ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1996
Seria: ENERGETYKA z. 127 Nr kol. 1350

Jan RDUCH
Instytut Maszyn i Urządzeń Energetycznych
Politechnika Śląska, Gliwice

KOMPUTEROWE WSPOMAGANIE PROJEKTOWANIA I BADANIA POMP

Streszczenie. Efektywne wykorzystanie komputera w procesie projektowania wymaga systemowego rozwiązania problemu. Podstawą projektu takiego systemu powinno być dokładne rozpoznanie procesu projektowania danej maszyny lub urządzenia. W artykule omówiono ogólny schemat procesu projektowania pompy oraz strukturę systemu cyfrowego. W strukturze systemu uwzględniono komputerowe wspomaganie pomiarów. Przedstawiono i omówiono trzy warianty układów pomiarowych z zastosowaniem techniki komputerowej.

COMPUTER AIDED DESIGN AND INWESTIGATIONS OF PUMPS

Summary. An effective utilization of the computer in designing requires a system solution the given problem. The design of such a system must be based on an exact knowledge of the process of designing the given machine or installation. The paper deals with a general scheme of the process designing a pump and with the structure of the digital system. Within the structure of the system computer-aided measurements have been taken into account. Three variants of measuring systems are presented, making use of computer techniques.

COMPUTERGESTÜZTEN KONSTRUKTION UND UNTERSUCHUNGEN IM PUMPENBAU

Zusammenfassung. Die wirkungsvolle anwendung eines Computers im Konstruktionsprozess erfordert eine systemhafte Lösung des gegebenen Problems. Die Grundlage eines solchen Systems muss eine eingehende Erkenntnis des Entwurfprozesses einer Maschine bzw. Anlage bilden. Im aufsatz wird ein allgemaeines Schema des Projektierens einer Pumpe und die Struktur des Digitalsystems erörtert. In der Struktur dieses Systems wurden computer-gestützte Messungen einbezogen. Erörtert werden drei Varianten von Meßsystemen unter Anwendung der Computer-Technik.

1. Wprowadzenie

Powszechność stosowania komputerów znajduje również odzwierciedlenie w wykorzystaniu tego narzędzia w procesie projektowania maszyn i urządzeń. Powstało specjalizowane oprogramowanie i odpowiednie urządzenia peryferyjne. Komputer w procesie projektowania (CAD) staje się jednym z podstawowych narzędzi inżyniera.

Projektowanie wspomagane komputerowo jest często pojmowane jako proces projektowania, w którym jednym z narzędzi pracy projektanta jest komputer. Takie rozumienie procesu projektowania wspomaganego komputerowo obejmuje również korzystanie z jednego programu bądź pojedynczych programów w sposób wyrywkowy. Wykorzystanie komputera w taki sposób jest źródłem wielu błędów i zamiast usprawniać proces projektowania jest przyczyną wielu niepowodzeń. Efektywne wykorzystanie komputera w procesie projektowania wymaga systemowego rozwiązania problemu.

Systemowo nie oznacza jednak, że nie mogą być wykorzystywane pojedyncze programy. Nie oznacza również, że proces projektowanie przebiega według wsadowego schematu pracy z komputerem. Systemowo oznacza – w strukturze systemu cyfrowego opracowanego dla rozwiązania danego problemu projektowego. System cyfrowy wypełniony jest programami spełniającymi kryteria ustalone między innymi dla standardu wymiany informacji między poszczególnymi programami.

Całościowe podejście do zagadnienia wykorzystania komputera w procesie projektowania zapewnia:
- eksploatację systemu i jego ciągłe uzupełnianie oraz unowocześnianie,
- wybór najważniejszych programów do opracowania (lub zakupienia) w pierwszej kolejności,
- sensowną rozbudowę systemu bez konieczności ciągłej i kosztownej zmiany oprogramowania,
- obniżenie kosztów wdrażania i eksploatacji systemu.

Podstawowe efekty osiągane dzięki zastosowaniu wspomagania komputerowego to [1]:
- obniżenie kosztów i skrócenie czasu opracowywania projektu,
- możliwość wykonywania zadań, które ze względu na złożoność nie mogą być realizowane „ręcznie",
- podwyższenie jakości dokumentacji,
- podniesienie komfortu pracy projektanta.

Osiągnięcie tych efektów możliwe jest tylko w przypadku wdrożenia systemu cyfrowego obejmującego całokształt prac projektowo–konstrukcyjnych. Nieefektywne jest wykorzystywanie komputera sporadycznie oraz wycinkowo. Wdrożenie systemu komputerowego wspomagania projektowania wyma-

ga znacznych nakładów finansowych, zmiany organizacji pracy, pozyskania odpowiednio kwalifikowanych kadr, szkolenia itp.

Problematyka związana ze zastosowaniem komputera do wspomagania projektowania w Zakładzie Maszyn i Urządzeń Hydraulicznych jest postrzegana w dwóch aspektach: poznawczym i dydaktycznym. Biorąc pod uwagę główne kierunki prac statutowych, możliwości finansowe i kadrowe, prace poznawcze dotyczą jedynie ogólnego rozeznania zagadnienia, określenia ogólnej struktury systemu i wykonania oprogramowania wybranych segmentów systemu. W procesie dydaktycznym prace te są wykorzystywane w wykładach i ćwiczeniach z przedmiotu „projektowanie maszyn hydraulicznych", pracach przejściowych oraz dyplomowych.

2. Schemat procesu projektowania pompy

Proces projektowania maszyny można realizować według różnych schematów. Na rysunku 1 przedstawiono proces projektowania podzielony na cztery podstawowe etapy [2]:
- precyzowanie zadania,
- projekt koncepcyjny,
- projekt konstrukcyjny,
- projekt realizacyjny.

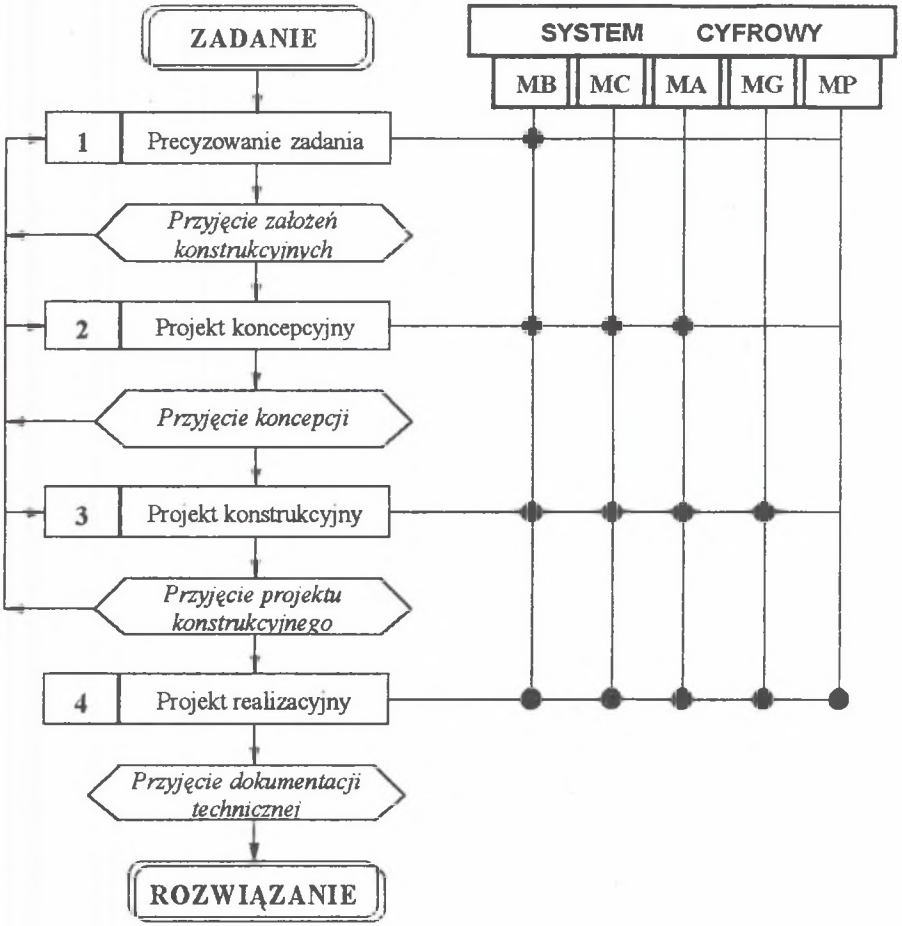
Po każdym etapie następuje weryfikacja uzyskanych wyników i podjęcie decyzji o rozpoczęciu dalszych działań.

Precyzowanie zadania obejmuje:
- sformułowanie (postawienie) zadania,
- formułowanie założeń konstrukcyjnych,
- opracowanie listy wymagań (kryteriów).

Podstawowe sformułowanie zadań projektowych to:
- zaprojektować pompę mając dane: wydajność, użyteczną wysokość podnoszenia, ciecz itp.,
- zmodernizować pompę w celu podniesienia sprawności, zwiększenia trwałości itp.,
- dostosować pompę do pompowania cieczy mechanicznie zanieczyszczonej itp.,
- inne sformułowania zadań.

Każde zadanie można postawić przy projektowaniu jednej pompy lub typoszeregu. Zbiór założeń konstrukcyjnych zależy od rozpatrywanego zadania. Zbiór ten podczas projektowania będzie stale uzupełniany.

W projektowaniu pomp stosowane są ogólne kryteria formułowane w podstawach konstrukcji maszyn.

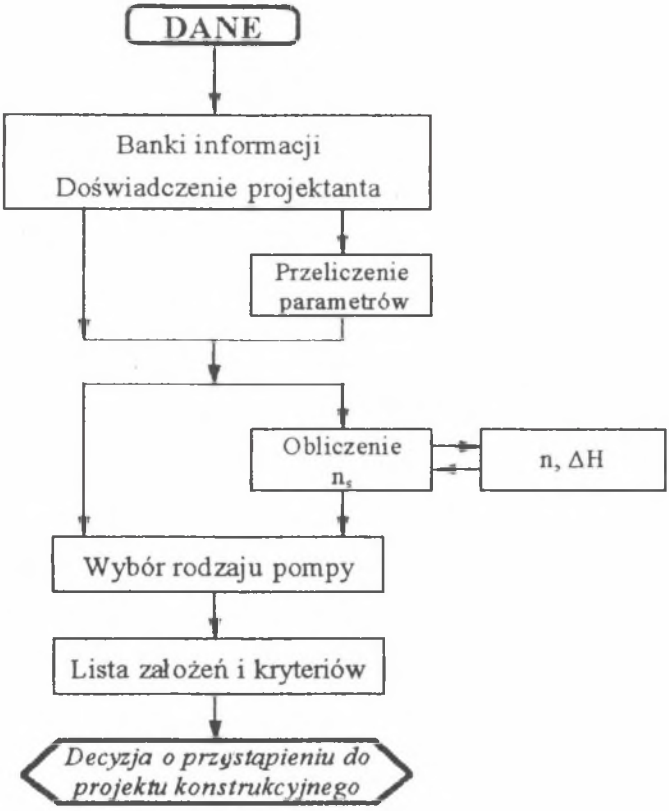


Rys. 1. Schemat procesu projektowania

Fig. 1. Diagram of the design process

Uproszczony schemat wykonywania projektu koncepcyjnego przedstawiono na rysunku 2. Celem koncypowania jest wybór rodzaju pompy oraz sprecyzowanie listy założeń i kryteriów.

Schemat procesu wykonywania projektu konstrukcyjnego zależy od rodzaju konstruowanej pompy. Na rysunku 3 przedstawiono schemat tego etapu przy

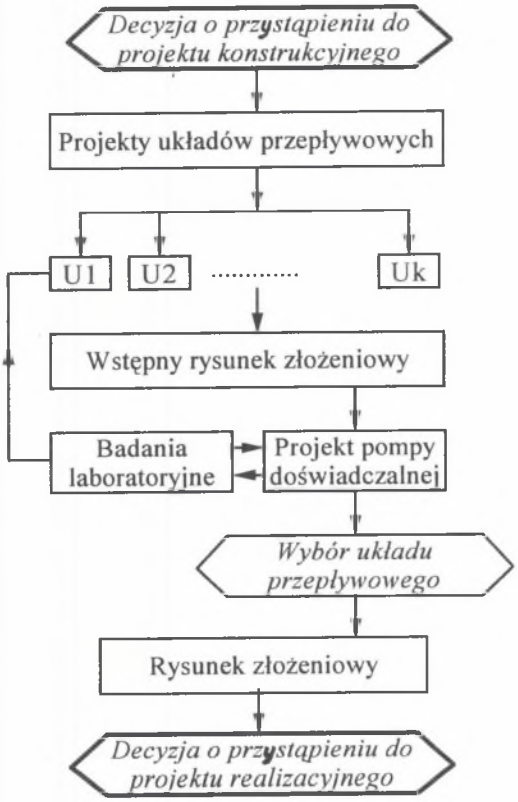


Rys. 2. Schemat procesu – projekt koncepcyjny

Fig. 2. Diagram of the process – conceptional draft

konstruowaniu pompy wirowej. Celem tego etapu jest opracowanie rysunku złożeniowego pompy i możliwie pełna weryfikacja obliczeniowa i doświadczalna głównych węzłów konstrukcyjnych.

Uproszczony schemat procesu wykonywania projektu realizacyjnego przedstawiono na rysunku 4. Na tym etapie projektowania opracowywane są rysunki wykonawcze oraz dokumentacja technologiczna. Po wykonaniu prototypu przeprowadzane są badania laboratoryjne i eksploatacyjne. Pozytywny wynik tych badań pozwala na ostateczne opracowanie dokumentacji technicznej, instrukcji technologicznych, obsługi, napraw itp.



Rys. 3. Schemat procesu – projekt konstrukcyjny

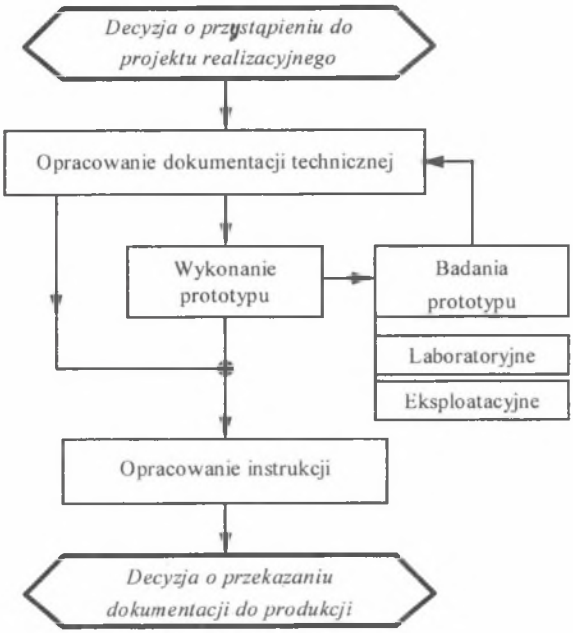
Fig. 3. Diagram of the process

3. Struktura systemu cyfrowego

System cyfrowy – to komputer uzupełniony o odpowiednie urządzenia peryferyjne oraz zbiór programów odpowiednio uporządkowanych, a przede wszystkim powiązanych jednolitym standardem wymiany informacji.

Proces projektowania, ze względu na czynności, jakie wykonuje projektant, można podzielić na pięć grup działań:

- wyszukiwanie i gromadzenie informacji,
- koncypowanie,



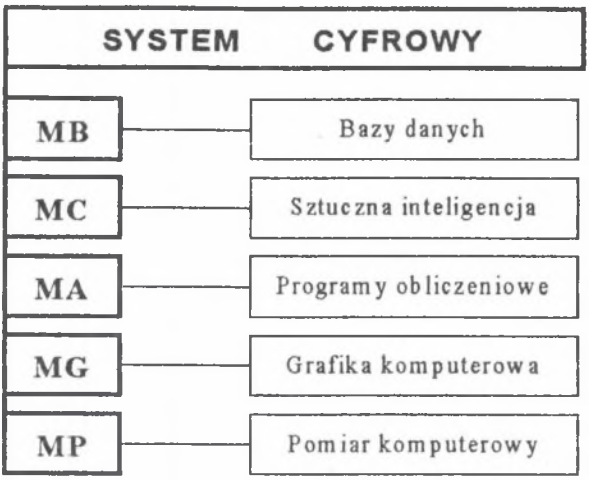
Rys. 4. Schemat procesu – projekt realizacyjny

Fig. 4. Diagram of the process – realisation design

- obliczenia,
- rysowanie,
- badania doświadczalne.

Według tych działań system cyfrowy (rys. 5) można podzielić na:
- bazy danych,
- sztuczną inteligencję,
- programy obliczeniowe,
- grafikę komputerową,
- pomiar komputerowy.

Badania doświadczalne w projektowaniu wielu maszyn, a w tym również pomp, są ważnym elementem procesu. Z tego też powodu są one wydzielonym elementem systemu cyfrowego.



Rys. 5. Struktura systemu cyfrowego

Fig. 5. Structure of the digital system

3.1. Struktura systemu cyfrowego a proces projektowania

Stopień wykorzystania elementów systemu cyfrowego na kolejnych etapach projektowania jest zróżnicowany. Na rysunku 1 oznaczono główne węzły przyporządkowania elementów systemu do poszczególnych etapów procesu projektowania. Na początku procesu (przeważają prace koncepcyjne) wykorzystywane są głównie bazy danych i sztuczna inteligencja, a pod koniec procesu wszystkie elementy systemu cyfrowego.

Bazy danych są wykorzystywane do pozyskiwania lub archiwizacji informacji na wszystkich etapach projektowania. To spostrzeżenie zostało wykorzystane przy opracowywaniu i wdrażaniu nowoczesnych i efektywnych systemów komputerowego wspomagania projektowania [3]. System sekwencyjny zastąpiono systemem koncentrycznym, którego centrum stanowi wspólna baza danych.

Podział czynności projektanta na twórcze i schematyczne pozwala na określenie udziału człowieka i komputera w procesie projektowania. Komputer przede wszystkim zastąpi projektanta w czynnościach schematycznych. W pierwszej kolejności powstała grafika komputerowa, a jej standardy często rzutują na budowane systemy. Powszechne jest, niestety, mniemanie, że edytor graficzny jest warunkiem wystarczającym do usprawnienia procesu projektowania.

4. Zastosowanie komputera w laboratorium maszyn hydraulicznych

Ważnym elementem procesu konstruowania pompy są badania doświadczalne układów przepływowych, pompy modelowej oraz prototypowej. Badania te są realizowane przez konstruktora zgodnie z jego wiedzą teoretyczną, doświadczeniem zawodowym i intuicją. Wyniki tych badań nie są jednak systematycznie opracowywane, a następnie wykorzystywane przy projektowaniu nowych układów przepływowych. Zastosowanie komputera w procesie projektowania (badań) stwarza nowe możliwości systematyzowania działań. Integrowanie pomiaru z procesem projektowania powinno prowadzić do usprawnienia badań (zmniejszenie liczby doświadczeń) i procesu projektowania.

Komputerowe wspomaganie pomiarów jest szeroką dziedziną zastosowań techniki cyfrowej w:

- pomiarach laboratoryjnych i przemysłowych,
- testowaniu maszyn i urządzeń,
- nadzorowaniu i sterowaniu procesami technologicznymi.

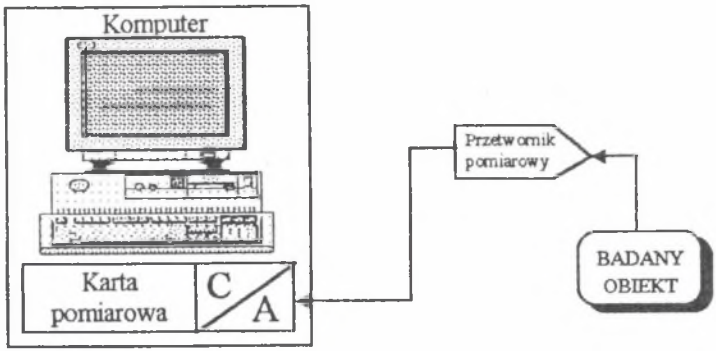
Każde zastosowanie techniki komputerowej wymaga dokładnego określenia konfiguracji sprzętowej oraz opracowania odpowiedniego oprogramowania. W warunkach laboratorium naukowo–badawczego korzystne jest, aby rozwiązania sprzętowe oraz oprogramowanie były możliwie elastyczne i mogły być wykorzystywane w różnorodnych pracach badawczych.

W praktyce stosowania technik komputerowych w badaniach laboratoryjnych można zaobserwować dwie tendencje budowania systemów:

- specjalizowanych, wykorzystywanych do badania zadanych maszyn (urządzeń) w określonym jednoznacznie zakresie; sprzęt oraz pełne oprogramowanie są dostarczane przez jedną, wybraną firmę specjalizującą się w produkcji aparatury pomiarowej,
- uniwersalnych, wykorzystywanych w rozwiązywaniu różnorodnych zadań badawczych; sprzęt i oprogramowanie są dostarczane przez wiele firm.

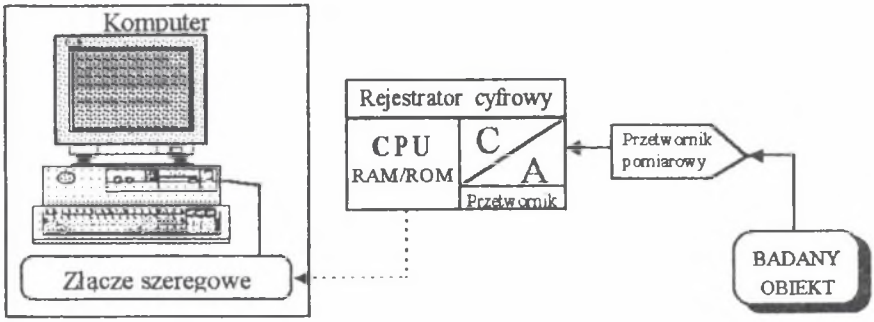
Na rysunkach 6 do 8 przedstawiono konfiguracje sprzętowe rozpatrywane do zastosowania w laboratorium. System z kartą pomiarową (rys. 6) montowaną bezpośrednio w komputerze charakteryzuje się elastycznością i łatwością oprogramowania. Stosując odpowiednie oprogramowanie można uzyskać system łatwy w użytkowaniu. Do wad tego systemu należy zaliczyć małą dokładność i stabilność pomiarów oraz w warunkach laboratorium maszyn hydraulicznych (wilgoć), konieczność stosowania komputera w specjalnym wykonaniu, a więc drogiego.

System pomiarowy z zastosowaniem rejestratora cyfrowego (rys. 7) ma tę zaletę, że w laboratorium bezpośrednio na stanowisku pomiarowym jest instalowany tylko rejestrator. Po wykonaniu zaplanowanych pomiarów rejestrator jest przenoszony do pracowni komputerowej. Wyniki pomiarów są



Rys. 6. Struktura toru pomiarowego z zastosowanie karty pomiarowej zainstalowanej w komputerze

Fig. 6. Structure of the measuring chain, making use of a measuring card in computer

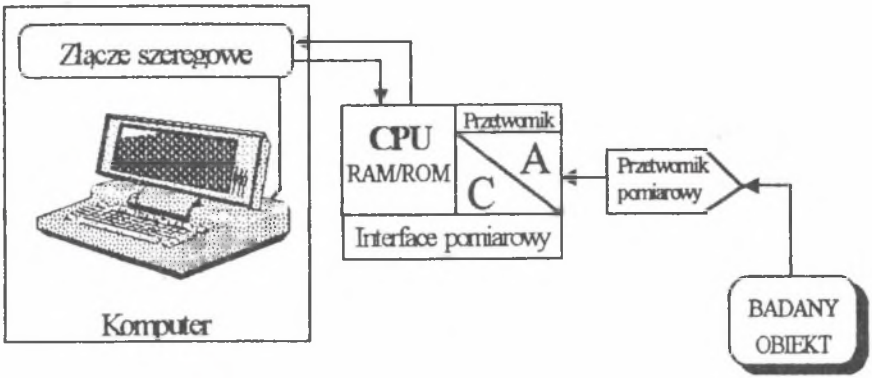


Rys. 7. Struktura toru pomiarowego z zastosowaniem rejestratora cyfrowego

Fig. 7. Structure of the measuring chain, making use of a digital recorder

transmitowane do komputera i następnie odpowiednio opracowywane. Jednoznaczna ocena tego systemu z uwagi na wielość możliwych wariantów nie jest możliwa. W wielu konkretnych realizacjach wadą jest brak możliwości obserwacji wyników pomiarów w czasie ich wykonywania.

System pomiarowy z zastosowaniem cyfrowego przetwornika pomiarowego przedstawiono na rysunku 8. Cyfrowy przetwornik pomiarowy (interface) jest sterowany bezpośrednio z komputera podczas pomiarów. Najczęściej cyfrowy



Rys. 8. Struktura toru pomiarowego z zastosowaniem cyfrowego przetwornika pomiarowego

Fig. 8. Structure of the measuring chain, making use of a digital converter of measurments

przetwornik pomiarowy łączy się z komputerem przez łącze szeregowe. W tych warunkach do pomiarów można wykorzystać komputery przenośne. System ten ma w dużym zakresie zalety obu wyżej wymienionych rozwiązań.

Aktualnie w Laboratorium Maszyn i Urządzeń Hydraulicznych stosowane są dwa ostatnie systemy pomiarowe. System z rejestratorem cyfrowym umożliwia wykonanie pomiarów wolnozmiennych w sześciu kanałach pomiarowych z wejściem analogowym ±2 V. Pamięć rejestratora (64 kB) umożliwia zapisanie 30 000 wyników. Rejestrator jest zasilany z akumulatorów kadmowych lub z zasilacza sieciowego. System z cyfrowym przetwornikiem pomiarowym jest przystosowany do pomiarów szybkozmiennych (do 20 kHz). Posiada osiem wejść pomiarowych analogowych napięciowych z możliwością ustawienia w zakresie ±10 mV do 10V. Przyrząd jest wyposażony w pamięć typu RAM o wielkości 128 kB. Wyniki serii pomiarowej mogą być składowane w tej pamięci i następnie przesyłane do komputera lub w przypadku pomiarów wolnozmiennych transmisja wyników może być bezpośrednia. Przyrząd zasilany jest bezpośrednio z sieci elektrycznej.

5. Programy komputerowe

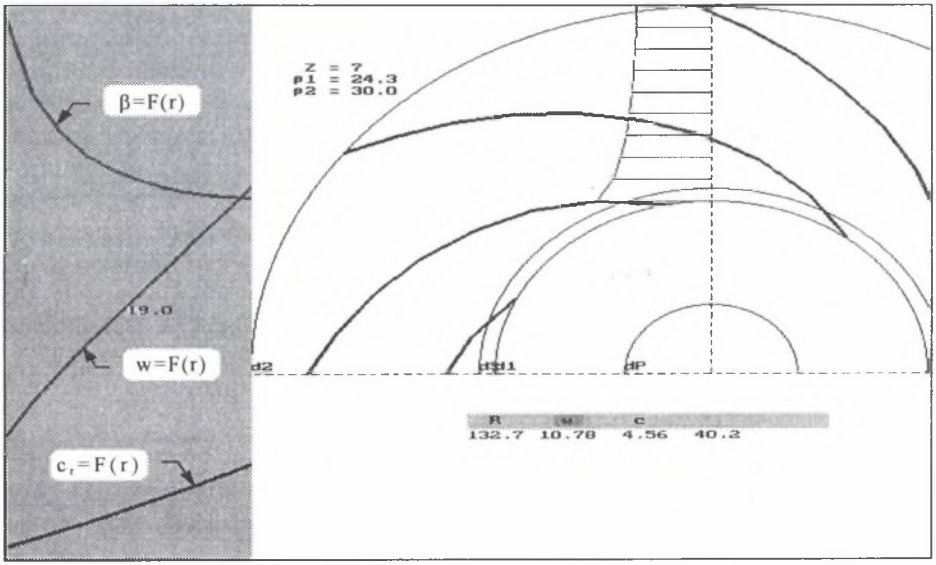
Opracowano dwa niezależne pakiety programów komputerowych:
- do wspomagania prac projektowych,
- do obsługi pomiarów.

Wszystkie programy są obsługiwane przez użytkownika w trybie konwersacyjnym. Programy są przystosowane do wykorzystania na komputerach klasy PC w systemie operacyjnym DOS.

5.1. Programy komputerowe do wspomagania projektowania pomp wirowych

Opracowany zbiór zintegrowanych programów obliczeniowych między innymi umożliwia:

- otwarcie zadania projektowego (indeksację zadania, wprowadzenie danych),
- koncypowanie rozwiązania pompy,
- obliczanie głównych wymiarów wirnika,
- projektowanie kierownicy bezłopatkowej kanałowej,
- projektowanie kształtu łopatki,
- projektowanie uszczelnienia szyi wirnika,
- obliczenie charakterystyk,
- generowanie pliku danych przekazywanych do edytora graficznego.

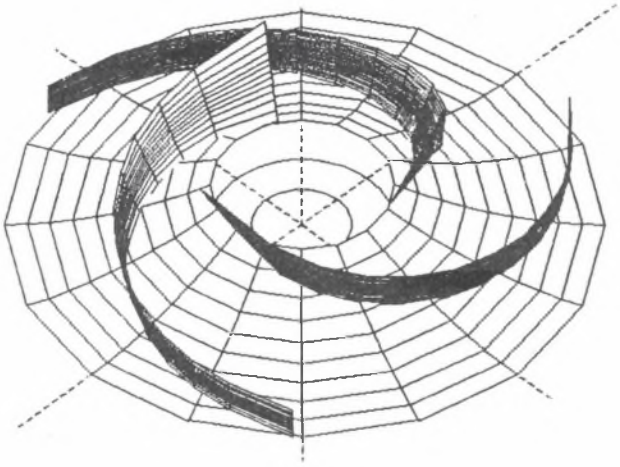


Rys. 9. Ekran monitora podczas kształtowania łopatki wirnika

Fig. 9. Screen of the monitor during the formation of the impeller blade

Na rysunku 9 pokazano ekran monitora podczas interaktywnego kształtowania łopatki wirnika. Konstruktor za pomocą klawiszy kursora może kształtować zmianę prędkości bezwzględnej lub względnej wzdłuż promienia jednocześnie obserwując zmianę kąta łopatki, kształtu i długości łopatki oraz zmianę kształtu przekroju meridionalnego. Uproszczony rysunek wirnika obserwowany na monitorze jest podobny (zachowane są wszystkie proporcje wymiarowe) do wirnika obliczonego.

Wyniki obliczeń można bezpośrednio wykorzystać do edycji rysunku w edytorze graficznym. Generowane są dwa pliki danych: w formacie dwuwymiarowym i trójwymiarowym. Na rysunku 10 przedstawiono przestrzenny rysunek wirnika, który otrzymujemy po wczytaniu wyników obliczeń do programu graficznego. Łopatki oraz tarcza nośna są modelowane płaszczyznami wyznaczonymi za pomocą siatki.



Rys. 10. Rysunek wirnika generowny w edytorze graficznym po wczytaniu wyników obliczeń

Fig. 10. Drawing of the impeller generated in the graphic editor after the reading in of the results of calculations

5.2. Programy komputerowe do obsługi pomiarów

Opracowany pakiet programów ma następujące główne opcje:

- wzorcowanie toru pomiarowego;
- pomiar bezpośredni,
- opracowanie wyników.

Pakiet programów może być stosowany przy korzystaniu z cyfrowego rejestratora, cyfrowego przetwornika pomiarowego lub przy pomiarach „ręcznych".

Podczas wzorcowania wykorzystywana jest częściowo opcja „pomiar". Wyniki wzorcowania są przechowywane w pliku dyskowym. Dane o torze pomiarowym zawierają pełną informację o konfiguracji toru, zakres wzorcowania, współczynnik przeliczania jednostek, współczynniki wielomianu aproksymującego punkty wzorcowania oraz dane statystyczne z uśredniania i aproksymacji.

Podczas wykonywania pomiaru pierwszą czynnością jest przyporządkowanie toru pomiarowego do wybranego kanału pomiarowego. Dalsze wykorzystanie programu zależy od zastosowanego systemu pomiarowego. Wynikiem działania programu jest zbiór zawierający wartości mierzonych wielkości w jednostkach układu SI. Opracowanie wyników przebiega w dwóch etapach: przeliczenie wyników pomiarów bezpośrednich według zadanych procedur oraz ich graficzna obróbka. Procedury obliczeniowe są opracowywane odpowiednio do rozwiązywanego zadania badawczego. Do obróbki graficznej wykorzystywany jest specjalnie opracowany program do sporządzania wykresów lub stosowane są standardowe programy graficzne. Program „wykres" wyznacza również parametry punktu znamionowego i obliczeniowego, charakterystyki bezwymiarowe indywidualne, archiwizuje wyniki pomiarów itp.

6. Podsumowanie

Pierwszym etapem wdrażania systemu komputerowego wspomagania konstruowania jest opracowanie projektu tego systemu. Podstawą opracowania tego projektu powinno być wnikliwe rozpoznanie struktury procesu projektowania maszyny lub urządzenia. Rozpoznanie to powinno dotyczyć zagadnień metodologicznych oraz organizacyjnych.

System cyfrowy komputerowego wspomagania projektowania powinien być łatwy w obsłudze, elastyczny (podatny na zmiany) oraz możliwie szybki. Analiza zakresu wykorzystania elementów systemu cyfrowego wskazuje, że centrum systemu powinna być baza danych, która ostatecznie będzie również wykorzystywana przez inne jednostki organizacyjne przedsiębiorstwa.

W projektowania maszyn przepływowych badanie doświadczalne są ważnym narzędziem projektanta. Projektując system cyfrowy wspomagania konstruowania należy uwzględnić w nim komputerowe wspomaganie badań. W tym zakresie należy dobrać odpowiednie rozwiązanie sprzętowe i opracować spójne dla całego systemu oprogramowanie.

Projekt systemu należy tak opracować, aby było możliwe jego etapowe wdrażanie z równoczesnym rozpoczęciem częściowej eksploatacji. W kosztach

wdrażania systemu, obok kosztów zakupu sprzętu i oprogramowania, przystosowania pomieszczeń, szkolenia pracowników, należy również uwzględnić koszty wynikające z zmniejszenia wydajności biura projektowego wywołane wprowadzanymi zmianami. W kosztach eksploatacji przewidzieć należy między innymi koszty konserwacji oprogramowania.

Prace w zakresie komputerowego wspomagania konstruowania prowadzone w Zakładzie Maszyn i Urządzeń Hydraulicznych mają charakter przyczynkowy. Opracowane oprogramowanie i doświadczenie uzyskane w jego stosowaniu mogą stanowić podstawę do budowy systemu komputerowego wspomagania projektowania pomp. Planuje się dalsze prace, które będą miały na celu opracowanie algorytmów do analizy wyników badań doświadczalnych w świetle wykonywanego zadania konstrukcyjnego oraz stosowanej metody projektowania.

Literatura

1. Deperas Z.: Wprowadzanie CAD, CADCAM FORUM, lipiec–sierpień, 1993.
2. Pahl G., Beitz W.: Nauka konstruowania. WNT, Warszawa 1984.
3. Schachenmann A.: Entwicklungszeit radikal verkurzt, Sulzcr Technical Review, 3, 1996.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Maciej Zarzycki

Wpłynęło do Redakcji: 10. 10. 1996 r.

Abstract

The aplication of computer aided designing of machnes and installations requires system solutions. Only a comprehensive approach to any problem can warrant an essential improvment of design work.

The knowledge of the structure of the process of designing a machine or installation forms the basis for the elaboration of the digital system. The general scheme of the process of designing machine (Fig. 1) has been discussed on the example of impeller pumps. On the stage of specifing a given task of great importance is the adequate presentation of the design. In the case of pump four fundamental tasks have been formulated. The aim of the conceptional design (Fig. 2) is the choice of the kind of pump that is to be designed and specyfication of assumptions and criteria. On the stage of the constructinonal design (Fig. 3) the assembly drawing is prepared and a possibly complete verification of the construction nodes must be carried out.

An important tool in the design of fluid-flow systems are experimental investigations. On the stage of the final design (Fig. 4) the technical documentation, instructions and tests of prototypes are completed.

The digital system (Fig. 5) of computer aided design is to be understood as an integrated set of programmes of the type: data base, artificial intelligence, calculation programmes, graph editors and programmes for cumputer aided measurments. Analysing the range of utilization of the elements of the digital system on the repective stages of designing (Fig. 1), it has been found that on all the stages use is made of the data base. The thesis has been proposed that the data base ought to constitute the centre of the digital system of computer aided design.

In the process of designing fluid-flow machines experimental investigations are an important tools of the designer. The paper discusses the structures of measuring chains, applying a measuring card (Fig. 6), a digital recorder (Fig. 7) and a measuring interface controlled by computer (Fig. 8).

Within the system of computer aided design two packets of calcutation programmes have been developed, viz. to aid the design and the measurements. The programmes may be applied on PC computers in the DOS system. The programmes are operrated interactively (Fig. 9). The calculation results of the main dimensions of a fluid-flow system may be used directly for the edition of drawing in the graph editor (Fig. 10).