

prof. dr hab. inż. Ryszard Vogt  
mgr inż. Robert Głębocki  
Politechnika Warszawska  
Instytut Techniki Lotniczej i Mechaniki Stosowanej  
Warszawa, ul. Nowowiejska 24

## **BADANIE I PROJEKTOWANIE SYSTEMU AUTOMATYCZNEGO STEROWANIA RUCHEM POJAZDÓW I MASZYN ROBOCZYCH.**

*Scharakteryzowano proces projektowania złożonych systemów automatycznego sterowania ruchem pojazdów i maszyn roboczych. Podano etapy i poziomy projektowania. Przedstawiono metody symulacji systemów dla potrzeb projektowania. Koncepcja tej metody oparta jest o taki podział funkcjonalny całej klasy systemów sterowania, który umożliwia jej doskonalenie i rozwój.*

## **RESEARCHING AND PROJECTING OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF VEHICLES AND WORKING MACHINES MOVEMENT.**

*We characterised projecting process of composite automatic control systems of vehicles and working machines movement. Paper explains fazes and levels of projecting. Next presents methods of simulation systems for projecting needs. Conception is based on functional divide of all class control systems, which give them the possibility of developing and research.*

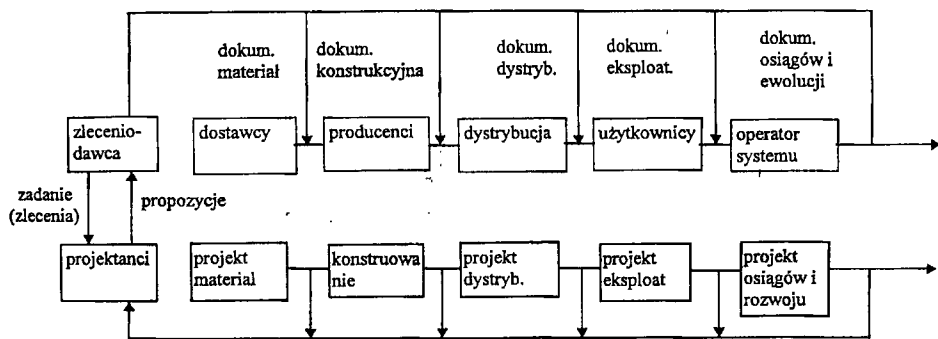
### **1. CHARAKTERYSTYKA PROJEKTOWANIA SYSTEMOWEGO.**

W języku polskim rozróżnia się dwa terminy - projektowanie i konstruowanie. Projektowanie w szczególności systemowe pojmowane jest jako określanie zamierzeń twórczych co do środków służących do uzyskania żądanych zmian w otaczającym świecie. W przypadku sterowania maszyn roboczych będzie to możliwość skuteczniejszego sterowania ruchem w szerszym zakresie możliwych warunków. Projektowanie stanowi więc zespół czynności, których celem jest dobór środków technicznych, ekonomicznych i organizacyjnych i wyznaczenie między nimi takich relacji, aby wytworzony w określonych warunkach umożliwił osiągnięcie celów, w omawianym przypadku, przy nakładach nie wyższych od dopuszczalnych.

Jeżeli automatyczne sterowane, ma przynieść oczekiwany efekt, to projektanci muszą być w stanie zarówno przewidzieć skuteczność działania projektowanego a ściślej konstruowanego środka, jak i wyszczególnić działania niezbędne do osiągnięcia tych efektów. Zadania projektowania zaczynają dotyczyć nie tylko samego produktu jako takiego ale ze względu na złożoność systemów i warunków w jakich działają, w coraz większym stopniu

muszą się koncentrować na zmianach, które muszą wykonać producenci, dystrybutorzy jak i użytkownicy Ten obraz projektowania jako tworzenia długiego łańcucha współzależnych czynności i dokumentacji jest pokazany na rysunku pierwszym.

Jednym z podstawowych elementów w tym procesie jest konstruowanie. Konstrukcją nazywamy abstrakcyjny obraz wytworu. Konstrukcja istnieje więc jako pojęcie abstrakcyjne, wobec czego nie jest wytworem lecz utworem. Konstrukcja jako utwór jest abstraktem niezależnie istniejącym od konkretnego utworu. Konstrukcja istnieje już wtedy, gdy jest wyznaczona cechami konstrukcyjnymi. Fakt ten zostaje uzewnętrzniony w sposób materialny w postaci dokumentacji technicznej. Dokumentacja techniczna musi w sposób jednoznaczny i na tyle dokładny opisywać cechy projektowanego systemu, na ile jest to celowe i konieczne dla jego wytworzenia.



Rys 1. Etapy projektowania.

Projektowanie jest zatem działaniem ogólniejszym od konstruowania i wyprzedzającym konstruowanie, zaś konstruowanie jest jednym z elementów projektowania - podstawowym dla całego procesu projektowania.

Projektowanie jest procesem trudnym zarówno w realizacji, jak i w próbie systematyzacji i opisu. Podstawowy problem polega na tym, że projektanci są zmuszani do korzystania z informacji bieżących, aby przewidywać stan przyszły.

Projektowanie jest złożonym wieloetapowym i wielopoziomowym procesem. W projektowaniu inżynierskim można wyróżnić cztery fazy:

Faza1. Wykonalność. Jej zadaniem jest zebranie informacji i wygenerowanie zbioru koncepcji wykonywalnych.

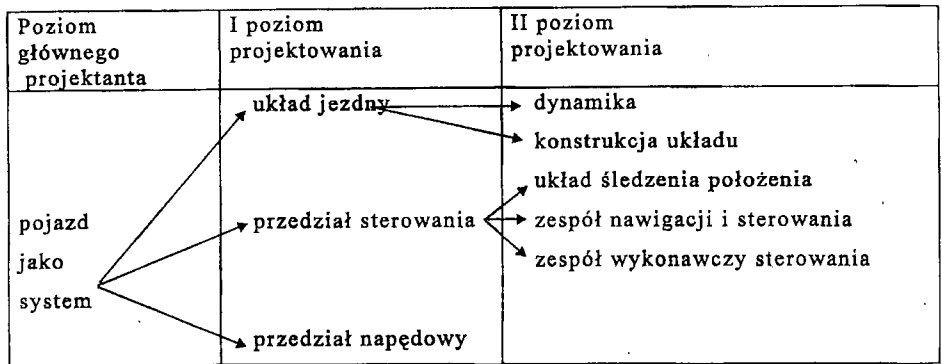
Faza2. Projekt wstępny. Powstaje w wyniku badań mających na celu wybór i opracowanie koncepcji najlepszych z punktu widzenia założeń konstrukcyjnych.

Faza3. Projekt szczegółowy - techniczny systemu i jego elementów to główny inżynierski opis konstrukcji w postaci dokumentacji konstrukcyjnej, a zatem jest to etap konstruowania.

Faza 4. Przystosowanie dokumentacji konstrukcyjnej do następnych po konstruowaniu etapów projektowania tj. do wytwarzania, dystrybucji, eksploatacji oraz opracowania kierunku rozwoju systemu (rys.1.).

Realizacja faz, a w szczególności trzeciej tj. konstruowania odbywa się na wielu poziomach różniących się stopniem szczegółowości opracowanego projektu. Najwyższym poziomem i jednocześnie najogólniejszym, którego zadaniem jest projektowanie całościowe oraz koordynacja prac na niższych poziomach, to poziom głównego projektowania. Przy bardziej złożonych systemach, główny projektant pracuje z zespołem specjalistów reprezentujących wszystkie dziedziny i specjalności niezbędne do wykonania zadania, na wszystkich etapach pracy.

Ilość poziomów zależy od stopnia złożoności wytworu traktowanego jako system, od szczegółowości podziału na elementy - podsystemy oraz organizacji przyjętych prac projektowych. Przy projektowaniu pocisków sterowanych można wyróżnić w systemie następujące zespoły, podzespoły i odpowiednie poziomy projektowania:



Ostateczny wynik projektowania musi być założony z góry, zanim zostaną zbadane środki dla jego realizacji. jeżeli czynności realizacji celów w poszczególnych etapach i fazach, a także na poziomach, napotykają nieprzewidziane trudności, to nie uniknie się kłóżeń w procesie projektowania. Często przy tym zachodzi potrzeba korygowania wyjściowych założeń na mniej efektywne, ale zapewniające zgodność między etapami i realność projektu. To uzależnienie zamierzeń od bardzo szczegółowych decyzji, a ponadto wieloaspektowość i interdyscyplinarność projektowania tak złożonych systemów jak systemy sterowania pojazdów i maszyn roboczych, utrudnia lub nawet uniemożliwia ściśle rozwiązanie problemu oraz jego optymalizację.

Dotyczy to szczególnie dwóch pierwszych faz, gdy powstaje projekt wstępny całości systemu. Wiele decyzji o podstawowym znaczeniu projektanci muszą podejmować w oparciu o analizy przybliżone w których ogromne znaczenie odgrywa doświadczenie, talent, umiejętność przewidywania a nawet intuicja. dotyczy to minn optymalizacji rozwiązań wielokryterialnych uwzględniających

np. osiągi, jakość działania, ekonomiczność, technologiczność, niezawodność itp. cechy systemu.

Jest oczywiste, że cały ten proces projektowania nie będzie należycie funkcjonował, jeżeli decyzje, na podstawie których opracowano koncepcję i opracowano projekt wstępny, okazały się błędne. Jeżeli w trakcie projektowania nawet na najniższym a więc najbardziej szczegółowym poziomie okaże się, że nie jest możliwe uzyskanie wymaganej jakości działania to może wpłynąć to na konieczność zmiany założeń w stosunku do innych elementów lub zrewidowania założeń projektowych całego systemu. Projektant systemu musi więc szukać rozwiązań kompromisowych uwzględniających różnego rodzaju sprzeczności, które tkwią w samych założeniach dotyczących np. kosztu jednostkowego i skuteczności działania czy odpowiedniego rozdziału wymagań w samym systemie.

Ogromne znaczenie dla rozwiązywania tych zadań mają badania systemowe.

## 2. OGÓLNE ZASADY BADAŃ SYSTEMOWYCH.

Badania systemowe odgrywają ważną rolę zarówno przy konstruowaniu systemów automatycznego sterowania ruchem jak i w następnych fazach jego istnienia szczególnie wytwarzaniu i eksploatacji. Znaczenie tych badań jest tym większe, im bardziej złożony jest obiekt zwany systemem, bardziej nowoczesny i niekonwencjonalny w rozwiązaniach. Do takich obiektów należy zaliczyć automatycznie sterowane pojazdy i maszyny robocze, które mimo pozornej prostoty rozwiązań podstawowych ich elementów takich jak: układy pomiarowe, elementy wykonawcze, należą do systemów o najbardziej złożonej dynamice. Systemy te są bardzo wrażliwe na dobór parametrów i uzyskanie wymaganej jakości pracy możliwe jest w bardzo wąskim zakresie wartości parametrów i przy odpowiednich relacjach między poszczególnymi elementami we wszystkich fazach działania.

Właściwości całościowe tak złożonego systemu, nie powstają w wyniku prostego sumowania właściwości jego elementów składowych. W wyniku całej złożoności relacji wewnątrz systemu i między systemem i otoczeniem, we wszystkich fazach działania, powstają właściwości jakościowo różne od właściwości poszczególnych jego elementów. I przede wszystkim tymi całościowymi właściwościami interesuje się użytkownik i są one głównym celem działań projektantów i technologów.

Podstawowymi formami, w których przejawiają się systemowe metody badania we współczesnej nauce są:

- ujęcie systemowe
- wyspecjalizowane teorie systemów (techniczne, psychologiczne, biologiczne itp.)
- ogólna teoria systemów.

W niniejszym opracowaniu preferuje się badanie układów sterowania pojazdów w ujęciu systemowym przy wykorzystaniu metod modelowania. Ujęcie systemowe jest podstawą metodologiczną, ogólną orientacją badawczą i można je odnieść do poziomu ogólnonaukowych zasad i procedur badawczych. Główny akcent kładzie się na badaniu całościowych, integrujących właściwości badanego obiektu, ujawnieniu jego różnorodnych

struktur, relacji zachodzących wewnątrz obiektu jak również między obiektem a resztą Świata zwaną otoczeniem. Ujęcie systemowe w odróżnieniu od wyspecjalizowanych i ogólnej teorii nie przekształciło się w odrębną dyscyplinę naukową, a będąc otwartym zespołem zasad i pojęć metodologicznych może być wykorzystywane w tradycyjnych naukach jako pewne ich ukierunkowanie. Przy definiowaniu systemu w literaturze badań systemowych spotkać się można z imponującą różnorodnością podejść do określenia pojęcia systemu. Różnice te wynikają z charakteru badań systemowych w ramach których wprowadza się to pojęcie, a więc stopnia ogólności badań i stawianych celów jak również metod badań. Dla zdefiniowania systemu sterowania lotem posłużono się najbardziej rozpowszechnionym wyobrażeniem systemu jako całościowego zbioru oddziaływującego na siebie elementów z zachowaniem właściwości określenia cybernetycznego wykorzystującego takie pojęcia jak "wejście", "wyjście", "przetwarzanie informacji", "sterowanie" itp. Przy tym ważnym wyróżnikiem systemu i jego elementów składowych jest stawiany przed systemem cel istnienia lub zadania do wykonania. System automatycznego sterowania ruchem pojazdu może być zdefiniowany jako skoordynowany wewnętrznie i wykazujący określoną strukturę zbiór elementów, którego zadaniem jest wykrycie i wybór celu oraz samonaprowadzanie się do niego:

$$S < E, R >$$

gdzie: E - elementy;

R - relacje między elementami.

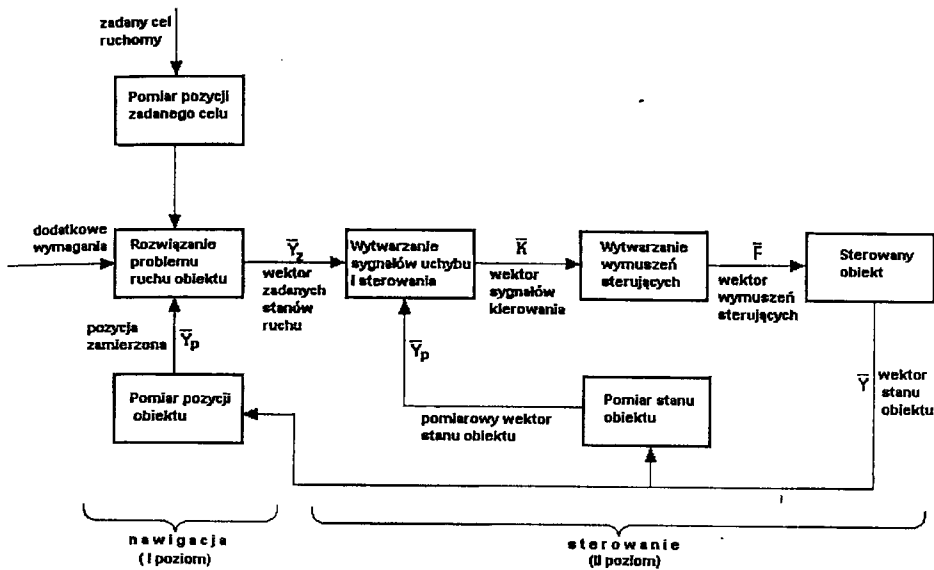
O tym, które z elementów wpływających na proces sterowania zaliczyć do systemu, a które do otoczenia - decyduje charakter relacji i sprzężenie między nimi. Otóż do systemu sterowania pojazdem należy zaliczyć te elementy, które oddziaływując na siebie tworzą zintegrowane, całościowe właściwości systemu realizujące zadany cel i odróżniające go od innych systemów.

Te wewnętrzne systemotwórcze relacje między elementami systemu określają nie tylko jego specyfikę, ale zapewniają względną niezależność, istnienie i funkcjonowanie, a nawet rozwój i doskonalenie systemu. Badając w takim ujęciu właściwości systemu naprowadzania pocisku do celu można przedstawić go w postaci schematu blokowego (rys.2.)

Do otoczenia należy zaliczyć czynniki które wpływają na proces ruchu a nie należą do systemu a mianowicie:

- stan nawierzchni po której porusza się pojazd parametry te mogą się zmieniać w zależności od pory roku i dnia, położenia geograficznego i ogólnych warunków atmosferycznych jak i wraz z przebytą drogą (jazda drogą utwardzoną lub jazda terenowa);
- ukształtowanie terenu zmieniające się wraz z przebytą drogą (jazda w terenie płaskim lub pagórkowatym)

Stopień szczegółowości podziału systemu na elementy składowe jest umowny i może się zmieniać w zależności od zadanych celów badawczych i przyjętej koncepcji rozwiązań tego problemu.



Rys. 2 Ogólny schemat procesu sterowania ruchem obiektu do zadanego celu ruchomego

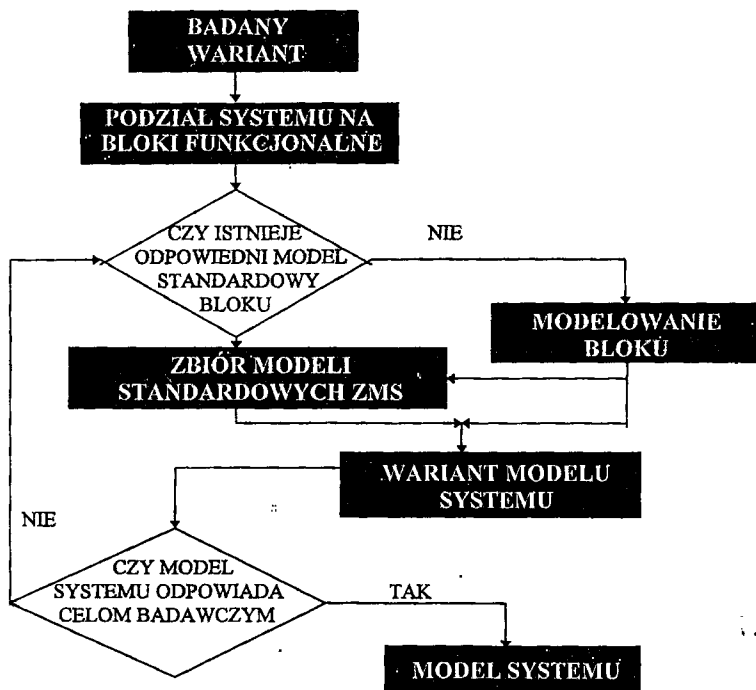
### 3. GŁÓWNE ZASADY PRZYJĘTEJ METODY SYMULACJI

Podstawą opracowanej metody symulacji jest podział badanych systemów na odpowiednie możliwie typowe jednostki funkcjonalno - konstrukcyjne o ujednoczonych - standardowych sygnałach "wejściowymi" i "wyjściowymi". Jednostki te nazwane modułami na schemacie logicznej sieci działań programu symulacji systemu odpowiadają elementom lub blokom na schemacie blokowym (rys.2).

W zastosowanej metodzie badań można wyróżnić cztery etapy:

- 1) Wyodrębnienie w badanych systemach powtarzających się elementów struktur, a w stosowanych procedurach badań powtarzających się elementów operacji badawczych; modele tych elementów - modułów nazwano standardowymi.
- 2) Stworzenie zbioru modeli standardowych
- 3) Budowa modeli systemów z maksymalnym wykorzystaniem zbioru modeli standardowych;
- 4) Ujednoczenie i usystematyzowanie procesu badań symulacyjnych.

Proces budowy modeli do komputerowej symulacji można przedstawić za pomocą schematu (rys.3).



Rys.3. Schemat procesu budowy lub modyfikacji modelu systemu.

Przy stosowaniu metody modularnej do złożonych systemów należy w miarę możliwości zapewnić.

1. Łatwość budowania modeli nowych systemów polega na maksymalnym wykorzystaniu istniejących modeli modułów;
2. Proste nanoszenie zmian liczbowych (wartości parametrów, wartości początkowych) jak i zmian strukturalnych, a w szczególności umożliwienie rozszerzenia elementów składowych systemu;
3. Przyjęcie metody modelowania, która na etapie badań będzie odwoływać się do zawodowych umiejętności badaczy-użytkowników, a tylko w minimalnym stopniu do metod matematycznych;
4. Dla ułatwienia komunikowania się użytkownika z modelem, parametry liczbowe (parametry systemu, wartości początkowe, parametry symulacji), jak również fragmenty modelu (moduły) powinny mieć bezpośrednią interpretację fizyczną;

5. Zapewnienie możliwości włączenia modeli cząstkowych (jako podsystemów) do bardziej złożonych systemów, jak również wykorzystania ich w bardziej złożonych procedurach badawczych np. zautomatyzowanej optymalizacji parametrów.

Rozwój opisanej metody modelowania systemów sterowania lotem idzie w dwóch kierunkach:

1. strukturalnym, którego zadaniem jest rozszerzenie zakresu badanych funkcji systemu oraz uwzględnienie wielowariantowości rozwiązań konstrukcyjnych systemu;
2. parametrycznym, mającym na celu ciągłą identyfikację wartości parametrów systemu (np. aerodynamicznych, dynamicznych, optoelektronicznych itp.) dla zwiększenia ich wiarygodności i dokładności.

Rozwój ten związany jest z postępami prac badawczych i konstrukcyjnych nad opracowywanym systemem. Z jednej strony w miarę tych postępów przed metodami symulacji sterowania są nowe problemy badawcze, a z drugiej wyniki prac projektowych i badań w tym laboratoryjnych elementów systemu, umożliwiają ciągłą weryfikację, doskonalenie i rozwój samych metod symulacji.