem.

Decydującym czynnikiem, który zaważył na dalszym rozwoju maszyn cyfrowych był pomysł polegający na jednorodnym, z punktu widzenia pamięci, traktowaniu rozkazów i danych. Pomysł ten przekształcił w jednej chwili narzędzie specjalistyczne, jakim były pierwsze maszyny MARK I, II, ENIAC, IBM-CPC, niezależnie od ich technicznej realizacji, w narzędzie uniwersalne o możliwościach z których dziś nie w pełni zdajemy sobie sprawę.

Maszyna tego typu różni się tylko od maszyny Turinga (maszyna zaproponowanej dla potrzeb teorii obliczalności w latach trzydziestych) inną strukturą pamięci. W maszynie Turinga pamięć tworzy taśma, na której można zapisywać i wymazywać informacje, można ją tylko przesuwac w lewo lub w prawo o jeden zapis, zaś w maszynie cyfrowej czytanie zapisów informacyjnych nie ma takich ograniczeń, można w dowolny sposób skakać po całej pamięci.

Urządzenie rys.2 składa się jak widać z pięciu zespołów: pamięci (urządzenia w którym przechowuje się informacje) arytmometru (urządzenie w którym przekształca się informacje) sterowania (urządzenie, które przełącza elementy maszyny, według informacji wprowadzonej do niego) oraz urządzeń wejścia i wyjścia służących do komunikacji z otoczeniem.





rys.2 Schemat blokowy prostej maszyny cyfrowej

Na ogół w pierwszych maszynach tego typu klasa przekształceń informacji dokonanych w ramach jednej operacji zwanej rozkazem była znacznie uboższa od wcześniejszych maszyn. W niektórych maszynach bardzo prymitywnych sprowadzała się do dodawania i prostych przesyłań informacji między poszczególnymi elementami urządzenia. Urządzenie takie nazywamy maszyną cyfrową z pamiętanym programem w odróżnieniu od poprzednich maszyn, gdzie program był w postaci fizycznej - np. ustawionych przełączników, tablic połączeń, czy dziurek na taśmach czy kartach dziurkowanych przygotowywany przez człowieka (maszyna z programem zewnętrznym), człowiek w temtych maszynach musiał występować jako ogniwo wykonawcze prowadzonego obliczenia.

Teoretycznie najbardziej prymitywna maszyna cyfrowa z pamiętanym programem, przy założeniu odpowiednio dużej pamięci i odpowiedniej szybkości lub dowolnie długiego czasu, pozwala zrealizować dowolne zadanie z przetwarzania informacji. Wystarczy tylko napisać odpowiedni program - przepis na kolejność operacji - aby można było zrealizować dowolnie skomplikowane zadanie. Niestety w praktyce wystąpiły ograniczenia zarówno od strony parametrów technicznych: szybkości, pojemności pamięci, niezawodności, jak i również natury obsługi. Nie można w prosty sposób i ograniczonym czasie napisać odpowiedniego programu od początku rozkaz po rozkazie. Przy pisaniu programów występują błędy, a wystarcza jeden aby cały program był bezużyteczny. Szybko przekonano się, że pisanie programów rozkaz po rozkazie, za każdym razem od początku, jest barierą, która uniemożliwia dalszy postęp.

Pierwszą zrealizowaną maszyną na świecie będącą realizacją tego pomysłu był EDSAC - maszyna zbudowana w Cambridge w Anglii. Maszyny tego typu, o tak prymitywnej strukturze buduje się do dziś. Przykładem maszyny tego typu, która się cieszy wielkim powodzeniem na świecie jest maszyna PDP 8.

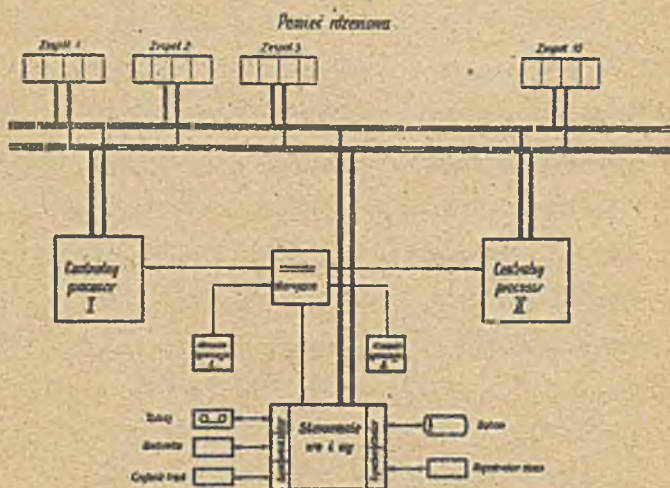
Dalszy rozwój maszyn cyfrowych odbywał się nie tak skokowo, bardziej ciągle, zarówno na polu techniki jak i zastosowań i dotyczył nowych technologii i elementów, struktur maszyn.

Rozwój maszyn cyfrowych w latach 50 przejawiał się szczególnie w rozwoju oprogramowania i języków programowania.

Za początek burzliwego rozwoju oprogramowania można uważać pierwsze biblioteki podprogramów. Biblioteki te były zorganizowane w ten sposób, że podprogramy można było odnaleźć przez podanie odpowiednich kodów-zwykle nazwy programu. Biblioteki te były istotnie dla rozwoju techniki makrorozkazów. Makrorozkaz jest to prosty zbiór rozkazów maszynowych, któremu nadano wspólną nazwę. Po latach makrorozkazy przekształciły się w procedury, a następnie w języki procedur. Pierwsze języki programowania znane jako interpretatory pojawiły się w latach 1952/53. Technika interpretacyjna umożliwiła budowę bardzo prostych języków programowania często określanych jako języki symboliczne maszynowo zorientowane. Zwykle wynikowe programy były programem jeden-do-jeden w stosunku do rozkazów maszyny. Interpretatory realizując proste języki programowania przekształcały poszczególne rozkazy programu na operacje maszynowe wykorzystując do tego podprogramy. Czynność tę wykonywało się za każdorazowym wykonywaniem poszczególnego rozkazu językowego, dlatego interpretatory były nieefektywne. Od roku 1956 datuje się zanik interpretatorów, a na ich miejsce pojawiły się kompilatory, które miały możliwość translowania języków procedurowo zorientowanych, a wynikowe programy nie miały powyższej niedogodności. Powstały pierwsze języki algorytmiczne. W tym czasie, a nawet później, opisy tych języków wykazywały małe podobieństwo do późniejszego formalizmu języków programowania. Dopiero po roku 1958, a szczególnie od 1961 roku, zastosowano do badania języków metody syntaktycznej analizy. W tym okresie rozpowszechniły się szeroko obecnie

znane języki takie jak FORTRAN, ALGOL, COBOL.

Niezależnie od rozwoju metod oprogramowania i oprogramowania maszyn cyfrowych rozwijały się struktury maszyn. Przykładowo omówię strukturę jednej z pierwszych maszyn o bardzo złożonej strukturze, maszynę LARC (Lawrence Automatic Research Computer) zbudowaną w latach 1956-1960 przez firmę Univac. Schemat blokowy przedstawiony jest na rys.3.



rys.3 Schemat blokowy maszyny LARC

LARC składa się z jednego lub dwu procesorów centralnych (PC) sterowania wejściowo-wyjściowego (multipleksora) (SWW) i sterowania urządzeniami peryferyjnymi. Wszystkie powyższe

bloki mają bezpośredni dostęp do wieloczołowej pamięci rdzeniowej. Maszyna pracuje w układzie dziesiętnym.

Pamięć maszyny składa się z niezależnych zespołów, każdy o pojemności 2500 słów 12 cyfrowych dziesiętnych (60 bitów). Zespoły mają własną niezależną elektronikę. Podział pamięci na niezależne zespoły umożliwia jednocześnie zwracanie się do pamięci: przez PC w celu pobrania rozkazów i danych, przez SWW po swoje rozkazy dla przesyłania danych do i z pamięci przez jednostkę sterowania WW. Chociaż dostęp do indywidualnych zespołów wynosi  $4 \mu s$ , efektywny dostęp systemu ze względu na zakładkową pracę zespołów pamięci wynosi  $1/2 \mu s$ .

Aby umożliwić jednoczesną komunikację między SWW, PC i wieloma zespołami pamięci rdzeniowej zastosowano system (multipleksowy) okienek czasowych. Wzajemna komunikacja między wszystkimi zespołami dokonywana jest przez szyny zbiorcze, które są rozdzielane w czasie między zespołami. Cykl podziału wynosi  $4 \mu s$ , rozbite na  $1/2 \mu s$  okienka. Podczas każdego okienka czasowego można przesłać równolegle jedno słowo lub rozkaz do lub z pamięci. Każdy zespół pamięci rdzeniowej może zapoczątkować swój cykl co  $4 \mu s$  w każdym z okienek. Po zainicjowaniu pracy, odpowiednie blokady uniemożliwiają dostęp do czynnych urządzeń. Celem zapewnienia ciągłego przesyłania danych wejściowo wyjściowych każdy zespół pamięci jest wyposażony w układ priorytetu. Układ ten gwarantuje dostęp po zaadresowaniu do każdego zespołu pamięciowego w obrębie  $4 \mu s$  okresu. Metoda okienek czasowych (segmentacji) jest

bardzo efektywna dla komunikacji w systemach wieloprocesowych i wielopamięciowych i jest cechą maszyn 4 generacji.

LARC ma cztery poziomy pamięci, poziomy te różnią się szybkościami i kosztami na znak. Pierwszy poziom pracuje z cyklem 1  $\mu$ s. Składa się on z pewnej liczby rejestrów, które można wykorzystywać jako rejestry akumulatora (A) dla przechowywania operandów i wyników czy jako rejestry (B) dla przechowywania stałych używanych w operacji adresowania. W każdym PC jest 99 rejestrów 1  $\mu$ s. Podobne rejestry są użyte jako bufor w każdej jednostce sterowania. Drugi poziom pamięci to pamięć ferytowa. Trzeci poziom to pamięć masowa na bębnach.

Do maszyny można dołączyć 24 jednostki pamięci bębnowej. Każdy bęben o pojemności 250.000 12 cyfrowych słów. W celu jednoczesnego zapisu i czytania zastosowano trzy zespoły czytania i dwa zapisu. Program SWW może podłączyć każdy bęben do zespołu sterującego. Jeden zespół sterujący steruje na przemian dwoma bębnami i przesyła 330.000 cyfr dziesiętnych na sekundę.

Procesor centralny zaprojektowano tak, aby mógł wykonywać wiele rozkazów jednocześnie. Podczas gdy wykonuje się jeden rozkaz argument następnego przesyłany jest z lub do pamięci, równocześnie generuje się adres argumentu trzeciego rozkazu, a czwarty rozkaz pobierany jest z pamięci. Wynikiem tego jest to, że podczas ciągłej pracy średni czas wykonywania rozkazu wynosi 4  $\mu$ s, chociaż każdy rozkaz przebywa dłużej w części sterowania procesora centralnego.

O operacjach W-W decyduje program PC. Tworzy on pakiet W-W, który zapamiętany jest w pamięci. Następnie PC podaje SWW miejsce pakietu W-W. SWW w celu określenia typu operacji bada ten pakiet i wysyła do właściwych urządzeń W-W program manipulacyjny. Program ten w razie potrzeby ustawia urządzenia w kolejkę, przekształca pakiet do rozkazów maszyny, wykonuje operacje W-W, bada czy nie ma jakichś błędów, w razie potrzeby regeneruje go, przerywa pracę PC itp.

Program wykonywany w SWW można uważać za prototyp części nowoczesnego systemu operacyjnego. Wyzszość programu SWW nad nowoczesnymi programami realizowanymi w spręcie objawia się znacznie większą sprawnością powodowane jest to równoległą pracą SWW i PC.

Maszyna LARC była jedną z pierwszych dużych maszyn tranzystorowych, wiele jej rozwiązań można dopiero znaleźć w obecnie produkowanych lub projektowanych maszynach. Warto tutaj dodać, że z dru sztuk wyprodukowanych jeszcze jedna pracuje, zaś druga, a właściwie pierwsza - została wycofana rok temu z pracy aby ustąpić miejsca maszynie CDC 7600.

Na dalszym rozwoju m.c. zaważyły szczególnie dwa pomysły: podział czasu i pietro świetlne (możliwość komunikacji graficznej m.c. - z człowiekiem). Pomysł maszyny z podziałem czasu powstał na przełomie lat 50-60, zaś problem bezpośredniej komunikacji człowiek-maszyna w taki sposób, że tworzą jeden zespół, sięga początków rozwoju maszyn. Wystąpił on już przy pierwszej elektronicznej maszynie matematycznej ENIAC. W pierwszym okresie był on raczej zagadnieniem drugo planowym, spowodowane było to między innymi czynnikami

ekonomicznymi. Duże maszyny cyfrowe są bardzo drogie i istnieje duży nacisk aby były wykorzystywane w stu procentach. Człowiek, w porównaniu z maszyną, działa wolno, co powoduje, że przy bezpośredniej pracy z maszyną reakcje jego, lub raczej brak ich, hamują pracę maszyny. Zagadnienie to dopiero mogło zostać sensownie rozwiązane z chwilą zbudowania maszyn z podziałem czasu maszyn mikroprogramowych.

Podstawą, która była coś w rodzaju technicznej bazy w problemie komunikacji człowiek maszyna był projekt systemu SAGE<sup>x/</sup>, projekt który powstał już w latach 1952. Ponieważ w zagadnieniach militarnych problemy ekonomiczne odgrywają znacznie mniejszą rolę, przy projekcie tym rozwinięto szeroko specjalne urządzenia wejścia i wyjścia. Zostały opracowane specjalne pulpity z wyjściem i wejściem obrazowym (na ekranach lamp oscyloskopowych), na których informacje mogły być wyświetlane w postaci świetlnych rysunków, cyfr i liter oraz opracowano świetlne pióro, które umożliwiało rysowanie na tych ekranach.

W latach 1961/62 w MIT został opracowany (przez Sutherlanda) system, który spowodował przełom w komunikacji człowiek-maszyna. Na maszynie TX-2 w oparciu o ekran "telewizyjny" i świetle pióra rozwinięte w projekcie SAGE został opracowany system zwany szkicownikiem. System ten umożliwiało rysowanie schematów i rysunków na ekranie. Została opracowana pewna ilość zasad konstruowania tych rysunków przy czym zostały one wybrane w ten sposób aby można było rysować dość skomplikowane

---

x/ Semi Automatic Ground Environment system for air defense.



struktury. Całość systemu polega na opracowaniu całego zbioru programów, które potrafią na bieżąco interpretować zapisy pióra świetlnego na ekranie i w zależności od żądań operatora odpowiednio się przekształcać. System ten pracuje w podziale czasu między programem wprcwadzającym informacje na i z ekranu, a programem prowadzącym przetwarzanie informacji dla przekształcania obrazu.

Drugi wynalazek - podział czasu - poza silnym usprawnieniem niektórych procesów pracy - np. możliwość jednoczesnego prowadzenia obliczeń i uruchamiania innego programu krok po kroku - otworzył erę systemów wielomaszynowych i wielodostępnych. Wynalazek ten łączy się z jeszcze jednym udoskonaleniem maszyn, a właściwie systemów cyfrowych pracy w czasie rzeczywistym - na bieżąco - to znaczy, że obliczenia wykonywane są tak szybko jak szybko przebiega proces, który obliczamy. Pierwszym systemem pracującym w podobny sposób, który znalazł szerokie zastosowanie, był system SABRE. System rezerwacji miejsc towarzystwa lotniczego American Airlines. Zamawianie miejsc odbywa się przypadkowo, obciążając system w sposób nierównomierny sporą ilością różnorodnych żądań. System jest w stanie odpowiedzieć na zapytanie w ciągu trzech sekund, a należy pamiętać, że końcówki systemu rozmieszczone są na obszarze całej Ameryki.

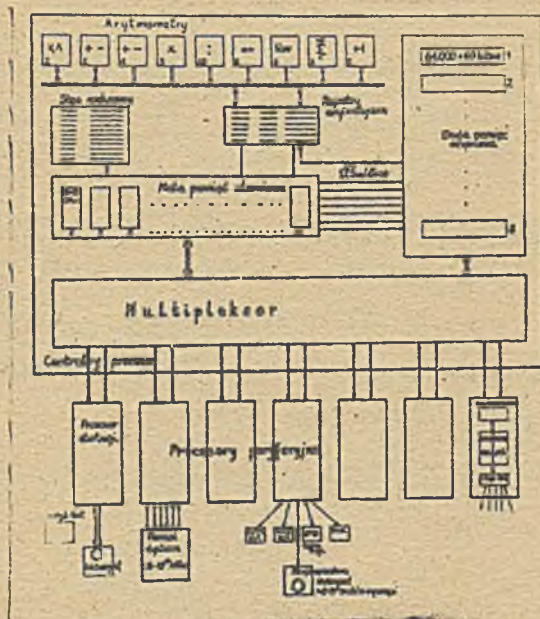
Najszybszą na świecie produkowaną fabrycznie maszyną cyfrową jest obecnie system CDC 7600. System ten został

dostarczony w styczniu 1969 r. do Lawrence Radiation, Laboratory w Livermore gdzie zastąpił maszynę IARC wycofaną z użytkowania w grudniu 1968. Teoretyczna szybkość tej maszyny uzyskana przez równoległą i segmentową organizację. Ponieważ badania przedsiębiorstwa wykazały, że zastosowanie elementów dyskretnych zamiast układów scalonych pozwala na uzyskanie szybszej maszyny przy takich samych kosztach, wobec tego maszynę zbudowano na elementach dyskretnych. Maszyna ta jest znacznym ulepszeniem maszyny CDC 6600, tj. poprzedniej maszyny tej firmy. Lepsze parametry uzyskano z jednej strony przez skrócenie podstawowego cyklu zegara z 100 ns do 27,5 ns, a z drugiej przez odpowiednie wykorzystanie funkcji centralnego procesora, co umożliwia jednoczesne wykonywanie kilku rozkazów oraz przez rozbudowę struktury systemu wejścia i wyjścia, a także staranne dopasowanie szybkości poszczególnych urządzeń.

Maszyna, której schemat blokowy podany jest na rys.4 składa się z procesora centralnego PC, sześciu procesorów peryferyjnych PP, systemu dyskowego, procesora obsługi z wyposażeniem, stacji operacyjnej, czytnika kart, dziurkarki kart dwu drukarek wierszowych, dwu przewijaczy taśmy magnetycznej. Koszt powyższej minimalnej konfiguracji, wynosi 8.250.000 \$. Istnieje możliwość rozbudowania systemu dodatkowymi procesorami peryferyjnymi (do 15), dyskami, bębniami i innymi urządzeniami peryferyjnymi.

System CDC 7600 zorganizowany jest w postaci sieci sieci "stacji operatora" każda wyposażona w konsole i urządzenia

peryferyjna. Urządzenia te łączy się z CDC 7600 poprzez peryferyjne procesory, które działają jako multipleksory z zapamiętanym programem i służą dla dostarczenia i pobierania danych z systemu.



rys.4 Schemat blokowy maszyny CDC 7600

Programy użytkowe mogą być wprowadzane z każdego stanowiska pracy. Każde stanowisko jest niezależne i pracuje równoległe z innymi stanowiskami. Użytkownik, w efekcie, otrzymuje wiele maszyn w jednym bloku. Peryferyjne procesory sterują strumieniami informacji przesyłanych z i do procesora centralnego. Jako bufor między stanowiskami pracy, a procesorem centralnym, służy duża pamięć rdzeniowa procesora

centralnego, która przechowuje informacje gotowe do wykonania przez program znajdujący się w małej pamięci PC.

Do najbardziej interesujących własności CDC 7600 należą:

- 1/ Organizacja strukturalna (mała-duża) pamięci procesora centralnego na styku tych pamięci jest osiem 480 bitowych rejestrów.
- 2/ Zdolność segmentacji operacji (9 jednostek funkcjonalnych PC pracuje niezależnie).
- 3/ Procesor obsługi - monitor diagnostyczny (który informuje o stanie maszyny bez przerywania przetwarzania).
- 4/ Bity kontrolne w pamięci rdzeniowej i centralnej procesora.
- 5/ Całkowite wyeliminowanie przetwarzania wejściowo-wyjściowego przez procesor centralny i przeniesienie przetwarzania do peryferyjnych procesorów.
- 6/ Skrócenie czasu wykonywania operacji skokowych.
- 7/ Stos rozkazowy dla 12 słów.

Procesor centralny składa się z zespołu arytmetycznego urządzenia przetwarzającego, dwu pamięci rdzeniowych i multipleksora. PC pracuje synchronicznie. Cykl zegara wynosi 27,5 ns. Urządzenie przetwarzające składa się z 9-ciu niezależnych arytmetrów, z których każdy wykonuje inne

operacje, 24 rejestrów - dla przechowywania argumentów osiem 60b, ich adresów w małej pamięci osiem 18b, oraz osiem 18b dla przechowywania indeksów i 12 rozkazowego stosu słów 60 bitowych wraz z 12 rejestrami 18 bitowymi przechowującymi adresy MP rozkazów w stosie. Stos jest typu "pierwszy wchodzi - pierwszy wychodzi" i ciągle jest uzupełniany nowymi rozkazami. Rozkazy PC są 15 albo 30 bitowe, co pozwala na szybkie wykonywanie małych pętli programu.

Arytmometry mogą pracować jednocześnie. Wszystkie arytmometry za wyjątkiem arytmetru dzielenia i mnożenia mogą przyjmować nowe argumenty w każdym cyklu. Arytmometry pozwalają na segmentację pracy.

Czasy wykonywania operacji (w cyklach zegara) podano na schemacie blokowym na rys.4 w lewym dolnym rogu każdego arytmetru.

Ze względu na niezależne struktury arytmetrów oraz organizację segmentową, wykonanie rozkazów może odbywać się jednocześnie w różnych arytmetrach jak i wewnątrz każdego z nich.

Pamięć procesora centralnego składa się z małej pamięci rdzeniowej (MP) i dużej pamięci rdzeniowej DP.

Mała pamięć typu koidencyjnego składa się z 32 bloków po 2048 słów 60 bitowych każdy. Całkowita pojemność jej wynosi 65536 słów. Poszczególne bloki są niezależne. Odpowiednia organizacja w stosy umożliwia uzyskanie maksymalnej szybkości przeszło 27,5 ns 60 bitowych słowach. Cykl czytanie-zapis dla bloku wynosi 275 ns. Wszystkie bloki MP są dostępne jednocześnie

Warunki takiej pracy mogą wystąpić przy kopiowaniu informacji między małą a dużą pamięcią. Czas dostępu do bloku wynosi 4 cykle. Rozkazy PC i multipleksora pobierane są z małej pamięci. Dane PC mogą być pobierane zarówno z MP jak i DP.

Duża pamięć typu liniowego składa się z 8-miu niezależnych bloków po 64000 słów bitowych każdy. Pojemność całkowita wynosi 512 000 słów. Cykl czytanie-zapis odpowiada 64 cyklom zegara -  $1,76 \mu s$ . W celu uzyskania szybkości "jedno słowo na cykl zegara", pamięć jest wyposażona w 8 rejestrów 480 bitowych i przy przepisywaniu blokowym (zastosowano czasową zakładkę bloków). Dostęp do bloku jest możliwy co 8 cykli zegara, umożliwia to otrzymanie wymaganej szybkości przesyłania.

DP tworzy podstawową pamięć centralnego procesora, w której umieszczane są programy przygotowane do wykonania i zespoły danych.

Komunikacja między procesorem centralnym, a każdym z procesorów peryferyjnych dokonuje się poprzez dwa dwukierunkowe kanały obsługiwane przez multipleksor. Przekształca on 60 bitowe słowa procesora centralnego na 12 bitowe słowa procesorów peryferyjnych i odwrotnie. Maksymalnie można dołączyć 15 procesorów peryferyjnych. Każdy z kanałów wyposażony jest w oddzielne bufony wejściowo-wyjściowe.

Obsługiwanie i wykonywanie operacji WW dla procesora centralnego prowadzi sześć procesorów peryferyjnych, które funkcjonują jako komunikacyjne i informacyjne centrale przełączające między procesorem centralnym a urządzeniami

peryferyjnymi. Każdy z procesorów peryferyjnych może pracować jako oddzielna maszyna cyfrowa samodzielnie. Procesor peryferyjny może znajdować się, albo w tym samym pomieszczeniu lub w innym. Każdy z PP może wykonywać w tym samym czasie niezależne programy.

Każdy procesor peryferyjny składa się z trzech części: zespołu arytmetycznego, pamięci i sterowania WW dla urządzeń peryferyjnych. Zespół liczący PP jest zorganizowany konwencjonalnie. Pamięć składa się z dwu bloków, każdy po 2048 słów 12 bitowych o cyklu "czytanie-zapis" 276 ns. W celu zwiększenia szybkości adresacja jest przemienna. Każdy blok jest wyposażony w dwa rejestry do przechowania adresów dla danych, które mają być pamiętane i jeden rejestr na dane czytane z obu bloków.

Sterowanie WW funkcjonuje w podobny sposób jak multiplexer WW procesora centralnego. Wyposażone jest w 8 12-bitowych dwukierunkowych kanałów, dla komunikacji z centralnym procesorem, a sześć dla urządzeń peryferyjnych.

Dwa są przeznaczone dla obsługi modułu dysków o pojemności 8 mln. znaków. Procesory te mogą obsłużyć jeszcze jeden moduł. Sześć PP tworzy jedną stację operatorską. Stacja operatorska w obecnym wykonaniu zawiera dysk na 8 x 10 znaków, wideograf, czytnik kart, dziurkarkę kart, dwie dziurkarki i dwa przewijacze taśm.

Podstawową cechą dzisiejszej maszyny jest "systemowość", pod tą własnością rozumiem wszystkie cechy

maszyny cyfrowej potrzebne do pracy w systemach cyfrowych zaawansowanych. Można wyróżnić następujące typy systemów eksploatacji maszyn:

Systemy prymitywne	-	biuro obliczeniowe
"	"	- klasyczny (tradycyjny)
Systemy zaawansowane	-	wsadowy
"	"	- pytanie-odpowiedź
"	"	- konwersacyjny
"	"	- uniwersalny

Oczywiście może być wiele odmian między nimi niektóre z nich mogą pracować na bieżąco (w czasie rzeczywistym).

System prymitywny - biuro obliczeniowe, jest to przykład realizacji obliczeń na maszynie cyfrowej działającej tak, że brak w niej bezpośredniego związku między realizowanym algorytmem a wynikami. Istotnym elementem sterującym w tym systemie był człowiek, który musiał sam podejmować decyzje podczas wykonywania obliczeń.

System klasyczny - jest to system, w którym maszyna cyfrowa wykorzystywana była w sposób tradycyjny. Operator nie jest elementem wykonywanego algorytmu przetwarzania, ale miał możliwość interweniowania w proces zależnie od jego woli. Po wykonaniu jednego wprowadzał następny.

System wsadowy. - W takim systemie użytkownicy nie mają dostępu do maszyny. Programy ładowane do maszyny wsadami na taśmie w ustalonych godzinach. Wyniki są wyprowadzane na taśmę w miarę ich powstawania. Dostęp do wyników dla użytkownika możliwy jest po wykonaniu całego wsadu.



System pytanie-odpowiedź - maszyna w tym systemie wykonuje w razie braku zapytań pracę drugoplanową. Z pewnej ilości konsoli, najczęściej odległych pytający ma bezpośredni dostęp do maszyny i może zadawać pewną ilość pytań. Maszyna jest wyposażona w zestaw programów skojarzonych z tymi pytaniami i po otrzymaniu zapytania przerywa pracę drugoplanową, opracowuje odpowiedź, którą natychmiast przekazuje do właściwej konsoli, po czym wraca do programu drugoplanowego.

System konwersacyjny. W tym systemie zwykle maszyna jest dzielona między pewną ograniczoną liczbę użytkowników, którzy mają bezpośredni dostęp do maszyny. W zasadzie użytkownicy mają do dyspozycji jeden język konwersacyjny kompilujący rozkazy po kolei. Konsole są zwykle wyposażone w urządzenia wizualne, mogące w każdej chwili odwzorować zawartość fragmentu pamięci. Użytkownicy mają możliwość jednoczesnego w podziale czasu wykorzystywania maszyny.

System uniwersalny. System ten łączy wszystkie możliwości w/w systemów i jest najbardziej rozbudowanym systemem, zwykle jeszcze wyposażony jest w olbrzymie pamięci zarówno o dostępie dowolnym (dyski) jak i sekwencyjnym (taśmy). Przykładem takiego systemu jest Projekt - MAC - w MIT.

Ze względu na "systemowość" maszyny muszą charakteryzować się następującymi cechami:

- 1/ Niezawodność (tylko maszyny o dużej niezawodności mogą być stosowane do systemów - wymagany jest czas między uszkodzeniami powyżej 10000 godzin)

- 2/ Szybkość (wymagana jest powyżej kilkuset tys. o/s).
- 3/ Pojemność pamięci (pamięć wewnętrzna większa 64000 słów, rozbudowana pamięć masowa).
- 4/ Rozbudowany system przesyłania danych.
- 5/ Rozbudowany zestaw urządzeń peryferyjnych, w szczególności urządzeń do bezpośredniej komunikacji człowiek-maszyna. Wideograf ze świetlnym piórem.
- 6/ Struktura maszyny umożliwiająca pracę wieloprogramową z podziałem czasu, wielodostępna.
- 7/ Rozbudowane systemy operacyjne.
- 8/ Bogate oprogramowanie użytkowe.

Obecnie można zauważyć dwie tendencje rozwoju maszyn:

1. Głównymi zespołami czy gigantycznymi maszynami z wielodostępem i siecią zdalnych urządzeń końcowych.
2. Indywidualna maszyna - stosunkowo mała maszyna dla poszczególnego użytkownika czy nawet konkretnego zadania.

Dzisiaj ze względu na brak wielkoseryjnej produkcji maszyn informacyjnych te dwie tendencje nie występują z całą ostrością, ale szereg dyskusji, które pojawiają się w prasie fachowej tu i tam, pozwala mniemać, że ta chwila wielkoseryjnej produkcji się zbliża.

Zarówno dla realizacji tej czy innej koncepcji umaszynowania musi być spełnione kilka warunków. Aby można było

zrealizować pierwszy wariant potrzeba bardzo szybkich i o bardzo rozbudowanych pamięciach maszyn, sieci komunikacyjnych - dla przekazywania informacji, wygodnych urządzeń abo-nęckich, standaryzacji języków i sposobu użytkowania maszyn (powstawanie ciągle nowych struktur maszyn i nowych maszyn "językowych" w pewnym stopniu hamuje ich rozwój), budowy bardzo rozbudowanych systemów operacyjnych. W przyszłościowych systemach tego typu każde zadanie będzie zawierało na wstępie informacje co do sposobu zapisania zadania, języka w którym jest ono podane itp. informacja ta, albo pozwoli na translację zadania do języka wewnętrznego systemu, lub spowoduje przeorganizowanie systemu - będzie możliwa dynamiczna zmiana struktury systemu - części systemu tak aby mógł on wykonać to zadanie.

Drużą tendencją - to maszyna indywidualna. Kierunek ten wymaga wielko seryjnej, a więc taniej produkcji i taniego oraz bardzo niezawodnego produktu, który ze względu na bardzo mocno upakowaną budowę urządzenia nie wydaje się aby mógł być naprawiany.

Tani - znaczy to taki produkt, że koszt jego zakupu będzie wynosić równoważność sprzętu zmechanizowanego w gospodarstwie domowym.

Porównując koszt operacji w zależności od wielkości maszyn widzimy, że koszt jest tym mniejszy im większa i szybsza maszyna.

Maszyna typ	Cena	Szybkość dodawania na sek.	Op. za \$ na sek.
CDC 7600	8,250.000 \$	36,6 mil.	4,4
ICL 4/700	1,000.000	600.000	0,6
Sharp Micro QT-80	2 00 \$	0,2	0,001

Oczywiście powyższe dane mają tylko charakter orientacyjny gdyż nie uwzględniają wielu czynników. W każdym razie widać, że bardzo duże i szybkie maszyny są tańsze (Sharp Micro QT-80 - jest najmniejszym arytmetrem na świecie zbudowanym na układach scalonych).

Maszyny wcześniejszej generacji preferowały obliczenia, maszyny dzisiejsze preferują obliczenia przetwarzania danych i systemowości. Maszyny następnych generacji będą wykonywały cechy, które pozwolą dalej rozwijać obecny kierunek systemowy, uwzględniając jednocześnie takie zagadnienia jak problemy komunikacji między systemowe, wielkie banki informacyjne oraz możliwość budowy wielkich sieci informacyjnych ogólnego zastosowania.

Na zakończenie chciałbym podać kilka cech, które wydaje się, że będą występować u maszyn przyszłych generacji.

Maszyny przyszłości będą charakteryzowały się następującymi cechami:

- 1/ Systemy operacyjne i zarządzające będą realizowane w sprzęcie. Szerokie stosowanie programów sterowania - będzie albo zredukowane, albo całkowicie wyeliminowane.
- 2/ Wyższość przetwarzania będzie wykonywana na bieżąco.
- 3/ Sprzęt i oprogramowanie będzie budowane modułowo. Będzie można modyfikować moc obliczeniową bez przeprojektowania systemu.
- 4/ Systemy nie będą się starzały. Systemy będą tak projektowane aby było możliwe zmieniać części składowe.
- 5/ Wyższość danych będzie pobierana bezpośrednio przy źródle - karty i dziurkarki będą wejściem drugorzędnym.
- 6/ Nowe oprogramowanie będzie prostsze - prostsze od strony użytkownika, a nie od strony funkcjonalnej.

Realizacja tych cech w maszynach przybliżyła do nas Wiek Informacji, wiek w którym maszyna informacyjna jest jego pierwszym produktem.



INSTRUMENTY INTELEKTUALNE  
=====

0. Zadanie i Metoda. 1. Podstawowe pojęcia. 2. Centralizat zasileniowo-informacyjno-metainformacyjny. 3. Instrumenty intelektualne.

0. Zadanie i Metoda

Prezentujemy próbę uogólnionego badania instrumentów ułatwiających pracę intelektualną, ewentualnie wyręczających od tej pracy człowieka. Jest to próba spojrzenia na konstrukcję i funkcjonowanie instrumentów intelektualnych z nietechnicznego, lecz z prakseologicznego i cybernetycznego punktu widzenia.

Nie kwestionując doniosłości wiedzy inżynierskiej dla całokształtu zagadnienia sądzimy, że konieczna integracja poszukiwań naukowych na tym polu wymaga też spojrzenia z wysokiego poziomu abstrakcji. W przeciwnym bowiem razie jesteśmy narażeni na tracenie z pola obserwacji urządzeń o schematach ideowych zbliżonych, czy nawet podobnych a zarazem technicznych realizacjach niekiedy bardzo odległych od siebie.

Próba nasza jest wyczerpującym studium przedstawiającym "zamknięte" wyniki; stanowi ona raczej otwarcie dla badań bardziej pogłębionych, prowadzonych na styku wielu dyscyplin szczegółowych.

Wydaje się z góry jasne, że w naszych rozważaniach uwzględnić trzeba będzie trzy aspekty:

0. 0 Aspekt porównawczy /organ a instrument/,
0. 1 **Aspekt** kontaktowy /łącność człowieka z instrumentem/,
0. 2 Aspekt automatyzacji /łączenie instrumentów prostych w złożone/.

Ad 0. 0

Chcąc zrozumieć rolę instrumentu obsługującego czy zastępującego dany organ, należy zbadać najpierw jaką rolę spełnia sam organ naturalny bez pomocy tego instrumentu. Tak więc np. chcąc zrozumieć rolę instrumentu zawierającego w sobie jako główny element silnik, należy zbadać uprzednio jak zadanie spełniane przez ten instrument byłoby realizowane za pomocą organu naturalnego /mięśni ludzkich/; trzeba by następnie porównać zakres wykonalnych zadań, stopień sprawności i charakterystykę sposobu sterowania pracą silnika i pracą samego organu. W podobny sposób postąpilibyśmy z innym typem instrumentu, nazwijmy go narazie czujnikiem lub detektorem, zawierającym w sobie jako główny element receptor określonej długości fal świetlnych. Chcąc poznać funkcjonowanie takiego instrumentu należy zbadać, jak spełniane są przez organ naturalny tzn. oczu lub receptory termiczne organizmu żywego, wszystkie lub





Ad 0. 2

Wreszcie trzeci z kolei, i nie do pominięcia, aspekt ważny dla naszych rozważań, to powszechna tendencja automatyzacji. Polega ona na tym, że zamiast "baterii" prostych instrumentów, z których każdy jest wielokrotnie sprzężony z człowiekiem, dyrygującym tą "orkiestrą" - sprzęga się między sobą instrumenty proste w bardziej złożone, uzyskując w ten sposób efekty /np. badawcze, np. w dziedzinie sterowania procesami/ olbrzymiej doniosłości i ograniczając zarazem ilość kontaktów postaci:

człowiek - instrument - człowiek.

Automatyczne cyfrowki są najlepszym przykładem realizacji tej tendencji.

1. Podstawowe pojęcia

Aparatura pojęciowa tu stosowana została przedstawiona przez pierwszego z autorów w książce Cybernetyka Niematematyczna /Warszawa PWN 1969/. W opracowaniu niniejszym z aparatury tej wykorzystano zresztą niewiele stosunkowo tych pojęć, oto lista ważniejszych:

1. 0 układ prospektywny

Sprzężenie szeregowe /ew. zwrotne/

- 1. 1 1. 1a/ zasileniowe,
- 1. 1 1. 1b/ informacyjne,
- 1. 1 1. 1c/ metainformacyjne.
- 1. 2 1. 2a/ kod,
- 1. 2 1. 2b/ metakod

Niektóre typy układów prospektywnych:

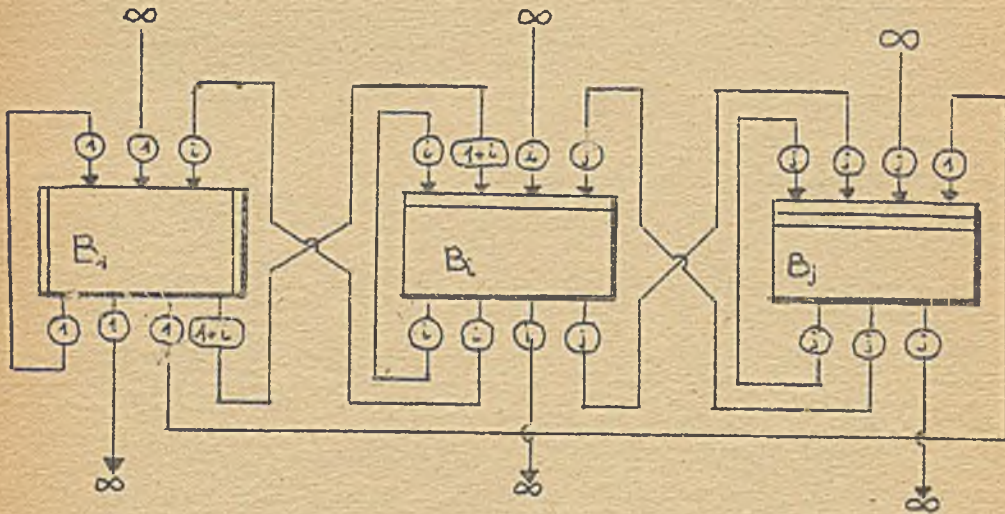
- 1. 3a/ realizator,
- 1. 3b/ obserwator /t.j. obserwator informacji/
- 1. 3 1. 3c/ translator /z kodu na kod/,
- 1. 3 1. 3d/ metarealizator,
- 1. 3 1. 3e/ metaobserwator /t.j. obserwator metainformacji/,
- 1. 3 1. 3f/ metatranslator /z metakodu na metakod/.

Należy pamiętać, że wyraz "informacja" jest tu zawsze rozumiany jako informacja o zasileniu, zaś "metainformacja" jako informacja o informacji o zasileniu. Systematyczne opracowanie naszego tematu wymagałoby też systematycznego stosowania "meta-metainformacji"; w imię prostoty staramy się zamykać oczy na potrzebę stosowania tego pojęcia.

Należy również pamiętać, że przez "kod" autorzy rozumieją zawsze system konstruowania informacji z elementów informacyjnych /uogólnienie pojęcia języka/, zaś przez "meta-kod" analogiczny system konstruowania metainformacji z elementów metainformacyjnych /uogólnienie pojęcia metajęzyka/.

## 2. Centralizator zasileniowo-informacyjno-metainformacyjny.

Pojęcie centralizatu, wprowadzone przez pierwszego z autorów w 1965 roku stanowi cybernetyczne uogólnienie pojęcia biologicznego: "zwierzę posiadające ośrodkowy układ nerwowy" i zarazem obejmuje wszelkie urządzenia i instrumenty mające centralny układ sterujący. Będziemy posługiwali się centralizatem zasileniowo-informacyjno-metainformacyjnym. Stanowi on sieć cybernetyczną złożoną z trzech bloków  $B_1$ ,  $B_2$ ,  $B_j$  /  $B_i$  = blok zasileniowy,  $B_i$  = blok informacyjny,  $B_j^i$  = blok metainformacyjny/ otoczenia oraz sprzężeń występujących między paramami bloków i między otoczeniem a blokami /rys. 2.0/.



Rys. 2.0 Sieć bloków

Oprócz graficznego przedstawienia naszego centralizatu podajemy jeszcze jego macierz sprzężeń /tablica 2.1/ w której występowanie bezpośredniego sprzężenia szeregowego jest zapisywane jako "i", występowanie analogicznego sprzężenia informacyjnego jako "i", zaś - metainformacyjnego jako "j".

Tablica 2. 1

In \ Out	$\infty$	$B_1$	$B_i$	$B_j$	Razem
$\infty$	0	1	1	j	1 + 1 + j
$B_1$	1	1	1	0	2 + 1
$B_i$	1	1+i	1	j	1 + 3i + j
$B_j$	j	1	j	j	1 + 3j
Razem	1+i+j	4 + 1	3i + j	3j	5(1 + 1 + j)

Blok  $B_1$  /zasileniowy/ posiada jedno zewnętrzne wejście zasileniowe  $\langle \infty, B_1 \rangle$  a ponadto jedno samosprężenie zasileniowe  $\langle B_1, B_1 \rangle$  oraz wejście informacyjne z centralizatu informacyjnego  $\langle B_1, B_1 \rangle$ . Blok  $B_1$  działa jako transformator zasileni /transformowanie zasileni to zarówno zmiana postaci porcji zasileni, np. energii chemicznej na mechaniczną, przechowywanie w czasie zasileni, przemieszczanie zasileni jak i rozdział zasileni między poszczególne bloki/

Blok  $B_1$  posiada jedno zewnętrzne wyjście zasileniowe  $\langle B_1, \infty \rangle$ , jest to jedyna droga oddziaływania zasileniowego całego naszego centralizatu na otoczenie. Jedno z wyjści wewnątrz /w obrębie sieci/ bloku  $B_1$ , mianowicie wyjście  $\langle B_1, B_1 \rangle$  posiada specjalną charakterystykę. Wyjście to jest wyjściem zespolonym zasileniowo-informacyjnym, dlatego też w opisie charakterystyki tego wyjścia mamy 1 + 1, co znaczy, że tą drogą następuje przesyłanie zarówno porcji zasileni jak i porcji informacji. Porcje zasilenia w tym sprzężeniu mają na celu utrzymanie w stanie sprawności transformatora informacji, który jest w naszej sieci reprezentowany przez blok  $B_1$ . Zaś informacje przesyłane sprzężeniem

$\langle B_1, B_2 \rangle$  to informacje sytuacyjne, odbijające aktualne i minione stany  $B_1$  i funkcjonowanie transformatora zasilenia.

Obiekt rzeczywisty, stanowiący punkt wyjścia dla naszego modelowego ujęcia centralizatu /jest nim homo sapiens/ posiada o wiele więcej takich centrów, ograniczymy się jednakże w naszych rozważaniach do trzech podstawowych.

Redukcji tej towarzyszy zarazem "rozmożenie" pewnych innych elementów naszego centralizatu w stosunku do obiektu modelowanego. Człowiek nie posiada receptorów i efektorów oddzielnych dla informacji i oddzielnych dla metainformacji, my natomiast musimy uwzględnić równoległe urządzenia zewnętrzne dla przyjmowania i emitowania informacji i metainformacji. Podobnie, jak to zobaczymy na wykresach 2.3 i 2.4 występuje w centralizacie zwiększona w stosunku do oryginału ilość dystrybutorów zasilenia i dystrybutorów informacji. "Wnętrza" centralizatów: zasileniowego, informacyjnego i metainformacyjnego przedstawiamy za pomocą poniższej tablicy, wyliczającej elementy "konstrukcyjne", z których zbudowane są poszczególne bloki oraz z wykresów przedstawiających te układy wraz z rozpatrywanymi sprzężeniami /tablica 2.2, oraz wykresy 2.3, 2.4 i 2.5/.

W taki, jak sądzą autorzy, sposób, można zbudować model człowieka wystarczający dla wstępnych co najmniej rozważań dotyczących wyżej wspomnianych aspektów problematyki "człowiek, a instrument intelektualny" /patrz 0.0, 0.1, 0.2/.

Mając naszkicowany model człowieka przejdziemy teraz do modelowania instrumentów intelektualnych, nie zapominając o tym, że instrumenty te działają jedynie po wytworzeniu sprzężeń zwrotnych postaci:

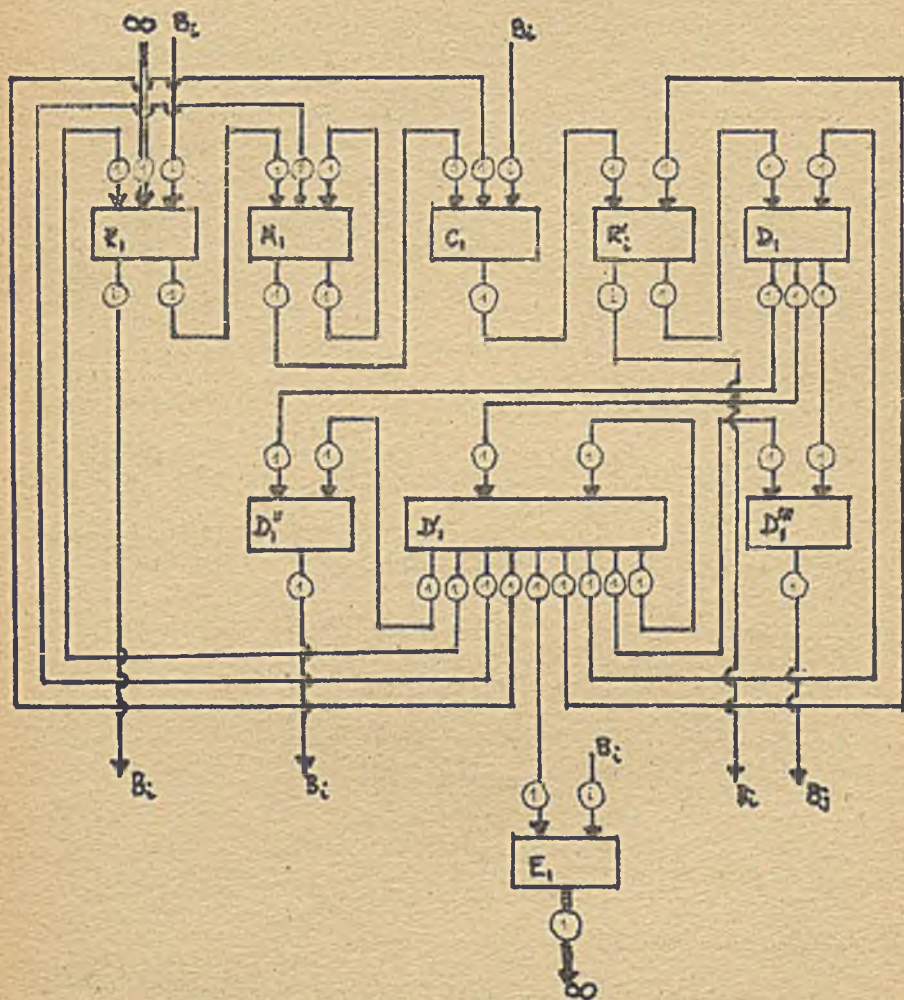
- a/ wyjście ludzkiego efektora informacyjnego - wejście informacyjne instrumentu,
- b/ wyjście informacyjne instrumentu - receptor informacyjny człowieka

/lub analogiczne zwrotne sprzężenie metainformacyjne/.

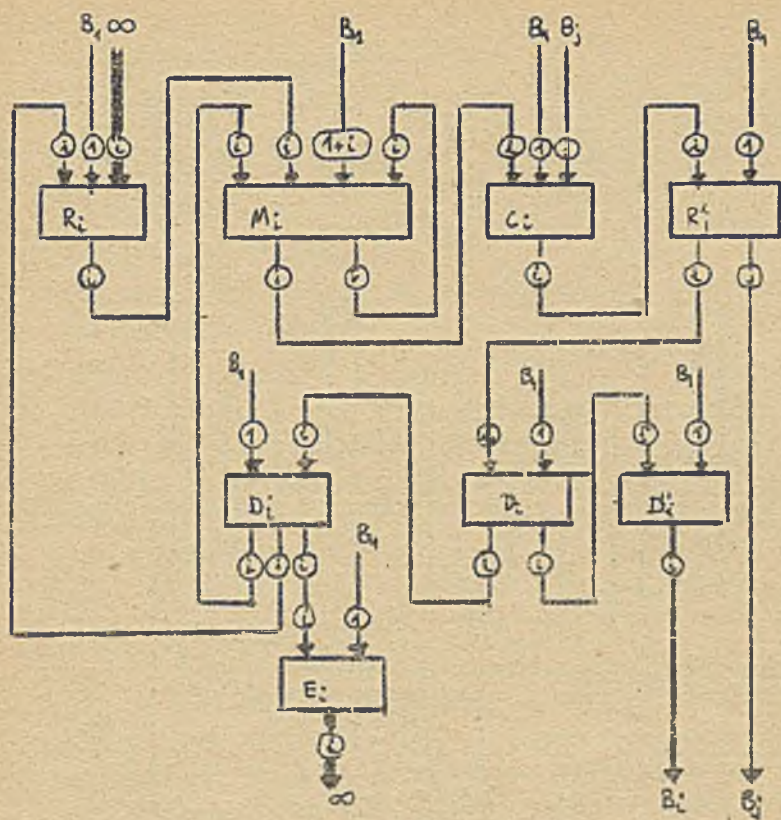
Tablica 2.2

Układy funkcjonalne poszczególnych bloków centralizatu  
zasileniowo-informacyjno-metainformacyjnego

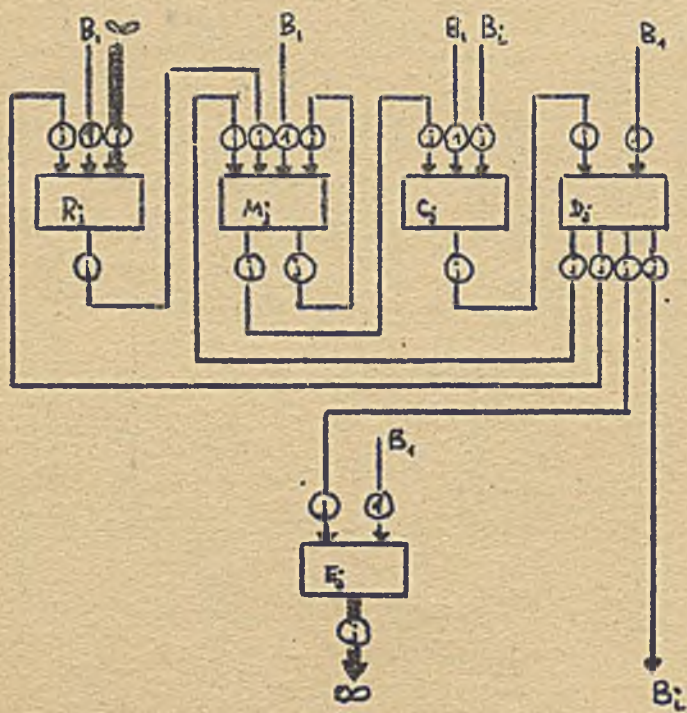
Blok $B_1$	Blok $B_1$	Blok $B_j$
$R_1$ - eksteroreceptor zasileniowy	$R_1$ - eksteroreceptor informacyjny	$R_j$ - eksteroreceptor metainformacyjny
$M_1$ - zasobnik zasilen	$M_1$ - pamięć informacji	$M_j$ - pamięć metainformacji
$C_1$ - centralizator zasilen	$C_1$ - centralizator informacji	$C_j$ - centralizator metainformacji
$R_i$ - interoreceptor informacyjny	$R_j$ - interoreceptor metainformacyjny	$D_j$ - dystrybutor metainformacji
$D_1$ - centralny dystrybutor zasilen	$D_1$ - centralny dystrybutor informacji	$E_j$ - efektor metainformacji
$D_1$ - dystrybutor zasilen wewnętrznych bloku $B_1$	$D_1$ - dystrybutor informacji wewnętrznych bloku $B_1$	
$D_1$ - dystrybutor zasilen wewnętrznych bloku $B_1$	$D_1$ - dystrybutor informacji wewnętrznych bloku $B_1$	
$D_1$ - dystrybutor zasilen wewnętrznych bloku $B_j$	$E_1$ - efektor informacji	
$E_1$ - efektor zasileniowy		



Rys. 2. 3 Blok  $B_1$



Rys. 2.4 Blok  $B_1$



Rys. 2.5 Blok  $B_j$



### 3. Instrumenty intelektualne.

W celu wprowadzenia pewnej systematyki w naszym przeglądzie rozmaitych instrumentów intelektualnych, wyróżnimy dwa poniższe kryteria podziału ogółu instrumentów:

- kryterium "poziomu" pracy,
- kryterium stopnia złożoności.

Rozróżniamy trzy zasadnicze poziomy pracy instrumentów, mianowicie:

- poziom pierwszy-informacyjny,
- poziom drugi - metainformacyjny,
- poziom trzeci - meta-metainformacyjny.

Wyróżnienie tych trzech poziomów pracy pozwala zanalizować charakterystyki działania nawet bardzo złożonych instrumentów. Z drugiej zaś strony jest sprawą oczywistą, że te trzy poziomy nie wyczerpują całości zagadnienia i ich ilość mogłaby wzrosnąć.

Przy pomocy drugiego kryterium możemy przeprowadzić podział na instrumenty intelektualne proste /IIP/, których zadaniem jest wykonywanie jednostkowych operacji o charakterze informacyjnym, meta-informacyjnym albo meta-metainformacyjnym oraz na instrumenty intelektualne złożone.

Instrumenty intelektualne złożone /IIZ/, powstające poprzez sprzęganie, często wielokrotne, pewnych IIP i realizujące pewien ciąg operacji, w których informacje są przetwarzane w/g reguł określonych metainformacjami, zaś metainformacje są charakteryzowane i przetwarzane przy pomocy metainformacji.

Podział na IIP oraz IIZ nosi charakter czysto metodologiczny i wynika z przyjętego przez nas rozstrzygnięcia modelowego, nie jest natomiast związany z jakąś szczególną postacią czy konstrukcją danego instrumentu, występującego jako przykładowa egzemplifikacja zasady, na której opiera się funkcjonowanie całej klasy instrumentów danego typu. Innymi słowy, rozpatrywany instrument zaliczamy do klasy IIP, jeżeli możemy go przedstawić w pewnej "skali szczegółowości" jako jeden układ, wykonujący pojedyn-

czą operację, pomijając zarzecz fakt, czy w rzeczywistości stanowi lub nie stanowi sieci cybernetycznej.

Tak więc nasza systematyka instrumentów intelektualnych, nie spełniając warunków klasycznej klasyfikacji ma na celu wyliczenie ich z podziałem na wyróżnione, przy pomocy wyżej omówionych kryteriów, grupy.

Tablica 3.0

Przykładowe wyliczenie instrumentów intelektualnych










1	2 Instrumenty intelektualne proste	Instrumenty intelektualne złożone
Poziom I	1. Sztuczny obserwator prosty 2. Sztuczny realizator <sup>1/</sup> prosty 3. Sztuczna pamięć prosta 4. Sztuczny tłumacz prosty 5. Sztuczny rachmistrz prosty 6. Sztuczny łącznik prosty	I. Sztuczny obserwator złożony II. Sztuczna pamięć złożona III. Sztuczny rachmistrz złożony IV. Sztuczny realizator złożony
Poziom II	1. Sztuczny metaobserwator prosty 2. Sztuczny metarealizator prosty 3. Sztuczna metapamięć prosta 4. Sztuczny metatłumacz prosty 5. Sztuczny metarachmistrz prosty 6. Sztuczny metałącznik prosty	I. Sztuczny regulator złożony II. Sztuczny ster programowany
Poziom III	1. Sztuczny meta-metaobserwator 2. Sztuczny meta-metarealizator 3. Sztuczna meta-metapamięć 4. Sztuczny meta-metatłumacz 5. Sztuczny meta-metarachmistrz 6. Sztuczny meta-metałącznik	Sztuczny automaty i programowalny rachmistrz komputer

1/ Sztuczny realizator prosty nie jest sam instrumentem intelektualnym, odgrywa jednakże ważną rolę w w schematach IIZ, eliminując konieczność uwzględniania zasileniowego oddziaływania człowieka /innymi słowy zamyka się pętlę działania postaci np. obiekt - instrument - obiekt/.

Przedstawimy teraz przykładowo wybrane typy instrumentów intelektualnych w sposób graficzny.

Dla tego celu rozróżnienie trzech typów wejść i wyjść, mianowicie

i /=-zasilenie/, I /=-informacja/, j /=-metainformacja/  
jest niewystarczające i trzeba wprowadzić ~~nowe~~ bardziej szczegółową legendę:

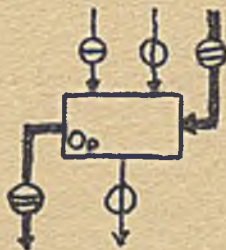
1.  napęd instrumentu, czyli pobierana dla utrzymania sprawności moc,
2.  zasilenie właściwe,
3.  napęd z zasilenia,
4.  napęd z informacją,
5.  zasilenie z informacją,
6.  zasilenie z napędem i informacją,
7.  informacja,
8.  metainformacja,
9.  meta-metainformacja.

Instrumenty intelektualne proste, realizujące operacje poziomu pierwszego zestawimy w postaci poniższego "arsenału" układów. Niektóre z typów IIP posiadają kilka wersji, wersje te różnią się między sobą elementami nieistotnymi, jeśli rozpatrywać ich funkcjonowanie, ale ze względu na dalsze potrzeby /konstruowanie schematów instrumentów złożonych/ musiały być tutaj zamieszczone.

1. Sztuczny obserwator prosty /Op/.

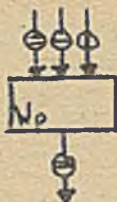
Jest to instrument, przy pomocy którego m.in. "zdejmujemy" charakterystyki interesujących nas własności fizycznych lub chemicznych badanych przedmiotów, aby poddać je dalszemu przetwarzaniu, np. pomiarowi intensywności danej cechy, np. zmianie nośnika informacji o badanej własności itp. Przykładowo można wymienić następujące obserwatory proste: termometr bez skali, komórka fotoelektryczna, wykrywacz pewnych substancji lotnych, mikrofon itp.

1.1



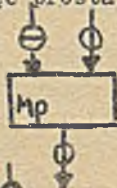
2. Sztuczny realizator prosty /Wp/ oddziałuje zasileniowo na obiekt, jego działanie jest sterowane przez wejście informacyjne. Oddziaływaniem zasileniowym może być wykonana praca /wtedy Wp jest silnikiem/ lub zmiana własności fizycznych lub chemicznych pewnego obiektu /w tym otoczenia/ np. zmiana temperatury, zmiana szybkości przepływu cieczy itp. Instrument ten może być przedstawiony przy pomocy schematu pokazanego poniżej.

2. 1

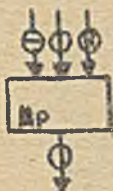


3. Sztuczna pamięć prosta / $M_p$ / przechowuje informacje zapisane w pewnym, właściwym danemu typowi pamięci kodzie na pewnym nośniku. Możemy przykładowo wymienić zapisy urządzeń rejestrujących /taśma barografu, magnetofonu/, informacje liczbowe w postaci tablic i wykresów a także urządzenia techniczne zachowujące swój stan po otrzymaniu bodźca, w tym także pamięci ferrytowe. Sztuczna pamięć prosta miewa następujące schematy:

3.1

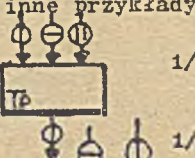


3. 2

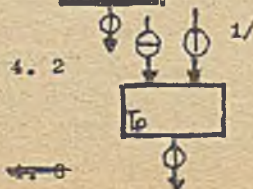


4. Sztuczny tłumacz prosty / $T_p$ / dokonuje przekładu informacji z kodu na kod lub zmienia nośnik informacji. Za sztucznego tłumacza możemy uważać wszelkiego rodzaju skale. Mikrofon, czytnik taśmy perforowanej, perforator oto inne przykłady tego instrumentu.

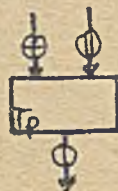
4.1



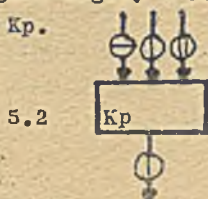
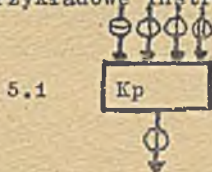
4. 2



4.3

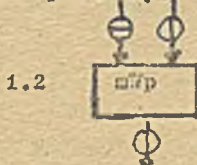
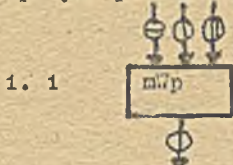


5. Sztuczny rachmistrz prosty /Kp/, to urządzenie wykonujące obliczenia /przetwarzające informacje numeryczne/ sekwencyjnie lub równoległe. Zegary i odczytometry to przykładowe instrumenty typu Kp.

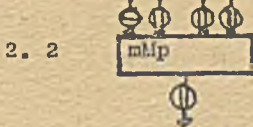
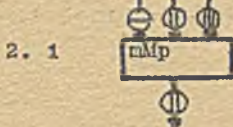


1. Sztuczny metarealizator prosty /mWp/ to instrument wykonujący operacje na informacji nie zmieniając ani kodu ani nośnika informacji, np. wzmocnienie pracy głośnika, np. filtrowanie szumów.

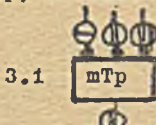
mWp bywa przedstawiony w sposób poniższy:



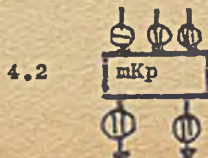
2. Sztuczna metapamięć prosta /mMp/. Instrument ten tylko tym różni się od Mp, że przechowuje metainformacje.



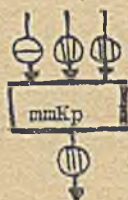
3. Sztuczny metakumacz prosty /mTp/, podobnie jak mMp wykonuje metaoperacje na metainformacjach. Czytnik, komputera, przy pomocy którego wprowadzamy dane jest Tp, natomiast wtedy gdy wprowadzamy program jest mTp.



4. Sztuczny metarachmistrz prosty /mKp/ wykonuje metaoperacje obliczeniowe na metainformacjach. Licznik cykli w e m c jest mKp.



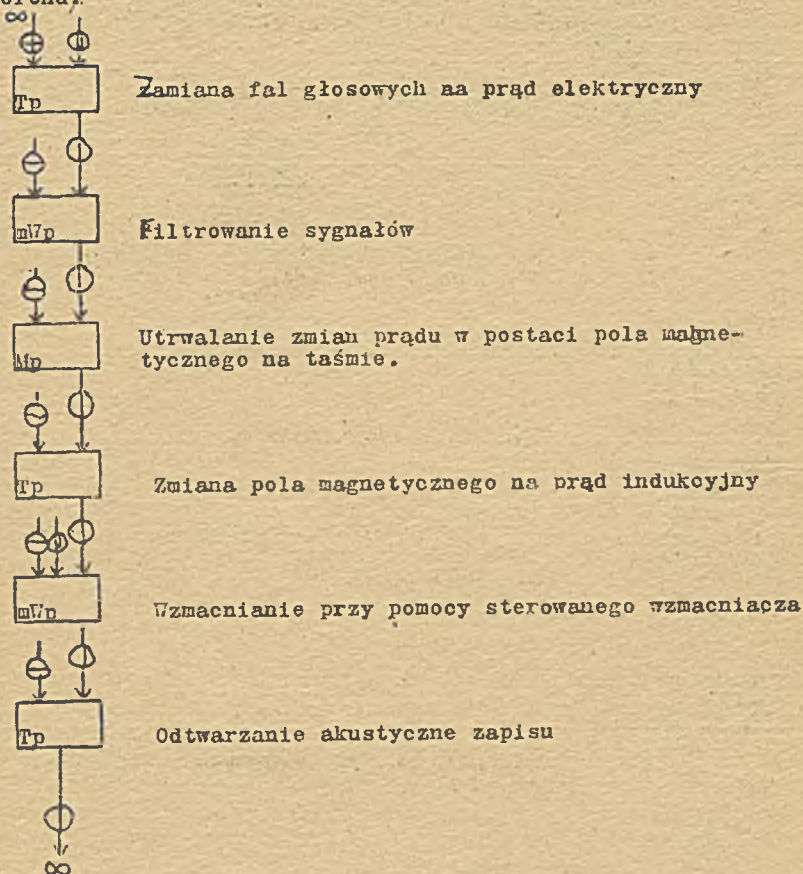
1. Sztuczny meta-metarachmistrz /mmKp/ podobnie jak mKp różni się tym jedynie od Kp, że wykonuje meta-metaoperacje na meta-metainformacjach. Modyfikacja modyfikatora programu obliczeniowego to właśnie wynik działania mmKp.



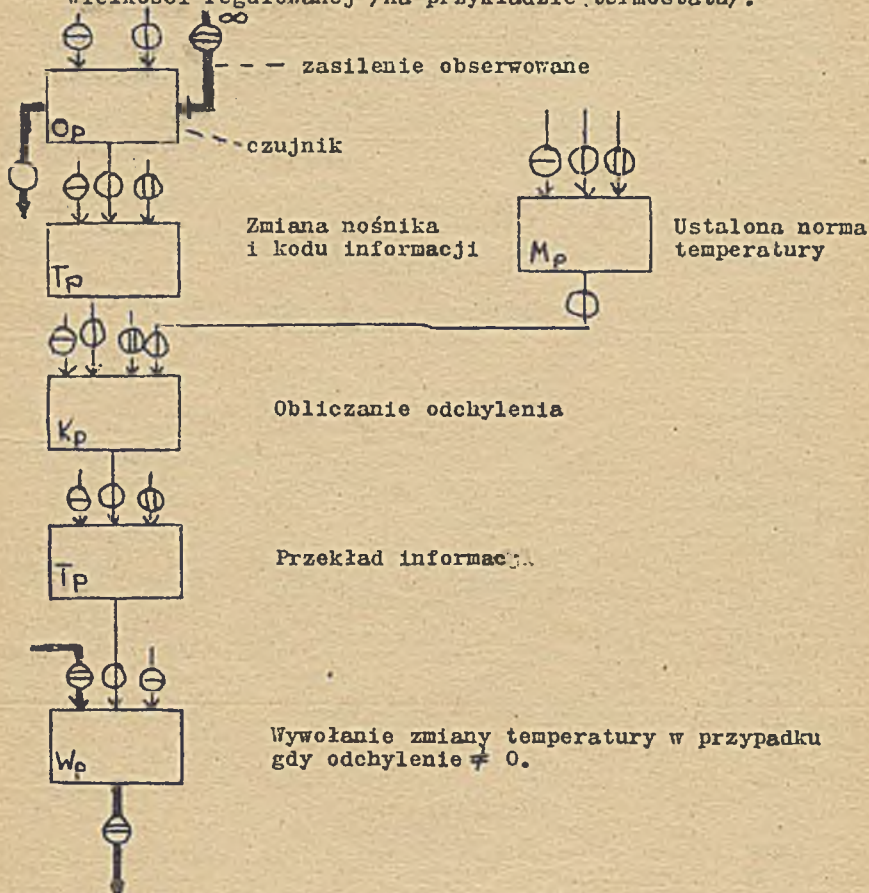
Przedstawimy obecnie schematy trzech różnych złożonych instrumentów intelektualnych. W budowie tych schematów posłużyliśmy się przedstawionymi wyżej układami. Można by skonstruować schematy tych samych instrumentów złożonych w sposób nieco odmienny, np. uszczegółwić je czy też pominąć pewne układy. Ta pewna dowolność w konstruowaniu schematów kryje w sobie możliwość modelowania różnych instrumentów intelektualnych w przydatny do dalszych badań sposób.



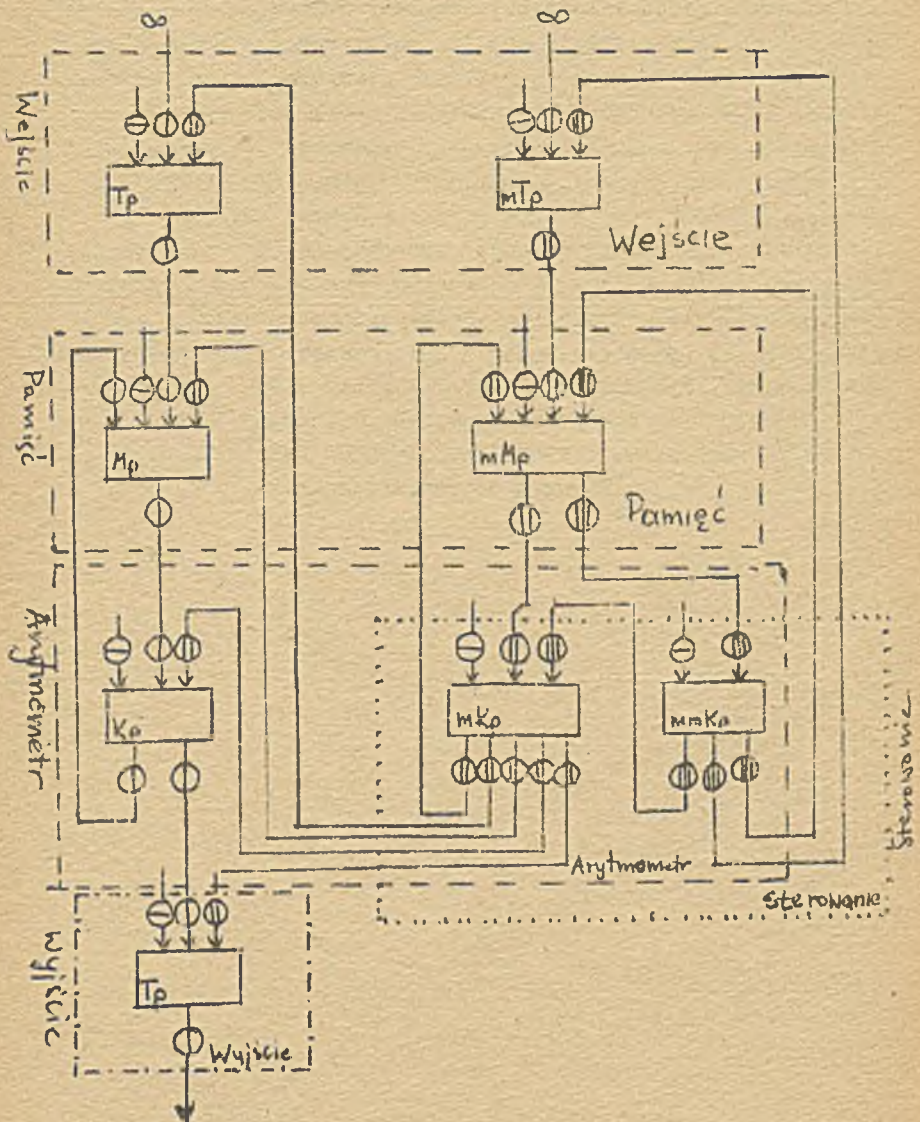
Instrument: sztuczna pamięć złożona /na przykładzie magnetofonu/



Instrument: Regulator utrzymujący stałą wartość zadaną wielkości regulowanej /na przykładzie termostatu/.



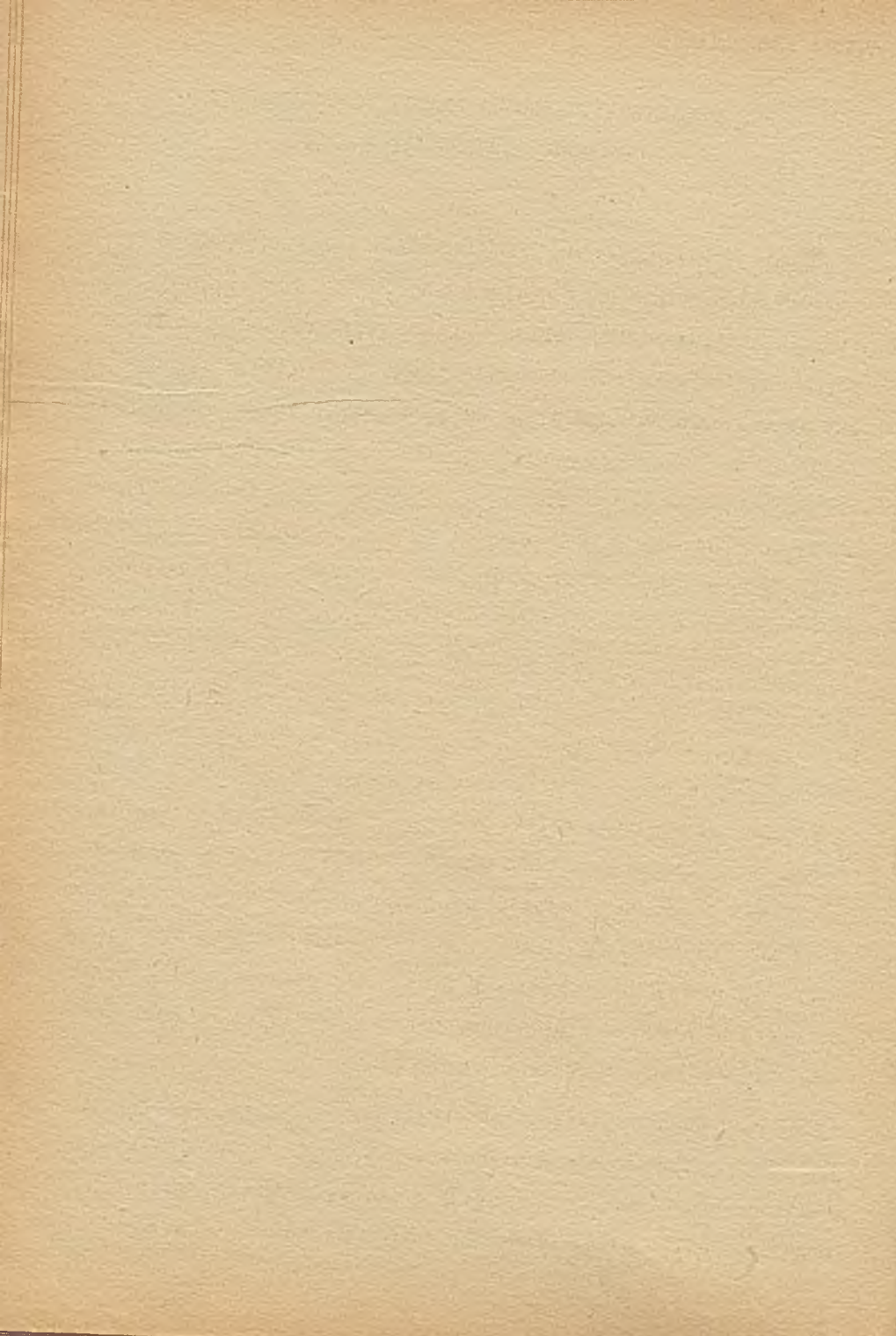
Instrument: Automacyjny, programowany rachmistrz-meta-rachmistrz /na przykładzie komputera/.



### Zakończenie

=====

Tak w sumie przedstawia się, powiedzmy otwarcie, niezakończony wstęp do prakseologicznego i cybernetycznego badania instrumentów intelektualnych. Piszemy otwarcie "niezakończony wstęp", gdyż pewne ważne zagadnienia musieliśmy przemilczeć ze względu na ograniczone ramy tej wypowiedzi. Wśród nich wyjątkowo doniosłe jest zagadnienie kodów i metakodów; tych mianowicie kodów /ew. metakodów/, w których zbudowane są informacje /ew. metainformacje/ występujące na wejściach i wyjściach instrumentów intelektualnych prostych i złożonych. Dobór kodu /ew. metakodu/ ma oczywiście zasadniczy wpływ na złożoność, czy prostotę wnętrza instrumentu, dobór kodu, czy metakodu decyduje nieraz o tym, czy instrumenty proste dadzą się sprządnąć w instrument złożony. Wreszcie dobór kodu czy metakodu ma zasadniczy wpływ na powstawanie wąskich gardeł na styku człowieka z instrumentem intelektualnym.



EWOLUCJA KSZTAŁCENIA PRACOWNIKÓW NAUKOWYCH  
W ŚWIETLE ROZWOJU INFORMATYKI

Wstęp. Przystępując do przedstawienia pewnych rozważań dotyczących kształcenia kadr naukowych w obliczu rozwijającej się techniki obliczeniowej dobrze jest określić sytuację, w jakiej się znajdujemy. Prawdopodobnie wszyscy zdajemy sobie sprawę, jak zasadniczym zmianom uległ na przestrzeni wieków obraz pracownika nauki, zwanego początkowo filozofem, potem uczonym, naukowcem aż wreszcie po prostu pracownikiem naukowym. Zmiana określenia oddaje w pewnym stopniu istotę dokonujących się przemian. Od bezpośredniej obserwacji natury przeszliśmy do obserwacji ukierunkowanych to jest eksperymentów, których interpretacja staje się niezwykle złożona. Od wymiany myśli, dokonywanej w ścisłym gronie uczniów filozofa doszliśmy do zalewu publikacji naukowych. Od polegania na własnym tylko doświadczeniu i rozsądku do pracy w zespołach badawczych; od mecenatu możnych i królów nad nauką do opieki państwa, organizacji czy też koncernu. Objętość wiedzy o świecie doszła do rozmiarów przewyższających znacznie pojemność naszych umysłów. Pojawiła się nowa technika, ułatwiająca poznawanie świata lecz też przysparzająca nowych problemów. Umysł ludzki zaczął się borykać z właściwymi mu ograniczeniami - z ograniczoną pamięcią i ograniczonym czasem przetwarzania zdobytych informacji.

Na tym właśnie etapie, jako naturalne wypełnienie istniejącej luki, pojawiła się maszyna matematyczna. Zasięg jej stosowności okazał się dużo większy od przewidywanego, stąd też pochodzi ogólne zainteresowanie wzbudzone przez to narzędzie.

Spróbujemy opisać wpływ maszyny matematycznej na pracę naukową i wynikające stąd implikacje w dziedzinie kształcenia. Dla większej przejrzystości mówiąc o "nauce" będziemy mieli na myśli głównie /choć nie zawsze/ nauki przyrodnicze.

Maszyny w wykształceniu ogólnym. Kształcenie pracownika naukowego polega z jednej strony na dostarczaniu mu pewnej porcji wiedzy specjalistycznej, właściwej jego zamiłowaniom i zgodnej z obranym przez niego kierunkiem pracy naukowej, zaś z drugiej strony na wyrobieniu u niego zasad zgodnych z metodologią pracy naukowej, rozszerzeniu ogólnych horyzontów, ogólnonaukowych i światopoglądowych, zaznajomieniu go z dyscyplinami grającymi rolę służebnych dla głównego kierunku badań. Ten drugi aspekt kształcenia nazywać będziemy "ogólnym".

Dotychczas w zakresie kształcenia ogólnego znajdowały się matematyka, filozofia, języki, elementy dydaktyki i metodologii nauczania, ekonomia i organizacja pracy /na wydziałach technicznych/. W tym rozdziale chcemy wykazać, że w obecnej epoce ten zestaw przedmiotów winien być uzupełniony przez naukę o maszynach matematycznych i przetwarzaniu informacji, czyli informatykę.

Przede wszystkim należy zauważyć, że istnienie i dostępność maszyn matematycznych zmienia lub co najmniej wywiera niebłahy wpływ na metodologię pracy naukowej. Rzucają one mianowicie z tej metodologii wszelkie czynności zrutynizowane; pracownik naukowy, opracowujący ręcznie np. dane statystyczne, traci czas, który mógłby poświęcić z większym pożytkiem na pracę bliższą swej specjalności. Jak wykazujemy w innych

rozdziałach tego artykułu proces zbierania i opracowywania danych, weryfikacji hipotez, projektowania wyrobów zmienia się pod wpływem obecności maszyn matematycznych, przy czym ich oddziaływanie obejmuje nie tylko skrócenie czasu oczekiwania na wyniki, ale także i na jakość otrzymanyh rezultatów.

Powstaje pytanie, czy nie można by stworzyć nowej specjalności naukowej obejmującej wiedzę o maszynach matematycznych i sprawę stosowania nowej techniki przetwarzania nie złożyć całkowicie na jej barki, bez zmian w strukturze szkolenia w pozostałych specjalnościach. Niezależnie od słuszności postulatu co do nadania właściwej rangi nowej dyscyplinie naukowej /która już zresztą istnieje/ odpowiedź na pytanie to jest negatywna. Współpraca z maszynami matematycznymi specjalistów z dziedzin pozakomputerowych odbywać by się musiała poprzez dodatkowe ogniwo, jakim byłby programista - informatyk. Sytuacja taka miała by liczne wady. Po pierwsze, wprowadzenie tego dodatkowego ogniwa wymagało by dwukrotnego formułowania problemu przeznaczonego do opracowania przez maszynę. Z praktyki wiadomo, że jest nieomal regułą brak wzajemnego zrozumienia się przez użytkownika i informatyka. W wyniku ich współpracy zdarza się najczęściej, że użytkownik otrzymuje wyniki dotyczące niezupełnie tego problemu, który miał na myśli, z drugiej zaś strony użytkownik, nie znając specyfiki pracy maszyny cyfrowej, formułuje problem nieprecyzyjnie i w sposób cząstkowy, nie wykorzystując w pełni wszystkich możliwości maszyny. Obarcza on np. często maszynę wypisywaniem całkiem niepotrzebnych wyników, które służą mu do stwierdzenia pewnego faktu, wykrywalnego przez maszynę bez



zasadniczych trudności.

Po drugie, tok pracy nad problemem rozбивa się w tej sytuacji na dwa całkowicie rozłączne w czasie etapy. Pierwszym jest praca specjalisty nad eksperymentem naukowym bądź opracowaniem teoretycznym i przełożenie wyników tej pracy na język matematyczny, drugim zaś praca programisty i maszyny skierowana na wykonanie niezbędnych obliczeń. Rozbicie to praktycznie uniemożliwia istnienie sprzężenia zwrotnego między prowadzonym przez naukowca eksperymentem a uzyskiwanymi przez maszynę wynikami.

Po trzecie, czas upływający od momentu postawienia zagadnienia naukowego do otrzymania wyników z maszyny matematycznej jest żenująco długi wobec aktualnych szybkości maszyn cyfrowych.

Choć być może mniejszy, niż w przypadku metodologii pracy naukowej, wpływ obecności maszyn na rozszerzenie horyzontów badawczych i światopogląd użytkownika jest również znaczny. Maszyna cyfrowa, eliminując czynności powtarzalne, zrutynizowane i nie wymagające inteligencji, uwalnia pracownika naukowego od wielu przykrych obowiązków, pozostawiając mu tym samym więcej czasu na pogłębianie wiadomości fachowych lub też na zaznajamianie się z problemami innych specjalności. Rozumując istotę i osobliwości pracy systemu liczącego użytkownik nabiera wiary w możliwość dotychczas niemożliwego; maszyna otwiera perspektywy, które dotychczas były przed nim zasłonięte. Dzięki maszynom matematycznym użytkownik jest w stanie być może lepiej ocenić rolę pracy twórczej i stwierdzić,

gdzie leży linia podziału między zagadnieniami badawczymi a odtwórczymi. Pod wpływem maszyn prace o charakterze metodologicznym nabierają większego znaczenia.

Warto stwierdzić, że maszyny wywierają też wpływ wychowawczy na swoich użytkowników. Przede wszystkim uczą poprawnego i logicznego myślenia. Obmyślenie sposobu zastosowania maszyny zmusza użytkownika do jasnego uświadomienia sobie istoty problemu, który chce rozwiązać. Dalej, uczą jasnego i precyzyjnego sformułowania problemu. Kilkakrotne próby napisania programu w języku programowania /nawet wyspecjalizowanym/ i próba uruchomienia go na maszynie wykażą użytkownikowi konieczność sporządzania dokładnych i pełnych opisów. Wreszcie wyrabiają w nim krytycyzm w stosunku do samego siebie i konieczną dla naukowca podejrzliwość co do własnej nieomyślności.

Kwestia walorów użytkowych nauki zwanej informatyką nie wymaga dłuższych komentarzy. Liczne artykuły w prasie fachowej, popularno-naukowej i codziennej przynoszą wiadomości o coraz to nowych dziedzinach zastosowań maszyn matematycznych. Nie sposób wymienić dyscypliny naukowej, która by pozostała nietknięta nową technologią przetwarzania informacji.

Wymienione argumenty świadczą o wpływie maszyn matematycznych przede wszystkim na ogólny aspekt kształcenia. Informatyka jest więc nauką służebną; należy zatem uczyć jej powszechnie.

Jak uczyć informatyki. Dochodząc do wniosku o potrzebie powszechnego nauczania informatyki /mówimy o kształceniu

pracowników naukowych/ nie mamy na myśli bynajmniej jednolitego i powszechnego programu kształcenia w tej dziedzinie. Przeciwnie, program ten powinien być jak najbardziej zróżnicowany i dostosowany do każdej z dyscyplin specjalistycznych z osobna. Ułożenie takiego programu nie należy do zagadnień łatwych. Dotychczasowe doświadczenia wskazują na liczne błędy popełniane przy okazji kształcenia informatycznego. Warto uświadomić sobie, na czym te błędy polegają. Po pierwsze, naukę rozpoczyna się od podstaw organizacji maszyn cyfrowych, to jest od wprowadzenia dwójkowego systemu liczenia. Następnie wyklada się fragmentaryczne wiadomości o programowaniu, najczęściej w jakimś języku zbliżonym do maszynowego, po czym przechodzi się do nauki o projektowaniu systemów API /automatycznego przetwarzania informacji/. Żalome skutki takich kursów nie wymagają komentarzy. Słuchacze, zniechęceni pierwszymi wykładami nie widzą związku między prymitywnym liczeniem w systemie dwójkowym a skomplikowanymi obliczeniami, działaniami na tekstach, podejmowaniem optymalnych decyzji, o których mowa na dalszych wykładach. Nie też dziwnego, że ludzie wyszkoleni w ten /już niestety tradycyjny/ sposób zniechęcają się do maszyn matematycznych i brnią się przed wprowadzaniem nowej techniki. Po drugie, programy innych kursów, na których nie mówi się już o elementach rachunku w systemie dwójkowym, są zazwyczaj przeładowane matematyką numeryczną. To z kolei odstrasza od maszyn tych słuchaczy, których wykształcenie matematyczne skończyło się na szkole średniej.

Wydaje się, że najważświwiej jest organizować kształcenie dla niewielkich grup specjalistów, biorąc jako przykłady te problemy, z którymi stykają się często w swej pracy i pokazując, jakie efekty można by uzyskać przez zastosowanie maszyn matematycznych. Jednakże, aby wykazać jak szeroki jest zakres zastosowań maszyn nie wystarczą odosobnione przykłady, tak jak nie można nauczyć się języka na podstawie kilku wzorów zdań poprawnych. W tym drugim przypadku z pomocą przychodzi nam gramatyka języka, podając pewne reguły, za pomocą których już sami potrafimy układać zdania poprawne. Taką gramatyką informatyki jest ogólna wiedza o strukturze systemów liczących oraz znajomość pewnego, uniwersalnego, lecz niezależnego od maszyny, języka programowania. Analogia z uczeniem się języka sięga głębiej. Nie jest możliwe biegłe opanowanie języka obcego w dowolnie krótkim czasie. Na ogół najkrótszym okresem opanowania języka przy intensywnej nauce jest rok. W informatyce analogiczny okres, według licznych obserwacji, wynosi trzy lata, poświęcone głównie na samodzielne prace przy maszynie i zdobywanie doświadczenia. W nauce informatyki nie może być bowiem mowy o takiej intensywności jaką stosuje się w nauce języków.

Planując szeroko zakrojony program szkolenia w dziedzinie maszyn matematycznych należy brać to pod uwagę. Należy też do każdego grona specjalistów z "obcej" dziedziny podchodzić indywidualnie. Przestrzegając tych dwa zasad unikniemy wielu błędów i możemy mieć nadzieję na osiągnięcie sukcesu w kształceniu.

Maszyny cyfrowe i metody matematyczne. Jednym z zasadniczych elementów przewrotu dokonanego przez maszyny matematyczne jest stworzenie możliwości szerokiego stosowania metod matematycznych. W dobie istnienia maszyn matematycznych jest zasadniczo obojętne, czy metoda polega na znalezieniu średniej z dwu liczb czy rozwiązaniu skomplikowanego układu równań różniczkowych; między tymi metodami istnieje co najwyżej różnica ilościowa, a nie jakościowa. W bibliotekach maszyn cyfrowych dostępne są najbardziej wyrafinowane programy umożliwiające wszechstronną analizę statystyczną danych, znajdowania pierwiastków wielomianu lub układu równań algebraicznych oraz wiele innych, bardziej wyspecjalizowanych. Użytkownik maszyny cyfrowej stoi nie tyle przed koniecznością poznania metody co przed koniecznością jej wyboru spośród innych, pokrewnych. Proces realizacji tej czy innej metody pozostawiony jest maszynie i jako taki staje się drugorzędny, nie interesujący użytkownika. Umiejętność wykonania czynności, określonych metodą schodzi na plan dalszy; ważną się staje umiejętność wybierania i tworzenia nowych metod, coraz to doskonalszych. Jest to zjawisko ogólne w epoce komputeryzacji; działanie zastępowane jest planem działań, zamiast wykonywania czynności człowiekowi pozostaje do wykonania tylko plan tych czynności. Definicja o charakterze teoretycznym, określająca jako efektywną każdą czynność, która da się opisać w postaci skończonego planu, w epoce maszyn nabiera praktycznego znaczenia.

Sytuacja ta nie może pozostać bez wpływu na charakter kształcenia przyszłych pracowników naukowych. Nie może być

mowy o wymaganiu od współczesnych naukowców posługujących się równaniami różniczkowymi znajomości uzasadnienia metody Rungego-Kutty ani nawet schematu tej metody. Wobec wielkiej liczby innych metod, które prawdopodobnie będą mu służyć w pracy badawczej, żądanie takie przekraczało by możliwości ludzkie. Jest to tak, jak gdyby żądać od dodającego dwie liczby w systemie dziesiętnym uzasadnienia znanego algorytmu dodawań i przeniesień. Można natomiast wymagać znajomości metod i umiejętności ich wyboru. Mówiąc krótko, zamiast znajomości środków matematycznych wymagana będzie, w dobie maszyn matematycznych, wiedza o tych środkach, a więc wiedza na wyższym poziomie. Jest zasługą maszyn cyfrowych, że skomplikowane i złożone algorytmy sprowadziły do tego samego stopnia trudności, co dodawanie lub mnożenie.

Widać stąd, jak trudne zadanie stoi przed organizacjami odpowiedzialnymi za kształcenie pracowników naukowych. Należy zagwarantować im odpowiedni poziom wykształcenia matematycznego, które umożliwi im swobodne poruszanie się wśród rozlicznych metod bez przeładowania programu matematyką, co mogłoby spowodować pewne braki w wykształceniu fachowym. Wydaje się, że stopniowe reformowanie kształcenia należałoby zacząć już od szkoły średniej, a kształcenie pracowników naukowych przedłużyć poza moment ukończenia szkoły wyższej. Praktyka wykazuje, jakim powodzeniem cieszą się kursy podyplomowe, w programie których występuje termin "maszyna matematyczna". Jest to naturalny objaw uzupełniania uświadomionych sobie braków w wykształceniu. Kursy takie powinny być organizowane, jak sądzę,

dla każdej dziedziny nauki odrębnie, lub dla całej grupy pokrewnych dyscyplin razem pod tytułem "metody komputerowe w fizyce", "metody komputerowe w psychologii" itd.

Wylania się, jako problem wtórny, zagadnienie wykształcenia wykładowców dla takich kursów. Powinni być nimi fachowcy zarówno w dziedzinie specjalistycznej, dla której kurs taki jest przeznaczony, jak i w informatyce. Kadra wykładowców dla takich kursów winna być szczególnie starannie dobrana i równie starannie wykształcona w dziedzinie maszynowej.

Maszyny i doświadczenia. Najczęściej spotykany sposób zastosowania maszyny matematycznej w pracach doświadczalnych polega na opracowaniu przez maszynę danych, zebranych w czasie doświadczenia. Korzystając z maszyny eksperymentator nie musi ograniczać liczby danych rejestrowanych w wyniku doświadczenia; pamięci maszyn są tak obszerne a szybkość przetwarzania tak duża, że praktycznie takie ograniczenie nie istnieje. Można więc pokusić się o zarejestrowanie nie tylko końcowych wyników eksperymentu lecz także o pewne wyniki pośrednie, które uporządkowane chronologicznie mogą zobrazować "historię" przeprowadzonego doświadczenia. W ten sposób cały eksperyment może być, w formie abstrakcyjnej, zapisany np. na taśmie magnetycznej i przechowywany w archiwum. Zebrany materiał może służyć nie jednemu pracownikowi, lecz całemu zespołowi i dla wielu różnych interpretacji wyników.

Innym sposobem posłużenia się maszyną w doświadczalnictwie jest bezpośredni udział maszyny w trakcie trwania eksperymentu.

W tym przypadku maszyna interpretuje otrzymywane dane na bieżąco, pozwalając kontrolować przebieg doświadczenia bądź to za pośrednictwem człowieka, bądź też w sposób automatyczny.

Ważnym problemem dla właściwego wykorzystania maszyny w pracy doświadczalnej jest umiejętne zastosowanie urządzeń wyjściowych z maszyny. Różnorodność urządzeń wyjściowych maszyn cyfrowych stwarza wiele dogodnych możliwości dla przedstawienia rezultatów pracy maszyny. Wyniki mogą być wydawane w postaci tabel liczbowych, tekstów, wykresów, rzutów perspektywicznych, obrazów na ekranie oscyloskopowym. Czasem wyniki mogą być wyprowadzane z maszyny w postaci niejawnej, np. na taśmie magnetycznej, jako trwały i nadający się do dalszego opracowania maszynowego materiał doświadczalny. Bywa niekiedy wygodne użycie wyników pracy maszyny jako sygnałów sterujących przebiegiem pewnego dalszego eksperymentu.

Właściwe wykorzystywanie maszyny wraz z jej urządzeniami wyjściowymi zależy od umiejętnego postawienia problemu, przeznaczanego do maszynowego rozwiązania. Nawyki wytworzone w czasach, gdy jedyną pomocą w przetwarzaniu danych typu naukowego był arytmometr biurkowy stoją czasem na przeszkodzie właściwemu postawieniu zadania. W czasach tych przetwarzanie danych było złem koniecznym, którego w miarę możliwości należało unikać. Stąd istnieje tendencja do ograniczania czynności przeznaczonych do wykonywania maszynowego. Przy stosowaniu maszyn cyfrowych sytuacja jest krańcowo różna; złem koniecznym jest ingerencja człowieka w tok pracy maszyny. Przełamanie tych



nawyków zależy od stopnia uświadomienia sobie przez użytkownika, które etapy jego pracy są zrutynizowane, lub mogą być traktowane jako takie, a które wymagają inteligencji właściwej tylko człowiekowi. Rzecz wygląda prosto tylko pozornie; nawet doświadczeni programiści zbyt często pozostawiają człowiekowi możliwość wyboru też innej decyzji tam, gdzie z powodzeniem mogłaby to uczynić maszyna. Przykładem jest tutaj nie zawsze właściwy sposób tworzenia tzw. bibliotek programów dla maszyn matematycznych.

Istnieje też i inna przyczyna takiego stanu rzeczy. Jest nią kryzys trwający już od pewnego czasu w dziedzinie oprogramowania maszyn cyfrowych. Jest prawdopodobne, że kryzys ten powstał z braku zarówno teorii jak i form organizacyjnych tworzenia oprogramowania dla maszyn cyfrowych.

Sprawa otrzymywania właściwych wyników pracy maszyny cyfrowej wymaga też poza zdrowym rozsądkiem pewnej kultury we współdziałaniu z maszyną. W skład tej "kultury" wchodzi takie zagadnienia, jak podział pracy między człowieka i maszynę, uświadomienie sobie możliwości maszyn, rola inwencji użytkownika, rola maszyn w zespołach badawczych, planowanie badań przy uwzględnieniu dostępnych maszyn. WYROBIENIE tej kultury nie jest sprawą prostą i poza wysłuchaniem odpowiedniego cyklu wykładów wymaga od adepta solidnej praktyki w eksploatacji maszyny. Jak wspomnieliśmy kulturę tę można nabyć dopiero po minimum trzech latach doświadczeń. Nie oznacza to oczywiście, że każdy użytkownik po trzech latach osiągnie spodziewany poziom.

Maszyny i modele matematyczne. Poprzedni rozdział dotyczył głównie interpretacji maszynowej danych, uzyskanych drogą pewnego eksperymentu. Obecnie zajmujemy się doświadczeniami, można by rzec, wtórnymi, odnoszącymi się nie tyle do bezpośredniej rzeczywistości a do koncepcji mniej lub więcej abstrakcyjnej. Nie negując pożytku płynącego z obserwacji rzeczywistości wydaje się, że przynajmniej w dziedzinie konstrukcji, tworzenia hipotez oraz w innych zagadnieniach poznawczych, badanie modeli matematycznych pewnych zjawisk jest metodą bardzo owocną.

Mówiąc w dużym skrócie, metoda ta polega na utworzeniu opisu formalnego pewnego zjawiska, to znaczy na takim doborze abstrakcyjnych obiektów i relacji zachodzących między tymi obiektami, które są zgodne z rzeczywistością zaobserwowanymi stosunkami w przyrodzie. Przypomina ona zasadę interpolacji matematycznej, gdzie konstruujemy krzywą, zgodną z wynikami eksperymentalnymi w pewnych wybranych punktach i na tej podstawie wnioskujemy o położeniu innych punktów na tej krzywej. Rzecz jasna, właściwości takiego modelu są zgodne z rzeczywistością tylko z ograniczoną dokładnością; tym nie mniej udaje się niekiedy przewidzieć fakt rzeczywisty na podstawie badania modelu. Praca nad tworzeniem modelu funkcjonalnego jest pracą o charakterze doświadczalnym; konfrontowanie modelu z rzeczywistością prowadzi do modyfikacji modelu i powtórnego porównania, aż do uzyskania wystarczającego stopnia zgodności z doświadczeniem. Jak i wszędzie w nauce, jednym z kryteriów właściwego doboru modelu jest jego prostota koncepcyjna, tak więc na pewnym etapie, jeśli

zajdzie tego potrzeba, prowadzący badania odczuwa konieczność zmiany zasańcziej koncepcji modelu. Klasycznym przykłądem modelu matematycznego z okresu przedkomputerowego są teorie Ptolemeusza i Kopernika ruchu planet. Obie zgadzały się z rzeczywistością w tym stopniu dokłądności, z jakim przeprowadzano wówczas obserwacje, z tym, jednak, że teoria Kopernika była modelem prostszym. Odkrycie Urana a później Plutona było dokonane drogą ekstrapolacji wlaściwości modelu Kopernikańskiego, uzupełnionego dzięki teorii grawitacji.

Ten ostatni przykłąd wskazuje na zmianę jakościową dokonaną w kwalifikacji prac jako naukowych dzięki pojawieniu się maszyn matematycznych. Obliczenie parametrów orbity Urana było traktowane jako praca czysto naukowa. Nie można tego powiedzieć o współcześnie dokonywanych obliczeniach efemeryd planetoid.

Metoda tworzenia modeli nabrała znaczenia dopiero w dzisiejszych czasach i to dzięki szybkości uzyskiwania odpowiedzi na pytanie o zachowanie si modelu, szybkości możliwej do osiągnięcia dzięki maszynom matematycznym. Czasem ta szybkość jest warunkiem sensowności budowy modelu, np. model ruchu pojazdu kosmicznego tworzony z myślą zastosowania go do sterowania tym pojazdem musi być badany tak szybko, ażeby uzyskana odpowiedź nadeszła w czasie, gdy korekcja trajektorii jest jeszcze możliwa. Badanie modelu i jego modyfikacje, dokonywane bądź to przez zmianę parametrów modelu bądź przez zmianę jego struktury nabiera realnej przydatności dzięki ogromnemu postępowi w szybkości liczenia i - rzecz niebagatelną - dzięki możliwości

bezpośredniej, wizualnej obserwacji zachowania się modelu drogą np. wyświetlania pewnych schematycznych obrazów na ekranie oscyloskopu. Ten wyświetlany obraz może być czymś wyidealizowanym, różnym od obrazu rzeczywistego; ważna jest jedynie jego komunikatywność dla człowieka.

Opisane pokrótce narzędzie nabiera w naukach coraz to większego znaczenia i znajduje zastosowanie począwszy od nauk społecznych a skończywszy na fizyce jądrowej. Tak jak umiejętność właściwego przedstawienia wyników maszynowych /tj. zaprojektowania procesu przetwarzania danych eksperymentalnych/ wymaga gruntownej znajomości zastosowań i możliwości maszyn matematycznych, to umiejętność tworzenia i badania modeli zjawisk wymaga solidnych podstaw matematycznych. Mówiąc "matematycznych" mamy tutaj na myśli metody właściwe matematyce, jak umiejętność tworzenia abstrakcji, posługiwania się formalizmem, dostrzeganie istotnych związków między obiektami i pomijanie faktów nieistotnych, umiejętność logicznego myślenia. Szczególną rolę w kształceniu pracowników, zdolnych do tworzenia modeli odgrywa matematyka dyskretna, podstawy logiki i teorii mnogości, statystyka i procesy stochastyczne. Realizacja maszynowa modelu wymaga od projektanta znajomości jednego z języków programowania. Istnieją języki programowania wyspecjalizowane dla celów modelowania, jednakże wymagają od posługującego się nimi dość znacznego wyrobienia zarówno w dziedzinie maszyn jak i w matematyce. Postępująca matematyzacja studiów, zapoczątkowana jeszcze przed nadejściem epoki maszyn liczących, powinna więc postępować w dalszym ciągu. Wydaje się jednak,

że matematyzacja ta postępuje nie zawsze we właściwym kierunku, np. do rzadkości należy wykład z podstaw logiki i teorii mnogości na wydziałach niematematycznych i poza uniwersytetami.

Maszyna matematyczna jako narzędzie kształcenia. Dotychczas była mowa o pewnych problemach kształcenia potrzebnego dla umiejętności posługiwania się maszyną jako narzędziem pracy naukowej. W tym rozdziale rozważymy pokrótce rolę maszyn jako pomoc w nauczaniu i kształceniu przyszłych pracowników naukowych. Pierwszym i chyba /jak na razie/ zasadniczym zadaniem maszyny w procesie kształcenia jest jej dostępność dla kształconych. Nie jest właściwa sytuacja, w której student czy pracownik naukowy w sposób jedynie okazjonalny styka się z maszyną. Maszyna matematyczna powinna być dostępna słuchaczowi wyższej uczelni, choćby nawet w bardzo ograniczonym wymiarze czasu już od pierwszych lat studiów aby zastąpić u niego dotychczasowy, często fałszywy, pogląd na "mózg elektronowy", nabyty dzięki prasie lub powieściom fantastycznym, przez pogląd właściwy, sprowadzony do realnych wymiarów. Studiujący powinien zorientować się w miarę możliwości jak najwcześniej, że maszyna jest narzędziem, które może mu oddać w przyszłości nieocenione usługi. Dostępność ta stanowi bierny udział maszyny matematycznej w procesie kształcenia.

Czynny udział maszyny w kształceniu pracowników naukowych jest obecnie znacznie ograniczony. Nie znaczy to, że tak będzie i w przyszłości. Istnienie dużych i szybkich maszyn, które mogą dzielić swoją moc obliczeniową między wielu użytkowników umożliwia, na razie jeszcze w skromnym zakresie, spełnianie przez

maszynę roli programowanego podręcznika, z którego może korzystać wielu studentów na raz. Istotne jest to, że maszyna może być czymś więcej, niż zwyczajnym podręcznikiem programowanym, a mianowicie aktywnym i dynamicznym partnerem kształconego. Prawdopodobnie już w niedalekiej przyszłości możliwe będzie zrealizowanie programów, dzięki którym maszyna będzie stanowić programowany podręcznik zawierający poza częścią tekstową /obejmującą wykłady i ćwiczenia/ także rysunki, i to rysunki niezwykle, gdyż ruchome. W ten sposób można będzie ilustrować zagadnienia o charakterze dynamicznym np. zmieniający się w czasie kształt fali uderzeniowej, zmienność pola elektromagnetycznego /oczywiście w pewnej idealizacji/, przebieg niektórych procesów iteracyjnych w matematyce obliczeniowej. Tak więc uczenie przy pomocy maszyny z ekranem łączy dodatkowo cechy wykładu telewizyjnego ilustrowanego filmami z dodatnimi cechami programowanego podręcznika, to jest z umiejętnością dostosowywania się do indywidualności każdego ucznia.

Nieco inną funkcję, lecz także o charakterze czynnym, będzie pełnić maszyna w laboratorium. Przypuszczalnie symulować tam będzie pewne zjawiska, trudne do zrealizowania w warunkach laboratoryjnych a pożyteczne do zademonstrowania. Będzie się to dziać na zasadach podobnych tym, które stosuje się w konstrukcji istniejących już symulatorach lotu w nauce pilotażu. W zaawansowanym doświadczeniu maszyna, lub jej końcówka, uczestniczyć będzie jako jedno z aparaturowych ogniw prowadzonego i demonstrowanego eksperymentu.

Nie należy również zapominać o znaczeniu roli maszyn w zagadnieniach organizacyjno-administracyjnych toku kształcenia. Jej działanie w tych zagadnieniach, podobnie zresztą jak i we wszelkich innych przyczynia się do zlikwidowania chaosu organizacyjnego, umożliwienia szybkiej i bezbłędnej sprawozdawczości, sygnalizowaniu nieprawidłowości. Zagadnienia te wykraczają jednak poza ramy tego artykułu.

Maszyna matematyczna jako element rzeczywistości. W rozdziale tym zajmiemy się szczególnie kształceniem tych pracowników naukowych, którzy w swej pracy mają do czynienia z koniecznością projektowania urządzeń. Mogą to być np. fizycy, projektujący pomocną im aparaturę, inżynierowie, pracujący twórczo nad konstrukcją nowych narzędzi, ekonomiści rozważający strukturę administracyjno-ekonomiczną tworzonego organizmu gospodarczego. Projekty te, po wdrożeniu do praktyki, staną się własnością społeczną i trwać prawdopodobnie będą długo. Im będą one bardziej nowoczesne i bardziej doskonałe, tym lepiej będą pełniły swe funkcje użytkowe. W interesie nas wszystkich leży zagwarantowanie takiego poziomu nowoczesności wytworom projektantów, aby trwanie tych wytworów nie stało w sprzeczności z ogólnym standardem cywilizacyjnym społeczeństwa. Jak wskazuje przykład krajów rozwiniętych udział maszyn matematycznych w nowoczesnych urządzeniach, np. pojazdach kosmicznych, obrabiarkach lub też nowoczesnych strukturach organizacyjnych /banki, przedsiębiorstwa/ stale wzrasta. Kształcenie projektantów takich wyrobów, czynność niezwykle odpowiedzialna, musi uwzględniać tę wzmagającą się tendencję.

O ile problemy kształcenia projektantów, tradycyjnie związanych z metodami matematycznymi i nawet komputerowymi sprowadzają się do już omówionych, to w przypadku twórców struktur administracyjnych lub prawnych, właściwe kształcenie jest sprawą, jak się przynajmniej wydaje, niezmiernie trudną, aczkolwiek konieczną. Wielokrotnie, przy różnych okazjach i na różnych łamach stwierdzono, że automatyzacja zarządzania, wprowadzanie elektronicznej techniki obliczeniowej do gospodarki, kompleksowe przetwarzanie danych w przedsiębiorstwach musi być wyprzedzane przez zmianę lub nadanie wyższej formy organizacyjnej usprawnianej jednostce. Jasne jest, że formy nadające się do wprowadzania komputeryzacji muszą być opracowywane przez ludzi w pełni świadomych istoty elektronicznej techniki obliczeniowej. Niestety, nie zawsze tak się dzieje. Istnieje tendencja uznawania za specjalistów w dziedzinie automatycznego przetwarzania informacji ludzi, przeszkolonych na dwumiesięcznych kursach. Nierzadko też, w wyniku niewłaściwego postępowania we wprowadzaniu ETO /elektronicznej techniki obliczeniowej/ do przedsiębiorstwa odpowiedzialnością za poniesione fiasko obarcza się samą technikę obliczeniową a nie ludzi, wprowadzających tę technikę do nieprzygotowanej organizacyjnie jednostki.

Mało kto zdaje sobie sprawę, jak pewne przepisy prawne /np. w dziedzinie gospodarki finansowej/ słuszne w dobie arytmometrów i tablic mogą utrudnić sporządzenie programu, tak elementarnego w dziedzinie przetwarzania danych, jakim jest sporządzenie listy płac. Trudno z kolei dziwić się i zarzucać projektantom zarządzeń nieznaną im praw rządzących zmechanizowanymi rachunkami, skoro nikt od nich takiej znajomości nie



wymaga. Przy automatyzacji gospodarki finansowej ważną też rolę odgrywa stabilizacja przepisów, unikanie tworzenia nowelizacji i wyjątków w istniejących przepisach, co jak wiemy, dość często się zdarza.

Sytuację w kształceniu tej grupy projektantów utrudnia nieznamość formalizacji stosunków i relacji między elementami struktur administracyjno-prawnych. Mówiąc w skrócie, brak jest "arytmetyki" zarządzania umożliwiającej łatwe przejście od rzeczywistości do programu maszynowego. Stworzenie takiej arytmetyki jest nietrywialnym problemem dla fachowców w dziedzinie zarządzania. Do czasu powstania formalizacji zagadnień administracyjnych jedyną drogą do poprawy aktualnego stanu jest ograniczona co prawda, lecz konieczna matematyzacja studiów ekonomiczno-administracyjnych.

Zakończenie. Problem właściwego wykształcenia pracowników naukowych w informatyce jest problemem bardzo złożonym i jak czytelnik zdołał zapewne zauważyć z poprzednich, z konieczności bardzo szkicowych rozważań, jego korzenie sięgają daleko włąb, do szkolnictwa średniego a nawet podstawowego. Pracowników naukowych, dobrze zorientowanych w informatyce, będziemy mieć tylko wówczas, gdy szkolnictwo średnie zapewni swym uczniom dostateczne wyrobienie matematyczne a szkoła wyższa da podstawy przetwarzania informacji i zaznajomi słuchaczy z maszynami matematycznymi. Program nauczania informatyki powinien być tak skonstruowany, aby wiedza i wyrobienie w tej dziedzinie, na każdym stopniu kształcenia, dawały albo możliwość wykorzystania maszyn na tym poziomie, na którym kształcenie zostało zakończone,

albo podstawę do dalszego pogłębiania wiedzy w tej dziedzinie. Na szczycie tej hierarchii studiów kończyć się powinno kształcenie pracowników naukowych.

Taki schemat kształcenia wynika z ogólności wykształcenia informacyjnego i z wymaganej powszechności tej wiedzy. Rzecz jasna, zakres kształcenia informatycznego powinien uwzględniać zarówno szczebel szkoły jak i jej specjalność. Istnieją natomiast pewne wspólne przedmioty z zakresu informatyki, dla najniższego szczebla lub dla wszystkich specjalności. Należy do nich np. sporządzanie planów działań i logika tych planów, przedmiot, który z powodzeniem jest nauczany jak mi wiadomo w szkołach podstawowych wśród małych Indian meksykańskich.

Nie od rzeczy będzie też wspomnieć o kształceniu specjalistycznym samych informatyków, to jest ludzi, zajmujących się zawodowo maszynami matematycznymi. Jak dotychczas, ani politechniki, ani uniwersytety nie wypuszczają pełnowartościowych fachowców w tej dziedzinie. Budowa maszyn, tworzenie z surowej maszyny cyfrowej pełnosprawnego narzędzia, tworzenie systemów przetwarzania informacji nie jest sprawą prostą i wymaga długotrwałego, ujętego we właściwe ramy organizacyjne, wysiłku wielu specjalistów. Adaptacja maszyn importowanych, z tak zwanym oprogramowaniem podstawowym, wymaga również przystosowania ich do prac ośrodków, w którym będą zainstalowane. Kształcenie informatyków jest rzeczą konieczną i muszą się znaleźć formy, gwarantujące właściwy poziom i stały dopływ kwalifikowanej kadry do centrów badawczych.



Władysław M. Turski

Wpływ stosowania maszyn cyfrowych na rozszerzenie  
możliwości badawczych

Gdy w marcu organizatorzy naszego Sympozjum zapraszali mnie do wygłoszenia referatu zaproponowali mi jego roboczy tytuł : "Maszyna matematyczna jako likwidująca pewne typy problemów badawczych".

Dość długo nie mogłem "rozgryźć" semantycznego znaczenia tak sformułowanego tematu. Przyjmując, że kluczem do zrozumienia są tu słowa "likwidująca" i "problemów badawczych" starałem się pojąć co może oznaczać "likwidowanie problemów badawczych", w wyniku tych rozważań doszedłem do przekonania, że roboczej wersji tytułu nie należy traktować dosłownie, gdyż wszelkie próby interpretacji "wprost" prowadzą do nieco absurdalnych konkluzji; jeśli dobrze pojąłem zamiar organizatorów, właściwie odczytanie roboczej wersji tytułu uzyskujemy wnioskując "przez dopełnienie". Nie chodzi bowiem zapewne o "likwidowanie problemów badawczych" - czym tyleż niechlubnie co skutecznie parają się niekiedy "urzędnicy od nauki", ale o to, jak zastosowanie maszyn cyfrowych rozwiązuje pewne typy trudności w pracy badawczej. W takim duchu pozwoliłem sobie ustalić nowy tytuł mego referatu i w takim zamiarze przedstawiam ten referat łaskawej uwadze zainteresowanych, prosząc by zechcieli - chociażby gwoli własnej satysfakcji - przemyśleć konsekwencje dosłownego traktowania pierwotnej wersji tytułu.

Jeśli poświęciłem kilkanaście wierszy na tą sprawę, to nie tylko dlatego by usprawiedliwić zmianę tytułu, ale także dlatego by podjąć pewną dyskusję. Uderzające jest przecież jak często w kręgu spraw, z maszynami liczącymi związanych, nadużywa się pojęć uniwersalnych, obiecuje panacea i wyolbrzymia aspekty cząstkowe.

Jak często, powodowani łatwością personifikacji i odwiecznym homotropizmem, zapominamy o cudzysłowach i omówieniach tam, gdzie opisujemy czynności systemów liczących. Innymi słowy, zbyt często, jak na rzetelnych badaczy, stwarzamy postronnym odbiorcom plodów naszej myśli iluzję, iż odkryliśmy "kamień filozoficzny". Jeśli zaś iluzję tę hołubić będziemy we własnym środowisku - czekają nas gorzkie rozczarowania i - w najlepszym razie - pobłażliwe współczucie następnych pokoleń, takie jakim my obdarzamy astrologów, alchemików i tych, dla których znajomość praw mechaniki, zwanej dziś klasyczną, "zlikwidowała problemy badawcze".

Pojawienie się elektronicznych maszyn liczących na scenie badań naukowych nastąpiło w takim momencie historycznym, gdy część nauk przyrodniczych od dawna już stosowała metody ilościowe, a pozostałe - szybko budowały właściwe aparaty teoretyczne i interpretacyjne, niezbędne dla zastosowania na szeroką skalę metod numerycznych - często i nie bardzo poprawnie utożsamianych z metodami matematycznymi.

Nie dziwota więc, że początkowe zastosowania maszyn cyfrowych nie odbiegały w zasadzie od tradycyjnej roli środków rachunkowych. Co prawda, nawet w tej początkowej fazie, nawet przy najprostszych zastosowaniach, okazało się, że ten nowy środek rachunkowy wymaga odmiennej metodologii pracy, że opłaca się, to znaczy sprzyja zwiększeniu efektywności badań, opracowanie algorytmu obliczeń dla całych problemów naraz - zamiast dotychczas stosowanego "drobienia" problemu /n.p. na części rachunkowe, tablicowe i intuicyjne/, ale były to zmiany tak niewielkie, występujące przy tym w kontekście tak powszechnego zadowolenia z tego, że nareszcie można było w rozsądnym czasie wykonywać rachunki, na które przed tym trwoniono całe dziesięć-

ciolecia, że nie sposób jeszcze było poważnie mówić o zmianach jakościowych, o wpływie stosowania maszyn cyfrowych na problematykę badań.

Dopiero nieco później, gdy "wyczerpał" się początkowy bezkrytyczny entuzjazm, a z nim faza liczenia "co popadnie", podjęto prace obliczeniowe na skalę nieznaną uprzednio: rachunki, których nie podejmowano wcześniej bo nie było nadziei na ich wykonanie nawet dużymi zespołami ludzkimi przy użyciu tradycyjnego sprzętu.

Po tym pierwszym okresie zastosowań "czysto obliczeniowych" - okresie, o którym nie wiele ciekawego można powiedzieć ponadto, co zawiera każde opracowanie popularyzatorskie - chyba to tylko, że nie posiada on wyraźnych uniwersalnych granic czasowych i, w niektórych krajach i niektórych gałęziach wiedzy trwa do dzisiaj - wyodrębnić należy dwa nurty rozwoju zastosowań elektronicznej techniki obliczeniowej /ETO/ w pracy naukowej. Nurt główny - nazwiemy go nurtem informatycznym i nurt oboczny - numeryczny.

Dokonując tego rozróżnienia narażam się na dwa zarzuty. Po pierwsze - nurt informatyczny, t.j. traktowanie ETO jako sprzętu do przetwarzania informacji obejmuje także, jako przypadek szczególny, przetwarzanie informacji numerycznej. Po drugie - nurt informatyczny dopiero w ostatnich kilku latach zdobywa sobie uznanie mniej więcej równe temu, jakim od dawna cieszy się nurt numeryczny - przeto przesadą jest nazywać go nurtem głównym. Biorąc jednak pod uwagę występujące tu i ówdzie tendencje do absolutyzowania wyłącznej "naukowości" zastosowań numerycznych i traktowania nienumerycznych zastosowań informatycznych jako działalności drugorzędnej, uważam za celowe rozłączne potraktowanie tych dwu kierunków, przede wszystkim dla tego, by

łatwiej pokazać, że nawet przy sztucznie wprowadzonym i z uporem zachowywanym podziale, dochodzimy nieuchronnie do wniosku o asymptotycznym wchłonięciu zastosowań numerycznych przez ogólne techniki informatyczne. Inaczej powiedziawszy, pragnę wykazać, że początkowe wyodrębnienie i niewątpliwie poważne osiągnięcia samodzielne zastosowań numerycznych ETO w pracach badawczych są wynikiem warunków historycznych, panujących u progu wprowadzenia ETO do tych prac i że relatywne znaczenie nurtu numerycznego przeszło już swój zenit, mimo, że znajdujemy się dopiero na samym początku tej drogi, po której mamy nadzieję wprowadzić ETO do prac badawczych.

Zajmiemy się przeto najpierw owym nurtem numerycznym, wywodzącym się bezpośrednio z okresu "czysto obliczeniowych" zastosowań ETO.

O ile w pierwszym okresie ETO stosowana była wyłącznie do wykonania obliczeń, których celem było znalezienie pewnego zbioru liczb stanowiących powiedzmy, rozwiązanie równania lub współczynniki wielomianu aproksymującego - a w interpretacji - efemerydę ciała niebieskiego lub parametry charakteryzujące aktywność czynników reakcji chemicznej - o tyle o następnym kroku zastosowań numerycznych skłonni jesteśmy mówić, gdy celem obliczeń jest uzyskanie odpowiedzi na pytanie "jak" raczej niż "ile"!

Typowymi dla tego rodzaju zastosowań ETO są modele numeryczne, dokładniej: modele analityczne, realizowane numerycznie. Badacz, rozpatrujący zjawisko trudno, częściowo lub wcale nie poddające się metodom analizy przedmiotowej, tworzy hipotezę tego zjawiska, wyrażoną w języku pojęć i zależności właściwych przedmiotowi swych badań, a następnie przekłada je na zestaw związków matematycznych, zachodzących pomiędzy wielkościami reprezentującymi /niezależne i zależne/ czynniki badanego zjawiska. Wybiera

przy tem takie związki matematyczne, które dają się wyrazić jako procedury numeryczne. Wykonując dalej na maszynie cyfrowej przepisane modelem procedury rachunkowe, otrzymuje liczbowe wartości zmiennych obserwowalnych swego modelu, które może porównać z wartościami odpowiednich obserwacji badanego zjawiska. W najprostszym przypadku modelowania cyfrowego związki analityczne - a w konsekwencji i procedury numeryczne - zawierają wielkości zwane parametrami; zmieniając te parametry /wedle zróby ustalonego programu modelowania/ możemy dążyć do uzyskania lepszej "zgodności obserwacyjnej" modelu i badanego zjawiska. W bardziej skomplikowanych przypadkach modelowania cyfrowego zmianie podlegają nie poszczególne wartości parametrów, i ich kombinacje, a same procedury numeryczne - co odpowiada zastępowaniu w modelu jednych związków analitycznych innymi.

Postępowanie naszkicowane powyżej, mimo całkowicie numerycznego charakteru wykonywanych prac, daje już nie trywialny wynik: pozwala na ustalenie nieznanych i bezpośrednio nie obserwowanych parametrów, a nawet na samoczynny wybór elementów hipotezy. Oczywiście, mamy tu ciągle do czynienia z wyborem pomiędzy danymi wariantami, z tym, że proces selekcji wariantów - niegdyś domena twórczości ludzkiej - zredukowany został do wykonania programu selekcji.

Podobnie jak w przypadku "czystych obliczeń", dostrzegamy pewną, niezbyt jeszcze wyraźną, zmianę jakości pracy badacza - przedmiotem jego trudu staje się w mniejszym stopniu wykonanie czynności a w większym - ustalenie całościowego programu wykonywania tych czynności. Zauważmy, że jest to ułatwienie pozorne tylko, z jednej bowiem strony automatyzacja wykonawstwa, jaką daje modelowanie cyfrowe, łącznie może zachęcić do tak obfitego modelowania, że zaprzepaszczone zostanie efekt zwiększenia wydajności



ności pracy badacza; z drugiej zaś strony sam fakt automatycznego "odsiewu" hipotez wymaga dogłębnego przemyślenia i sformalizowania kryteriów tej selekcji, co przy tradycyjnej metodzie pracy było w dużej mierze domeną intuicji badacza i jego "wyczucia" problemu.

Dalszym, rzec by się chciało: i naturalnym krokiem byłaby automatyzacja tworzenia hipotez - niech by nawet i wedle ~~z~~góry ustalonego programu /podkreślam: tworzenia, a nie składania wyselekcjonowanych "hipotezotwórczych" elementów/. Krokiem tym opuścilibyśmy jednak domenę zastosowań numerycznych - i jest to pierwszy przykład na to, jak w konsekwencji czysto numerycznych zastosowań ETO i zmian jakościowych zachodzących na skutek tego w metodologii pracy badawczej, <sup>do</sup>chodzimy do głównego nurtu zastosowań informatycznych. Zauważymy ponadto, że tak jak modelowanie cyfrowe obejmuje "czyste obliczenia" /wykonywanie licznych wariantów procedur numerycznych/, tak samo nienumeryczny proces tworzenia hipotez obejmować może rozliczne etapy numerycznego przetwarzania informacji -np. samo modelowanie cyfrowe.

Podczas gdy modelowanie cyfrowe jest przykładem zastosowania ETO do wyjaśniania zjawisk i ewentualnie badania zależności pomiędzy jego elementarnymi częściami, kolejna klasa doniosłych numerycznych zastosowań ETO, którą pragnę przedstawić - eksperyment numeryczny - służy poszukiwaniu prawidłowości zachodzących pomiędzy obiektami badanymi, lub w ich obrębie.

Różnica pomiędzy modelowaniem a eksperymentem numerycznym występuje wyraźniej na poziomie określenia celów tych zabiegów, niż na poziomie techniki ich realizacji, dlatego też dla lepszej prezentacji roli eksperymentu numerycznego, przytoczę klasyczny już dzisiaj przykład badań zapoczątkowanych w 1953 r. przez Ulama

i Fermiego nad drganiami struny poddanej działaniu nieliniowej siły wymuszającej.

Zastępując równanie różniczkowe różnicowym, mamy /dla przypadków rozpatrywanych Ulama i Fermiego/:

$$\ddot{x}_i = /x_{i+1} + x_{i-1} - 2x_i/ + \alpha_k [ /x_{i+1} - x_i/ ^k - /x_i - x_{i-1}/ ^k ];$$
$$k = 2, 3, \quad i = 1, 2, \dots, 64$$

gdzie  $\alpha_k$  dobrane były tak, że przy maksymalnym ugięciu człon nieliniowy stanowił  $\frac{1}{10}$  działającej siły.

Równania te całkowano w przedziale równym wielu dziesiątkom tysięcy okresów drgań liniowych struny. Zamiast spodziewanego stopniowego przepływu energii do wyższych harmonik, zaobserwowano występowanie zmian okresowych, polegających na przenoszeniu się energii do kilku najniższych wyższych harmonik, powrocie do konfiguracji wyjściowej z dokładnością do 1%, przepływie energii do wyższych harmonik, ponownym powrocie do konfiguracji wyjściowej, ale z większym rozproszaniem energii - rzędu 2% itd, aż do rozproszenia rzędu 6%, poczym następowały znowu powroty z mniejszymi rozproszaniem, praktycznie aż do zerowego rozproszenia. Dopiero w kilka lat po tych eksperymentach, Kruskal i Zabudsky opracowali teorię analityczną odpowiadającą /w przejściu granicznym/ eksperymentowi Ulama i Fermiego i wyjaśniającą zaobserwowane "zjawisko" nieciągłościami wyższych pochodnych rozwiązań odpowiednich równań cząstkowych.

Przytoczony przykład demonstruje, z rzadką klarowością, rolę eksperymentu numerycznego.

Jeśli przy modelowaniu cyfrowym znajdujemy odpowiedź na pytanie "jak jest naprawdę" to eksperyment numeryczny udziela nam informacji na temat "co by było, gdyby"! Zauważmy, że w obydwu

tych klasach zastosowań zamiast kosztownych i różnorodnych urządzeń i laboratoriów używamy maszyny cyfrowej, zamiast лаборantów - odpowiednich programów. Co więcej - nie jesteśmy związani ani trudnościami fizycznymi, występującymi n.p. przy badaniu i eksperymentowaniu z wnętrzami gwiazd, ani czasowymi - możemy drogą eksperymentu numerycznego badać n.p. ewolucje wielu tysięcy pokoleń, obserwując mutacje i przystosowanie do środowiska.

Uniwersalizm modelowania i eksperymentów numerycznych jest jednak ograniczony z jednej strony parametrami sprzętu liczącego n.p. dla samego tylko zapisu wszystkich "osobników" ewoluującego gatunku możemy potrzebować pamięci tak wielkiej, jaką nie dysponuje żadna z obecnych maszyn cyfrowych i z drugiej strony przez umiejętność kompleksowego formułowania programów badań, o ile ograniczenie pierwsze wydaje się nosić charakter przejściowy - w tym sensie, że maszyny dnia dzisiejszego są wielokrotnie "mocniejsze" niż te z dnia ubiegłego, ale nie w tym sensie by problemy dnia dzisiejszego nie wymagały maszyn dnia jutrzejszego, o tyle ograniczenie drugie wynika ze zmiany podstawowego narzędzia pracy badacza. Warto przy tym spostrzec, że dla wielu dyscyplin naukowych maszyna cyfrowa stała się już najpowszeźniej stosowanym narzędziem pracy badawczej /statystykę dowodzącą zasadność tego stwierdzenia dla astronomii podałem w Postępkach Astronomii Vol. XV /1967/, 134/.

W każdym razie, z omówionych dotychczas klas zastosowań ETO w pracy badawczej wynika poważne przesunięcie "środk ciężkości" tej pracy z aspektu wykonawczego na twórczy, z badań "jednostkowych", przyczynkowych na badanie generalizujące, "gatunkowe". Zamknę tę część referatu przykładem wziętym z najlepiej mi znanej dziedziny zastosowań - mechaniki nieba. Jeszcze

kilkanaście lat temu owocem pracy wielu lat życia astronoma było opublikowanie wyliczonej orbity, tzw. ostatecznej, jednej komety, przy czym najpoważniejsze czasopisma publikowały wszystkie obliczenia pośrednie in extenso; dziś jeden astronom może wyliczyć takich orbit kilkanaście na rok /czynnikiem limitującym jest zbieranie obserwacji dostatecznie dobrej jakości/, przy czym nikt już nie publikuje żadnych obliczeń pośrednich, a nawet pełnych tekstów programu. Publikowane są natomiast metody, leżące u podstaw algorytmów obliczeniowych i bardziej interesujące "trycki" programowe.

Tak więc, z tego co powiedzieliśmy dotychczas nie należy wyciągać wniosku, że wprowadzenie ETO zamknęło jakąś klasę badań naukowych. Przeciwnie - tam gdzie ETO została zastosowana wielokrotnie się produkuje wyniki; pojawiły się wyniki tam gdzie bez ETO ich osiągnięcie było zgoła niemożliwe, a w każdym przypadku badacz uwolniony został, w mniejszym lub większym stopniu od wykonawstwa pracy, którą potrafił na tyle opanować, że był w stanie podać jej algorytm. Profesor Perlis, jeden z wybitniejszych znawców przedmiotu, napisał kiedyś: "Myślimy, że rzecz pewną umiemy, bośmy się jej uczyli, pewni jesteśmy żeśmy ją opowiadali - bo jej nauczać potrafimy, naprawdę zaś - poznaliśmy wtedy dopiero, gdyśmy ją zaprogramowali".

Powszechnie wiadomo, jaką rolę w badaniach naukowych odgrywa eksperyment. Zastosowanie ETO w kręgu problemów związanych z eksperymentem naukowym jest już dzisiaj wielorakie, a wzrasta bardzo szybko. Obok oczywistych zastosowań, takich jak opracowanie wyników obserwacyjnych i sterowanie przebiegiem eksperymentu /n.p. na pojazdach kosmicznych/, obok eksperymentu numerycznego, o którym mówiliśmy powyżej, maszyny cyfrowe stosuje się z coraz lepszym skutkiem jako element wstępnego opracowania pośrednich

danych obserwacyjnych. Typowym przykładem takiego zastosowania jest przedwstępna analiza sygnałów telewizyjnych, przesyłanych z sond kosmicznych. Jak wiadomo, trójwymiarowa macierz informacji /współrzędne prostokątne i stopień poczernienia/ obrazu czarno-białego transmitowana jest w zlinearyzowanej postaci - element po elemencie. Bezpośredni odbiór, czyli, powiedzmy, wyświetlanie "pasków" jeden po drugim, powoduje, że przypadkowe zakłócenia w transmisji są bardzo wyraźne. Odpowiednio zaprogramowana maszyna cyfrowa analizuje ciąg impulsów i rekonstruuje obraz usuwając zakłócenia, wykorzystując kryteria odpowiednio zdefiniowanej ciągłości. W ten sposób, maszyna cyfrowa pozwala wykonać automatycznie "retusz" transmitowanego obrazu.

Podobnie, w wielu innych eksperymentach można użyć maszyny cyfrowej do oczyszczenia prezentowanych "na wyjściu" eksperymentu wyników z zakłóceń, dla narzucenia im prawidłowości, które winny zachodzić, a nie występują na skutek niedokładności sprzętu, lub dla wzmocnienia słabych efektów. Warto zauważyć, że mimo, iż za każdym razem można tu zastąpić działanie maszyny cyfrowej odpowiednio skonstruowanym aparatem, użycie maszyny cyfrowej pozwala uniknąć konstruowania wielu wyspecjalizowanych aparatów, a odpowiednie programy łatwiej uzyskać z dobrze pomyślanego programu podstawowego, niż przebudowywać aparaturę. Ponadto, godzi się zwrócić uwagę na fakt, że takie filtrujące zastosowanie ETO różni się zasadniczo od numerycznego opracowania wyników eksperymentu, gdyż odpowiednio oprogramowana maszyna cyfrowa jest tutaj elementem aparatury eksperymentalnej.

Znaczenie takich zastosowań dla prac badawczych polega przede wszystkim na tym, że pod względem sprzętowym uzyskuje się pewien uniwersalny element wielu aparatów eksperymentalnych, a niezbędne dla różnych eksperymentów modyfikacje osiąga się nie

poprzez "złote ręczki" laborantów, a przez podanie funkcjonalnego opisu tego elementu aparatury, jako, że przy odpowiednim wyposażeniu maszyny cyfrowej w oprogramowanie podstawowe, programowanie może i powinno polegać na podawaniu opisu funkcjonalnego żądanego działania maszyny cyfrowej.

Użycie maszyn cyfrowych jako filtrów danych eksperymentalnych traktować można jako przypadek szczególny zastosowań demonstracyjnych, t.j. takich, w których maszyna cyfrowa steruje odpowiednimi urządzeniami wizualnymi, przedstawiając żądane informacje w formie graficznej.

Trudno dzisiaj, w kilka zaledwie lat po wdrożeniu pierwszych udanych zastosowań tego rodzaju, ocenić w pełni ich wpływ na technikę prac badawczych, zresztą, choćbyśmy powiedzieli, będzie zapewne tyleż naiwne co krótkowzroczne. Mamy tutaj do czynienia z tak rewolucyjną techniką, jakiej trudno znaleźć paralelę historyczną. Niedoskonałe wyobrażenie o możliwościach takiego zastosowania ETO może dać następujący - fikcyjny - przykład: zadane równanie cząstkowe z warunkami brzegowymi opisuje pewną trójwymiarową powierzchnię. Na ekranie, sprzężonym z maszyną cyfrową, do której wprowadziliśmy to równanie ukazuje się perspektywiczny rysunek tej powierzchni, widziany z punktu, którego współrzędne ustawiamy pokrętkami, tak że możemy ją oglądać z dowolnego punktu. Jeżeli powierzchnia, którą oglądamy nie spełnia jakichś warunków, możemy przy pomocy tzw. pióra świetlnego wprowadzić korektę do oglądanego rysunku - tak jak architekt może korygować rysunek gumką i ołówkiem, tyle, że dużo łatwiej i czystiej. Korekta ta zostanie przez maszynę zinterpretowana n.p. jako zmiana warunków brzegowych, lub parametrów równania, które zostaną w końcu wydane na zewnątrz w postaci liczbowej.

Wystarczy uzmysłowić sobie, ile etapów pracy zostało pominięte, jak wielce zostały wzmacnione możliwości badacza, by zrozumieć, jaką rolę odgrywać będą tego typu zastosowania ETO dla pracy badawczej w nadchodzących latach.

Ostatnie kilka rodzajów zastosowań, które omówiliśmy leżą na pograniczu dwu nurtów, o których mówiłem powyżej. Chciałbym teraz przejść do nurtu informatycznego, traktując go, zgodnie z założeniem, jako nurt nienumeryczny.

Początkowo prace związane z nienumerycznymi zastosowaniami naukowymi EMC biegły w kierunku zwanym "manipulacją sznurami symboli". Przykładowe nawet wyliczenie tematów zawartych w tym kierunku musi obejmować takie tematy jak automatyczne dowodzenie twierdzeń w systemach sformalizowanych, analiza gramatyczna tekstów, formalnie różniczkowanie i całkowanie. Mimo pokazanych osiągnięć w opracowywanych kierunkach, bezpośrednio ich przeniesienie do roli uniwersalnych narzędzi pracy badawczej nie nastąpiło, jak dotąd, w stopniu, który pozwalałby na rozważanie wpływu tych zastosowań na metodę pracy badawczej w ogóle.

W szeregu problemów częściowych, partykularnych, uzyskano jednak bardzo poważne sukcesy. Dotyczy to zwłaszcza zastosowania maszyn cyfrowych do prac nad odczytywaniem napisów w językach martwych /n.p. odczytanie pisma Majów/, odczytywaniem tekstów zniekształconych /zarówno literackich jak i muryckich/, ustalaniem autorstwa tekstów historycznych i co najważniejsze - prac leksykograficznych, w których wykorzystanie zdolności magazynowania i odszukiwania informacji przez ETO w ogromnym stopniu redukuje trudności techniczne.

Postępujące w dużym tempie badania nad manipulacją sznurami symboli dają bardzo optymistyczne rokowania odnośnie automa-

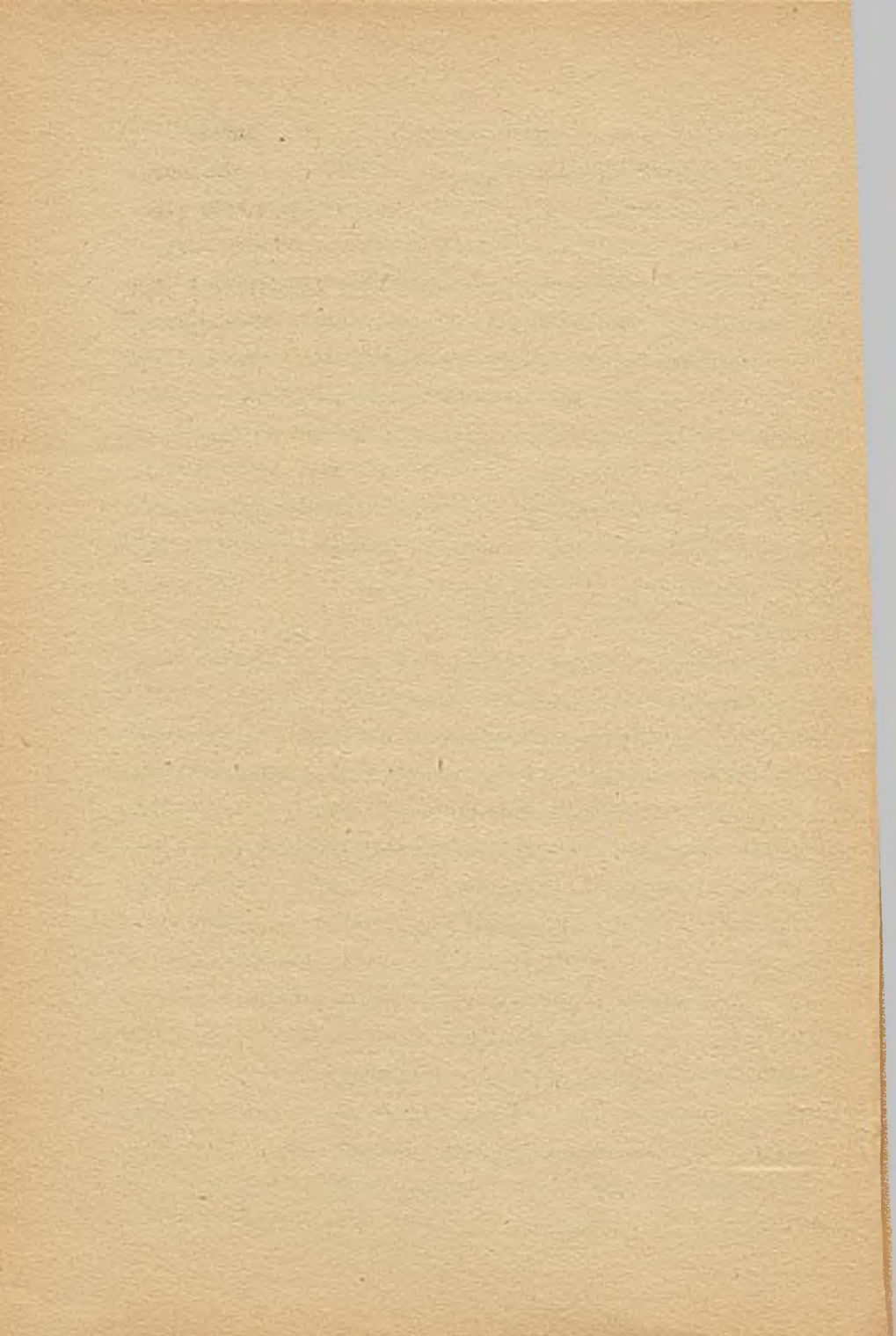
tyzacji wielu aspektów prac wykonawczych w zakresie przekształceń wyrażeń matematycznych.

Mimo wzrastającej roli obliczeń numerycznych, konstruowanie rozwiązań analitycznych nie traci ani na aktualności, ani na znaczeniu. Niejednokrotnie znajomość rozwiązania analitycznego, nawet w postaci nieskończonego i wolno zbieżnego szeregu, pozwala ulepszyć proces otrzymywania rozwiązań drogą numeryczną. Z kolei, wiele metod konstrukcji rozwiązań analitycznych zostało zarzucone ze względu na ogrom pracy potrzebny do wykonania niezbędnych podstawień, rozwinięć i innych zabiegów algebraicznych i analitycznych. Zastosowanie ETO daje możliwość przywrócenia tych metod praktyce, a także winno stymulować powstanie nowych metod "wycelowanych" na automatyczne wykonanie operacji analitycznych.

Podobne znaczenie posiadają inne typy rachunków formalnych - uzbieźnianie szeregów, odnajdywanie postaci funkcji pierwotnych a nawet ... redukcja wyrazów podobnych. Wszystkie te operacje mogą być wykonywane automatycznie, wydatnie usprawniając proces pracy naukowej - pod warunkiem stałego i bezwzględnego dostępu badacza do maszyny cyfrowej, n.p. przez "prywatny" pulpit systemu wielodostępnego.

Omnówione dotychczas zastosowania odnosiły się głównie do badań przyrodniczych, "nasyconych" metodami matematycznymi lub jak n.p. wspomniana automatyzacja prac leksykograficznych - do najprostszych zastosowań w naukach humanistycznych. /Nie poruszyłem, nawet przykładowo, tych zastosowań w naukach humanistycznych, które opierają się na "przyrodniczych" technikach statystycznych, gdyż nie wniosłoby to nic nowego do naszych rozważań/.





obliczeń, modelu, zebranie informacji i ułożenie ich w odpowiednią strukturę/, która może dalej być wykonywana wielokrotnie, bez dodatkowych nakładów pracy badacza, na wiele różnych sposobów.

Ostatni kierunek zastosowań, który naszkicowałem powyżej, stanowi podstawę przyszłego powszechnego zastosowania ETO w pracach badawczych. Ponieważ wkraczam teraz na teren przypuszczeń i prognoz, pragnę to wyraźnie podkreślić, by uniknąć możliwych nieporozumień.

Wydaje się, że zgodnie z powszechną tendencją do zdecentralizowanego dostępu do sprzętu przetwarzania informacji, oczekiwać należy powszechnej partycypacji badaczy w tworzeniu ogólnego "banku wiedzy". Publikacja naukowa - już dzisiaj tracąca wiele ze znaczenia, jakie posiadała niegdyś, ze względu na rosnące relatywne opóźnienie tempa procesu publikowania i na gwałtowny wzrost ilości publikacji - zamieni się z biegiem czasu w nadawanie komunikatu o odkryciu, stworzeniu teorii czy metody, komunikatu przekazywanego do "banku wiedzy", w obrębie którego nastąpi automatyczne sprawdzenie oryginalności komunikatu i w przypadku pozytywnego wyniku tego sprawdzenia - wprowadzenie niezbędnych aktualizacji zbiorów przechowywanej informacji.

Trudno przewidzieć, czy uda się osiągnąć dostatecznie wcześnie taki poziom wiedzy o języku, który pozwoliłby na komunikację z bankiem w językach naturalnych od początku jego istnienia. Trudno także przewidzieć, czy gdyby komunikacja taka była możliwa tylko w języku sztucznym nie ucierpiałyby powszechność tego rodzaju wykorzystania techniki informatycznej. Być może odegrają tu także rolę opóźniającą czynniki emocjonalne. Ale - patrząc na tempo w jakim w ciągu ostatnich dwudziestu lat automatyzowano wciąż nowe etapy pracy badawczej, jak systematycznie dokonywana

była selekcja istotnie twórczych aspektów, z jaką łatwością /by nie rzecz: ulgą/ delegowano do maszynowego wykonawstwa "mechaniczne" strony pracy badawczej - przypuszczam, że proces ten będzie prowadzony dalej, otwierając coraz szersze możliwości przed intelektem badacza i uwalniając go w coraz większym stopniu od wszystkiego co powtarzalne i zrutynizowane.

WYKORZYSTANIE MASZYN ANALOGOWYCH  
DO BADAŃ NAUKOWYCH

Dzięki intensywnemu rozwojowi nauki wzrosła znacznie w ostatnich latach wiedza, w szerokim znaczeniu tego słowa. Z jednej strony pogłębił się zakres wiadomości w poszczególnych gałęziach nauki doprowadzając do bardzo wąskich specjalizacji, z drugiej strony - wyrosły nowe dziedziny kompleksowe oparte na kilku innych gałęziach nauki. Przykładem takich dziedzin jest cybernetyka, bionika, ergonomia i wiele innych.

W ten sposób przed naukowcami powstaje sprzeczność między koniecznością prac wyspecjalizowanych, a koniecznością dobrej znajomości innych dziedzin, często nawet bardzo odległych. Znalezienie wspólnego języka między specjalistami z różnych dziedzin nie jest łatwe. W tej sytuacji problem sposobu uczenia się ma znaczenie podstawowe i stawia wysokie wymagania odnośnie metod pracy naukowej.

Niezależnie od trudności metodycznych w przyswajaniu wiedzy, wzrosły trudności obliczeniowe, zarówno w pracach teoretycznych jak i eksperymentalnych.

Stopniowe przybliżanie modeli matematycznych badanych zjawisk do rzeczywistości znacznie komplikuje ich opis matematyczny i prowadzi do trudnych i żmudnych obliczeń. Wzrasta ilość parametrów niezbędnych do uwzględnienia, powiększają się wymagania co do dokładności obliczeń bez której nie byłoby tak dużej precyzji np. w lotach kosmicznych, fizyce jądrowej i innych. Również analiza staty-

-styczna wyników badań eksperymentalnych, stwarza poważne problemy obliczeniowe.

Na szczęście między rozwojem nauki, a rozwojem możliwości technicznych istnieje dodatnie sprzężenie zwrotne, wskutek czego w wyniku badań naukowych powstają nowe urządzenia techniczne, które z kolei stwarzają nowe możliwości rozwoju nauki.

Jednym z podstawowych osiągnięć ostatnich 20 lat, które pozwoliło na dokonanie skoku w rozwoju badań naukowych, są maszyny matematyczne. Według klasycznej terminologii można je podzielić na maszyny cyfrowe, maszyny analogowe i maszyny analogowo-cyfrowe czyli hybrydowe.

Przydatność maszyn cyfrowych w badaniach naukowych stanowią przede wszystkim obliczenia, a więc analiza ilościowa, aczkolwiek dzięki rozwojowi informatyki, zakres ten znacznie się rozszerza.

Maszyny analogowe służą przede wszystkim do analizy jakościowej i dzięki bardzo dużej obrazowości procesu obliczeń czy modelowania, stanowią ważny element w badaniach ułatwiający i rozszerzający zakres myślenia i kojarzenia faktów, co w pracy naukowej odgrywa niebagatelną rolę. Maszyny hybrydowe tworzą szeroką klasę urządzeń wykorzystujących zarówno elementy maszyn cyfrowych i analogowych, bądź też tworzą różne systemy współpracujących ze sobą obu typów maszyn. Maszyny te łączą w sobie zalety maszyn analogowych i cyfrowych i mimo stosunkowo niewielkiego jeszcze rozpowszechnienia stanowią przyszłości-

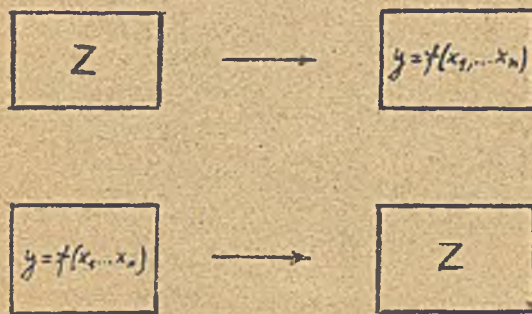
wy rodzaj pomocy w badaniach naukowych.

Przydatność wszystkich typów maszyn matematycznych w badaniach naukowych ma kilka aspektów które można podzielić na następujące grupy:

1. Liczenie i modelowanie,
2. Rozwój prac metodycznych w rozwoju nauki,
3. Pomoc w uczeniu i przyswajaniu wiedzy.

W przeciwieństwie do maszyn cyfrowych, gdzie proces liczenia dokonywany jest na liczbach, w maszynach analogowych mamy do czynienia z funkcjami. Wynika to bezpośrednio z zasady działania maszyn analogowych, które umożliwiają odwzorowanie określonych zależności matematycznych za pomocą układów elektronicznych.

Zasadę działania maszyn analogowych można przedstawić ideowo według rys 1.



rys. 1 Idea działania maszyn analogowych

Jeżeli układ elektryczny  $Z$  opisany jest równaniem

$$y = f(x_1, \dots, x_n), \quad /1/$$

to w celu rozwiązania równania  $y$  opisującego dowolny układ fizyczny  $U$  należy zrealizować układ elektryczny  $Z$ . Otrzymujemy wówczas tożsamość

$$U \equiv Z \quad /2/$$

i w zakresie obowiązywania równania /1/ zmiany układu  $Z$  mogą odwzorowywać zmiany układu  $U$ .

Odwzorowanie złożonych operacji matematycznych wykonywane jest na maszynie analogowej przez odpowiednie łączenie kolejnych członów wykonujących poszczególne operacje matematyczne jak całkowanie mnożenie, logarytmowanie i inne - w postaci sumy składników.

$$y = \sum_{i=1}^k f_i(x_1, \dots, x_n) \quad /3/$$

Maszyny analogowe są na ogół używane do badania zależności funkcyjnych z których najczęściej zmienną niezależną jest czas. Przy użyciu metod iteracyjnych rozwiązywane mogą być zagadnienia wielu zmiennych oraz zagadnienia wartości brzegowych.

Dla określonych typów równań różniczkowych cząstkowych szerokie zastosowanie przy rozwiązywaniu zagadnień brzegowych znajdują analogowe analizatory pól.

O ile maszyny cyfrowe służą przede wszystkim do obliczeń i przetwarzania informacji, o tyle maszyny analogowe

służą głównie do badań - stąd ich duża rola w badaniach naukowych. Wynika to z łatwości zmiany struktury układu łatwości zmian parametrów i możliwości bezpośredniego badania wpływu wprowadzanych zmian na przebieg rozwiązania. Na nurtujące w badaniach naukowych pytanie "a o będzie jeśli" można po sformułowaniu zagadnienia z łatwością odpowiedzieć, przez przełączenie wtyczek i kręcenie gałkami potencjometrów w maszynie analogowej.

Analiza wpływu parametrów na wynik rozwiązania ma znaczenie praktyczne w badaniach naukowych i można ją traktować jakościowo, bądź ilościowo przy wykorzystaniu teorii badania wrażliwości układów.

Tak np w równaniu różniczkowym typu

$$\sum_{i=0}^n a_i p^i x = f(t) \quad /4/$$

gdzie  $p^i = \frac{d^i}{dt^i}$

w celu przeanalizowania wpływu współczynników  $a_i$  można przez kolejne zróżniczkowanie równania względem poszczególnych współczynników  $a_i$  znaleźć maksymalny współczynnik wrażliwości

$$W_k = \frac{\partial x}{\partial a_k}, \quad /5/$$

świadczący o największym wpływie członu z k-tą pochodną na wynik rozwiązania równania /3/

We wstępnej fazie badań nie zawsze znane jest równanie opisujące analizowany układ, znana jest natomiast



odpowieść układu na dany sygnał. Wówczas w oparciu o model strukturalny układu można za pomocą maszyny analogowej znaleźć jego opis matematyczny.

Powyższa klasa zadań, zwana zadaniami odwrotnymi stanowi istotny zakres zastosowań maszyn analogowych w badaniach naukowych i oszczędza wielu prób obliczeniowych.

W pierwszym przybliżeniu, doboru parametrów układu dla danej struktury można szukać "na ślepo", co jednak nie daje na ogół gwarancji, że poszczególne wartości współczynników zostały dobrane w sposób optymalny.

Przy prawidłowym sformułowaniu zadania można wykorzystać jedną z metod optymalizacji, przy czym maszyny analogowe o pracy iteracyjnej można tak zaprogramować, by uzyskać optymalizację automatycznie. Automatyczne rozwiązywanie zagadnień optymalizacyjnych nie zawsze jest możliwe. Tak np. w przypadkach nieliniowych prowadzących do wieloznacznych rozwiązań, w przypadkach złożonych ograniczeń, lub przy nieznaności struktury układu konieczne jest dokonanie ostatecznego wyboru najbardziej optymalnego układu przez człowieka, często przy wykorzystaniu dodatkowych nie uwzględnionych przez maszynę kryteriów. Kryteria te można w pewnych przypadkach wprowadzić do maszyny, nie zawsze jednak jest to opłacalne, gdyż komplikuje zbytnio cykl obliczeniowy, a co najważniejsze zatracą jasność interpretacji fizycznej, stanowiącą jedną z podstawowych zalet maszyn analogowych.

Znacznie trudniejsze, aczkolwiek posiadające duże znaczenie praktyczne, jest rozwiązywanie zadań odwrotnych przy modelowaniu zagadnień brzegowych. Zadanie sprowadza się wówczas do podania odpowiedzi na pytanie: "jak dobrać kształt obszaru, względnie warunki na jego brzegu, by otrzymać wewnątrz obszaru żądany rozkład pola". Zagadnienia tego typu występują w zagadnieniach filtracji wody, przepływu ciepła, dyfuzji, elektrolizy i wielu innych i stanowią szeroką klasę zastosowań analogowych analizatorów pól.

Zastosowanie maszyn analogowych do rozwiązywania zagadnień odwrotnych wykracza znacznie poza zagadnienia techniczne, a przeciwnie dotyczy coraz częściej dziedzin bardzo odległych jak ekonomia, psychologia, medycyna, meteorologia i inne. Za pomocą maszyn analogowych rozwiązywać można zarówno zagadnienia deterministyczne jak stochastyczne - przy wykorzystaniu generatora szumów, jako źródła sygnału. Jako przykład zagadnienia odwrotnego mogą służyć próby znalezienia modelu matematycznego komórek mięśnia sercowego na podstawie informacji o sygnałach wyjściowych.



rys.2 Przebiegi wewnątrz-komórkowych potencjałów czynnościowych z pojedynczych włókien mięśnia sercowego.

Na podstawie posiadanej wiedzy o pracy komórek mięśnia sercowego można dobierać odpowiednie modele na maszynie analogowej w celu uzyskania na wyjściu sygnałów zbliżonych do sygnałów uzyskanych eksperymentalnie. Prawidłowy model, powinien uwzględniać wpływ poszczególnych czynników oddziałujących na zmiany kształtu przebiegów wewnątrz-komórkowych. Wówczas dzięki modelowaniu analogowemu można tworzyć odpowiednie prawa rządzące zjawiskami wewnątrz-komórkowymi.

Porównawcza analiza sygnałów możliwa jest również bez znajomości opisu matematycznego i stanowi szeroką klasę zagadnień naukowych wykorzystujących maszyny matematyczne.

W zagadnieniach tych pomocne okazują się metody autokorelacyjne oraz metody badania gęstości widmowej przebiegów, które można realizować bądź przy pomocy maszyn analogowych, bądź przy pomocy maszyn cyfrowych lub hybrydowych.

Ogólnie można stwierdzić, że do podstawowych zalet maszyn analogowych w badaniach naukowych należy:

- łatwy kontakt człowieka z maszyną,
- łatwość eksperymentowania i badania zagadnień odwrotnych,
- znacznie niższy niż maszyn cyfrowych koszt maszyn analogowych oraz tańsze warunki eksploatacji.

Mimo powyższych zalet, zakres zastosowań maszyn analogowych jest znacznie węższy, niż maszyn cyfrowych i rola maszyn analogowych sprowadza się często do wstępnej

jakościowej analizy zagadnienia.

Obecna tendencja rozwoju maszyn cyfrowych zmierzająca do powiększenia kontaktu człowiek-maszyna, polega na wprowadzaniu możliwości posługiwania się sygnałami analogowymi i stanowi następną krok w kierunku przystosowywania techniki obliczeniowej dla potrzeb użytkownika.

Oprócz dużych, uniwersalnych urządzeń noszących nazwę maszyn matematycznych, duża pomoc w badaniach naukowych stanowią wyspecjalizowane urządzenia analogowe, cyfrowe, bądź hybrydowe, przeznaczone do rozwiązywania konkretnych zadań, jak np. obliczanie odchylenia średnio-kwadratowego, obliczanie wariancji, wyznaczanie współczynników analizy widmowej i inne.

Drugi aspekt związany z wykorzystaniem maszyn analogowych w badaniach naukowych dotyczy rozwoju prac metodycznych na podstawie "metodyki analogowej"

W zagadnieniach tego typu "metodyka analogowa", względnie "myślenie analogowe" są znacznie starsze od maszyn analogowych i odegrały w rozwoju nauki bardzo istotną rolę.

Rozwój maszyn analogowych wpłynął w znaczny sposób na rozszerzenie zakresu posługiwania się metodami analogowymi. Okazało się to szczególnie owocne w wielu zagadnieniach pozatechnicznych, w których obserwuje się intensywny rozwój procesu formułowania matematycznego zagadnień.

Z rozwiązywaniem zagadnień na maszynach analogowych związane jest rozszerzenie strony pojęciowej w poszczególnych dziedzinach przez przenoszenie różnych terminów, jak stała czasu, sprzężenie zwrotne, schemat strukturalny,

i wiele innych. Zagadnienie to ma również drugi aspekt polegający na znalezieniu "wspólnego języka" między specjalistami z różnych dziedzin.

Zagadnienie "wspólnego języka" odgrywa bardzo dużą rolę w pracach kompleksowych, w których wzajemne porozumienie się między elektronikami, ekonomistami, biologami i innymi wymaga posługiwania się uproszczonymi schematami myślowymi opartymi na metodyce analogowej.

W zagadnieniach tych podstawową rolę odgrywa oddziaływanie na wyobraźnię i ułatwienie kojarzenia faktów według schematu "proces ten można porównać do"... co z miejsca zapewnia aktywne podejście w procesie myślenia. Oczywiście beskrytyczna posługiwanie się analogiami prowadzić może do wielu nieporozumień, niemniej jednak, szczególnie przy obecnej wąskiej specjalizacji, w poszczególnych dziedzinach, metody analogowe stanowią potężną siłę napędową przy formułowaniu określonych praw oraz konstrukcjach nowych typów urządzeń i aparatury.

Metody analogowe mają również duży wpływ przy tworzeniu koncepcji prac eksperymentalnych, oraz przy metodyce opracowywania uzyskanych wyników.

Trzecia grupa zagadnień związana z wykorzystaniem maszyn analogowych w badaniach naukowych dotyczy problemu uosobienia się przy użyciu maszyn analogowych.

Dziedzina ta jest obecnie bardzo mało wykorzystywana w praktyce i służy głównie jako pomoc w zajęciach dydaktycznych dla wąskich grup specjalistów związanych z automatyką i dziedzinami pokrewnymi.

Tymczasem przy pomocy maszyn analogowych można na przykład z łatwością wyjaśnić pojęcia związane z teorią funkcji, całkowaniem, różniczkowaniem, rozwiązywaniem nieliniowych równań różniczkowych, przedstawić obrazowo szereg zjawisk fizycznych, wyjaśnić elementarne pojęcia z automatyki, jak stabilność układu, płaszczyzna fazowa, funkcja przeniesienia, sprzężenie zwrotne i inne. Dotyczy to również wzajemnego przenoszenia pojęć między innymi dziedzinami.

Dzięki łatwości interpretacji modelowanych zależności na maszynach analogowych można w krótkim czasie rozszerzyć zakres wiedzy wśród pracowników naukowych różnych specjalności, co może przyczynić się zarówno do pogłębienia wiedzy, jak również do wykorzystania zdobytych wiadomości we własnej dziedzinie badań.

Na zakończenie - krótka wizja: jaką rolę spełnią będą maszyny analogowe w przyszłości w badaniach naukowych.

Dzięki rozwojowi szybkich maszyn cyfrowych z możliwością wejść i wyjść analogowych, w zagadnieniach obliczeń naukowych i przetwarzania informacji dominować będą maszyny cyfrowe. Jednak w problemach analizy jakościowej, przy formułowaniu zagadnień, rozwiązywaniu zagadnień odwrotnych, a także w zagadnieniach metodyki badań i rozwoju problemów związanych z nauczaniem i przyswajaniem wiedzy, maszyny analogowe i hybrydowe wydają się być podręcznym narzędziem w pracy naukowej.

Od strony technicznej, rozwój obwodów scalonych wpły-

nie w dalszym ciągu na zmniejszenie gabarytów maszyn,  
wzrost niezawodności i polepszenie parametrów technicz-  
nych, maszyn analogowych i hybrydowych.

