

672. Kiełpinski
BIURO PROJEKTÓW PRZEMYSŁU SYNTEZY CHEMICZNEJ
OŚRODEK MASZYN MATEMATYCZNYCH
GLIWICE

MASZYNY MATEMATYCZNE W PRZEMYSŁE CHEMICZNYM

*Praca zbiorowa
pod redakcją*

A. WIERUSZ-KOWALSKIEGO

G L I W I C E 1 9 6 3

BIURO PROJEKTÓW PRZEMYSŁU SYNTEZY CHEMICZNEJ
OŚRODEK MASZYN MATEMATYCZNYCH
GLIWICE

MASZYNY MATEMATYCZNE W PRZEMYSŁE CHEMICZNYM

*Praca zbiorowa
pod redakcją*

A. WIERUSZ-KOWALSKIEGO

G L I W I C E 1 9 6 3

Redaktor *Roman Malesiński*

Na zlecenie Biura Projektów Przemysłu Syntezy Chemicznej opracowało
Biuro Wydawnicze Centrali Handlowej Przemysłu Chemicznego „Chemia”
Warszawa, ul. Foksal 18

Nakład 1450 egz. Ark. wyd. 12,5. Ark. druk. 12,25. Papier kl. V, 80 g, 61 × 86.
Druk ukończono w czerwcu 1963.

Zakł. Graf. „Tamka”, W-wa. 1450. Zam. 799/63. L-50.

SŁOWO WSTĘPNE

W 1963 r. rozpoczął regularną pracę Ośrodek Maszyn Matematycznych przy Biurze Projektów Przemysłu Syntezy Chemicznej „Prosynchem” w Gliwicach. Ośrodek, wyposażony w maszynę cyfrową polskiej produkcji typu ZAM-2, jest pierwszą tego rodzaju placówką w resorcie chemii i będzie obsługiwał wszystkie zainteresowane przedsiębiorstwa resortu.

Niniejsza monografia powinna zorientować przyszłych użytkowników w możliwościach zastosowania maszyn matematycznych do prac badawczych i projektowych oraz do planowania i zarządzania przedsiębiorstwem.

Składa się ona z czterech części. Pierwsza z nich omawia zasady działania i zastosowania maszyn cyfrowych oraz zasady programowania. Druga część poświęcona jest maszynom analogowym. W trzeciej — omówiono zastosowanie maszyn matematycznych do sterowania procesami produkcyjnymi. Wreszcie czwartą część stanowi Biuletyn Ośrodka Maszyn Matematycznych. Przewidujemy, że Biuletyn ten będzie ukazywał się periodycznie, raz na kwartał, oczywiście w objętości znacznie mniejszej niż niniejsza monografia.

Wydanie monografii zbiega się z resortową konferencją na temat zastosowania maszyn matematycznych, która powinna między innymi ustalić zasady współpracy między Ośrodkiem a innymi placówkami resortu. Referaty zawarte w monografii stanowią materiały dyskusyjne dla tej konferencji.

Powołanie Ośrodka Maszyn Matematycznych jest dużym krokiem na drodze realizacji wytycznych Partii w sprawie postępu technicznego. Maszyny matematyczne są nowoczesnymi narzędziami pracy, służącymi do opracowania wyników prac badawczych, do projektowania i jako pomoc przy planowaniu i zarządzaniu przedsiębiorstwem.

W krajach członkowskich RWPG i na Zachodzie uzyskano już znaczne korzyści gospodarcze dzięki zastosowaniu maszyn mate-

matycznych. Uważamy, że należy wykorzystać te doświadczenia w naszych krajowych warunkach. Stanowi to właśnie drugą przyczynę wydania tak obszernej monografii. W przypisach do referatów podano źródła bibliograficzne, umożliwiające zainteresowanym bardziej szczegółowe zapoznanie się z wybranymi zagadnieniami. Mamy nadzieję, że wydawnictwo „Mat-Chem” przyczyni się do bardziej racjonalnego i wszechstronnego wykorzystania maszyny matematycznej i wyszkolonego zespołu programującego, którym dysponujemy.

MGR INŻ. MARGULIES

Część pierwsza

MASZYNY CYFROWE

1. ZASADY DZIAŁANIA I ZAKRES STOSOWANIA CYFROWYCH MASZYN MATEMATYCZNYCH

Streszczenie. W rozdziale tym omówiono różnorodne zastosowania maszyn cyfrowych do obliczeń technicznych, do planowania i zarządzania przedsiębiorstwem, do sortowania i tłumaczenia dokumentacji, do prowadzenia gier i do sterowania procesami produkcyjnymi. Określone są również zasadnicze pojęcia techniki cyfrowej, kodowanie, system binarny, programowanie. Na podstawie schematu funkcjonalnego omówione zostały zasady działania poszczególnych podzespołów maszyny cyfrowej.

1.1. Wstęp

Połowa dwudziestego wieku stanowi przełomowy okres w rozwoju ludzkości. Opanowanie energii jądrowej, zbadanie przestrzeni kosmicznej, a przede wszystkim postępy automatyzacji pozwalają przypuszczać, że jesteśmy świadkami rozwijającej się przed naszymi oczami drugiej rewolucji przemysłowej.

Symbolem pierwszej rewolucji przemysłowej, która przyczyniła się do powstania klasy robotniczej na przełomie XVIII i XIX wieku, była maszyna parowa. Symbolem drugiej rewolucji przemysłowej, którą obecnie przeżywamy, jest elektronowa maszyna matematyczna. Bez elektronowej maszyny matematycznej nie może się obejść ani reaktor jądrowy, ani rakieta kosmiczna, ani zautomatyzowana wytwórnia amoniaku. Przyszłość pokaże, jakie zmiany struktury społecznej wywoła szybki wzrost sił wytwórczych spowodowany automatyzacją i czy rozwój duchowy ludzkości nadąży za postępem nauki i techniki. Na tle tych rozważań nieco ironicznie wygląda fakt, że zarówno reaktory jądrowe, jak i rakiety kierowane oraz elektronowe maszyny matematyczne są twórcami techniki wojennej, które dopiero znacznie później zastosowano do pokojowych celów przemysłowych.

Elektronowe maszyny matematyczne są typowym przykładem systemów zautomatyzowanych, mogących wykonać szybciej i dokładniej wiele prac umysłowych uciążliwych dla człowieka.

1.2. Maszyny cyfrowe i analogowe

Niniejszy artykuł poświęcony jest elektronowym, programowalnym matematycznym uniwersalnym maszynom cyfrowym. W tym nieco przydługim określeniu, wymagają wyjaśnienia słowa „cyfrowa, programowana i uniwersalna”.

Rozróżniamy dwa zasadnicze typy maszyn elektronowych: cyfrowe i analogowe. Maszyny cyfrowe wykonują działania arytmetyczne na liczbach przedstawionych w postaci ciągów impulsów elektrycznych; maszyny analogowe wykonują działania na ciągłych funkcjach, przedstawionych w formie napięć zmieniających się w czasie. Matematycy powiadają, że maszyny cyfrowe wykonują działania na wielkościach dyskretnych (lub skokowych), a maszyny analogowe na wielkościach ciągłych. Różnicę między wielkością dyskretną a ciągłą najlepiej pozwoli zilustrować przykład nie mający nic wspólnego z elektroniką. W sklepie nabiałowym jajka sprzedaje się na sztuki. Ilość sztuk jest wielkością dyskretną. Nie można zażądać np. 0,732 jajka. Natomiast mleko sprzedawane na litry można przy dobrej woli sprzedawcy kupić w dowolnym ułamku litra, np. 0,732 l. Wielkości niepodzielne, nieciągłe, np. kwanty energii, nazywamy dyskretnymi. Zmienne wielkości ciągłe przedstawia się za pomocą funkcji zmiennej ciągłej, np. czasu. Zmienne wielkości dyskretnie reprezentujemy za pomocą ciągów, tj. funkcji zmiennej całkowitej $x_1, x_2, x_3, \dots$, przy czym wszystkie x_n są wielokrotnościami pewnej małej wielkości, tzw. kwantu. W szczególności liczby wyrażone za pomocą cyfr są wielkościami dyskretnymi, np. $0,732 = 732 \times \text{kwant} (= 0,001)$. Suwak jest przykładem analogowego przyrządu do liczenia. Liczba na suwaku reprezentowana jest przez długość na skali logarytmicznej. Liczydło kulkowe jest przykładem przyrządu cyfrowego, operującego na liczbach dyskretnych.

W jednym z dalszych referatów niniejszej monografii omówiono szczególnie maszyny analogowe. Ten referat poświęcony jest wyłącznie maszynom cyfrowym. Określenia maszyny uniwersalne i programowane wyjaśnimy w następnych ustępach referatu.

1.3. Czego może dokonać maszyna cyfrowa

Uniwersalna maszyna cyfrowa może wykonać wszelkie obliczenia dające się wyrazić jako serie arytmetycznych operacji: dodawania, odejmowania, mnożenia, dzielenia, choć to ostatnie działanie można sprowadzić do dwóch poprzednich za pomocą metody, której uczą w szkole powszechnej. Za pomocą czterech

działań arytmetycznych można rozwiązać z żądanym stopniem dokładności praktycznie wszystkie problemy matematyczne, zdarzające się w praktyce naukowej i technicznej (z wyjątkiem nielicznych osobliwych przypadków, występujących np. przy dzieleniu liczby przez drugą bardzo małą, niewiele różniącą się od zera). Istnieje osobna gałąź matematyki, tzw. analiza numeryczna, która zajmuje się przybliżonym rozwiązywaniem zagadnień przez sprowadzenie ich do serii działań elementarnych. Na przykład funkcje trygonometryczne obliczamy przez sumowanie szeregów potęgowych, całki obliczamy przez sumowanie wysokości pasków elementarnych. Równania różniczkowe sprowadzamy do liniowych równań algebraicznych itd. Dokładność rozwiązania zależy na ogół od metody i od ilości obliczeń (ilość wyrazów szeregu, ilość pasków). Oczywiście dla uzyskania zadowalającej dokładności trzeba nieraz dużego nakładu pracy rachunkowej, bezmyślnej i powtarzalnej. Każdy, kto próbował odręcznie rozwiązać układ 10 równań liniowych o 10 niewiadomych, przekonał się o tym na własnej skórze.

Pytanie, jakiego typu obliczenia może wykonywać maszyna cyfrowa, jest podobne do pytania, jakie melodie można wygrać na mechanicznej pianoli. W obu wypadkach odpowiedź będzie ta sama: każde obliczenie i każdą melodię. Analogię między pianolą a maszyną cyfrową podkreślają dwa fakty. Pierwszy z nich dotyczy sposobu sterowania: obydwie przyrządy sterowane są taśmą dziurkowaną. Drugi fakt dotyczy sposobu wykonania utworu muzycznego czy obliczenia. Muzyka odtwarzana przez pianolę jest bezduszna. Pianola może odtworzyć bezbłędnie najtrudniejsze technicznie etiudy Liszta z dużą sprawnością, ale słuchacz nie odniesie głębszego wrażenia artystycznego, jakie przeżywa w czasie koncertu wirtuoza. Podobnie maszyna cyfrowa wykonuje sprawnie i szybko najbardziej zawiłe obliczenia, ale robi to bezmyślnie i automatycznie. Czego nie przewidział programista, tego maszyna nie uzupełni, tylko zatrzyma się bezradnie. Na odwrót, jeżeli programista zapomni rozkazu „stop”, to maszyna będzie liczyła dalej i powtarzała bez końca te same obliczenia. Możliwości maszyny cyfrowej nie ograniczają się jednak do rachunków w obrębie czterech działań arytmetycznych. Maszyna potrafi również porównywać dwie liczby i dokonywać wyboru, zależnie od tego, która z dwóch liczb jest większa. Działanie to nazywamy podejmowaniem decyzji logicznych. Jest to bardzo ważna właściwość maszyny. Ze zdolności porównywania wynika szereg nowych możliwości, których najprostszym przykładem może być sortowanie nazwisk w porządku alfabetycznym. Wystarczy zauważyć, że każdej początkowej literze nazwiska można przyporządkować liczbę od 1 do 26.

Przykładem skomplikowanego zadania logicznego jest wybór najkrótszego (w danej chwili przy pewnej ilości zajętych łączy) połączenia międzymiastowego, przechodzącego przez kilka central złożonej sieci międzymiastowej. Jak widać stąd, uniwersalna maszyna cyfrowa może rozwiązać każdy problem matematyczny czy logiczny, który da się ująć w postaci cyfr. Maszyny cyfrowe potrafią tłumaczyć teksty z jednego języka na drugi. Oczywiście nie są to tłumaczenia artystyczne. Teksty są jednak zrozumiałe i po wygładzeniu stylu przez człowieka (który nie musi znać języka, z którego tłumaczyła maszyna) nadają się do publikacji. Konieczność odręcznych poprawek stylu nie dyskwalifikuje bynajmniej użyteczności tłumaczenia maszynowego. Często zdarza się w przemyśle, że obrabiane maszynowo części poddaje się ręcznym zabiegom kosmetycznym. Im doskonalsza maszyna, tym mniej trzeba ręcznych poprawek. A przecież praca tłumacza jest bardziej złożona od pracy tokarza.

Jak widać z powyższych przykładów, maszyna cyfrowa zasługuje na miano uniwersalnej. Istnieją też maszyny cyfrowe nieuniwersalne, maszyny specjalnego przeznaczenia, które wykonują tylko jedno złożone zadanie, np. obliczają co pół minuty położenie samolotu, tj. zastępują nawigatora.

1.4. Zastosowanie maszyn cyfrowych

Możliwości zastosowania uniwersalnych maszyn cyfrowych są tak szerokie, że spis rozwiązanych maszynowo problemów zająłby całą książkę. Spis ten straciłby zresztą aktualność po paru miesiącach, ponieważ możliwości zastosowań rozszerzają się z dnia na dzień. Każdy miesiąc przynosi nowe przykłady zastosowań. Ograniczymy się zatem do podania najbardziej typowych zastosowań dla każdej dziedziny.

Uniwersalne maszyny stosuje się do następujących zagadnień ramowych:

- a) obliczenia naukowe i techniczne,
- b) rozstrzyganie zagadnień zarządzania przedsiębiorstwem,
- c) sortowanie i tłumaczenie dokumentacji naukowej,
- d) prowadzenie gier,
- e) kierowanie procesami produkcyjnymi i przekształcania danych pomiarowych.

Rozpatrzmy po kolei podane zastosowania.

a) Obliczenia naukowe i techniczne. Jednym z najbardziej typowych obliczeń, spotykanych w praktyce, jest rozwiązywanie układów równań liniowych o wielkiej liczbie niewiadomych. Wiele problemów geodezji (triangulacja), inżynierii

chemicznej (kolumny destylacyjne) i energetyki (sieci elektryczne) sprowadza się do rozwiązania układów równań liniowych z liczbą niewiadomych sięgającą kilkudziesięciu. Na przykład kolumna destylacyjna o 90 półkach wymaga kilkakrotnego rozwiązania układu równań o 90 niewiadomych. Rozwiązanie takiego układu wymaga 1 600 000 operacji arytmetycznych. Inżynier rachujący za pomocą elektro-mechanicznego arytmetometru potrzebowałby około 2 lat na wykonanie tej pracy. Oczywiście też jest, że straciłby jeszcze więcej czasu na usunięcie błędów nieuniknionych przy tak długich obliczeniach.

Współczesne większe maszyny cyfrowe wykonują to samo zadanie w 10 minut z gwarantowaną bezbłędnością. Maszyny cyfrowe mają układ samosprawdzania każdej operacji arytmetycznej i sprawdzenia wyniku jako całości. Jeżeli jednak z powodu złożonego przypadku (np. skok napięcia w sieci wywołany uderzeniem pioruna czy przepaleniem się lampy) nastąpi pomyłka, maszyna zatrzyma się i zasygnalizuje błąd. Trzeba wtedy powtórzyć obliczenia. O pewności i bezbłędności działania nowoczesnych maszyn świadczy fakt, że prawie każda rakieta sterowana jest za pomocą maszyny cyfrowej. Maszyny prowadzą niekiedy automatyczną nawigację i automatyczne lądowanie samolotów wojskowych, np. na lotniskowcu. Oczywiście, że maszyny o tak ogromnej niezawodności działania są bardzo kosztowne. Prawie absolutna pewność działania jest zbyt duża dla zwykłych rynkowych uniwersalnych maszyn cyfrowych. Tu można sobie pozwolić na to, aby maszyna w ciągu kilku czy kilkunastu godzin pracy zrobiła błąd i zatrzymała się.

Jedną z nowszych metod obliczeniowych, stosowanych w przemyśle, jest tzw. optymalizacja za pomocą programowania liniowego, służąca między innymi do rozwiązania zagadnienia transportu. Na przykład cztery wytwórnie mają dostarczyć produkt do 30 hurtowni na terenie całego kraju za pomocą 120 ciężarówek. Zadanie polega na wyborze trasy, wyborze wytwórni zaopatrującej daną hurtownię, wyborze ilości ładunku tak, aby przewozu dokonać minimalnym kosztem.

Dawniej zadania takie rozwiązywano intuicyjnie, gdyż przy tak dużym systemie transportu i przy stale zmieniającym się zapotrzebowaniu, rozwiązanie ściśle wymagałoby całego sztabu rachmistrzów. Dyspozytor kierujący się zdrowym rozsądkiem i doświadczeniem wykonywał pewien plan przewozów. Plan ten nie był najgorszy z możliwych, ale też z pewnością nie był najlepszy. Maszyna cyfrowa pozwala na ściśle rozwiązanie zagadnienia transportu. Zwłaszcza kolejnictwo często korzysta z usług maszyn cyfrowych. Optymalne planowanie przewozów pozwala na zaoszczędzenie poważnych sum.

b) Zarządzanie przedsiębiorstwem. Wbrew rozpowszechnionym przekonaniom większość maszyn cyfrowych zainstalowanych na świecie pracuje nie przy obliczeniach technicznych, lecz przy problemach administracyjnych. Najbardziej typowym zastosowaniem jest prowadzenie służby zaopatrzenia i zbytu, gospodarki magazynowej, planowanie operatywne, analiza rynku, księgowość zarobkowa (listy płac) itd. Istniejąca od niedawna nowa gałąź ekonomii matematycznej, tzw. analiza operacyjna, zajmuje się opracowaniem metod matematycznych racjonalnej administracji przedsiębiorstwem. O problemach, jakie napotyka administrator, może dać pojęcie przykład służby zaopatrzenia lotnictwa amerykańskiego, która gospodaruje 1 200 000 pozycjami magazynowymi i zadanie jej polega na dostarczeniu potrzebnej ilości części w wymaganym czasie, na wyznaczone miejsce. Od niezawodnego systemu zaopatrzenia zależy sprawność bojowa lotnictwa. Niedopuszczalne są nawet chwilowe braki. Wiemy z własnego doświadczenia, że racjonalna dystrybucja nie jest zadaniem łatwym. Maszyna cyfrowa spełnia tu rolę automatycznej kartoteki magazynowej.

c) Sortowanie i tłumaczenie dokumentacji naukowej. Podobną rolę kartoteki wypełniają maszyny cyfrowe w dużych bibliotekach i ośrodkach dokumentacji naukowo-technicznej. We współczesnym skomplikowanym świecie drukuje się takie mnóstwo artykułów i publikacji technicznych, że zadania klasyfikacji, odszukiwania i sortowania pozycji bibliograficznych przekraczają w dużych ośrodkach dokumentacji (np. typu naszego CIDNT) możliwości zatrudnionych tam setek pracowników bibliograficznych. Instaluje się wtedy maszynę cyfrową i w pamięci jej umieszcza się katalog, najczęściej w postaci zestawu taśm magnetycznych. Zainteresowany podaje maszynie zakodowane hasła klasyfikacji dziesiętnej (np. 661.53 oznacza „produkcja amoniaku”, a 681.142 oznacza hasło „maszyny cyfrowe”). Maszyna w odpowiedzi podaje numery i nazwy czasopism, w których omawiano automatyzację produkcji amoniaku za pomocą maszyny cyfrowej. Pamięć maszyny odgrywa w tym wypadku rolę kartoteki, a działania logiczne polegają na sortowaniu i wyszukiwaniu informacji. Jest to typowy przykład procesu przekształcania informacji.

Nowym zastosowaniem uniwersalnych maszyn cyfrowych jest tłumaczenie tekstów naukowych i technicznych. Zarówno w ZSRR, jak i w USA pracują maszyny cyfrowe przy tłumaczeniu publikacji z języka rosyjskiego na angielski i na odwrót. W pamięci zewnętrznej maszyny umieszcza się odpowiedni słownik branżowy oraz program przekształcania informacji czyli translator ujmujący pewne proste reguły gramatyki, fleksji i składni. Niekiedy w tłumaczeniach maszynowych pojawiają się

zabawne nieporozumienia językowe, np. przy wyborze synonimów. Podobne potknięcia przytrafiają się jednak i niedoświadczonym tłumaczom, zwłaszcza gdy posługują się nieodpowiednim słownikiem branżowym.

d) Prowadzenie gier. Człowiek może rozgrywać z maszyną cyfrową proste gry matematyczne, np. NIM. Gra ta polega na tym, że partnerzy biorą po kolei zapalki z pudełka według określonych reguł. Przegrywa ten, kto wziął ostatnią zapalke. Większe maszyny mogą być partnerami w bardziej złożonych grach, np. w brydżu, warcabach, a nawet szachach. Duża współczesna maszyna okazała się szachistą średniej klasy. Maszyna wygrywała partię ze słabymi przeciwnikami, a przegrywała z mistrzami. Dodać należy, że przedtem była zaprogramowana przez zespół, składający się z mistrzów szachowych i bystrzych matematyków.

Tego rodzaju problemy cybernetyczne nie są tylko ciekawostkami, czy ćwiczeniami akademickimi. Wiele praktycznych zagadnień z techniki wojennej i przemysłowej rozwiązuje się metodami teorii gier. Interesujących się teorią gier i analizą operacyjną odsyłamy do książki Allena pt. *Ekonomia matematyczna*, która niedawno pojawiła się w tłumaczeniu polskim (PWN, Warszawa 1961).

e) Kierowanie procesami produkcyjnymi i przekształcanie danych pomiarowych. W dużych zmechanizowanych instalacjach w rodzaju elektrowni parowej czy wytwórni amoniaku dyspozytor siedzący w nastawni nie jest w stanie wykorzystać wskazań wszystkich przyrządów. Opracowanie i przeliczenie setek metrów wykresów na taśmach rejestracyjnych zajmuje sekcji bilansowania pomiarów całe tygodnie pracy. I tu znowu maszyna cyfrowa przychodzi z pomocą człowiekowi, odciażając go od żmudnej pracy. W pierwszym etapie automatyzacji maszyna cyfrowa przekształca dane pomiarowe, w drugim etapie kieruje procesem produkcyjnym. Wyobraźmy sobie, że w instalacji wytwórni mamy 20 pomiarów przepływu gazów za pomocą zwęzek, czyli 20 pomiarów natężenia przepływu objętościowego gazu, wyrażonych w m^3/h . Do bilansu potrzebny jest przepływ masowy gazu wyrażony w kg/h . Dotychczas na podstawie zarejestrowanego wykresu przepływu objętościowego oraz wykresu temperatury i ciśnienia gazu obliczano żmudnie przepływ masowy do bilansu. Maszyna oblicza bilans materiałowy i energetyczny co minutę lub dwie, dając cenne wskazówki dyspozytorowi, prowadzącemu ruch oddziału czy zakładu. Maszyna może prócz tego liczyć sprawność i wydajność procesu, sygnalizować odchylenia parametrów od normy i na żądanie podawać informacje, co należy zrobić, aby jak naj-

sprawniej usunąć odchylenie czy awarię, kiedy włączyć agregat rezerwowy itp.

Czynności te noszą nazwę przekształcania danych pomiarowych i stanowią wstępny etap do pełnej automatyzacji procesu. W etapie docelowym maszyna cyfrowa zamiast informować dyspozytora o najszybszym sposobie usunięcia odchylenia czy awarii, sama podaje odpowiedni sygnał na regulatory czy wprost na zawory. O tym jednak będzie mowa w jednym z dalszych referatów. Należy jeszcze dodać, że w przemyśle maszynowym maszyny cyfrowe stosuje się do sterowania obrabiarek. Konstruktor zamiast wykonywać warsztatowe rysunki robocze programuje maszynę, która produkuje taśmę dziurkowaną, sterującą obrabiarkę.

Z tego krótkiego, wrywkowego przeglądu zastosowań maszyn cyfrowych możemy zorientować się w niesłychanie szerokich możliwościach stojących w przyszłości przed techniką cyfrową. Widzimy, że maszyna cyfrowa nie jest tylko przyrządem do szybkiego rachowania, ale że możliwości jej są ograniczone tylko pojemnością pamięci i szybkością działania. Postęp w dziedzinie konstrukcji maszyn jest tak szybki, że można już dziś kupić maszynę tysiąc razy szybszą i 50 razy pojemniejszą od naszych maszyn ZAM-2 i UMC, skonstruowanych przed paru zaledwie laty. Możliwości zastosowań rosną równie prędko jak zdolności maszyn cyfrowych.

Nicią przewodnią, łączącą te wszystkie zastosowania w tylu różnych dziedzinach życia, jest proces przekształcania informacji. Dostarczamy maszynie cyfrowej pewnych danych w postaci cyfr czy znaków, a ona przekształca te informacje i dostarcza nam wydrukowane wyniki. Podsumowując możemy powiedzieć, że maszyna cyfrowa jest aparatem do przekształcania informacji. W następnym rozdziale postaramy się pokazać, na czym polega i jak przebiega przekształcenie informacji wewnątrz maszyny cyfrowej.

1.5. Jak pracuje maszyna cyfrowa

Może to brzmieć nieco paradoksalnie, ale najważniejszym elementem maszyny cyfrowej jest drut. Każda liczba, na której maszyna wykonuje działania, musi być przesłana po przynajmniej jednym przewodzie wewnątrz maszyny. Należy najpierw wyjaśnić jak najwygodniej można liczby przysyłać po drucie. Sama idea nie jest nowa. Wybierając numer abonenta na tarczy aparatu telefonicznego przesyłamy żądany numer do centrali. W ogóle można powiedzieć, że maszyny cyfrowe mają sporo

wspólnych cech z centralami telefonicznymi. Konstruktorzy maszyn cyfrowych nierzadko wywodzą się z projektantów central telefonicznych.

Kiedy zapalamy lampę elektryczną, przesyłamy prąd przez przewody łączące żarówkę z siecią. Lampa pali się póki nie przerwiemy prądu. Założmy, że chcemy sygnalizować światłem liczby. Można by dokonać tego przez liczenie liczby nadawanych błysków. Przy dużych liczbach zabierałoby to jednak zbyt wiele czasu. Dla przyspieszenia sygnalizacji należy więc posłużyć się systemem skrótów, czyli tzw. k o d e m. Przykładem kodu jest kod Morse'a, składający się z kropek i kresek. W technice cyfrowej wygodniej jest jednak posłużyć się innym rodzajem kodu, tzw. k o d e m b i n a r n y m (czyli d w ó j k o w y m). Umówmy się, że zamiast kropki będziemy nadawać błysk, a zamiast kreski brak błysku. Kod ten wymaga jednak synchronizacji, tzn. musi być nadawany i odbierany w takt uderzeń metronomu lub cykania zegara. Jeżeli przy pierwszym cyknieciu zegara nadamy błysk, przy drugim nie nadamy, a przy trzecim cyknieciu znowu błysniemy, to prześlemy sygnał błysk-brak-błysk, który odbiorca sygnału zapisze jako 101. Używamy pałki (jedynek) dla oznaczenia błysku i kółka (zera) dla oznaczenia braku błysku. Zobaczymy dalej, że sygnał 101 odpowiada liczbie 5.

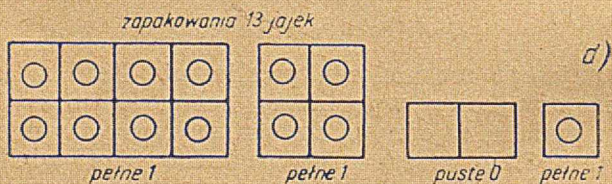
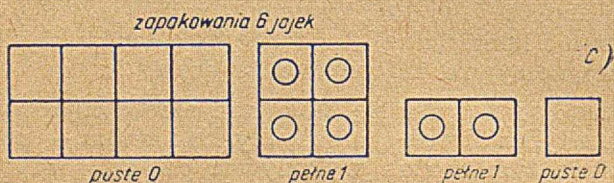
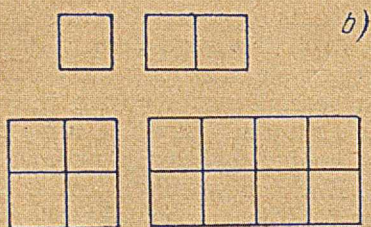
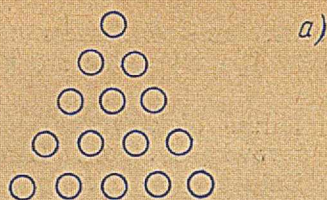
Omawiany kod nazywa się binarnym albo dwójkowym dlatego, że używa tylko dwóch symboli, błysku i braku — pałki i kółka. W kodzie tym można wykonywać działania arytmetyczne znacznie prościej niż w normalnie używanym systemie dziesiętnym, który do znaczenia liczby używa 10 znaków cyfrowych:

0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9.

Dla łatwiejszego zrozumienia przeliczenia liczb z kodu dziesiętnego na dwójkowy wyobraźmy sobie, że mamy 15 jajek (rys. 1.1a) i pudełko z jednym, dwoma, czterema i ośmioma przegródkami (rys. 1.1b), razem cztery pudełka różnej wielkości. Reguła nasza powiada, że pudełko z wieloma przegródkami musi być całkowicie wypełnione jajkami albo całkowicie puste. Nie wolno wypełniać pudełek wieloprzegrodowych częściowo. Pudełko puste oznaczamy zerem, pudełko pełne jedyneką. Zadanie polega na rozmieszczeniu każdej ilości jajek od 1 do 15 w pudełkach z zachowaniem reguły.

Na rysunkach 1.1c i d podano przykład rozmieszczenia 6 i 13 jajek. Okazuje się, że każdej liczbie jajek odpowiada jedna i tylko jedna kombinacja czterech jedynek i zer. Szóstce odpowiada 110, trzynastce zaś 1101.

Metodę tę można z łatwością uogólnić na większe liczby biorąc pudełka o 16, 32, 64, 128 itd. przegródkach. W języku matematy-



Rys. 1. 1. Przedstawienie liczby w układzie dwójkowym

ków operacja pakowania jajek nosi nazwę przeliczenia liczb z układu dziesiętnego w dwójkowy.

Umówmy się, zresztą w całkiem dowolny sposób, że w naszej maszynie będziemy używali serii 32 błysnięć. W żargonie programistów mówimy, że nasz wewnętrzny język maszynowy ma 32 bity na słowo. Największa liczba, jaką możemy przesłać, wynosi:

1111, 1111, 1111, 1111, 1111, 1111, 1111, 1111.

Tę liczbę wyrażoną w układzie dwójkowym możemy łatwo zamienić na liczbę w układzie dziesiętnym przez dodawanie i mnożenie przez kolejne potęgi liczby 2, podobnie jak to robimy w układzie dziesiętnym. Na przykład liczba 4 293 967 295 jest pozycyjnym skróconym zapisem rozwinięcia dziesiętnego:

$$4 \cdot 10^9 + 2 \cdot 10^8 + 9 \cdot 10^7 + 3 \cdot 10^6 + 9 \cdot 10^5 + 6 \cdot 10^4 + 7 \cdot 10^3 + 2 \cdot 10^2 + \\ + 9 \cdot 10^1 + 5 \cdot 10^0$$

A więc seria 32 pałek w systemie dwójkowym będzie oznaczała

$$2^{31} + 2^{30} + 2^{29} + \dots + 2^2 + 2^1 + 2^0 = 4\,293\,967\,295.$$

Widzimy, że za pomocą serii 32 błysków możemy zakodować wszystkie liczby od zera do 4 miliardów. Widać też stąd wyrażenie korzyści układu pozycyjnego: gdyby nie ten układ, przy sygnalizacji trzeba byłoby liczyć 4 miliardy błysków.

Na liczbach w układzie dwójkowym, składającym się tylko z zer i jedynek, można wykonywać wszelkie działania algebraiczne, obliczać pierwiastki, sinusy i logarytmy. Reguły obliczeń są nieco inne niż w układzie dziesiętnym, lecz znacznie prostsze. Przeliczanie z układu dziesiętnego na dwójkowy nie jest mianowicie niczym innym jak zmianą jednostek. W życiu codziennym też nieraz mówimy trzy tuziny zamiast 36 i nie sprawia nam to większych trudności. Zresztą maszyna przelicza automatycznie liczby z układu dwójkowego na dziesiętny i na odwrót. W pewnych warunkach można sprawnie programować maszyną nie znając arytmetyki dwójkowej. Pojęcia te potrzebne są nam tylko do zrozumienia, jak działa maszyna cyfrowa.

Podajemy tu przykład przeliczania z jednego układu na drugi. W układzie dziesiętnym liczba 1205 oznacza

1 tysiąc + 2 setki + 0 dziesiątek + 5 jednostek,
zatem

$$1205 = 1 \cdot 1000 + 2 \cdot 100 + 0 \cdot 10 + 5 \cdot 1 = 1 \cdot 10^3 + 2 \cdot 10^2 + 0 \cdot 10^1 + 5;$$

w układzie dwójkowym liczba 10010110101 oznacza

$$10010110101 = 1 \cdot 2^{10} + 0 \cdot 2^9 + 0 \cdot 2^8 + 1 \cdot 2^7 + 0 \cdot 2^6 + 1 \cdot 2^5 + 1 \cdot 2^4 + \\ + 0 \cdot 2^3 + 1 \cdot 2^2 + 0 \cdot 2^1 + 1 \cdot 2^0 = 2^{10} + 2^7 + 2^5 + 2^4 + 2^2 + 1 = \\ = 1024 + 128 + 32 + 16 + 4 + 1 = 1205.$$

Dodawanie i mnożenie w układzie dwójkowym jest bardzo proste. Tabela 1.1 i poniższe zestawienia zawierają reguły najprostszych działań w układzie dwójkowym (bilarnym):

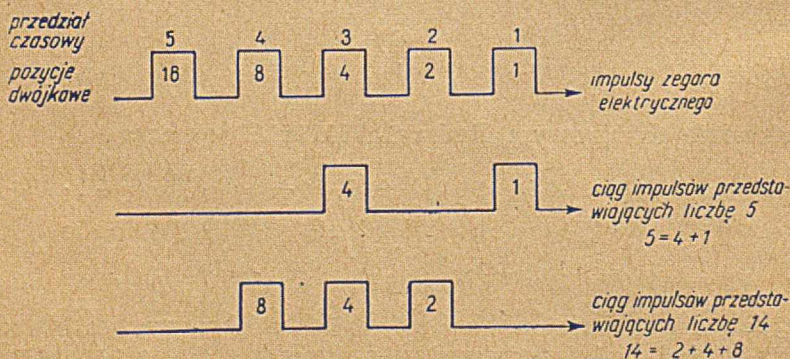
T a b e l a 1.1

Dodawanie	Mnożenie
$0+0=0$	$0 \cdot 0=0$
$0+1=1$	$0 \cdot 1=0$
$1+0=1$	$1 \cdot 0=0$
$1+1=10$	$1 \cdot 1=1$

Dla przykładu dodamy i pomnożymy dwie liczby zapisane w układzie dwójkowym:

$$\begin{array}{r}
 101101 \\
 + 011101 \\
 \hline
 1001010 \\
 \times 1001 \\
 \hline
 1001 \\
 0000 \\
 1001 \\
 \hline
 101101
 \end{array}
 \begin{array}{l}
 (= 32 + 8 + 4 + 1 = 45) \\
 (= 16 + 8 + 4 + 1 = 29) \\
 (= 64 + 8 + 2 + 0 = 74) \\
 (= 8 + 1 = 9) \\
 (= 4 + 1 = 5) \\
 \\ \\ \\
 (= 32 + 8 + 4 + 1 = 45)
 \end{array}$$

Każda maszyna zawiera w sobie tzw. zegar elektroniczny, tj. metronom, wybijający takt impulsów. Liczby reprezentowane są przez ciągi kilkudziesięciu (od 30 do 40) impulsów lub braku impulsów (rys. 1.2). Powoduje to, że elektroniczne maszyny cyfrowe pracują tak szybko. Bez trudności możemy przesyłać milion impulsów na sekundę, tj. około 30 tysięcy dużych liczb na sekundę. Maszyna cyfrowa jest zasadniczo elektronicznym aparatem do przekształcania serii impulsów, a swoją szybkość działania zawdzięcza nowoczesnym impulso-



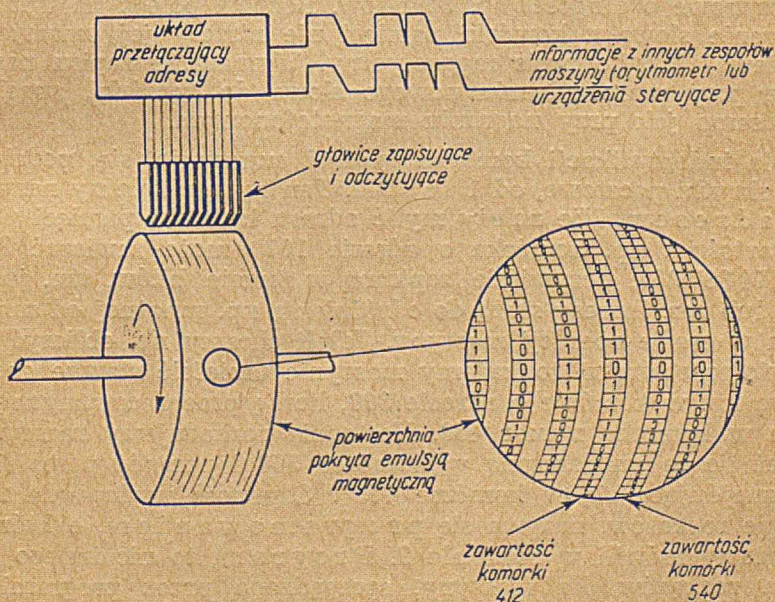
Rys. 1. 2. Przedstawienie liczby jako ciągu impulsów

wym układom elektronowym. Mechaniczne maszyny rachunkowe (tabulatory), pracujące na kartach dziurkowanych, są o wiele wolniejsze z powodu dużej bezwładności ruchomych części.

1.6. Pamięć

Jedną z istotnych cech maszyny cyfrowej jest zdolność zapamiętywania i przechowywania informacji, tj. liczb i znaków zapisanych w kodzie dwójkowym jako ciągi impulsów elektrycznych.

Powszechnie stosowanym sposobem zapisu jest zapis na bębnie lub taśmie magnetycznej, podobnej do taśmy magnetofonowej. Powierzchnia bębna powleczone jest emulsją zawierającą żelazo w postaci zawiesiny drobnych cząsteczek. Za pomocą specjalnych głowic można namagnesować drobne odcinki bębna. Namagnesowany odcinek oznacza 1, nienamagnesowany 0. Na jednym centymetrze ścieżki na obwodzie bębna można zamieścić koło 50 impulsów, czyli bitów. Bit oznacza jednostkę binarną (dwójkową), czyli 0 lub 1. W celu uzyskania szybkiego dostępu do pamięci, na bębnie umieszcza się np. 128 głowic pisząco-czytających, które tworzą 128 ścieżek zapisu na bębnie wirującym ze stałą prędkością (rys. 1.3). Pojemność ta-



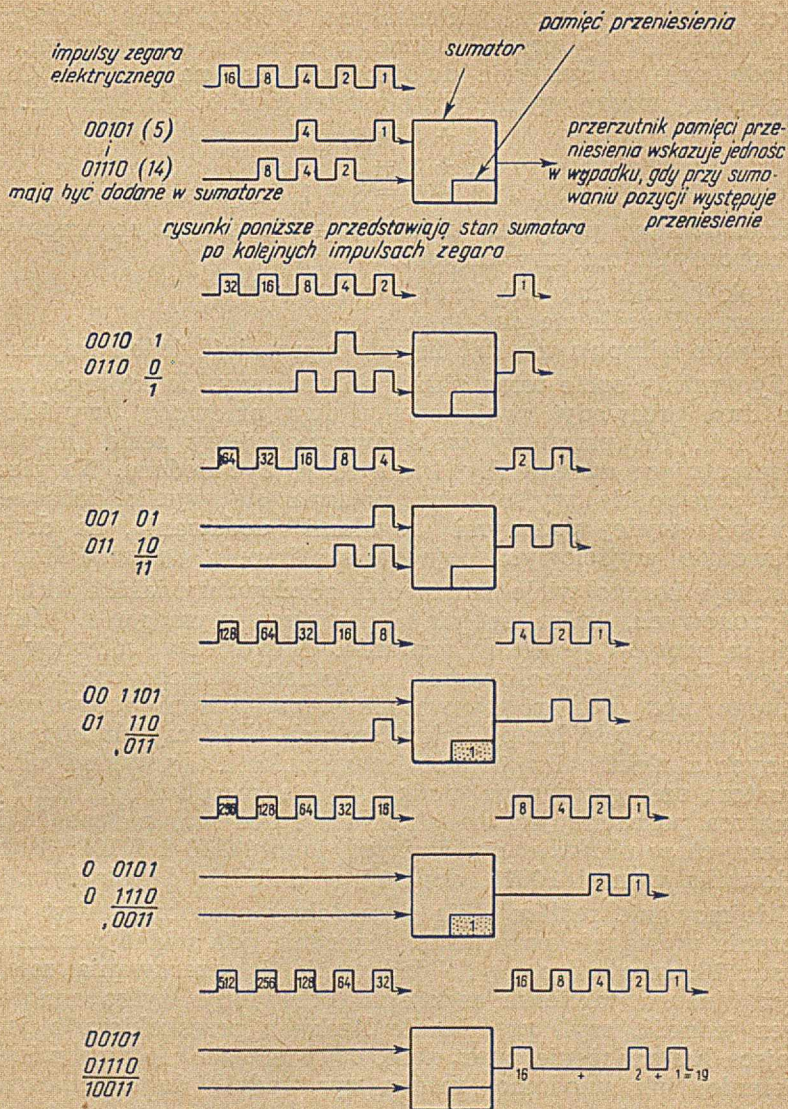
Rys. 1. 3. Pamięć bębnowa

kiej pamięci wynosi np. $128 \cdot 128 \cdot 32 = 524\,000$ bitów, czyli około 16 000 słów na 32 bity. Średni czas dostępu zależy od obrotów bębna i jest rzędu kilku tysięcznych sekundy. Szpula z taśmą magnetyczną pozwala zmagazynować miliony słów, jednak średni czas dostępu ze względu na konieczność przewijania szpuli wynosi nieraz kilkadziesiąt sekund.

Tego rodzaju urządzenia pamięciowe o dużej pojemności, lecz o długim czasie dostępu, są zbyt powolne dla nowoczesnych szybkich maszyn. Dlatego też, oprócz pamięci zewnętrznej, tzn. bębnowej lub taśmowej, współczesne maszyny mają pamięć wewnętrzną o krótkim czasie dostępu rzędu ułamka milisekundy. Są to albo linie opóźniające magnetostrykcyjne albo tabliczki z małymi uzwojonymi rdzeniami ferrytowymi. Ferryt ma kształt pierścienia o średnicy 1 mm. Zapis bitu polega na namagnesowaniu rdzenia zgodnie (1) lub przeciwnie (0) ruchowi wskazówek zegara. Pojemność pamięci wewnętrznej lub „żywej” w maszynach średniej wielkości wynosi od tysiąca do czterech tysięcy słów. Pamięć żywa jest bardzo kosztowna i tylko wielkie maszyny, które kosztują po parę milionów dolarów, mają pamięć żywą o pojemności kilkunastu tysięcy słów.

Pamięć wewnętrzna lub zewnętrzna o pojemności 2000 słów można sobie wyobrazić jako szafę z dwoma tysiącami skrytek pocztowych. W każdej skrytce możemy umieścić jedno słowo maszynowe o długości np. 32 bitów. Różnica polega na tym, że pobranie słowa z komórki pamięci nie niszczy jej zawartości, ponieważ jest to zapis magnetyczny. Wymazanie zapisu następuje przy wprowadzeniu nowego słowa do komórki, zupełnie tak samo jak przy nagraniu magnetofonowym.

Dla identyfikacji komórki pamięci numeruje się, podobnie jak skrytki pocztowe, od 1 do 2000. Ten numer kolejny nazywa się *adresem*. Nie należy mylić adresu komórki pamięci z jej zawartością, np. komórka o adresie 1073 może zawierać liczbę 174 387 264, oczywiście zapisaną w formie bitów, tzn. jedynek lub zer. Adresy służą do odróżniania np. mnożnej od mnożnika w czasie operacji maszyny. Jeżeli chcemy np. obliczyć zarobek pracownika, to każemy maszynie umieścić stawkę godzinową np. w komórce o adresie 308, liczbę przepracowanych godzin w komórce numer 453. Następnie rozkazujemy maszynie: „Weź liczbę umieszczoną w komórce 308 i pomnóż przez liczbę znajdującą się w komórce 453”. Czynność wydawania maszynie rozkazów, nazywa się *programowaniem*, o którym będziemy mówili w rozdziale 9. Program, to nic innego jak seria rozkazów dla maszyny, sporządzana przez programistę, matematyka lub inżyniera użytkującego maszynę.



Rys. 1. 4. Zasada działania sumatora szeregowego

1.7. Arytmometr elektroniczny

Wiemy już, w jaki sposób maszyna przesyła liczby po drutach, jak potrafi zapamiętywać liczby i wywoływać je z pa-

mięci. Pokażemy teraz, jak maszyna cyfrowa dodaje, odejmuje i mnoży liczby przedstawione w układzie dwójkowym.

Dodawanie w systemie dwójkowym jest najprostsze. Określają je trzy wzory arytmetyki binarnej (por. tabela 1 na str. 18).

$$0 + 0 = 0,$$

$$1 + 0 = 1,$$

$$1 + 1 = 0 \text{ i } 1 \text{ do przeniesienia.}$$

Transponując powyższe działania na operacje na impulsach elektrycznych możemy napisać:

brak i brak ma dać brak,

impuls i brak ma dać impuls,

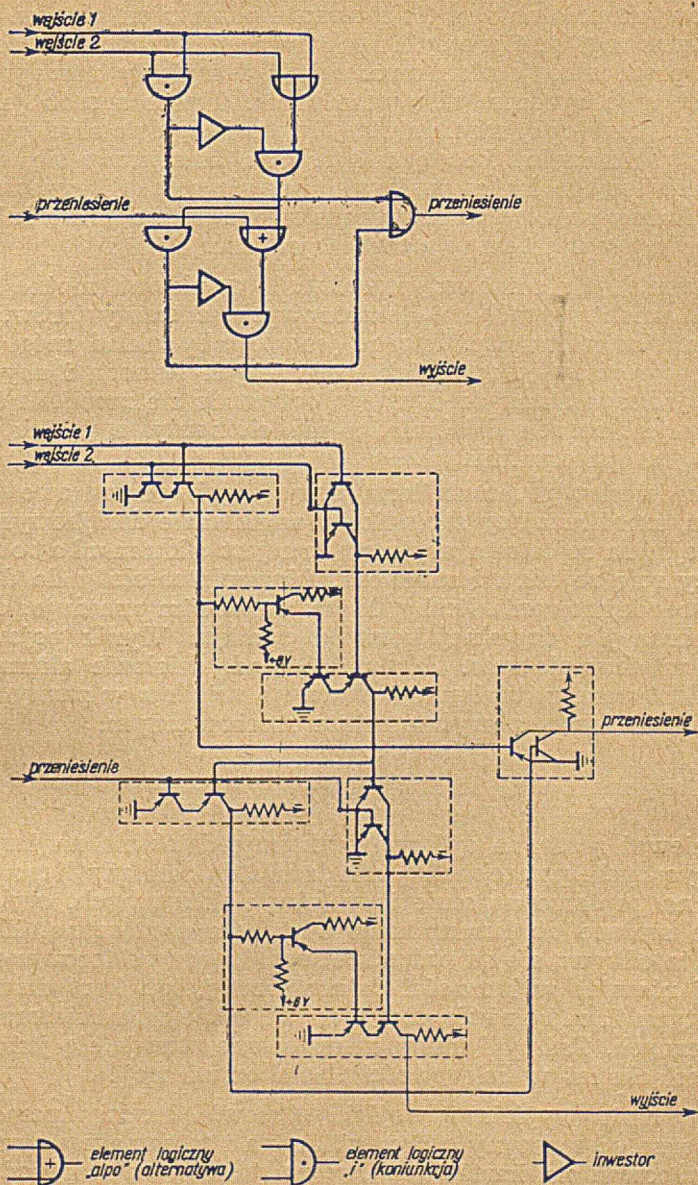
impuls i impuls ma dać impuls i przenieść jeden impuls.

Wyobraźmy sobie teraz układ elektronowy, do którego wchodzi dwa przewody wejściowe i dwa przewody wyjściowe. (rys. 1.4). Na przewody wejściowe podajemy serie impulsów reprezentujące dwie liczby, które mają być dodane. Na pierwszym przewodzie wyjściowym pojawia się wynik dodawania, określony wyżej podanymi regułami dodawania, na drugim przewodzie wyjściowym pojawia się impuls do przeniesienia.

Istnieje bardzo wiele możliwości zbudowania takich układów elektronowych, które spełniają powyższe wymagania. Układy takie są proste i pewne w działaniu. Elektronowe obwody sumujące mogą być realizowane za pomocą różnego rodzaju elementów, np. diod półprzewodnikowych, rdzeni ferrytowych, tranzystorów lub lamp elektronowych. Dla czytelników obeznanych z elektroniką podano na rysunku 1.5 przykład układu sumatora szeregowego na diodach, gdzie sposób i opis działania sumatora pokazany jest na przykładzie dodawania liczb 14 i 5, zapisanych w układzie dwójkowym jako 01110 i 00101. Wynik dodawania wynosi 10011, czyli 19 w układzie dziesiętnym.

Odejmowanie realizuje się w podobny sposób: zamiast przenoszenia występuje pożyczanie. Mnożenie, jak widać z tabeli 1.1 na str. 18, sprowadza się do dodawania i przesuwania miejsc, gdyż binarna tabliczka mnożenia przewiduje tylko mnożenie przez jedność, czyli przepisanie liczby z przeskokiem o jedno miejsce lub mnożenie przez zero, czyli przeskok o dwa miejsca. Dzielenie, jak wiadomo, można sprowadzić do odejmowania i mnożenia.

W elektronowym arytmometrze występują tzw. rejestry, podobnie jak w arytmometrach mechanicznych. Rejestr służy do zapisania liczby binarnej, czyli serii impulsów i braków, oraz do przesuwania tej liczby o jedno lub więcej miejsc dwójkowych. Jeżeli maszyna nasza wykonuje działania na liczbach np. o 32 miejscach dwójkowych, to rejestr składać się będzie z 32 zespołów, zwanych prz e r z u t n i k a m i. Przerzutniki lub



Rys. 1. 5. Schemat funkcjonalny i ideowy sumatora szeregowego

multiwibratory są to elektronowe urządzenia dwupołożeniowe, które w stanie ustalonym mogą znajdować się tylko w dwóch krańcowych położeniach. Zajmowanie pośrednich położeń w stanie równowagi jest niemożliwe. Lampa elektronowa albo przewodzi prąd, albo jest zatkana. Rdzeń ferrytowy namagnesowany jest albo zgodnie, albo przeciwnie. Trzeci sposób jest niemożliwy. Analogią mechaniczną ilustrującą działanie przerzutnika jest huśtawka dziecięca (rys. 1.6). Umawiamy się, że podniesienie lewego końca huśtawki ku górze, czyli przewodzenie lewej lampy oznacza zero, podniesienie prawego końca lub przewodzenie prawej lampy oznacza jedność.

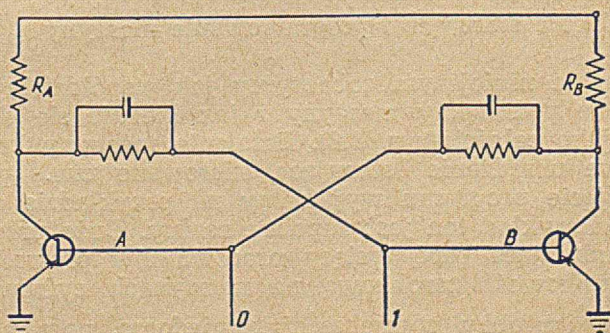
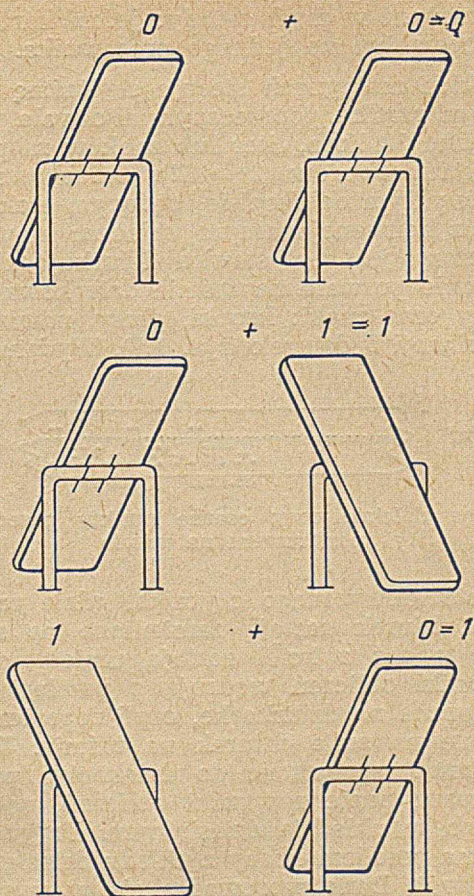
Podobnie jak sumator, przerzutnik zbudować można z różnych elementów, z lamp elektronowych, z tranzystorów, ferrytów, przekazywaczy itp. Istotne jest to, aby układ mógł stabilnie pracować tylko w dwóch dyskretnych stanach i aby przejście z jednego stanu do drugiego odbywało się możliwie szybko. Ważna jest zasada działania, a nie elementy, z jakich zbudowany jest przerzutnik.

Kilkadziesiąt przerzutników połączonych szeregowo tworzy rejestr, umożliwiający zapis liczby w układzie dwójkowym. Najważniejszym rejestrem arytmometru jest **a k u m u l a t o r**, spełniający rolę rejestru i sumatora. Akumulator służy do dodawania lub odejmowania liczby, która się w nim znajduje, do liczby pobranej z dowolnej komórki pamięci. Wynik pojawia się znów w akumulatorze. Jak widać stąd, działanie akumulatora jest identyczne z działaniem głównego rejestru w znanym powszechnie korbowym arytmometrze mechanicznym.

1.8. Urządzenia wejścia i wyjścia

Ponieważ maszyna cyfrowa wykonuje działania na impulsach elektrycznych, potrzebne są urządzenia do zamiany liczb napisanych na papierze na serie impulsów elektrycznych, czyli urządzenie służące do komunikacji człowieka z maszyną. Komunikacja ta odbywa się za pośrednictwem taśmy perforowanej, używanej również w łączności dalekopisowej, lub kart dziurkowanych typu Hollerith, stosowanych także w tabulatorach mechanicznych. Taśmy i karty dziurkowane stosuje się już od kilkudziesięciu lat w księgowości i telekomunikacji.

Urządzenia wyjścia i wejścia stanowią zespoły pomocnicze, niezależne od maszyny cyfrowej. Jedna i ta sama maszyna może raz pracować na kartach, a raz na taśmie, zależnie od zamówionego sprzętu. Dla maszyn wykonujących obliczenia naukowe wygodniejsza jest taśma perforowana. Do obliczania list płacy i rachunkowości materiałowej lepiej posługiwać się kar-



Rys. 1. 6. Zasada działania i schemat przerzutnika (multiwibratora)

tami dziurkowanymi w myśl zasady: jedna karta na jedną pozycję magazynową lub na jednego pracownika.

W europejskich maszynach stosuje się taśmę z pięciu dziurkami w jednym rządku poprzecznym. Pozwala to na zapisanie w jednym rządku 32 liczb, liter lub znaków za pomocą różnych kombinacji pięciu otworów ($2^5 = 32$). Dziurkowanie taśmy odbywa się na zwykłym dalekopisie, będącym elektryczną maszyną do pisania z konwencjonalnym układem klawiatury. Do dalekopisu dołączona jest przystawka dziurkująca taśmę. Pomyślowe rozwiązanie pozwala na taśmie dziurkować zarówno cyfry, jak i litery oraz znaki: kropki, plusy, nawiasy itp., za pomocą 32 kombinacji 5 dziurek (rys. 1.7). Wydziurkowana taśma



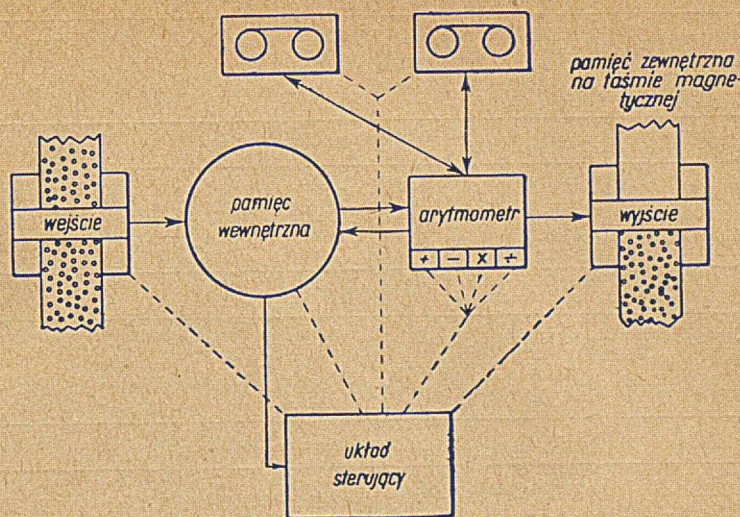
Rys. 1. 7. Taśma dalekopisowa; czarne punkty przedstawiają dziurki perforowane na taśmie

wędruje do fotoelektrycznego czytnika, gdzie za pomocą fotokomórek serie dziurek zostają zamienione na serie impulsów elektrycznych, te zaś z kolei zostają umieszczone w pamięci maszyny. Wyniki obliczeń wędrują z pamięci maszyny jako impulsy elektryczne na dziurkarke, czyli reperforator i tam zostają zamienione na serie dziurek na taśmie. Wydziurkowana taśma z wynikami wpuszczona do dalekopisu pozwala wydrukować na arkuszu papieru wyniki obliczeń, w postaci tekstu słownego i liczb w układzie dziesiętnym. Przypomnieć należy, że maszyna sama przelicza liczby z układu dziesiętnego na dwójkowy i na odwrót. Dane wprowadza się w zwykłym układzie dziesiętnym i w tej samej postaci otrzymuje się wyniki.

1.9. Urządzenie sterujące i programowanie maszyny

W rozdziale niniejszym zobaczymy jak współdziałają z sobą poszczególne podzespoły maszyny i jak kieruje się działaniem maszyny jako całości (rys. 1.8). Działanie maszyny koordynuje elektronowe urządzenie sterujące, kierowane tzw. programem. Pojęcie programu wyjaśnimy na przykładzie obliczenia listy płac. Przykład ten jest zupełnie realny. Duże przedsiębiorstwa zatrudniające parę tysięcy pracowników prowadzą z reguły rachunkowość zarobkową na maszynach cyfrowych.

Obliczanie zarobku wykracza, jak wiadomo, poza proste pomnożenie liczby przepracowanych godzin przez stawkę godzin-



Rys. 1. 8. Schemat funkcjonalny maszyny cyfrowej; linie ciągłe oznaczają przepływ danych i rozkazów, linie przerywane oznaczają przepływ sygnałów sterujących

nową. Do zarobku dochodzą: dodatek za nadgodziny, średnia stawka z 3 miesięcy za okresy urlopu czy choroby i premie za wydajność. Z płacy brutto potrąca się podatek według stawki podatkowej zależnej od płacy brutto, dalej, składki związkowe i inne, raty zaliczek czy pożyczek z kasy zapomogowej itp. Prócz obliczenia płacy netto rachunkowość musi rozdzielić przepracowane godziny według zleceń w celu stwierdzenia procentu zaawansowania wykonania zlecenia. Pożyteczne jest również obliczenie potrzebnej ilości monet i banknotów dla zakopertowania zarobków. Jak widać, zadania są dość skomplikowane przy większej liczbie pracowników i muszą być wykonane w ciągu bardzo krótkiego czasu, gdyż wypłata musi być wykonana w terminie. Przyjrzyjmy się dokładniej paskowi, który znajdujemy w kopertach z płacą (rys. 1.9).

W ustępie 1.6, omawiającym pamięć maszyny, wspomnieliśmy, że dla pomnożenia liczby przepracowanych godzin przez stawkę musimy wydać maszynie rozkaz: „Weź zawartość komórki 308 i pomnóż przez zawartość komórki o numerze 453”. Przypominamy, że pamięć maszyny podzielona jest na numerowane komórki, z których każda mieści jedną liczbę wielocyfrową. Numer kolejnej komórki nazywamy adresem. Powyższy rozkaz zawiera nazwę działania, które trzeba wykonać (tzw. część operacyjna rozkazu) i dwa adresy komórek zawierających

Okres	Dniówka	50%	100%	Razem	Stawka za 1 godz.
X	208				7,50

Placa zasadn.	Premie	Godz. nadliczb.	Premia ak.	Dep. węgl.
1560	330			50

W. za urlop	Razem brutto	Podatek	Węgiel	Zw. Zaw.
	1940.—	136,80		18

Kasa zap.	Kasa pogrzeb.	SFBS	Czynsze	Zaliczka	Razem potrącenia
		10		600	764,80

Wypłata	Zasilek rodz.	Razem wypłata	Nazwisko i imię	Lp.
1175,20		1175,20	Nowak Marek	112

Rys. 1. 9. Przykład paska pracownika na liście płac

liczby, na których trzeba wykonać działanie (tzw. część adresu rozkazu). Wszystkie możliwe działania i operacje zakodujemy w postaci liczb. Na przykład umówimy się, że:

- 2: oznacza dodawanie do liczby znajdującej się w akumulatorze,
- 3: oznacza odejmowanie od liczby znajdującej się w akumulatorze,
- 4: oznacza mnożenie liczby znajdującej się w rejestrze mnożnika,
- 5: oznacza dzielenie liczby znajdującej się w akumulatorze,
- 6: oznacza przeniesienie liczby z pamięci do akumulatora,
- 7: oznacza przenoszenie liczby z pamięci do rejestru mnożnika,
- 8: oznacza przenoszenie liczby z akumulatora do pamięci,
- 9: oznacza przenoszenie liczby z rejestru mnożnika do pamięci,

0: oznacza skocz przy minusie, tzn. wykonaj rozkaz następny, jeżeli liczba w akumulatorze jest większa lub równa zeru; jeżeli zaś liczba zawarta w akumulatorze jest ujemna, to wykonaj rozkaz zawarty w komórce o adresie podanym w części adresowej rozkazu (rozkaz ten jest warunkowy i będzie omawiany w dalszym rozdziale).

Przypomnieć należy, że akumulator jest to rejestr, w którym umieszcza się składnik przy dodawaniu, odjemną przy odejmowaniu i mnożną przy mnożeniu. Po wykonaniu działania w akumulatorze pozostaje jego wynik, tj. suma, różnica lub iloczyn. Programowanie operacji mnożenia będzie więc wyglądało następująco:

7—308: wyzeruj rejestr mnożnika i umieść w rejestrze mnożnika liczbę znajdującą się w komórce o adresie 308,

4—353: pomnóż liczbę znajdującą się w rejestrze mnożnika przez liczbę znajdującą się w komórce o adresie 353,

8—511: iloczyn znajdujący się w akumulatorze umieść w komórce pod adresem 511.

Jak widać z powyższego prostego przykładu, „mózg elektronowy” jest zupełnie bezmyślny, robi tylko to, co mu każe programista. Nawet tak proste działanie jak mnożenie wymaga aż trzech rozkazów. Podany przykład odnosi się do najczęściej spotykanych maszyn jednoadresowych. Istnieją maszyny wieloadresowe, których opis wychodzi poza zakres artykułu wprowadzającego.

Doszliśmy teraz do najważniejszego punktu naszych rozważań:

Ponieważ rozkazy dla maszyny można zapisać w postaci liczb, więc można je też zapisać jako ciągi impulsów, po jednym rozkazie w każdej komórce pamięci.

Jest to najważniejsza cecha maszyn cyfrowych. Pomysł zapisywania rozkazów w pamięci w postaci liczb pochodzi od von Neumana i ma przełomowy i doniosły charakter. Dlatego też nazwaliśmy na początku maszynę cyfrową maszyną programowaną. Zdolność zapamiętywania rozkazu jako liczby odróżnia programowane maszyny cyfrowe od elektrycznych tabulatorów, które też wykonują działania na impulsach. Właśnie tu kryje się tajemnica doskonałości i uniwersalności maszyn cyfrowych. Dla uprzytomnienia sobie tych możliwości należy przypomnieć, że pojemność pamięci współczesnych maszyn wynosi kilka lub kilkanaście tysięcy komórek. Maszyna może więc zapamiętać bardzo skomplikowane i długie programy, składające się z tysięcy rozkazów. Wykonanie takiego programu w elektronowym aparacie trwa parę minut.

Widzimy też, dlaczego programiści używają terminu słowo zamiast liczba. Słowo może oznaczać zarówno liczbę, jak i rozkaz. O tym, czy dane słowo jest rozkazem czy liczbą, decyduje tylko miejsce umieszczenia w pamięci. Najpierw umieszcza się rozkazy (wczytanie programu do pamięci), następnie wczytuje się dane liczbowe. Należy dodać, że na rozkazach, a raczej na częściach adresowych rozkazu, można wykonywać działania arytmetyczne. Jak to wykonać, zobaczymy w następnym ustępie.

Rozkaz zakodowany w postaci serii impulsów, np. „słowo z 32 bitów”, maszyna przesyła do urządzenia sterującego, które zależnie od treści rozkazu tak nastawia bramki elektroniczne, że maszyna wykonuje operację przewidzianą rozkazem, np. dodawanie czy przeniesienie z danej komórki pamięci. Na przykład czwórka na początku rozkazu nastawia bramki na mnożenie.

Maszyny pracują na ogół na dwa tempa. W pierwszym takcie maszyna pobiera samoczynnie rozkaz z pamięci do urządzenia sterującego, w drugim takcie wykonuje go, następnie znów pobiera kolejny rozkaz i znów go wykonuje itd. Czynność ta wykonywana jest samoczynnie, aż do wyczerpania wszystkich rozkazów zapisanych w pamięci (rys. 1.10).

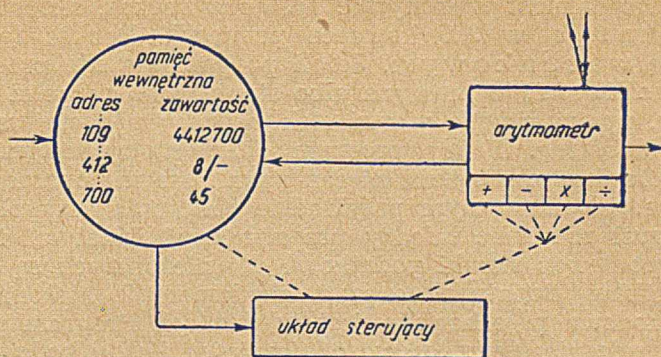
Kompletna lista rozkazów nazywa się programem. Duże programy (np. rozwiązanie układu 90 równań) składają się z paru tysięcy rozkazów. Artykuł 2 niniejszej monografii poświęcony jest technice sporządzania programów, tj. programowaniu maszyny cyfrowej.

1.10. Zdolność rozumowania

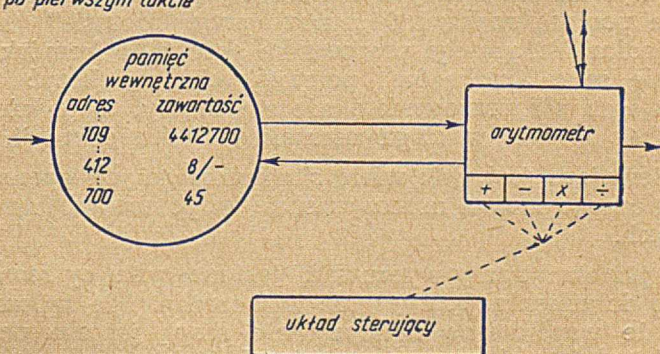
Drugą, bardzo istotną cechą programowanej maszyny cyfrowej, odróżniającą ją od innych maszyn matematycznych, jest zdolność wykonywania nie tylko operacji arytmetycznych, lecz także i logicznych, czyli zdolność do prostego rozumowania i wyboru.

W pierwszym rzędzie zdolność ta polega na samodzielnym wyborze różnych części programu w zależności od częściowego wyniku obliczeń. Istnieją obwody elektroniczne, które badają znak liczby. Jeżeli liczba jest ujemna, do układu sterującego posyła się inną serię rozkazów zapisaną w pamięci. Jeżeli liczba jest dodatnia, rozkazy wykonuje się w normalnej kolejności, w jakiej zostały wpisane do pamięci. Zdolność do podejmowania decyzji logicznych nie stoi w sprzeczności z podkreślaną wielokrotnie bezmyślnością maszyny. Maszyna podejmuje tylko te decyzje, które przewidział programista i zaprogramował np. za

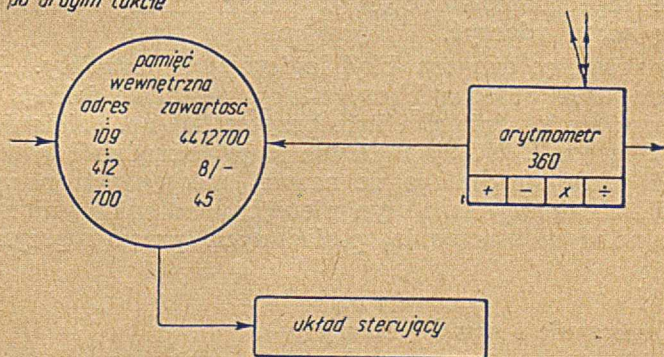
położenie układu po wykonaniu poprzedniego rozkazu



po pierwszym takcie



po drugim takcie



Rys. 1. 10. Etapy obliczania listy płac; mnożenie 48 godzin przez stawkę 8 zł
Zakładamy, że poprzednia instrukcja była umieszczona pod adresem 108; następna instrukcja będzie zatem pod adresem 109; zawartość komórki podana jest w układzie dziesiętkowym, w rzeczywistości jednak liczby zakodowane są w układzie dwójkowym

pomocą rozkazu 0—315, tzn. „jeżeli w akumulatorze jest liczba ujemna, to zamiast wykonywać następny rozkaz, skocz do rozkazu zawartego w 315 komórce pamięci”. Rozkaz taki nazywa się warunkowym. Jeżeli programista nie przewidział takiej możliwości, to maszyna albo stanie, albo wypełni błędnie operację, np. wyciągnie pierwiastek z liczby ujemnej tak, jakby była dodatnią. Każdy program obliczeniowy zawiera wiele operacji logicznych. Są one nieraz ważniejsze niż operacje arytmetyczne. W omawianym przykładzie obliczania listy płac maszyna musi rozróżnić między pracownikami żonatymi i kawalerami, ponieważ stawki podatkowe dla nieżonatych są wyższe. Pracowników żonatych oznacza się kodem 2, nieżonatych 1. Liczba kodowa przechowana jest w pamięci. Program przenosi ją do urządzenia sterującego i odejmuje od liczby kodowej liczbę 2. W wyniku dla żonatych dostaniemy 0, dla nieżonatych —1. Teraz za pomocą rozkazu 0 „skocz przy minusie” maszyna w przypadku nieżonatego pracownika skoczy do komórki, gdzie mieści się seria rozkazów polecających zwiększyć stawkę o 50%. Jeżeli zaś pracownik okaże się żonaty, to podatek obliczy się bez zwwyżki w ciągu normalnego toku operacji.

Zdumiewające jest, jak wiele skomplikowanych operacji wyboru logicznego można urzeczywistnić za pomocą rozkazów warunkowych.

Teraz już zaczynamy wyczuwać, jak maszyna cyfrowa może sortować dokumentację, czy grać w warcaby. Nie zapominajmy jednak, że współczesne maszyny nie mogą jeszcze uczyć się same. Nauczyć grać maszynę musi człowiek przez odpowiednio dowcipne zaprogramowanie na wypadek każdej ewentualności, która się może zdarzyć.

Wiemy teraz, co oznacza błąd logiczny programisty. Po prostu programista przeoczył, czy nie przewidział jakiejś możliwości, która się właśnie złośliwie przytrafiła (np. dzielenie przez liczbę bliską zera). Wtedy maszyna staje bezradna i sygnalizuje „Błąd!” Wydaje się dlatego, że nazwa „mózg elektronowy” jest jeszcze dla dzisiejszych maszyn nieusprawiedliwiona mimo pewnych zdolności rozumowania, posiadanych przez maszynę cyfrową.

1.11. Zakończenie i spis literatury

Autorowi trudno było rozwinąć obszerny temat zapowiadany w tytule, w ograniczonych ramach artykułu. Jeszcze trudniejsze było przewidywanie możliwych zapytań czytelników. Autor starał się wyjaśnić tylko najistotniejsze i najważniejsze pojęcia, niezbędne do zrozumienia dalszych artykułów mono-

grafii. Czytelników interesujących się dalszymi szczegółami należy odesłać do popularyzującej literatury, opisującej budowę i działanie maszyn cyfrowych:

1. Empacher, Maszyny liczą same.
2. Fahnenstock, Computers and how they work.
3. Poyen, Langage Electronique.
4. Friedlender, Ceitlin, Elektronnyje wyczislitelnyje maszyny.
5. Forbig Luck, Elektronische Rechentechnik.

Wymienione powyżej broszury nie wymagają przygotowania wychodzącego poza zakres szkoły średniej. Spisy bardziej fachowej literatury zostaną podane w innych artykułach. Praca niniejsza ma charakter wprowadzający, umożliwiający czytelnikom zrozumienie dalszych części monografii.

2. PROGRAMOWANIE MASZYN CYFROWYCH

Streszczenie. Podstawowe pojęcia dotyczące maszyn cyfrowych (pamięć, arytmometr, wejście, wyjście, sterowanie, system binarny liczenia) zostały w sposób poglądowy przedstawione w artykule 1.

Pierwsza część niniejszego artykułu zawiera szczegółowy opis i charakterystykę maszyny ZAM-2. W części drugiej omówiono zagadnienie programowania, czyli proces tłumaczenia problemu z postaci dogodnej dla człowieka na postać zrozumiałą dla maszyny. Trzecia część dotyczy tzw. podprogramów i biblioteki podprogramów. Zostanie tu objaśniony sposób zapisywania i przechowywania typowych i często występujących w problemach obliczeń (np. całkowanie, rozwiązywanie układów równań, obliczenie funkcji trygonometrycznych). W czwartej części rozpatrzono w sposób pobieżny zasady programowania w systemie SAS. Omówiono zalety i trudności przy programowaniu w tym systemie. W piątej części na konkretnym przykładzie omówiono zasady programowania w systemie SAKO. I wreszcie w szóstej części wyciągnięto wnioski wynikające z treści niniejszego artykułu.

2.1. Opis i charakterystyka maszyny ZAM-2

W maszynie cyfrowej ZAM-2 pod względem funkcjonalnym wydzielić można 5 podstawowych urządzeń:

- 1) pamięć,
- 2) arytmometr,
- 3) sterowanie,
- 4) urządzenie wejścia,
- 5) urządzenie wyjścia.

Na rysunku 2.1 przedstawiono schemat maszyny, ilustrujący współzależność poszczególnych jej urządzeń. Liniami ciągłymi oznaczono przepływ informacji, a liniami przerywanymi sygnały sterowania.

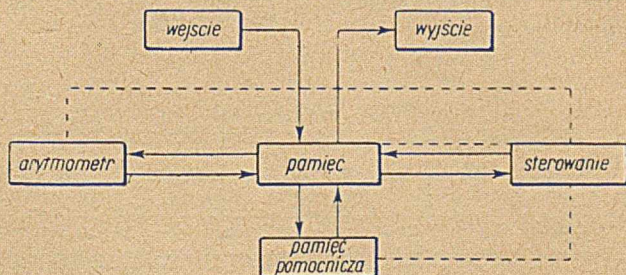
2.1.1. Pamięć. Pamięć służy do przechowywania informacji, które zostaną wprowadzone do maszyny. Pamięć składa się z komórek zwanych miejscami pamięci. Każdemu

z miejsc nadaje się numer i nazywa się go adresem tego miejsca.

Pamięć maszyny cyfrowej ZAM-2 składa się:

a) z pamięci wewnętrznej, mającej bezpośrednie połączenie z pozostałymi częściami maszyny;

b) z pamięci pomocniczej, służącej do przechowywania informacji, które nie mieszczą się w pamięci wewnętrznej; pamięć pomocnicza ma bezpośrednie połączenie tylko z pamięcią wewnętrzną.



Rys. 2. 1. Schemat maszyny ilustrujący współzależność poszczególnych jej urządzeń; liniami ciągłymi oznaczono przepływ informacji, liniami przerywanymi — sygnały sterowania

Pamięć wewnętrzna składa się z 512 długich miejsc pamięci lub 1024 krótkich miejsc pamięci. Każde długie miejsce składa się z dwóch krótkich miejsc pamięci. Długie miejsca pamięci mają numery parzyste: 0, 2, 4, ..., 1022, natomiast krótkie miejsca pamięci są ponumerowane kolejno: 0, 1, ..., 1023.

Pamięć pomocniczą maszyny cyfrowej ZAM-2 stanowi bęben magnetyczny. Zawiera on 16 384 słowa długie lub 32 768 krótkie.



Rys. 2. 2. Słowo długie maszyny

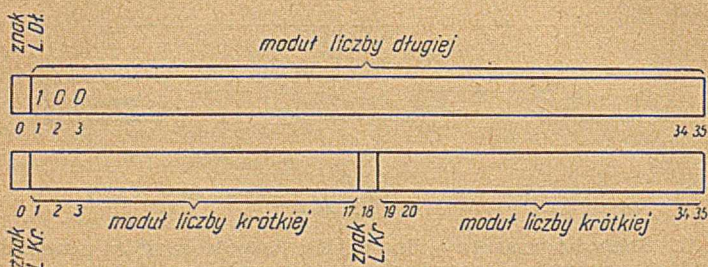
W interpretacji binarnej każdą komórkę pamięci można przedstawić jako ciąg pozycji binarnych. W każdą z tych pozycji może być wpisana jedna z cyfr: 0 lub 1. W każdym długim miejscu pamięci może być zapamiętany ciąg 36 cyfr binarnych, tzw. bitów. W krótkim miejscu pamięci zapamiętany może być ciąg 18 cyfr binarnych. Ciągi 36 bitów zapamiętane w długich miejscach nazywa się słowami długimi maszyny (rys. 2.2). Ciągi 18 bitów zapamiętane w krótkich miejscach pamięci nazywa się słowami krótkimi.

Ciągi bitów zawarte w komórkach pamięci mogą przedstawiać liczby lub rozkazy, przy czym (jak stwierdzono w artykule 1), słowo w terminologii maszyny jest ogólną nazwą liczb i rozkazów.

Pamięć ma następujące cechy ważne dla programującego:

a) w danym miejscu pamięci może w tym samym czasie znajdować się tylko jedno słowo, a umieszczenie słowa nowego powoduje automatyczne i nieodwracalne zniszczenie tego, co znajdowało się tam poprzednio;

b) informacje można pobierać z pamięci nie niszcząc zawartości komórki pamięci.



Rys. 2. 3. Cyfry binarne modułu liczby

2.1.2. Budowa liczby. Słowo (długie lub krótkie) traktowane jako liczba składa się ze znaku liczby i modułu. Znak liczby zapisany jest w zerowym bicie słowa, przy czym 1 w zerowym bicie oznacza, że liczba jest ujemna, a 0, że jest dodatnia. Pozostałe bity (pozycje binarne) są cyframi binarnymi modułu liczby (rys. 2.3).

Maszyna cyfrowa ZAM-2 jest maszyną stałoprzecinkową. Oznacza to, że liczby, na których wykonuje się działania, nie zawierają informacji o umieszczeniu przecinka. Umieszczenie przecinka w liczbie jest umowne.

2.1.3. Budowa rozkazu. Rozkazem nazywamy instrukcję postępowania maszyny. Rozkaz w maszynie ZAM-2 składa się z 2 zasadniczych części:

a) części operacyjnej, dającej rodzaj czynności, jakie ma wykonać maszyna,

b) części adresowej, podającej numer miejsca pamięci, w której znajduje się liczba, na której ma być wykonana operacja, lub numer miejsca pamięci, pod którym ma być zapisany wynik.

Uwaga. Maszyna ZAM-2 jest maszyną jednoadresową. Jest to maszyna o najprostszej organizacji wewnętrznej. Nie zawsze

jednak to co proste jest wygodne. Na przykład dla dodania do siebie 2 liczb (które są zapamiętane w pamięci, przy czym wynik też przesyłamy do pamięci) trzeba użyć aż trzech rozkazów jednoadresowych:

- a) umieścić pierwszą liczbę w akumulatorze (pojęcie akumulatora omówione zostanie później, por. też artykuł 1, str. 28),
- b) dodać drugą liczbę,
- c) zapamiętaj wynik w odpowiedniej komórce.

Są maszyny, które potrafią to załatwić za pomocą jednego rozkazu, ale bardziej skomplikowanego, trójadresowego. W systemie takim podajemy kolejno po części operacyjnej adresy składników operacji i adres wyniku.

2.1.4. Kod rozkazowy maszyny cyfrowej ZAM-2. Rozkazy na zewnątrz maszyny można by pisać w postaci binarnej, tzn. w postaci odpowiednich kombinacji zer i jedynek. Takie postępowanie byłoby jednak niewygodne. Rozkaz składa się jako jedno słowo krótkie z 18 bitów, musielibyśmy więc wypisywać całe tasiemce zero-jedynkowe. Maszyna sama potrafi sobie tłumaczyć rozkazy zapisane w kodzie zewnętrznym na postać kodu wewnętrznego, czyli na ciąg zero-jedynkowy, na podstawie specjalnego programu tłumaczącego.

W kodzie zewnętrznym dla maszyny ZAM-2 używamy znaków literowych i cyfrowych. Na przykład układ liter DO przyjmujemy za kod zewnętrzny operacji dodawania, PA operacji zapamiętywania itp.; np. postać zewnętrzna rozkazu dla maszyny ZAM-2:

DO.102

oznacza: do zawartości akumulatora dodaj liczbę długą z komórki pamięci o numerze 102.

Znaczenie poszczególnych znaków w zapisie zewnętrznym rozkazu jest następujące: dwuliterowy skrót oznacza część operacyjną rozkazu; kropka po części operacyjnej oznacza, że adres dotyczy słowa długiego; brak kropki, że dotyczy słowa krótkiego. Część adresowa, podana w postaci liczb naturalnych zapisanych w systemie dziesiętnym, wskazuje numery miejsc pamięci wewnętrznej.

Rozkazy maszyny zostały podzielone na grupy w zależności od ich treści:

- a) rozkazy arytmetyczne dotyczące arytmetometru,
- b) rozkazy sterujące,
- c) rozkazy dotyczące urządzeń zewnętrznych.

Poszczególne grupy rozkazów nie zostaną opisane szczegółowo, ograniczymy się tylko do podania przykładów rozkazów każdej grupy,

Przykłady rozkazów grupy b):

- UA 500: umieść w akumulatorze liczbę krótką z komórki pamięci o numerze 500,
PA 408: pamiętaj zawartość akumulatora w komórce długiej pamięci o numerze 408,
DO 256: dodaj do akumulatora liczbę długą z komórki pamięci o numerze 256.

Przykłady rozkazów grupy b):

- WR 18: wykonaj rozkaz umieszczony w komórce pamięci o numerze 18,
SK 366: skocz i przejdź do wykonania rozkazów zawartych w komórkach o numerze początkowym 366.

Przykłady rozkazów grupy c):

- PP 180: rozkaz ten ma kilka znaczeń uzależnionych od treści innego rozkazu, np. przesyłanie informacji do pamięci pomocniczej lub odbieranie informacji z pamięci pomocniczej o numerze 780.

W tabeli 2.1 podano pełny kod rozkazowy maszyny cyfrowej ZAM-2 z oznaczeniem poszczególnych operacji. Zawiera on 32 operacje. Pewne oznaczenia tego kodu dla czytelnika będą niezrozumiałe, pozostawiono je niewyjaśnione ze względu na charakter wprowadzający niniejszego referatu.

U w a g a. Numer operacji odpowiada numerowi rozkazu w kodzie binarnym.

2.1.5. Arytmometr i sterowanie. Arytmometr i sterowanie stanowią część zasadniczą maszyny; wykonuje się w nich całość obliczeń i interpretuje rozkazy. Praca maszyny polega na pobieraniu informacji z pamięci wewnętrznej i ich przetwarzaniu. W pamięci maszyny rozkazy nie różnią się od liczb. O tym, jak jest traktowane poszczególne słowo, decyduje fakt, dokąd to słowo zostaje pobrane. Jeżeli słowo krótkie zostaje pobrane do urządzenia sterującego, to jest traktowane jako rozkaz, jeżeli dowolne słowo jest pobrane do arytmometru, to jest traktowane jako liczba.

Arytmometr jest urządzeniem, wykonującym w maszynie następujące operacje arytmetyczne i logiczne: dodawanie, odejmowanie, odejmowanie bezwzględnych wartości, mnożenie, dzielenie, koniunkcja, alternatywa. Operacje dodawania i odejmowania odbywają się z szybkością poniżej 1000 operacji na sekundę; mnożenie i dzielenie — z szybkością około 300 operacji na sekundę.

Arytmometr składa się z 2 zasadniczych części, zwanych rejestrami:

1) **Akumulator.** Do jego zawartości można dodawać lub odejmować liczby z pamięci. W przypadku mnożenia umiesz-

Numer operacji	Skrót dwuliterowy	Nazwa operacji
0	SS	stop i skocz
1	WR	wykonaj rozkaz
2	PG	przygotuj
3	SK	skocz
4	SZ	skocz przy zerze
5	SP	skocz przy plusie
6	SN	skocz przy nadmiarze
7	SW	skocz przy wskaźniku parzystości
8	SB	porównaj B — rejestr
9	BT	binarna taśma
10	UA	umieść w akumulatorze
11	UM	umieść w mnożniku
12	UB	umieść w rejestrze B
13	DB	dodaj do rejestru B
14	BB	odejmij od rejestru B
15	RB	ustaw rejestr bębnowy
16	PP	przepisz
17	PA	pamiętaj akumulator
18	PM	pamiętaj mnożnik
19	PB	pamiętaj rejestr B
20	OK	zaokrąglaj z pamiętaniem akumulatora
21	LW	przesuń w lewo
22	PW	przesuń w prawo
23	LC	przesuń w lewo cyklicznie
24	DO	dodaj do akumulatora
25	OD	odejmij od akumulatora
26	OB	odejmij bezwzględnie
27	MN	mnóż
28	DZ	dziel
29	KO	koniunkcja
30	AL	alternatywa
31	NI	nie nie róż

czona jest tu bardziej znacząca część iloczynu, w przypadku dzielenia zaś reszta z dzielenia.

2) Mnożnik. Umieszcza się w nim jeden z czynników w przypadku mnożenia. Po wykonaniu mnożenia w mnożniku znajduje się mniej znacząca część iloczynu. W przypadku dzielenia przed wykonaniem operacji w mnożniku znajduje się

mniej znacząca część dzielnej (bardziej znacząca jest w akumulatorze), a po wykonaniu dzielenia zostaje tu umieszczony iloraz.

Rejestry akumulatora i mnożnika w pewnych przypadkach są traktowane jako całość. W arytmometrze działania przebiegają na liczbach 35-bitowych. Liczbie 35-bitowej w systemie binarnym odpowiada liczba 10-cyfrowa w systemie dziesiętnym.

Funkcją sterowania jest pobieranie z pamięci wewnętrznej maszyny rozkazów i zgodnie z ich treścią wysyłanie odpowiednich impulsów sterujących do pozostałych części maszyny. Sterowanie kieruje więc pracą całej maszyny zgodnie z informacjami zawartymi w rozkazach programu.

2.1.6. Urządzenia wejścia i wyjścia. Urządzenia wejścia i wyjścia pośredniczą we wprowadzaniu i wyprowadzaniu informacji z wewnętrznej pamięci maszyny.

W maszynie ZAM-2 urządzenia wejścia i wyjścia wykorzystują papierową taśmę dziurkowaną jako środek przekazywania informacji. Informacje na taśmie zapisywane są w postaci układów do pięciu dziurek, zwanych rządkiem i taśmą. Do przygotowania taśmy dziurkowanej używa się specjalnych urządzeń dalekopisowych firmy Creed.

Informacje wydziurkowane na taśmie są przekazywane do pamięci wewnętrznej maszyny za pomocą czytnika firmy Ferranti. Urządzenie to czyta taśmę z szybkością 300 rządków na sekundę.

Urządzeniem wyjściowym maszyny ZAM-2 jest reperforator firmy Creed. Dziurkuje on taśmę z maksymalną szybkością 25 znaków na sekundę. Tak wydziurkowana taśma wyjściowa przechodzi do urządzenia drukującego, działającego z szybkością 5-6 znaków na sekundę. Jest to to samo urządzenie, za pomocą którego przygotowywaliśmy taśmę z informacjami wejściowymi dla maszyny.

Na zakończenie tej części podamy prosty przykład ilustrujący cykl pracy maszyny od chwili otrzymania informacji na wejściu do momentu otrzymania wyników na wyjściu. Założymy, że chcemy dodać dwie liczby. Te dwie liczby i trzy rozkazy (powodujące dodawanie i zapamiętywanie wyniku) dziurkuje się na taśmie. Taśmę wprowadza się za pomocą urządzeń wejściowych do maszyny. W rzeczywistości w pamięci musi być wiele innych rozkazów informujących maszynę, jak je przyjąć (program tłumaczący rozkazy i liczby z kodu zewnętrznego na wewnętrzny), ale fakt ten pomijamy. Pierwszy rozkaz przechodzi z pamięci do sterowania, gdzie zostaje przeanalizowany, aby móc określić, o wykonanie jakiej operacji chodzi

i gdzie w pamięci znajdzie się pierwszą liczbę. Po przeanalizowaniu urządzenie sterujące wysyła sygnał do odpowiedniego urządzenia, aby żądana liczba została przesłana do jednego z rejestrów arytmometru. Drugi rozkaz zostaje podobnie przeanalizowany i urządzenie sterujące poleca, aby druga z dwóch liczb została przesłana z pamięci do arytmometru i dodana do pierwszej. Trzeci rozkaz powoduje przesłanie sumy z powrotem do pamięci. W końcu suma zostaje zapisana (wydziurkowana na taśmie) przez urządzenie wyjściowe, wymagające dodatkowych rozkazów, które pominiemy.

Taśmę z wynikiem przekazujemy do urządzenia drukującego i otrzymujemy wynik już w postaci układu cyfr w systemie dziesiętnym.

2.2. Etapy przygotowywania problemów do rozwiązania przez maszynę cyfrową

Proces przygotowania dowolnego problemu do rozwiązania na maszynie cyfrowej przebiega w kilku etapach:

A. Sformułowanie problemu i wybór metody numerycznej, najkorzystniejszej dla rozwiązania danego problemu przy użyciu danej maszyny.

B. Skonstruowanie organigramu, tzn. schematu blokowego według przyjętego algorytmu realizującego wybraną metodę numeryczną.

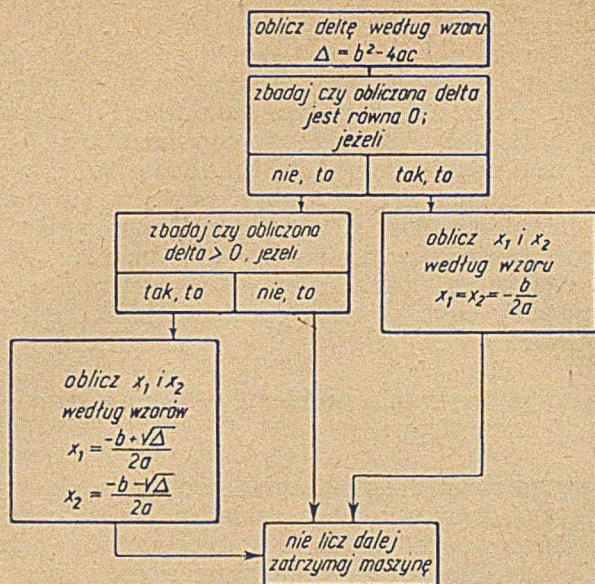
C. Zaprogramowanie i zakodowanie poszczególnych czynności arytmetycznych, logicznych i organizacyjnych na podstawie opracowanego w punkcie 2 schematu blokowego.

D. Uruchomienie i sprawdzenie ułożonego programu na maszynie.

E. Eksploatacja programu.

Rozpatrzmy szczegółowo wszystkie te punkty.

A. Aby przygotować najprostsze nawet zadanie, trzeba wykonać dużą ilość pracy zanim maszyna przeprowadzi szczegółowe obliczenia, gdyż, jak wiadomo, w pojedynczym kroku maszyna wykonuje jedynie elementarne działania arytmetyczne lub podejmuje proste decyzje logiczne. Ogół problemów technicznych i naukowych dany jest w postaci niedostępnej bezpośrednio dla maszyny. Występują tam np. funkcje trygonometryczne, równania różniczkowe, całki. Dział matematyki, zwany analizą numeryczną, podaje numeryczne metody przybliżonego rozwiązywania tych zagadnień, tworzy więc przejście od rozważań teoretycznych do arytmetyki. Rozwiązanie problemów na niewielkich maszynach cyfrowych wymaga bardzo starannej analizy numerycznej problemu.



Rys. 2. 4. Schemat blokowego obliczania pierwiastków równania kwadratowego

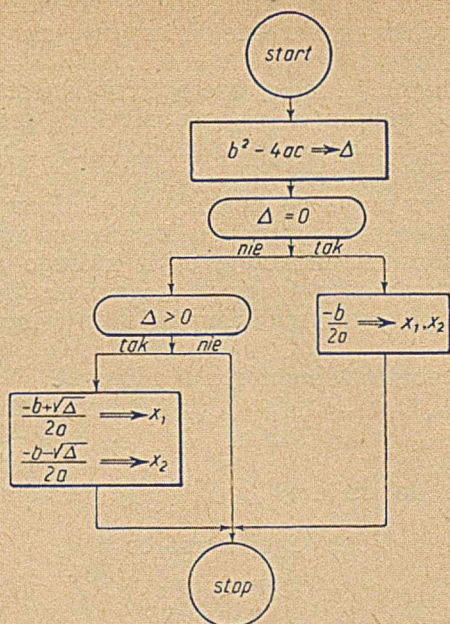
Mała prędkość maszyny i mała pojemność pamięci bardzo ogranicza możliwość stosowania metod numerycznych. Warunki, jakie powinna spełniać metoda numeryczna, pobieżnie można scharakteryzować następująco:

a) metoda powinna zapewniać żadaną dokładność obliczeń;
b) metoda wybrana powinna pozwalać rozwiązać zagadnienia przy możliwie najmniejszym nakładzie pracy, w możliwie najkrótszym czasie;

c) metoda musi sprowadzać rozwiązanie do elementarnych operacji bezpośrednio lub przez podprogramy (pojęcie podprogramu omówione zostanie w części 3).

Należy pamiętać, że główne trudności obliczeniowe na maszynach cyfrowych są związane z doбором odpowiedniej metody numerycznej.

B. Ogół programów jest zbyt obszerny, aby móc się od razu w nich zorientować. Zawierają one zbyt wiele operacji logicznych, jak i dróg rozgałęzieniowych, aby móc wszystko to zapamiętać w czasie programowania. Trzeba znaleźć sposób zanotowania struktury, którą się zaplanowało, tak aby nie uległa ona zapomnieniu, zanim zdążymy ją zakodować (tzn. przedstawić w postaci rozkazów). Powszechnie stosowanym rozwiązaniem jest organigram lub inaczej schemat blokowy.



Rys. 2. 5. $b^2 - 4ac \rightarrow \Delta$ należy czytać: wielkość $b^2 - 4ac$ prześlij do komórki, w której zapamiętamy wielkość Δ

Przykład schematu blokowego obliczenia pierwiastków równania kwadratowego

$$ax^2 + bx + c = 0$$

podany jest na rysunku 2.4. Podany schemat jest jednak zbyt szczegółowy dla programisty, używa on języka bardziej syntetycznego, a zasadnicze czynności programu przedstawia przy użyciu języka graficznego.

Powyższy przykład z rysunku 2.4, zilustrowany graficznie za pomocą zbioru linii, prostokątów, strzałek oraz informacji o tym, co ma być wykonane, ma postać przedstawioną na rysunku 2.5.

Na przykładzie z rysunku 2.5 widać, że w zasadzie nie wypisuje się tu oddzielnych rozkazów, nie uwzględnia szczegółowych działań algebraicznych, istotną jest tu jedynie struktura całego programu.

C. Programowanie oznacza budowanie algorytmów postępowania maszyny dla rozwiązania określonego zadania. Kodowanie wchodzące w zakres programowania jest to zapisywanie algorytmów w języku zrozumiałym dla maszyny, czyli

w postaci rozkazów. W tej części pracy spotykamy się ze szczegółami, ze specyfiką konkretnej maszyny, na której się pracuje.

Kodowanie obejmuje masę szczegółów i jest źródłem wielu pomyłek. Między innymi należy na przykład przeznaczyć odpowiednie komórki na dane liczbowe, rozkazy i miejsca robocze.

Pokażemy teraz, jak przekłada się problem na język maszyny cyfrowej. Jako przykład posłuży nam omawiane w punkcie 2 zadanie rozwiązania równania kwadratowego, dla którego zbudowaliśmy schemat blokowy, czyli którego algorytm postępowania przedstawiliśmy w postaci graficznej.

Dane liczby a , b , c umieściliśmy kolejno w komórkach:

liczbę a	w komórce o numerze	500,
„ b „ „ „ „		501,
„ c „ „ „ „		502.

Stałe potrzebne do obliczeń umieścimy następująco:

liczbę 2	w komórce	503,
„ 4 „ „ „		504,
„ 0 „ „ „		505.

Wyniki x_1 , x_2 zapamiętamy odpowiednio w komórkach 510 i 511. Przyjmijmy, że program, czyli ciąg rozkazów rozwiązujący zadanie, znajduje się kolejno w komórkach, poczynając od komórek o numerze 100. Program rozwiązywania równania kwadratowego podany jest w tabeli 2.2 (str. 46 i 47).

U w a g a. W przytoczonym przykładzie założono, że rozkazy i liczby są w jakiś sposób zapisane w pamięci. Założenie to może peszyć czytelnika. Omawianie wejścia jest na tym etapie niemożliwe, gdyż programy wprowadzające są tematem zbyt skomplikowanym.

Adresy liczb i rozkazów w przykładzie powyższym są wybrane zupełnie przypadkowo. Program może być umieszczony również w dowolnym innym miejscu pamięci. Wszystkie liczby umieszczamy w kolejnych miejscach pamięci, czyli traktujemy jako liczby krótkie. Na komórki robocze przeznaczono miejsca pamięci poczynając od numeru 960.

Z zamieszczonego powyżej przykładu programu widać, że nieekonomiczne jest programowanie obliczeń, w których nie występują elementy powtarzające się.

Zbyt wiele rozkazów, a tym samym zbyt wiele czasu na napisanie ich zużyto, aby obliczyć pierwiastki równania kwadratowego. Gdybyśmy jednak zażądali obliczenia pierwiastków równania dla np. pięćdziesięciu trójek parametrów a , b , c , wów-

czas pożytek byłby widoczny. Możliwość wielokrotnego powtórzenia pewnych partii programu bez ich wielokrotnego wypisywania jest najbardziej charakterystyczną cechą maszyn cyfrowych.

W związku z powyższym zapoznamy się z tzw. pętlą. Rolę, jaką spełnia w programowaniu pojęcie pętli najlepiej wyjaśnimy na przykładzie.

Mamy np. 100 liczb umieszczonych w miejscach od 300 do 399, które należy dodać, a sumę umieścić w komórce o numerze 500. Rozkazy realizujące to obliczenie wyglądałyby następująco:

UA	300
DO	301
DO	302
.	.
.	.
.	.
DO	399
PA	500

Widać, że na obliczenie sumy 100 liczb w tym zapisie zużyłoby się 100 rozkazów „dodaj”, zmieniając jedynie ich adresy o 1. Dalej zobaczymy, że zapis tego obliczenia można znacznie uprościć. Zasadniczą częścią programu skróconego będzie szereg kroków, w których do sumy częściowej stanowiącej zawartość komórki 500 będziemy dodawali kolejne liczby. W tym celu najpierw wyzerujemy komórkę 500, w której będą przechowywane wyniki częściowe. Z kolei do zawartości komórki 500 dodamy pierwszą liczbę i wynik zapamiętamy w komórce 500.

Zapiszmy to w postaci rozkazów, zakładając, że liczba 0 została umieszczona w komórce o numerze 102, a liczba 1 w komórce 103:

UA	102
PA	500
UA	500
DO	[300]
PA	500

Adres rozkazu IV jest zmienny i zaczynając od 300 zmienia się kolejno do 399. W miejscu 500 umieściliśmy zero na początku, powtórzenie więc trzech rozkazów: III, IV, V 100 razy ze wszystkimi adresami od 300 do 399 da w wyniku żadaną sumę i zapamięta ją w komórce o numerze 500.

Miejsce	Kod operacji	Adres	Komentarz objaśniający
100	UM	500	liczba (a)
101	MN	502	liczba (c)
102	PW	35	przesunięcie zaworu akumulatora do mnożnika
103	MN	504	liczba (4)
104	PA	60	komórka robocza, zawartość: (4ac)
105	UM	501	liczba (b)
106	MN	501	liczba (b)
107	OD	960	liczba (4ac)
108	PA	960	komórka robocza, zawartość $\Delta = b_2 - 4ac$
109	SZ	112	
110	SP	121	
111	SK	135	skok na „stop”
112	UM	500	(a)
113	MN	503	(2)
114	PA	961	komórka robocza, zawartość: (2a)
115	UA	505	(0)
116	OD	501	(b)
117	DZ	961	(2a)
118	PM	510	(x_1)
119	PM	511	(x_2)
120	SK	135	skok na „stop”
121	UM	960	(Δ)
122	UA	122	
123	SK	136	skok do podprogramu obliczania pierwiastka
124	PA	962	komórka robocza, zawartość: Δ
125	UA	505	(0)
126	OD	501	(b)
127	DO	962	
128	DZ	961	(2a)
129	PM	510	(x_1)
130	UA	505	(0)
131	OD	501	(b)

Miejsce	Kod operacji	Adres	Komentarz objaśniający
132	OD	962	$(\sqrt{\Delta})$
133	DZ	961	$(2a)$
134	PM	511	(x_2)
135	SS	100	stop, koniec liczenia
136			$\left\{ \begin{array}{l} \text{rozkazy podprogramu obliczania pierwiastka kwadratowego danej liczby} \\ \text{umieszczone uprzednio w rejestrze} \\ \text{mnożnika. Objaśnienie podprogramu} \\ \text{w części 3.} \end{array} \right.$
194			

Objaśnienia poszczególnych rozkazów:

- 1: przesyłamy do rejestru mnożnika liczbę a z komórki o numerze 500,
- 2: mnożymy liczbę a przez liczbę c z komórki 502,
- 3: iloczyn ac będzie umieszczony w akumulatorze, przesuwamy więc całą jego zawartość o 35 pozycji binarnych do rejestru mnożnika, aby móc mnożyć wielkość ac przez liczbę 4,
- 4: mnożymy wielkość ac przez 4,
- 5: iloczyn $4ac$ przesyłamy do komórki roboczej o naturze 960, tam chcemy przejściowo przechować ten wynik,
- 6: przesyłamy do rejestru mnożnika liczbę b z komórki 501,
- 7: mnożymy liczbę b z komórki 500 przez liczbę b ,
- 8: od iloczynu b^2 , umieszczonego w rejestrze akumulatora, odejmujemy wielkość $4ac$ przechowaną w komórce 960,
- 9: różnicę $b^2 - 4ac$ przechowujemy w komórce 960, kasując poprzednio tam zapamiętaną wielkość $4ac$ jako już niepotrzebną,
- 10: badamy czy wyrażenie $\Delta = b^2 - 4ac$ jest równe zeru.
- Jeżeli tak, to wykonujemy rozkaz 13, jeżeli nie, to rozkaz następny,
- 11: badamy, czy wyrażenie $\Delta \neq 0$ jest dodatnie. Jeżeli tak, to wykonujemy rozkaz 22, jeżeli nie, to następny,
- 12: wykonujemy rozkaz ostatni, czyli 36, spod komórki o numerze 135, który zatrzymuje maszynę i oznacza koniec liczenia,
- 13, 14: tworzymy iloczyn $2a$,
- 15: pamiętamy wielkość $2a$ w komórce roboczej 961,
- 16, 17: tworzymy różnicę $0 - b$, otrzymując wielkość $-b$,
- 18: dzielimy wielkość $-b$ przez wielkość $2a$ umieszczoną w komórce 961,
- 19, 20: wynik zapamiętany w komórkach 510, 511, przeznaczonych na rozwiązanie x_1, x_2 .

Ramy objętościowe niniejszego rozdziału ograniczają objaśnienie dalszych rozkazów. Czytelnik na podstawie objaśnień podanych może przeanalizować następne.

Ta część programu wykonuje właściwe obliczenia i nosi nazwę pętli obliczeniowej.

Musi istnieć sposób powiedzenia maszynie, aby się zatrzymała po stokrotnym wykonaniu tych 3 rozkazów. Sprowadza się to do zapisania, ile razy pętla została wykonana i przerwania powtórzeń z chwilą, gdy zostanie wykonana po raz setny. W tym celu należy jednak przed liczeniem umieścić w którejś z komórek, np. 150, liczbę 100. Komórka ta spełnia rolę tzw. licznika. Przy każdym powtórzeniu pętli będziemy odejmowali jedynkę od 100 z komórki 150. Za każdym powtórzeniem pętli należy jeszcze zmieniać adres liczby na adres liczby następnej. Dokonujemy tego powiększając część adresową rozkazu czwartego o 1. Z chwilą kiedy liczba z komórki 150 dojdzie do zera, pętla się skończy. Rozkazy, które przygotowują pętlę i nie powtarzają się, nazywamy wstępem.

Teraz możemy zestawić omówione części pętli w postaci programu, czyli ciągu rozkazów, realizującego obliczenie sumy 100 liczb (tabela 2.3).

Tabela 2.3

Miejsce	Kod operacji	Adres	Komentarz
0	UA	102	} wstęp
1	PA	500	
2	→UA	500	} liczenie
3	DO	300	
4	PA	500	} przeadresowanie
5	UA	3	
6	DO	103	
7	PA	3	} sprawdzenie
8	UA	150	
9	OD	103	
10	SZ	13	
11	PA	150	} powrót
12	—SK	2	
13	SS←	0	

Na przykładzie sumowania większej ilości liczb widać, jak dalece ekonomiczna z punktu widzenia wypisywania rozkazów jest metoda używania pętli w programowaniu. W prostym schemacie sumowania 100 liczb użyłoby 100 rozkazów dodawania, a sumowania 1000 liczb — 1000 rozkazów. Używając pętli pro-

gramowej zarówno w przypadku 100 liczb, jak i 1000 liczb obliczenie zrealizować można, jak widać, przez użycie 13 rozkazów, zmieniając jedynie odpowiednio zawartość komórki będącej licznikiem (tabela 2.3).

D. Gdy program jest już napisany, musi być skontrolowany, aby móc stwierdzić, że spełnia on zadanie, do którego go przeznaczono. Poszczególne etapy programowania mogą doprowadzić do powstania wielu błędów logicznych, tj. błędów w koncepcji zadania. Mogą nie działać właściwe operacje matematyczne, kody operacji mogą zostać błędnie napisane. Można popełnić błędy będące zwykłym niedopatrzaniem, np. w części adresowej można napisać inną cyfrę. Jest tak wiele możliwości popełnienia błędów, że nie zdarza się, żeby napisany program był bezbłędny. Wszystkie wspomniane błędy muszą być poprawione, aby otrzymać poprawne odpowiedzi. Aby upewnić się o poprawności wyników, należy odrębnie obliczyć kilka przypadków kontrolnych, z których wynikami porównuje się wyniki obliczeń wykonanych przez maszynę. W obliczeniach, które opłaca się wykonać na maszynie, muszą występować elementy powtarzające się. W miarę możliwości przykład kontrolny powinien zawierać jak najwięcej sytuacji pozwalających wykryć błąd.

E. Kiedy już wiadomo, że program jest poprawny, tzn. przeprowadzone na nim obliczenia dają właściwe wyniki, pozostaje do wykonania rozwiązanie dla całej grupy danych. Wykonuje się to już najczęściej w sposób całkowicie nie wymagający uwagi. Operator dozoru wykonanie programu nie musi znać budowy programu, nie potrzebuje też mieć takiego przeszkolenia jak pracownik przygotowujący program.

2.3. Podprogramy. Biblioteka podprogramów

2.3.1. Podprogramy. Podczas pisania dużych programów dosyć często powtarzamy pewne grupy kroków obliczeniowych. W programie może być np. kilkanaście takich miejsc, w których musimy znaleźć pierwiastek kwadratowy, obliczyć którąś z funkcji trygonometrycznych, czy rozwiązać układ równań. Zwykle jest niemożliwe i niepotrzebne wypisywanie odpowiedniego programu danej funkcji za każdym razem, gdy tylko to jest potrzebne. Odpowiedni układ rozkazów wypisuje się jeden raz i gdy zachodzi potrzeba odwołujemy się do tej grupy rozkazów.

Przez podprogram rozumiemy więc zespół rozkazów przeznaczony do wykonania zamkniętego fragmentu obliczeń.

2.3.2. Biblioteka podprogramów. W obliczeniach technicznych czy naukowych pewne funkcje czy typy obliczeń

są bardzo często potrzebne. W ośrodkach obliczeniowych konieczne są gotowe w każdej chwili podprogramy do obliczania takich funkcji. Zbiór odpowiednich podprogramów w postaci takiej, że mogą one bez trudu być wykorzystane przez każdego programistę i włączone do opracowanego przez niego programu, nosi nazwę biblioteki podprogramów.

Podprogramy biblioteczne są bardzo starannie opracowane, zajmują minimum miejsca, są sprawdzone całkowicie, łatwe do wprowadzenia do innego programu.

2.4. Programowanie w systemie adresów symbolicznych (SAS)

Programując w języku maszyny, musimy poświęcić olbrzymią ilość pracy na samo przygotowanie programu. Programowanie oparte na posługiwaniu się w procesie układania programu adresami rzeczywistymi rozkazów, liczb i miejsc roboczych (komórki pamięci do przechowania pośrednich wyników obliczeń), wymaga bardzo drobiazgowego przeanalizowania przez programistę rozmieszczenia informacji w maszynie. Musi on jednoznacznie przyporządkować danym liczbowym, rozkazom i miejscom roboczym programu odpowiednie numery pamięci szybkiej. Na tym etapie programowania programista musi czuwać nad całością rozmieszczenia informacji w maszynie. Jest to czynność nadzwyczaj pracochłonna i żmudna. Niejednokrotnie programista musi w zależności od charakteru programu dokonać kilkuset i więcej takich jednoznacznych przyporządkowań i w dodatku musi jeszcze pamiętać numery miejsc pamięci, w których te informacje się znajdują. Prowadzi to do powstania znacznej liczby błędów trudnych do wykrycia, a w razie opuszczenia jakiegoś rozkazu do ponownego napisania programu.

W celu ułatwienia pracy programisty oraz skrócenia czasu samego programowania opracowano tzw. system adresów symbolicznych (SAS), który pozwala przerzucić najbardziej pracochłonne czynności w programowaniu na samą maszynę. Maszyna wykonuje te czynności szybciej i co ważniejsze bezbłędnie. Na tym etapie programowania programista wykonuje tylko niektóre czynności programowania, tj. przyporządkowuje rozkazom i danym liczbowym symbole, a nie interesuje go zupełnie, w jakim miejscu pamięci maszyny elementy te zostaną zapamiętane. Takie przyporządkowanie realizowane jest za pomocą adresów symbolicznych. Samo zaś jednoznaczne przyporządkowanie rozkazom programu numerów pamięci wykonuje już sama maszyna, pracująca według translatora SAS (jest to program umieszczony w pamięci maszyny, który tłu-

maczy każdy program napisany w systemie SAS i wczytany do pamięci maszyny na język maszyny).

Translator SAS działa w ten sposób, że przyporządkowuje symbolom poszczególnych zmiennych wprowadzonego do maszyny programu odpowiednie adresy pamięci wewnętrznej i zmienia adresy symboliczne rozkazów na adresy bezwzględne.

Programowanie w języku SAS daje następujące korzyści:

A. Prawdopodobieństwo błędu przy programowaniu w języku SAS jest znacznie mniejsze, a w związku z tym czas potrzebny do uruchomienia programu odpowiednio krótszy.

B. Przy zmianach w programie, zmianom ulegają tylko niektóre adresy symboliczne; całość programu natomiast nie ulega zmianom.

Symbole zmiennych w języku SAS zaczynają się od litery, np. A, OLA1, Z22, ROB. Symbolami zmiennych oznacza się dane liczbowe, miejsca robocze programu oraz grupy danych, dla których translator SAS rezerwuje miejsca w pamięci maszyny.

Partię programu lub grupę danych liczbowych nazywać będziemy blokami rozkazów lub liczb. Blokowi musi być przyporządkowany symbol, będący jego nazwą. Rozróżniamy bloki liczbowe i rozkazowe. Kolejne słowa bloku są ponumerowane, poczynając od zera. Numery elementów bloku noszą nazwę indeksów. Zerowe słowo w bloku stanowi adres początku bloku.

System SAS operuje szeregiem dalszych zdefiniowanych pojęć, opisywaniem których nie będziemy się tutaj zajmowali ze względu na informacyjny charakter artykułu.

Wprowadzimy jeszcze pojęcie numerów symbolicznych. Przez numery symboliczne rozumiemy symbole bloków, stanowiących partie programu lub poszczególnych rozkazów lub miejsc w programie. Symbole numerów symbolicznych zaczynają się od cyfr 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, np. 1, 1 AD, 1 OBU, 7 LAF. W ten sposób zamiast operować adresami rzeczywistymi rozkazów, liczb albo grup liczb będziemy mogli w języku SAS operować numerami symbolicznymi rozkazów, symbolami zmiennych i bloków.

Jako przykład programu w systemie SAS podamy rozwiązanie równania kwadratowego

$$(1) \quad ax^2 + bx + c = 0.$$

Zakładamy, że współczynniki równania a , b , c znajdują się w pamięci wewnętrznej, w komórkach długich o nazwach zmiennych A, B, C. Wyniki obliczeń, czyli pierwiastki równania kwadratowego x_1 i x_2 zostaną umieszczone w komórkach pamięci o symbolach zmiennych X1 i X2. Jeżeli delta,

czyli wyróżnik równania kwadratowego jest ujemny, maszyna wypisuje tekst „delta ujemna”. O skali zakładamy, że została umieszczona w komórkach pamięci 1022 i 1023 w postaci rozkazów $PW\alpha$, $LW\alpha$, gdzie α jest wartością skali binarnej. Dla przykładu $10x^2 + 10x + 1 = 0$, wartości danych wyjściowych i wyników obliczeń przejściowych nie przekroczą wartości 10^3 , tj. skali dziesiętnej 3 lub binarnej 10. W komórkach 1022 i 1023 w tym konkretnym przypadku rozkazy mają postać $PW10$ i $LW10$.

Lista rozkazów SAS dla rozwiązywania równania (1) jest następująca:

UM.C	}	utworzenie wyrażenia $4ac$ i zapamiętanie wyniku pod adresem zmiennej R,
MN.C		
LW 2		
WR 1023		
PWO		
PM.R	}	tworzenie wyróżnika $b^2 - 4ac$ i umieszczenie go w mnożniku,
UM.B		
MN.B		
OD.R		
WR 1023		
SP + 2	}	badanie znaku wyróżnika,
SZ + 3		
UA.DELT		
PM.DELT		
PW 35		
SK 1		skok do tekstu „delta ujemna”,
UA + 0	}	skok do podprogramu pierwiastek kwadratowy, obliczenie pierwiastka kwadratowego z wyróżnika i zapamiętanie go pod symbolem zmiennej „delta”,
SK.PWK		
PA.DELT		
UM 1009	}	wyrównanie skali obliczonego wyróżnika ze skalą danych wyjściowych,
UA.A		
WR 1022		
DZ.A		
MN.DELT		
WR 1021		
PA.DELT	}	obliczenie pierwiastka x_1 i przechowanie jego wartości pod symbolem zmiennej X1,
OD.B		
UM 1009		
WR 1022		
DZ.A		
UA 1009		
PW 1		
PM.X1		

UA 1009	}
OD.B	
OD.DELT	
WR 1022	
DZ.A	
UA 1009	
PW 1	
PM.X2	

Obliczenie pierwiastka x_2 i przechowanie jego wartości pod symbolem zmiennej X2,

- 1) ////////// Sekwencja rozkazów do wypisywania tekstu
 ////////// „delta ujemna”.

Dalsza ewolucja systemu SAS doprowadziła do tzw. systemu automatycznego kodowania, który omówimy w następnym rozdziale.

2.5. System automatycznego kodowania (SAKO) dla maszyny cyfrowej ZAM-2

System automatycznego kodowania (SAKO), opracowany dla maszyny cyfrowej ZAM-2 przez zespół pracowników Zakładu Aparatów Matematycznych PAN, stanowi dalszą automatyzację programowania. Programując w systemie SAKO uniezależniamy się całkowicie od języka maszyny. Język SAKO jest bardzo podobny do języka używanego w matematyce i technice. Uwalnia on całkowicie programistę od żmudnego i czasochłonnego programowania w języku maszyny lub języku SAS i skraca znacznie czas potrzebny do przygotowania programu. Całą pracę związaną z przetłumaczeniem napisanego programu w języku SAKO na język maszyny dokonuje translator SAKO. Translator SAKO zastępuje więc pracę doświadczonego programisty i samo programowanie staje się czynnością drugorzędną. Programista może teraz więcej uwagi zwrócić na matematyczne sformułowanie problemu i zastanowić się nad wyborem skutecznej metody numerycznej, rozwiązującej postawiony problem.

W skład systemu SAKO wchodzi szereg deklaracji, wyrażeń i rozkazów. Niektóre pojęcia wchodzące w skład systemu SAKO są identyczne z pojęciami występującymi w systemie SAS. Moc swą zachowują między innymi pojęcia zmiennych, bloku i numeru symbolicznego.

Zwrócimy uwagę tylko na niektóre pojęcia SAKO. Najrozsądniej będzie ilustrować je na konkretnym przykładzie. Niech to będzie prosty przykład rozwiązania równania kwadratowego postaci:

$$ax^2 + bx + c = 0.$$

Napiszemy program rozwiązania tego równania w postaci ciągu wyrażeń używanych w SAKO, następnie zaś objaśnimy poszczególne wyrażenia.

0) Stop następny

Całkowite: Skala

Czytaj: Skala

Ustaw skalę dziesiętnie: Skala

Czytaj: A, B, C

Tekst wierszy 2:

Rozwiązywanie równania kwadratowego

A

B

C

Linia

Drukuj (10.5): A, B, C

1) $\Delta = B^2 - 4 \times A \times C$

Gdy $0 > \Delta$: 2, inaczej następny

$X1 = (-B - \sqrt{\Delta}) / 2 \times A$

$X2 = (-B + \sqrt{\Delta}) / 2 \times A$

Linia

Tekst wierszy 1:

X1

X2

Linia

Drukuj (20.6): X1, X2

Linia

Skocz do 0

2) Linia

Tekst:

Δ ujemna

Skocz do 0

Koniec: 0.

Należy najpierw uczynić jedną uwagę natury ogólnej. Program zakłada, że w toku liczenia nie będą występowały liczby większe, aniżeli pozwala na to zadeklarowana skala (np. gdy w komórce pamięci o symbolu zmiennej „Skala” jest liczba 3, wówczas wartość wszystkich danych i wyników przejściowych obliczeń nie może przekroczyć 4 cyfr przed przecinkiem dziesiętnym, czyli liczby 10^3 , o ile uprzednio będziemy używali deklaracji „Ustaw skalę dziesiętnie: 3”. (Dla współczynników $a = 10$, $b = 10$, $c = 1$ obliczenia będą poprawne, gdyż nie zostanie przekroczona wartość skali równa 3). W przeciwnym wypadku dalsze obliczenia będą

błędne. Maszyna zasygnalizuje tę okoliczność, gdy zostanie przekroczony zakres wielkości zadeklarowanych liczb. Gdy używamy deklaracji „Ustaw skalę dziesiętnie: Skala”, wartość bezwzględna liczby w komórce dla zmiennej „Skala” może przybierać wartości od 0 do 10. Program jest w ten sposób zrobiony, że po tzw. wczytaniu danych wejściowych z taśmy dołączonej do programu, tj. wartości zmiennej „Skala” i współczynników a , b , c , którym przyporządkujemy symbole zmiennych A , B , C , i po obliczeniu pierwiastków X_1 i X_2 i wypisaniu ich na taśmie, maszyna jest gotowa do wczytania następnej porcji danych, tj. od nowa wartości dla zmiennej „Skala” i wartości dla zmiennych A , B , C . Dokonuje się to na sygnał „Start” (naciśnięcie klucza „Start” przez operatora).

Rozkaz „Stop następny” oznacza, że maszyna zatrzymuje się przed następnym rozkazem albo deklaracją. Wykonanie następnych rozkazów lub deklaracji uzyskuje się przez sygnał „Start”.

Następna deklaracja „Całkowite” zawiadamia maszynę, że liczba, która będzie wczytana do pamięci wewnętrznej maszyny w następnym kroku, jest liczbą całkowitą i będzie umieszczona w komórce o nazwie zmiennej „Skala”. Mówimy krótko, że została zadeklarowana zmienna całkowita o nazwie „Skala”.

Następny rozkaz „Ustaw skalę dziesiętnie: Skala” zawiadamia maszynę, że wszystkie dane, które będą wczytane do pamięci maszyny, oraz liczenie będzie się dokonywało w skali zawartej w słowie „Skala”, aż do nowego rozkazu „Ustaw skalę dziesiętnie”.

Kolejny rozkaz powoduje wczytanie współczynników równania kwadratowego a , b , c do komórek o symbolach zmiennych A , B , C .

Rozkaz „Tekst wierszy 3:” powoduje przepisanie na formularzu wyjściowym kolejnych trzech wierszy tekstu, mieszczących się pod rozkazem „Tekst wiersz 3:” Rozkaz „Linia” powoduje, że dane wyjściowe, zadeklarowane w następnym rozkazie, będą wypisane poczynawszy od skrajnej lewej pozycji kolejnego wiersza na formularze danych wyjściowych.

Rozkaz „Drukuj (10 . 5): A , B , C ” oznacza, że maszyna wypisze trzy liczby długie o symbolach zmiennych A , B , C . Wyrażenie w nawiasie oznacza, że rezerwuje się dziesięć cyfr dziesiętnych przed przecinkiem i pięć cyfr po przecinku dla zmiennych A , B , C na formularze wyników. Kropka oznacza położenie przecinka dziesiętnego.

Formuła arytmetyczna „Delta = $B^2 - 4 \times A \times C$ ” oznacza, że maszyna ma wyliczyć wyróżnik równania $\Delta = b^2 - 4ac$ i wynik umieścić w komórce pamięci o symbolu zmiennej „Delta”.

Gwiazdka oznacza operację arytmetyczną potęgowania, krzyżyk $\times$ oznacza mnożenie.

Przy następnym rozkazie maszyna bada znak wyrażenia „Delta”. Gdy wyróżnik jest dodatni lub równy zeru, maszyna przystępuje do wykonania rozkazu następnego, w przeciwnym wypadku wykona rozkazy od numeru symbolicznego 2) (tzn. że następnym wykonanym rozkazem będzie „Linia”).

Gdy wyróżnik jest dodatni, zostaje wyliczony pierwszy pierwiastek o symbolu zmiennej X_1 , następnie drugi pierwiastek o symbolu zmiennej X_2 . W nawiasie obu formuł arytmetycznych na X_1 i X_2 występuje wyrażenie „PWK (Delta)”. Oznacza ono, że maszyna ma obliczyć pierwiastek kwadratowy liczby o symbolu zmiennej „Delta”.

Następnie wykonany jest rozkaz „Linia”.

Z kolei wypisany zostanie tekst X_1 i X_2 w celu umieszczenia pod nim wartości obliczonych pierwiastków. Dokonuje to następny rozkaz „Drukuj (20 · 6): X_1 , X_2 ”. Na podstawie jego maszyna wypisuje wartości pierwiastków zawartych w pamięci maszyny pod symbolami zmiennych X_1 i X_2 .

Po rozkazie „Linia” wykonywany zostaje rozkaz „Skocz do 0”. Maszyna przystępuje wtedy do wykonania rozkazu o numerze symbolicznym 0) (będzie to rozkaz „Stop następny”). Maszyna jest znowu gotowa, żeby na sygnał „Start” przystąpić do liczenia pierwiastków następnego wariantu, według powyższego programu.

Gdyby przy wykonaniu rozkazu o numerze symbolicznym 1) okazało się, że „Delta” jest ujemna, wówczas jak już poprzednio objaśniliśmy, zostanie wykonana sekwencja rozkazów od numeru symbolicznego 2), tj. od rozkazu „Linia”, a potem na podstawie rozkazu „Tekst wierszy 1:” maszyna przystępuje do wypisania tekstu „Delta ujemna”.

Kolejny rozkaz **Skocz do 0** powoduje przystąpienie maszyny do wykonania rozkazu o numerze 0), tj. do ponownego wykonania programu dla nowych danych wyjściowych.

Deklaracja „Koniec: 0” określa koniec napisanego programu.

Jest rzeczą oczywistą, że artykuł powyższy nie może służyć jako podstawa do nauczania się programowania na maszynie cyfrowej ZAM-2. Ma on jedynie charakter przeglądowy. Jego celem jest dać krótki przegląd środków, jakie stoją do dyspozycji programisty programującego na polskiej maszynie cyfrowej ZAM-2, i być zachętą do opanowania techniki programowania przez czytelnika.

Do celów nauczania się programowania mogą służyć prace Zakładów Aparatów Matematycznych PAN:

1. Maszyna ZAM-2, opis maszyny, kompendium programowania w języku SAS.
2. System automatycznego kodowania SAKO.

2.6. Podsumowanie

Z powyższych rozważań wynika, że proces programowania rozpada się na dwie zasadnicze fazy, a mianowicie matematyczne sformułowanie problemu wraz z doбором metody numerycznej oraz samo napisanie programu, czyli kodowanie. O ile drugą fazę możemy częściowo lub znacznie skrócić przez stosowanie bądź to systemu SAS, bądź SAKO, to pierwsza faza jednak będzie nadal sprawiała wiele kłopotów programiście. Wymaga ona od niego gruntownego przygotowania z zakresu analizy numerycznej, czyli metod przybliżonych rozwiązań z różnych dziedzin matematyki i dokładnej znajomości zagadnienia technicznego, które trzeba rozwiązać, (np. metod przybliżonego całkowania, rozwiązywania równań różniczkowych, obliczenia kolumn rektyfikacyjnych itp., i to z punktu widzenia ich przydatności dla maszyn cyfrowych). Jeżeli chodzi o drugą fazę programowania, to czytelnik miał możliwość przekonania się, że programowanie w języku maszyny i częściowo w języku SAS jest żmudne i czasochłonne, okres zaś wyszkolenia programisty długi, rzędu kilku miesięcy.

Usiłowaliśmy również przekonać czytelnika, że maszyna cyfrowa jest uniwersalnym narzędziem pomocnym w analizie bardzo złożonych zjawisk, których wyjaśnienie bez niej byłoby w ogóle niemożliwe, bądź też zajmowałoby długi okres czasu. Za jedną z zasadniczych jej cech można uważać fakt, że maszyna cyfrowa działająca na wielkościach dyskretnych, tj. liczbach według metod zaczerpniętych z analizy numerycznej, daje możliwość przeanalizowania przebiegu procesów fizycznych. Druga cecha maszyn cyfrowych polega na działaniu ich według programu, czyli zespołu rozkazów. Następna cecha polega na możliwości utworzenia tzw. pętli w programie, tj. wielokrotnego powtórzenia pewnych partii programu.

Staraliśmy się przekonać czytelnika, że system SAS ułatwia częściowo pracę programisty, lecz programowanie w tym systemie jest nadal uciążliwe. Trudności te usuwa dopiero system SAKO, system ten ma jednak pewną wadę. W systemie SAS programista miał możliwość ekonomicznego rozmieszczenia informacji w maszynie, to znaczy wiedział dokładnie, ile tych informacji się w maszynie mieści, czego nie możemy powiedzieć o systemie

SAKO. Poza tym czas tłumaczenia programu przez translator SAKO na język maszyny i czas liczenia znacznie się wydłuża. Prowadzi to nas do konkluzji, że stosowanie systemów automatycznego programowania chociaż łatwe w programowaniu, wymaga jednak szybkich maszyn. Ponieważ jednak maszyna cyfrowa ZAM-2 nie jest szybką maszyną, dlatego wskazane byłoby opracowanie dłuższych programów wymagających oszczędności miejsc w maszynie w systemie SAS, wszystkich zaś innych w systemie SAKO.

3. OBECNY STAN TECHNIKI OBLICZEŃ ZA POMOCĄ MASZYN CYFROWYCH W PRZEMYSŁE CHEMICZNYM ZA GRANICĄ

Streszczenie. W artykule podano zarys historyczny stosowania maszyn cyfrowych do obliczeń w przemyśle chemicznym, omówiono sposoby przeprowadzania obliczeń operacji i procesów jednostkowych za pomocą maszyn matematycznych oraz zamieszczono przegląd zagranicznych ośrodków obliczeniowych, pracujących dla potrzeb przemysłu chemicznego.

W ostatnich latach coraz szersze zastosowanie w rozwiązywaniu szeregu problemów technologii chemicznej znajdują uniwersalne automatyczne maszyny cyfrowe. Pierwsza na dużą skalę maszyna cyfrowa zbudowana została w 1944 roku i od tego czasu rozpoczął się burzliwy rozwój zastosowań maszyn cyfrowych we wszystkich dziedzinach, w których występują poważniejsze problemy obliczeniowe. Przede wszystkim znalazły one zastosowanie w zagadnieniach naukowych dla wojskowości, a następnie, w miarę zwiększania się liczby maszyn na rynku zastosowano je i do innych dziedzin. Do obliczeń zagadnień przemysłowych zaczęto je stosować w 1949 roku, a pierwsze maszyny do obliczeń w przemyśle chemicznym zainstalowano w 1955 roku. Były to IBM 702 zainstalowana w firmie Monsanto i CPI UNIVAC w firmie Du Pont [27]⁽¹⁾. Obecnie automatyczne maszyny cyfrowe znalazły szerokie zastosowanie w przemyśle chemicznym Stanów Zjednoczonych i innych krajów zachodnich oraz w ZSRR, CSRS i NRD. Jeśli w latach 1950—1951 uniwersalne automatyczne maszyny cyfrowe pracowały tylko w niewielkiej liczbie rządowych i uniwersyteckich laboratoriów amerykańskich, to w 1960 roku w przemyśle chemicznym USA znajdowało się więcej niż 250 dużych i około 2000 średnich i małych maszyn.

Co do innych krajów zachodnich brak jest danych opublikowanych w prasie naukowo-technicznej. W przemyśle chemicznym

⁽¹⁾ Liczba w nawiasie [] stanowi odsyłacz do odpowiedniej pozycji w bibliografii zamieszczonej na końcu artykułu.

ZSRR w 1960 roku pracowały 3 duże uniwersalne automatyczne maszyny cyfrowe, na początku 1962 roku — 8, a przewiduje się, że do końca 1962 roku będzie pracować 10 maszyn [28]. Corocznie organizuje się we wszystkich wymienionych krajach sesje i wykłady poświęcone zagadnieniom stosowania techniki obliczeniowej w przemyśle chemicznym i w przemysłach pokrewnych. Szeroko jest zorganizowana współpraca pomiędzy użytkownikami różnych typów maszyn, polegająca na wymianie programów i doświadczeń eksploatacyjnych. Współpraca taka na ogół aranżowana jest przez wytwórców maszyn, którzy dostarczają podstawowe programy.

Uniwersalne automatyczne maszyny cyfrowe nadają się do rozwiązywania dowolnych zadań matematycznych posiadających algorytm rozwiązywania i charakteryzują się dużą szybkością liczenia oraz dużą dokładnością obliczeń. Z tego względu nadają się doskonale do wykonywania obliczeń z zakresu inżynierii chemicznej, opartych często na metodzie „prób i błędów”, która prowadzi do żmudnych i czasochłonnych rachunków. Obecnie prawie wszystkie obliczenia operacji jednostkowych zostały zaprogramowane i są wykonane na maszynach różnych typów. Również i wiele podstawowych procesów technologii chemicznej znalazło rozwiązanie za pomocą maszyn. Każdy nowo opracowany program, zawierający sposób obliczania jakiegoś zagadnienia technicznego, jest na ogół publikowany w literaturze fachowej, a niezależnie od tego American Institute of Chemical Engineers publikuje i aktualizuje listę programów interesujących przemysł chemiczny, opracowanych przez użytkowników maszyn w USA. W krajach należących do Rady Współpracy Gospodarczej powołano do życia Zjednoczone Centrum Informacyjne z siedzibą w Pradze, zadaniem którego jest gromadzenie i wymiana programów z zakresu inżynierii chemicznej opracowanych w krajach członkowskich RWPG [28].

Jednym z najbardziej złożonych, a jednocześnie często spotykanych zagadnień obliczeniowych w inżynierii chemicznej jest obliczanie rozdziału wieloskładnikowych mieszanin w kolumnach rektyfikacyjnych, absorpcyjnych, ekstrakcyjnych itp. Problemom zastosowania maszyn matematycznych dla obliczenia rektyfikacji poświęcono wiele prac, w których rozwiązuje się je w różny sposób, zależnie od przyjętych uproszczeń i od wymaganego stopnia dokładności. W zasadzie obliczenie rektyfikacji wieloskładnikowej w kolumnie półkowej sprowadza się do rozwiązania układu równań algebraicznych, wynikających z bilansu materiałowego i cieplnego kolumny jako całości i poszczególnych pól, wiążących stężenia składników na każdej półce, natężenie przepływu par, temperaturę i stałą równowagi fazowej. Stała równowagi jest na ogół funkcją temperatury i stężenia składników w fazie

cieklej i parowej. Ze względu na brak dokładnych danych termodynamicznych, pozwalających obliczyć wartość stałej równowagi oraz inne własności systemu, obliczenia klasyczne przeprowadzano przy założeniu szeregu uproszczeń. Prowadziło to do dużej niedokładności wyników, a niewiele zmniejszało nakład pracy. Najbardziej zgodną z rzeczywistym przebiegiem fizycznym procesu metodą obliczeniową rektyfikacji jest metoda „z półki na półkę” podana w klasycznej pracy Sorrela. Metoda ta, prowadząca do uciążliwych rachunków, w praktyce jest zbyt żmudna do obliczeń ręcznych, znakomicie natomiast nadaje się do obliczeń za pomocą automatycznej maszyny cyfrowej ze względu na iteracyjny charakter rachunku.

Na metodzie Sorrela oparto większość cytowanych w literaturze [32,33] programów obliczania rektyfikacji. Za pomocą tych programów przeprowadza się obliczenia metodą kolejnych przybliżeń. Zasadniczą sprawą jest znalezienie ciągu przybliżeń szybkobieżnych, co decyduje o liczbie iteracji, a w konsekwencji o czasie trwania obliczenia. Jedną z metod, w której udało się uzyskać szybkobieżny ciąg iteracji, jest metoda podana w pracy Amundsona i Pontinena [34], zaprogramowana dla maszyny Univac Mod 1103. System równań wyjściowych zapisuje się w postaci macierzowej. Obliczenia przeprowadza się przy założeniu stałego molarnego natężenia przepływu cieczy i pary wzdłuż kolumny oraz w sposób bardziej złożony z uwzględnieniem bilansu cieplnego. W niektórych przypadkach (np. dla mieszanin węglowodorów) możliwe jest przyjęcie założenia, że stałe równowagi i entalpie przy danym ciśnieniu zależą tylko od temperatury, co znacznie upraszcza obliczenie. Zależność tę przyjmuje się w postaci wielomianu drugiego lub trzeciego stopnia. Program nadaje się do obliczeń kolumny z kilkoma zasilaniami i odbiorami bocznymi.

Dla maszyny cyfrowej IBM 704 rozpracowano metodykę obliczenia wieloskładnikowej rektyfikacji z rozwiązaniem wszystkich równań procesu według metody Newtona z minimalną liczbą przybliżeń [33]. Na innej maszynie (Pennstak) rozwiązanie równań procesu przeprowadza się metodą relaksacyjną, w której dokładność obliczeń rośnie ze zwiększaniem czasu liczenia [33].

B. G. Płatonow z Instytutu Paliw Syntetycznych w Moskwie opracował program optymalnego projektowania kolumn rektyfikacyjnych [28]. Kryterium optymalności polega na minimalizacji sumy kosztów inwestycji i eksploatacji, przy czym koszt inwestycji obliczany jest na podstawie gabarytów, liczby pól i wagi kolumny, warnika i kondensatora, a koszt eksploatacji zależy głównie od ilości pary grzewczej i wody do chłodzenia kondensatora. Ustalenie gabarytów poprzedzone jest obliczeniem rektyfikacji za pomocą metody lotności względnej. Numeryczne zagad-

nienie minimalizacji funkcji kosztów rozwiązuje się metodą dynamicznego programowania.

Gelbin z Leuna Werke opracował program obliczenia stężeń przy wieloskładnikowej rektyfikacji oparty na metodzie „z półki na półkę” [29]. Przewidziano dwa warianty obliczeń: jeden dla stałego, a drugi dla zmiennego przepływu molarnego. Temperaturę półki ustala się metodą iteracyjną z żadaną dokładnością.

W Uniwersytecie Stanu Oklahoma [32] sporządzono program dla obliczania kolumn destylacyjnych, oparty na metodzie Lewisa i Matchesona. Obliczenie prowadzi się metodą kolejnych przybliżeń aż do chwili uzyskania zgodności składów na półce zasilającej, wynikających z obliczenia górnej i dolnej sekcji kolumny. Do obliczenia procesu rektyfikacji średniej trudności potrzeba 15—20 przybliżeń przy założonej różnicy udziałów molowych na półce zasilającej, wynoszącej 0,001.

Przy projektowaniu układu regulacji kolumny i przy destylacji szarżowej interesuje nas przebieg zmian stężenia produktów w funkcji czasu, czyli tzw. dynamika kolumny. Istnieją programy (Rosebrock i Rjinsdorp), obliczające nieustalone stany w kolumnach. Matematycznie oznacza to zastąpienie równań algebraicznych bilansu masy i energii przez równania różniczkowe, zawierające pochodne stężeń względem czasu.

Wiele prac poświęcono zastosowaniu maszyn cyfrowych do obliczeń ruchu ciepła [21, 26, 28, 29]. Przede wszystkim opracowano programy dla obliczenia wymienników ciepła. W literaturze opisano programy do obliczeń wymienników ciepła, są to m.in. opisy amerykańskie, angielskie i czeskie. Metoda obliczeń przyjęta w tych programach jest na ogół taka sama. Ustalony jest typoszereg aparatów do wymiany ciepła. Przyjmując za podstawę jeden z aparatów oraz niezbędne dane projektowe, program przeprowadza obliczenie i jeśli wynik jest niezadowolający, dobiera tak długo aparaty z typoszeregu, aż znajdzie rozwiązanie właściwe. Jako kryterium wyboru przyjmuje się zadaną wartość spadku ciśnienia przy przepływie czynnika przez wymiennik.

Możliwe jest również obliczenie odwrotne: dla danego z góry wymiennika sprawdza się, czy ma wystarczającą powierzchnię lub czy różnica temperatur jest wystarczająca. Programy opracowano dla wymienników ciecz-ciecz i ciecz-kondensująca para (lub medium wrzące). Opisano również czeski program dla obliczenia wyparek wielostopniowych [31].

Uniwersalne automatyczne maszyny cyfrowe znalazły zastosowanie również do wykonywania mniej skomplikowanych obliczeń z inżynierii chemicznej, które jednak powtarzają się dość często. Zaliczyć do nich można obliczanie natężenia przepływu,

oporów przepływu i spadku ciśnienia w rurociągach. Opisano w literaturze amerykańskiej i czeskiej sposób obliczania hydrauliki półki dzwonowej [16].

Na maszynie cyfrowej IBM 650 przeprowadzono obliczenie procesu aerosorb [4] (oczyszczanie węglowodorów nasyconych drogą selektywnej adsorpcji na silicagelu). Wychodząc z równań dyfuzji, izoterm adsorpcji, warunków brzegowych i bilansu materiałowego rozwiązano na maszynie równania opisujące kinetykę tego procesu.

Maszyny cyfrowe zastosowano również do obliczania kolumn z wymiennicami jonowymi [7], które dotychczas obliczano za pomocą niedokładnych metod. Rozwiązuje się przy tym równania różniczkowe o pochodnych cząstkowych przez zamianę ich na układ równań różniczkowych zwyczajnych.

Poważną dziedzinę zastosowań uniwersalnych automatycznych maszyn cyfrowych stanowią obliczenia kinetyki reakcji chemicznych oraz projektowanie reaktorów. Zagadnieniom tym poświęcono dużą liczbę prac ze względu na ich ważność i skomplikowany sposób obliczania. Wiele prac poświęcono programom [28] obliczania konwerterów amoniaku. Programy takie mają między innymi firma Topsoe w Danii i Leuna Werke w NRD. Istota programu polega na numerycznym całkowaniu równania kinetyki reakcji (np. Tiomkina-Pyżewa). Program korzysta z szeregu podprogramów obliczających własności fizyczne mieszaniny przed reakcją i po reakcji, stałe równowagi, współczynniki dyfuzji, zagadnienia cieplne itd. Może on służyć zarówno do projektowania nowych instalacji, jak i do przeliczania istniejących dla uzyskania optymalnych parametrów pracy i intensyfikacji procesu.

Opisano w literaturze metodę obliczania reaktorów pracujących w sposób ciągły lub periodyczny, ogrzewanych przeponowo przez kondensującą parę dla pierwszo- lub pseudopierwszorzędowych reakcji endotermicznych w fazie ciekłej [6].

W Uniwersytecie Wisconsin opracowano program dla obliczania reaktora do spalania NO na NO₂. Obliczenie optymalizuje 16 zmiennych wpływających na projekt reaktora, np. takich jak koszt, dane techniczne i eksperymentalne, szybkość reakcji [9].

Znane są programy poświęcone obliczaniu reaktorów pracujących w przemyśle naftowym i petrochemicznym. Należy do nich np. czeski program obliczania reaktora do reformingu frakcji ropy naftowej, amerykański do obliczania pieca do pirolizy etanu, propanu i butanu [30, 32].

Bardzo ciekawa jest praca wykonana w Ośrodku Obliczeniowym Uniwersytetu w Nancy, poświęcona obliczaniu charakterystyk cylindrycznego reaktora o działaniu ciągłym za pomocą sta-

tystycznej metody Monte-Carlo. Metoda ta, pozwalająca całkować równania różniczkowe o pochodnych cząstkowych w układach o skomplikowanej geometrii, może być z powodzeniem stosowana i do innych zagadnień inżynierii chemicznej. Daje ona dokładność rzędu 3%, co jest wystarczające dla zagadnień technicznych [10].

Niezależnie od przytoczonych wyżej opracowano wiele innych programów poświęconych obliczaniu własności fizycznych, takich jak lepkość, gęstość i przewodnictwo cieplne mieszanin gazowych, entalpii, entropii itp. Opracowano programy dla sporządzania bilansów materiałowych i energetycznych. Te programy mają szczególnie znaczenie dla układania schematów rozdziału np. gazów w przemyśle petrochemicznym [28, 32].

W Instytucie Badań Techniczno-Ekonomicznych w Pradze [19] wykonano obliczenie energii wiązania węglowodorów aromatycznych i ich chinonów na podstawie metod kwantowo-chemicznych. Obliczano profile opon na podstawie teorii Hofferbertha. Rozwiązano równania kinetyki reakcji konwersji ftalanu wapnia na tereftalan wapnia, syntezy metylochlorosilanów.

Zaznaczamy, że podany przegląd zastosowań uniwersalnych automatycznych maszyn cyfrowych nie wyczerpuje oczywiście wszystkich prac, jakie dotychczas zostały wykonane. Każdy dzień przynosi nowe dane.

Obliczenia za pomocą maszyn cyfrowych przeprowadza się przeważnie w specjalnie zorganizowanych ośrodkach obliczeniowych. Na ogół każda większa firma ma własny ośrodek [5, 11, 12, 14, 15, 23, 28, 32]. Według T. J. Williamsa [27] z firmy Monsanto, w ośrodku posiadającym maszynę średniej wielkości w skład personelu programującego powinno wchodzić 1—2 specjalistów ze statystyki (niższy stopień z inżynierii chemicznej z niższym stopniem ze statystyki), 2—3 specjalistów z inżynierii chemicznej (magisterium lub doktorat z inżynierii chemicznej i niższy stopień z matematyki stosowanej) oraz 0—2 specjalistów z programowania liniowego i analizy operacyjnej (magisterium lub doktorat z inżynierii chemicznej i niższy stopień z matematyki stosowanej albo magisterium lub doktorat z matematyki i niższy stopień z inżynierii chemicznej). Zestawienie to nie obejmuje służby konserwatorskiej, którą w firmach amerykańskich wykonuje na ogół dostawca maszyn.

W Związku Radzieckim [28] ośrodki obliczeniowe znajdują się w następujących instytucjach: NISS (Instytut Paliw Syntetycznych), GIAP (Instytut Przemysłu Azotowego), Giprogaztopprom i Gosgorchimprojekt. W CSRS [15] Instytut Techniczno-Ekonomiczny Przemysłu Chemicznego ma ośrodek obliczeniowy za-

trudniący 21 ludzi pracujących na maszynie Urał I. Poza tym Chemoprojekt ma sześciuosobowy zespół programistów, który pracuje na maszynie Elliot 803 znajdującej się w Urzędzie Statystycznym, gdzie Chemoprojekt zakupuje czas maszyny. W NRD [28] ośrodek obliczeniowy przemysłu chemicznego mieści się w zakładach chemicznych w Leuna. Zatrudnia on 25 osób i ma maszynę ZRA-1.

Stosowanie maszyn matematycznych do obliczeń projektowych i innych w przemyśle chemicznym stało się w wielu krajach codzienną praktyką. Już nie tylko potężne koncerny czy organizacje państwowe, ale i małe firmy są w posiadaniu maszyn, które umożliwiają im w krótkim czasie dokonywanie obliczeń potrzebnych np. do przedstawienia oferty. Jedną z takich firm jest np. firma Topsoe w Danii. Ma ona wiele wyspecjalizowanych programów obejmujących technologiczne obliczenia ciągu amoniakalnego. Programy te umożliwiają wspomnianej firmie przedstawianie ofert dotyczących fabryk amoniaku w kilka dni (do dwóch dni) po otrzymaniu założeń. Również każdorazowa zmiana założeń (np. składu gazu syntezowego) może być szybko i ściśle przeanalizowana, a oferta zostaje natychmiast uzupełniona nowymi danymi.

Reasumując powyższe stwierdzić należy, że rozwiązywanie za pomocą uniwersalnych automatycznych maszyn cyfrowych różnych problemów obliczeniowych, występujących w przemyśle chemicznym i przemysłach pokrewnych stało się codzienną praktyką w większości przodujących krajów.

LITERATURA

1. C. Storey, *The Industrial Chemist.*, 1961, nr 10 (471-474).
2. L. S. Stanton, E. B. Reid, H. F. Mason, *Ind. and Eng. Chem.* 1958, 50 nr 5 (719-720).
3. J. E. Borner, *Ind. and Eng. Chem.* 1958, 50 nr 5 (721-724).
4. A. W. Pollock, M. F. Brown, C. W. Dempsey, *Ind. and Eng. Chem.* 1958, 50 nr 5 (725-720).
5. A. Opler, *Ind. and Eng. Chem.* 1958, 50 nr 11 (1621).
6. D. S. Billingsley, W. S. Mc Laughlin, Jr. N. E. Welch, C. R. Holland, *Ind. and Eng. Chem.* 1958, 50 nr 5 (741-752).
7. J. S. Dranoff, L. Lapidus, *Ind. and Eng. Chem.* 1958, 50, nr 11 (1648-1653).
8. S. R. Goldwasser, *Ind. and Eng. Chem.* 1959, 51 nr 4 (595-596).
9. Chieh-Chu, O. A. Hougen, *Chem. Eng. Progress* 1961, 57 nr 6 (51-58).
10. A. Pontenero, *Genie Chimique* 1962, 87 nr 4 (97-107).
11. S. Pilz, *Chem. Techn.* 1962, 14 nr 7 (387-392).

12. E. J. Higgins, J. W. Kellet, L. T. Ung, Ind. and Eng. Chem. 1958, 50 nr 5 (712-718).
13. G. Schegel, S. Pilz, Chem. Techn. 1962, 14 nr 7 (422-426).
14. H. D. Koch, Chem. Techn. 1962, 14 nr 7 (393-394).
15. K. Blaha, F. Grigar, Chem. Techn. 1962, 14 nr 7 (395-400).
16. J. Marek, Chem. Techn. 1962, 14 nr 7 (405-408).
17. D. Gelbin, H. G. Bohm, Chem. Techn. 1962, 14 nr 7 (411-414).
18. J. Piehler, Chem. Techn. 1962, 14, nr 7 (408-410).
19. M. Verworner, D. Gelbin, Chem. Techn. 1962, 14 nr 7 (400-404).
20. R. Wenske, D. Gelbin, Chem. Techn. 1960, 12 nr 3 (127-129).
21. D. K. Houtby, Chem. and Process Eng. 1961, nr 11 (442-446).
22. W. H. Waldo, E. H. Barnett, Ind. and Eng. Chem. 1958, 50 nr 11 (1641-1643).
23. J. W. Kellett, A. S. Perley, Chem. Eng. Progress 1960, 56 nr 2 (67-70).
24. K. Mierzowski V.D.I. — Z. 1962, 104 nr 17 (797-803).
25. B. Thwites, *On Teaching Mathematics*.
26. Birmingham University Chemical Engineer. Supplement 1961.
27. T. J. Williams, *System Engineering for the Process Industries*.
28. Materiały Konferencji RWPG, która odbyła się w Moskwie 10-18.4.1962.
29. J. Marek, Technika v chemii 1962, 12 nr 1 (1-5).
30. L. Slaviček, Technika v chemii 1962, 12 nr 1 (6-12).
31. J. Marek, Technika v chemii 1962, 12 nr 1 (12-20).
32. W. M. Płatonow, B. G. Bergo, *Chimicheskaja Promyslennost'* 1961, nr 6.
33. B. G. Bargo, W. M. Płatonow, *Chimia i Tiechnologia Topliw i Masieł*, 1960, nr 6.
34. N. R. Amudson, A. J. Potinen, Ind. and Eng. Chem. 1958, 50 nr 5.

4. MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA MASZYN CYFROWYCH DO ANALIZY OPERACYJNEJ I OBLICZEŃ INŻYNIERYJNYCH W POLSKIM PRZEMYSŁE CHEMICZNYM

Streszczenie. W artykule tym podano definicję pojęcia analizy operacyjnej i procesu przekształcania informacji oraz wyjaśniono te pojęcia na kilku przykładach przemysłowych. Omówiono również specyficzne właściwości i metodykę obliczeń maszynowych przy projektowaniu. Na zakończenie sformułowano warunki sprzyjające rozpowszechnieniu nowych metod obliczeniowych.

4.1. Wstęp

W pierwszym wprowadzającym artykule wyliczone zostały zasadnicze zastosowania maszyn cyfrowych w ogóle. Trzeci artykuł jest przeglądem zastosowania maszyn cyfrowych w przemyśle chemicznym za granicą. W niniejszym artykule omówimy bardziej szczegółowo zastosowanie maszyn cyfrowych w chemii na tle krajowych warunków i możliwości.

Zasadnicze zastosowania maszyn cyfrowych polegają na:

- a) wykonywaniu obliczeń naukowych, technicznych i ekonomicznych,
- b) masowym przekształcaniu danych (data processing),
- c) sterowaniu procesami technologicznymi (patrz artykuł w części trzeciej).

Nasz Ośrodek Maszyn Matematycznych w Gliwicach powołany został przede wszystkim do pracy obliczeniowej i dlatego duża część artykułu poświęcona będzie możliwościom obliczeniowym maszyn cyfrowych. Należy jednak zwrócić uwagę na fakt, że za granicą około 80% zainstalowanych maszyn zajmuje się przekształcaniem danych, a tylko 20% obliczeniami. Nasuwa się pytanie, dlaczego w polskim przemyśle chemicznym kładziemy większy nacisk na wykonywanie obliczeń, a przekształcanie danych traktujemy raczej marginesowo.

Przyczyny tego stanu są dosyć banalne:

a) Produkowane w kraju maszyny typu ZAM-2 i UMC nadają się bardziej do celów obliczeniowych niż do przekształcania danych. Wpływa na to ich konstrukcja: powolny arytmometr elektronowy, brak pamięci na taśmie magnetycznej nie pozwalają na przechowanie dużej ilości informacji, brak urządzeń wyjścia i wejścia (czytników i dziurkarek) pracujących na dziurkowanych kartach systemu Hollerith, małe rozpowszechnienie mechanicznych tabulatorów pracujących na tych kartach. Zarówno ZAM-2, jak i UMC pracują na taśmie dziurkowanej dalekopisowej. Czytniki taśmy, dziurkarki i dalekopisy są również importowane. Do obliczeń nadaje się lepiej taśma dziurkowana, do przekształcania danych lepsze są karty.

b) Ośrodek Maszyn Matematycznych jest jedną z pracowni Biura Projektów Przemysłu Syntezy Chemicznej „Prosynchem”, a więc z natury zainteresowany jest bardziej w obliczeniach technicznych niż zagadnieniach planowania, którym służy technika przekształcania danych. Gdyby maszynę zakupił np. Departament Planowania MPChem. sprawa miałaby się odwrócić.

c) Brak jest jeszcze rozeznania wśród inżynierów i ekonomistów co do możliwości zastosowania maszyny cyfrowej do innych celów niż obliczenia. Samo pojęcie „przekształcanie danych” jest jeszcze mało popularne i niniejszy artykuł ma między innymi na celu wyjaśnienie tego nowego pojęcia.

Dlatego też autorom wydaje się celowe poprzedzić omawianie możliwości obliczeniowych, dyskusją zastosowań maszyny cyfrowej do przekształcania danych. O tym, że maszyna potrafi liczyć, wiedzą wszyscy, o tym zaś, że ta sama maszyna potrafi też sortować, porównywać i zestawiać duże ilości informacji statystycznych, wie stosunkowo wąskie grono specjalistów. Praktyka zaś wykazuje, że ta druga możliwość jest więcej wykorzystywana niż pierwsza, prawdopodobnie ze względu na większą i bardziej widoczną opłacalność finansową.

Czytelnikowi może nasuwać się drugie pytanie: dlaczego w takim razie krajowy przemysł chemiczny nie odczuwa braku maszyn do przekształcania informacji. Odpowiedź można zmieścić w jednym zdaniu: W większości przypadków pracownicy zatrudnieni przy planowaniu, sprawozdawczości, statystyce itp. nie zdają sobie w pełni sprawy z możliwości odciążenia ich od monotonicznych, wymagających skupienia czynności. Do tej pory jedynie jedna instytucja w resorcie zwróciła się do nas z propozycją przekształcania danych statystycznych. Mianowicie Centralne Laboratorium Oponiarskie corocznie analizuje stopień zużycia około 20 000 opon, eksploatowanych w różnych warunkach. Zadanie polega na statystycznej obróbce danych doświadczalnych i ma na celu zbadanie, jak ten czy inny czynnik (np. rodzaj kordu) wpływa na trwałość opony w określonych warunkach pracy.

W bieżącym roku nie mogliśmy się jeszcze podjąć wykonania tego zadania, gdyż Ośrodek nasz nie dysponował własną maszyną, ale w 1963 roku przewidujemy nawiązanie stałej współpracy z Centralnym Laboratorium Oponiarskim. Żadna inna instytucja nie sygnalizowała nam potrzeb w tym zakresie. Czyżby to miało oznaczać, że ich nie ma?

Każdy nowy wynalazek zaspokaja pewne potrzeby i stwarza wiele nowych, które z kolei wymagają zaspokojenia. Jest to normalna droga postępu. Wynalazek maszyny cyfrowej otwiera szerokie możliwości w dziedzinie racjonalnego kierowania działalnością techniczną i ekonomiczną przedsiębiorstwa.

4.2. Analiza operacyjna i proces przekształcania informacji

Środkiem służącym do polepszenia i usprawnienia działalności przedsiębiorstwa jest właśnie przekształcenie danych za pomocą maszyny cyfrowej. Podobnie jak technika obliczeń maszynowych oparta jest na dyscyplinie matematycznej, zwanej analizą numeryczną (patrz artykuł o zasadach działania i o programowaniu), technika przekształcania danych opiera się na nowopowstałej dyscyplinie matematycznej, zwanej analizą operacyjną.

Co to jest analiza operacyjna i na czym polega przekształcenie danych na maszynie cyfrowej? Definicja amerykańskiego statystyka Morse'a głosi: analiza operacyjna jest naukową metodą matematyczną, dostarczającą kierownictwu danych ilościowych do podejmowania najbardziej racjonalnych decyzji i do rozstrzygania dylematów ekonomicznych lub technicznych. Przez przekształcenie danych rozumiemy wykonanie ciągu operacji logicznych (np. sortowanie) lub arytmetycznych (np. uśrednianie) w celu uzyskania skondensowanych wyników i zanalizowania dużej ilości danych. Wyniki analizy służą do trafnego podjęcia decyzji, np. doboru odpowiedniego bieżnika w przypadku analizy danych zużycia opon.

Zadaniem kierownika każdej organizacji bez względu na jej charakter jest osiągnięcie określonych celów za pomocą ograniczonych środków. Środki stojące do dyspozycji mogą być użyte w różny sposób. Chodzi o wyznaczenie takiego sposobu wykorzystywania środków, aby osiągnąć wyznaczony cel w sposób jak najskuteczniejszy. Na przykład realizacja planu produkcji przy minimum kosztów własnych lub alternatywnie wybór priorytetu przy rozdziale deficytowych środków produkcji, surowców, narzędzi czy siły roboczej tak, aby skrócić do minimum czas oczekiwania lub zmniejszyć do minimum straty, jakie ponosi gospodarka narodowa na skutek niedostatku dewiz, materiałów, narzędzi lub siły roboczej.

Jest to zagadnienie najwyższej wagi, zagadnienie racjonalnego planowania na szczeblu oddziału, zakładu, zjednoczenia, resortu lub Komisji Planowania Gospodarczego. Wiemy z doświadczenia, że nasze planowanie dystrybucji niektórych towarów jest nieprawidłowe. Powtarzające się ciągle braki zaopatrzeniowe nie są wynikiem niewystarczającego potencjału produkcyjnego, lecz wynikiem niewłaściwego planowania produkcji i rozdziału dóbr materialnych. Dotychczasowa chłonność rynku pozwalała na mniej przewidujące planowanie produkcji i dystrybucji, bo i tak odbiorca brał chętnie każdy produkt. Dziś, po częściowym nasyceniu rynku pewnymi produktami, planista musi przeprowadzać precyzyjną analizę rynków zbytu krajowych i zagranicznych i musi starać się utrafić w gust odbiorcy i dać mu to, i tylko to, czego odbiorca sobie życzy. Do tej pory w większości przypadków decyzje planistów były podejmowane na podstawie niedokładnej analizy popytu i to tylko w oparciu o intuicję i zdrowy rozsądek. Analiza operacyjna, posługując się metodą przekształcania danych, dostarcza kierownictwu znacznie więcej ilościowych podkładów do powzięcia decyzji.

Podkreślić należy, że analiza operacyjna i metody przekształcania danych nie zwalniają planisty od obowiązku krytycznej interpretacji danych i wyników. Maszyna cyfrowa analizuje bezkrytycznie podane jej informacje i równie bezkrytycznie interpretuje wyniki. Wyniki uzyskane nawet najlepszą metodą są tyle tylko warte, ile warte są dane dostarczone do maszyny. Jeżeli planista opiera swoje decyzje na niereprezentatywnych próbkach statystycznych lub pobiera zbyt małą ilość danych z zapotrzebowania na pewne produkty, to zaplanowana produkcja i rozdział będzie fałszywy, mimo że oparty był na prawidłowym rozumowaniu i na dobrej metodzie. Z zafałszowanych danych nie można uzyskać prawidłowych wyników.

Analiza operacyjna posługuje się metodami rachunku prawdopodobieństwa, czyli sposobami statystycznymi. Wiemy wszyscy, jak ostrożnie trzeba interpretować wyniki statystyczne. Krytycyzm obowiązuje zarówno w stosunku do danych, jak i w stosunku do interpretacji uzyskanych wyników.

Typową metodą analizy operacyjnej jest tzw. programowanie liniowe. Typowy przykład pozwoli czytelnikowi uchwycić istotę metody.

Zakład produkcyjny rozporządza 150 aparatami i ma wykonać 300 zleceń. Zadanie polega na takim zaplanowaniu operacji, aby zminimalizować koszt produkcji lub czas wykonania zleceń. Dane zlecenie (operację cząstkową) można wykonać np. na aparatach grupy A w czasie 100 godzin lub na aparatach grupy B w czasie 85 godzin. Grup takich może być kilkanaście. Jak wybrać najlepszy wariant planu operacyjnego? Dotychczas dział

planowania operatywnego wykonywał zadanie to metodą zgadywania w oparciu o intuicję i doświadczenie. Są to dosyć zawodne czynniki. Nawet sprawny planista uzyskiwał w wyniku rozwiązanie z pewnością nie będące najlepszym z możliwych, gdyż trudno jest człowiekowi zanalizować np. 30 000 wariantów.

W amerykańskich zakładach amunicyjnych firmy Miller-Brass zastosowano metody programowania liniowego w planowaniu operatywnym produkcji naboju. W rezultacie udało się obniżyć pracochłonność z 19 462 godzin na 16 329 godzin, tj. o 15%.

Widzimy stąd, że analiza operacyjna i przekształcenie danych na maszynie cyfrowej przynosi doraźne i łatwo uchwytnie korzyści gospodarcze, nie wymagające oprócz wysiłku umysłowego większych nakładów inwestycyjnych na intensyfikację produkcji. Dlatego też więcej maszyn stosuje się do przekształcania danych niż do obliczeń technicznych, gdzie korzyści są bardziej długofalowe i mniej widoczne na pierwszy rzut oka.

W omawianym przykładzie zamówione ilości i rodzaje produktów oraz zdolności produkcyjne aparatury zakodowano w postaci liczb. Maszyna przekształca te informacje za pomocą standardowego programu optymalizacji i jako wynik podaje optymalny rozdział obciążenia na poszczególne aparaty. Cechą charakterystyczną procesu przekształcania informacji jest duża ilość danych i stosunkowo prosty tok obliczeń. Przy obliczeniach technicznych rzecz ma się odwrotnie; wynik uzyskuje się w złożonym toku obliczeń przy stosunkowo niewielkiej ilości danych. Podany przykład jest typowy i dlatego został wybrany dla ilustracji pojęcia analizy operacyjnej i pojęcia maszynowego przekształcania informacji. Oczywiście opracowano już dziesiątki podobnych metod do planowania zarówno produkcji jak i remontów czy budowy inwestycji. Każdy kwartał przynosi nowe przykłady korzyści wynikających z racjonalnego planowania. Dyrektor i planista może bardziej potrzebować maszyny cyfrowej niż inżynier projektant. Cóż po najlepiej obliczonej i najwydajniejszej instalacji produkcyjnej, jeżeli na wyprodukowany towar wysokiej jakości nie ma popytu. A więc dobry produkt źle zaplanowany nie zaspokaja najbardziej palących potrzeb gospodarki. Lepsze wyniki ekonomiczne da mniej sprawna technicznie instalacja, lecz produkująca to, czego najbardziej na rynku potrzeba. Za pomocą tej samej maszyny cyfrowej możemy usprawniać planowanie, ulepszać proces produkcyjny, organizację zbytu i rozdziału produktów, możemy lepiej wykorzystywać wyniki prac badawczych, projektować wydajniejsze, tańsze instalacje oraz organizację montażu i budowy (np. planowanie harmonogramu montażu metodą najkrótszej ścieżki).

W polskim przemyśle chemicznym nasuwają się następujące możliwości zastosowania procesu przekształcania informacji. Możliwości te zostały wybrane na chybił trafił, raczej przypadkowo dla przykładu i zestawienie ich nie jest systematyczne. Bardziej wyczerpujące ujęcie wymagałoby pewnych studiów wstępnych przez specjalistę od analizy operacyjnej, znającego specyfikę przemysłu chemicznego:

- a) planowanie operatywne produkcji kilku tysięcy barwników i odczynników,
- b) analiza sprawozdawczości produkcyjnej (bilanse materiałowe),
- c) transport i lokalizacja magazynów towarów masowych, np. nawozów sztucznych,
- d) planowanie produkcji rafinerii w zależności od zmiennego w czasie zapotrzebowania na te czy inne frakcje destylacyjne,
- e) rozdział środków inwestycyjnych i dewizowych między zakłady i zjednoczenia, tak aby uzyskać maksimum wzrostu potencjału produkcyjnego lub maksimum zysku dewizowego,
- f) decyzje dotyczące lokalizacji inwestycji, wyboru metody produkcji lub zdolności produkcyjnej.

W jakim kierunku będziemy wykorzystywać maszynę, zależy od decyzji naszego kierownictwa i od inicjatywy zespołu programującego maszynę. Zadaniem programistów będzie przekonanie kierownictwa za pomocą namacalnych dowodów o korzyściach wynikających ze stosowania analizy operacyjnej do planowania. Maszyna warta jest tyle, ile jest wart programujący ją człowiek. Zespół programujący procesy przekształcania informacji powinien składać się z inżynierów, ekonomistów, planistów i matematyków-statystyków. Od umiejętności tego zespołu, od jego inicjatywy i wyobraźni zależy rozszerzenie działalności Ośrodka i rozszerzenie zastosowań maszyn cyfrowych. Możliwości stosowania tych maszyn w naukowym planowaniu są ogromne i rozszerzają się z każdym rokiem.

4.3. Obliczenia techniczne i kosztorysowe

Przejdźmy teraz do bardziej popularnego zastosowania maszyny cyfrowej, do obliczeń naukowych i technicznych. Spróbujmy odpowiedzieć na pytanie, dlaczego do tej pory inżynierowie nasi dawali sobie jakoś radę bez maszyn cyfrowych i to, jak widać, z nienajgorszymi wynikami. Odpowiedź kryje się w ostatnich dwóch słowach. Wyniki były nie najgorsze, dobre, nawet bardzo dobre, ale nie najlepsze z możliwych. Podobnie zresztą nasi dziadkowie dawali sobie jakoś radę bez samochodów, chociaż sporo podróżowali.

Budowaliśmy dotychczas stosunkowo niewielkie instalacje. Kwestia podniesienia sprawności energetycznej czy wydajności aparatu np. o 1% nie odgrywała większej roli. Ważniejsze było, żeby produkcja w ogóle szła i aby inwestycja prędko ruszyła. Sprawa kosztu inwestycji czy sprawności procesu była uwzględniona jako czynnik drugorzędny. Przy miliardowych inwestycjach i przy ogromnych mocach produkcyjnych Zakładów w Płocku czy Puławach zaoszczędzenie ułamka procentu na koszcie inwestycji czy też zwiększenie wydajności procesu o ułamek procentu daje gospodarce tak ogromne korzyści, że koszt zakupu i utrzymania maszyny cyfrowej jest z tymi korzyściami niewspółmierny.

Dlatego też kierownictwo wyposażyło w maszynę cyfrową biuro projektów, które prowadzi te dwa najważniejsze projekty inwestycyjne. Dyrekcja biura zaś zaleciła skoncentrowanie wysiłku programistów na obliczeniach reaktorów do syntezy i kolumn destylacyjnych. Obliczenia obydwu tych aparatów są skomplikowane i pracochłonne. Odręczne obliczenie kilku wariantów trwałoby zbyt długo i absorbowałoby wysokokwalifikowane siły inżynierskie. Warto więc wydać kilkaset tysięcy złotych na opracowanie serii programów do obliczenia kilku dużych konwertorów lub dziesiątków, a nawet setek kolumn destylacyjnych. Zresztą, jak widać z przeglądu programów zagranicznych, rektyfikacja i kinetyka reakcji zajmuje poczesne miejsce w Ośrodkach Obliczeniowych w ZSRR, USA, Danii i NRD.

Przy końcu niniejszej monografii zamieszczono obszernie zestawienie zagadnień z inżynierii chemicznej, nadających się do zaprogramowania. Obejmuje ono prawie wszystkie branże przemysłu chemicznego i pokrewnych przemysłów przetwórczych. Wybór jest kwestią potrzeb i hierarchii ważności. Na wybór również mogą wpłynąć kwalifikacje personelu. Przy programowaniu np. obliczeń reaktora do syntezy, musi współpracować doświadczony inżynier, znający dobrze zagadnienia projektowania i eksploatacji oddziału amoniaku, który już kiedyś projektował podobny konwertor. Pożądana jest współpraca fizyka lub specjalisty od chemii fizycznej dla trudniejszych teoretycznie zagadnień kinetyki reakcji, no i wreszcie konieczny jest matematyk programista, umiejący sprawnie programować i obeznany z analizą numeryczną. Dopiero taki zespół może opracować dobry program obliczeniowy konwertora. Trudno sobie wyobrazić, żeby wszystkie te umiejętności posiadała jedna osoba. Nie można dość często podkreślić tego, że maszyna cyfrowa jest tylko narzędziem w rękę inżyniera i programisty. Dobre obliczenia są cennym środkiem, a celem jest tańszy i sprawniejszy aparat. Współczesne sposoby projektowania aparatury są tak rozbudowane i złożone,

że obliczenia odręczne nie wystarczają do zaprojektowania naprawdę optymalnej instalacji.

Odręczne sposoby obliczeń, możliwe do wykonania na suwaku czy arytmometrze, opierają się na daleko idących uproszczeniach. Rzeczą projektanta jest zdawać sobie sprawę z przybliżenia i zdecydować czy można dane założenie upraszczające przyjąć jako metodę obliczeń technicznych. Jeśli odpowiedź była negatywna, to inżynier stawał bezradny, nie mógł znaleźć praktycznej metody ściślejszych obliczeń i musiał intuicyjnie decydować o rozwiązaniu projektowym na podstawie wycucia. Pozbawiony był możliwości sprawdzenia słuszności swoich supozycji aż do chwili uruchomienia instalacji. Na tym etapie zaś zmiana rozwiązania projektowego kosztuje bardzo dużo, znacznie więcej niż szczegółowe obliczenia.

Inżynieria chemiczna jest dosyć szczególną dyscypliną, a projektowanie instalacji technologicznych jednym z trudniejszych zadań stojących przed inżynierem. Projektowanie technologii wymaga oprócz rzetelnej znajomości przedmiotu, inicjatywy i wyobraźni twórczej. Konstruktor mostu potrafi co do joty wyliczyć naprężenia w belkach przy zadanych obciążeniach. Projektant technolog nigdy nie ma pewności, czy optymalne parametry, zmierzone na półtechnice czy w laboratorium, pozostaną optymalnymi w produkcji na pełną techniczną skalę. I tu maszyna cyfrowa przychodzi projektantowi z pomocą. Przy pomocy maszyny można porównać pomiary ruchowe uzyskane ze starych podobnych instalacji lub półtechniki z wynikami własnych obliczeń i z pomiarami laboratoryjnymi. Na tej podstawie można wyliczyć potrzebne współczynniki, na których brak projektanci technolodzy tak często się uskarżają. Współczynnik wyliczony z pomiaru zasługuje na większe zaufanie niż współczynnik wyinterpolowany z danych literaturowych. Każdy inżynier woli obliczyć niż zgadywać, a zwłaszcza obliczyć na podstawie godnych zaufania pomiarów.

Maszyna cyfrowa jest tak uniwersalnym narzędziem pracy, że można z jej pomocą obliczyć wszystko, co do tej pory liczone odręcznie, a prócz tego wykonywać obliczenia, których w ogóle nie można było podjąć się z pomocą suwaka czy arytmometru. Obliczenie odręczne procesu wieloskładnikowej destylacji (np. 4 kolumny po 50 pól) w kilku wariantach jest praktycznie niemożliwe, gdyż zajęłoby parę lat pracy.

Oczywiście, projektanci muszą się zaznajomić z nowymi metodami obliczeń aparatury, które w obfitości podaje literatura fachowa. Dlatego też zamieściliśmy w naszej monografii osobny artykuł o obliczeniach technologicznych wykonywanych za granicą ze szczegółowym spisem źródeł literaturowych. Obliczenia

te można podzielić z grubsza na dwie grupy: obliczenia powtarzalne, np. wymienniki, ciepłne i obliczenia jednorazowe, np. konwertor do syntezy amoniaku typu TVA. Taki aparat projektuje się raz na kilka lat w jednym tylko biurze. Mimo to jednak, ze względu na wysoki koszt aparatu, opłaca się przy danych jednostkach zestawić specjalny program obliczeniowy kosztem kilkuset tysięcy złotych, aby zaoszczędzić parę milionów złotych, podwyższając jego wydajność i obniżając koszty jego budowy. Istnieje tu pełna analogia w różnicy między projektem przeznaczonym do jednorazowego wykonania i projektem typowym a typowym programem obliczeniowym. Ten drugi musi być specjalnie starannie opracowany i możliwie uniwersalny. Pierwszy zaś jest wyspecjalizowany i bardziej obszerny.

Pytanie, jakie obliczenia nadają się do zaprogramowania na maszynę cyfrową, a jakie należy raczej wykonywać odręcznie, jest podobne do zagadnienia wyboru środka transportu. Mamy do przewiezienia pewną ilość ludzi czy towarów i możemy wybierać między transportem samochodowym, konnym, kolejowym czy lotniczym. Decydują tu wymagania szybkości i opłacalności. Raki, pstrągi i kwiaty eksportujemy za pomocą samolotów, a bekon y i jarzyny koleją. Podobnie rzecz ma się z obliczeniami. W inżynierii chemicznej jest wiele zadań (np. nieustalony ruch ciała), których w ogóle nie można obliczyć odręcznie. Tu wybór polega tylko na decyzji czy liczyć na maszynie, czy też nie liczyć w ogóle. Póki nie mieliśmy do dyspozycji maszyny cyfrowej, nie liczyliśmy w ogóle. Nie mając samolotów, nie można wywozić żywych raków do Paryża. Przy większości zadań istnieje jednak możliwość wyboru aparatu do obliczeń: suwak, arytmometr, czy program na maszynę cyfrową. Decyduje żądany termin, wymagana metoda obliczeń, powtarzalność i wreszcie opłacalność. Ten czynnik stoi na ostatnim miejscu. Źle zrozumiana oszczędność na kosztach prac badawczych i projektowych musi odbić się na inwestycji i produkcie, które kosztują znacznie drożej.

O rozpowszechnieniu obliczeń na maszynach cyfrowych w naszych biurach projektowych decydować będzie wiele czynników ekonomicznych, z których trzeba jasno sobie zdawać sprawę.

a) Projekt, który został obliczony za pomocą maszyny cyfrowej, będzie zazwyczaj droższy niż projekt obliczony ręcznie. Należy więc z góry przewidzieć dodatkowe pozycje na opracowanie dokumentacji obliczeniowej, tj. programów w zestawieniu nakładu na większe projekty. Jest to normalne zjawisko postępu technicznego. Koszty prac badawczo-projektowych rosną z każdym dziesięcioleciem. Projekty wykonywane 10-15 lat temu były znacznie tańsze od obecnych. Nie zawierały części pomia-

rowo-regulacyjnej, organizacji placu budowy ani nakładów na projektowanie modelowe. Wszystkie wymienione przykładowo składniki projektu przyczyniają się do jego podrożenia, lecz poprawiają znacznie opłacalność inwestycji. Dokumentacja nie jest celem działalności biura projektów, lecz środkiem wiodącym do realizacji inwestycji. Nie ma postępu technicznego bez dodatkowych nakładów, które wcześniej czy później zwracają się z naddatkiem.

b) programowanie zadań i korzystanie z typowych programów nie może być połączone z bożcami hamującymi. Projektantowi technologowi przeniesionemu czasowo do współpracy z zespołem programistów nie można obniżyć przez to zarobków. Programista opracowuje dokumentację obliczeniową zupełnie podobnie jak projektant dokumentację projektową. Obydwie czynności są równoważnościowe i wymagają podobnych kwalifikacji. Również korzystanie z gotowych programów nie powinno odbić się niekorzystnie na wynagrodzeniu grupy pracowników projektujących daną inwestycję.

c) Odwrotnie, należałoby stworzyć płacowy system zachęty, skłaniający projektantów do dokształcania się przez zapoznawanie się z nowoczesnymi inżynierskimi metodami obliczeniowymi, przez korzystanie z literatury fachowej i przez uczenie się programowania w autokodzie (np. SAKO), który nadaje się specjalnie dla inżynierów. Dodatkowy wysiłek powinien być wynagrodzony. Dziś brak takich zachęt i projektant biorący do ręki artykuł fachowy może nieraz narazić się na zarzuty ze strony kolegów i kierownictwa, że studiuje, zamiast robić „przerób”. Przekroczenie planu przerobowego ma znaczenie drugorzędne tam, gdzie chodzi o zaprojektowanie dobrej i taniej inwestycji.

d) Autorzy niniejszego artykułu pozwalają sobie wyrazić opinię, że twierdzenie niektórych inżynierów o zbyteczności obliczeń maszynowych na naszych projektach technologicznych wynika z nieznamości współczesnych metod projektowania. Dotychczas pomijano z reguły w obliczeniach technologicznych czynnik ekonomiczny bądź to ze względu na brak danych, bądź też ze względu na trudności rachunkowe. Analizę ekonomiczną wykonuje się po opracowaniu schematu, a nie równolegle i praktycznie nie oddziałuje ona na wybór schematu. Maszyna cyfrowa pozwala na uzyskanie potrzebnych wskaźników techniczno-ekonomicznych i kosztów jednostkowych przez przekształcenie danych kosztorysowych za ubiegłe lata. Trudności rachunkowe nie odgrywają roli dla szybko działających maszyn elektronicznych. Niemniej jednak najważniejszą metodą projektowania pozostanie zdrowy rozsądek inżynierski. Maszyna cyfrowa może pomagać inżynierowi, ale go nigdy nie zastąpi.

5. ZADANIA PROJEKTOWO-BADAWCZE I SPOSOBY ICH REALIZACJI W OŚRODKU MASZYN MATEMATYCZNYCH W GLIWICACH

Streszczenie. W artykule tym omówiono zasadnicze i dodatkowe zadania OMM w Gliwicach, sposoby szkolenia programistów oraz zasady koordynacji prac obliczeniowych i współpracy Ośrodka z zakładami produkcyjnymi, biurami projektów i placówkami naukowo-badawczymi.

5.1. Zadania OMM w Gliwicach

Zasadnicze zadania Ośrodka Maszyn Matematycznych w Gliwicach zostały sformułowane w zarządzeniu Ministra Przemysłu Chemicznego z dnia 19.VIII.1961 r. oraz rozszerzone zarządzeniem Ministra Przemysłu Chemicznego z dnia 10.IV.1962 r. Obydwa zarządzenia omówiono szczegółowo w artykule pt. Sprawozdanie z zadań Ośrodka, określonych zarządzeniem Ministra Przemysłu Chemicznego. Zadaniem Ośrodka jest opracowywanie programów maszynowych oraz wykonywanie przy użyciu maszyn matematycznych obliczeń technicznych i ekonomicznych z zakresu inżynierii chemicznej i dziedzin pokrewnych dla biur projektów i placówek naukowo-badawczych oraz innych zainteresowanych jednostek organizacyjnych zarówno resortu Ministra Przemysłu Chemicznego, jak i spoza resortu. (Sprawozdanie z wykonania tego zarządzenia patrz dalej.)

Niezależnie od powyższych zasadniczych zadań OMM w Gliwicach będzie prowadził dodatkową działalność polegającą na:

a) koordynacji wszelkich prac w resorcie przemysłu chemicznego w zakresie stosowania maszyn automatycznych do obliczeń techniczno-projektowych,

b) pomocy w opracowywaniu projektów organizacji i uruchomienia nowopowstałych ośrodków obliczeniowych,

c) przeszkalaniu personelu inżyniersko-technicznego ośrodków obliczeniowych w resorcie,

- d) prowadzeniu resortowej biblioteki programów,
- e) prowadzeniu działalności informacyjnej w zakresie zastosowań elektronicznych maszyn obliczeniowych w resorcie,
- f) prowadzeniu współpracy z krajami członkowskimi RWPG przez udział w konferencjach Podgrupy Maszyn Matematycznych Grupy Roboczej Projektów i Wyposażenia oraz wymianę programów poprzez Zjednoczone Centrum Informacyjne z siedzibą w Pradze.

W zakresie opracowywania programów dla obliczeń technologiczno-projektowych na najbliższy okres przewiduje się skoncentrowanie prac na dwóch zasadniczych zagadnieniach: obliczenia reaktora do syntezy i obliczenia kolumn rektyfikacyjnych. Szczegółowe zestawienie zagadnień, których rozwiązanie jest niezbędne, aby osiągnąć powyższy cel, podaje się w załączeniu.

Na wybór tych tematów wpłynęły następujące czynniki:

a) Wybrane problemy są bardzo obszerne i stanowią zadania docelowe. Przy rozwiązaniu ich uzyskamy cały szereg programów pomocniczych, które mogą służyć jako samodzielne programy obliczeniowe. Jako „produkt uboczny” uzyskamy między innymi program obliczania wymienników cieplnych, program obliczania oporów przepływu itp.

b) Odrębne obliczenia reaktorów i kolumn są bardzo pracochłonne ze względu na to, że rozwiązuje się metodą prób i błędów, która wymaga kilkakrotnych przeliczeń. Z tej samej przyczyny zadania te nadają się dobrze do zaprogramowania na maszynę cyfrową.

c) Obliczenia reaktorów i kolumn zdarzają się często w praktyce projektowej.

d) Ośrodek ma dość dużo materiałów w postaci programów i literatury zagranicznej, właśnie do rozwiązywania proponowanych problemów.

Należy jednak stwierdzić, iż Ośrodek gliwicki nie jest w stanie sam wykonać wszystkich prac obliczeniowych, które mogą wyniknąć w resorcie przemysłu chemicznego. Już wykonanie narysowanego wyżej programu wymagać będzie współpracy specjalistów z innych pracowni „Prosynchemu” oraz innych jednostek organizacyjnych Ministerstwa Przemysłu Chemicznego. Wynika to z faktu, iż nie można zgromadzić w jednym ośrodku specjalistów ze wszystkich dziedzin, którzy byliby kompetentni we wszystkich nasuwających się zagadnieniach. Prace nasze będziemy więc prowadzić w oparciu o szeroką współpracę ze specjalistami z biur projektowych, instytutów i zakładów produkcyjnych.

Przewidujemy, iż praca nasza będzie dotyczyć dwójakiej grupy zagadnień:

1) zagadnienia, które opracowujemy z własnej inicjatywy (wspomniane kolumny i reaktory), określimy jako „typowe”,

2) oraz zagadnienia przedstawione przez klienta, nie mieszczące się w naszym programie prac, określimy jako „nietypowe”.

Zagadnienia inicjowane przez nas będziemy w zasadzie prowadzić sami, dobierając specjalistów z zewnątrz w miarę potrzeb. Przewidujemy, iż niezbędna dla nas będzie współpraca dwóch specjalistów z zakresu rektyfikacji i dwóch z kinetyki reakcji. Rozwiązanie tych zagadnień obejmować będzie w pierwszej fazie sformułowanie algorytmów obliczeń poprzez wybór najbardziej optymalnej metody inżynierskiej i numerycznej, a dalej opracowanie odpowiedniego programu maszynowego. Jeśli jakaś instytucja będzie zainteresowana w obliczeniach zagadnień „typowych”, dla których nie zdążymy opracować programu, chętnie będziemy widzieli pomoc w opracowaniu algorytmu. Gdyby program był już przez nas opracowany, to oczywiście wystarczy przesłanie nam danych liczbowych.

Ze względu na nieliczny personel programujący Ośrodka nie możemy rozpraszać się na wszystkie zagadnienia i dlatego w przypadku zagadnień „nietypowych” będziemy oczekiwali gotowego algorytmu obliczeń, a sami ze swej strony damy do dyspozycji matematyka-programistę, który opracuje program. Oczywiście w trakcie prac nad algorytmem będziemy służyć konsultacjami i uwagami, tak aby mógł on być dostosowany do specyfiki obliczeń maszynowych.

Maszyna matematyczna warta jest tyle, ile posiada programów. Porównać ją można do świetnie wyposażonego gmachu biblioteki, który bez książek nie daje wiedzy. Duże firmy posiadające ośrodki obliczeniowe (np. Shell), pracujące przez kilka lat, mają do 600 programów i podprogramów z zakresu inżynierii chemicznej. Niestety zaczęliśmy dopiero opracowywać naszą bibliotekę programów i musi trochę czasu upłynąć, zanim zaopatrzymy się we wszystkie niezbędne programy. Na razie na wykonanie niektórych zleceń klient będzie musiał czekać do chwili opracowania programu. Gdy będzie opracowany program, wykonanie zlecenia będzie tylko kwestią aktualnego obciążenia maszyny.

5.2. Szkolenie programistów

Przewidujemy trzy formy szkolenia w programowaniu projektantów, pracowników naukowych i technicznych: kursy, praktyki i seminaria.

Czas potrzebny na opanowanie techniki programowania zależy od systemu czyli języka programowania (patrz odpowiedni artykuł). Do opanowania autokodu (np. SAKO) wystarczy parę tygo-

dni; do programowania w kodzie zewnętrznym (np. SAS) trzeba paru miesięcy. Naukę programowania porównać można do szkolenia kierowcy lub pilota. Po dwutygodniowym kursie można od biedy uzyskać prawo jazdy, a po kilkumiesięcznym licencję pilota. Na to jednak, aby czuć się pewnie za kierownicą czy sterami, trzeba znacznie dłuższej praktyki. Podobnie rzecz ma się z nauką programowania. Przy intensywnej pracy można opanować auto-kod SAKO w stopniu pozwalającym na samodzielne programowanie prostszych zadań technicznych już w ciągu dwutygodniowego kursu. Kursy takie Ośrodek będzie organizował corocznie poczynsz od 1963 roku. Urządzanie kilkumiesięcznych kursów programowania w języku zewnętrznym SAS uważamy za niecelowe. Ośrodek nie może zamienić się w szkołę. Pracownik pragnący się zawodowo poświęcić programowaniu może odbyć paromiesięczną praktykę w Ośrodku. Wyszkolono już w ten sposób 2 projektantów z innych biur. Najlepiej uczyć się programowania rozwiązując praktyczne zadania, które się dokładnie zna od strony technicznej. Pracownik przemysłu naftowego może np. zostać oddelegowany na parę miesięcy do Ośrodka w celu wykonania programu obliczenia radiacyjnych pieców rurowych, które są jednym z ważniejszych aparatów petrochemii. Korzyści będą podwójne: projektant nauczy się programowania przy pomocy i konsultacji wyszkolonych już programistów, a delegujące biuro zyska program obliczeniowy wartości kilkuset tysięcy złotych. Uboczne korzyści będą polegały na pogłębieniu wiadomości projektanta w danej dziedzinie. Takiego inżyniera będzie można uważać już za specjalistę od pieców radiacyjnych, zwłaszcza jeżeli wiadomości teoretyczne nabyte w czasie studiów nad metodą obliczeń uzupełni krótką praktyką ruchową lub pomiarami obiektów w ruchu. Nie ma specjalisty od projektowania pieców lub od eksploatacji systemu pieców. Może być tylko specjalista znający zagadnienie zarówno od strony teoretycznej, jak i doświadczalnej.

Taka metoda pracy Ośrodka nazywa się polityką otwartych drzwi (*open shop*) i jest ogólnie przyjęta w większości firm zagranicznych. Przedsiębiorstwo czy instytut zainteresowane w danym zagadnieniu programuje je przy pomocy własnych pracowników i przy konsultacjach ze strony Ośrodka.

Trzecią formą szkolenia, którą już rozpoczęliśmy w roku 1962, są seminaria metodyki programowania poświęcone wybranym wąskim zagadnieniom i metodom obliczeniowym. Seminaria te wykraczają poza naukę rzemiosła programisty i mają na celu dokształcanie pracowników naukowych i technicznych w nowoczesnych metodach obliczeniowych oraz wykazanie niesłychanie rozległych możliwości zastosowań maszyn matematycznych

w pracach badawczych, projektowaniu i eksploatacji procesów chemicznych.

W 1963 roku przewidujemy następujące tematy:

1. Optymalizację istniejących i projektowanych procesów metodą programowania liniowego.
2. Modelowanie kinetyki reakcji na maszynach analogowych.
3. Optymalizacja techniczno-ekonomiczna aparatury i procesów chemicznych.
4. Metody statystyczne: Monte Carlo i modele probabilistyczne.
5. Metody inżynierii systemów w projektowaniu, pracach badawczych i uruchamianiu procesów chemicznych.

Referaty wygłaszane na seminariach będą publikowane w literaturze naukowej i technicznej. Przewidujemy udział specjalistów z NRD, Danii i Czechosłowacji. Przy obecnym tempie rozwoju metod matematycznych konieczne jest częste dokształcanie inżynierów i pracowników naukowych. Przewidujemy, że w seminariach weźmie udział bardzo niewielka ilość uczestników, zainteresowanych właśnie w danym zagadnieniu obliczeniowym. Przy zaproszeniu będziemy wysyłać konspekt referatów i wykaz literatury, umożliwiając uczestnikowi przygotowanie się do seminarium. Ponieważ omawiane zagadnienia będą dość specjalne, uważamy udział uczestników nieprzygotowanych za niecelowy. Celem seminarium nie jest popularyzacja, lecz wypracowanie nowych metod i dyskusja nad zastosowaniem nowych technik obliczeniowych.

5.3. Koordynacja prac obliczeniowych

Autorzy niniejszego artykułu są zdania, że podział prac obliczeniowych na projektowe, badawcze i ruchowe jest zasadniczo fałszywy. Nie można projektować ani obliczać instalacji chemicznych, tak jak się nieraz praktykuje, w oderwaniu od laboratorium badawczego czy pomiaru ruchowego. Obliczenia nie są celem, lecz środkiem dla wykonania prac badawczo-projektowych, prowadzących do celu, tj. uzyskania tańszego i lepszego produktu, tańszej lub wydajniejszej inwestycji. Do obliczeń potrzeba danych z laboratorium, a wyniki obliczeń trzeba skonfrontować z pomiarami uruchomionej instalacji. Najbardziej wyrafinowana metoda obliczeniowa jest bezwartościowa, jeżeli nie wytrzymuje próby praktyki, którą może dostarczyć tylko pomiar wykonany w laboratorium, na półtechnice czy w eksploatacji.

Właściwy podział prac polega na podziale na zagadnienia. Wybraliśmy, jak już powiedziano wyżej, na początek dwa problemy, na których chcemy skoncentrować nasze wysiłki: kolumny rektyfikacyjne i reaktory kataliczne, tj. procesy rozdzielu mieszanin

i kinetyki reakcji katalicznych. Ponieważ chemiczne biura projektów nie dysponują ani laboratoriami, ani służbą pomiarową (resort chemii nie ma niestety instytucji typu „Energopomiaru”), nawiązaliśmy współpracę z Laboratorium Automatyki i Pomiarów ZA w Tarnowie. Ośrodek tarnowski wykona serię pomiarów na kolumnach rektyfikacyjnych Oddziału Kaprolaktamu i prześle wyniki do Ośrodka gliwickiego. Ośrodek gliwicki przygotowuje odpowiednie programy obliczeniowe umożliwiające zanalizowanie tych danych i przekaże wyniki do Tarnowa. Celem współpracy jest automatyzacja kolumn. Środkiem wiodącym do tego celu jest znalezienie metody obliczenia dynamiki kolumny i zamodelowanie kolumny. Ośrodek tarnowski ma rejestrator cyfrowy i maszynę analogową. Do wykorzystania rejestratora brakuje jednak kilkunastu przekształtników (transmiterów ciśnienia, przepływu, temperatury) zamieniających daną wielkość na sygnał elektryczny oraz analizatorów typu spektrografów lub chromatografów w fazie gazowej dla quasi-ciągłego pomiaru stężeń. Równolegle prowadzonym zagadnieniem będzie znalezienie modelu matematycznego reaktora katalitycznego (konwertora amoniaku). Do tej chwili jeszcze nie ustalono potrzebnej aparatury pomiarowej. Celem jest opracowanie metod obliczania i automatyzacji syntezy amoniaku.

Zadania te są bardzo obszerne i długofalowe, wymagające co najmniej kilku lat. Należy przypuszczać, że w pracach tych weźmie udział Instytut Ciężkiej Syntezy Organicznej i Instytut Chemii Ogólnej. Jeszcze raz podkreślić należy, że maszyny matematyczne cyfrowe i analogowe stanowią jedynie niezbędne narzędzia w nowocześnie prowadzonych pracach projektowo-badawczych.

Najważniejszym elementem powodzenia są ludzie odkomenderowani do wykonania tego zadania. Koniecznym zaś warunkiem — posiadanie odpowiedniej aparatury pomiarowej.

Ponieważ Ośrodek gliwicki jest na razie jedynym ośrodkiem w resorcie chemii, zajmującym się programowaniem, trudno jest mówić o koordynacji prac programowych. Wymieniamy jedynie programy z analogicznymi placówkami z zagranicy i krajowymi, jak np. z Zakładem Elektrotechniki w Międzylesiu, posiadającym maszynę Elliott 803.

W drugim kwartale 1963 roku ma odbyć się resortowa konferencja z udziałem przedstawicieli zakładów, instytutów badawczych i biur projektowych poświęcona zastosowaniu maszyn matematycznych w przemyśle chemicznym. Nasza monografia, zwłaszcza niniejszy artykuł ma za zadanie dostarczyć materiału do dyskusji.

Autorzy uważają, że dotychczasowe prowadzenie prac badawczo-projektowych w dziedzinie automatyzacji procesów chemicz-

nych (z którymi zetknęli się osobiście) jest niewłaściwe. Istnieje podstawa do przypuszczeń, że w podobnie niewłaściwy sposób prowadzone są prace badawczo-projektowe z zakresu technologii i inżynierii chemicznej.

Błędy w organizacji polegają naszym zdaniem na:

- 1) sztucznym podziale prac na badawcze, projektowe i eksploatacyjne,
- 2) braku „sprzężenia zwrotnego” od uruchomionej instalacji do projektującego nowy podobny oddział,
- 3) zlekceważeniu roli pomiaru ruchowego jako źródła informacji dla prac badawczo-projektowych w związku z chronicznym brakiem nowoczesnej aparatury pomiarowej,
- 4) zaniedbaniach w stosowaniu nowoczesnych metod w projektowaniu, zarówno od strony narzędzi (maszyn matematycznych), jak i rozwoju nowych sposobów obliczeń (prace badawcze),
- 5) zaniedbaniu czynników ekonomicznych w projektowaniu; inwestor niejednokrotnie jest bardziej zainteresowany kosztem i terminem opracowania projektu niż kosztem i opłacalnością samej inwestycji oraz wydajnością projektowanego procesu i jakością produktu.

Naszą tezę, którą chcemy przedstawić konferencji, jest konieczność właściwej organizacji prac badawczo-projektowych, w których ważną, choć nie decydującą rolę odgrywają maszyny analogowe i cyfrowe.

Zestawienie podprogramów niezbędnych przy obliczaniu reaktorów do syntezy

Symbol programu	Zagadnienie lub grupa problemów	Program zagraniczny	Szacunkowa ilość rozkazów	Uwagi
1	2	3	4	5
	1. Własności fizyczne dla mieszanin gazowych lub ciekłych			
RSG	a) gęstość	D: AMM-1	500	T × wykon
ECP	b) ciepło właściwe	D: AL-26	300	
EP	c) współczynnik przewodzenia ciepła	D: AMM-1	300	
LP	d) lepkość dynamiczna	D: AMM-1	300	
DIF	e) współczynnik dyfuzji	D: DIF-1	600	„ „
WSR	f) stałe równowag fazowych	D: AL-2c	500	„ „
RO2	g) rozpuszczalność	D: AL-1a	200	
R2S	h) punkty zmiany stanu skupienia		200	
	2. Kinetyka reakcji			
EQL	a) stałe równowag chemicznych (stopnie konwersji)	D: EQUIL-1,2,3	800	
KIN-1	b) wybór optymalnej strefy reakcji	D: KIN 1,2	2000	
KIN-2	c) ustalenie składu równowagowego mieszaniny do reakcji	D: AMM-3	600	
	3. Bilans materiałowy			
BIM-1	a) stechiometria reakcji	D: AL-1	400	
BIM-2	b) operacje pomocnicze	D: ALNB	400	
	4. Bilans energetyczny			
BIE-1	a) efekty cieplne reakcji	D: TERMDYN-7	300	
BIE-2	b) efekty cieplne operacji fizycznych (mieszanie, rozpuszczanie itp.)		400	

c.d. Tabeli 5.1

1	2	3	4	5
BIE-3	c) efekty cieplne przemian fazowych	D: AL-2d	500	
BIE-4	d) bilans cieplny urządzeń dodatkowych	D: AL-2d	300	
ECP	e) entalpie substratów i produktów	D: EMT-1	500	
	5. Zagadnienia hydrodynamiczne			
OPO	a) opory przepływu przez rurki		700	
OPW	b) opory przepływu przez rurki z wypełnieniem		700	
OPP	c) opory przepływu przez inne przekroje		700	
SPC	d) określenie spadku ciśnienia przy przepływie przez reaktor i urządzenia pomocnicze	D: AMM-2	400	
	6. Zagadnienia z ruchu masy			
DIE	a) obliczanie współczynników dyfuzji mieszaniny gazowej wewnątrz cząstek katalizatora	D: TERMODYN-5	500	
DIS	b) obliczenie współczynników przechodzenia masy z mieszaniny gazowej w złożę stacjonarne cząstek katalizatora	D: TERMODYN-6	500	
	7. Zagadnienia z ruchu ciepła			
ALF	a) obliczanie współczynnika przenikania ciepła dla odpowiednich powierzchni wymiany ciepła	D: HETR-1	200	
HET	b) obliczenie ogólnego (globalnego) współczynnika przechodzenia ciepła K	D: HETR-1	200	
PWG	c) obliczenie niezbędnej powierzchni do wymiany ciepła	D: AMM-6	200	

c.d. T a b e l i 5.1

1	2	3	5	5
EKR	8. Obliczenia ekonomiczne		1500	
	9. Określenie wymiarów aparatu			
RE1	a) na podstawie cząstkowych obliczeń wykonanych w punktach 1-8 obliczyć ostateczne wymiary aparatu i urządzeń pomocn.		400	
RE2	b) o ile zastosowano metodę „prób” i „błędów” znaleźć właściwe wymiary wywodząc z założonych uprzednio wymiarów wynikających z szacunkowego obliczenia		600	
RE3	c) sprawdzić czy przy danych (istniejących) rozmiarach, aparat osiągnie założoną wydajność		400	
Razem			16000	

U w a g a W rubryce 3 podano zagraniczne programy podkładowe. Są to programy duńskie sporządzone dla obliczenia konwertora do syntezy amoniaku, i do tego celu mogą być adoptowane bezpośrednio. Zastosowanie ich do obliczania innych reaktorów wymaga gruntowego przerobienia.

**Zestawienie podprogramów niezbędnych przy obliczaniu kolumn rektyfikacyjnych
(z aparaturą pomocniczą)**

Symbol programu	Zagadnienie lub grupa problemów	Program zagraniczny	Szacunkowa ilość rozkazów	Uwagi
1	2	3	4	5
	1. Własności fizyczne dla mieszanin gazowych lub ciekłych			
RS6	a) gęstość	ujęto w programie	reakt.	
ECP	b) ciepło właściwe	„ „ „	„	
LP	c) współczynnik przewodzenia ciepła	„ „ „	„	
LP	d) lepkość dynamiczna	„ „ „	„	
WSR	e) stałe równowag fazowych	„ „ „	„	
PZS	f) punkty zmiany stanu skupienia	„ „ „	„	
	2. Ustalenie parametrów pracy kolumny			
PAR-1	a) punkty zasilania		300	
PAR-2	b) szczyt kondensatora		300	
PAR-3	c) warnika		300	
M 10	3. Obliczenie minimum orosienia i przyjęcie ilości rzeczywistej		300	
BIM	4. Bilans materiałowy układu (ogólny)		500	
BIE	5. Bilans cieplny układu (ogólny)		500	
KDW	6. Obliczenie ilości pólk teoretycznych metodą „półki na półkę” lub sprawdzenie rozkładu temperatur przy założonej ilości pólk	lit. am., niem., ros.	2000	T × wykon.

c.d. Tabeli 5.2

1	2	3	4	5
	7. Zagadnienia hydrodynamiczne			
SKO	a) określenie średnicy kolumny	lit. ros.	200	
ZAC	b) sprawdzenie zachłystywania		300	
HYP	c) hydraulik półki	lit. niem.	500	
OPW	d) opory przepływu par przez kolumnę	ujęto w programie	reakt.	
OPO	e) opory przepływu mieszaniny cieczy i par przez wirnik	„ „ „	„	
OPP	f) opary przepływu przez deflegmator, kondensator i chłodnicę	„ „ „	„	
MOC	g) obliczanie mocy pompy (dla orosienia)		300	
	8. Zagadnienia z ruchu ciepła			
ALF	a) obliczanie współczynnika przenikania ciepła dla odpowiednich powierzchni wymiany ciepła	ujęto w programie	reakt.	
HET	b) obliczanie ogólnego (globalnego) współczynnika przechodzenia ciepła k	„ „ „	„	
KON	c) obliczenie deflegmatora (ciecz-kondensator-para)		1200	
WCC	d) obliczanie chłodnicy ciecz-ciecz		700	
WKN	c) obliczanie warnika		1500	
SPP	9. Obliczanie sprawności półki		200	
EKK	100. Obliczania ekonomiczne	lit.	2000	
	a) wybór optymalnej ilości półek i orosienia	lit.		
	11. Określanie wymiarów aparatu			
Kol	a) określanie wysokości kolumny		200	

c.d. Tabeli 5.3

1	2	3	3	5
Ko 2	b) na podstawie cząstkowych obliczeń wykonanych w punktach 1-8 obliczyć ostateczne wymiary kolumny i pomocniczych aparatów		500	
Ko 3	c) sprawdzić czy przy danych (istniejących) rozmiarach zespół rektyfikacyjny osiągnie założoną wydajność lub stopień rozdziału		1500	
Razem			13300	

Część druga

MASZYNY ANALOGOWE

6. ZASADY DZIAŁANIA I ZAKRES ZASTOSOWANIA ANALOGOWYCH MASZYN MATEMATYCZNYCH

Streszczenie. W artykule tym podano przykłady ilustrujące pojęcie modelu matematycznego i analogii między procesami. Omówiono podzespoły, z których składają się maszyny analogowe i podano przykłady zastosowania maszyn analogowych do modelowania i obliczeń.

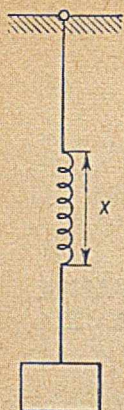
W pierwszym referacie, poświęconym maszynom cyfrowym, omówiono różnicę między maszynami analogowymi i cyfrowymi. W niniejszym artykule zastanowimy się przede wszystkim, czym jest maszyna analogowa, mianowicie czy fizycznym modelem procesu, czy aparatem matematycznym.

Przez pojęcie „analogia” rozumiemy występowanie pewnych wspólnych cech pomiędzy dwoma zjawiskami różnej natury. W maszynie analogowej to podobieństwo zachodzi w równaniach matematycznych, za pomocą których opisuje się procesy fizyczne.

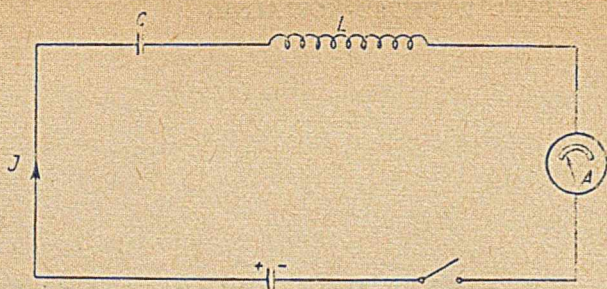
Wyobraźmy sobie ciężarek zawieszony na sprężynie (rys. 6.1). Jeżeli naciągniemy taśmę i raptownie ją puścimy, ciężarek zacznie wykonywać drgania poruszając się w górę lub w dół. Drgania te będą stopniowo zanikać na skutek oporu powietrza i tarcia cząstek wewnątrz sprężyny. Wskutek tego ciężarek zatrzyma się po wykonaniu kilkudziesięciu drgań o zmniejszającej się amplitudzie. Matematyk powie, że ciężarek wykonuje drgania tłumione, zapisując je zwyczajnym równaniem różniczkowym drugiego rzędu.

Rozważmy teraz obwód elektryczny (rys. 6.2) składający się z cewki i kondensatora oraz baterii i amperomierza — połączonych szeregowo. Jak wiadomo z elementarnej fizyki, po założeniu baterii prąd w obwodzie będzie również wykonywać drgania tłumione, które możemy zaobserwować na wskazówce amperomierza. Ponieważ każda cewka ma jakiś opór, drgania te wygasną po kilkudziesięciu okresach.

Obydwa układy — mechaniczny i elektryczny — różnią się całkowicie pod względem fizycznym. Wspólną cechą łączącą je

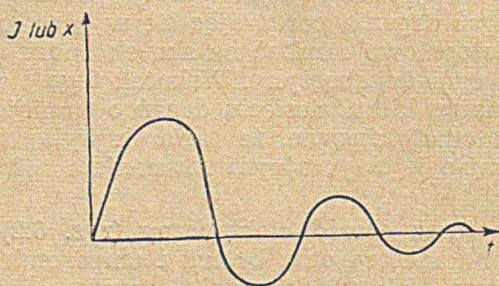


Rys. 6. 1. Ciężarek na sprężynie



Rys. 6. 2. Obwód drgający

jest charakter drgań, jakie wykonują i jednakowa forma równania różniczkowego, które opisuje te drgania (rys. 6.3). Mówimy, że indukcyjność cewki jest analogiem bezwładnej masy ciężarka, pojemność kondensatora jest analogiem sprężystości sprężyny, a opór powietrza analogiem oporności elektrycznej. Prąd w obwodzie jest analogiem przesunięcia liniowego ciężarka. Napięcie sprężyny odpowiada załączeniu baterii w obwodzie. Mamy tu do czynienia z analogią pomiędzy procesem mechanicznym a elektrycznym.



Rys. 6. 3. Tłumione drgania J lub x

Wyobraźmy teraz sobie, że chcemy zaprojektować resorowanie nowego modelu samochodu. Rama podwozia może wykonywać drgania liniowe i skrętne według kilku osi. Matematycy

mówią, że taki układ ma kilka stopni swobody. Układ drgający z wieloma stopniami opisuje się układem kilku równań różniczkowych, których rozwiązanie jest bardzo pracochłonne. Zmiana jednego parametru, np. sprężystości resoru, wymaga ponownego rozwiązania układu. Można oczywiście badać taki układ sprężysty na zbudowanym specjalnie modelu mechanicznym. Jest to jednak rozwiązanie kosztowne i mało uniwersalne.

Wygodniej jest stosować uniwersalne modele elektronowe, czyli analogowe maszyny matematyczne, zwane też analizatorami równań różniczkowych. Układ zawieszenia resorowego podwozia można z łatwością zmodelować na elementach elektrycznych; jakakolwiek zmiana konstrukcji wymagać będzie tylko przełączenia jednego czy dwóch przewodów. Ta sama analogowa maszyna elektronowa służyć może do modelowania procesów hydraulicznych, chemicznych, obliczenia wytrzymałości ustrojów kratowych, czy układu sterowania samolotu.

Co łączy ze sobą te tak rozmaite dziedziny? Wszystkie wymienione zagadnienia opisuje się w technice za pomocą układów zwyczajnych równań różniczkowych, na ogół liniowych, choć czasem trafiają się i równania nieliniowe. Rozwiązanie równań nieliniowych tradycyjnymi metodami jest nadzwyczaj uciążliwe. Można je natomiast bez trudności zamodelować na analogu. Dlatego maszyna analogowa nosi czasem nazwę analizatora równań różniczkowych, a czasem modelu elektronowego. Jest to jeden i ten sam aparat elektronowy, który służy do matematycznego modelowania procesów i do rozwiązywania układów równań różniczkowych, które tymi procesami rządzą. Uświadomienie sobie tego, że modelowanie i rozwiązywanie równań różniczkowych to jedno i to samo, nie jest łatwe i wymaga pewnej wyobraźni i zrozumienia tego, czym jest model matematyczny procesu.

W chemii kinetyka reakcji (np. pierwszego czy drugiego rzędu) opisuje się również układem zwyczajnych nieliniowych równań różniczkowych. Procesy dyfuzji i ruchu masy opisują się dokładnie tym samym równaniem, co procesy ruchu ciepła i zjawiska elektrodynamiczne:

$$\frac{\partial^2 F}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 F}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 F}{\partial z^2} = \frac{1}{D} \cdot \frac{\partial F}{\partial t},$$

gdzie F jest potencjałem elektrycznym, cieplnym lub siłą napędową stężenia mas, a D współczynnikiem dyfuzji, x , y i z oznaczają współrzędne przestrzenne, t zaś czas. Cała inżynieria chemiczna polega na całkowaniu tego równania w różnych skomplikowanych układach geometrycznych.

Maszyny analogowe stosuje się głównie do badania wpływu tych czy innych czynników na skomplikowany proces fizyczny (np. zmianę obciążeń kratownicy skrzydła samolotu lub wpływ temperatury na wydajność złożonych reakcji chemicznych). Maszyn analogowych używa się tam, gdzie rozwiązanie analityczne równań jest zbyt trudne lub w ogóle niemożliwe (co ma z reguły miejsce w realnych układach technicznych) oraz tam, gdzie zbudowanie półtechniki lub modelu fizycznego jest zbyt kosztowne. Zresztą na modelu elektronowym można przeprowadzić wszelkie ryzykowne eksperymenty, których wykonanie na modelu fizycznym (mostu czy reaktora) prowadziłoby do ich zniszczenia. Na maszynie analogowej zapalą się tylko lampki sygnalizujące przeciążenie dźwigara czy katastrofalny wzrost temperatury.

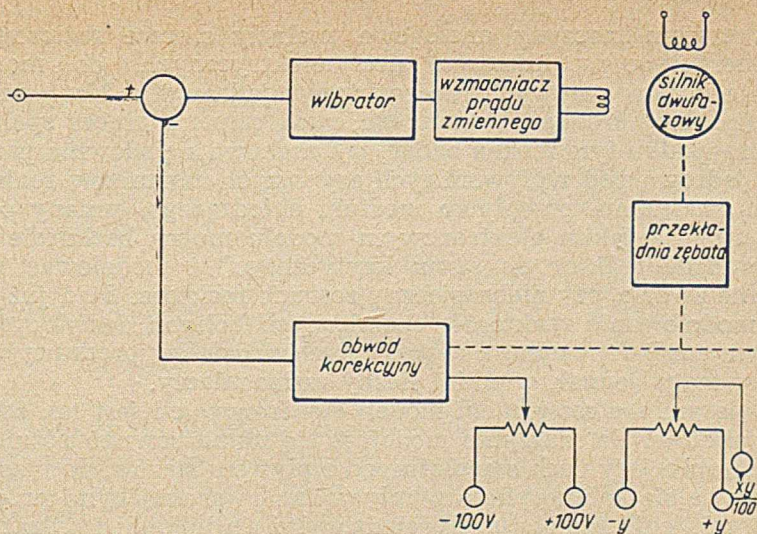
Jak przebiega modelowanie czy rozwiązywanie zadań na maszynie analogowej? Zadanie rozbija się na szereg równań, każdy człon równania jest reprezentowany za pomocą jednego uniwersalnego wzmacniacza operacyjnego. Następnie rysuje się schemat połączeń wzmacniaczy (patrz następne artykuły) i według tego schematu dokonuje się połączeń między wzmacniaczami. Liczba wzmacniaczy, jaką dysponuje maszyna, decyduje o tym, jak wielkie układy równań można na nich rozwiązywać. Maszyna analogowa SC-30 (patrz odpowiedni artykuł) w ZA Tarnów jest stosunkowo niewielka, składa się tylko z 20 wzmacniaczy. Duże maszyny składają się z kilkuset wzmacniaczy i kosztują ponad milion dolarów.

Wzmacniacz operacyjny jest tzw. wzmacniaczem prądu stałego i składa się z kilku stopni, zawierających kilka lamp elektronowych. Wzmacniacz taki może sumować, odejmować przez zmianę znaku lub całkować, a zatem wykonuje tylko operacje liniowe. Mnożenie przez wielkość stałą (mniejszą od 1) dokonuje się za pomocą dzielnika napięcia, tj. potencjometru. Jest to również operacja liniowa.

Do mnożenia dwóch wielkości zmiennych (operacja nieliniowa stosuje się tzw. serwomnożarki będące urządzeniem elektromechanicznym (rys. 6.4). Silnik elektryczny napędza kilka potencjometrów obrotowych. Jedna zmienna jest proporcjonalna do kąta obrotu, drugą stanowi napięcie zmienne przykładane do potencjometru. Trzecią zmienną wynikową zbiera się ze szczotki potencjometru. Przy zmianie połączeń ta sama serwomnożarka może służyć do dzielenia lub pierwiastkowania.

Istnieje wiele innych pomocniczych układów analogowych, których omawianie zaprowadziłoby nas jednak za daleko.

Podstawowym urządzeniem wyjściowym maszyny analogowej jest przyrząd rejestrujący, zapisujący przebiegi elektryczne



Rys. 6. 4. Serwomnożarka

w postaci krzywej na taśmie. W omawianym przykładzie prostego układu drgającego krzywe te będą miały formę tłumionej sinusoidy (patrz rys. 6.3). Przez zmianę nastawienia potencjometru modelującego np. opór powietrza, można przekonać się, jak opór powietrza wpływa na stopień tłumienia krzywej drgań. Opór zaś zależy, jak wiadomo, od kształtu ciężarka (kulka czy płytką) i wpływa decydująco na jego konstrukcję.

Dla konstruktora samolotów czy projektanta automatyki mała maszyna analogowa jest równie niezbędna jak suwak. Chemicy potrzebują niestety dużych i drogich maszyn analogowych z licznymi i kosztownymi serwomnożarkami. 100 wzmacniaczy i 20 mnożarek stanowi minimum dla modelowania procesów chemicznych. Cena takiej maszyny wynosi około 100 000 dolarów.

Typowym zadaniem rozwiązywanym na maszynie analogowej jest obliczanie naprężeń w ustroju kratowym kadłuba i skrzydeł samolotu. W tym skomplikowanym układzie mogą wystąpić niebezpieczne drgania, tzw. *flutter*. Pierwszy pasażerski samolot odrzutowy *Comet* był nieprawidłowo policzony na drgania i dlatego przy próbach rozleciał się w powietrzu wskutek zmęczenia materiału wywołanego rezonansem drgań. Te skomplikowane obliczenia nie dadzą się wykonać bez pomocy maszyny analogowej. Firmy samolotowe były pierwszymi użytkownikami tych maszyn i po dziś dzień wytwarzają je jako produkcję uboczną.

Z czasem maszyny analogowe znalazły szersze zastosowanie w energetyce do obliczania sieci elektrycznych, do modelowania kotłów parowych lub reaktorów jądrowych. Maszyna modeluje obieg środka chłodniczego, ruch ciepła i proces spalania. W przypadku tym można badać, jak zachowa się siłownia parowa lub jądrowa pod wpływem tych czy innych czynników reaktywności, natężenia przepływu medium chłodzącego, zmiany obciążeń itp. Na takim elektronowym modelu można bezkarnie „doprowadzać reaktor do stanu krytycznego” i modelować ryzykowne awarie, czy niebezpieczny rozruch reaktora. Stąd już krok do modelowania reaktorów chemicznych kolumn destylacyjnych i wymienników ciepła, a nawet całych oddziałów produkcyjnych, co wymaga jednak wielkiej liczby wzmacniaczy.

Dalszym zastosowaniem modeli elektronowych jest np. szkolenie pilotów. Na maszynie modeluje się układ równań różniczkowych opisujący ruch samolotu pod wpływem sterów, do maszyny dostawia się kabinę pilota z przyrządami wskazującymi prędkość i położenie samolotu, z prawdziwymi czujnikami i z drążkiem sterowniczym. Na takim układzie można szkolić pilotów i wykonywać „akrobacje” w rodzaju pętli czy uruchamiania, w ogóle bez samolotu. Podobnie można szkolić obsługę reaktora jądrowego. Widzimy stąd, jak uniwersalne są maszyny analogowe i jak pomagają inżynierom i naukowcom w rozwiązywaniu zadań konstrukcyjnych, projektowych i szkoleniowych.

Nie można porównywać maszyn analogowych i cyfrowych, chyba pod względem ceny. Każdy typ ma inne zasady działania i inne zastosowania. Obydwa typy uzupełniają się jednak i mogą ze sobą współpracować.

7. SPOSÓB POSŁUGIWANIA SIĘ MASZYNĄ ANALOGOWĄ SOLARTRON SC-30

Streszczenie. Metodyka rozwiązywania zadań na maszynie analogowej polega na narysowaniu schematu połączeń wzmacniaczy, wykonaniu połączeń na tablicy programowania, nastawieniu współczynnika na potencjometrach i odczytaniu wyników z zakresu rejestratora cyfrowego. W artykule omówiono przykład rozwiązania równania różniczkowego oraz przykład modelowania obwodu regulacji.

Maszyna analogowa SC-30 służy do rozwiązywania różnych problemów matematycznych oraz do modelowania procesów produkcyjnych i układów fizycznych.

Do zamodelowania procesu produkcyjnego potrzebne jest równanie matematyczne, według którego dany proces przebiega. Do zamodelowania układu fizycznego potrzebne są równania różniczkowe (funkcje przejścia) poszczególnych jego członów lub charakterystyki statyczne i dynamiczne tych członów. Na przykład programowanie na maszynie analogowej równania różniczkowego polega na zbudowaniu z elektrycznych elementów maszyny takiego obwodu elektrycznego, aby potencjał (względem ziemi) w jednym z punktów tego obwodu zmieniał się względem czasu tak, jak zmienia się względem zmiennej niezależnej szukana zmienna zależna, występująca w danym równaniu różniczkowym. Z kolei potencjał ten podaje się na woltomierz rejestrujący, który rysuje wykres tego potencjału. Otrzymany wykres przedstawia nam rozwiązanie równania.

Podobnie przedstawia się sprawa z modelowaniem. Zamodelowanie układu fizycznego polega na zbudowaniu z elementów maszyny takiego obwodu elektrycznego, aby potencjał w jednym z punktów tego obwodu zmieniał się w czasie tak, jak zmienia się w czasie interesujący nas parametr badanego układu fizycznego. Programowanie maszyny, czyli łączenie jej elementów w pewien układ, odbywa się na tablicy programowania. Jest to tablica z całą masą różnokolorowych gniazdek, do

których doprowadzone są wejścia i wyjścia wszystkich elementów maszyny. Aby połączyć w żądany sposób elementy maszyny, wystarczy połączyć za pomocą odpowiednich przewodów gniazdka znajdujące się na tablicy programowania.

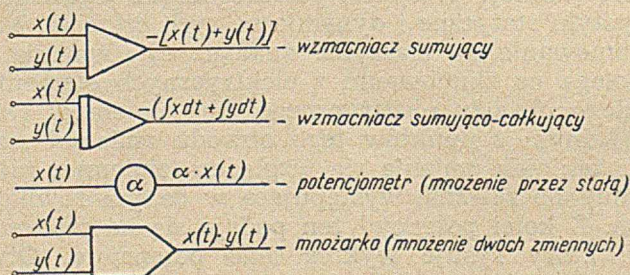
Przed przystąpieniem do programowania każdego zadania należy zadanie przeanalizować i chociaż w przybliżeniu przedstawić jego rozwiązanie oraz zakres zmienności zmiennych.

W przypadku rozwiązywania równań różniczkowych i modelowania, w celu uniknięcia szkodliwych dla maszyny przeciążeń, bardzo ważną rzeczą jest określenie maksymalnych i minimalnych wartości szukanych funkcji lub badanych parametrów modelowanego układu. Znajomość tych granicznych wartości pozwala na zaprogramowanie maszyny w ten sposób że nigdy nie zostanie ona przeciążona; jest to tzw. skalowanie.

Programowanie maszyny składa się z trzech etapów:

1. Wyrysowanie na podstawie programowanego zadania odpowiedniego schematu połączeń elementów maszyny.
2. Wykonanie połączeń na tabeli programowania według poprzednio sporządzonego schematu.
3. Nastawienie na maszynie współczynników występujących w równaniach oraz warunków początkowych związanych z równaniami różniczkowymi.

Następnie przełącza się odpowiedni punkt obwodu maszynowego na woltomierz cyfrowy lub rejestrujący, uruchamia się maszynę i odczytuje wyniki.



Rys. 7. 1. Symboliczne oznaczenie najważniejszych elementów maszyny

Poniżej zostaną podane przykłady pierwszego etapu programowania niektórych problemów. Przed tym jednak należy zapoznać się z elementami maszyny i z operacjami, jakie te elementy mogą wykonywać. Na rysunku 7.1 pokazane są symboliczne oznaczenia najważniejszych elementów maszyny oraz operacje wykonywane przez te elementy. Symbole $x(t)$ i $y(t)$ ozna-

czają potencjały, które zmieniają się w czasie jak funkcje $x(t)$ i $y(t)$, przy czym funkcje te mogą być dowolnego kształtu. Liczba a jest stałą liczbą, którą nastawia się na potencjometrze i przez którą mnoży się potencjał przyłożony na wejście potencjometru. Na wzmacniaczach operacyjnych można dodawać i całkować nie tylko dwa, lecz 1 do 5 różnych potencjałów.

Jeżeli na wzmacniacz sumujący przyłoży się tylko jeden sygnał (potencjał), to wzmacniacz ten będzie pełnił rolę invertora, czyli elementu zmieniającego znak sygnału.

Przykład 1. Narysujmy schemat połączeń do zaprogramowania równania różniczkowego, opisującego najprostszy układ drgający elektryczny lub mechaniczny:

$$(1) \quad a \frac{d^2x}{dt^2} + b \frac{dx}{dt} + cx = d, \quad x(0) = 0, \quad \dot{x}(0) = 0,$$

gdzie a, b, c, d są liczbami stałymi.

Obliczamy z powyższego równania najwyższą pochodną, tzn.

$$(2) \quad \frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{b}{a} \cdot \frac{dx}{dt} - \frac{c}{a}x + \frac{d}{a}.$$

Dla narysowania schematu połączeń wzmacniaczy zakładamy chwilowo, że znamy x i $\dot{x}$ oraz że napięcia reprezentujące te wielkości przyłożone są na wejście wzmacniacza sumującego (rys. 7.2).

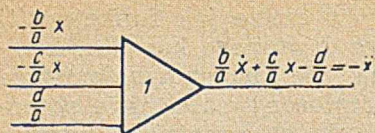
Ponieważ wzmacniacz sumujący dodaje oraz zmienia znak, więc na wyjściu wzmacniacza otrzymamy potencjał równy

$$\frac{b}{a} \dot{x} + \frac{c}{a} x - \frac{d}{a},$$

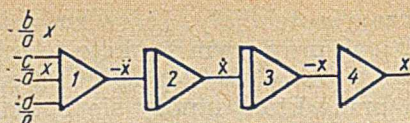
co na mocy równania (2) równa się $-\ddot{x}$.

Potencjał $-\ddot{x}$ podajemy na wzmacniacz całkujący 2. Ponieważ wzmacniacz całkujący całkuje i zmienia znak, więc na wyjściu wzmacniacza 2 otrzymujemy $\dot{x}$. Potencjał $\dot{x}$ podajemy z kolei na wzmacniacz całkujący 3. Na wyjściu wzmacniacza 3 otrzymujemy wobec tego x . Potencjał x podajemy następnie na wzmacniacz sumujący 4 i na jego wyjściu otrzymujemy x (rys. 7.3).

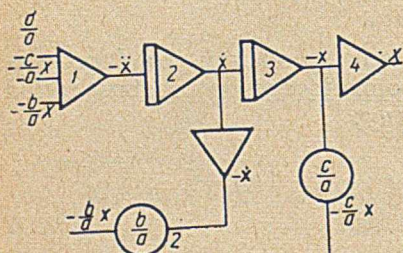
Obecnie możemy już otrzymać potencjały równe sygnałom wejściowym na wzmacniacz 1. Potencjały te tworzymy za pomocą invertora i potencjometrów, na których nastawiamy żądane współczynniki b/a i c/a (rys. 7.4). Teraz wystarczy połączyć wyjścia potencjometrów 1 i 2 oraz stały potencjał d/a z wejścia-



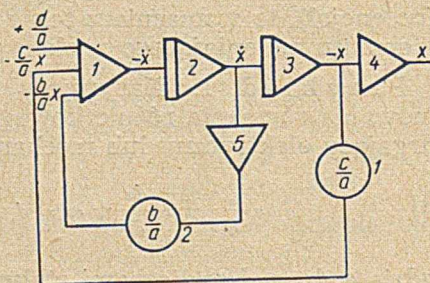
Rys. 7. 2.



Rys. 7. 3.



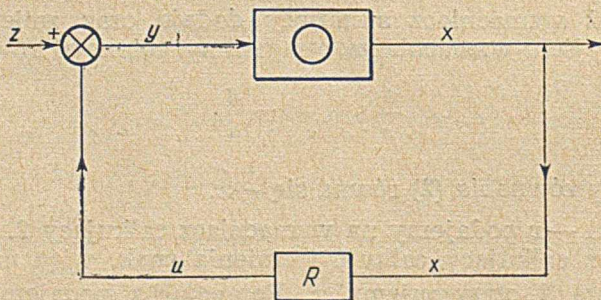
Rys. 7. 4.



Rys. 7. 5.

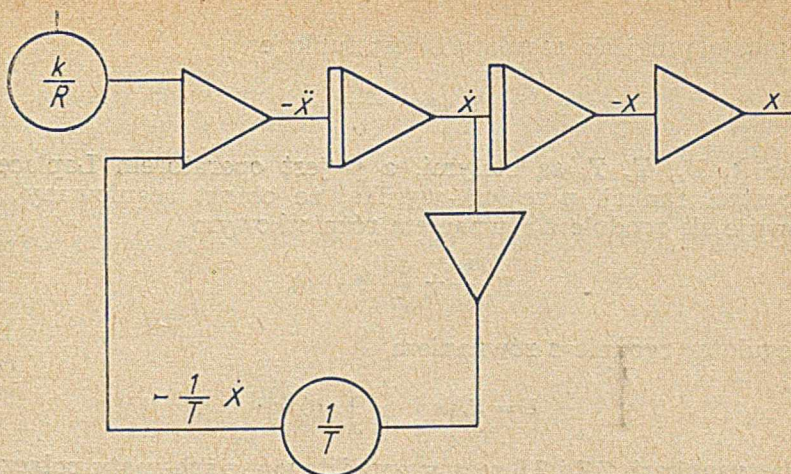
mi wzmacniacza 1 (rys. 7.5), aby otrzymać żądany schemat programu równania różniczkowego (1).

Aby otrzymać przebieg rozwiązania równania (1), wykonujemy połączenia na tabeli programowania zgodnie z rysunkiem 7.5, podłączamy wyjście wzmacniacza 4 na woltomierz i obserwujemy czasowy przebieg funkcji $x(t)$.

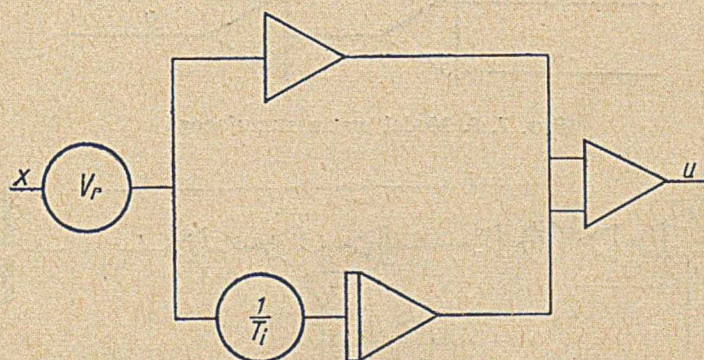


Rys. 7. 6. Schemat połączeń do zamodelowania układu regulacji automatycznej

Przykład 2. W teorii układów regulacji automatycznej rozważa się układy składające się z członów, których własności opisywane są za pomocą tzw. operatorowych funkcji przejścia. Jako przykład wyrysujemy schemat połączeń do zamodelowania układu regulacji automatycznej przedstawionego na rysunku 7.6.



Rys. 7. 7. Schemat połączeń do zaprogramowania równania (3)



Rys. 7. 8. Schemat połączeń do zaprogramowania równania (4)

Na rysunku tym człon $\bigcirc$ reprezentuje nam obiekt regulowany, człon R reprezentuje regulator, a symbol $\oplus$ przedstawia węzeł sumujący. Symbole x , y , u reprezentują odpowiednio wielkości wejściowe lub wyjściowe obu członów, a symbol z oznacza zakłócenie wytrącające układ z równowagi.

Przypuśćmy, że funkcją przejścia obiektu jest funkcja

$$\frac{k}{p(1 + Tp)}$$

a funkcją przejścia regulatora jest funkcja

$$V_r \left(1 + \frac{1}{T_{ip}} \right),$$

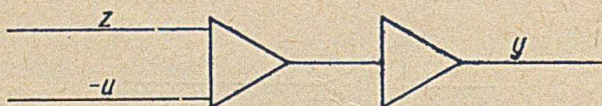
gdzie k , V_r , T , T_i są stałymi, a p jest operatorem Laplace'a. Z postaci funkcji przejścia wynika, że obiekt regulowany zachowuje się zgodnie z równaniem różniczkowym

$$(3) \quad T \frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{dx}{dt} = k y(t),$$

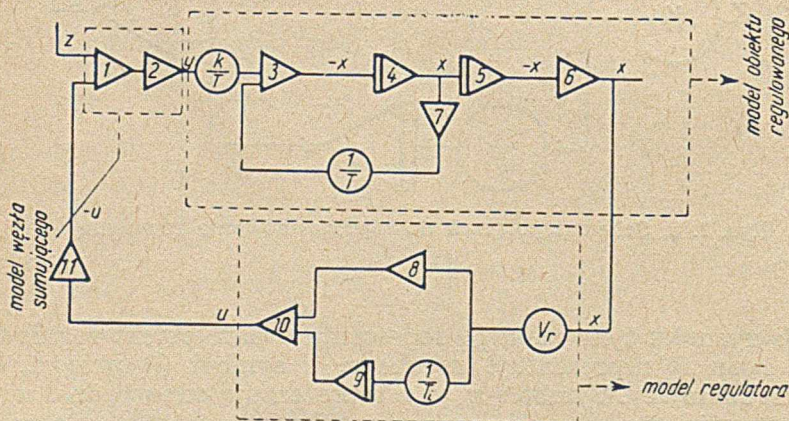
a regulator zgodnie z równaniem

$$(4) \quad U = V_r \left(x + \frac{1}{T_i} \int x(t) dt \right).$$

Na rysunkach 7.7 i 7.8 mamy przedstawione schematy połączeń do zaprogramowania równań (3) i (4). Rysunek 7.9 przedstawia model węzła sumującego.



Rys. 7. 9. Model węzła sumującego



Rys. 7. 10. Model całego układu

Mając już wyrysowane modele poszczególnych członów układu regulującego, możemy połączyć te modele zgodnie z rysunkiem 7.6 i otrzymać model całego układu (rys. 7.10).

Na wzmacniacz 1 możemy podawać zakłócenia w dowolnej postaci, np. w postaci skokowej lub sinusoidalnej; na wzmacniaczu 6 możemy obserwować przebieg interesującej nas wielkości regulowanej x . Na przykład przy różnych nastawieniach regulatora zmieniamy nastawienie potencjometrów V_r (współczynnik wzmocnienia) oraz $1/T_r$ (stała całkowania). W opisany powyżej sposób możemy doświadczalnie ustalić na modelu optymalne nastawienie regulatora, które da nam najlepszy przebieg regulacji.

8. MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA MASZYNY ANALOGOWEJ DO OBLICZEŃ I MODELOWANIA PROCESÓW TECHNOLOGICZNYCH I REGULACYJNYCH W POLSKIM PRZEMYSŁE CHEMICZNYM

Streszczenie. W artykule tym szczegółowo opisano wyposażenie maszyny analogowej Solartron SC-30 posiadanej przez ZA Tarnów. Określono rodzaj i wielkość zadań, które mogą być rozwiązywane na tej maszynie. Podano przykład rozwiązania układu równań różniczkowych opisujących przebiegi nieustalone w obwodzie elektrycznym oraz przykład zamodelowania układu równań, opisujących kinetykę reakcji w reaktorze z mieszaniną.

8.1. Wstęp

Niniejszy artykuł omawia konkretne przykłady zastosowania maszyn analogowych w przemyśle chemicznym. Podane przykłady z wyjątkiem układów automatycznej regulacji są poglądowymi i uproszczonymi, w rzeczywistości maszyna analogowa umożliwia rozwiązywanie bardziej skomplikowanych układów. Przy każdym przykładzie podano średnio procent wykorzystania elementów maszyny, co pozwala ocenić nie wykorzystaną pojemność przy danym uproszczonym zadaniu.

W zakresie badań układów automatycznej regulacji urządzenie umożliwia obserwację wszystkich interesujących przebiegów i uzyskanie potrzebnych informacji, odnoszących się do obwodów regulacji liniowych, nieliniowych, kaskadowych, układów regulacji złożonej, układów optymalnych. Urządzenie pozwala uwzględnić nieliniowości, luzy, histerezę, ograniczenia, a więc te elementy, które nie dadzą się uwzględnić przy obliczeniach teoretycznych, a które występują w układach regulacyjnych. Na podstawie własnych doświadczeń oraz informacji pracowników powracających ze stypendiów zagranicznych stwierdzono, że pojemność kompletnej maszyny o 30 wzmacniaczach wystarczy dla badań prostszych obwodów regulacji automatycznej stosowanych w przemyśle.

Podstawową trudność badania obwodów automatycznej regulacji stanowi brak doświadczeń w biurach projektowych oraz związany z tym brak danych pomiarowych. Dla obiektów istniejących metoda stochastyczna umożliwia uzyskanie potrzebnych informacji, przy obiektach projektowanych współczynniki równań muszą być obliczone, co wobec braku odpowiednich opracowań teoretycznych przedstawia poważne trudności. Metody obliczenia dynamiki są dopiero w stadium opracowania i stanowią temat wielu prac naukowych za granicą.

Korzyści wynikające ze stosowania maszyny matematycznej wzrastają, jeżeli obiekt jest dużą jednostką produkcyjną, obliczenia są trudne, a ryzyko budowy układów nieprawidłowych jest duże.

W zakresie modelowania obiektów i obliczeń technicznych urządzenie może rozwiązywać zagadnienia, które pozwalają się sprowadzić do problemów matematycznych podanych w rozdziale 8.3. Literatura podaje między innymi następujące przykłady modelowania dla celów badawczych lub projektowych: ekstrakcja wielostopniowa, destylacja kolumnowa, wymienniki ciepła, układy resorowania pojazdów, procesy mieszania z jednoczesną reakcją itp.

Przy obliczeniach technicznych i modelowaniu procesów technologicznych zakres rozwiązywania zagadnień jest ograniczony pojemnością posiadanej maszyny analogowej.

Maszyny ośrodków analogowych podają, że dla zaspokojenia pełnych potrzeb w zakresie modelowania i obliczeń technicznych stosowane są urządzenia posiadające 100-120 wzmacniaczy operacyjnych, to jest urządzenia posiadające czterokrotnie większą pojemność niż maszyna SC-30. Stosując odpowiedni sposób modelowania (zmiennie, których wpływu nie badamy, zastępujemy stałymi), możemy modelować znaczną część układów spotykanych w praktyce.

W zakresie modelowania obwodów regulacji brak jest doświadczeń w kraju, projektanci obliczają układy za pomocą bardzo uproszczonych wzorów, które nie mogą stanowić podstawy do modelowania, gdyż model nie odzwierciedlałby oryginału. Stosowanie uproszczonych metod liczenia ma związek z brakiem znajomości niektórych współczynników równań opisujących obiekt.

Maszyna SC-30 stanowi poważną pomoc przy szkoleniu personelu inżyniersko-technicznego. Urządzenie umożliwia śledzenie zachowania się typowych obwodów przy różnych nastawach regulatorów oraz obserwowanie wpływu zmiany parametrów regulatora X_p , T_n , T_v na przebiegi regulacyjne. Personel szkolony nabywa doświadczenia w dostrajaniu obwodów regulacji.

8.2. Dane techniczne

W skład urządzeń firmy Solartron wchodzi:

1. uniwersalna maszyna analogowa SC-30,
2. analizator odpowiedzi JY 743,
3. wyposażenia dodatkowe.

Omówimy po kolei punkty 1—3.

1. Maszyna analogowa SC-30 jest uniwersalną maszyną analogową, mającą następujące podzespoły (cyfry w nawiasach oznaczają kompletne wyposażenie SC-30, cyfry bez nawiasów — posiadane wyposażenie): 60 (60) potencjometrów do ustawiania współczynników, 20 (30) wzmacniaczy operacyjnych (5 sumujących + 15 sumująco-całkujących), 2 (4) serwonóżarki, 1 (2) uniwersalny diodowy generator funkcji, 4 (4) symetryczne diodowe ograniczniki mostkowe, 2 (4) wzmacniacze przekaźnikowe.

Poza tym w skład wyposażenia maszyny wchodzi wymienione tablice programowania, woltomierze (cyfrowy, wskazówkowy i kompensator), układ sterowania i sygnalizacji, układy chłodzenia, stabilizowanie źródła zasilania i inne.

Maszyna ma elementy umożliwiające sprzężenie 2 lub 3 maszyn SC-30, wskutek czego wzrasta odpowiednio pojemność urządzenia. Zasilanie urządzenia napięciem 220 V, 10 amperów. Napięcie wyjściowe ± 100 V. Dokładność w zależności od ilości i jakości użytych elementów rzędu 0,5-3%.

2. Analizator odpowiedzi JY 743 składa się z generatora sygnałów pobudzających obiekt oraz z miernika sygnałów powracających z obiektu.

Generator wytwarza sygnały sinusoidalne, prostokątne i skokowe o amplitudzie w granicach 0 ± 100 V nastawiane dekadowo. Błąd amplitudy wynosi poniżej 1%. Częstotliwość drgań okresowych jest regulowana płynnie w granicach 10^{-4} Hz do 100 Hz. Błąd częstotliwości wynosi poniżej 1,5%. Miernik wskazuje amplitudę oraz przesunięcie fazowe sygnału wyjściowego względem sygnału wejściowego do obiektu. Umożliwia to zdjęcie charakterystyki amplitudowo-fazowej obiektu.

3. W skład wyposażenia dodatkowego wchodzi:

- a) Rejestrator liniowy, szerokość zapasu 250 mm, posuw taśmy 1 mm/sek, zakres regulowany płynnie 0-100 V.
- b) Przełącznik wielomiejskowy, liczba punktów przełączalnych 50, przełączenie następuje co 0,5 sek.
- c) Woltomierz cyfrowy ± 100 V.
- d) Drukarka tranzystorowa — zakres 0-100 V, częstotliwość drukowania napięcia co 0,5 sek.

Drukarka, woltomierz cyfrowy i przełącznik wielopunktowy są przystosowane do współpracy. Zespół ten umożliwia cyfrową

rejestrację napięć w 50 różnych punktach układu z częstotliwością 2 punkty/sek.

e) Urządzenie sprawdzania maszyny analogowej.

f) Oscyloskop.

8.3. Zakres rozwiązywanych problemów

Problemy rozwiązywane na maszynie możemy podzielić następująco:

- a) wykonywanie obliczeń technicznych,
- b) obliczanie i śledzenie przebiegów dynamicznych procesów, np. termodynamicznych, kinetycznych itp.
- c) obliczanie i śledzenie obwodów regulacji,
- d) wyznaczenie charakterystyki częstotliwościowej w zakresie 10^{-4} Hz do 100 Hz dowolnego elementu.

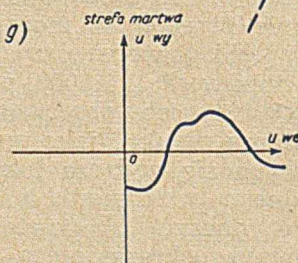
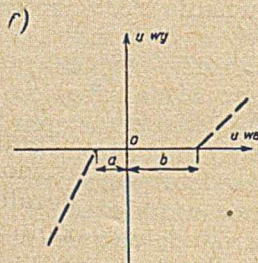
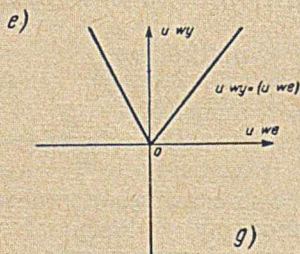
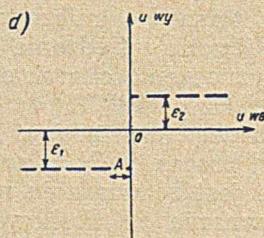
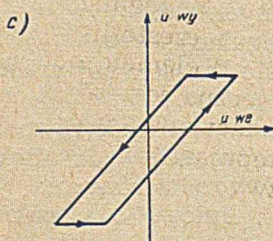
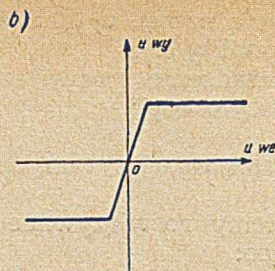
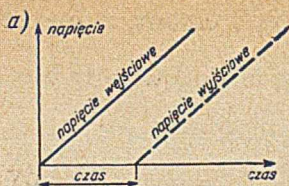
Dla rozwiązywania zadania konieczna jest znajomość równań opisujących proces, bądź to w postaci analitycznej, bądź graficznej. Możliwe jest rozwiązanie następujących typów równań:

- 1) równania różniczkowe zwyczajne, liniowe o współczynnikach stałych,
- 2) równania różniczkowe zwyczajne, liniowe o współczynnikach zmiennych,
- 3) równania różniczkowe zwyczajne, nieliniowe,
- 4) równania algebraiczne liniowe,
- 5) równania przestępne, trygonometryczne.

Elementy nieliniowe pozwalają zamodelować następujące przypadki przedstawione na rysunku 8.1.

Zmienną niezależną równań może być czas lub dowolną inną zmienną. Modelowanie przebiegów możemy wykonywać w dowolnej skali czasu; przebiegi wolne przyśpieszamy, w celu skrócenia czasu obliczeń, np. w skali 1:1000, przebiegi bardzo szybkie zwalnimy dla dokładnej ich obserwacji. Przebieg modelowanego procesu możemy uzyskać jako pojedynczy (np. po skończeniu liczenia maszyna się wyłącza lub wskazuje stan końcowy — dla ewentualnego powtórzenia przebiegu należy liczenie wyłączyć i ponownie włączyć) lub powtarzalny (maszyna samoczynnie po nastawialnym okresie czasu włącza się i ponownie wyłącza). Przebiegi powtarzalne możemy obserwować na odpowiednim oscyloskopie.

Wynik obliczenia może być odczytany na woltomierzu cyfrowym, woltomierzu wskaźnikowym, kompensatorze lub drukarce. Przebieg modelowy może być zarejestrowany na rejestratorze taśmowym (szerokość taśmy 250 mm, posuw 1 mm/sek) lub na drukarce, która może kolejno rejestrować wartości parametrów w 50 punktach. Obserwację przebiegu modelowanego możemy prowadzić na woltomierzu wskaźnikowym lub oscyloskopie.



Rys. 8. 1. Charakterystyki obiektów nieliniowych: a) czas martwy, b) ograniczenie amplitudy (nasycenie), c) histereza, d) nieciągłość napięcia, e) moduł wartości, f) strefa martwa, g) dowolna eksperymentalna funkcja

Analizator odpowiedzi JY 743 umożliwia uzyskanie charakterystyki częstotliwości w zakresie częstotliwości 10^{-4} Hz do 100 Hz. Charakterystykę częstotliwościową możemy uzyskać w przypadkach:

1) Dane jest urządzenie, nie znamy wyrażenia matematycznego opisującego jego własności dynamiczne. Na wejściu obiektu należy zamontować element nastawczy, na wyjściu obiektu przetwornik pomiarowy. Analizator łączymy z elementem nastawczym i przetwornikiem.

2) Znane jest wyrażenie matematyczne opisujące zależności dynamiczne urządzenia. Urządzenie modelujemy na maszynie analogowej SC-30 i łączymy ją z analizatorem odpowiedzi.

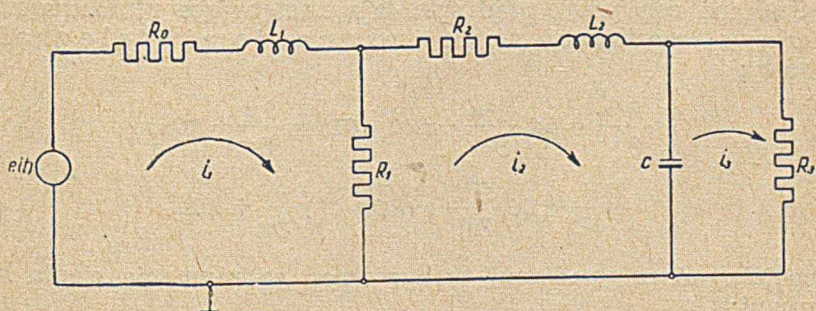
8.4. Dokładność wyników

Błąd obliczeń spowodowany jest następującymi przyczynami:

a) Błąd liczenia 0,5-3%. Błąd jest zależny od liczby i jakości użytych elementów, większa liczba użytych elementów powoduje wzrost błędów, ponadto niektóre elementy są mało dokładne, np. diodowy generator funkcji ma dokładność około 2%. Przy obliczeniach technicznych dokładność wyznaczania współczynników jest zwykle mniejsza.

Sprawdzenia jakości działania elementów dokonujemy programem tekstowym i pomiarami podstawowych parametrów (pomiaru wykonywane 1 raz w miesiącu).

b) Niewłaściwe zaprogramowanie lub ustawienie współczynników. Dla każdego zadania wykonuje się 2 niezależne programy na różnych elementach, przy zgodności wyników istnieje małe prawdopodobieństwo omyłki.



Rys. 8. 2. Obwód elektryczny

8.5. Przykłady

Przykład 1. Równania różniczkowe zwyczajne. Rozważmy obwód elektryczny składający się z trzech oczek (rys. 8.2).

Przy zapisie symbolicznym:

$$e(t) = B_0 e^{j\omega t}$$

$$t_1 = J_1 e^{j\omega t}, \quad t_2 = J_2 e^{j\omega t}, \quad t_3 = J_3 e^{j\omega t}.$$

Obliczenie J_1, J_2, J_3 sprowadza się do rozwiązania trzech równań liniowych o współczynnikach zespolonych:

$$(1) \quad (R_0 + R_1 + j\omega L_1) J_1 - R_1 J_2 = E_0,$$

$$(2) \quad \left(R_1 + R_2 + j\omega L_2 + \frac{1}{j\omega C} \right) J_2 - R_1 J_1 - \frac{J_3}{j\omega C} = C,$$

$$(3) \quad \left(R_3 + \frac{1}{j\omega C} \right) J_3 - \frac{J_2}{j\omega C} = C.$$

W celu rozwiązania układu równań (1), (2), (3) przekształcamy je na układ równań rzeczywistych. Urządzenie SC-30 umożliwia rozwiązanie podanego zadania w przypadkach, gdy liczba oczek nie przekracza 6.

Przykład 2. Równania różniczkowe cząstkowe. Przypuśćmy, że mamy długi kabel lub linię przesyłową o oporności R , indukcyjności h , pojemności C oraz przewodności G na jednostkę długości. Zbadajmy, jakie będzie napięcie u i prąd i w punkcie x kabla i w czasie t .

Szukane napięcie i prąd spełniają następujące równania różniczkowe cząstkowe, zwane równaniami telegrafistów:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = LC \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + (RC + GL) \frac{\partial u}{\partial t} + RG u,$$

$$\frac{\partial^2 i}{\partial x^2} = LC \frac{\partial^2 i}{\partial t^2} + (RC + GL) \frac{\partial i}{\partial t} + RG i.$$

Specjalnymi przypadkami tych równań są równania ciepła lub dyfuzji:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{1}{k} \cdot \frac{\partial u}{\partial t}$$

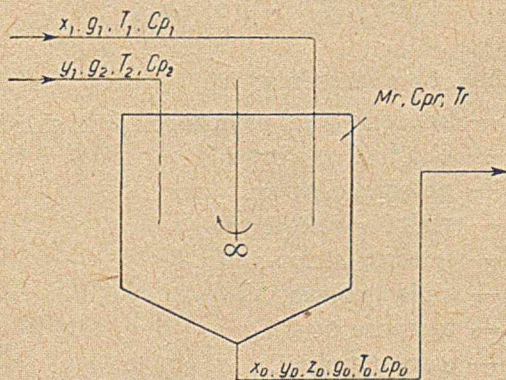
oraz równanie fali:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{1}{c} \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}.$$

Równaniem dyfuzji można opisać np. rozchodzenie się ciepła w cienkim pręcie, równaniem falowym można opisać ruch drgającej struny lub belki.

W celu rozwiązania powyższych równań cząstkowych sprowadzamy je w sposób przybliżony do układu równań różniczkowych zwyczajnych. Dokładność rozwiązania równania cząstkowego zależy od liczby równań zwyczajnych, do których sprowadzone jest równanie cząstkowe. Jeżeli chodzi o przewodnictwo ciepła w pręcie, opisywane równaniem dyfuzji, to pojemność maszyny SC-30 pozwala na sprowadzenie tego równania do dziesięciu równań zwyczajnych. Oznacza to, że możemy badać w każdej chwili temperaturę w dziesięciu punktach tego pręta. Temperaturę w pozostałych punktach można wyznaczyć za pomocą interpolacji.

Przykład 3. Modelowanie procesu. Do reaktora dopływają w sposób ciągły płyny X i Y, które reagując ze sobą wytwarzają związek Z. Reaktor jest zaopatrzony w mieszadło. Reakcja jest egzotermiczna. Poziom w reaktorze jest stały, zabezpieczony przelewem (rys. 8.3). Wyznaczyć stężenie x_o ,



Rys. 8. 3. Reaktor z mieszadłem

y_o , z_o oraz temperaturę cieczy wypływającej z reaktora przy różnych obciążeniach, objętościach zbiornika i stężeniach x i y .

Równania kinetyki w reaktorze są równaniami różniczkowymi cząstkowymi (zmienna niezależna — czas i położenie w reaktorze). Zakładając idealne mieszanie upraszczamy równanie cząstkowe do równań różniczkowych zwyczajnych.

Jeżeli reakcja opisana może być przez równanie stechiometryczne



wówczas

$$V \frac{dx_0}{dt} = g_1 x_1 - g_0 x_0 - VK x_0 y_0,$$

$$V \frac{dy_0}{dt} = g_2 y_2 - g_0 y_0 - VK x_0 y_0,$$

$$V \frac{dz_0}{dt} = 2 VK x_0 y_0 - g_0 z_0,$$

gdzie

$$g_0 = g_1 + g_2, \quad K = A \exp \left(- \frac{E}{KT_0} \right).$$

Temperatura T_0 określona jest równaniem:

$$-VH \frac{dz_0}{dt} = V \varrho_0 C_{p0} \frac{dT_0}{dt} + MC_{pR} \frac{dT_R}{dt} + g_1 \varrho_1 C_{p1} (T_0 - T_1) + g_2 \varrho_2 C_{p2} (T_0 - T_2)$$

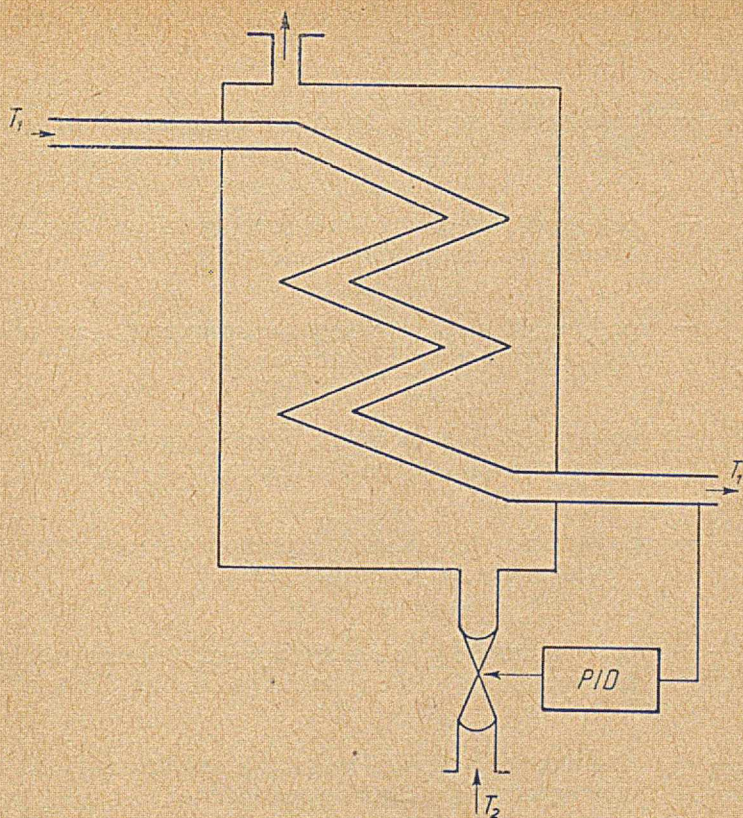
gdzie

$$MC_{pR} \frac{dT_R}{dt} = a (T_0 - T_R).$$

Wprowadziliśmy tu oznaczenia:

x, y, z	— koncentracja poszczególnych składników,
V	— objętość reaktora,
g_0, g_1, g_2	— natężenie przepływu,
K	— stałość reakcji,
E	— energia aktywacji,
R	— stała gazowa,
T_0, T_R, T_1, T_2	— temperatura,
H	— ciepło reakcji,
$\varrho_1, \varrho_2, \varrho_0$	— gęstość,
C_{p1}, C_{p2}, C_{p0}	— ciepło właściwe,
M	— masa naczynia reaktora,
a	— współczynnik przenoszenia ciepła.

Przykład 4. Wymiennik ciepła. Do wymiennika ciepła wpływają dwie ciecze: medium grzejne o temperaturze T_1 i medium ogrzewane o temperaturze T_2 . Zadanie polega na utrzymaniu za pomocą regulatora PID stałej temperatury T cieczy wypływającej z wymiennika (rys. 8.4).



Rys. 8. 4. Wymiennik ciepła

Proces wymiany ciepła opisany jest następującymi równaniami różniczkowymi:

$$\beta_z \frac{\partial \tau}{\partial t} = \varphi_1 (\tau - \tau_2),$$

$$\gamma_1 \frac{\partial \tau_1}{\partial x} + \beta_1 \frac{\partial \tau_1}{\partial t} = \varphi (\tau_2 - \tau_1) + \varphi_2 (\tau_w - \tau_1),$$

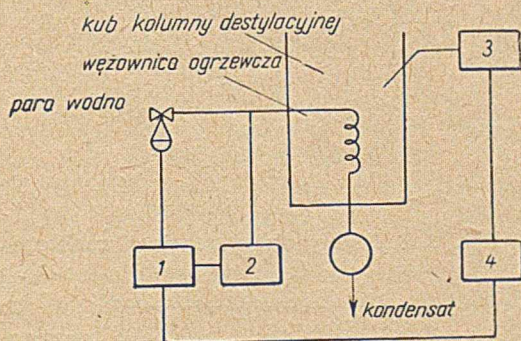
$$(4) \quad \beta_w \frac{\partial \tau_w}{\partial t} = \varphi_2 (\tau - \tau_w) + \varphi_3 (\tau_2 - \tau_w),$$

$$\gamma_2 \frac{\partial \tau_2}{\partial x} + \beta_2 \frac{\partial \tau_2}{\partial t} = \varphi_3 (\tau_w - \tau_2),$$

gdzie oznaczyliśmy

$\beta_z \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^\circ\text{C}}$	—	pojemność cieplna ścianki zewnętrznej liczona na jednostkę długości,
$\beta_w \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^\circ\text{C}}$	—	pojemność cieplna ścianki wewnętrznej liczona na jednostkę długości,
$\beta_1 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^\circ\text{C}}$	—	pojemność cieplna cieczy przepływającej przez rurę zewnętrzną na jednostkę długości,
$\beta_2 \frac{\text{Kcal}}{\text{m}^\circ\text{C}}$	—	pojemność cieplna cieczy przepływającej przez rurę wewnętrzną na jednostkę długości,
$\gamma_1 \frac{\text{Kcal}}{\text{sek}^\circ\text{C}}$	—	pojemność cieplna cieczy przepływającej przez rurę zewnętrzną na jednostkę czasu,
$\gamma_2 \frac{\text{Kcal}}{\text{sek}^\circ\text{C}}$	—	pojemność cieplna cieczy przepływającej przez rurę wewnętrzną na jednostkę czasu,
$\varphi_1 \frac{\text{Kcal}}{\text{m sek}^\circ\text{C}}$	—	przewodność cieplna warstwy przyściennej od ścianki zewnętrznej do cieczy na jednostkę długości,
$\varphi_2 \frac{\text{Kcal}}{\text{m sek}^\circ\text{C}}$	—	przewodność cieplna warstwy przyściennej od rury wewnętrznej do cieczy zewnętrznej,
$\varphi_3 \frac{\text{Kcal}}{\text{m sek}^\circ\text{C}}$	—	przewodność cieplna warstwy przyściennej od rury wewnętrznej do cieczy wewnętrznej,
$\tau_z \frac{\text{Kcal}}{\text{m sek}^\circ\text{C}}$	—	temperatura ścianki zewnętrznej,
$\tau_w \frac{\text{Kcal}}{\text{m sek}^\circ\text{C}}$	—	temperatura ścianki wewnętrznej
$\tau_1 \frac{\text{Kcal}}{\text{m sek}^\circ\text{C}}$	—	temperatura cieczy w rurze zewnętrznej,
$\tau_2 \frac{\text{Kcal}}{\text{m sek}^\circ\text{C}}$	—	temperatura cieczy w rurze wewnętrznej.

Układ równań (4) jest układem równań różniczkowych cząstkowych. Aby można było go rozwiązać na maszynie, dzielimy cały wymiennik wzdłuż jego długości na trzy równe części, zakładając, że w danej chwili temperatury wzdłuż całej części są jednakowe. Po takim uproszczeniu układ (4) przejdzie w układ równań różniczkowych zwyczajnych, do rozwiązania których potrzeba około 30 wzmacniaczy operacyjnych.



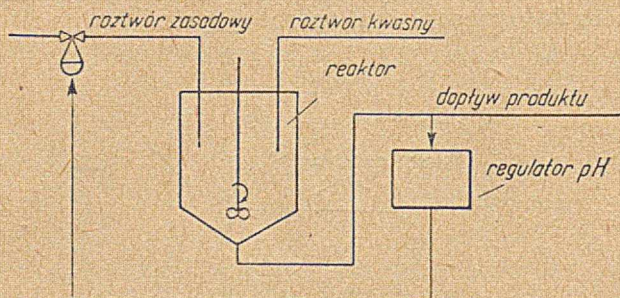
Rys. 8. 5. Kolumna destylacyjna: 1 — regulator ciśnienia, 2 — przetwornik ciśnienia, 3 — przetwornik temperatury, 4 — regulator temperatury

Przykład. 5. Układ destylacji kolumny destylacyjnej. Rysunek 8.5 przedstawia kaskadowy układ regulacji temperatury kuba w kolumnie destylacyjnej. Regulatorem głównym jest regulator temperatury, pomocniczym — regulator ciśnienia. Należy wyznaczyć optymalne nastawy regulatorów temperatury i ciśnienia w układzie kaskadowym oraz zbadać przebieg regulacji przy jednostkowych zaburzeniach. Wyznaczyć dopuszczalne zaburzenia, które nie powodują wahań temperatury powyżej 1°C . Wyznaczyć powyższe dane w bezpośrednim układzie regulacji temperatury bez regulatora ciśnienia. Przy obliczeniach uwzględnić nieliniową charakterystykę zaworu oraz luzu regulatora i zaworu.

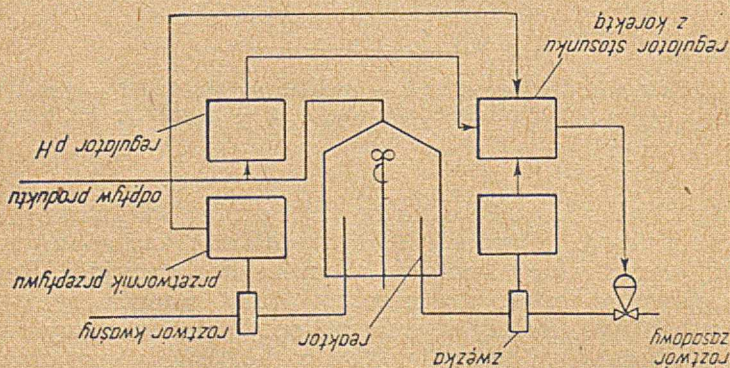
Powyższe zadanie jest rozwiązywalne na urządzeniu SC-30, przy czym wykorzystana pojemność urządzenia wynosi około 40%.

Przykład 6. Układ regulacji reaktora z mieszałem. Należy znaleźć optymalne nastawy układu i określić, czy przy zaburzeniach jednostkowych przepływu roztworu kwaśnego, wynoszących 10% obciążenia normalnego, regulator

zapewni utrzymanie pH w granicach 0,2 pH (rys. 8.6 i 8.7). W zadaniu należy uwzględnić nieliniowość zaworu, nieliniową charakterystykę statyczną pH i ograniczenia. Zadanie jest rozwiązywalne na SC-30, przy czym wykorzystana pojemność elementów wynosi około 50%.



Rys. 8. 6. Prosty układ regulacji reaktora



Rys. 8. 7. Złożony układ regulacji reaktora

W wyniku badań na modelu stwierdzono, że układ z rysunku 8.6 nie zapewni wymaganej dokładności regulacji. Dla zabezpieczenia wymagań potrzebny jest układ regulacji przedstawiony na rysunku 8.7.

9. OBECNY STAN TECHNIKI OBLICZEŃ ANALOGOWYCH W PRZEMYŚLE CHEMICZNYM ZA GRANICĄ

Streszczenie. Na podstawie zagranicznych źródeł bibliograficznych w artykule tym podano zestawienie problemów z inżynierii chemicznej i automatyki, dla rozwiązania których stosowano maszyny analogowe. Zwłaszcza kinetyka reakcji i dynamika procesów technologicznych nadają się do modelowania analogowego. Podano również wyposażenie maszyn analogowych, pracujących w amerykańskim przemyśle chemicznym. Problemy chemiczne wymagają dużych maszyn, zawierających co najmniej 100 wzmacniaczy.

9.1. Wstęp

Od 1953 roku stosuje się w przemyśle chemicznym maszyny analogowe do następujących celów [1] ⁽¹⁾:

- a) Znajdywanie mechanizmu reakcji chemicznych i stałych równowagi kinetycznej na podstawie danych laboratoryjnych.
- b) Projektowanie optymalnych układów regulacyjnych.
- c) Optymalne projektowanie aparatury chemicznej. Minimum kosztu budowy i eksploatacji, optymalna dynamika operacji jednostkowej, ułatwiająca automatyzację obiektu.
- d) Optymalne parametry ruchowe i planowanie produkcji reaktorów dla uzyskania maksymalnej wydajności.

Dwa ostatnie zastosowania wymagają stosunkowo dużych maszyn, zawierających co najmniej 100 wzmacniaczy operacyjnych i 20 serwowoźnarek. Cena takiej maszyny jest rzędu 150 tysięcy dolarów. Dla porównania podano w tabeli 9.1 zestawienie maszyn analogowych posiadanych przez amerykańskie przedsiębiorstwa chemiczne. Oczywiście tak znaczny wydatek musi być uzasadniony odpowiednio dużym obciążeniem maszyny obliczeniami

⁽¹⁾ Liczba w nawiasie kwadratowym [] jest odsyłaczem do odpowiedniej pozycji w spisie literatury.

z automatyki i kinetyki reakcji. Maszyna analogowa nie jest tak uniwersalnym narzędziem jak cyfrowa i nadaje się tylko do pewnej grupy zadań, sprowadzających się do rozwiązywania dużych układów równań algebraicznych i różniczkowych.

Tabela 9.1

Duże maszyny analogowe w amerykańskim przemyśle chemicznym i naftowym (1)

Firma	Miejsce zainstalowa- nia	Rok zaku- pu	Wzm- acn. ope- rac.	Ser- wom- no- żarka	Mno- żarka ele- ktr.	Gener. funkc.	Reje- strat.	Wytwórca
Dow Chem- ical	Midland Mich.	1954	20	—	6	2	1	Berkeley
Du Pont	Wilmingon Del.	1958	120	20	—	20	2	Electronic Associates
Monsanto chem.	St Louis Mon.	1957	116	21	—	24	6	„ „
Ohio Oil Co	Denver Colo.	1957	48	10	—	6	2	„ „
Shell	Emeryville Calif.	1957	24	—	2	1	1	Goodyear Electroni
Standard Oil	Whiting Ind.	1955	168	20	—	12	2	Associates
Standard Oil	Cleveland Ohio	1957	90	4	6	4		Berkeley
Union Carbide	Charleston Va.	1956	60	7	—	7	4	Electronic Associates

9.2. Zastosowanie maszyn analogowych w automatyce przemysłu chemicznego

Dla racjonalnego zaprojektowania układu automatycznej regulacji parametru, a tym bardziej układu kompleksowego niezbędna jest znajomość charakterystyki dynamicznej procesu oraz znajomość reakcji układu działania regulatorów różnych typów. Na podstawie tych danych należy dobrać najbardziej nadający się typ regulatora dla danego obiektu. Oczywiście, że można regulatory wypróbowywać na istniejących obiektach. Jest to jednak sposób kosztowny i pracochłonny. Wygodniejsze i tańsze rozwiązanie polega na zamodelowaniu obiektu na maszynie analogowej. Pomiary są jednak konieczne, choćby dla sprawdzenia, czy

model elektronowy poprawnie odzwierciedla zachowanie się rzeczywistego obiektu.

Obliczenia odręczne nieliniowych układów regulujących, trafiających się z reguły w praktyce, jest niemożliwe ze względu na trudności rachunkowe. Modelowanie pozwala na dokonywanie ryzykownych eksperymentów z przeciążaniem układu. Wykonywanie ich na rzeczywistych obiektach byłoby niemożliwe. Sposoby modelowania i programowania maszyn analogowych podane są w dalszych artykułach niniejszej monografii. Przykłady rozwiązania zadań z automatyki cytowane są w każdym podręczniku maszyn analogowych, a zwłaszcza w pozycjach [2, 3, 4]. Automatyka stanowi jedno z najbardziej typowych zastosowań maszyny analogowej. Modelowanie układów regulacji stosowano za granicą już 20 lat temu.

9.3. Zastosowanie maszyn analogowych w badaniach kinetyki reakcji chemicznych i w projektowaniu reaktorów

Kinetykę złożonych reakcji chemicznych opisuje się za pomocą układów zwyczajnych równań różniczkowych, zazwyczaj nieliniowych. Już w 1955 roku [5] zastosowano maszynę analogową do określenia mechanizmu reakcji chemicznych i do obliczania stałych równowagi na podstawie serii pomiarów laboratoryjnych. W laboratorium mierzy się stężenie substratów i produktów reakcji w funkcji czasu przy różnych temperaturach. Na podstawie tej serii pomiarów chemik przystępuje do zamodelowania nieznanego na razie mechanizmu reakcji. Układ elektronowy tak długo dopasowuje się, aż otrzymane krzywe stężeń będą aproksymowały krzywe doświadczalne z wystarczającą dokładnością. Wtedy możemy powiedzieć, że układ równania różniczkowego, zamodelowanego na analogowej maszynie, jest układem równań badanej reakcji. Koncepcja modelowania jest swojego rodzaju rewelacją dla inżyniera nieoswojonego z techniką analogową.

Stale równowagi chemicznej i mechanizm reakcji są podstawą do projektowania reaktora i w ogóle całego procesu. Na maszynach analogowych modelowano np. reaktor szarżowy z mieszanym i ciągłym reaktorem rurowym [6]. Wyniki tych badań w postaci wykresów stężeń przy różnych temperaturach dają podstawę do decyzji, który typ będzie lepszy w danych warunkach. Tu już wchodzimy w stadium projektu wstępnego — poprzedni model samej reakcji leżał jeszcze w zakresie prac badawczych. Dal- szym etapem będzie optymalizacja wymiarów samego aparatu w ramach projektu technicznego. Na ogół wygodniej jest rozwiązywać zagadnienia optymalizacji procesów jednostkowych i poszczególnych aparatów za pomocą maszyn cyfrowych. Jedy-

nie tam, gdzie wchodzą w grę stany nieustalone lub kinetyka reakcji, wygodniejsze są maszyny analogowe. Na przykład w firmie Shell [7] zastosowano maszynę analogową do optymalizacji reformingu produktów naftowych metodą nieliniowego programowania. Zastosowano uniwersalną maszynę analogową z dodatkowym układem pamięciowym do cyklicznych procesów iteracyjnych. Tę samą metodę można zastosować do optymalizacji parametrów ruchowych w oddziałach już uruchomionych. Równania opisujące proces mają charakter nieliniowy, a do znajdowania ekstremów tych funkcji zastosowano metodę największego spadku.

9.4. Inne zadania inżynierii chemicznej, rozwiązywane na maszynach analogowych

W literaturze zagranicznej wiele miejsca poświęca się metodom obliczania procesów rektyfikacji za pomocą maszyn analogowych. Istnieją sposoby [8] obliczania stężeń na półkach kolumny destylacyjnej za pomocą maszyny analogowej metodą „z półki na półkę”. Wydaje się jednak, że w tym przypadku wygodniejszy jest program maszyny cyfrowej. Proces opisuje się układem liniowych równań algebraicznych, na które istnieją odpowiednie podprogramy. W przypadku obliczeń analogowych potrzeba dużej liczby wzmacniaczy operacyjnych.

Dopiero w przypadku studium dynamiki kolumn, gdzie zamiast równań algebraicznych występują równania różniczkowe, maszyny analogowe wydają się właściwym narzędziem pracy. Analizie dynamicznej kolumn destylacyjnych poświęcili wiele prac uczeni angielscy [9], amerykańscy [10] i holenderscy [11]. Jest to trudne i ważne zagadnienie, które do tej pory nie doczekało się pełnego rozwiązania ani metodami analogowymi, ani cyfrowymi.

Maszyny analogowe stosowano również do analizy drgań kompresorów i rurociągów ciśnieniowych [12], do badań nieustalonego ruchu ciepła i dynamiki wymienników ciepła [13]. Również zadania z nie ustalonych przepływów cieczy były modelowane na analogach. Ponadto rozwiązano problem dyfuzji zanieczyszczeń w atmosferze [16].

Maszyny analogowe stosowane są również bezpośrednio w procesie produkcyjnym do przeliczania danych pomiarowych i do sterowania procesu. Są to maszyny specjalnego przeznaczenia. Przykładem zastosowania jest rafineria w Bellot na Kubie (dawniej ESSO), w której wszystkie regulatory sterowane są maszyną analogową [14]. Również w Związku Radzieckim wykonano maszynę analogową EKРАН kierującą ekonomicznym rozdziałem mocy w układzie energetycznym (automatyczny dyspozytor mocy [15]).

Zastosowanie maszyn analogowych jako podzespołów w układach automatycznej regulacji wychodzi jednak poza zakres niniejszego artykułu.

9.5. Porównanie przydatności maszyn cyfrowych i analogowych do rozwiązywania zadań z inżynierii chemicznej

Główną zaletą maszyny analogowej jest możliwość modelowania badanego procesu. Układ może być łatwo zmieniany i pracuje w sposób ciągły. Możliwe jest badanie przebiegów w czasie. Maszyna cyfrowa pracuje w sposób nieciągły, a wielokrotne całkowanie obciążone jest błędami.

Łatwiej interpretować wyniki w postaci rodziny krzywych, które można porównywać z krzywymi z rejestratorów w automatycznej instalacji. Tabele drukowane przez maszynę cyfrową trzeba dopiero przedstawiać w formie wykresów.

Szybkość rozwiązania zadania na maszynie analogowej nie zależy od wielkości zadania. Programowanie maszyny analogowej polega na zmianie połączeń i nastawianiu gałek potencjometrów, i jest znacznie łatwiejsze niż programowanie maszyn cyfrowych.

Główną wadą maszyny analogowej jest ograniczenie wielkości zadań, które mogą być na niej rozwiązywane. Wielkość zadania zależy od liczby wzmacniaczy i mnożarek. W maszynie cyfrowej wielkość zadania wpływa tylko na czas jego rozwiązania. Drugą zasadniczą wadą maszyny analogowej jest stosunkowo wąski zakres zadań, które mogą być na niej rozwiązywane. Należą tu przede wszystkim problemy opisywane za pomocą układów zwyczajnych równań różniczkowych i algebraicznych. Tę klasę zadań można czasem rozszerzyć na cząstkowe równanie różniczkowe, jeżeli zredukujemy je według jednej zmiennej dla równań w różnicach skończonych.

Maszyny cyfrowe są bardziej uniwersalne. Można na nich rozwiązywać wszelkie zadania matematyczne i logiczne. Złożone układy cząstkowych równań różniczkowych ze skomplikowanymi geometrycznie warunkami brzegowymi nadają się bardziej na maszyny cyfrowe. Tego typu problemy zdarzają się często w inżynierii chemicznej. Maszyny analogowe są niezastąpione przy obliczaniu układów regulacji i do obliczania dynamiki procesów. Natomiast do obliczeń aparatury nadają się lepiej maszyny cyfrowe. Na ogół przeprowadza się te obliczenia metodą iteracyjną (prób i błędów), w których maszyna cyfrowa ze względu na cykliczny charakter pracy jest sprawniejsza. Podobnie wygląda sprawa z przekształcaniem danych, analizą operacyjną i planowaniem operatywnym. Na ogół można powiedzieć, że do obliczeń i badania procesów dynamicznych zmiennych w czasie lepsza jest

maszyna analogowa, natomiast do obliczania stanów ustalonych, statycznych lepiej nadaje się maszyna cyfrowa.

Jak widać, obydwie aparaty uzupełniają się swoimi właściwościami — jeden nie może zastąpić drugiego. W przyszłości przewiduje się nawet automatyczną współpracę między maszyną analogową i cyfrową [17]. Taki złożony system analogowo-cyfrowy będzie najbardziej zbliżony do ideału.

9.6. Podsumowanie

Wszystkie większe przedsiębiorstwa przemysłu chemicznego za granicą stosują od kilku lat maszyny analogowe do obliczeń i modelowania procesów. Specyfika inżynierii chemicznej wymaga stosowania dużych kosztownych maszyn o co najmniej 100 wzmacniaczach i 20 mnożarkach. Mniejsze maszyny cyfrowe nadają się tylko do obliczeń z zakresu automatyki. Każdy poważny ośrodek maszyn automatycznych powinien być wyposażony zarówno w maszynę analogową, jak i cyfrową, ponieważ aparaty te uzupełniają się nawzajem.

LITERATURA

1. Williams, *Analog Computing in the Chemical and Petroleum Industries*, Ind. Eng. Chem. Vol. 50, No 11, Nov. 1958, str. 1631.
2. Woods, *Simulation of Process Control with an Analogue Computer*, Ind. Eng. Chem. Vol. 50, Nov. 1958, str. 1627.
3. Fifer, *Analogue Computation*, 1961.
4. Jackson, *Analogue Computation*, 1960.
5. Corrigan, *Interpretation of Kinetic Data*, Chem. Eng., April-July 1955.
6. Corrigan-Young, *Reactor Desing for Complex Reactions*, Chem. Ebg., Jan.-March. 1956.
7. Moser, Reed, Sellars, *Nonlinear Programming Technique for Analog Computation*.
8. Warfi, *Electronic Analog Computers*, 1960.
9. Rosenbrock, Travendale, Storey Ifac - Konferencja 1960, *The Transient Behaviour of Multicomponent Distillation Columns*.
10. Williams, *Instrumentation and Control of Distillation Columns*, Ind. Eng. Chem. Vol. 50; No 9, Sept. 1958, str. 1215.
11. Rademaker, Rijnsdorp, *Dynamics and Control of Continuous Distillation Columns*, Shell Labor. Reports, Amsterdam Sectt VII, Paper 5.
12. James, *Analog Simulation*, Petrol Ref., Vol. 37, No 5, 1958, str. 185.
13. Mosley, *Heat Exchangers*, Ind. Eng. Chem. Vol 48, 1946, str. 1035—1041.
14. Oil Gas Journal. Vol 55, No 49, 1057 (72).
15. Sinkov, *Ekran*, Elektrizestwo, nr 5, 1959.
16. Karplus, Bekey, Pekrul, *Atmospheric Diffusion of Air Pollutants*, Ind. Eng. Chem., Vol 50, No 11, Nov. 1958, str. 1657.

10. ZADANIA OŚRODKA MATEMATYCZNEGO Z.A. TARNÓW

Ośrodek Matematyczny Z.A. Tarnów, istniejący w ramach Wydziału Pomiarów i Automatyki, jest wyposażony w następujące urządzenia główne:

1. Maszynę analogową typ Solartron SC-30 z 30 wzmacniaczami.
2. Analizator odpowiedzi obiektu na wymuszenia sinusoidalne, typ JY 743.
3. Data-logger posiadający 50 miejsc pomiarowych.

Urządzenia te zostały dostarczone przez firmę Solartron z Anglii. Poza wymienionymi Ośrodek dysponuje szeregiem przyrządów pomocniczych, koniecznych do pracy z wymienionymi urządzeniami. Maszyna analogowa rozwiązuje różnorodne zagadnienia inżynierii chemicznej, elektrotechniki, automatyki, jeżeli dadzą się one opisać następującymi metodami:

- 1) równania różniczkowe zwyczajne, liniowe o stałych współczynnikach,
- 2) równania różniczkowe zwyczajne, liniowe o zmiennych współczynnikach,
- 3) równania różniczkowe zwyczajne nieliniowe,
- 4) równania macierzowe (liniowe równania algebraiczne).

Maszyna SC-30 umożliwia modelowanie i badanie zachowania się członków nieliniowych takich, jak (por. rys. 8.1):

- a) czas martwy,
- b) nasycenie,
- c) histereza,
- d) nieciągłość,
- e) strefa martwa,
- f) dowolna funkcja, aproksymowana 12 odcinkami.

Możliwości maszyny decydują o zakresie wykonywanych prac przez Ośrodek ZA Tarnów.

Plan pracy Ośrodka składa się z dwu zasadniczych części. Część pierwsza obejmuje rozwiązywanie zadań, jakie pojawiają

się w ZA Tarnów, oraz nadsyłanych przez zainteresowane placówki naukowo-techniczne. Część druga obejmuje opracowanie problemów, wymagających szeregu pomiarów i studiów.

Zadania, jakie rozwiązuje się na bieżąco, są nadsyłane przez ośrodki badawcze pomiarów i automatyki, zakłady przemysłowe, instytuty i biura projektowe. Ośrodek rozwiązuje również zagadnienia, które wynikają przy uruchamianiu i eksploatacji układów automatycznej regulacji. Te ostatnie zadania stanowią większość prac wykonywanych przez Ośrodek, nastawiony głównie na rozwiązywanie zagadnień regulacji automatycznej. Celem analizy układu automatycznej regulacji jest:

1. Znalezienie nastaw regulatora dających wymagany przebieg regulacji, np. według kryterium minimalnej całki z modułu odchylenia.

2. Ocena układów regulacji złożonej.

3. Badanie wpływów zmian stanu pracy układu, np. obciążenia na stabilność obwodu i zmianę optymalnych nastawów.

4. Badanie odchylenia od wartości zadanej parametru regulowanego przy założonych zakłóceniach.

5. Badanie wpływu elementów nieliniowych.

Zagadnieniem perspektywicznym jest analiza obiektów produkcyjnych, między innymi układ syntezy NH_3 oraz destylacja kolumnowa; analiza ma za zadanie rozpatrzenie możliwości wprowadzenia kompleksowej automatyzacji tych obiektów. Wymaga ona rozwiązania następujących zagadnień:

1. Poznanie charakterystyki dynamicznej obiektów regulowanych oraz zaburzeń. Dla obiektów istniejących charakterystykę dynamiczną można wyznaczyć pomiarowo; w przypadku obiektów projektowanych charakterystyka musi być obliczona. Obliczenie funkcji przejścia na podstawie projektu jest trudne i w niektórych przypadkach jest możliwe tylko oszacowanie tej charakterystyki. Trudność wynika z powodu braku opracowań naukowych oraz braku dokładnego określenia współczynników charakteryzujących obiekt. Dla obiektów istniejących funkcję przejścia uzyskujemy metodą wymuszanych zaburzeń jednostkowych lub metodą statystyczną, z tym że metoda statystyczna jest korzystniejsza, gdyż nie narusza równowagi obiektu i daje pełniejsze informacje.

Ze względu na konieczność wykonywania przeliczeń za pomocą maszyn cyfrowych korzystne jest uzyskanie rejestracji parametrów w postaci cyfrowej. Zapis cyfrowy uzyskuje się w oparciu o zespół przetworników oraz 50 miejscowy rejestrator cyfrowy.

2. Badanie układu regulacji na modelu analogowym. Na ogół przy projektowaniu pojedynczych obwodów regulacji badania układu na modelu elektronowym nie są konieczne. Natomiast przy bardziej złożonych układach regulacji wieloparametrowej niezbędne jest sprawdzenie, jak zachowa się układ przy tych czy innych zaburzeniach i przy wyborze różnych wielkości regulowanych bezpośrednio. Badania tego typu przeprowadza się zazwyczaj na elektronowym modelu analogowym, zrealizowanym na uniwersalnej maszynie analogowej.

Część trzecia

**STEROWANIE PROCESAMI
TECHNOLOGICZNYMI
ZA POMOCĄ MASZYN CYFROWYCH**

11. STAN TECHNIKI CYFROWEJ ZA GRANICĄ W ZASTOSOWANIU DO STEROWANIA PROCESAMI CHEMICZNYMI

Streszczenie. W artykule tym podano zasadnicze tendencje rozwojowe techniki cyfrowej w zakresie zastosowania do sterowania procesami chemicznymi i do kierowania produkcją. Wstępny etap automatyzacji stanowi centralna rejestracja i przekształcenie danych pomiarowych. Omówiono kilka instalacji syntezy i petrochemii, w których zastosowano cyfrową rejestrację i sterowanie. Podano ponadto warunki umożliwiające wprowadzenie nowej techniki regulacyjnej.

Szybki rozwój techniki cyfrowej w ostatnich latach, a zwłaszcza maszyn matematycznych cyfrowych, otworzył nowe możliwości w zakresie sterowania produkcją. Udoskonalone elementy logiczne, jak i bloki pamięciowe przyczyniły się do powstania całego wachlarza rozwiązań i zakresów zastosowań w dziedzinie sterowania procesami produkcyjnymi.

Należy zauważyć, że o ile klasyczne układy regulacji obejmują swym działaniem każdy z parametrów procesu oddzielnie, głównie je stabilizując, o tyle technika cyfrowa zaczęła obejmować różne szczeble produkcyjne od zastępowania funkcji poszczególnych regulatorów przez maszyny cyfrowe, do nadzoru ogólnego technicznego i ekonomicznego całych przedsiębiorstw. Stąd też zaczęła się zacierać granica pomiędzy sterowaniem procesem a kierowaniem produkcją. W pewnych rozwiązaniach człowiek stał się jedynie jednym z ogniw łańcucha sterującego procesem, jako element kontroli prawidłowości wydanych przez maszynę decyzji, czyli jako „zawór bezpieczeństwa” na wypadek awarii. W chwili obecnej zauważa się następujące formy zastosowania techniki cyfrowej:

- 1) centralna rejestracja danych,
- 2) kontrola przekroczenia dopuszczalnych parametrów produkcyjnych i ich sygnalizacja,
- 3) obróbka danych pomiarowych,

- 4) modelowanie matematyczne procesu,
- 5) samoczynne określanie i nastawianie żądanych parametrów wiodących proces,
- 6) zastąpienie klasycznych regulatorów w ich funkcjach dynamicznych,
- 7) bloki logiczne.

Systemy centralnej rejestracji danych coraz bardziej wchodzi w użycie. Są one stosowane niezależnie od tego, czy przewidywane jest późniejsze wprowadzenie maszyn cyfrowych, czy też nie. Spotykane jest zastosowanie centralnej rejestracji do zbierania wszystkich mierzonych parametrów procesów w zastępstwie aparatury klasycznej, jak również jako tzw. kontrola nadrzędna do rejestracji pewnej ilości parametrów obrazujących stan ogólny produkcji. Przeważa raczej obecnie druga koncepcja z wyjątkiem wypadków zastosowania maszyny do sterowania. Związane to jest z tendencją zachowywania klasycznych regulatorów, przez co zachodzi pewne dublowanie aparatury. Wynika to również z obawy, że w wypadku uszkodzenia centralnego rejestratora obsługa będzie pozbawiona pomiarów (w wypadku gdy centralny rejestrator nie jest zdublowany zwykłym oprzyrządowaniem pomiarowym).

Bardzo często do układu centralnej rejestracji dołączane są bloki sygnalizacji wartości granicznych, których przekroczenie jest szkodliwe ze względu na proces.

Koncepcja kontroli nadrzędnej związana jest niewątpliwie z innymi możliwościami zastosowań maszyn, a mianowicie obróbki danych pomiarowych. W tym wypadku maszyna cyfrowa związana jest sztywno z centralnym rejestratorem i przeprowadza obliczenia bilansu materiałowego, wskaźników produkcji i tym podobnych parametrów istotnych z punktu widzenia kierowania produkcją. Tego rodzaju zastosowanie maszyn jest obecnie najbardziej rozpowszechnione. Spełnia ona rolę narzędzia pomocniczego dla dyspozytora.

Innym kierunkiem zastosowań maszyn cyfrowych jest przeprowadzanie obliczeń optymalnych parametrów technologicznych w oparciu o jakość produktu, stan aparatury, żądany produkt itp. Obliczenia przeprowadzane są w oparciu o zależności matematyczne opisujące proces produkcyjny. Aktualny stan parametrów otrzymuje maszyna za pośrednictwem centralnego rejestratora. Zagadnienie opracowania takiego modelu matematycznego stanowi obecnie wężłowy problem sterowania procesami. Stan wiedzy o procesach technologicznych okazuje się w większości wypadków niewystarczający do całkowitego matematycznego opisanie zachodzących procesów, mimo że modele te obejmują przeważnie tylko warunki ustalone. Algorytm uzyskuje się na dro-

dze teoretycznej z jednej strony oraz z drugiej — stosując metody statystyczne. Oczywiście, konieczne jest wówczas uprzednie przeprowadzenie pomiarów na rzeczywistym obiekcie produkcyjnym. (Ciekawe jest, że przeprowadzane pomiary wykazują konieczność uwzględniania wielu parametrów dotychczas pomijanych, jak np. warunków otoczenia, a zwłaszcza temperatury powietrza.) Otrzymane z obliczeń wyniki wykorzystywane są przez operatory do prowadzenia procesu. Przeważnie w programie maszyny przewiduje się możliwość ulepszenia matematycznego modelu na drodze automatycznej adaptacji.

Opanowanie powyższej formy zastosowania maszyny umożliwia zamknięcie pętli regulacji, czyli zastąpienie operatora przez bezpośrednie nastawienie parametrów regulujących przez maszynę matematyczną. Przejście na tę formę jest możliwe jednak przy całkowitej pewności co do prawidłowości modelu matematycznego. Nawet małe bowiem nieścisłości mogą spowodować olbrzymie straty. Cała funkcja sterowania dotyczy jednak tylko stanów ustalonych. Stany przejściowe regulowane są w tym systemie przy pomocy klasycznych regulatorów, a maszyna matematyczna powoduje jedynie zmianę zadanej wartości.

Rozważana jest jeszcze bardziej kompletna funkcja maszyny. Mianowicie oprócz funkcji doboru wartości zadanych zastąpienie roli samych regulatorów, czyli programowanie stanów przejściowych. Rola ta praktycznie napotyka na znaczne trudności, gdyż regulatory zasadniczo powinny pracować w sposób ciągły, a funkcje obliczeniowe maszyny narzucają formę cykliczną. Poza tym tego rodzaju wykorzystanie maszyny wymaga znacznie lepszej znajomości procesów i własności obiektów z punktu widzenia regulacji niż to jest obecnie.

Spotykana jest jeszcze jedna forma zastosowania techniki cyfrowej w produkcji przemysłowej. Jest to wykorzystanie pojedynczych podzespołów bloków logicznych do wypełniania różnorodnych funkcji w układach regulacji. W oparciu o takie podzespoły budowane są uproszczone maszyny specjalizowane do wykonywania ściśle określonych operacji. Prace w tym zakresie prowadzone są między innymi w Związku Radzieckim.

Śród wymienionych powyżej zastosowań nie wszystkie zostały już wprowadzone do pełnej eksploatacji produkcyjnej. Najczęściej stosowane są centralne rejestratory. Mimo braku dokładnych danych należy ocenić liczbę ich na kilkadziesiąt.

Maszyny cyfrowe do sterowania procesami są obecnie instalowane w wielu przedsiębiorstwach. Na początku bieżącego roku ilość ich oceniano w świecie na ponad 30. Większość z tych maszyn znajduje się w Stanach Zjednoczonych. Zostały one wprowadzone przy takich procesach, jak synteza amoniaku (największa na świecie wytwórnia Monsanto w Luling, USA), desty-

lacja rurowo-wieżowa ropy naftowej (np. Standard Oil w Whiling, USA, Texaco, Sanray Oil), produkcja etylenu, mentolu, butadienu, akrylonitrylu, sody, przy reformingu katalitycznym, krakingu termicznym itp. Nie wiadomo jednak czy wszystkie z podanych maszyn pracują w obwodzie zamkniętym. Co do niektórych wiadomo, że są na pewno w obwodzie zamkniętym, co do innych brak jest bliższych danych.

Modele obejmują zwykle charakterystykę statyczną. W jednym tylko wypadku znane jest zastąpienie około 100 regulatorów przez maszyny matematyczne.

Większość tych maszyn traktowana jest doświadczalnie i obciążona jest po części obliczeniami procesów typu badawczego. Dotyczy to zwłaszcza własności obiektów w stanach nieustalonych oraz efektów ekonomicznych uzyskanych wskutek zastosowania maszyny. Programy zawierają zwykle instrukcje odnoszące się do stanów awaryjnych i ewentualnie dla kilku wariantów produkcji.

Instalacje obejmują przeważnie 120-200 parametrów mierzonych i przewidują nastawienie 15-30 regulatorów.

Przeważnie przyjęty jest cykl obliczeń 15-20 minutowy. Czas ten jednak traktowany jest jako próbny i ma być ustalony dopiero po pewnym okresie pracy. O wynikach z dłuższej eksploatacji jeszcze mało wiadomo.

Programy mają przeważnie objętość 50-75 tysięcy rozkazów. Zmusza to do stosowania maszyn o rozbudowanej pamięci.

Ze względu na znaczny koszt instalacji maszyny, bardzo istotna jest ocena opłacalności stosowania maszyny. Ogólne koszty maszyny wraz z pracami przygotowawczymi szacuje się obecnie na 200-500 tysięcy dolarów. Dlatego też maszyny opłaca się stosować przy obiektach o dużym przerobie. To jest też przyczyną, że najbardziej zaawansowane prace w tym kierunku są w przemyśle petrochemicznym. Praktyczne zyski z wprowadzenia maszyn cyfrowych są rzędu 1-3%. Źródłami zysków są:

- 1) zwiększenie produkcji na jednego pracownika,
- 2) obniżka kosztów produkcji,
- 3) zwiększona wydajność surowca,
- 4) wzrost jakości produkcji.

Niewymiernym zyskiem jest też lepsza informacja o stanie produkcji. Błędna natomiast jest teza, że wprowadzenie maszyny zmniejsza ilość personelu. Sytuacja jest raczej odwrotna, gdyż w miejsce pracowników słabo wykwalifikowanych potrzebni są specjaliści do konserwacji maszyny i aparatury pomiarowej.

Trzeba też zauważyć, że wprowadzenie maszyny wymaga, aby:

- 1) proces był opanowany technologicznie,

- 2) był całkowicie zautomatyzowany, czyli wyposażony w regulację,
- 3) wszystkie zawory były zdalnie kierowane,
- 4) był w pełni wyposażony w aparaturę pomiarową, a zwłaszcza analizatory automatyczne.

Przeciętny czas wdrożenia maszyny wynosi około trzech lat przy liczonym zespole doświadczonych w tej dziedzinie pracowników.

Literatura

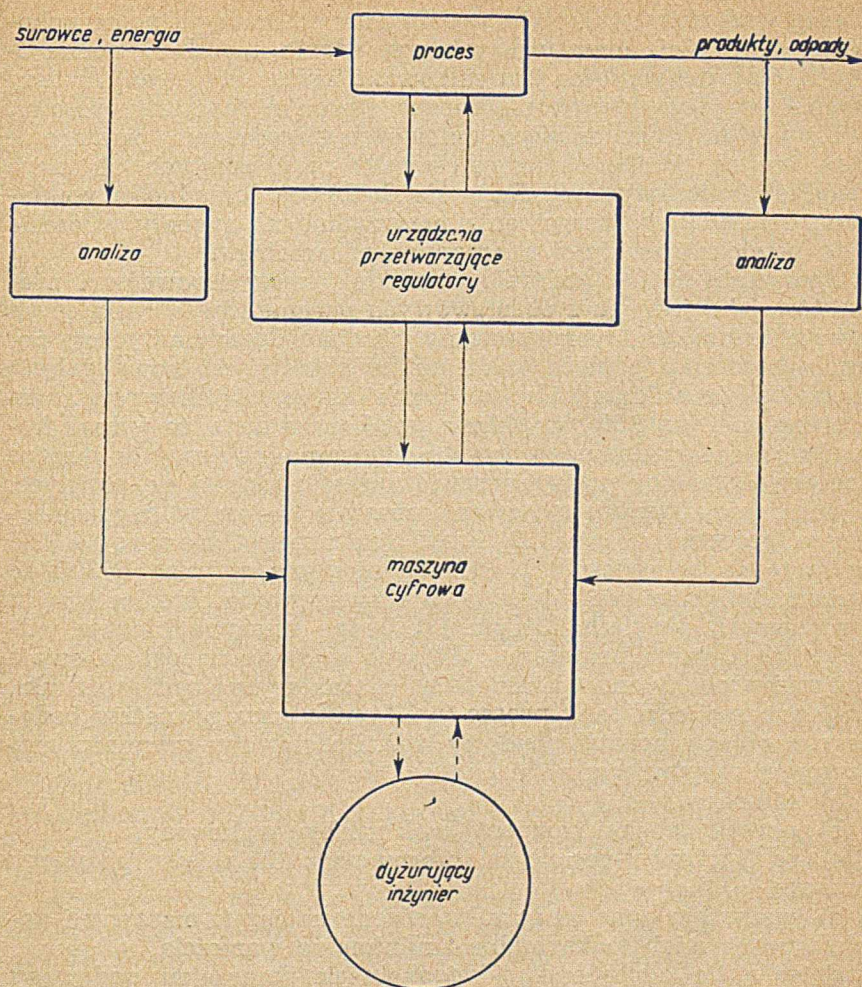
1. G. L. Farrar, Oil. a. Gaz Journal, 58 (46), 143, Nov. 1960.
2. R. H. Crowther, J. E. Pitrak i F. N. Ply, Chem. Engng. Progr. 57 (6), 39, Jun. 1961.
3. G. F. Adams, Oil a. Gaz Journal, 114, May 1962.
4. G. M. Graabe, Br. Chem. Engng., 7 (2), 82, 1962.

12. MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA MASZYN CYFROWYCH DO STEROWANIA PROCESAMI TECHNOLOGICZNYMI W PRZEMYŚLE CHEMICZNYM W WARUNKACH KRAJOWYCH

Streszczenie. W artykule tym podano schemat współpracy maszyny cyfrowej z instalacją chemiczną wyposażoną w aparaturę pomiarowo-regulacyjną. Schemat zilustrowano przykładem sterowania instalacji chloru winylu i akrylanu nitrilu. Wskazano trudności wprowadzenia techniki cyfrowej do przemysłu krajowego.

Maszyny matematyczne analogowe i cyfrowe znalazły szerokie zastosowanie w przemyśle chemicznym na całym świecie. Mogą one być używane do obliczeń projektowych, w pracach naukowo-badawczych, w przemyśle do kontroli procesów produkcyjnych bezpośrednio w zakładach chemicznych. Bardzo aktualnym zagadnieniem jest stosowanie maszyn matematycznych dla celów automatycznego sterowania procesami technologicznymi. W pewnych przypadkach o poprawnym przebiegu procesu decyduje szybkie reagowanie na zmieniające się czynniki fizyczne czy chemiczne. Jeżeli przy tym wybór sposobu reagowania wymaga przeprowadzenia złożonych obliczeń uwzględniających wskaźniki przebiegu procesu, porównania jednocześnie wielu danych i innych podobnych czynności, to ułożenie odpowiedniego programu umożliwia wykonywanie tych czynności przez maszynę cyfrową. Należy w tym celu dokonać połączenia wejścia aparatu z urządzeniami pomiarowymi, a wyjścia z urządzeniami wykonawczymi (rys. 12.1).

Maszyna cyfrowa ustawia sama wymaganą wartość regulatora, dyżurujący inżynier jedynie obserwuje działanie całego procesu. Początkowo dane pomiarowe odczytane przez dyżurującego inżyniera wprowadzono do maszyny, a otrzymane wyniki obliczeń wykorzystywano do odpowiedniej zmiany wartości poszczególnych parametrów przeliczanego procesu, czy to na drodze regulacji ręcznej, czy też — częściej — na drodze ręcznej zmiany



Rys. 12. 1. Schemat blokowy; włączenie maszyny do sterowania procesem

wartości zadanych określonych obwodów regulacji. Kolejnym postępowaniem było automatyczne wprowadzenie do maszyny sygnałów pomiarowych, po odpowiednim ich przetworzeniu, aby odpowiadały wejściu maszyny, a więc wyeliminowanie człowieka z pośrednictwa pomiędzy przyrządami mierniczymi a wejściem maszyny. Potem wyrugowano człowieka pomiędzy wyjściem maszyny a regulacją procesu i maszyna została włączona bezpośrednio do regulacji jako element centralizujący.

Aby zastosować maszynę cyfrową w produkcji, należy spełnić

szereg warunków: całkowite opanowanie technologii, pełne pokonanie trudności aparaturowych, posiadanie urządzeń pomiarowych. Gdy dany proces jest całkowicie zautomatyzowany, wtedy dopiero do jego kierowania można stosować maszynę cyfrową.

Przy stosowaniu maszyn cyfrowych zagadnienia pomiarowe stawiane są bardzo ostro, ostrzej niż przy prostych układach regulacji automatycznej. Dąży się do dużej dokładności pomiarów, do szybkiego reagowania przyrządów na sygnały w czasie i do powiększenia ilości mierzonych parametrów.

Specjalnie należy podkreślić pomiar jakości surowców i produktów jako jednego z podstawowych parametrów określających wynik techniczny i ekonomiczny produkcji. Automatyczny pomiar jakości za pomocą analizatorów składu jest nową gałęzią metrologii technicznej. Chociaż liczba opracowanych typów automatycznych analizatorów składu jest bardzo duża, to jednak konieczność indywidualnego przystosowywania ich pracy do danego procesu technologicznego sprawia duże trudności w praktyce, a więc w przypadku stosowania maszyn do centralnego sterowania procesem. Firma B. F. Goodrich Chemical Co zastosowała w kwietniu 1959 roku maszynę cyfrową R-300 do kierowania procesem katalicznego otrzymywania chlorku winylu i monomeru akrylanu nitrylu [1]. Jedna maszyna kieruje jednocześnie dwoma procesami. Maszyna cyfrowa nanosi na swoje programy odchylenia parametrów charakteryzujących warunki, w jakich zachodzi dany proces (np. temperatura powietrza będącego w obiegu, korozja obudowy itp.). Podstawowe czynności maszyny są następujące:

- a) samokontrola,
- b) określenie, jaki następny krok ma być wykonany,
- c) co 5 minut zbierane są informacje z 125 miejsc przebiegu procesu,
- d) wszystkie dane są przetłumaczone na język maszyny i porównywane z ich maksymalną i minimalną wartością,
- e) w razie odchylenia jakiegokolwiek parametru podawany jest sygnał awaryjny,
- f) co każde 8 godzin wylicza się nowy optymalny przebieg procesu (adaptacyjny sposób pracy ze względu na ewentualne zmiany zadań produkcyjnych, cen, surowców itp.).
- g) po upływie każdej doby prowadzi się szczegółową analizę procesu za 24 godziny,
- h) co 20 minut oblicza się nowe wartości zadane dla 24 regulatorów obu aparatów.

Stwierdza się, że podstawowe kłopoty polegały nie na zainstalowaniu maszyny cyfrowej, lecz na dobraniu regulatorów. W literaturze można naliczyć dziesiątki przykładów stosowania maszyn cyfrowych do sterowania procesami technologicznymi. O. Win-

kler [2] wskazuje na następujące przeszkody w stosowaniu maszyn cyfrowych:

a) wysoka cena maszyn (2-3 miliony marek NRF) pozwala stosować je w zakładach z roczną produkcją przekraczającą 40 milionów marek i tak, aby 1-2% tej produkcji mogło pokryć realną wartość kosztów wyłożonych na maszynę,

b) odstępstwa od zależności matematycznych opisujących przebieg procesu,

c) w wielu przypadkach wystarczy jednorazowe wyliczenie najkorzystniejszych warunków przebiegu procesu przy użyciu maszyny bez stałego jej stosowania w czasie produkcji.

Przy opracowywaniu nowej technologii zaleca się zwracać uwagę na zależności matematyczne, co pozwoli wcześniej i bardzo dokładnie określić celowość stosowania maszyn cyfrowych.

W pracy swojej T. J. Williams [3] rozpatruje zestawienie wstępnych równań opisujących proces i wskazuje na możliwość przyjęcia upraszczających założeń w celu ogólnego przedstawienia procesu. Równania te rozwiązuje się za pomocą maszyn analogowych, a rozwiązanie otrzymuje się w postaci rodziny krzywych, opisujących parametry procesu.

Dane otrzymane w poprzednich częściach pozwalają szczegółowiej określić reaktor i pozostałe części aparatury w celu otrzymania produktu, kolumnę destylacyjną, kondensator dla destylatu, chłodnicę itd. Wskazuje się, że przy zastosowaniu maszyn cyfrowych można znaleźć najbardziej optymalne rozwiązanie. Wyliczona i zaprojektowana instalacja po uruchomieniu wykaże wszelkie popełnione błędy. Na przykład stwierdzono duże dzienne i sezonowe wahania temperatury wody chłodzącej i surowca, wahania ilości dostarczonego surowca do aparatury. Zbadano rzeczywistą wartość bilansu cieplnego wymiennika ciepła, reaktora i kolumny rektyfikacyjnej, przeprowadzono badania kinetyki procesu i zbadano charakterystyki dynamiki procesu. Dane wykorzystuje się do poprawienia pracy danej instalacji i przy projektowaniu nowej.

Krajowy przemysł chemiczny nie jest w tej chwili w pełni przygotowany do automatyzacji kompleksowej. K. Tuszyński [4] wskazuje, że praktyczne zastosowanie maszyny cyfrowej do kierowania procesem jest możliwe w przypadku posiadania następujących urządzeń technicznych:

- a) urządzeń mierniczych i przetworników wejściowych maszyny,
- b) regulatorów z nastawnikiem wartości zadanej o wejściu przystosowanym do sygnału wyjściowego maszyny,
- c) mechanizmów wykonawczych,
- d) maszyny cyfrowej.

Istniejące w kraju przyrządy miernicze są nastawione przede wszystkim na pomiary kontrolne. Zastosowanie ich do regulacji w ogóle, a tym bardziej przy braku przetworników, jest utrudnione. Przemysł krajowy wykonuje maszyny cyfrowe, ale zagadnienia pomiarowe wymagają sprowadzenia z zagranicy przetworników, co pociąga za sobą duże koszty. Należy jednak krytycznie rozważyć z technicznego i ekonomicznego punktu widzenia możliwości zastosowania maszyny do sterowania procesem chemicznym w którymś z nowopowstających zakładów, np. w Płocku czy Puławach.

Literatura

1. E. M. Grabbe, *Regelungstechnik*, 9, nr 8, 313-318, (1961).
2. O. Winkler, *VDI — Nachr.* 1961, 15, nr 39.
3. T. J. Williams, *Systems Engineering for the Process Industries*, New York 1961.
4. K. Tuszyński, *Pomiary, Automatyka, Kontrola*, nr 4, 134-136, (1961).

13. BUDOWA I ZASADY WSPÓŁPRACY Z MASZYNĄ CYFROWĄ CENTRALNYCH REJESTRATORÓW CYFROWYCH

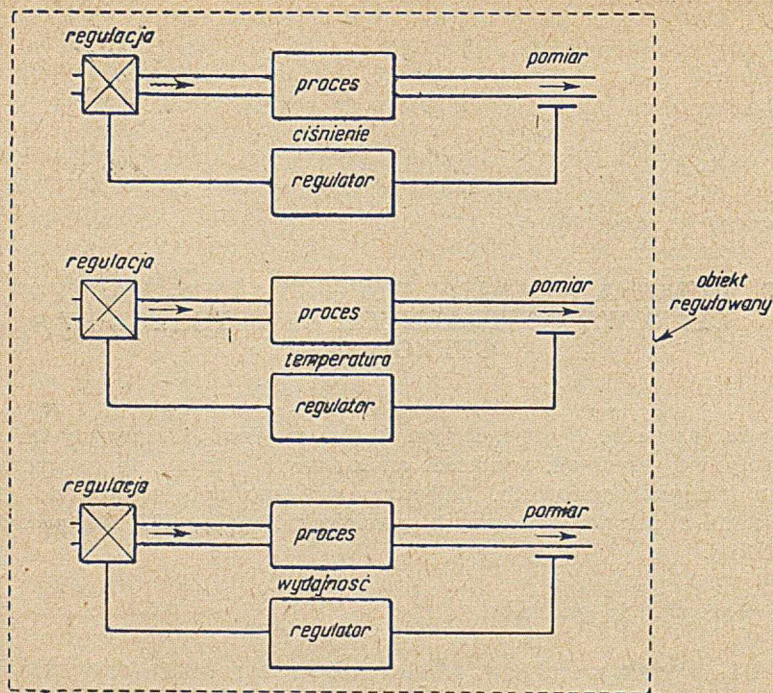
Streszczenie. W artykule tym omówiono rozwój historyczny techniki automatycznej regulacji, wielkości analogowe i cyfrowe, typy przetworników analogowo-cyfrowych. Załączono skrócony opis zespołu do przekształcania i przeliczania danych pomiarów Panellit ISI 609 produkcji angielskiej.

13.1. Rozważania wstępne

13.1.1. Pytamy się, czy warto stosować rejestratory cyfrowe, jeżeli istnieją rejestratory analogowe, które wykreślają w sposób ciągły na taśmie papierowej przebieg i charakter zmian badanego parametru. Poza tym należy stwierdzić, że rejestratory analogowe są przecież szeroko stosowane w technice pomiarowej.

Postaramy się odpowiedzieć na to pytanie. Jeżeli chodzi o rejestratory analogowe (najczęściej miliamperomierze, miliwoltomierze, lub przyrządy mierzące przepływ, ciśnienie itp., wyposażone w urządzenia do wykreślania krzywej pomiarowej na taśmie papierowej), to jeden taki rejestrator jest w stanie wykreślić jedną lub kilka (sześć) krzywych parametrów mierzonych. Dla rejestracji każdego parametru lub grupy parametrów potrzebujemy jeden przyrząd rejestrujący. W przeciętnym zakładzie przemysłowym można mierzyć kilkadziesiąt lub kilkaset parametrów. Zatem rejestratorów takich należy mieć kilkadziesiąt sztuk. Badając krzywą wykreśloną przez przyrząd samopiszący (rejestrator analogowy) będziemy mogli osądzić przebieg procesu w czasie. Trzeba sobie jednak uświadomić, że mamy wiele takich wykresów. W przypadku niekorzystnych zmian parametrów odpowiedź operatora w celu zmiany nastawienia zaworów lub regulatorów może być opóźniona.

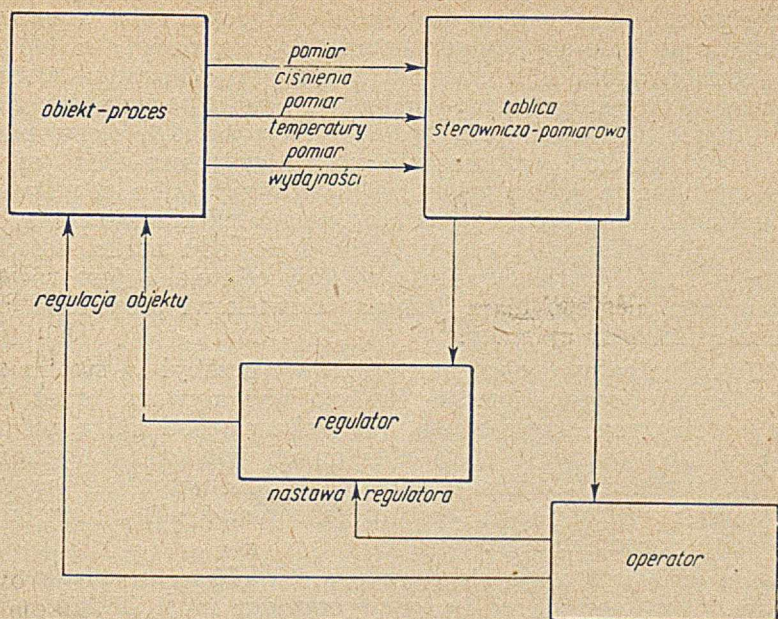
Jak przedstawia się to w wypadku stosowania centralnego rejestratora cyfrowego (CRC)? Zaletą CRC jest to, że podaje on



Rys. 13. 1. Stosowanie regulatorów jednoparametrowych dla regulacji procesu technologicznego

nam przebieg zmian w czasie wszystkich parametrów mierzonych. Odczyt wartości wszystkich parametrów następuje w jednym miejscu — na taśmie CRC. Podaje on czas, wartość zmierzoną, numer kanału, w wypadku odchyłek parametrów sygnalizuje i zapisuje. Ułatwia bardzo pracę operatorowi. Umożliwia mu racjonalne prowadzenie ruchu obiektu, czy nawet całej fabryki. Ułatwia i przyspiesza późniejsze sporządzenie bilansu materiałowego i energetycznego. Bilansowanie bowiem na podstawie dużej ilości wykresów taśmowych z przyrządów samopiszących (analogowych) jest bardzo pracochłonne i absorbuje w dużych zakładach co najmniej kilkusobową grupę pracowników. W dodatku bilans dostarczany jest technologowi z opóźnieniem i uniemożliwia przez to sprawną kontrolę nad przebiegiem produkcji.

Najważniejszą zaletą CRC w porównaniu z przyrządami samopiszącymi jest to, że CRC umożliwia włączenie matematycznej maszyny cyfrowej do obwodu automatycznej regulacji. CRC przygotowuje bowiem w formie cyfrowej dla maszyny dane,



Rys. 13. 2. Scentrowanie sterowania procesem

jakich nie mogłyby dostarczyć przyrządy samopiszące. Widać z tego, że konieczność stosowania CRC wynikała ze stopniowego rozwoju techniki automatycznej regulacji. Prześledźmy poszczególne etapy rozwoju automatycznej regulacji procesów przemysłowych.

13.1.2. W pierwszym etapie rozwoju charakterystyczne było stosowanie regulatorów jednoparametrowych dla regulacji danego procesu przemysłowego. Objaśniono to na rysunku 13.1. Ten sposób regulacji uniemożliwił człowiekowi szybką zmianę na odległość któregoś z parametrów. Zmiana jednego z parametrów wpływała na pozostałe, powodując zaburzenia w procesie. Konieczne było nowe ustawienie wszystkich albo korekcja nastawień kilku regulatorów do tego, aby proces mógł przebiegać na nowych parametrach.

13.1.3. W związku z tym konieczne było scentralizowanie sterowania procesem i włączenie człowieka w obwód regulacyjny. Objaśniono to na rysunku 13.2.

Powyższy układ pozwala na bardziej operatywne kierowanie przebiegiem procesów, zachodzących w obiekcie regulowanym. Jednakże włączenie człowieka do obwodu regulacyjnego i obar-

czenie go całym szeregiem czynności pociąga za sobą w konsekwencji pojawienie się nowych trudności. Przy dużej ilości punktów pomiarowych, a w związku z tym wobec skomplikowanej budowy tablicy sterowniczo-pomiarowej, na której widnieją dziesiątki najrozmaitszych przyrządów, przełączników, sterowników itp., może nastąpić rozproszenie uwagi operatora. Nie jest on w stanie śledzić jednocześnie wskazań wszystkich przyrządów, coś ważnego może ująć jego uwadze na skutek przemęczenia, złej dyspozycji psychicznej, czy wreszcie z powodu braku doświadczenia i kwalifikacji. Szybkość reakcji człowieka jest również ograniczona. Dlatego też z pomocą człowiekowi przychodzi centralny rejestrator cyfrowy.

13.1.4. Centralny rejestrator cyfrowy przebył w swoim rozwoju pewną drogę. Pierwszą funkcją wykonywaną przez CRC była automatyczna rejestracja, już cyfrowa, pod którą rozumie się cykliczny odczyt i zapis mierzonych wielkości przyrządem rejestrującym. Cała operacja odbywa się automatycznie i w pewnej określonej kolejności. Jest to rozwinięcie układu zwykłego przyrządu samopiszącego.

Takie układy stosuje się w wielu zakładach przemysłowych, jak np. w rafineriach nafty, gdzie operator musi śledzić jednocześnie szereg parametrów, takich jak temperatura krytyczna, ciśnienie, przepływ, poziom itd. i zapisywać wyniki pomiarów w książce eksploatacji. W przeciętnym zakładzie przemysłowym wykonuje się setki takich pomiarów w określonych odstępach czasu i przyrządy pomiarowo-kontrolne mogą być rozmieszczone w dowolnie dużych odległościach. W takich wypadkach centralny rejestrator cyfrowy jest stosowany jako pomoc i sprawdzenie dla normalnej metody obserwacji wzrokowej, dając informację najbardziej dokładną, łatwą do otrzymania w ciągu kilkudziesięciu sekund przez wybranie odpowiedniego czujnika pomiarowego i naciśnięcie przycisku.

Do funkcji automatycznej rejestracji doszła druga funkcja, a mianowicie sygnalizacja odchyłeń parametrów od zadanych wartości. Pozwala to na szybkie zwrócenie uwagi operatora na zakłócenie w procesie technologicznym.

Jeżeli jeszcze układ jest wyposażony w urządzenie pozwalające uzyskać dane o wynikach pomiarów poszczególnych parametrów, w urządzenie do wydzielania sygnałów pochodzących od układu stwierdzającego odchyłki parametrów od normy, to wtedy mamy już pełny układ CRC doby obecnej, mogący współpracować z innymi urządzeniami, o których będzie mowa później. Dodatkową zaletą CRC jest możliwość uzyskania danych o dynamice obiektu i innych informacji wpływających na jakość produkcji.

Zalety tego układu ukażą się przy stosowaniu automatycznej regulacji, w przypadku braku możliwości prowadzenia odpowiednich badań ruchowych danego obiektu z powodu braku dostępu, odpowiedniej aparatury pomiarowej, grożącego niebezpieczeństwa itp.

To, że informacja jest przedstawiona operatorowi automatycznie, bez opóźnień i z dużą dokładnością, oznacza, że sterowanie obiektem może być wykonane łatwo i szybko. Innymi słowy, przez zmniejszenie opóźnienia w otrzymywaniu wyników pomiarowych zwiększa się praktycznie efektywność regulacji w celu utrzymania zadanych parametrów i otrzymania lepszej wydajności regulowanego procesu, niezależnie od tego, czy obwód regulacji zamyka człowiek operator, czy elektronowa maszyna cyfrowa.

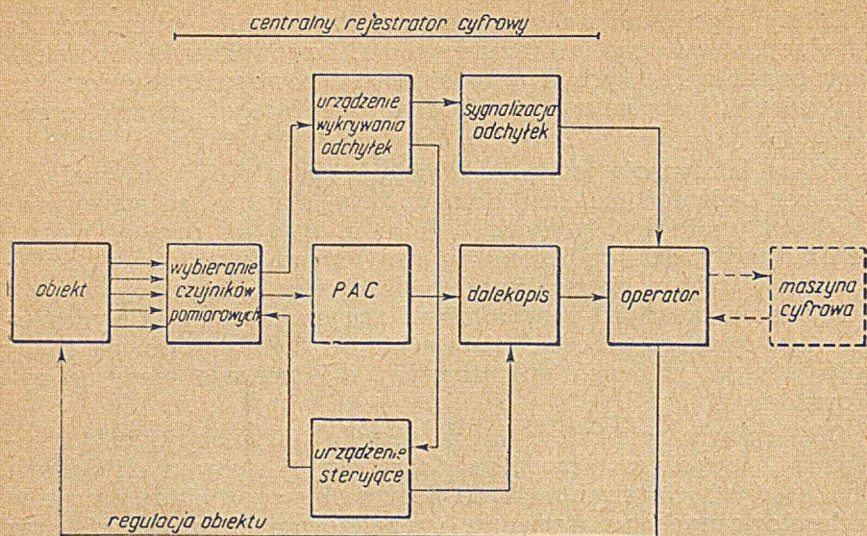
CRC zawęży rolę człowieka w obwodzie regulacyjnym i sprowadza ją do okresowego sprawdzania zarejestrowanych danych pomiarowych, do ewentualnych poprawek w przebiegu procesów technologicznych w wypadku sygnalizowanych zaburzeń oraz do ustawienia nowych parametrów procesu. Układ wykonuje za człowieka odczyty z punktów pomiarowych i rejestruje wyniki. Porównuje wyniki pomiarów z wartościami zadanymi, w wypadku odchyłek sygnalizuje i rejestruje je. W wypadku stosowania maszyn cyfrowych, które zastępują operatora w prowadzeniu ruchu obiektu, CRC przygotowuje dla nich dane w odpowiedniej do współpracy formie. Zastosowanie maszyny cyfrowej, pracującej w obwodzie zamkniętym (one-line) pozwoli na duże przyspieszenie procesów automatycznej regulacji, na uwzględnienie całego szeregu nowych danych, których operator nie był w stanie uwzględnić z powodu małej szybkości przebiegu procesów myślowych w mózgu człowieka.

Rola człowieka ograniczy się do zapewnienia poprawnego działania poszczególnych elementów aparatury oraz do nadzoru przy pulpicie sterowniczym (patrz opis zespołu Panellit).

13.1.5. Obecnie zastanowimy się nad sposobem i przebiegiem instalowania w zakładzie przemysłowym urządzeń automatycznej regulacji.

Pierwszym krokiem będzie zakupienie CRC na odpowiednią ilość punktów pomiarowych i zainstalowanie go zgodnie ze schematem blokowym, podanym na rysunku 13.3 (bez części rysunku wykonanego linią przerywaną).

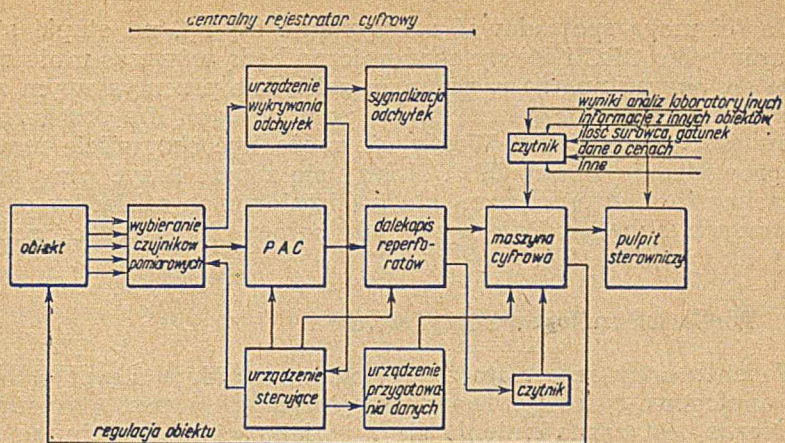
Na podstawie wskazań CRC operator ustawia parametry obiektu zgodnie z wymaganiami danego procesu. Następuje zebranie doświadczeń o charakterystyce statycznej i dynamicznej obiektu, sposobie regulacji, o użyciu tych czy innych typów regulatorów.



Rys. 13. 3. Schemat blokowy do zainstalowania CRC

Na podstawie tych danych można sporządzić matematyczny model obiektu. Model matematyczny podaje nam zależności matematyczne pomiędzy parametrami a wydajnością, jakością produktu ewentualnie innymi wskaźnikami procesu. Będzie on przydatny do późniejszego ustawienia pracy maszyny matematycznej, która nie jest jeszcze włączona w obwód regulacji (cały rysunek 13.3).

Dalszym etapem będzie zakup maszyny matematycznej cyfrowej. Do maszyny matematycznej zostanie wprowadzony odpowiednio ułożony program z modelem matematycznym obiektu. Operator informowany za pomocą CRC o stanie procesu w wypadku zmiany jakiegos parametru, np. przepływu gazu, „pyta się” maszyny cyfrowej, co należy uczynić. Maszyna cyfrowa daje odpowiedź. Operator porównuje odpowiedź ze swoim własnym doświadczeniem i w wypadku zgodności wypowiedzi odpowiednio postępuje. W wypadku niezgodności wypowiedzi należy sprawdzić, czy przypadkiem powodem tego nie jest błąd w równaniach modelu matematycznego obiektu, albo czy maszyna cyfrowa nie posiadała innej, lepszej możliwości osiągnięcia tego samego celu. Ta sama maszyna cyfrowa, oprócz funkcji doradcy technologa-operatora może jednocześnie spełniać rolę technologa bilansującego rozliczenia międzyoddziałowe, np. przez przeliczenie przepływu objętościowego gazu na przepływ masowy (Nm^3).



Rys. 13. 4. Schemat blokowy układu pełnej automatyzacji

Po pewnym okresie współpracy z maszyną i po usunięciu niezgodności można próbować włączyć stopniowo różne regulatory na sterowanie wszystkich regulatorów z maszyny cyfrowej. Matematyczna maszyna cyfrowa będzie sama prowadziła ruch obiektu. Człowiek będzie teraz w zasadzie ograniczał swoją rolę do ewentualnej kontroli poprawności działania układu, jego konserwacji i czuwania nad jakością produkcji.

Dotychczas, gdy była mowa o człowieku, to mieliśmy na myśli operatora prowadzącego ruch obiektu, czy zakładu przemysłowego. Trzeba jednak stwierdzić, że wprowadzenie w danym zakładzie produkcyjnym pełnej automatyzacji w naszym pojęciu (tzn. łącznie z maszyną cyfrową w obwodzie regulacji) wymaga kilkuletniej pracy zespołu kilku czy kilkunastu pracowników, obeznanych z techniką regulacji cyfrowej, w oparciu o zaplecze w postaci Ośrodka Maszyn Matematycznych, albo nawet kilku Instytutów, z uwagi na powiązania różnych gałęzi wiedzy (chemia-elektronika-automatyka). Czas wdrożenia maszyny do sterowania obiektem wynosi średnio około 3 lata, przy licznych gronie pracowników.

W związku z tym wydaje się bardzo celowe wprowadzanie pełnej automatyzacji do nowobudujących się wielkich zakładów chemicznych, przy czym należy to sobie uświadomić już w momencie projektowania zakładów, układ automatycznej regulacji wpływa bowiem na schemat technologiczny procesu i na odwrót.

Natomiast wprowadzanie pełnej automatyzacji dla istniejących zakładów przemysłowych może natrafić na pewne trudności. Wprowadzenie jej byłoby oczywiście bardzo korzystne, ale liczne

trudności mogą spowodować zatrzymanie się np. na etapie stosowania tylko CRC i efekty ekonomiczne będą wówczas mniejsze. Może się okazać np., że w pewnym zakładzie przemysłowym za instalowanie dużej ilości czujników pomiarowych lub przekształtników jest nieopłacalne. Wtedy nie może być oczywiście mowy o wprowadzeniu nawet CRC. Należy się z tym liczyć przy projektach pełnej automatyzacji dla już istniejących zakładów przemysłowych. Schemat blokowy układu pełnej automatyzacji podajemy na rysunku 13.4.

13.2. Wielkości analogowe i cyfrowe

W centralnym rejestratorze cyfrowym znajduje się przetwornik analogowo-cyfrowy. Dla późniejszego opisu tego przyrządu konieczne jest zaznajomienie się z wielkościami, cechującymi ten przyrząd.

Informacje ilościowe mogą być przedstawione dwoma sposobami — za pomocą wielkości analogowych i wielkości cyfrowych.

13.2.1. Wielkości analogowe charakteryzują się ciągłym w czasie przebiegiem funkcji określającej dowolne zjawisko, np. pomiar temperatury przy użyciu termopary, przez odczyt napięcia na zaciskach wyjściowych termopary. Mierzac w dowolnym czasie amplitudę krzywej, otrzymujemy wartość np. napięcia, prądu itp. w tej obranej chwili. Obliczenia analogowe są oparte na operacjach wielokrotnych przyjętych jednostek, takich jak np. wolt, amper itd., w przypadku gdy chodzi o określenie wielkości napięcia, prądu itp. Dokładność obliczeń analogowych zależy od dokładności każdego pomiaru, wchodzącego do obliczenia. Na przykład suma

$$1 \text{ kg/godz} + 1 \text{ kg/godz} + 1 \text{ kg/godz}$$

obliczona analogowo nie musi się wcale równać 3 kg/godz., jakkolwiek jest to możliwe, a to z tego powodu, że każdy pomiar obarczony jest przede wszystkim błędem dawanym przez przyrząd pomiarowy i błędem odczytu.

Przykładami urządzeń analogowych są:

- 1) waga, której wskazówka może zająć dowolną pozycję (w pewnym zakresie, np. od 0-1 kg), a nie tylko kilka wyodrębnionych położeń,
- 2) suwak logarytmiczny,
- 3) elektronowa maszyna analogowa.

13.2.2. Wielkość cyfrowe charakteryzują się użyciem do obliczeń systemów cyfr lub zdefiniowanych ilości np. tuzin, kopa. Liczebniki arabskie 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 0 należą do dziesiętnego systemu cyfrowego. Cyfry nadają się idealnie do określenia

ilości tych przedmiotów, które można z łatwością oddzielić jeden od drugiego (okręty, samochody, ludzie, pieniądze itd.). Są przy tym „doskonale elastyczne”, tzn. mogą reprezentować dowolne przedmioty, np. 1 (okręt lub samochód lub człowiek lub złoty). Sumowanie trzech liczb jest obliczeniem cyfrowym. Kiedy dodajemy $1 + 1 + 1 = 3$, to dokładność tego obliczenia jest absolutna, bez błędu. Wielkości cyfrowe mogą być reprezentowane przez impulsy mechaniczne, elektryczne itp.

Przykładami urządzeń cyfrowych są:

- 1) zegar, w którym pozycje wskazówek są określone przez pojedyncze, mechaniczne impulsy mechanizmu zegarowego,
- 2) liczydło,
- 3) ręczna maszyna do liczenia,
- 4) elektronowa maszyna cyfrowa.

13.3. Przetworniki analogowo-cyfrowe

Jednym z ważnych podzespołów, wchodzących w skład zespołu Panellit typ ISI 609, omawianego niżej (lub podobnych innych, służących do przekształcania i przeliczania danych pomiarowych) jest przetwornik analogowo-cyfrowy (PAC).

Informacje o stanie tego, czy innego parametru otrzymuje się w postaci ciągłego sygnału elektrycznego lub pneumatycznego (zamienianego następnie na elektryczny przez osobny przekształtnik) z czujników mierzących np. ciśnienie, temperaturę, przyspieszenie, przesunięcie itp. Sygnał ten otrzymuje się w formie analogowej. Chcąc otrzymać dane z pomiarów przystosowane do współpracy z maszyną cyfrową, należy zamienić sygnał w postaci analogowej na sygnał w postaci cyfrowej. To zadanie wykonuje przetwornik analogowo-cyfrowy.

Przetworniki analogowo-cyfrowe dadzą się podzielić na dwie grupy:

- 1) przetworniki elektromechaniczne,
- 2) przetworniki elektronowe.

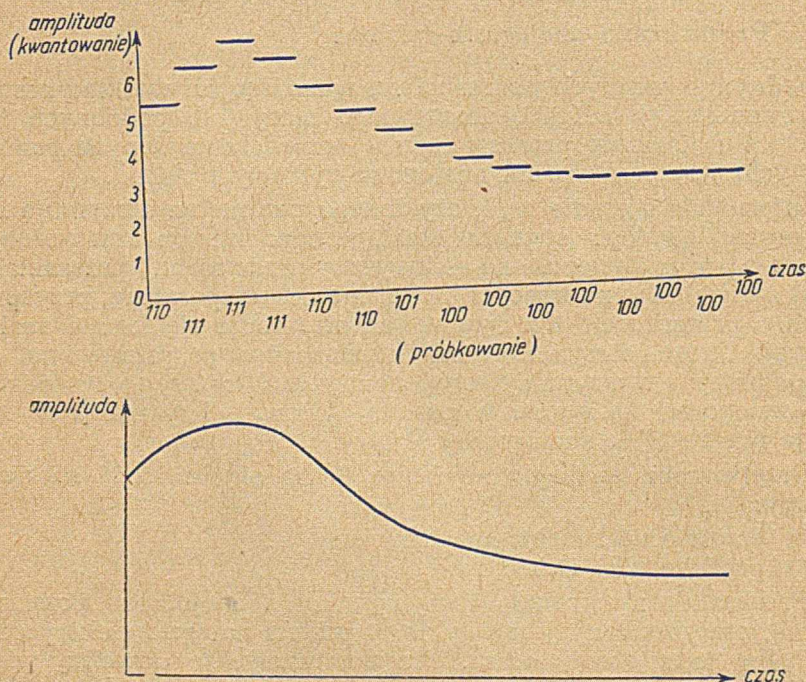
Przekształcany sygnał, otrzymywany z czujników pomiarowych, otrzymywany jest zwykle w postaci napięcia elektrycznego albo kąta obrotu wału. Przypominamy, że dowolną wielkość fizyczną, jak ciśnienie, temperatura, przepływ lub skład, można przedstawić w formie napięcia elektrycznego. Dla pomiarów przemysłowych, gdzie większość parametrów mierzy się przyrządami mającymi obracające się osie, szczególnie ważne jest przetwarzanie kąta obrotu wału. Dlatego wybór sposobu przekształcania zależy od tego, w jakiej formie otrzymywany jest sygnał z czujnika pomiarowego, czy w formie napięcia, czy też w formie kąta obrotu wału. Na przykład sposób przekształ-

cania przestrzennego (patrz niżej) nadaje się dla sygnału otrzymywanego w formie kąta obrotu wału, a sposób przekształcania impulsowo-czasowego i stopniowej kompensacji napięcia dla sygnału, otrzymywanego w formie napięcia.

Działanie przetworników elektromechanicznych i elektronowych oparte jest na jednym z niżej podanych sposobów:

- a) przekształcanie impulsowo-czasowe,
- b) stopniowa kompensacja napięcia,
- c) przekształcanie przestrzenne.

Dwa pierwsze sposoby realizowane są wyłącznie za pomocą układów elektronowych, z szybkością powyżej 10 000 przekształceń na sekundę. Trzeci sposób, elektromechaniczny, daje szybkość rzędu dziesiątek przekształceń na sekundę.



Rys. 13. 5. Określanie krzywej za pomocą próbkowania i kwantowania

Parametrem charakteryzującym przetwornik jest szybkość przekształcania. Jeżeli mamy przebieg napięcia w funkcji czasu, to dzieląc krzywą na określone przedziały czasowe (nazywa się to również próbkowaniem — sampling) i przekształcając wartość analogową napięcia na cyfrową danego przedziału

(kwantowanie — quantizing) otrzymamy punkty, określające badaną krzywą (rys. 13.5). Jeżeli teraz poprzednią krzywą napięcia w funkcji czasu podzielimy na odpowiednio większą ilość przedziałów czasowych, np. tak, że w poprzednim przedziale czasowym zmieścić można dziesięć nowych przedziałów, to chcąc analizować (próbekować) tę krzywą, musimy zwiększyć dziesięciokrotnie szybkość przekształcania. Widać z tego, że szybkość przekształcania zależy od długości przedziału czasowego, jaki został wybrany na przekształcenie sygnału napięciowego z czujnika pomiarowego, przy konstrukcji danego przetwornika.

Następnym parametrem przetwornika jest dokładność przekształcania. Zależy ona od ilości cyfr w systemie dwójkowym (patrz artykuł wprowadzający), określających dany punkt krzywej. Na przykład dla trzech cyfr dwójkowych, określających dany punkt mierzony, największa dokładność może wynieść 12,8% ($2^3=8$). Natomiast dla dziesięciu cyfr dwójkowych, określających dany punkt krzywej, największa dokładność wynosi 0,0888% ($2^{10}=1024$), czyli lepiej niż 0,1%. Przetworniki dają na wyjściu wartość cyfrową przeważnie w postaci liczby w systemie binarnym.

Ważnym parametrem przetwornika jest czas, niezbędny do wykonania operacji przekształcania. Przetworniki z równoległym otrzymywaniem wyników (wszystkie cyfry wyniku pojawiają się równocześnie) pracują szybciej w porównaniu do przetworników o działaniu szeregowym (cyfry wyniku pojawiają się jedna za drugą). Czas przekształcania zależy od szybkości przekształcania.

W przetwornikach analogowo-cyfrowych może wystąpić błąd spowodowany dwuznacznością odczytu. Taki błąd powstaje w wypadku, gdy układ ma rozstrzygnąć, jakiemu z impulsów (0 lub 1) należy dać pierwszeństwo, gdy punkt przetwarzany znajduje się akurat w środku pomiędzy wartościami 0 i 1, w tzw. strefie nieoznaczoności. Błąd może wystąpić i w bardziej znaczącej cyfrze liczby binarnej. Prawie wszystkie przetworniki mają układy do eliminacji tego błędu.

13.3.1. Przekształcanie impulsowo-czasowe. Polega ono na porównywaniu amplitud napięcia liniowej podstawy czasu o kształcie piłowym z napięciem, pochodzącym z czujnika pomiarowego (rys. 13.6).

Czas mierzy się od pewnej początkowej wartości napięcia liniowej podstawy czasu do momentu zrównania się napięcia liniowej podstawy czasu z napięciem przetwarzanym. Dla małych amplitud napięcia przetwarzanego czas porównywania będzie mały, dla maksymalnych największy. W czasie porówny-

The diagram illustrates the principle of operation of a sawtooth generator. It shows two signals plotted against time:

- napięcie podstawy** (base voltage): A periodic sawtooth wave that ramps up linearly and then resets to its initial value.
- sygnał analogowy** (analog signal): A linear ramp that increases over time.

The time axis is marked with $t=0$, t_1 , t_2 , and t_{max} . The sawtooth wave's period is defined by t_1 and t_2 , where t_2 is the time at which the signal resets. The analog signal's ramp is shown extending towards t_{max} .

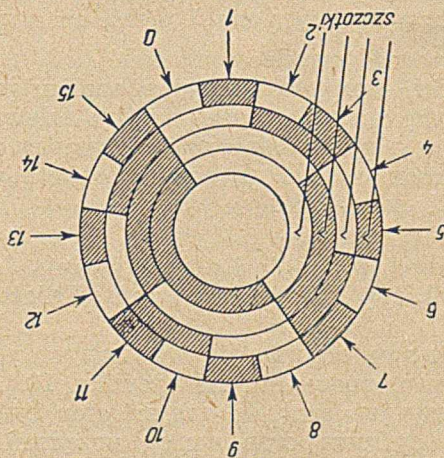
napięcie w formie analogowej		różnica napięć w V							napięcia odwrócone						
70	59 V														
60															
50															
40															
30		27 V													
20		59 - 32													
10			11 V												
0			27 - 16		3 V	V -			1 V	1 - 1 = 0					
1					17 - 8				3 - 2		1 V				
2									2 V						
4									4 V						
8								8 V							
16							16 V								
32		32 V													
64	64 V														
	brak imp.	imp.	imp.	imp.	imp.	brak imp.	imp.	imp.							
	0	1	1	1	0	1	1								

Zdolność rozdzielcza układu zależy od ilości impulsów wysyłanych do licznika impulsów w okresie $t_{\max}$. Jeżeli ilość tych impulsów wynosi np. 1000, wówczas zdolność rozdzielcza wy-

nosi 0,1%. Dokładność przetwarzania zależy również od linowości podstawy czasu. Szybkość przetwarzania dla tej metody jest rzędu 10000 przetworzeń na sekundę.

13.3.2. Stopniowa kompensacja napięcia. Drugą metodą przetwarzania, pozwalającą osiągnąć wysoką dokładność i dobrą zdolność rozdzielczą jest metoda stopniowej kompensacji napięcia. W tej metodzie następuje porównywanie znanych napięć odniesienia z napięciem przekształcanym (rys. 13.7).

Jeżeli napięcie odniesienia jest większe od napięcia przekształcanego, to brak jest impulsu i następuje przejście do kolejnego niższego napięcia odniesienia. Jeżeli napięcie odniesienia jest niższe od przekształcanego, następuje odejmowanie napięć, jest



Rys. 13. 8. Tarcza kodująca

wysyłany impuls 1 i różnica jest podana do następnego stopnia odniesienia. Jeżeli rząd napięć odniesienia ma wartości odpowiadające malejącym potęgom liczby 2, czyli 128, 64, 32, 16, 8, 4, 2, 1, to rezultat przekształcenia badanego napięcia otrzymamy w systemie dwójkowym.

Dokładność przetwarzania zależy od stabilności napięć odniesienia i dokładności wykonania dzielnika napięcia. Jest rzędu 0,1%. Szybkość przetwarzania jest większa niż dla poprzedniej metody i wynosi około 200 000 przetworzeń na sekundę. Zdolność rozdzielcza zależy od ilości impulsów, odpowiadających maksymalnej wartości napięcia przetwarzanego. Dla siedmiu impulsów wynosi ona 0,78%.

13.3.3. **Przekształcanie przestrzenne.** Metoda przekształcania przestrzennego jest często stosowana w prakty-

ce. Polega ona na użyciu do przetwarzania kąta obrotu wału na wartość cyfrową tzw. tarczy kodującej (rys. 13.8). Tarcza ta ma na swojej powierzchni naniesione paski przewodzące (ciemne powierzchnie) i izolacyjne (jasne powierzchnie) ułożone w postaci pierścieni współśrodkowych, pozwalających zapewnić otrzymanie wyniku w systemie dwójkowym. Na rysunku 13.8 widać tarczę, która pozwala otrzymać wynik czterocyfrowy w systemie dwójkowym. Cztery szczotki, stykając się z odpowiednimi warstwami (paskami) przewodzącymi lub izolacyjnymi w zależności od wielkości kąta obrotu wału, dają odpowiednią niepowtarzalną kombinację czterech cyfr dwójkowych. Dokładność wynosi 6,25% ($2^4 = 16$). Chcąc otrzymać zdolność rozdzielczą, należy zwiększyć ilość pierścieni współśrodkowych. Przeważnie jedna tarcza kodująca ma 7 pierścieni współśrodkowych.

Istnieje cały szereg innych rozwiązań PAC, np. wykorzystuje się fotokomórki, lampy telewizyjne analizujące, podobne do tych, które nadają obraz kontrolny stacji telewizyjnej ze studia, oczywiście z odpowiednio wykonanym rysunkiem kodu. Szybkość powtarzania tych ostatnich jest rzędu 10 milionów przetworzeń w 1 sekundzie.

13.4. Zespół do przekształcania i przygotowania danych pomiarowych Panellit, typ ISI 609 (producent: Elliott — Anglia)

Zespół Panellit swą organizacją wewnętrzną odpowiada schematowi blokowemu, podanemu na rysunku 13.4. W skład jego wchodzi omawiany już centralny rejestrator cyfrowy, matematyczna maszyna cyfrowa oraz szereg urządzeń pomocniczych. Zespół Panellit jest uniwersalnym i bardzo wydajnym zestawem aparatury, służącej do pomiarów i automatycznej regulacji obiektów przemysłowych. Zestaw wykonany jest na typowych podzespołach. Wszechstronność zastosowań uzyskano dzięki użyciu typowej, uniwersalnej maszyny cyfrowej typ 803. Pamięć (ferrytowa) maszyny służy do przechowywania następujących informacji i rozkazów:

- 1) serie rozkazów do cyklicznego wybierania poszczególnych punktów pomiarowych,
- 2) rozkazy dla urządzeń sygnalizacyjnych i alarmowych,
- 3) rozkazy rejestracji,
- 4) wartości stałe, związane z poszczególnymi punktami pomiarowymi (np. przeliczanie skali),
- 5) wartości progów dla sygnalizacji odchyłek,
- 6) wartości pomiarowe z pewnej ilości poprzednich odczytów (przeszłość punktu pomiarowego),
- 7) rozkazy operacyjne dla przeliczeń.

Ostatni program może być w pewnych przypadkach bardzo obszerny. Dlatego też przewidziano możliwość pracy maszyny cyfrowej na kilku programach równocześnie. Opisywany zespół wykonany jest całkowicie na tranzystorach i nie zawiera ruchomych, części, z wyjątkiem złożonych styków przekaźnikowych, wybierających punkty pomiarowe. Brak części ruchomych, układy samokontroli, sygnalizacja nieprawidłowej pracy zapewniają dużą pewność ruchową zespołu.

Zespół Panellit można podzielić na dwa główne podzespoły.

1. Podzespół rejestrujący, obejmujący cykliczne wybranie punktów pomiarowych, przekształcania analogowo-cyfrowe, sygnalizację, tablicę operatora, układy wejścia i wyjścia (dalekopis, czytnik, reperforator).

2. Podzespół obliczeniowy, obejmujący przechowywanie rozkazów, wykrywanie odchyłek od zadanych wartości, zapamiętywanie wartości stałych dotyczących punktów pomiarowych, np. współczynniki skalowania, zależności funkcyjne (pierwiastkowanie, przesunięcia zera itp.).

Punkty pomiarowe odczytywane są cyklicznie ze średnią szybkością 5 punktów pomiarowych na 1 sekundę. Mogą być również odczytywane z większą szybkością.

Zespół Panellit ISI 609 składa się między innymi z następujących urządzeń:

1. Maszyna cyfrowa. Jest to typowa, uniwersalna maszyna cyfrowa firmy Elliott typ 803. Maszyna ma pamięć na rdzeniach ferrytowych. Przechowuje się w niej rozkazy wybierania, rozkazy sterujące i wiele innych danych, dotyczących progów alarmowych, przesunięcia zera, skali itp. Rozkazy i informacje wprowadzane są do maszyny poprzez czytnik taśmy perforowanej, czytający z szybkością 400 znaków na sekundę.

2. Wybieranie punktów pomiarowych. Przyłączanie się na dany czujnik w punkcie pomiarowym następuje poprzez złożone styki przekaźników, hermentycznie zamknięte, sterowane impulsami z maszyny cyfrowej. Każdy przekaźnik obsługuje jeden punkt pomiarowy. Styki przekaźników wytrzymują 10^8 przełączeń.

3. Obwody dopasowujące. Zadaniem obwodów dopasowujących jest zamiana sygnałów wyjściowych, otrzymywanych w postaci napięcia lub prądu (zmiennego lub stałego) z różnego typu czujników na sygnał tego samego rodzaju (tyśięczne części wolta napięcia stałego).

Układ obwodów dopasowujących zależy oczywiście od typu czujnika pomiarowego. Przykładami obwodów dopasowujących są:

1) obwody dopasowujące dla termometrów oporowych,
2) obwody dopasowujące dla regulatorów elektrycznych, które mogą pracować na różnych napięciach i prądach, dotychczas nieznormalizowanych,

3) obwody dopasowujące dla termopar.

4. Wzmacniacz sygnałów. Jest to wzmacniacz prądu stałego ze sprzężeniem zwrotnym, o małych zniekształceniach nieliniowych. Napięcie wejściowe wynosi 0-0,05 V, wyjściowe 0-10 V napięcia stałego.

5. Sygnalizator przerwy obwodu pomiarowego. Sygnalizator ładuje specjalny kondensator do potencjału ujemnego. Potencjał ten utrzymuje się w czasie wybierania obwodu przerwanego i powoduje zarejestrowanie zera dla tego punktu. Bez tego zabezpieczenia wartość zarejestrowana dla obwodu przerwanego byłaby prawie równa odczytowi dla poprzedniego punktu pomiarowego, co prowadziłoby do błędnych wyników.

6. Przetwornik analogowo-cyfrowy. Wykonany on jest w postaci 11-bitowego PAC'a o dokładności przetwarzania większej niż 0,1%.

7. Dalekopisy. Rejestracja wyników odbywa się na dalekopisach. Jest to rodzaj elektrycznej maszyny do pisania, mającej konwencjonalną klawiaturę. Można z dalekopisu otrzymywać dodatkowe, zapisane na taśmie perforowanej w pięciodziurkowym kodzie Ferrantiego, cyfry, litery i znaki, które potem wprowadza się do maszyny cyfrowej. Dalekopisy mogą być również sterowane przez maszynę cyfrową impulsami elektrycznymi i wypisywać to, co maszyna cyfrowa „sobie życzy”. Mogą to być wyniki obliczeń, czy też dane z CRC, opracowane przez maszynę cyfrową. Drukują one 10 znaków na sekundę. Dalekopis z 60 cm wałkiem może wydrukować 308 znaków na wiersz, włączając spacje (odstęp). Ilość potrzebnych dalekopisów zależy zatem od wymaganej ilości rejestrowanych zmiennych. Można wypisywać poszczególne zmienne w kolumnach lub wierszami, albo też stosować kilka dalekopisów pracujących na zasadzie: jeden obieg układu wybierającego czujniki pomiarowe na jeden wiersz dalekopisowy. Forma zapisu ustalona jest programem umieszczonym w pamięci maszyny. Zapis przekroczenia zadanych wartości i zapis powrotu do warunków normalnych odbywa się na dalekopisie. Po przekroczeniu nastawianego zakresu możliwych odchyłek dla mierzonych parametrów zostają wydrukowane czerwonym tuszem: czas, numer kolejny punktu pomiarowego oraz wartość cyfrowa parametru. Po powrocie do warunków normalnych czas, numer i wartość są drukowane na czarno. Kolejny dalekopis nadzoruje tablicę opera-

tora. W chwili gdy operator zmieni próg zadziałania alarmu lub wartości zadane dla danego parametru, dalekopis wydrukuje: czas, numer punktu, nową wartość i symbol wskazujący, że zmieniono wartość zadaną dla danego parametru.

8. Sygnalizacja i wskazania optyczne. Operator może zażądać optycznego wskazania wartości cyfrowej dowolnego punktu pomiarowego. Wartość cyfrowa dowolnego punktu pomiarowego ukazuje się na skali tzw. woltomierza cyfrowego. Jest to przyrząd podobny, jeśli chodzi o zasadę wykonywania pomiaru, do zwykłego woltomierza wskazówkowego, z tym że wartość analogowa jest przekształcana w cyfrową i na specjalnie wykonanej skali woltomierza ukazują się cyfry (w systemie dziesiętnym), podające wielkość napięcia mierzonego w wartości cyfrowej. Bieżące wskazanie pozostaje tak długo na wskaźniku woltomierza, póki operator nie przełączy woltomierza na następny punkt pomiarowy. W ten sposób operator może odczytywać dowolne bieżące wartości cyfrowe, mierzone w poszczególnych punktach pomiarowych.

Po przekroczeniu zadanej wartości następuje sygnalizacja akustyczna dzwonkiem lub buczeniem i pojawia się sygnał optyczny, a prócz tego stan alarmowy zostanie zarejestrowany na dalekopisie. W momencie pojawienia się alarmu, sygnał optyczny podawany jest w postaci błysków czerwonej lampki. Sygnał zmienia się na światło ciągle po skasowaniu, czyli przyjęciu do wiadomości przez operatora alarmu i gaśnie po powrocie danego parametru mierzonego do normy. Sygnalizacja świetlna może być przewidziana dla każdego punktu pomiarowego.

9. Urządzenia nadzorujące i samosprawdzające. Przewidziano dodatkowy punkt sprawdzający działania przekładników wybierających i przetwornika analogowo-cyfrowego, jeden raz w ciągu całego cyklu pomiarowego. Jeżeli wybieranie i przetwarzanie przebiega sprawnie, sygnał nie pojawia się. W razie nieprawidłowości pojawia się alarm. Sygnał alarmowy pojawia się również przy uszkodzeniu jakiegokolwiek podzespołu. Zasada działania urządzenia nadzorującego i samosprawdzającego polega na stałym usiłowaniu wyzwolenia alarmu, o ile nie przeszkadza temu impuls „OK” (w porządku), podawany regularnie przez główną maszynę cyfrową.

10. Tablica sterowniczo-kontrolna operatora. Tablica operatora może być wykonana w formie przeznaczonej do wbudowania w istniejące urządzenia lub w formie wolnostojącego pulpitu. Rozwiązanie tablicy zabezpiecza przed przypadkowymi pomyłkami operatora i pozwala mu na obsługę urządzeń bez głębszej znajomości zespołu.

Typowe urządzenia nastawcze pozwalają na:

- 1) zmianę progu zadziałania sygnalizacji dla dowolnego punktu pomiarowego;
- 2) uzyskanie zapisu historii punktu pomiarowego w dowolnym punkcie pomiarowym w ciągu określonego czasu,
- 3) odczytanie bieżącej wartości punktu pomiarowego,
- 4) rejestrowanie dowolnego przebiegu,
- 5) zmianę szybkości wybierania punktów pomiarowych,
- 6) odczytywanie na wskaźniku woltomierza cyfrowego wartości progu zadziałania sygnalizacji dla każdego punktu pomiarowego.

Zaleca się wbudowanie wskaźników cyfrowych i lamp sygnalizacyjnych w tablicę operatora, aczkolwiek nie jest to niezbędne. Wszystkie operacje wykonuje się za pomocą przełączników dekadowych. Jeżeli np. trzeba zmienić nastawienie progu sygnalizacji temperatury w punkcie 103 z 400°C na 450°C, należy:

- 1) przekręcić przełącznik w pozycję: zmienić górny próg (rozkaz),
- 2) nastawić trzy dekady na 103 (numer punktu pomiarowego),
- 3) nastawić odpowiednio 3 inne dekady na 450°C (nowy próg zadziałania),
- 4) nacisnąć przycisk „wykonać”.

Po naciśnięciu przycisku maszyna cyfrowa odczyta informację z tablicy operatora i skoryguje ustawienie górnego progu w punkcie 103, a następnie zasygnalizuje wykonanie rozkazu. Te same przełączniki mogą być wykorzystane do innych celów, z wyjątkiem zmiany listy rozkazów dla całego zespołu. W czasie przełączeń zespół będzie kontynuował wybieranie ze stałą prędkością. Operator nie może zmienić kolejności wybierania punktów pomiarowych, ani też zakłócić działania układu przypadkowo lub umyślnie. Gdy zachodzi konieczność zmiany listy rozkazów, można to zrobić po odblokowaniu mechanicznym i elektrycznym szafy programowej i skorygowaniu rozkazów przez przełączenie w przypadku niewielkich zmian lub też przez wprowadzenie do pamięci maszyny taśmy perforowanej zawierającej odpowiednio przygotowany program.

Zespół prócz głównej tablicy operatora może mieć kilka tablic dodatkowych, informacyjnych. Mogą one być rozmieszczane w kilku miejscach w zakładzie przemysłowym i służyć do przekazywania informacji z zespołu Panellit. Na przykład w ciągu walcowniczym, w którym przycina się profile zgodnie z zaprogramowanymi długościami — pracownik obsługujący noże powinien być wyposażony we wskaźnik cyfrowy pokazujący właściwe długości, na jakie ma zostać pocięty podjeżdżający pod noże materiał walcowany.

11. Dokładność i liniowość pomiarów. Dokładność (w procentach) od pełnego wychylenia i liniowość pomiarów wynoszą 0,1%.

12. Zasada pierwszeństwa. Każda operacja, wykonywana przez układ, ma przyporządkowany stopień pierwszeństwa. Program maszyny cyfrowej zapewnia przerwanie czynności niżej zaszeręgowanej w przypadku pojawienia się potrzeby działania o wyższym stopniu pierwszeństwa. Na przykład normalny przebieg rejestracyjny zostaje natychmiast przerwany z chwilą pojawienia się sygnału alarmowego. Z chwilą zasygnalizowania alarmu i po uruchomieniu dalekopisu rejestrującego awarię nastąpi kontynuowanie rejestracji od momentu przerwy. Ponieważ zespół jako całość jest bardzo szybki, przerwy te będą trwały krótko, z wyjątkiem operacji o najniższym stopniu pierwszeństwa. Praktycznie wybieranie punktów pomiarowych i rejestracja pracują równocześnie.

13. Obliczenia. W razie potrzeby rejestrację można prowadzić jednocześnie na taśmie dziurkowanej i na dalekopisach. Podwójna rejestracja jest jednak zbyt cenna. Taśma może być wykorzystywana w celu wprowadzenia jej do innej maszyny cyfrowej, poza obiektem regulowanym (off-line).

Każda analiza czy przeliczenie danych pomiarowych mogą być wykonane wewnątrz zespołu Panellit dzięki wykorzystaniu pamięci ferrytowej do przechowywania danych pomiarowych i rozkazów operacji matematycznych. Maszyna cyfrowa potrafi wykonać żądane obliczenia, np. sprawności, analizy ekonomicznej czy bilansu energetycznego. Wyniki obliczeń będą wydrukowane na dodatkowym, informacyjnym dalekopisie.

Duża pojemność pamięci, znaczna szybkość działania i wyposażenie zespołu w małą wymiarami maszynę cyfrową pozwala na równoczesną rejestrację pomiarów, sygnalizację odchyień i wykonywanie obliczeń na podstawie danych pomiarowych, dzięki stosowaniu zasady podziału czasu maszynowego, który polega na tym, że maszyna cyfrowa wykonuje jednocześnie kilka czynności lub obliczeń (time-sharing). W zależności od wymagań stawianych zespołowi należy dobrać wielkość pamięci ferrytowej. Czasami trzeba również stosować dodatkowo pamięć w postaci rolek z taśmą magnetofonową.

14. Regulatory. Przy zastosowaniu zespołu do regulacji obiektu, maszyna cyfrowa zmienia zazwyczaj nastawienia zwykłych regulatorów PID, zamiast oddziaływać bezpośrednio na zawory. Przewidziano dostarczenie specjalnych impulsowych mechanizmów napędowych dla przyłączenia do typowych regulatorów pneumatycznych lub elektrycznych. Zaletą tych mechanizmów jest pewność działania i możliwość ręcznej korekcy.

Jeżeli zespół Panellit ulegnie uszkodzeniu, nastawienie wszystkich regulatorów pozostanie przy ostatnich poprawnych wartościach i nie ulegnie przesunięciu w położenia skrajne. Mechanizmy mają do przebycia 100 „kroków” od zera do pełnego wychylenia. Możliwe jest również mechaniczne ograniczenie ruchu napędu do pewnej wartości, która nie może być przekroczona pomimo rozkazów z maszyny. Wartość nastawienia regulatora może być wprowadzona do maszyny cyfrowej przez jedno z normalnych wejść pomiarowych.

15. Zasilanie. Zespół zasilany jest z baterii akumulatorów pracujących równolegle (buforowo) z prostownikami zasilającymi, dla uniknięcia przepięć sieciowych. Pobór mocy z sieci wynosi około 3,5 kVA.

Wszystkie obudowy metalowe należy uziemić.

Cena całego zespołu Panellit wynosi około 300 000 dolarów, w zależności od zamawianego wyposażenia.

13.5. Wnioski

Podsumowując należy stwierdzić, że projekt instalowania omawianych urządzeń powinien być szczegółowo rozpatrzony z uwagi na:

- 1) duży koszt urządzeń,
- 2) duży wkład pracy chemików, matematyków, elektroników i automatyków przy pracach wstępnych nad wdrożeniem układu CRC i maszyny cyfrowej do danego zakładu,
- 3) dodatkowe koszty zakupu czujników pomiarowych, przekształtników i regulatorów oraz koszty ich instalacji,
- 4) możliwość wdrażania układu automatycznej regulacji cyfrowej tylko dla procesów całkowicie opanowanych pod względem technologicznym.

Dlatego też, mimo dużej atrakcyjności i doskonałości technicznej urządzeń, trzeba wysokich nakładów kosztów i dużego wkładu pracy na wprowadzenie regulacji cyfrowej do zakładu przemysłowego. W naszych skromnych warunkach należy więc głęboko zastanowić się nad celowością tego posunięcia.

Literatura

1. Materiały konferencji, Cambridge, Anglia, od 4 do 6 kwietnia 1956 r.: *Plant and process dynamic characteristics* (istnieje przekład na język rosyjski, Moskwa 1960).
2. M. L. Klein, H. C. Morgan, M. H. Aronson, *Digital techniques for computation and control* (istnieje przekład na język rosyjski, Moskwa 1960).
3. J. D. Fahnestoch, *Computers and how they work*, New York 1959.
4. Opis katalogowy zespołu Panellit ISI 609.

14. ZADANIA BADAWCZO-DOŚWIADCZALNEGO OŚRODKA AUTOMATYZACJI W ZAKRESIE TECHNIKI CYFROWEJ

Badawczo Doświadczalny Ośrodek Automatyzacji utworzony został w 1961 roku z zadaniem prowadzenia prac badawczo-doświadczalnych z zakresu automatyzacji przemysłu chemicznego. W roku 1962 zarządzeniem Ministerstwa Przemysłu Chemicznego z dn. 10. VI. 62 r. rozszerzono zakres działalności Ośrodka o zagadnienia związane z wprowadzeniem maszyn matematycznych do sterowania w przemyśle chemicznym.

Zakres prac obejmuje w pierwszym rzędzie:

1. Zagadnienia związane z zastosowaniem urządzeń cyfrowych do rejestracji danych pomiarowych.
2. Zastosowanie maszyn matematycznych do sterowania procesami technologicznymi.
3. Prace obliczeniowe związane z wdrażaniem automatyzacji.

W zakresie urządzeń centralnej rejestracji danych zainteresowania Ośrodka idą w pierwszym rzędzie w kierunku zapoznania się ze stosowanymi urządzeniami centralnej rejestracji oraz z formami ich wykorzystania w przemyśle chemicznym. W 1963 roku przewidziane jest wyposażenie Ośrodka w centralny rejestrator przenośny co najmniej 50 kanałowy. Przeznaczony on jest do prowadzenia pomiarów na obiektach przemysłu chemicznego w celu ich automatyzacji. Uzyskane tą drogą dane doświadczalne pozwolą określić własności dynamiczne obiektów i dzięki temu poprawnie dobrać układ regulacji. Doświadczenie uzyskane przy pomiarach w różnych zakładach posłuży również do wyciągnięcia wniosków co do roli, jaką należy powierzyć centralnym rejestratorom w przemyśle, ich współpracy z klasyczną aparaturą pomiarową; pozwoli również praktycznie sprawdzić wymagania odnośnie środków pomiarowych.

Zakres zagadnień związany z zastosowaniem maszyn matematycznych cyfrowych do sterowania procesami technologicznymi jest bardzo szeroki. Pomijając już sprawy oprzyrządowania pomiarowego, zbierania danych, jak i struktury samej maszyny

cyfrowej, istotne są prace w zakresie metod opracowywania algorytmu sterowania, określenia ekonomicznej opłacalności zastosowania maszyn matematycznych do sterowania, określenie roli maszyny.

W zasadzie celem będzie opracowywanie algorytmów sterowania. Dojście do tego etapu wymaga jednak szeregu prac wstępnych. Konieczne jest np. określenie warunków technicznych i ekonomicznych celowości stosowania maszyn matematycznych. Dalej, istotne jest również wykorzystanie metod statystycznych do badania procesów.

Celowe jest wprowadzenie maszyn matematycznych do procesów produkcyjnych całkowicie opanowanych technologicznie, o właściwie dobranej aparaturze technologicznej, pełnym oprzyrządowaniu pomiarowym wraz z analizą automatyczną oraz prawidłowo dobranymi układami regulacji. Niestety, doświadczenie wskazuje, że warunki te nie są przeważnie dostatecznie spełnione. Na pracownię maszyn matematycznych Ośrodka spada więc obowiązek wykorzystania maszyn do obliczeń związanych z automatyzacją klasyczną. Dotyczy to w pewnym stopniu charakterystyk statycznych obiektów automatyzowanych, a głównie charakterystyk dynamicznych.

Jak widać stąd, wachlarz zadań Ośrodka w zakresie maszyn jest szeroki. Wypełnienie tych zadań wymaga stworzenia zespołu specjalistów, na który złożą się matematycy, chemicy, fizykochemicy, automatycy, ekonomiści, elektrycy. Zespół musi mieć oparcie o specjalistów pomiarowców, analityków itp. Ponieważ jednak żadna ze specjalności nie daje bezpośredniego przygotowania do czekających zadań, konieczne jest zwrócenie uwagi szczególnie na zagadnienie szkolenia nowych kadr.

Na razie sytuacja wygląda tak, że wyżej wymienione zadania nie będą mogły być spełnione przy obecnym składzie pracowników. Spełnienie tych zadań związane jest z koniecznością zwiększenia zespołu zajmującego się tymi zagadnieniami.

BIULETYN OMM „PROSYNCHEM”
W GLIWICACH

Numer 1, czerwiec 1963

1. SPRAWOZDANIE Z WYKONANIA ZADAŃ OŚRODKA OKREŚLONYCH ZARZĄDZENIEM MINISTRA PRZEMYSŁU CHEMICZNEGO

1.1. Zarządzenie Ministra z dnia 19.VIII.1961 r.

Dnia 19. VIII. 1961 r. weszło w życie zarządzenie Ministra Przemysłu Chemicznego w sprawie utworzenia Ośrodka Maszyn Matematycznych przy Biurze Projektów Przemysłu Syntezy Chemicznej o następującej treści:

W celu wykonania przy użyciu maszyn matematycznych obliczeń technicznych i ekonomicznych z zakresu inżynierii chemicznej i dziedzin pokrewnych zarządza się co następuje:

§ 1

Tworzy się w BPPSCh w Gliwicach Ośrodek Maszyn Matematycznych zwany dalej Ośrodkiem.

§ 2

1. Ośrodek działa na zasadach wyodrębnionej pracowni i podlega bezpośrednio Dyrektorowi BPPSCh.

2. Ośrodek posiada wydzielone w planie BPPSCh środki finansowe związane z prowadzeniem jego działalności (fundusze płac, środki inwestycyjne itp.). Wpływy i koszty działalności Ośrodka powinny być w księgach BPPSCh wyodrębnione.

§ 3

Zadaniem Ośrodka jest opracowywanie programów maszynowych oraz wykonywanie przy użyciu maszyn matematycznych obliczeń technicznych i ekonomicznych z zakresu inżynierii chemicznej i dziedzin pokrewnych dla biur projektowych i placówek naukowo-badawczych oraz innych zainteresowanych jednostek organizacyjnych zarówno resortu Ministra Przemysłu Chemicznego, jak i spoza resortu.

§ 4

Usługi świadczone przez Ośrodek są odpłatne.

Zgodnie z § 1 i § 2 zarządzenia powstał w BPPSch Ośrodek Maszyn Matematycznych. W Ośrodku obecnie pracuje następujący zespół pracowników:

- 1) kierownik,
- 2) dwóch programistów-inżynierów chemików,
- 3) trzech programistów-magistrów matematyków,
- 4) operator,
- 5) grupa konserwatorów składająca się z 6 osób, w tym dwóch inżynierów elektryków.

Zgodnie z § 3 zarządzenia Ośrodek wykonał do końca września 1961 r. 6 programów, które szczegółowo zostały omówione w artykule Programy inżynieryjne opracowane przez OMM w Gliwicach.

Zarówno przy organizacji Ośrodka, jak i przy opracowywaniu programów korzystano z doświadczeń ośrodków obliczeniowych za granicą. Na naradzie specjalistów krajów RWPG w Moskwie w kwietniu 1962 r. nawiązaliśmy kontakt z przedstawicielami ośrodków obliczeniowych ZSRR, CSRS i NRD. Zapoznaliśmy się z organizacją ich ośrodków oraz z systemem pracy i tematami, nad którymi pracują. Na naradzie powołano do życia Zjednoczone Centrum Informacyjne z siedzibą w Pradze, które ma za zadanie organizować współpracę i wymianę doświadczeń ośrodków obliczeniowych krajów RWPG. Centrum wydało biuletyn z opisem programów niemieckich, czeskich i polskich.

Szczególnie silny kontakt nawiązaliśmy z ośrodkiem obliczeniowy firmy Topsoe w Kopenhadze. Firma ta jest przedsiębiorstwem projektowo-doradczym z zakresu budowy aparatury chemicznej. Firmę Topsoe odwiedzili nasi pracownicy, gdzie zapoznali się z organizacją ich ośrodka, przedyskutowali szereg tematów związanych z metodami i zakresem możliwości obliczeń chemicznych na maszynie matematycznej oraz przywieźli wiele podprogramów.

Przy opracowywaniu programów Ośrodek nasz korzysta z publikacji zagranicznych, przede wszystkim amerykańskich i radzieckich, poświęconych zagadnieniom obliczeń chemicznych na maszynie matematycznej.

1.2. Rozszerzenie działalności Ośrodka

10 kwietnia 1962 r. Minister Przemysłu Chemicznego wydał dalsze zarządzenie, mające na celu rozszerzenie działalności Ośrodka. Brzmi ono następująco:

Rozszerza się zakres czynności Ośrodka Maszyn Matematycznych w BPPSCh w Gliwicach utworzonego zarządzeniem Ministra Przemysłu Chemicznego z dnia 19.VIII.1961 r. na następujące zadania:

- a) koordynacja wszelkich prac w resorcie przemysłu chemicznego w zakresie stosowania maszyn matematycznych do obliczeń technologiczno-projektowych,
- b) pomoc w opracowywaniu projektów organizacji i uruchomieniu nowopowstających ośrodków obliczeniowych,
- c) przeszkolenie personelu inżynieryjno-technicznego ośrodków obliczeniowych w resorcie,
- d) prowadzenie resortowej biblioteki programów,
- e) prowadzenie działalności informacyjnej w zakresie zastosowań elektronicznych maszyn obliczeniowych w resorcie.

Zgodnie z powyższym zarządzeniem wykonano co następuje:

a. Nawiązano współpracę z Ośrodkiem Maszyn Analogowych przy ZA Tarnów w pracach nad badaniem dynamiki kolumn destylacyjnych w oddziale koprolaktamu i nad badaniem kinetyki konwerterów amoniaku typu NEC.

b. Przeprowadzono dwa seminaria metodyki programu dla pracowników Prosynchemu i Biprokwasu.

W październiku 1962 roku przeszkolono na kursie programowania SAKO w IMM w Warszawie pracowników OMM Gliwice, OMZA Tarnów i Biprokwas Gliwice.

c. Zamówiono w Instytucie Maszyn Matematycznych w Warszawie program ruchomego przecinka i autokod SAKO z dostawą do końca bieżącego roku. Skompletowano literaturowe opisy szeregu programów ze źródeł radzieckich, amerykańskich, niemieckich; uzyskano bezpłatnie kilkadziesiąt programów z firmy Topsoe w Kopenhadze.

Zaczątek biblioteki specjalistycznej stanowi wspomnianych 6 programów z inżynierii chemicznej.

d. Ośrodek będzie wydawał kwartalny biuletyn informacyjny pt. *Maszyny matematyczne dla przemysłu chemicznego*.

2. ZESTAWIENIE PROBLEMÓW INŻYNIERYJNYCH NADAJĄCYCH SIĘ DO ZAPROGRAMOWANIA NA MASZYNIE CYFROWEJ ZAM-2

Streszczenie. W artykule tym omówiono najważniejsze problemy z inżynierii chemicznej, które można rozwiązać za pomocą maszyny cyfrowej ZAM-2. Na zakończenie podano ich wykaz.

Za pomocą uniwersalnej automatycznej maszyny cyfrowej ZAM-2 można rozwiązać dużą ilość zadań matematycznych mających sformułowany algorytm rozwiązania. Ponieważ opracowano już w sposób teoretyczny algorytmy obliczeń wszystkich zasadniczych operacji i procesów jednostkowych, można je zaprogramować do obliczeń na maszynie. Poniżej podano wykaz tych problemów obliczeniowych z inżynierii chemicznej, które szczególnie nadają się do zaprogramowania na maszynę ZAM-2. Wykaz ten opracowano, biorąc pod uwagę z jednej strony praktyczność obliczeń przeprowadzanych w klasyczny sposób, a z drugiej dane literaturowe o programach opracowanych dla innych typów maszyn cyfrowych. Wiele programów może być używanych do obliczeń samodzielnie, np. własności fizyczne różnych mediów, które jednocześnie stanowią podprogramy dla bardziej kompleksowych obliczeń, np. program obliczający reaktor korzysta z własności fizycznych uprzednio obliczonych. W zamieszczonym poniżej wykazie podano również pewną ilość zagadnień nie należących do inżynierii chemicznej, ale interesujących chemika ze względu na związek z pracą lub projektowaniem zakładu chemicznego. Podano również wykaz programów ściśle matematycznych, które są niezbędne dla rozwiązania zagadnień inżynierskich.

Lp.	Sym- bol pro- gramu	Zagadnienie lub grupa problemów	Płóść roz- kazów
1	2	3	4

A. Własności fizyczne i termodynamika

1	LPG	Obliczanie lepkości, przewodnictwa cieplnego, gęstości mieszanin gazowych	600
2	ECP	Obliczanie entalpii i ciepła właściwego mieszanin gazowych	480
3	E I F	Obliczanie współczynników dyfuzji	300
4	BWR	Obliczanie gęstości entalpii, entropii energii swobodnej i współczynników równowagi fazowej para-ciecz dla mieszanin lekkich węglowodorów z równania stanu Benedict-Rubin-Webb	1000
5	RBB	Równanie stanu Beattie-Bridgmana	700
6	KOM	Sprężenie gazów (kompresory)	500
7	FRI	Chłodnictwo	1000
8	LIQ	Skraplanie gazów	700
9	BIM	Bilans masowy wytwórni chemicznej	500
10	BIE	Bilans energetyczny wytwórni chemicznej	500

A. Ruch ciepła

11	ALF	Obliczanie współczynnika przenikania ciepła	150
12	LAM	Obliczanie współczynnika przewodzenia ciepła	150
13	HET	Obliczanie ogólnego współczynnika przechodzenia ciepła k	100
14	WCC	Wymienniki płaszczowo-rurowe: ciecz-ciecz	700
15	WCG	Wymienniki płaszczowo-rurowe: ciecz-gaz	700
16	PP4	Podgrzewacz parowy poziomy	900
17	PPW	Podgrzewacz parowy pionowy	900
18	OPZ	Obliczanie podgrzewacza zbiorników	500
19	OPG	Obliczanie płaszcza grzejnego naczyń	600

1	2	3	4
20	WPG	Wężownica grzejna (parowa)	500
21	WCW	Wężownica chłodząca (np. wodna)	500
22	CHO	Chłodnica ociekowa	1000
23	EGO	Elektryczny grzejnik oporowy	500
24	KON	Kondensator poziomy lub pionowy z całkowitą lub częściową kondensacją	1200
25	KMG	Kondensacja z mieszaniny gazów z częściowym wykraplaniem	1200
26	KCB	Kondensator barometryczny	800
27	WWC	Wyparka wielostopniowa z cyrkulacją naturalną lub wymuszoną	2000
28	WKN	Warnik dla kolumny z naturalną lub wymuszoną cyrkulacją poziomy lub pionowy	1500
29	WYŻ	Wymiennik o elementach ożebrowanych	900
30	WYF	Wymiennik filmowy	900
31	PIR	Piec rurowy	2500
32	CHK	Chłodnie kominowe	4500
33	MAG	Przechodzenie ciepła przez materiały granulowane w rurach	1200
34	EGJ	Obliczanie ekonomicznej grubości izolacji	1500
35	STR	Straty ciepłne nieizolowanych rurociągów	600
36	STS	Straty ciepłne izolowanych rurociągów i ścian płaskich	600
37	STP	Straty ciepłne przez ściany pieców	800
38	GEN	Obliczanie generatorów	5000
39	PPK	Piece koksownicze	5000
40	PSZ	Piece szybowe	4500
41	POB	Piece obrotowe	4500
42	PKK	Piece komorowe i kręgowe	4500
43	PTU	Piece tunelowe	4500
44	PRM	Piece retortowe i muflowe	4000
45	CDT	Charakterystyka dynamiczna termopary w obudowie	750
46	DWC	Dynamika wymienników ciepła	1800

c.d. Tabeli 1

1	2	3	4
<i>C. Ruch masy</i>			
47	DPR	Destylacja prosta rurowa	3000
48	DPK	Destylacja prosta kotłowa	3000
49	DPD	Destylacja prosta z deflegmacją	3500
50	DEO	Destylacja okresowa	3500
51	ROW	Rektyfikacja okresowa wieloskładnikowa	4000
52	RCW	Rektyfikacja ciągła wieloskładnikowa z całkowitą lub częściową deflegmacją	4000
53	PTK	Pełne technologiczne obliczenie kolumny rektyfikacyjnej (liczba pólki już wyznaczona)	2000
54	WSR	Wyznaczanie stałych równowag fazowych prara-ciecz	450
55	OSD	Optymalny stopień deflegmacji i liczba pólki teoretycznych	500
56	HYP	Hydraulika pólki	800
57	SPP	Sprawność pólki	200
58	KOW	Obliczanie kolumn z wypełnieniem	1500
59	DEE	Destylacja ekstrakcyjna	2000
60	DPP	Destylacja próżniowa z parą wodną	2500
61	ORG	Odparowywanie rozpylonych cieczy	3000
62	PRM	Przenikanie masy jako składników innych procesów	1500
63	JMC	Jednoczesne przenikanie ciepła i masy	2000
64	EKC	Ekstrakcja cieczy	1800
65	REK	Wyznaczanie równowagi ekstrakcyjnej	1000
66	KOE	Kolumny ekstrakcyjne	800
67	KRY	Krystalizacja	750
68	SUB	Sublimacja	1500
69	ADS	Adsorpcja	2000
70	SUS	Suszarnictwo	4000
71	ABS	Absorpcja w kolumnie półkowej z wypełnieniem	2200
72	ABR	Absorpcja z reakcją chemiczną	3000

c.d. Tabeli 1

1	2	3	4
73	DES	Desorpcja	2200
74	DYF	Dyfuzja	2000
75	DIA	Dializa	1500
76	WYM	Wymienniki masy	2000
77	WYJ	Wymieniacze jonowe	1500
78	EKR	Ekstrakcja różniczkowa	1800
79	EKF	Ekstrakcja frakcyjna	1800
80	DKR	Dynamika kolumn rektyfikacyjnych	6500
81	MIE	Mieszanie cieczy	8000
82	MIC	Mieszanie ciał stałych	8000
83	NAW	Nawilżanie	1600

D. Kinetyka reakcji

84	EQL	Stałe równowagi reakcji	2000
85	KME	Reaktor do konwersji metanu	4000
86	RMM	Reaktor do syntezy amoniaku	4000
87	MET	Reaktor do syntezy metanolu	4000
88	KWS	Reaktor kontraktowy SO_3	4000
89	REF	Reforming kataliczny	4000
90	PYR	Piroliza	4000
91	KIN	Kinetyka reakcji jednorodnych i niejednorodnych	3000
92	RER	Reaktory rurowe	4000
93	REK	Reaktory katalityczne	4500
94	REC	Reaktory ciągle z mieszadłami	4000

E. Hydraulika

95	OPO	Opory przepływu płynów	700
96	OPS	Opory przepływu związane z ruchem ciał stałych w płynach	700
97	PPO	Przepływ płynów przez ośrodki porowate	700
98	MOC	Obliczanie mocy pompy	400

c.d. Tabeli 1

1	2	3	4
99	PUL	Obliczanie pulsatora	1000
100	SPR	Obliczanie sprężarek	1500
101	DYS	Obliczanie dysz	2000
102	ZWP	Zwężka pomiarowa	400
103	CIS	Rozkład ciśnienia w rurociągach rozgałęzionych	3000
104	OSR	Optymalna średnica rurociągu	1200
105	KOM	Ciąg naturalny (kominy)	1500
106	OPP	Obliczanie pompy próżniowej	800
107	ODP	Odpylanie (cyklony)	1800
108	SED	Sedymentacja	1500
109	PLO	Flotacja	1400
110	FIL	Filtracja	800
111	FLU	Fluidyzacja	2500
112	ODW	Odwirowywanie	800
113	ELE	Elektrofiltry (odpylanie)	2000

F. Metody numeryczne

114	APK	Aproksymacja krzywych	800
115	APF	Aproksymacja powierzchni	1200
116	PRA	Pierwiastki równań algebraicznych	1700

G. Wytrzymałość materiałów

117	NKC	Złącza kołnierzowe	600
118	NRC	Rurociągi ciśnieniowe (naprężenia)	1400
119	NKC	Zbiorniki ciśnieniowe (naprężenia)	1200
120	OBS	Obliczenia statyczne problemów przedstawianych przez klienta	2500

H. Analiza operacyjna

121	REG	Współczynniki regresji wielokrotnej	1400
122	COR	Współczynniki korelacji własnej i wzajemnej	600

c.d. Tabeli 1

1	2	3	4
123	MMC	Metoda Monte Carlo	600
124	SIM	Programowanie liniowe <i>Simplex</i>	2000
125	TRN	Zagadnienie transportu	2000

I. Automatyka

126	LOC	Obliczanie obwodów regulacji metodą miejsc geometrycznych (Evansa)	1400
127	FOU	Transformacja Fouriera	2300
128	TRF	Obliczanie przepustowości układu z reakcji skokowych	500
129	DKW	Dekonwolucja (rozplatanie)	600
130	HUR	Badanie stabilności metodą Hurwitza-Reutha	250
131	ONR	Optymalne nastawienie regulatora	900
132	SYN	Synteza obwodów korekcyjnych	1400

3. PROGRAMY OPRACOWANE W OMM W GLIWICACH

Przy projektowaniu procesów technologicznych wymagana jest znajomość fizykochemicznych własności bardzo wielkiej liczby związków chemicznych. Przeważająca część potrzebnych do obliczeń stałych molekularnych i termodynamicznych zazwyczaj nie jest znana, co jest zrozumiałe, jeżeli się rozważy, że zmierzenie i zebranie (np. w postaci tablic) stałych fizykochemicznych dla wielu setek tysięcy związków wymagałoby olbrzymiego okresu czasu i wkładu pracy. Z tego właśnie powodu specjalną uwagę zwraca się na metody obliczania wartości wielkości molekularnych i termodynamicznych, potrzebnych do projektowania procesów. Pierwsze programy opracowane w naszym Ośrodku dotyczyły obliczania lepkości, współczynników przewodnictwa cieplnego, współczynników dyfuzji, entalpii i ciepła właściwego dla mieszanin gazowych. Spis tematów zaprogramowanych lub będących w opracowaniu zestawiono w tabeli 2.

Krótką charakterystyka poszczególnych programów

1. Program pierwszy oblicza współczynnik dynamiczny lepkości η w $\text{kg/m} \cdot \text{godz}$ i współczynnik przewodzenia ciepła λ w $\text{kcal/m} \cdot \text{godz} \cdot ^\circ\text{C}$ dla mieszaniny gazowej w danej temperaturze t i ciśnieniu p .

Metodę obliczeń oparto na koncepcji Kaya, wprowadzającej wielkości pseudokrytyczne mieszanin. Wielkości te oblicza się według następującej zależności:

$$(1) \quad \begin{aligned} T_{kr_m} &= \sum_{i=1}^n r_i T_{kr_i}, & p_{kr_m} &= \sum_{i=1}^n r_i p_{kr_i}, \\ \lambda_{kr_m} &= \sum_{i=1}^n r_i \lambda_{kr_i}, & \eta_{kr_m} &= \sum_{i=1}^n r_i \eta_{kr_i}. \end{aligned}$$

Lp.	Przeznaczenie programu	Uwagi o stanie zaprogramowania
1	2	3
1	Obliczanie lepkości i przewodnictwa cieplnego mieszanin gazowych w funkcji ciśnienia i temperatury metodą parametrów zredukowanych Kaya	program uruchomiony i sprawdzony
2	Obliczanie entalpii i ciepła właściwego mieszanin gazowych w funkcji temperatury metodą aproksymacji danych eksperymentalnych	program uruchomiony i sprawdzony
3	Obliczanie entalpii, entropii, energii swobodnej i współczynników równowagi fazowej ciec-z-para dla mieszanin lekkich węglowodorów alifatycznych metodą Benedicta-Webba-Rubina	program częściowo uruchomiony
4	Obliczanie współczynników dyfuzji dla mieszanin gazowych w funkcji temperatury i ciśnienia	program uruchomiony i sprawdzony
5	Obliczanie rozkładu temperatur i stężeń składników mieszaniny wieloskładnikowej na półkach kolumny destylacyjnej według Amudsona-Pontinena	program częściowo uruchomiony
6	Obliczanie naprężeń w ciśnieniowych złączach kołnierzowych metodą Schweigerera, zalecaną przez UDT	program uruchomiony i sprawdzony

Ponadto użyto parametrów zredukowanych, które określa się następująco:

$$(2) \quad T_r = \frac{T}{T_{kr}}, \quad p_r = \frac{p}{p_{kr}},$$

$$(3) \quad \lambda_r = \frac{\lambda}{\lambda_{kr}}, \quad \eta_r = \frac{\eta}{\eta_{kr}}.$$

Zależności

$$\lambda_r = f_1(T_r, p_r), \quad \eta_r = f_2(T_r, p_r)$$

podane są w literaturze [1,2] w postaci rodziny krzywych uniwersalnych. Krzywe te aproksymowano następującymi wzorami:

$$(4) \quad \begin{aligned} \eta_r &= aT_r^b + c p_r T_r^d & \text{dla } 0 < p_r \leq 1, \\ \eta_r &= aT_r^b + eT_r^d + oT_r^f (p_r - 1) & \text{dla } p_r > 1, \end{aligned}$$

$$(5) \quad \begin{aligned} \lambda_r &= a'T_r^{b'} + c'T_r^{d'} p_r & \text{dla } 0 < p_r \leq 1, \\ \lambda_r &= a'T_r^{b'} + c'T_r^{d'} + eT_r^{f'} (p_r - 1) & \text{dla } p_r > 1, \end{aligned}$$

gdzie

$$\begin{aligned} a &= 0,64, \quad b = 0,60, \quad c = 1,43, \quad d = 3,98, \quad e = 0,275, \quad f = 1,54, \\ a' &= 0,68, \quad b' = 0,65, \quad c' = 1,08, \quad d' = 6,40, \quad e' = 0,275, \quad f' = 1,52. \end{aligned}$$

Poszukiwane wielkości η i λ wyznaczamy ze związków (3), gdzie λ_r i η_r obliczono według (5) i (4), a λ_{krm} i η_{krm} z (1).

Program oblicza λ i η dla mieszanin gazowych nie przekraczających 10 składników. Program obejmuje zakres temperatur i ciśnień stosowanych w większości obliczeń technicznych.

Powyżej używaliśmy następujących oznaczeń:

- p — ciśnienie,
- T — temperatura $^{\circ}\text{C}$,
- n — liczba składników mieszaniny,
- p_r — ciśnienie zredukowane,
- T_r — temperatura zredukowana,
- η — współczynnik dynamiczny lepkości,
- λ — współczynnik przewodzenia ciepła,
- r_i — udział objętościowy i-tego składnika,
- p_{kri} — ciśnienie krytyczne i-tego składnika,
- T_{kri} — temperatura krytyczna i-tego składnika,
- η_{kri} — współczynnik dynamiczny lepkości krytyczny i-tego składnika,
- T_{krm} — temperatura pseudokrytyczna,
- p_{krm} — ciśnienie pseudokrytyczne,
- η_{krm} — współczynnik przewodzenia cieplnego pseudokrytyczny,
- λ_{krm} — współczynnik dynamiczny lepkości pseudokrytyczny.

2. Program drugi pozwala obliczyć entalpię tworzenia H w kcal/kmol i ciepło właściwe C_p w kcal/kmol $^{\circ}\text{C}$ dla mieszaniny gazowej w danej temperaturze i pod ciśnieniem normalnym.

Najpierw oblicza się entalpię i ciepła właściwe cząstkowe poszczególnych składników mieszaniny. Wielkości te wyrażone są wielomianem stopnia czwartego i jego pochodną:

$$(1) \quad h_i = a_{i0} + a_{i1}T + a_{i2}T^2 + a_{i3}T^3 + a_{i4}T^4,$$

$$(2) \quad c_{pi} = a_{i1} + 2a_{i2}T + 3a_{i3}T^2 + 4a_{i4}T^3.$$

Współczynniki α_{i1} są dane dla 60 substancji i zestawione w postaci tablicy w załączniku do programu. Współczynniki α_{i8} dobrano do warunków standartowych:

$$t = 25^{\circ}\text{C}, \quad p = 1 \text{ Atm.}$$

Entalpię i ciepło właściwe mieszaniny oblicza się ze wzorów:

$$(3) \quad H = \sum_{i=1}^n m_i h_i, \quad C_p = \sum_{i=1}^n m_i c_{p,i},$$

gdzie m_i są dane w postaci ułamków molowych poszczególnych składników mieszaniny.

Maksymalna liczba składników mieszaniny jest równa 10. Górna granica temperatury $t = 1770^{\circ}\text{C}$.

3. Program służy do obliczenia entalpii, entropii, energii swobodnej i współczynników równowagi fazowej ciecz-para dla lekkich węglowodorów alifatycznych oraz ich mieszanin na podstawie następującego równania stanu podanego przez Benedicta-Rubina-Webba [6], przy czym równanie to obowiązuje dla metanu, etanu, etylenu, propanu, propylenu, n -butanu, izobutanu, izobutylenu, n -pentanu, izopentanu, n -heksanu i n -heptanu:

$$p = RTd + \left(B_0 RT - A_0 - \frac{C_0}{T^2} \right) d^2 + (b RT - a) d^3 + a d^6 + \\ + \frac{C_d}{T^2} [(1 + \gamma d^2) \exp(-d^2)],$$

gdzie oznaczono:

p — ciśnienie gazu,

R — stała gazowa,

T — temperatura,

d — gęstość gazu,

a A_0 , B_0 , C_0 , b , a , γ są to stałe zależne od indywidualnych składników i ich udziałów molowych w mieszaninie.

4. Program pozwala obliczyć kinetyczny współczynnik dyfuzji $\text{m}^2/\text{godz.}$, gdy gaz A dyfunduje w głąb gazu B lub w głąb mieszaniny dwóch lub kilku gazów $A, B, C, D, \dots$ Przy obliczaniu współczynnika dyfuzji jednego gazu A w głąb drugiego B posłużono się półempirycznym wzorem Gillilanda [3]:

$$D_{AB} = 0,00155 \frac{T^{3/2}}{p(V_A^{1/3} + V_B^{1/3})^2} \sqrt{\frac{1}{M_A} + \frac{1}{M_B}},$$

gdzie oznaczono:

- D_{AB} — kinetyczny współczynnik dyfuzji dla układu dwuskładnikowego w $\text{m}^2/\text{godz.}$,
 T — temperatura w $^{\circ}\text{K}$,
 p — ciśnienie całkowite w atmosferach,
 V_A, V_B — objętości molowe składników A i B w stanie wrzącej cieczy pod ciśnieniem 1 Atm, w cm^3/mol ,
 M_A, M_B — ciężary cząstkowe kg/kmol .

W przypadku gdy gaz A dyfunduje w głąb mieszaniny dwóch lub kilku gazów A, B, C, D, ..., wówczas współczynnik dyfuzji oblicza się, stosując zależności podane przez J. W. Buddenberga i C. R. Wilkego [4]:

$$D'_A = \frac{1 - y_A}{\frac{y_B}{D_{AB}} + \frac{y_C}{D_{AC}} + \frac{y_D}{D_{AD}} + \dots},$$

gdzie oznaczono:

- D'_A — kinetyczny współczynnik dyfuzji składnika A w głąb mieszaniny składników B, C, D, ...,
 $y_A, y_B, y_C, \dots$ — ułamki molowe składników A, B, C, ... w mieszaninie,
 $D_{AB}, D_{AC}, D_{AD}, \dots$ — kinetyczne współczynniki dyfuzji dla składników dwuskładnikowych.

Program pozwala obliczyć współczynnik dyfuzji dla

$$-100^{\circ}\text{C} \leq t \leq 600^{\circ}\text{C}, \quad 1 \text{ Atm} \leq p \leq 400 \text{ Atm},$$

przy obecności nie więcej niż 10 składników w mieszaninie.

5. Przy założonych wartościach temperatur i ilościach strumieni na wszystkich półkach kolumny rozwiązuje się układ liniowych algebraicznych równań, w których niewiadomymi są stężenia składników. N. R. Amundson i A. J. Pontinen [5] wykorzystali ogólną metodę rozwiązywania układu liniowych równań algebraicznych. Niewiadome stężenia składnika w cieczy określa się równaniem wyrażonym w formie macierzowej:

$$\bar{X}_{ij} = \bar{M}_{ij} \cdot \bar{F}_i,$$

gdzie oznaczono:

- $\bar{X}_{ij}$ — wektor stężenia i -tego składnika na j -półce,
 $\bar{M}_{ij}$ — macierz stężenia i -tego składnika na j -półce,
 $\bar{F}_i$ — wektor zasilania,

duite

(b

duite

zn (c

duite

otqsn (f

duite

Ilość pary na półkach określa się równaniem:

$$\bar{V} = \bar{H}_{ij} \cdot \bar{G},$$

gdzie oznaczono:

$\bar{V}$ — wektor pary,

$\bar{H}_{ij}$ — macierz entalpii,

$\bar{G}$ — wektor entalpii zasilania.

Temperatury muszą być tak ustalone z góry, aby spełnione były równania bilansu materiałowego i cieplnego. Stosuje się metodę iteracyjną zakładając rozkład temperatur na półkach. Według tej metody wartości temperatur dla kolejnego przybliżenia wylicza się z równania:

$$T_j = T'_j + [1 - \Theta(T'_j)] \left(\frac{\Theta_j}{T_j} \right)^{-1},$$

gdzie

$$\Theta(T_j) = \sum_{i=1}^p K_{ji} X_{ij},$$

a T'_j — temperatura na półce j dla poprzedniego przybliżenia.

Zależność stałych równowagi K od temperatury określa się wielomianem stopnia trzeciego. W tym wypadku $\frac{\partial \Theta}{\partial T_j}$ wylicza się jako wielomian stopnia drugiego. Proces iteracji przerywa się, gdy

$$\sum K_{ji} X_{ij} = 1 \pm 0,001.$$

W naszej pracowni trwają prace nad obliczeniem procesu rektyfikacji na kolumnie 60 półkowej dla mieszaniny nie przekraczającej 10 składników.

6. Program służy do obliczania następujących naprężeń występujących w połączeniach kołnierzowo-śrubowych:

- naprężenia w śrubach, połączenie w temperaturze 20°C,
- naprężenia w śrubach, połączenie w temperaturze obliczeniowej,
- naprężenia zastępczego w szyjce przy montażowym naciągu śrub,
- naprężenia zastępczego w szyjce przy ruchowym naciągu śrub,
- naprężenia zastępczego w kryzie przy montażowym naciągu śrub,
- naprężenia zastępczego w kryzie przy ruchowym naciągu śrub.

Program opracowano w czterech wariantach dla następujących typów kołnierzy: kryzowych, szyjkowych, szyjkowych z szyjką przyspawaną i stałych kołnierzy kryzowych. Obliczenia przeprowadzono na podstawie przepisów UDT opracowanych w oparciu o metodę Schweigerera [7], polegającą na sprawdzeniu wyżej wspomnianych naprężeń przy założonych wymiarach połączenia. Trudności obliczenia według Schweigerera polegają na konieczności wybrania niebezpiecznego przekroju, w którym występuje maksymalne naprężenie, metodą prób i błędów.

Literatura

1. T. Hobler, *Ruch ciepła i wymienniki*, Warszawa 1959.
2. Hougén and Watson, *Chemical process principles charts*, New York 1948.
3. T. Hobler, *Ruch masy i absorber*, Warszawa 1962.
4. St. Bretsznajder, *Własności gazów i cieczy*, Warszawa 1962.
5. N. R. Amundson, A. J. Pontinen, *Ind. Eng. Chem.* 50, nr 5, 730 (1958).
6. M. Benedict, G. B. Webb, L. C. Rubin, *Chem. Eng. Progr.*, 47, nr 8 i 9 (1951).
7. S. Schweigerer, *V.D.I. Zeitschr.*, nr 1 (1954).

4. PROGRAMY INŻYNIERYJNE OPRACOWANE W CHEMICZNYCH OŚRODKACH OBLICZENIOWYCH KRAJÓW CZŁONKOWSKICH RWPG

W większości krajów członkowskich RWPG zorganizowano w ciągu 1962 roku ośrodki informacyjne dla zastosowań techniki obliczeniowej za pomocą maszyn matematycznych w przemyśle chemicznym. Ośrodki te koordynują działalność obliczeniową i prowadzą wymianę programów opracowanych w krajowych ośrodkach maszyn matematycznych pracujących dla chemii.

Rozmieszczenie ośrodków informacyjnych jest następujące:

Bułgarska R.L.:	Chimmiełurgprojekt, Sofia,
Czechosłowacka R.S.	Chemoprojekt, Praha
Niemiecka R.D.:	VEB Leuna-Werke „Walter Ulbricht”, Leuna
Polska R.L.:	BPPSch „Prosynchem”, Gliwice
Rumuńska R.L.:	Ośrodka jeszcze nie zorganizowano
Węgierska R.L.:	Vegyterv, Budapeszt
ZSRR:	Giprogazopprom, Moskwa

Poniżej zestawiono programy obliczeniowe zagadnień inżynierskich opracowane w CSRS i NRD. Jeśli chodzi o inne kraje członkowskie RWPG, to na razie brak jest opublikowanych danych.

PROGRAMY OPRACOWANE W ČSRŠ

Lp.	Nazwa programu	Opracowano w Ośrodku	Typ maszyny	Czas liczenia	Uwa- gi
1	2	3	4	5	6
1	Średnie ciepło molowe mieszaniny $N_2-H_2-NH_3$	Chemoprojekt	Ural I	10	
2	Wyparka trójsłupniowa	Chemoprojekt	Ural I	2	
3	Obliczenie pojemności naczynia o skomplikowanym kształcie	Chemoprojekt	Ural I	20	
4	Ekwiłolarna rektyfikacja mieszaniny trójskładnikowej	Chemoprojekt	Ural I	10	
5	Koszt kolejowego transportu produktów naftowych	Chemoprojekt	NE 803	240	
6	Wymiennik ciepła	Chemoprojekt	NE 803	1+8	
7	Obliczenie dozy promieniowania gamma	Chemoprojekt	NE 803	270	
8	Piec rurowy	Chemoprojekt	NE 803	3+10	
9	Równowaga chemiczna wieloskładnikowych w mieszaninach gazów idealnych	Chemoprojekt	NE 803	3+20	
10	Zestawienie tablic strat ciśnienia w rurociągach	Chemoprojekt	NE 803	12	
11	Tablica pojemności naczyń w zależności od ich wysokości	Chemoprojekt	NE 803	72	
12	Hydraulika półki dzwonowej	Chemoprojekt	NE 803	1+6	

Tabela 4

PROGRAMY OPRACOWANE W NRD

1	Obliczanie równowagi chemicznej w fazie gazowej drogą minimalizacji swobodnej entalpii metodą najszybszego spadku	VEB Leuna-Werke	ZRA-1	brak danych	
2	Obliczanie równowagi chemicznej w fazie gazowej drogą minimalizacji swobodnej entalpii metodą gradientów	VEB Leuna-Werke	ZRA-1	15	

c.d. Tabeli 4

1	2	3	4	5	6
3	Hydraulika półki dzwonowej według Bollesa	VEB Leuna-Werke	ZRA-1	15	
4	Termiczny rozkład metanu	VEB Leuna-Werke	ZRA-1	30	
5	Termiczny rozkład oleju opałowego (II)	VEB Leuna-Werke	ZRA-1	90+120	
6	Termiczny rozkład oleju opałowego (I)	VEB Leuna-Werke	ZRA-1	30+45	
7	Wieloskładnikowa nieekwimolarna destylacja (obliczenie od głowicy kolumny w dół)	VEB Leuna-Werke	ZRA-1	30	
8	Obliczenie konwertora amoniaku	VEB Leuna-Werke	ZRA-1	30	
9	Wieloskładnikowa nieekwimolarna destylacja (obliczenie od warnika do góry)	VEB Leuna-Werke	ZRA-1	30	
10	Obliczenie równowagi para-ciecz $t-x$	VEB Leuna-Werke	ZRA-1	10+15	
11	Obliczenie równowagi para-ciecz $P-x$	VEB Leuna-Werke	ZRA-1	10+15	
12	Obliczenie odchyłeń od prawa Daltona dla równowagi para-ciecz	VEB Leuna-Werke	ZRA-1	brak danych	
13	Piroliza olejów pod ciśnieniem	IZ Bohlen	ZRA-1	6	
14	Stopień zanieczyszczenia powietrza w pobliżu komina	IZ Bohlen	ZRA-1	60+120	
15	Piec rurowy	IZ Bohlen	ZRA-1	5+90	
16	Współczynniki aktywności według Gordona	VEB Leuna-Werke	ZRA-1	brak danych	
17	Obliczenie powierzchni właściwej katalizatora	VEB Leuna-Werke	ZRA-1	2	
18	Obliczenie temperatury wody w wieżach chłodniczych	VEB Leuna-Werke	ZRA-1	1	
19	Obliczenie wskaźnika schładzania w wieżach chłodniczych	VEB Leuna-Werke	ZRA-1	0,12	

c.d. Tabeli 4

1	2	3	4	5	6
20	Zagadnienie transportu	VEB Leuna-Werke	ZRA-1	5/1 krok simpleks	
21	Obliczenie równowagi fazowej z uwzględnieniem poprawki na asocjację według J. Marka	VEB Leuna-Werke	ZRA-1	brak danych	
22	Obliczenie ekwimolarnych wieloskładnikowych kolumn destylacyjnych	VEB Leuna-Werke	ZRA-1	30	
23	Kondensacja częściowa z mieszaniny gazów	VEB Leuna-Werke	ZRA-1	360	
24	Belka ciągła	VEB KIB	ZRA-1	0,3	
25	Obliczenie ekonomiczne wielostopniowych instalacji z fluidyzacją	VEB KIB	ZRA-1	1	
26	Układy rurociągów	VEB KIB	ZRA-1	brak danych	
27	Zagadnienie transportu	VEB KIB	ZRA-1	170	
28	Metoda simpleksu	VEB Leuna-Werke	ZRA-1	brak danych	
29	Liniowa optymalizacja liczbową	VEB Leuna-Werke	ZRA-1	brak danych	
30	Wykresy $P-x$ i $t-x$ dla mieszanin dwuskładnikowych	VEB Leuna-Werke	ZRA-1	30	
31	Współczynniki aktywności mieszanin wieloskładnikowych według Radlicha i Kistera	VEB Leuna-Werke	ZRA-1 ZRA-1	brak danych	
32	Obliczanie temperatury gotącej wody w chłodnicach kominowych	VEB Leuna-Werke	ZRA-1	1	
33	Wyrównawcza funkcja kwadratowa	VEB Leuna-Werke	ZRA-1	brak danych	
34	Obliczenie równowagi chemicznej według Kandira i Brinkleya	VEB Leuna-Werke	ZRA-1	15	

5. KRONIKA OŚRODKA MASZYN MATEMATYCZNYCH W GLIWICACH

1. Zaangażowanie dwóch pierwszych pracowników w dniu 15 października 1960 r.
2. Zarządzenie Ministra w sprawie utworzenia Ośrodka Maszyn Matematycznych przy „Prosynchemie” w Gliwicach 19 sierpnia 1961 r.
3. Powołanie przez RWPG Zjednoczonego Centrum Informacyjnego w Pradze dla wymiany programów obliczeniowych z zakresu chemii, kwiecień 1962 r.
4. Zarządzenie Ministra rozszerzające zakres działalności Ośrodka Maszyn Matematycznych, 10 kwietnia 1962 r.
5. Wstępny odbiór maszyn oraz udoskonalenie pamięci maszyny, maj 1962 r.
6. Uruchomienie pierwszego programu, maj 1962 r.
7. Odbycie pierwszego seminarium, 26 września 1962 r.
8. Nawiązanie współpracy z Laboratorium Pomiarów i Automatyki w Harnowie, 26 września 1962 r.
9. Przewiezenie maszyny do Gliwic, 25 października 1962 r.
10. Ukończenie montażu maszyny, 21 grudnia 1962 r.
11. Otwarcie Ośrodka, luty 1963 r.

6. SŁOWNIK ALFABETYCZNY TERMINÓW FACHOWYCH Z OBJAŚNIENIAMI

W Biuletynie niniejszym umieszczono słownik alfabetyczny w celu wyjaśnienia czytelnikom pojęć występujących w poszczególnych artykułach monografii. Dotyczą one maszyn cyfrowych, analogowych oraz programowania. Zdefiniowano również te z nich, które jako używane w potocznej mowie są na pozór jasne, lecz w technice cyfrowej i automatyce mają nieco inne znaczenie.

<i>Adres</i>	informacja wchodząca w skład rozkazu; wskazuje, z jakiego miejsca pamięci należy pobrać liczbę do wykonania operacji lub pod jakim miejscem należy zapamiętać wynik operacji.
<i>Adres bezwzględny</i>	adres w postaci numeru miejsca pamięci.
<i>Adres symboliczny</i>	adres w postaci symbolu.
<i>Akumulator</i>	główny rejestr arytmometru, służący do wykonywania działań arytmetycznych i logicznych; można zmieścić w nim jedno słowo długie.
<i>Algol</i>	międzynarodowy system automatycznego kodowania.
<i>Algorytm</i>	sposób liczenia; np. obliczanie pierwiastka kwadratowego metodą podziału na klasy.
<i>Analiza numeryczna</i>	dział matematyki zajmujący się rozwiązywaniem zagadnień przez sprowadzanie ich do serii działań elementarnych (mnożenie, dzielenie, dodawanie, odejmowanie).

<i>Analiza operacyjna</i>	metoda matematyczna, dostarczająca danych ilościowych do podejmowania najbardziej racjonalnych decyzji i do rozstrzygania dylematów ekonomicznych lub technicznych.
<i>Analizator odpowiedzi</i>	układ służący do zdejmowania częstotliwościowych charakterystyk elementów układu lub układów regulacji na drodze pomiaru stosunku amplitud i przesunięcia fazowego sygnału wyjściowego i wejściowego.
<i>Arytmometr</i>	podzespół maszyny cyfrowej, w którym wykonywane są na liczbach operacje arytmetyczne i logiczne.
<i>Autokod</i>	zapis przy pomocy symboli i rozkazów uogólnionych, nie mających na ogół bezpośredniego znaczenia dla maszyny cyfrowej; program zapisany w autokodzie musi być przetłumaczony na program wyników zapisany w języku maszyny; przykładem autokodu są systemy SAKO i ALGOL.
<i>Bęben magnetyczny</i>	pamięć działająca na zasadzie nagrywania informacji na taśmie magnetycznej; w maszynie ZAM-2 stanowi pamięć zewnętrzną o pojemności 32 768 słów krótkich.
<i>Bit</i>	cyfra binarna, zwana inaczej dwójkową (skrót od słów <i>binary digit</i>).
<i>Blok</i>	skończona i uporządkowana grupa liczb lub rozkazów oznaczona wspólnym symbolem.
<i>Bloku elementy</i>	liczby lub rozkazy wchodzące w skład bloku.
<i>Bramka</i>	obwód elektryczny z dwoma wejściami i jednym wyjściem; na wyjściu bramki pojawia się impuls wtedy i tylko wtedy, gdy na wejściach przyłożono odpowiednią kombinację impulsów.
<i>Centralny rejestrator</i>	urządzenie służące do rejestracji wyniku pomiarów wielkości charakteryzujących przebieg danego procesu technologicznego.

<i>Centralny rejestrator cyfrowy (CRC)</i>	urządzenie służące do zapisu danych pomiarowych w formie cyfrowej z dużej liczby czujników pomiarowych, do sygnalizacji i zapisu odchyłek parametrów mierzonych od normy; służy też do przygotowywania danych dla ewentualnej współpracy z maszyną cyfrową (<i>Data-logger</i>).
<i>Czas martwy</i>	czas opóźnienia upływający pomiędzy momentem pojawienia się sygnału na wejściu elementu a momentem pojawienia się sygnału na wyjściu elementu.
<i>Czytnik</i>	patrz <i>wejście</i> .
<i>Dalekopis</i>	urządzenie służące do perforowania informacji na taśmie i równocześnie drukowania na tabulogramie; dalekopisy używane przy maszynie ZAM-2 perforują w kodzie pięciodziurkowym Ferrantiego.
<i>Deklaracja (zdanie w SAKO)</i>	podaje informacje dotyczące budowy programu oraz ustala znaczenie używanych symboli; spełnia swą rolę przy wprowadzaniu programu do maszyny; pomijana jest przy wykonywaniu programu przez maszynę cyfrową.
<i>Dyrektywa SAS-u</i>	instrukcja sterująca pracą translatora w trakcie wprowadzania programu do maszyny.
<i>Dyskretna wielkość</i>	wielkość nieciągła, kwantowana.
<i>Generator funkcji</i>	uniwersalny przetwornik nieliniowy — element maszyny analogowej, stanowiący układ o dowolnie nastawialnej, nieliniowej charakterystyce.
<i>Histeresa</i>	zjawisko polegające na tym, że stan fizyczny jakiegoś elementu zależy od jego poprzedniej historii; np. indukcja w próbce magnetycznej zależy od tego czy próbka ta była namagnesowana poprzednio czy nie.
<i>Indeks w adresie symbolicznym</i>	względne położenie argumentu rozkazu w stosunku do początku danego bloku.

<i>Indeks w bloku</i>	numer elementu bloku.
<i>Informacja</i>	zbiór znaków lub stan przyrządu, mający określone znaczenie lub który oznacza jedną ze skończonej liczby alternatyw; np. sygnalizacja świetlna kierująca ruchem drogowym, rząderek otworów na taśmie perforowanej.
<i>Iteracja</i>	metoda, na podstawie której wychodząc z pewnego przybliżonego rozwiązania można uzyskać w granicy rozwiązanie dokładne (przez cykliczne powtarzanie).
<i>Język maszyny</i>	kod zewnętrzny maszyny cyfrowej; operuje się w nim rozkazami maszyny, czyli rozkazami, które mogą być wykonane przez nią.
<i>Kod</i>	system zapisywania informacji dla maszyny cyfrowej.
<i>Kod zewnętrzny</i>	system zapisywania informacji (czyli programu lub danych) przez programistę; dla przykładu może to być system SAS lub SAKO.
<i>Kod wewnętrzny</i>	system zapisywania informacji w samej maszynie cyfrowej; w maszynie ZAM-2 jest kodem dwójkowym; kod zewnętrzny w trakcie czytania taśmy przez maszynę jest zamieniany na kod wewnętrzny.
<i>Kodowanie</i>	zapisywanie w kodzie zewnętrznym rozkazów oraz danych dla maszyny cyfrowej w celu wykonania działań arytmetycznych i logicznych.
<i>Liczba długa, krótka</i>	patrz: słowo.
<i>Maszyna stałoprzecinkowa</i>	maszyna cyfrowa wykonująca działania na liczbach, które nie zawierają informacji o umiejscowieniu przecinka; umiejscowienie przecinka w liczbie jest umowne i decyduje o tym programista.
<i>Maszyna zmiennoprzecinkowa</i>	maszyna cyfrowa działająca na liczbach, w których przecinek umiejscowiony jest automatycznie bez ingerencji programisty.

<i>Miejsce pamięci</i>	podstawowa komórka pamięci.
<i>Miejsce pamięci krótkie</i>	mieści w sobie słowo krótkie, składające się z 18 bitów.
<i>Miejsce pamięci długie</i>	mieści w sobie jedno słowo długie, składające się z 36 bitów.
<i>Mnożarka</i>	podzespół maszyny analogowej, służący do otrzymywania iloczynu dwóch zmiennej.
<i>Mnożnik</i>	rejestr arytmometru, służący do wykonywania działań arytmetycznych i logicznych w maszynie cyfrowej; można umieścić w nim jedno słowo długie.
<i>Modelowanie układu fizycznego</i>	zbudowanie z elementów maszyny analogowej takiego obwodu elektrycznego, aby potencjał w jednym z punktów tego obwodu zmieniał się w czasie tak, jak zmienia się w czasie interesujący nas parametr badanego układu fizycznego.
<i>Numer bezwzględny</i>	numer miejsca pamięci wewnętrznej.
<i>Numer symboliczny</i>	symbol poszczególnych rozkazów lub partii programu (bloków rozkazowych lub miejsc w programie).
<i>Off-line</i>	oznacza, że maszyna cyfrowa nie jest poprzez kable łączące włączona do obwodów pomiarowych i regulacyjnych.
<i>On-line</i>	oznacza, że maszyna cyfrowa jest poprzez kable łączące włączona do obwodów pomiarowych i regulacyjnych.
<i>Organigram</i>	graficzne przedstawienie struktury programu za pomocą prostokątów, strzałek, linii itd.
<i>Pamięć</i>	urządzenie służące do przechowywania słów; składa się z określonej ilości podstawowych komórek, które mogą zawierać pewne informacje.
<i>Pamięci pojemność</i>	liczba zawartych w pamięci komórek podstawowych.

Pamięć wewnętrzna

służy do przechowywania aktualnie wykonywanego programu, aktualnie potrzebnych danych i informacji; komunikowanie się z nią jest szybkie, lecz zazwyczaj cechuje się małą pojemnością (w ZAM-2 pojemność wynosi 1024 słów krótkich).

Pamięć zewnętrzna

służy do przechowywania pewnych partii programu lub danych nie mieszczących się w pamięci wewnętrznej a potrzebnych w późniejszych etapach obliczeń; komunikowanie się z nią jest powolne; na ogół ma dużą pojemność (w ZAM-2 składa się z 32 768 słów krótkich).

Pętla

część programu wielokrotnie i automatycznie powtarza przez maszynę cyfrową.

Pętli składowe

1) *wstęp*: część przygotowująca pętlę i nie powtarzana w trakcie jej odbywania się; 2) *obliczeniowa*: wykonuje właściwe obliczenie; 3) *sprawdzająca*: określa, kiedy pętla kończy się; 4) *końcowa*: kończy pętlę i pozwala przejść do następnych partii programu.

odprogram

wyodrębniony fragment programu, służący do wykonywania pewnych ustalonych działań na przekazanych mu wielkościach; stanowi zazwyczaj część programu wielokrotnie wykonywaną.

Potencjometr

dzielnik napięcia; służący w maszynie analogowej do mnożenia danej wielkości przez stałą nie większą od jedności.

Program

jednoznaczny opis czynności maszyny, potrzebny do przetworzenia informacji wejściowych (danych) w informacje wyjściowe (wyniki); składa się z sekwencji rozkazów.

Program kodujący

patrz: *translator*.

Przerzutnik

multiwibrator bistabilny; układ elektryczny stanowiący elementarną część maszyny, mogący pozostawać w jednym z dwóch dyskretnych stanów; np. lampa przewodzi lub nie przewodzi.

<i>Przetwornik analogowo-cyfrowy</i>	przyrząd zmieniający wielkości analogowe na cyfrowe.
<i>Quantizing</i>	zamiana wielkości ciągłej (analogowej) na wielkość dyskretną (cyfrową); kwantowanie.
<i>Rejestr</i>	podzespół maszyny cyfrowej mający własność pamiętania i służący do umieszczania w nim liczby z pamięci w celu wykonania na niej operacji; rejestr ma na ogół pojemność jednego słowa długiego lub krótkiego.
<i>Reperforator</i>	patrz: <i>wyście</i> .
<i>Rozdział programu</i>	program lub część programu stanowiąca logicznie wyodrębnioną całość i mieszcząca się w pamięci wewnętrznej.
<i>Rozkaz</i>	sygnał warunkujący wykonanie przez maszynę danej elementarnej operacji; maszyna ZAM-2 może wykonać 32 elementarne operacje, do zainicjowania których służą 32 rozkazy; składa się z dwóch zasadniczych części: 1) <i>operacyjnej</i> , podającej czynność, jaką ma wykonać maszyna, 2) <i>adresowej</i> , mówiącej, na których liczbach zapisanych w pamięci ma być wykonana operacja lub pod jaki adres ma być zapisany wynik.
<i>SAKO</i>	system automatycznego kodowania, opracowany przez zespół pracowników naukowych Zakładu Aparatów Matematycznych PAN; jest to kod zewnętrzny maszyny cyfrowej, w którym operuje się językiem sformalizowanym, zbliżonym do języka stosowanego powszechnie w matematyce.
<i>Sampling</i>	quasiciągły pomiar jakiejś wielkości w stałych, określonych z góry odstępach czasu (próbkiwanie).
<i>SAS</i>	system adresów symbolicznych, służący do programowania i posługujący się adresami symbolicznymi zamiast bezwzględnych.
<i>Schemat blokowy</i>	schemat uproszczony wyjaśniający działanie danego urządzenia jedynie pod względem funkcjonalnym.

<i>Słowo długie</i>	ciąg 36 bitów zapamiętywany w długich miejscach pamięci maszyny cyfrowej.
<i>Słowo krótkie</i>	ciąg 18 bitów zapamiętywany w krótkich miejscach pamięci maszyny cyfrowej; może on być zarówno liczbą, jak i rozkazem.
<i>Sterowanie maszyną cyfrową</i>	kierowanie czynnościami maszyny; czynności maszyny podczas wykonywania programu są sterowane automatycznie za pomocą podzespołu maszyny cyfrowej zwanego <i>układem sterowania</i> , koordynującego pracę pozostałych podzespołów; pewne czynności, jak np. rozpoczęcie wykonywania programu, przerwanie wykonywania programu, wczytywanie lub drukowanie są sterowane przez naciśnięcie odpowiedniego klucza na stoliku operacyjnym, translator SAS oraz SAKO umożliwiające dodatkowe sterowanie maszyną cyfrową.
<i>Sygnał</i>	ogólne pojęcie dla dowolnej wielkości fizycznej, za pomocą którego element układu pomiarowego lub regulacyjnego wpływa na inny element.
<i>Tarcza kodująca</i>	element przetwornika analogowo-cyfrowego, którego działanie oparte jest na zasadzie przetwarzania przestrzennego; ma ona naniesiony rysunek kodu w postaci okręgów współśrodkowych.
<i>Taśma perforowana</i>	taśma papierowa, na której przy pomocy kodu w postaci ciągu odpowiednio rozmieszczonych rzędków otworów zapisuje się informację wprowadzoną i wyprowadzoną z maszyny cyfrowej.
<i>Time-Sharing</i>	podział czasu maszynowego; polega na jednoczesnym wykonywaniu przez maszynę cyfrową kilku czynności lub obliczeń.
<i>Translator</i>	program kodujący, zapisany na stałe w pamięci bębnowej maszyny cyfrowej; tłumaczy program zapisany w autokodzie na program wynikowy zapisany w języku maszyny.

Wejście

urządzenie wejścia, urządzenie służące do wprowadzania programu i danych do maszyny; jest to czytnik, zamieniający informację wydziurkowaną na taśmie na impulsy elektryczne; w maszynie ZAM-2 zastosowany jest czytnik Ferrantiego, który czyta z szybkością 300 rzędów na sekundę.

Wyjście

urządzenie wyjścia, urządzenie służące do dziurkowania na taśmie wyników obliczeń maszyny cyfrowej, jest to reperforator, dziurkujący taśmę pod wpływem impulsów elektrycznych wytworzonych w maszynie cyfrowej; w maszynie ZAM-2 zastosowano reperforator Creeda, dziurkujący z szybkością 25 znaków na sekundę.

Wzmacniacz operacyjny

wzmacniacz napięciowy prądu stałego o dużej stabilności zera i bardzo dużym wzmocnieniu służący do tworzenia elementów funkcjonalnych (całkujących, sumujących, odwracających znak i nielinowych) maszyny analogowej.

Wzmacniacz sumujący

wzmacniacz operacyjny wielowejsciowy, którego sygnał wyjściowy jest liniową kombinacją sygnałów wejściowych.

Wzmacniacz sumująco-całkujący

wzmacniacz operacyjny wielowejsciowy, którego sygnał wyjściowy jest całką liniowej kombinacji sygnałów wejściowych.

SPIS TREŚCI

Str.

Słowo wstępne (Z. Margulies)	3
--	---

Część pierwsza

MASZINY CYFROWE

1. Zasady działania i zakres zastosowania cyfrowych maszyn matematycznych (A. Wierusz-Kowalski)	7
2. Programowanie maszyn cyfrowych (F. Kern)	34
3. Obecny stan techniki obliczeń za pomocą maszyn cyfrowych w przemyśle chemicznym za granicą (J. Kardasz)	59
4. Możliwości zastosowania maszyn cyfrowych do analizy operacyjnej i obliczeń inżynierskich w polskim przemyśle chemicznym (A. Wierusz-Kowalski, Z. Kasprowicz)	67
5. Zadania projektowo-badawcze i sposoby ich realizacji w OMM Gliwice (A. Wierusz-Kowalski, J. Kardasz)	77

Część druga

MASZINY ANALOGOWE

6. Zasady działania i zakres zastosowania analogowych maszyn matematycznych (A. Wierusz-Kowalski)	93
7. Sposób posługiwania się maszyną analogową Solartron SC-30 (S. Gurgul)	99
8. Możliwości zastosowania maszyny analogowej do obliczeń i modelowania procesów technologicznych i regulacyjnych w polskim przemyśle chemicznym (J. Stanek)	106
9. Obecny stan techniki obliczeń analogowych w przemyśle chemicznym za granicą (A. Wierusz-Kowalski)	119
10. Zadania ośrodka matematycznego ZA Tarnów (J. Stanek, A. Pyzik)	125

Część trzecia

STEROWANIE PROCESAMI TECHNOLOGICZNYMI ZA POMOCĄ MASZYN CYFROWYCH

11. Stan techniki cyfrowej za granicą w zastosowaniu do sterowania procesami chemicznymi (M. Berka)	131
12. Możliwości zastosowania maszyn cyfrowych do sterowania procesami technologicznymi w przemyśle chemicznym w warunkach krajowych (Z. Kasprowicz)	136

13. Budowa i zasady współpracy z maszyną cyfrową centralnych rejestrów cyfrowych (A. Rydz)	141
14. Zadania Badawczo-Doświadczalnego Ośrodka Automatyzacji w zakresie techniki cyfrowej (M. Berka)	161

BIULETYN OMM „PROSYNCHEM” GLIWICE

Numer 1, czerwiec 1963

1. Sprawozdanie z wykonania zadań Ośrodka określonych Zarządzeniem Ministra Przemysłu Chemicznego (T. Niederlińska) . . .	165
2. Zestawienie problemów inżynierskich nadających się do zaprogramowania na maszynie ZAM-2 (J. Kardasz)	168
3. Programy opracowane w OMM Gliwice (Z. Kasprowicz)	175
4. Programy inżynierskie opracowane w Chemicznych Ośrodkach Obliczeniowych krajów członkowskich RWPG (J. Kardasz) . .	182
5. Kronika Ośrodka Maszyn Matematycznych w Gliwicach (T. Niederlińska)	186
6. Słownik alfabetyczny terminów fachowych z objaśnieniami (T. Kasztelewicz, T. Niederlińska)	187

nadanie projektu
 podany projekt
 przez projektanta