

P. 4201/82

prace naukowo-badawcze

Instytutu

Maszyn

Matematycznych

Andrzej ROWICKI

Automated generation of programming for
microprocessor-based automata

Adam FAUDROWICZ

Wspomagane komputerem rozmieszczenie
obiektów na płaszczyźnie

Ryszard ŁUKASZEWICZ

Model dynamiki prac badawczo-rozwojowych

rok XXIV

PRACE Naukowo-Badawcze Instytutu Maszyn Matematycznych
wydane w latach 1977-1981 /nie ponumerowane/

1977

pos. Wrzeszcz Zdzisław: Własności twornika stronicy pamięci holo-
graficznej w maszynie matematycznej

1978

pos. Brzostek-Pawłowska Jolanta: Metoda optymalizacji organizacji
w strukturze zbiorów danych kartotecznych na przykładzie
systemu EXAPT 1 automatycznego programowania obrabiarek

pos. Ekner Jerzy: Analiza technologii otworów z metalizowanymi
ściankami w laminatach epoksydowo szklanych i wybór op-
tymalnych parametrów obróbki

pos. Mokrzycki Wojciech: Analiza cyfrowych metod generacji układo-
wej krzywych drugiego stopnia

1979

pos. Witaszek Jacek: Konstrukcja i optymalizacja analizatorów LR k

pos. Czyżowicz Jerzy: Formalny opis semantyki struktur danych wy-
stępujących w językach programowania

br. Grodzicki Stanisław: Analiza geometrii tras komunikacyjnych
w aspekcie zastosowań techniki komputerowej

1980

br. Jarzabek Stanisław: System automatycznej konstrukcji optymaliz-
atorów dla pewnej klasy języków pośrednich

br. Rowicki Andrzej: Realizacja maszynowa algorytmu planowania ob-
liczeń dla systemów dwuprocessorowych

br. Rowicki Andrzej: Planowanie obliczeń zależnych podzielnych dla
systemów dwuprocessorowych

br. Rowicki Andrzej: Planowanie obliczeń niezależnych podzielnych
dla systemów wieloprocessorowych jednorodnych

br. Łukasiewicz Andrzej: Metoda automatycznej konstrukcji analiza-
tora składniowego dla języków generowanych przez gramaty-
kę afiksową

br. Klimowicz Jan: Logical values in fault test generation

1981

br. Lutoborski Adam: Całkowanie numeryczne w liniowej analizie
powłok metodą elementów skończonych

br. Bień Zofia: O pewnej mierze złożoności języków regularnych

Witkoński SRT division with a normalized divisor (1115)
Majerski Dzielenie liczb binarnych ... 80r



I n s t y t u t M a s z y n M a t e m a t y c z n y c h

p r a c e n a u k o w o - b a d a w c z e
I n s t y t u t u
M a s z y n
M a t e m a t y c z n y c h

Rowicki A: Automated generation of programming for microprocessor-based automata

Faudrowicz A: Wspomagane komputerem rozmieszczenie obiektów na płaszczyźnie

Łukaszewicz R: Model dynamiki prac badawczo rozwojowych

W a r s z a w a 1982

Copyright © 1982 -- by Instytut Maszyn Matematycznych
Poland

Wszelkie prawa zastrzeżone

KOMITET REDAKCYJNY

dr inż. Stanisława BONKOWICZ-SITTAUER

doc. mgr Jan BOROWIEC

mgr Cezary DZIADOSZ /sekretarz redakcji/

doc. dr inż. Jan ŁYSKANOWSKI

doc. dr hab. inż. Stanisław MAJERSKI

doc. dr inż. Henryk ORŁOWSKI /redaktor naczelny/

dr inż. Piotr PERKOWSKI

Opracowanie redakcyjne: mgr Romana NITKOWSKA

Adres Redakcji: Instytut Maszyn Matematycznych
Branżowy Ośrodek INTE
02-078 Warszawa, ul. Krzywickiego 34
tel. 28-37-29 lub 21-84-41 w. 244

Druk IMM zam. 62/82 nakł. 400 egz.

9W 114/83

AUTOMATED GENERATION OF PROGRAMMING
FOR MICROPROCESSOR-BASED AUTOMATA

by Andrzej ROWICKI

The purpose of this paper is to consider a system of programs which represent finite automata. The system of programs for automated generation and programs which represent finite automata are implemented on microprocessor systems. The implemented automata are Mealy ones with programmable delay of the transition to the next states. Description of automata is introduced to the system in conversational manner, i.e. designer of an automaton must respond to a sequence of simple queries generated by the system and concerning inputs, outputs and state transition function. To the conversation with the system no programming experience is needed in any programming languages. The state transition function is specified by a set of the state transition conditions. To describe the state transition conditions input and output variables, logical connectives as OR, AND, NOT, and binary relations as =, ≠, >, >, <, ≤ are used. These binary relations considerably simplify description of automata which can simulate an action of programmable controllers and other devices.

1. INTRODUCTION

The LSI technology was developed in the last few years to the point at which the lowest cost of the microprocessor permits the automation of almost any activity. Especially attractive seems to be an application of microprocessors to logical control of industrial processes to which hardware solutions are used and minicomputers are not used because of cost and not full utilization. Moreover, the low cost of microprocessors allows microprocessor driven systems to be applied for logical control of industrial processes with considerably less than maximum efficiency and not full utilization.

The systems for logical control of industrial processes based on microprocessors are very flexible and their adaptation to new tasks is reduced mostly to reprogramming of memory. The problem of hardware synthesis of the microprocessor based systems is rather simple matter but the problems of software development are as nearly difficult as for minicomputers. Therefore, it is very important to create facilities for automated generation of programming for the microprocessor based logical controllers.

The purpose of this paper is to consider a system of programs which creates the means by which designer of logical controller can easily produce relevant microprocessor software. To produce this software no programming experience is needed in any programming languages. And thus the designer with a background in hardware can easily design logical controller implemented on microprocessor system. More precisely, we shall consider a system of programs for automated generation of programs which represent finite automaton. This system of programs and programs representing finite automata are implemented on microprocessor systems. Obviously, this programs can be implemented on other systems. The implemented automata are Mealy ones with programmable

delay of the transition to the next states. Description of automata is introduced to the system in conversational manner, i.e. the designer of an automaton must respond to a sequence of simple queries generated by the system and concerning inputs, outputs and state transition function. To the conversation with the system no programming experience is needed in any programming languages. The state transition function is specified by a set of the state transition conditions. To describe the state transition conditions input and output variables, logical connectives such as OR, AND, NOT, and binary relations such as =, ≠, >, ≥, <, ≤ are used. The binary relations considerably simplify description of automata which can simulate an action of programmable controllers and other devices.

2. ABSTRACT MODEL

As an abstract model of logical controller we assume Mealy model of synchronous finite-state automaton. In this model we admit programmable delay of the transition to the next states and feedback between the output and input of the automaton as it was depicted on figure 1. Moreover, synchronization should be interpreted in such a way that is allowed to analyse the values of input and output variables only at stated times.

Formally, the model of a logical controller interpreted as Mealy finite-state automaton can be described as a quintuple:

$$\langle X, Y, S, f_s, f_y \rangle$$

where:

X - a finite set of input variables

Y - a finite set of output variables

S - a finite set of state variables

and f_s and f_y are partial functions defined as follows:

$$f_s : 2^X \times 2^Y \times S \rightarrow S$$

$$f_y : 2^X \times 2^Y \times S \rightarrow 2^Y$$

where 2^X and 2^Y denote the set of all subsets of the sets X and Y, respectively.

The function f_s and f_y will be called as usual transition function and output function.

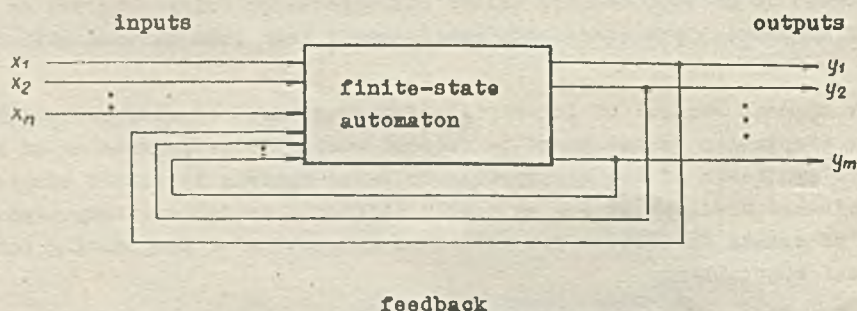


Figure 1. The model of a logical controller

Determination of the functions f_s and f_y on the subsets of the sets X and Y and admitting feedback approaches the structure of the model to real applications which considerably simplifies description of the controller and ensures conciseness of description. On the other hand, admitting programmable delay of the transition to the next states increases scope of pos-

sible applications. For the sake of applications, we extend range of input and output variables on natural numbers and admit some operations on this variables which are connected with introducing some types of inputs and outputs.

We distinguish the following types of inputs and outputs:

- recording - making topical the value in the course of sending new information
- additive - adding new value in the course of sending new information

In connection with introducing the types of inputs and outputs the following operations on variables are admissible:

- setting new value
- adding new value
- erasing /setting to zero/

Moreover, with each input and output the so called "threshold" is associated, that is, if the value of variable is greater than threshold then the value of variable is automatically set to zero.

We distinguish the following types of states:

- with instantaneous transition to the next state,
- with programmable delay of the transition to the next state.

Obviously, the delay is the only one operation admitted on states and values of delay can take discrete values in relevant scale of time.

An extension of the range of inputs and outputs variables on natural numbers allows us to use the description of relations between inputs, outputs and states, that is, description of output conditions and next state conditions not only Boolean operations such as

disjunction, conjunction, negation

but also binary relations such as

=, ≠, >, >, <, <

It should be noted that making use of arithmetical operations is not permissible /addition, subtraction, multiplication, division and so on/.

Admitting binary relations in addition to Boolean operations considerably increases flexibility of construction and description of a model and approaches the construction of a model to real applications.

3. GENERATION OF PROGRAMMING

To automatic generation of programming some informations are needed concerning the description of action of the controller. More precisely, an algorithm for control of a process in question is needed. The algorithm for control of a process is specified by the designer. It is assumed, that the designer of a controller in majority of cases possesses no knowledge of any programming languages or possesses no satisfactory experience in any programming languages to make a program of an algorithm for control of a process. For this reasons, it seems to be not purposeful to work out appropriate formal languages for description of algorithms for control of processes or choosing for this purpose some of known programming languages.

The task of a designer is to specify an algorithm for control of a process which is reduced to stating the rules of action for controller in the form of a flow-chart or state-diagram. A state-diagram characterizes a controller as an asynchronous sequential machine having a finite number of states. For this reasons, a state-diagram seems to be better fitting to a model of controller which we have introduced.

A state-diagram or a flow-chart can be treated as a labeled directed graph. There are known various methods of a state-diagram description by means of matrices and tables of transition

functions. The above methods, in general, require filling up positions of matrix or a table also in the case where between vertices of the graph there exists no arc. From the reasons given above this methods require filling up a great number of positions and therefore are in little legible. On account of simplicity and a small number of information needed it seems that the description of a graph based on giving for each vertex its immediate successors and transition conditions to the next states is the most predistinated to description and implementation of an algorithm for control of a process. In this connection we assume that for implementation of an algorithm for control of a process we shall use description consisting in specifying for each vertex all its immediate successors, transition conditions to the next states, output conditions and outputs.

From the point of view of the designer the controller is a black box as it was depicted on figure 1. Therefore the algorithm must be described in terms consistent with the model which we have introduced, i.e. it ought to be described by means of relations holding between input variables x_1, \dots, x_n , states S_1, \dots, S_k and output variables y_1, \dots, y_m . Syntactical description of the algorithm is given by a sequence of n-tuples /a sequence of signs contained in brackets $\langle \rangle$ / as follows:

\langle label of the state S_1 , its status, number of immediate successors of the state S_1 : transition conditions to the state S_{1_1} , label of the state S_{1_1} , output conditions and outputs for the state S_{1_1} ; ... ; ... ; transition conditions to the state S_{1_n} , label of the state S_{1_n} , output conditions and outputs for the state S_{1_n} ; \rangle

where the set of states $\{S_{1_1}, \dots, S_{1_n}\}$ is the set of immediate successors of the state S_1 .

Description of the algorithm is finished if for each state a sequence $\langle \dots : \dots ; \dots ; \dots ; \rangle$ is given, constructed like for the state S_1 .

In order to make easier introducing a description of the algorithm to the system generating programming for the controller we assume that the syntactical description of the algorithm and additional information are introduced to the system in conversational manner by inquiring, i.e. the designer of a controller must respond to a sequence of simple queries generated by the system and concerning inputs, outputs and state transition function. The designer will be informed whether the answer has been accepted or not. If the answer has not been accepted, than messages informing about reasons will be given.

In the case where the algorithm is introduced by conversational manner to the dialogue between the designer and the system is as follows:

1. Initial condition :

- 1.1. give the number of states :
- 1.2. give the number of inputs and its status :
- 1.3. give the number of outputs and its status :

2. Description of the algorithm :

- 2.1. give the label of the state S_1 , its status and the number of its immediate successors :
- 2.2. give the consecutive transition conditions to the state S_{1_j} :
- 2.3. give the label of the state S_{1_j} :
- 2.4. give the consecutive output $S_{1_j}^j$ conditions and generated outputs for the state S_{1_j} :

3. Messages :

- 3.1. acceptation of answers
- 3.2. signalization and localization of faults
- 3.3. completion with indication of position.

For every state the queries 2.2, 2.3. and 2.4 are repeated until the answers for all successors of the state determined in the point 2.1 are exhausted. Next, the query 2.1 is gene-

rated. If all states declared in the point 1.2 are described then inquiring is finished. The dialogue between the designer and the system can be presented as it was depicted on figure 2.

Syntactical description of the algorithm is the base for automatic generation of programs simulating the action of finite automaton which represents the model of the controller. This description is not convenient as a starting point to synthesis of programs simulating the action of finite automata. The language for description of algorithms and its syntax are chosen in such a way so as to provide facilities for using by designer.

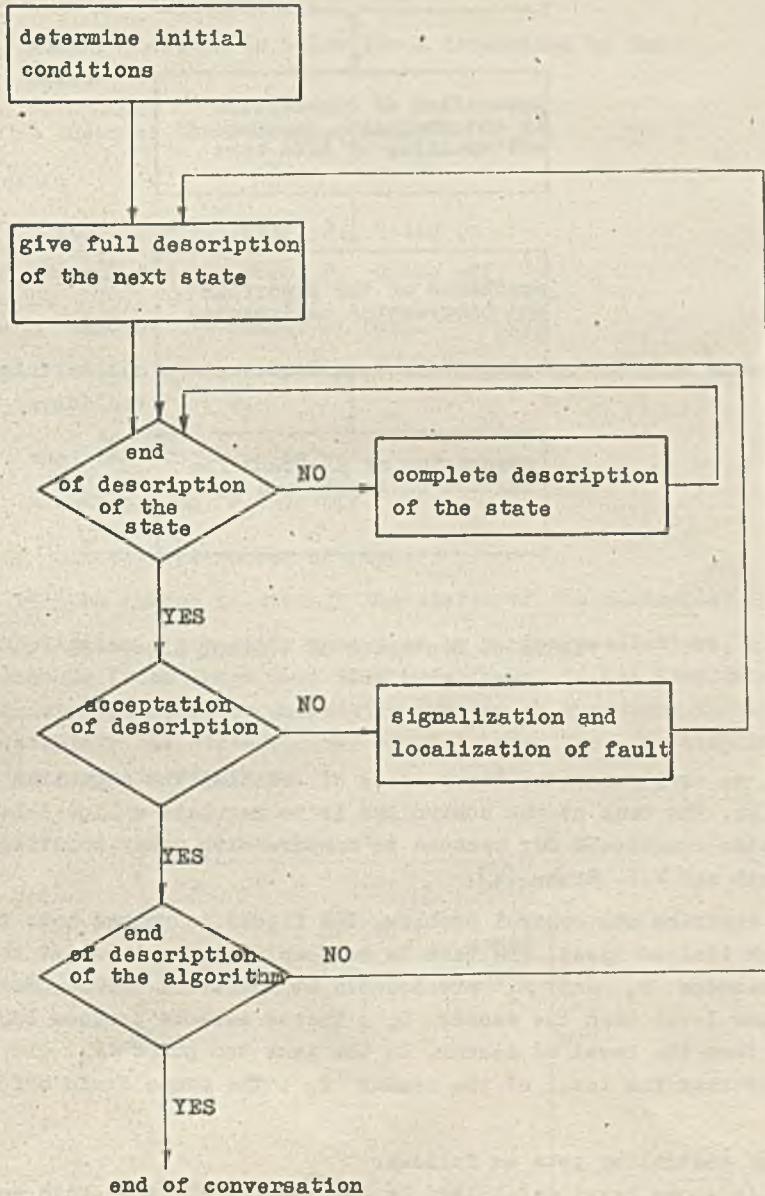


Figure 2. The dialogue between the designer and the system

Therefore, in order to simplify synthesis of a program syntactical description is translated into some intermediate language. The process of automatic generation of programming for a controller can be presented as it was depicted on figure 3.

The system of programs for automated generation of programming for logical controller is destined for implementation on microprocessor system based on Intel 8080. Hardware solution of logical controller is also based on Intel 8080.

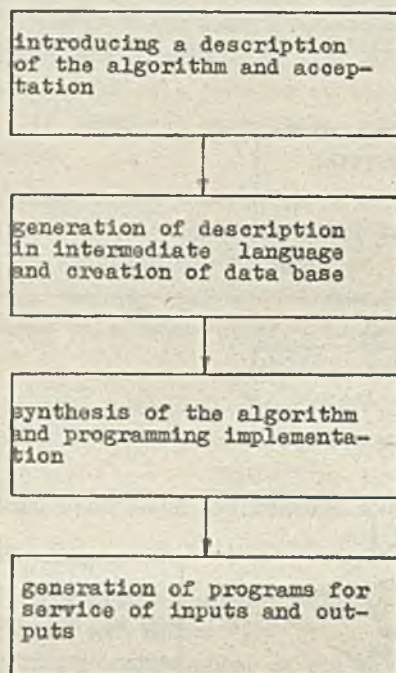


Figure 3. Synthesis of control algorithm

4. AN EXAMPLE

As an example, we shall consider the process of creating the algorithm description for a simple controller. The task of the controller is to regulate a liquid-level in a tank. This example is also considered for reasons to compare with other solution of this problem given by W.C. Pratt and F.M. Brown [1].

Now, we shall describe the control problem. The liquid is poured into the tank in stochastic manner but with limited speed. The task is to keep a stable level of the liquid in the tank. In the tank two sensors C_1 and C_2 are located at different levels. The sensor C_2 is located at the higher level than the sensor C_1 . Theses sensors produce logical signals if the liquid is higher than the level of sensor. In the tank two pumps P_1 and P_2 are located at the level lower than the level of the sensor C_1 . The pumps drain off the liquid from the tank.

The liquid tank controller acts as follows:

1. If the liquid is above level determined by the sensor C_2 then both pumps are to be on.
2. If the liquid is below level determined by the sensor C_1 then both pumps are to be off.
3. If the liquid is between levels determined by the sensors C_1 and C_2 then one of the pumps is to remain on. This is the pump which is on first when the liquid rises above level determined by the sensor C_1 .
4. If the cycle of control is finished then the sequence of the pumps being on changes, i.e. if the liquid in the next cycle of control is above level determined by the sensor C_1

then another pump is to be on than in previous cycle.

To generate the programming for controller the description of the algorithm for control of a process in terms of state-diagram is needed. In order to facilitate the description of the algorithm we introduce the following variables:

Input variables: x_1, x_2

$$x_i = \begin{cases} 1 & \text{when the liquid is above level determined by the sensor } C_i \\ 0 & \text{when the liquid is below level determined by the sensor } C_i \end{cases}$$

for $i = 1, 2$, where i denotes the number of sensor.

Output variables: y_1, y_2

$$y_j = \begin{cases} 1 & \text{command for the pump } P_j \text{ being on} \\ 0 & \text{command for the pump } P_j \text{ being off} \end{cases}$$

for $j = 1, 2$, where j denotes the number of pump.

For the sake of simplification of description of the algorithm and more natural implementation we introduce auxiliary variables: P_1, P_2

$$P_i = \begin{cases} 1 & \text{when the pump } P_i \text{ is on} \\ 0 & \text{when the pump } P_i \text{ is off} \end{cases}$$

for $i = 1, 2$, where i denotes the number of pump.

Auxiliary variables will be needed to specify the states of the controller.

If we assume some simplifying assumptions justified by hardware solutions, i.e. if we assume that response time of sensors is so short that they never begin to act simultaneously and efficiency of pumps is so great that suffices successive putting on the pumps instead of simultaneous one, then we can simplify the state-diagram of the controller. The simplified state-diagram of the controller is given in figure 4.

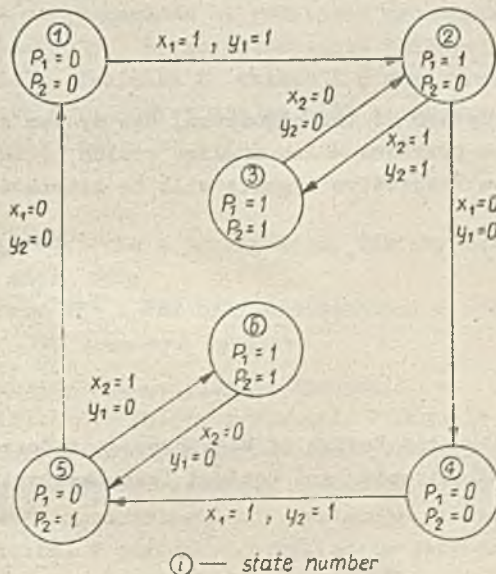


Figure 4. The state-diagram of the controller

The state-diagram given in figure 4 is not only the one possible description of the action of the controller. It is possible to choose other states which cause that the other number of states is contained in the state-diagram and transition conditions are varied. States and variables used to the description of the controller are selected in such a way so as to fit the best to intuition connected with action of the controller.

Now we shall give description of the action of the controller in a language which is accepted by the system of programs for automated generation of programming for controllers. This description will be based on the state-diagram given in figure 4.

Initial conditions:

number of states: 6, status - no delay
number of inputs: 2, status - recording
number of outputs: 2, status - recording

Description of the algorithm:

- < 1,1 : $x_1 = 1, 2, y_1 = 1$; >
- < 2,2 : $x_1 = 0, 4, y_1 = 0$; $x_2 = 1, 3, y_2 = 1$; >
- < 3,1 : $x_2 = 0, 2, y_2 = 0$; >
- < 4,1 : $x_1 = 1, 5, y_2 = 1$; >
- < 5,2 : $x_1 = 0, 1, y_2 = 0$; $x_2 = 1, 6, y_1 = 1$; >
- < 6,1 : $x_2 = 0, 5, y_1 = 0$; >

In description of the algorithm, the status of states is omitted intentionally and binary relations are used. Of course, to describe the algorithm the Boolean variables can be used. In this case description of the algorithm has the following form:

- < 1,1 : $x_1, 2, y_1$; >
- < 2,2 : $\bar{x}_1, 4, \bar{y}_1$; $x_2, 3, y_2$; >
- < 3,1 : $\bar{x}_2, 2, \bar{y}_2$; >
- < 4,1 : $x_1, 5, y_2$; >
- < 5,2 : $\bar{x}_1, 1, \bar{y}_2$; $x_2, 6, y_1$; >
- < 6,1 : $\bar{x}_2, 5, \bar{y}_1$; >

After introducing the description of the algorithm, the system of programs for automated generation of programs produces programs which realize action of the controller, i.e. to control operation of the pumps the respective signals will be generated depending on the indications of the sensors.

References

[1] PRATT W.C., BROWN F.M.: Automated Design of Microprocessor-Based Controllers, IEEE Transactions on Industrial Electronics and Control Instrumentation, August 1975, vol. IECI - 22, no.3, pp. 273-279

W pracy opisano sposób zagospodarowania powierzchni za pomocą metody opartej na modelu elektrycznym. Opisano zasady metody, omówiono przykłady oraz wskazano możliwości jej zastosowania w różnych dziedzinach techniki.

1. WSTĘP

Problem właściwego zagospodarowania płaszczyzny występuje w wielu dziedzinach techniki. Jeżeli np. z arkusza blachy trzeba wyciąć szereg konkretnych, lecz różnych kształtów, to odpowiednie ich rozmieszczenie powoduje minimalizację strat na odpady. Jednym ze sposobów optymalnego rozmieszczenia jest metoda oparta na modelu elektrycznym. Jej podstawy teoretyczne zawarte są w pracach [3, 4, 5, 20]. Prace te dotyczą podziału prostokąta na mniejsze prostokąty, oraz pokazują związek pomiędzy zagadnieniem podziału a specyficzną interpretacją geometryczną właściwości układów elektrycznych.

Wyniki tych rozważań zostały wykorzystane dopiero niedawno, głównie przy projektowaniu układów scalonych [7, 11, 12, 13, 14, 17, 18, 19].

Celem niniejszego artykułu jest przedstawienie sposobu podziału prostokąta metodą modelu elektrycznego i podanie sugestii odnośnie innych zastosowań. Artykuł dotyczy więc rozmieszczenia prostokątnych obiektów o polach powierzchni P_i we wnętrzu większego prostokąta o polu powierzchni P , przy czym

$$P = \sum_1 P_i$$

Kształty, czyli wydłużenia^{*/} wszystkich prostokątów oraz ich wzajemne sąsiedztwo mogą /choć nie muszą/ być określone wcześniej. Aby nie ograniczać się do zawilich rozważań teoretycznych, metoda rozmieszczenia zostanie przedstawiona na podstawie prościutkiego przykładu projektowania willi lub mieszkania. Założmy więc, że rozmieszczeniu podlegają następujące obiekty: trzy pokoje P_1, P_2, P_3 , kuchnia K , łazienka L , ubikacja U oraz przedpokój. Ponadto chcemy aby:

- przedpokój miał kształt dwóch stykających się ze sobą prostokątów PR_1 i PR_2 ,
- następujące pomieszczenia sąsiadowały ze sobą:
 - łazienka z ubikacją
 - pokoje P_1 i P_2
- wszystkie pomieszczenia były dostępne z przedpokoju, tzn. aby sąsiadowały z PR_1 lub z PR_2
- kuchnia i wszystkie pokoje miały okna
- wszystkie pomieszczenia oprócz PR_1 i PR_2 były prostokątami o wydłużeniu możliwie bliskim 1,2.

Wydłużenie prostokątów PR_1 i PR_2 może być dowolne.

Wymagania a. i b. będą nazywane obligacyjnymi. Wymaganie c. będzie dalej nazywane alternatywnym, bowiem można je zrealizować wieloma sposobami. Wymaganie d. będzie dalej nazywane wymaganie położenia zewnętrznego - okna muszą przecież wychodzić na zewnątrz. W wymaganie tym można również żądać określonej kolejności ułożenia elementów zewnętrznych. W omawianym przykładzie ta część wymaganie położenia zewnętrznego nie występuje. I wreszcie wymaganie e. będzie dalej nazywane wymaganie kształtu. W omawianym przykładzie jest ono bardzo proste, jednak w ogólności dla każdego elementu można żądać innego wydłużenia.

^{*/} wydłużeniem nazwano stosunek boków prostokąta: większego do mniejszego

Sąsiedztwa obligacyjne i alternatywne nie są oczywiście wszystkimi możliwymi do zrealizowania - kuchnia i P3 też przecież mają jakichś sąsiadów. Takie sąsiedztwa będą dalej nazywane realizacyjnymi.

Relacje sąsiedztwa najłatwiej przedstawić w postaci grafu. Przypisując każdemu elementowi węzeł, a każdemu sąsiedztwu krawędź, otrzymuje się graf sąsiedztwa. Jeżeli ma on przedstawiać sytuację dającą się zrealizować, to oczywiście musi to być graf planarny.

Proces projektowania, który szerzej będzie omówiony w dalszej części artykułu, zaczyna się od skonstruowania takiego grafu. Jest to graficzne przedstawienie postawionego zadania. Pomimo że w tej chwili wydaje się to oczywiste, należy podkreślić, że w tym przedstawieniu rozmieszczonym elementom odpowiadają węzły grafu. Dlatego graf taki będzie dalej nazywany grafem reprezentacji węzłowej. Problem konstrukcji takiego grafu będzie szerzej omówiony w punkcie 3. Natomiast w punkcie 2 przedstawiona zostanie inna reprezentacja - krawędziowa, w której elementowi odpowiada krawędź grafu. W punkcie tym omówiony będzie również związek takiego grafu z pewną klasą układów elektrycznych prądu stałego, oraz z jeszcze inną interpretacją graficzną układów elektrycznych. Punkt 2 stanowi sedno opisu metody projektowania rozmieszczania elementów na płaszczyźnie, która jest tematem niniejszego artykułu.

W punktach 4,5,6 przedstawiono szczegółowo sposób postępowania przy rozmieszczeniu elementów metodą modelu elektrycznego.

2. GRAFICZNA REPREZENTACJA UKŁADU ELEKTRYCZNEGO

Przedstawiona w tym punkcie geometryczna interpretacja własności układu elektrycznego jest modelem myślowym pozwalającym na opracowanie algorytmu rozmieszczania elementów, których natura jest dla algorytmu obojętna. Zrozumienie tej interpretacji jest podstawą zrozumienia algorytmu.

Rozważmy prosty układ elektryczny prądu stałego, pokazany na rysunku 1a. Źródło napięciowe o napięciu U_0 zasila odbiornik o oporności R . Prąd elektryczny płynący przez obwód ma więc natężenie

$$I_0 = U_0/R \quad /1/$$

a moc wydzielająca się w odbiorniku

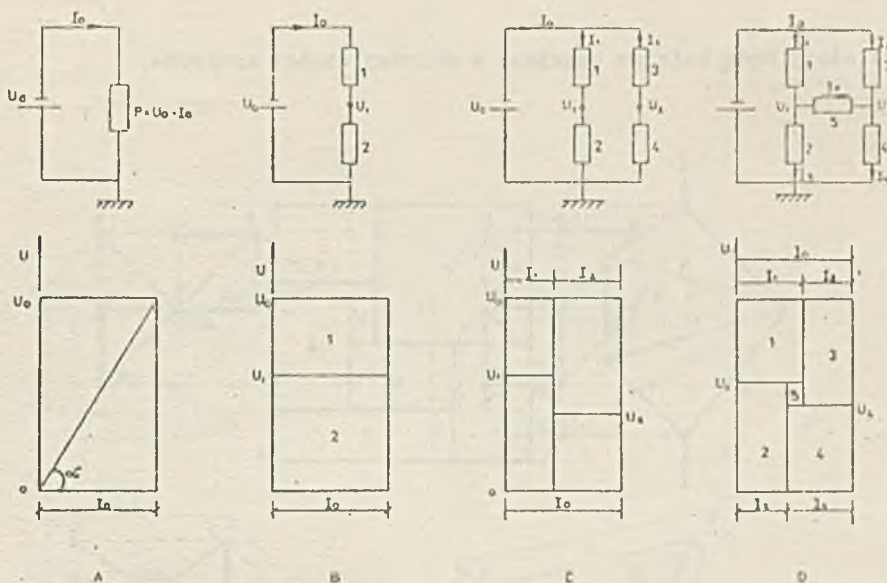
$$P_0 = U_0 \cdot I_0 \quad /2/$$

Geometryczna interpretacja właściwości obwodu elektrycznego polega na wykorzystaniu formalnej identyczności wzoru /2/ z wzorem na pole powierzchni prostokąta. Dlatego właśnie sytuację w obwodzie można przedstawić w postaci prostokąta pokazanego w dolnej części rysunku 1a: mocy wydzielającej się w odbiorniku odpowiada pole powierzchni prostokąta, a oporności odbiornika odpowiada tangens kąta α , jaki tworzy przekątna prostokąta z podstawą. Należy zwrócić uwagę na słowo "odpowiada". Nie użyto zwrotu "jest równy", ponieważ w grę wchodzi tu jeszcze sprawa skali. A chodzi tu o dwie skale: skalę, w jakiej jednostka długości w pionie odpowiada jednostce napięcia i skalę, w jakiej jednostka długości w poziomie odpowiada jednostce natężenia prądu. Trzeba jeszcze zauważyć, że w pionie występuje oś liczbowa potencjału; napięcie, czyli wysokość prostokąta jest po prostu różnicą potencjałów z obu stron odbiornika. Powiązania takiego nie ma w poziomie; natężenia prądu nie można interpretować jako różnicy dwóch wielkości i dlatego w poziomie nie ma osi liczbowej. Ponieważ wielkości natężenia prądu odpowiada szerokość podstawy prostokąta, nasuwa się tu porównanie ze skalą na mapie, a nie z osią liczbową.

Jeżeli układ elektryczny składa się z liczby elementów n większej od jedności, to każdemu z nich odpowiada prostokąt o podstawie I_i oraz wysokości U_i , gdzie

$$i = 1, 2, \dots, n$$

jest numerem elementu.



Rys.1 Mocowo-graficzna interpretacja własności układu elektrycznego

Oczywistym jest, że moc dostarczana do układu ze źródła jest równa sumie mocy wydzielających się na poszczególnych elementach układu

$$P_o = I_o U_o = \sum_1 I_1 U_1$$

131

Z prawa zachowania energii wynika więc, że suma pól powierzchni prostokątów odpowiadających poszczególnym elementom jest równa polu powierzchni dużego prostokąta.

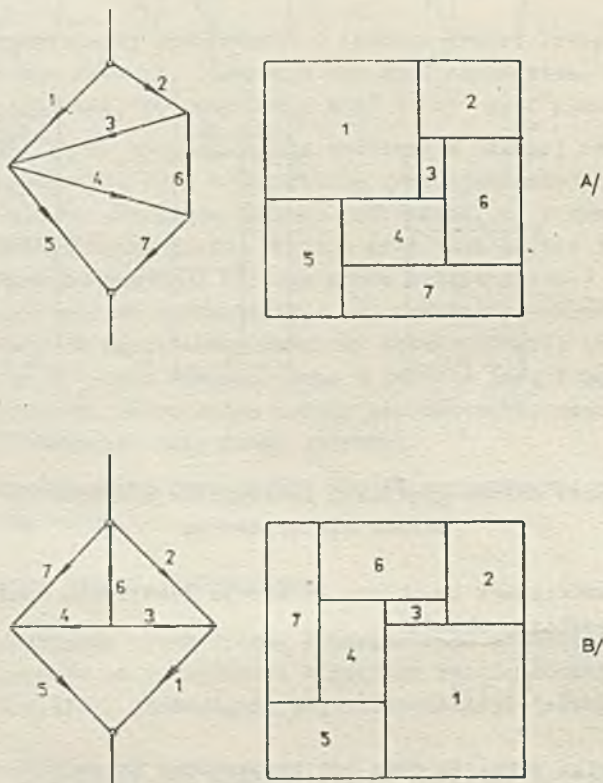
Sposób ich rozmieszczenia jest jednoznacznie określony przez stan układu. Położenia poziomych boków prostokątów odpowiadających elementom, określone są jednoznacznie przez wartości potencjałów na końcach tych elementów. Aby wyznaczyć położenia boków pionowych, trzeba jeszcze raz omówić rysunek 1. Został on sporządzony dla klasy układów elektrycznych, których schematy można narysować bez przecięć, to jest dla układów planarnych. Tylko dla takich układów prostokąty odpowiadające elementom mieszczą się wewnątrz dużego prostokąta bez luzów i nałożań [3, 4, 5]. Ale planarność jest cechą grafu. Konstruując więc graf, którego węzły odpowiadają węzłom układu elektrycznego, a krawędzie opornikom i badając jego planarność, można stwierdzić, czy dokładne upakowanie prostokątów jest możliwe.

Graf taki jest oczywiście wspomnianym już grafem reprezentacji krawędziowej rozłożenia prostokątów. Posługując się tym grafem można również wyznaczyć położenia pionowych boków prostokątów. W pracach [3,4] udowodniono, że układowi elektrycznemu, którego graf jest grafem dualnym względem grafu układu pierwotnego, odpowiada układ prostokątów będący obroceniem pierwotnego układu prostokątów dookoła przekątnej. Szczegóły wyjaśnia rys.2. Na rysunku tym oba grafy są grafami skierowanymi. Strzałki pokazują kierunki prądów płynących w układach elektrycznych, którym te grafy odpowiadają [12].

Proces postępowania przy projektowaniu rozkładu elementów na płaszczyźnie jest już teraz widoczny:

1. Konstruowanie planarnego grafu sąsiedztwa w reprezentacji węzłowej.
2. Konstruowanie planarnego grafu reprezentacji krawędziowej.
3. Konstruowanie układu będącego elektrycznym modelem zadania projektowego i wyznaczenie rozkładu prostokątów.
4. Jeżeli rozkładów prostokątów jest więcej niż jeden - wybranie najlepszego rozwiązania.

Wszystkie te etapy będą kolejno omawiane w dalszej części artykułu.



Rys.2 Sposób wyznaczania położenia prostokątów
 a. graf pierwotny i odpowiadający mu układ prostokątów
 b. graf dualny i odpowiadający mu układ prostokątów

3. PLANARNY GRAF SĄSIĘDZTWA REPREZENTACJI WĘZŁOWEJ

Postępowanie przy konstrukcji planarnego grafu reprezentacji węzłowej jest następujące: Najpierw należy ustalić które elementy mają być elementami zewnętrznymi oraz ustalić ich kolejność. Aby ustalenie to zachowało się w dalszej części konstrukcji grafu, węzły odpowiadające elementom zewnętrznym łączy się ze sobą w ustalonej kolejności, a poza tym wszystkie łączy się z dodatkowym węzłem zewnętrznym [17]. Węzeł ten oraz krawędzie łączące go z węzłami odpowiadającymi elementom zewnętrznym będą dalej nazywane częścią dodatkową grafu reprezentacji węzłowej.

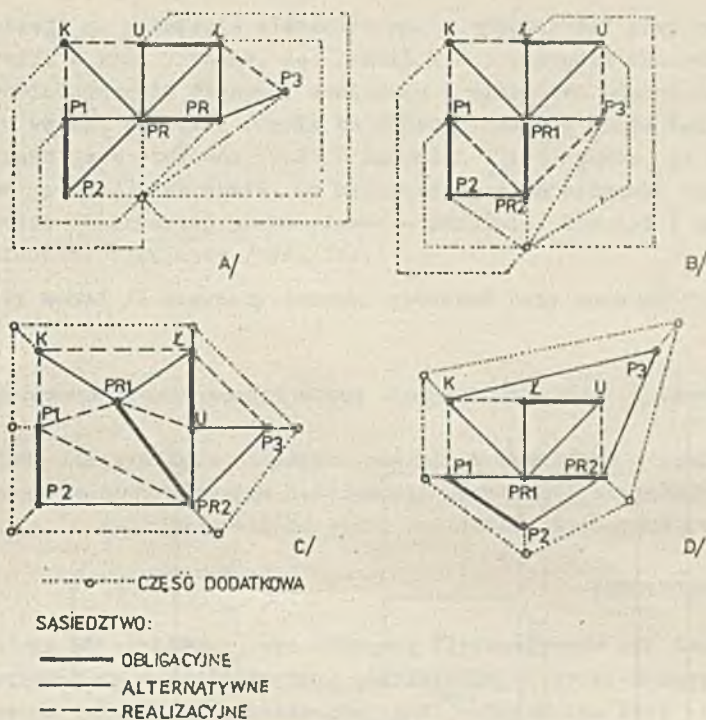
Niech n_z oznacza liczbę węzłów /zwanych dalej węzłami zewnętrznymi/ odpowiadających elementom zewnętrznym. Węzły te można ułożyć w cykl $(n_z - 1)!$ sposobami. Nie można twierdzić, że we wszystkich tych przypadkach uda się skonstruować planarny graf sąsiedztwa, gdyż zależy to od pozostałych wymagań projektowych /punkt 1/, ale w ogólności jest to możliwe.

Należy zwrócić uwagę, że wymaganie położenia zewnętrznego nie mówi nic o elementach, które nie muszą być zewnętrznymi. Mogą więc one być zewnętrznymi, nie być nimi lub tylko część z nich może być elementami zewnętrznymi. Daje to

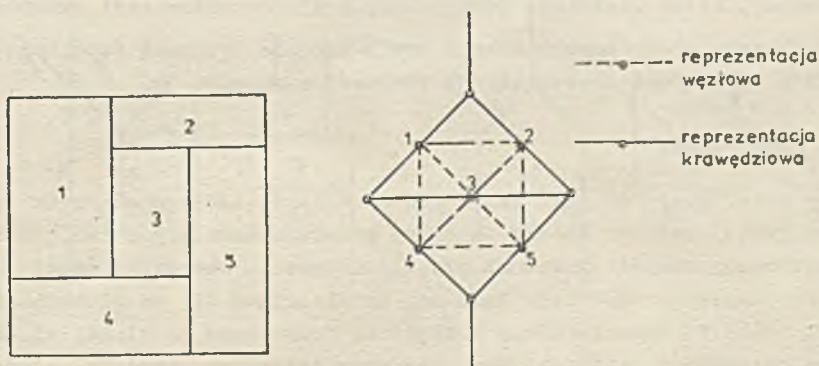
$$(n_z - 1)! (n - n_z - 1)!$$

/4/

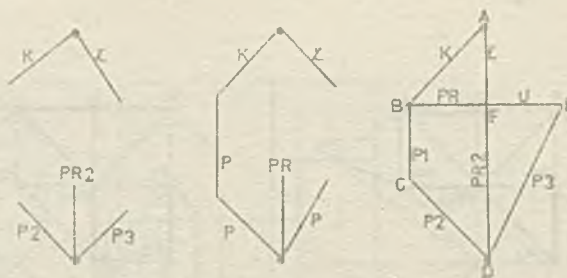
możliwości.



Rys. 3 Grafy reprezentacji węzłowej
 a. wszystkie elementy zewnętrzne
 b. jeden element wewnętrzny
 c. dwa elementy wewnętrzne
 d. trzy elementy wewnętrzne
 Pokazano dwa sposoby konstrukcji części dodatkowej



Rys. 4 Korelacja między grafami reprezentacji węzłowej i krawędziowej



Rys. 5 Etapy konstrukcji grafu reprezentacji krawędziowej

Na rys. 3 pokazano cztery z możliwych wariantów, będących realizacjami grafu sąsiedztwa dla przykładu omawianego w punkcie pierwszym. Rysunek ten wyjaśnia również sposób konstrukcji grafu. W dalszej części artykułu część dodatkowa grafu będzie pomijana.

4. GRAF REPREZENTACJI KRAWĘDZIOWEJ

Korelację między grafami obu reprezentacji pokazuje rys. 4. Widać, że grafowi reprezentacji krawędziowej można w sposób łatwy i jednoznaczny przyporządkować graf reprezentacji węzłowej. Przejście odwrotne nie jest ani banalne, ani jednoznaczne /choćby ze względu na dualność/.

Konstruując graf reprezentacji krawędziowej należy zauważyć, że prostokąty zewnętrzne przylegające do granic poziomych są odpowiednikami krawędzi połączonych z węzłami zasilającymi /rys.1/. Prostokąty zewnętrzne przylegające do granic pionowych są odpowiednikami krawędzi zewnętrznych nie połączonych z węzłami zasilającymi. Dlatego konstrukcję grafu należy zacząć od ustalenia tych węzłów i narysowania we właściwej kolejności połączonych z nimi krawędzi /rys.5/. Potem należy dorysować pozostałe krawędzie zewnętrzne i wreszcie wypełnić wnętrze grafu. Żądane sąsiedztwo dwóch elementów zostanie zapewnione, jeśli odpowiadające im krawędzie będą miały wspólną ścianę. Niestety, taka konstrukcja nie zawsze jest możliwa. W następnym punkcie podano jeszcze dwie reguły, które ułatwiają konstrukcję grafu reprezentacji krawędziowej.

Na rys. 5 pokazano etapy konstruowania grafu zgodnie z regułą wspólnego węzła i wspólnej ściany. Odpowiada on grafowi reprezentacji węzłowej z rysunku 3b.

5. ELEKTRYCZNY MODEL GRAFU

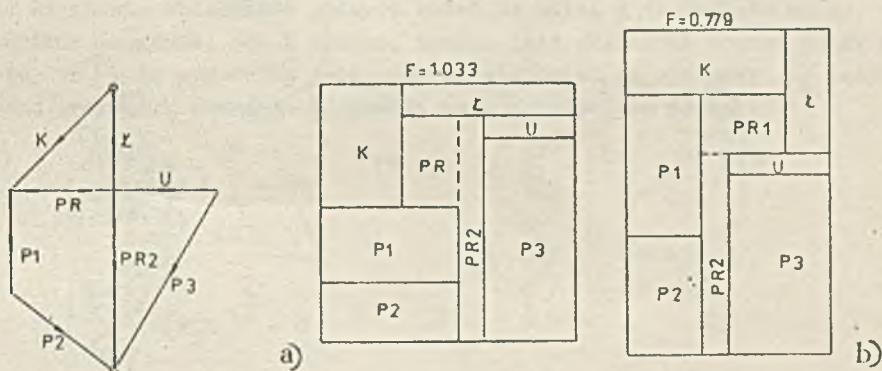
Elektryczny model grafu to taki układ prądu stałego, którego elementy /rezystory/ odpowiadają krawędziom grafu /rys.1/. Będzie on dalej przedstawiany w postaci grafu skierowanego /rys. 2/, przy czym strzałka oznacza kierunek przepływu prądu w obwodzie. Będzie to również graf ważony, gdyż każdej krawędzi odpowiada inna moc wydzielająca się na odpowiadającym jej rezystorze układu - modelu. Wagi są poszczególnym krawędziom przypisane na stałe, ale skierowania mogą być różne. Ponieważ orientacja jest odbiciem kierunków przepływu prądów w układzie - modelu, jej ograniczenia wynikają z praw Kirchoffa i są następujące:

- Istnieje jeden taki węzeł zasilający zwany źródłem, z którego prądy mogą tylko wypływać.
- Istnieje jeden taki węzeł zasilający zwany zlewem, do którego prądy mogą tylko wpływać.
- Zorientowany graf reprezentacji krawędziowej musi być acykliczny.

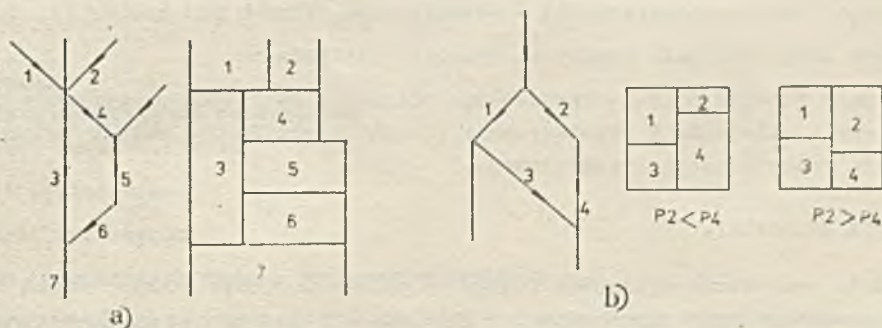
Ograniczenia te pozostawiają jednak sporo pola do manewru. Tak np. krawędź PR1 grafu z rys. 5 może być skierowana w obie strony. Orientacje te oraz odpowiadające im rozkłady pokazano na rys. 6. Podobnie w grafie pokazanym na rys. 2a krawędzie 3 i 4 mogą być skierowane w obu kierunkach. Ponieważ jednak orientacja: 3 - w prawo, 4 - w lewo daje cykl zorientowany z krawędzi 3-4-6, więc orientacja taka jest niedozwolona.

Wpływ orientacji na położenie elementów można wykorzystać przy konstrukcji grafu reprezentacji krawędziowej. Z rys. 7 widać, że: jeżeli $k - 1$ krawędzi skierowanych jest do /od/ wężła rzędu k , to odpowiadające im elementy sąsiadują z elementem odpowiadającym krawędzi skierowanej od /do/ tego wężła. Ponieważ reguła ta dotyczy również grafu dualnego, więc: jeżeli ściana grafu jest otoczona przez k krawędzi w ten sposób, że $k - 1$ krawędzi skierowanych jest lewo /prawo/ - skрэtnie, to odpowiadające im elementy sąsiadują z elementem odpowiadającym krawędzi skierowanej prawo /lewo/ - skрэtnie. Również i wagi przypisane krawędziom wpływają na sąsiedztwo elementów /rys. 7b/.

Podane reguły można /a niekiedy trzeba/ stosować przy konstrukcji grafu reprezentacji krawędziowej.



Rys. 6 Wpływ orientacji na rozkład elementów.
Skierowaniu krawędzi PR1 w lewo odpowiada rozkład a



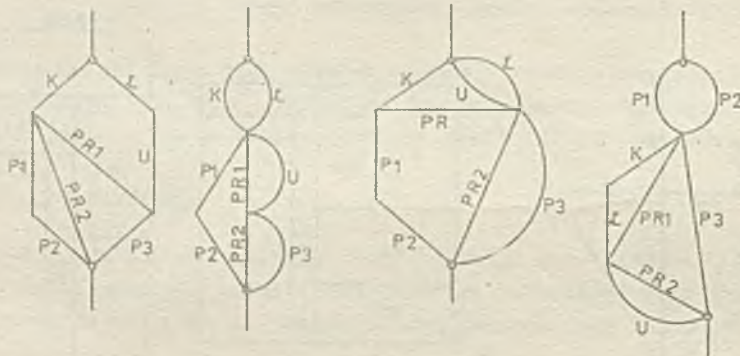
Rys. 7 Sąsiedztwo bez wspólnego wężła
a. wpływ orientacji
b. wpływ wag /powierzchni/

Wróćmy znów do grafu z rys. 5. Jak wspomniano, został on narysowany po przyjęciu roboczego założenia dotyczącego położenia węzłów zasilających A i D. Teraz, po narysowaniu, węzły te można dowolnie przemieszczać. Ponieważ liczba węzłów zewnętrznych $n_z = 6$, więc liczba możliwych kombinacji wynosi:

$$\frac{n_z (n_z - 1)}{2} = 15$$

/5/

A ponieważ w niektórych przypadkach możliwa jest więcej niż jedna orientacja grafu, więc - jak łatwo sprawdzić - liczba wszystkich rozkładów prostokątów możliwych do otrzymania na podstawie grafu z rys. 6 wynosi dziewiętnaście. A przecież graf ten nie jest jedynym, jaki można uzyskać z grafu pokazanego na rys. 3b. Na rys. 8 pokazano cztery dalsze.



Rys. 8 Grafy reprezentacji krawędziowej
Elementem wewnętrznym jest PR1.
Kółeczkami oznaczono węzły zasilania.

Z dotychczasowych rozważań widać jak duża jest liczba możliwych do uzyskania rozkładów. Dlatego celowym jest rozpatrywanie tylko tych grafów i ich orientacji, które dają największą szansę otrzymania rozwiązania przydatnego w praktyce. Przy wyborze orientacji dobre wyniki osiągnięto stosując metodę rozgałęziania i ograniczania /branch and bound/ [1, 9, 13].

W dalszym ciągu artykułu sprawy te omawiane nie będą.

W następnym punkcie opisano wyznaczanie położenia i kształtów prostokątów odpowiadających elementom, czyli układanie i rozwiązywanie równań Kirchoffa dla układu będącego elektrycznym modelem grafu reprezentacji krawędziowej.

6. OBLICZANIE ROZŁOŻENIA

Obliczanie rozłożenia elementów polega na ułożeniu i rozwiązaniu równań Kirchoffa dla układu elektrycznego będącego odpowiednikiem konkretnie skierowanego grafu reprezentacji krawędziowej. Ponieważ - jak już wspomniano - grafów takich jest bardzo wiele, metody układania, a szczególnie rozwiązywania równań Kirchoffa muszą być szybkie. Istnieją dwa sposoby postępowania. Pierwszy - omówiony w punkcie 6.1 i będący kontynuacją dotychczasowych rozważań - polega na ułożeniu i rozwiązaniu równań Kirchoffa w postaci nieliniowej. Drugi - niekiedy bardziej użyteczny - polega na liniowej optymalizacji równań Kirchoffa ułożonych w postaci liniowej. Sposób ten omówiono w punkcie 6.2.

6.1 Metoda nieliniowa

Gdy jako zmiennych niewiadomych używa się prądów płynących przez gałęzie obwodu, węzłowe równania Kirchoffa mają swą zwykłą postać:

$$\sum_{i=1}^{W-1} (\pm) I_i = 0 \quad /6/$$

W równaniach oczkowych trzeba spadki napięć wyrazić za pomocą prądów i mocy. Mają więc one postać:

$$\sum_{i=1}^{N-W+1} \frac{P_i}{I_i} = 0 \quad /6'/$$

gdzie: N - liczba zmiennych, W - liczba węzłów.

Widać, że jest to N równań nieliniowych z N niewiadomymi prądami I_i . Równania te nie są jednak łatwe do rozwiązania. Promienie zbieżności różnych metod są małe, a ze względu na to, że prądy mogą mieć wartości zarówno dodatnie, jak i ujemne, trudno jest właściwie dobrać punkt startowy. Okazało się [2, 11, 14, 18], że wygodniej jest, gdy niewiadomymi są oporności R_i rezystorów układu - modelu. W tym przypadku równania Kirchoffa mają następującą postać:

$$\sum_{i=1}^{W-1} \left(\frac{P_i}{R_i} \right)^{1/2} = 0 \quad /6''/$$

dla węzłów i

$$\sum_{i=1}^{N-W+1} (P_i R_i)^{1/2} = 0 \quad /6'''/$$

dla oczek.

Układając równania w ten sposób i rozwiązując je metodą Newtona [6, 7] otrzymano wszystkie rozkłady przykładowego mieszkania, omawianego w niniejszym artykule^{*)}. Z rozkładów tych do realizacji należy wybrać najlepszy, taki, w którym kształty /wydłużenia/ prostokątów są najbardziej zbliżone do żądanych prostokąty najbardziej podobne do żądanych. Ponieważ podobieństwo jest tym ważniejsze, im powierzchnia danego elementu jest większa, należy wybrać rozwiązanie, dla którego funkcja celu

$$F = \sum_{i=1}^K P_i \left| L_z - \frac{L}{L_w} \right|_I \quad /7/$$

ma wartość najmniejszą.

We wzorze tym przyjęto następujące oznaczenia:

P_i - pole powierzchni /moc/ elementu

L_z - żądana wartość wydłużenia

L_w - wynikowa wartość wydłużenia

k - liczba elementów, dla których żądano jakiegoś wydłużenia L_z .

Tak więc w naszym przykładzie, do sumy /7/ nie wchodzi wydłużenia dwóch elementów przedpo-koju: PR1 i PR2.

Aby zwiększyć możliwość wyboru, funkcję celu F obliczano dla trzech wariantów wydłużenia dużego prostokąta:

$$L = 0,8, 1,0, 1,3$$

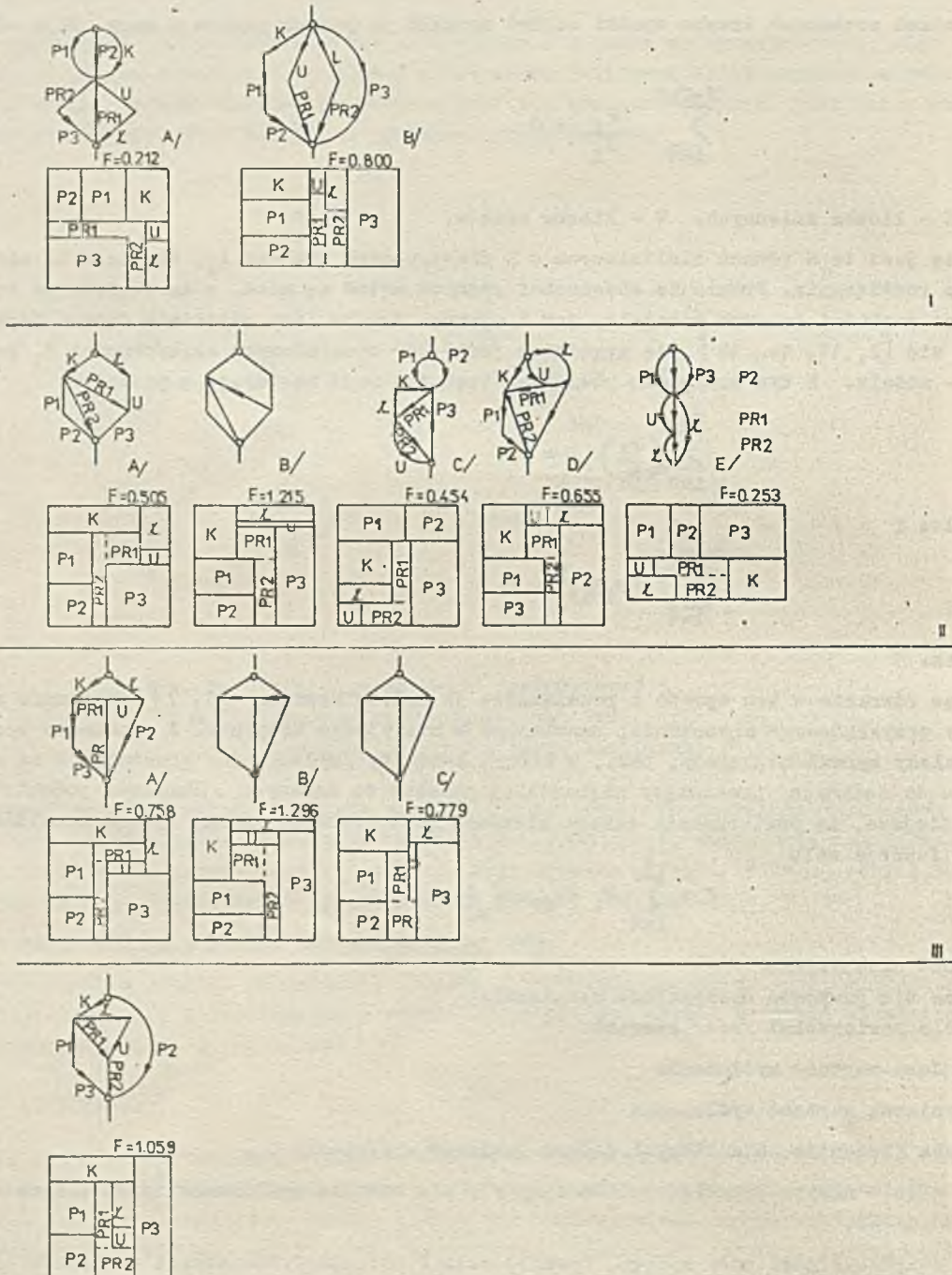
Wartość funkcji F podano przy każdym prezentowanym rozwiązaniu naszego przewodniego przykładu. Z rysunków widać, że funkcja celu jest najmniejsza dla rozkładu przedstawionego na rysunku 9IA.

^{*)} Obliczenia wykonano w Instytucie Maszyn Matematycznych używając minikomputera SM-3.

Rozkład ten nie jest jednak całkiem dobry z uwagi na długi i wąski przedpokój. Teraz trzeba przypomnieć, że treścią niniejszego artykułu nie jest projektowanie automatyczne, lecz WSPOMAGANE komputerem. Czas więc już na interwencję konstruktora. Proste przekształcenie, pokazane na rys. 10, daje rozkład mieszkania, który można przyjąć za zadowalający.

Projektant dokonał tu dwóch istotnych zmian:

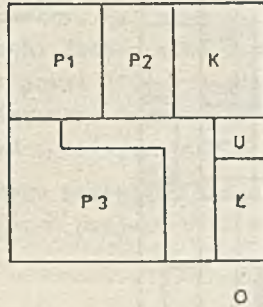
- zmienił kolejność elementów zewnętrznych P1 i P2
- zrezygnował z prostokątnego kształtu elementu P3.



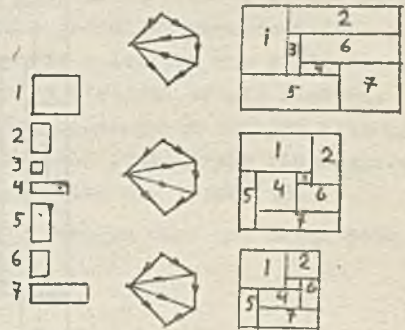
Rys. 9 Przykłady grafów krawędziowych i wyników projektowania mieszkania

Należy zwrócić uwagę, że przy grafach konstruowanych niezgodnie z regułą sąsiedztwa, tylko niektóre orientacje dają rozwiązania zgodne z wymaganiami.

Do zmiany pierwszej doszedł by po pewnym czasie i sam komputer zmieniając kolejność elementów zewnętrznych /punkt 3/.



Rys. 10 Ostateczny rozkład projektowanego mieszkania



Rys. 11 Liniowa optymalizacja rozmieszczania elementów

Natomiast zmiana kształtu pokoju P3 wymaga albo interwencji projektanta, albo zmiany założeń projektowych. W tych zmienionych założeniach pokój P3 powinien składać się z dwóch prostokątów. Zwiększy to liczbę rozmieszczanych elementów, a więc i liczbę rozpatrywanych wariantów. Zwiększa się więc czas i koszt projektowania. Dlatego ważne jest optymalne rozłożenie zadań na projektanta i komputer. A to zależy nie tylko od doświadczenia projektanta, jego wiedzy o możliwościach sprzętu i oprogramowania, ale również od skali całego przedsięwzięcia. Przy projektowaniu obiektów drogowych /zakład przemysłowy/, lub wielokrotnie powielanych /układ scalony/, porządne projektowanie może przynieść znaczne efekty ekonomiczne. Dobrym tego potwierdzeniem jest mnogość systemów wspomagane komputerem projektowania układów scalonych, co będzie omówione w punkcie 7.

Rozkładem, który można realizować bez zmian jest np. wynik IIE z rysunku 9.

6.2. Metoda liniowa

W metodzie liniowej niewiadomymi w równaniach Kirchoffa są zarówno prądy jak i spadki napięć. Równania te mają więc postać:

$$\sum_{i=1}^{W-1} I_i = 0 \quad /8/$$

dla węzłów oraz

$$\sum_{i=1}^{N-W+1} U_i = 0 \quad /8'/$$

dla oczek.

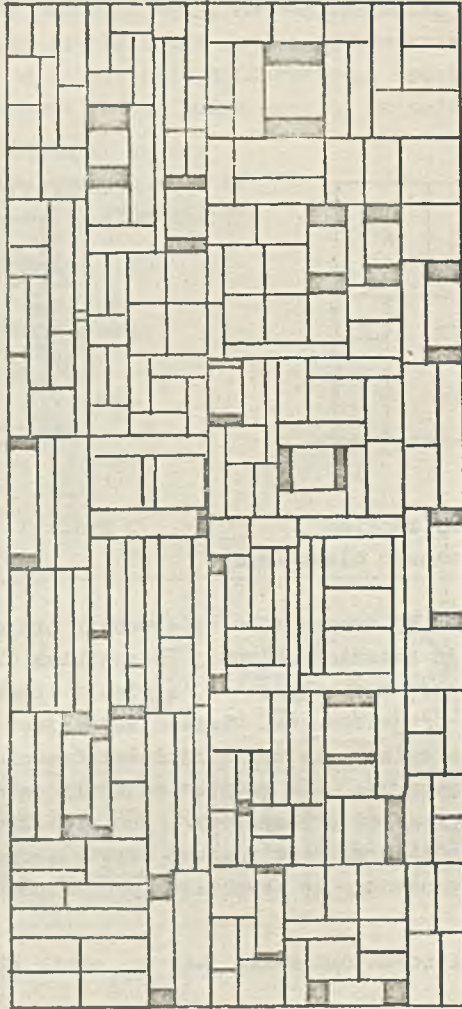
Jest to N równań z 2N niewiadomymi. Równania te poddają się więc optymalizacji liniowej [8, 12]. Warunkiem optymalizacyjnym jest żądanie, aby każdy element mieścił się w odpowiadającym mu prostokącie. Jeżeli więc A_k i B_k są wymiarami k-tego elementu, to ograniczenia mają postać:

$$U_k \geq A_k \quad \text{I} \quad I_k \geq B_k \quad /9/$$

lub

$$U_k \geq B_k \quad \text{I} \quad I_k \geq A_k \quad /9'/$$

w zależności od tego, czy element ma "leżeć" czy "stać".



Rys. 12 Projekt rozmieszczenia elementów
bipolarnego układu scalonego [18]

Przy rozkładaniu n elementów kombinacji takich jest 2^n , co w połączeniu z dotychczas opisanymi możliwościami konstrukcji grafów i ich orientacji daje liczbę przypadków tak dużą, że przebadanie ich wszystkich wymaga długiego czasu, nawet przy użyciu szybkiego komputera. Dlatego metoda ta pomimo że historycznie wcześniejsza [12, 17] - ustępuje metodzie nieliniowej.

Na rys. 11 pokazano wyniki obliczeń przeprowadzonych tą metodą [12]. Widać z niego, że metoda liniowa prowadzi również do minimalizacji powierzchni zajmowanej przez rozmieszczone elementy. Jako kryterium wyboru rozwiązania stosuje się również minimalizację funkcji celu. W pracy [12] funkcją celu była suma obwodów wszystkich prostokątów.

7. ZAKOŃCZENIE

Prezentowany w artykule przykład przewodni, choć prosty, jest na tyle ogólny, że pozwala czytelnikowi dojrzeć różnorakie zastosowania opisanej metody rozmieszczania elementów. Natychmiastowym rozszerzeniem prezentowanego przykładu jest budownictwo przemysłowe, gdzie sąsiedztwa określone są procesem technologicznym, a liczba elementów na tyle duża, że potrzebę algorytmizacji projektowania i użycia komputera widać od razu. Dotyczy to nie tylko projektowania rozkładu hal na terenie fabryki czy pomieszczeń wewnątrz budynku, ale również ustawienia maszyn w hali produkcyjnej.

Na osobne omówienie zasługują wspomniane we wstępie wycinanki, czyli - co dla metody jest jednoznaczne - rozmieszczanie elementów o określonych kształtach /a nie tylko o określonych powierzchniach/, tak zwanych elementów bibliotecznych. Projektant nie może już - jak to opisano w p.6.1 - zmieniać ich kształtów. A obliczone metodą nieliniową prostokąty nie są przecież identyczne z rozmieszczanymi elementami. Mają wprawdzie jednakową powierzchnię, lecz kształt jedynie podobny. Tak więc - w ogólności - elementy nie zmieszczą się w odpowiadających im prostokątach. Trzeba albo prostokąty porozsuwać, albo stosować metodę liniową.

K. Brinkman i D. Mlynski [19] - zajmujący się projektowaniem bipolarnych układów scalonych - wybrali wariant pierwszy. Opracowany przez nich algorytm pozwala przy użyciu minikomputera zaprojektować układ składający się z ok. 200 elementów bibliotecznych - rys. 12.

Z przedstawionego przeglądu widać uniwersalność metody. Powinna więc ona zająć dość ważne miejsce w systemach projektowych wielu dziedzin techniki.

Podziękowanie

Autor dziękuje dr P. Perkowskiemu za wnikliwą analizę i cenne wskazówki.

Literatura

- [1] BREUER M.A.: Automatyczne projektowanie maszyn cyfrowych, Warszawa, PWN, 1976
- [2] BRINKMAN K.D., MLYNSKI D.A.: Computer aided chip minimization for IC mask, IEEE Proc. IS CAS, 1976, s.650-653
- [3] BROOKS R.L.: The dissection of rectangle into squares, Duke Math. Jour., 1940, t. 7, s. 312-340
- [4] CERRY C.: Some general theorems for non-linear systems processing resistances, The Philosophical Magazine, 1951, t. 42, s. 1161-1176
- [5] CERRY C.: Classes of 4-pole network having non-linear transfer characteristics but linear iterative impedances, Proc. IEEE, 1950, t. 107B, nr 31, s. 26-30
- [6] DEMIDOWICZ B., MARON I.: Metody numeryczne, PWN, Warszawa 1965
- [7] FAUDROWICZ A.: Optymalizacja rozmieszczenia elementów układów scalonych, Prace PIE, 1978, t.19, nr 68, s. 39-51
- [8] GASS S.J.: Programowanie liniowe, PWN, Warszawa 1973
- [9] HENLEY E.: Graph theory in modern engineering, Acad. Press, 1973
- [10] HOPCROFT J., TARJAN R.: Efficient planarity testing, J.A.C.M., 1974, t.21, nr 4, s.549-568
- [11] KASSUR A., PERKOWSKI P.: Obliczeniowe aspekty projektowania układów elektronicznych, WNT, Warszawa, 1979
- [12] KOJIMA T., YANAGI M.: Computer aided design of hybrid IC mask, FUJITSU Sci. Techn. J., 1974, nr 3, s. 75-93
- [13] LAWER L.: Branch and bound method; a survey, Operation Research, 1966, t.14, s.699-719
- [14] Mc VAN LIEUR, OTTEN R.: Automatic IC layout: the model and technology, IEEE, 1975, t. CAS 22, nr 11, s.845-855
- [15] MALY W.: An algorithm for obtaining the planar drawing of planar graph, Mat.Conf. ISCHS, 1978, s.83-87
- [16] SESHU S., BALABANIAN N.: Linear network analysis, Londyn, Nowy Jork, 1959
- [17] SUGIYAMA N., KOWANISHI H. i in.: An integrated circuit layout design system, Comp. Aided Des., 1974, t.6, nr 2, s.66-79
- [18] MLYNSKI D.A.: Layout problems with VLSI, European conf. on circuit theory and design, Warszawa 1980, s. 405-415
- [19] BRINKMAN K.D., MLYNSKI D.A.: Layout - partitioning method for MSI and LSI, Proc.ISCAS/77, s.160-163
- [20] FENSZKO M.: Kwadratura kwadratu, Problemy, 1950, nr 1, s. 54-56

Prace naukowo-badawcze Instytutu Maszyn Matematycznych

MODEL DYNAMIKI PRAC BADAWCZO-
ROZWOJOWYCH O STRUKTURZE ADAPTATYWNEJ

Ryszard ŁUKASZEWICZ

W pracy zaproponowano strukturę adaptatywną procesu prac badawczo-rozwojowych, stwarzającą warunki do uzyskiwania jego maksymalnej efektywności. Opisano model tej struktury, zbudowany wg zasad analizy dynamiki systemów zarządzania oraz wyniki jego badań symulacyjnych.

SPIS TREŚCI

WPROWADZENIE

STRUKTURA PLANOWA I PROPONOWANA PRZEBIEGU PRAC BADAWCZYCH I ROZWOJOWYCH

MODEL STRUKTURY ADAPTATYWNEJ

ZACHOWANIE SIĘ MODELU

WPŁYW ZMIAN WARTOŚCI PARAMETRÓW SYSTEMU NA WSKAŹNIKI JEGO EFEKTYWNOŚCI

WPŁYW ZMIAN CZASU PLANOWEGO NA WSKAŹNIKI EFEKTYWNOŚCI

EFEKTYWNOŚĆ EKONOMICZNA I FUNDUSZ EFEKTÓW WROŻENIOWYCH A ZAŁOŻONY CZAS PLANOWY

TERMIN WYKONANIA PRACY A ZAŁOŻONY CZAS PLANOWY

MAKSYMALNA LICZBA INŻYNIERÓW A ZAŁOŻONY CZAS PLANOWY

KOSZT PRACY A ZAŁOŻONY CZAS PLANOWY

PODSUMOWANIE

Z a ł ą c z n i k 1

- Schematy struktur podsystemów modelu

Z a ł ą c z n i k 2

- Przyczyny zmian wartości wskaźników efektywności procesu badawczo-rozwojowego, występujących przy zmianach niektórych wartości jego parametrów

Z a ł ą c z n i k 3

- Wyjaśnienie konsekwencji skrócenia wszystkich czasów operacyjno-organizacyjnych

Z a ł ą c z n i k 4

- Model przebiegu prac badawczo-rozwojowych - rys. 12 .

WPROWADZENIE

Opracowanie niniejsze ma dwa równorzędne cele:

Pierwszym z nich jest zaproponowanie pewnych zasad organizacyjnych realizacji prac badawczych i rozwojowych, która służyłaby zwiększaniu efektywności i przyspieszeniu tempa rozwoju tych prac.

Drugim celem jest wskazanie roli modeli symulacyjnych w analizie efektywności procesu prac badawczych i rozwojowych, z uwzględnieniem dynamiki tego procesu. Analiza tego typu pozwala przewidywać skutki, jakie zmiany współzależności organizacyjnych prac badawczych i rozwojowych (lub inaczej mówiąc zmiany ich struktury) wywierają na przebieg realizacji tych prac. Zmiany te wyrażane są w kontekście analizy zmianami wartości parametrów systemu czy jego współzależności strukturalnych.

Treść opracowania zawiera opis budowy modelu i wyników badań procesu realizacji prac badawczo rozwojowych. W odróżnieniu od najczęściej spotykanej u nas struktury, przyjmującej za podstawę dyrektywne plany wykonania pracy, zaproponowano strukturę adaptatywną, dostosowującą przebieg pracy do zmiennych w czasie warunków jej realizacji. Tego typu struktura najbardziej dostosowana jest, w warunkach krajowych, do prac badawczych i rozwojowych związanych z produkcją eksportową.

Efektywność prac badawczych i rozwojowych, podniesiem wartości której jesteśmy zainteresowani, mierzymy za pomocą szeregu różnych wskaźników. W opracowaniu niniejszym wyeksponowane zostaną następujące z nich:

- Efektywność ekonomiczna, wyrażana stosunkiem wartości pracy do jej kosztu^{*)}
- Wartość pracy badawczej i rozwojowej to: 1/ określony procent przewidywanego zysku ze sprzedaży wyrobu (w ciągu określonego przedziału czasu), którego prototyp powstał w wyniku

^{*)} W pracy stosowane są terminy: wartość i koszt, bowiem terminy: efekty i nakłady, przy rozpatrywaniu współpracy wykonawcy i odbiorcy, nie zawsze bywają jednoznaczne

danej pracy, lub 2/ aktualna cena rynkowa jaką za spodziewane lub osiągnięte wyniki danej pracy można uzyskać, ustalane np. przez odbiorców zainteresowanych nimi.

- Koszt pracy, określony przez wydatki na jej wykonanie, poniesione łącznie przez wykonawcę (np. na prace wstępne, przed umową) i odbiorcę (wydatki w ramach umowy).
- Czas (termin) wykonania pracy, to okres od chwili zawarcia umowy o wykonanie pracy, do jej merytorycznego zakończenia.
- Fundusz efektów wdrażeńiowych, równy określonemu procentowi zysku ze sprzedaży wyrobu, którego prototyp stanowi wynik pracy badawczo rozwojowej (w określonym przedziale czasu).
- Maksymalna liczba inżynierów w trakcie realizacji pracy badawczej i rozwojowej. Liczba ta mówi o stabilności zatrudnienia.

Realizacja pracy badawczej i rozwojowej wymaga na ogół różnych grup specjalistów, jak konstruktorów, technologów, organizatorów, pracowników nauki, itp. Jednak dla potrzeb tego opracowania rozróżnienie ich nie jest niezbędne, w związku z czym pracownicy zespołu wykonawczego traktowani są jednolicie pod nazwą inżynierów. Całość inżynierów wykonujących pracę nazywamy kadrą wykonawczą, lub po prostu kadrą.

Dla przeprowadzonych badań, tj. modelowania i symulacji, posłużono się techniką o nazwie: dynamika systemów zarządzania *). Pozwala ona na kompleksowe rozpatrywanie wszystkich istotnych dla rozwiązania problemu elementów, współdziałanie których przyczynia się do poprawy efektywności tego procesu. Metoda dynamiki systemów zarządzania stosowana jest najczęściej do rozwiązywania problemów przemysłowych, spotykanych na szczeblu przedsiębiorstwa, zrzeszenia czy resortu. Jej zastosowanie do analizy procesu prac badawczych i rozwojowych spotykane jest rzadziej. Zjawiska związane z nim są bowiem trudno mierzalne, co z kolei utrudnia budowę modelu tego procesu. Jest to jednak trudność natury ogólnej, wiążąca się z użyciem dowolnej metody modelowania i analizy procesu prac badawczych i rozwojowych. Stąd, dotychczas pojawiła się niewielka liczba prac z zakresu badań tego typu procesów.

Badania struktury prac badawczo rozwojowych, podobnego rodzaju jak przedstawione w tym opracowaniu, prowadzone były w Massachusetts Institute of Technology w USA przez Roberta **). Ich wyniki zostały pozytywnie ocenione przez twórcę metody System Dynamics, Forrestera ***) i innych.

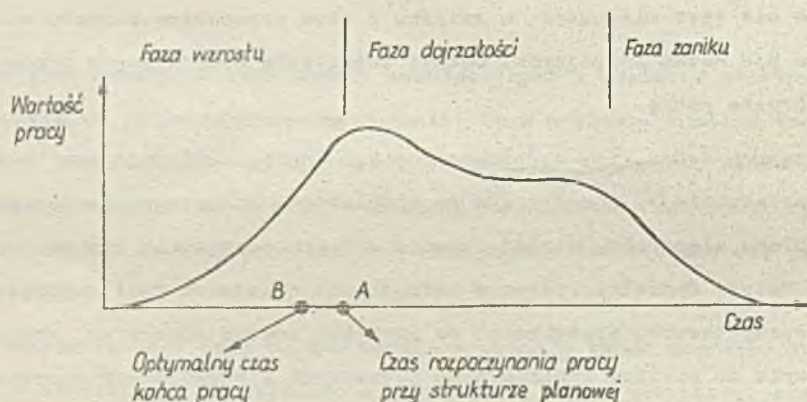
*) R. Łukaszewicz, Dynamika systemów zarządzania, PWN, 1975

***) E.B. Roberts, The dynamics of research and development, Harper Row, 1964

****) J.W. Forrester, Industrial Dynamics, MIT Press, 1961.

STRUKTURA PLANOWA I PROPONOWANA PRZEBIEGU PRAC BADAWCZYCH I ROZWOJOWYCH

W obowiązującej w kraju strukturze planowej prac badawczych i rozwojowych decydującą rolę odgrywają plany dyrektywne. Jedną z konsekwencji przyjęcia tego typu struktury są opóźnienia w podejmowaniu prac. Opóźnienia te wywołane są między innymi potrzebą posiadania znacznego zasobu wiedzy w zakresie tematu, aby móc ustalić rozsądny plan. W tej sytuacji rozpoczynanie prac ma na ogół miejsce dopiero w fazie największego zapotrzebowania rynku na ich wynik, tj. w fazie dojrzałości pracy (rys.1, punkt A)*). Wykonanie pracy badawczej i rozwojowej w okresie jej dojrzałości skraca czasokres opłacalności jej produkcji, a więc zmniejsza efektywność wyników pracy. Uzyskanie maksymalnej efektywności wymaga, aby praca zaczynała się znacznie wcześniej tak, by w początku jej okresu dojrzałości (punkt B na rys.1), była ona już zakończona. Wydłuża się wówczas istotnie czas opłacalnej produkcji wyrobu, przede wszystkim eksportowej i podwyższa uzyskiwane efekty finansowe.



Rys.1. Cykl życia pracy badawczej i rozwojowej

Inną własnością struktury planowej jest założenie, że realizacja pracy badawczo rozwojowej przebiega w sposób ustalony przyjętym planem dyrektywnym. Zostawiane są niewielkie marginesy dla dostosowania tempa rozwoju pracy do zmieniających się warunków otoczenia. Tymczasem w praktyce zmiany warunków bywają na ogół duże.

Struktura planowa nie stwarza ponadto dobrej motywacji dla kadry. Wymienić tu można np. ograniczenia czasowe wypłat z funduszu nagród wdrożeniowych. Ograniczenia te obniżają zainteresowanie pracowników we wczesnym rozpoczynaniu prac i ich kończeniu.

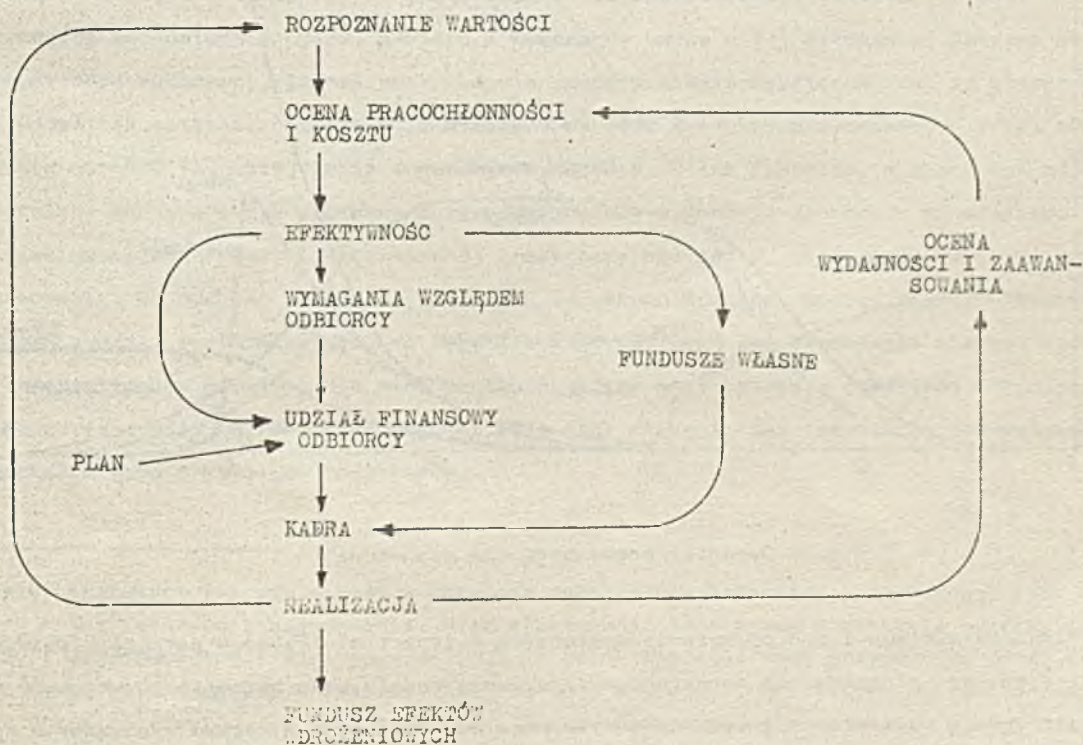
*.) W pojęciu cykl życia pracy badawczo-rozwojowej (rys.1) wyrażenie "cykl życia" należy rozumieć analogicznie jak np. w pojęciu cykl życia wyrobu. Pojęcie praca w kontekście tego opracowania używane jest w znaczeniu bądź czynnościowym, np. wydajna praca, bądź przedmiotowym, np. zakupioną pracę wykonał Instytut, lub praca doktorska.

Aby zapobiec opisanym mankamentom struktury planowej, proponuje się strukturę z wbudowanym "mechanizmem nadążnym". Reguluje on wartość funduszy przydzielanych na pracę zależnie od aktualnej oceny jej efektywności ekonomicznej, wyrażanej stosunkiem wartości pracy do jej kosztu. Ocena kosztu zależna jest od oceny wydajności kadry, zależnej od takich czynników jak: poziom posiadanej przez nią wiedzy technicznej i technologicznej, kompletności aparatury badawczej, motywacji inżynierów natury finansowej skłaniającej ich do dobrej roboty, organizacji ich doszkale- nia w zakresie tematu, itd. Przydzielane na pracę fundusze pozwalają na zwiększanie liczebności kadry, której wzrost z drugiej strony ograniczany jest wymaganiami szkolenia nowo przyjmowanych.

Proponowana struktura, zwana dalej adaptatywną, pozwala na dostosowanie przebiegu pracy do aktualnych warunków jej realizacji, sprzyja wczesnemu rozpoczynaniu prac, sprzyja motywacji kadry oraz wymusza informowanie odbiorcy przez wykonawcę o postępie pracy, jej kosztach, wartości, itp.

MODEL STRUKTURY ADAPTATYWNEJ

Pełne omówienie struktury zbudowanego modelu dynamiki prac badawczo rozwojowych byłoby zbyt obszerne. Dlatego zdecydowano podać w tym paragrafie jedynie bardzo uproszczony schemat przyczynowo-skutkowy rozpatrywanego modelu, rys.2. Pokazuje on nazwy charakteryzujące wybrane



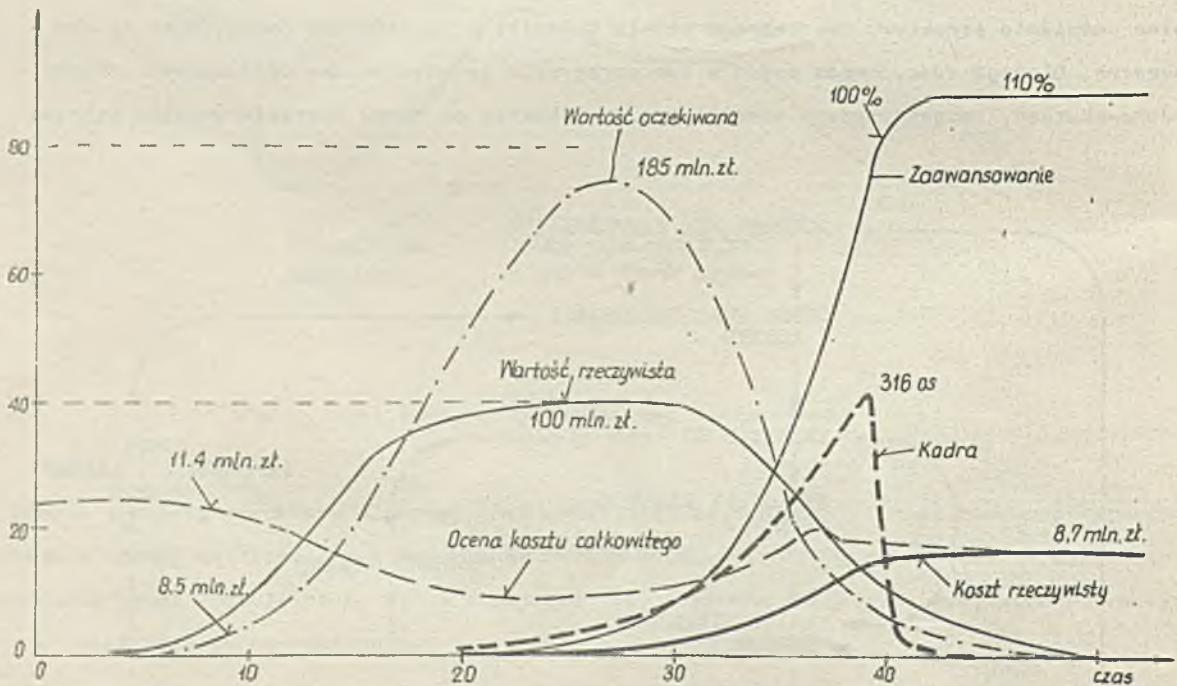
Rys.2. Schemat przyczynowo-skutkowy proponowanej struktury prac badawczo rozwojowych

komponenty modelu i ich powiązania. Omówienie tego schematu podane jest w następnym paragrafie, gdzie wyjaśniając sposób zachowania się modelu, posługujemy się nazwami i zależnościami z rys.2. W tym miejscu zwrócimy jedynie uwagę, aby odczytując omawiany schemat pamiętać, że opisuje on proces ciągły. Tak więc, np. w trakcie REALIZACJI pracy mają miejsce zmiany WYDAJNOŚCI, te z kolei wywołują zmiany PRACOCHOŃNOŚCI i KOSZTÓW całkowitych pracy, itp.

Czytelnika zainteresowanego bliżej budową modelu i strukturą systemu odsyłamy do załącznika 1, gdzie pokazano i omówiono jego schematy graficzne. Schematy te nie w pełni odwzorowują model. Opracowano je natomiast tak, aby dostarczały wystarczającą informację o budowie modelu, a jednocześnie aby poznanie ich nie sprawiało trudności. Zapoznanie się z treścią załącznika i pozwoli czytelnikowi na lepsze skojarzenie charakteru wyników symulacji zachowania się systemu z wywołującymi je własnościami jego struktury, omówionymi w następnych paragrafach i w załączniku 2.

Na rys. 12, załącznik 4, pokazano zestawienie schematów struktury modelu, omówionych w zał.1.

ZACHOWANIE SIĘ MODELU



Rys.3. Dynamika pracy badawczo rozwojowej

Elementy systemu i ich powiązania wymienione w treści niniejszego paragrafu uwidocznione są na schematach proponowanej struktury adaptatywnej modelu prac badawczo rozwojowych (rys.5-10) w załączniku 1. Korzystanie z tych schematów może być pomocne w głębszym zrozumieniu opisywanego zachowania się systemu. Czytelnikom, którzy z jakichś względów nie są skłonni zapoznać się z treścią załącznika 1, sugeruje się zastępczo korzystanie ze schematu przyczynowo-skutkowego,

rys.2.

Przebiegi ilustrujące zachowanie się modelu uzyskano w wyniku obliczeń typu symulacyjnego, wykonanych na komputerze RIAD.

W początkowej fazie przebiegu pracy badawczej i rozwojowej jej wartość jest niewielka (patrz wykresy na rys.3 lub 1), wykazuje jednak tendencje do wzrostu. Obserwując ten wzrost wykonawca przydziela, w zakresie funduszy własnych, jednego inżyniera do rozwoju tematu. Prowadzi on prace rozpoznawcze. W fazie tej przewidywana pracochłonność, a więc i koszt wykonania pracy kształtują się wysoko, a to ze względu na niską wydajność pracy, wywołaną niskim w tym czasie poziomem wiedzy technicznej i technologicznej oraz niską motywację kadry (patrz wykresy na rys.6, załącznik 1). W konsekwencji wartość oczekiwanej efektywności ekonomicznej pracy jest niska i odbiorca nie jest skłonny finansować rozwoju tematu.

W miarę upływu czasu rośnie oczekiwana wartość pracy, wskutek wzrostu jej wartości realnej, rys.3. Jednocześnie koszt pracy oceniany jest niżej, bowiem przewiduje się wzrost wydajności pracy inżynierów. Przyczyną jest obserwowany wzrost poziomu techniki i technologii w zakresie tematu oraz wzrost motywacji pracowników, którzy obserwują wzrost oczekiwanej wartości pracy. W rezultacie podnosi się oczekiwana wartość efektywności ekonomicznej, mierzonej stosunkiem wartość/koszt i wykonawca powiększa w 9 miesiącu fundusze własne, przeznaczone na rozwój pracy (krzywe przydziału funduszy na pracę, tak przez wykonawcę jak i odbiorcę, nie są pokazane na rys.3).

Również w miesiącu 9 odbiorca, w wyniku obserwacji dostatecznego wzrostu wartości oczekiwanej efektywności ekonomicznej pracy, zawiera z wykonawcą umowę o jej wykonanie. Zaczyna on uwzględniać wymagania wykonawcy, jednak początkowo w stopniu niezadowolającym, tak że główne koszty ponosi nadal ten ostatni. Dopiero w 12 miesiącu wartość funduszy przyznawanych przez odbiorcę przekracza wartość funduszy, jakie inwestuje wykonawca. Pełne fundusze, w wysokości odpowiadającej ocenie kosztów pracy odbiorca przeznacza na jej wykonanie dopiero w 13 miesiącu, gdy wartość oczekiwanej efektywności ekonomicznej przekracza wartość 2, określoną przyjętym kryterium finansowania. Stosunkowo niewielki, mimo tak znacznych środków, wzrost kadry, a tym samym i zaawansowania pracy do 20 miesiąca (do tego czasu wzrost tych dwu przebiegów nie był widoczny na rys.3, ze względu na przyjęte dla nich skale) wywołany jest potrzebą szkolenia inżynierów, gdy szkolących jest mało^{*)}. Wzrost kadry ograniczany jest niską liczbą inżynierów doświadczonych, zdolnych szkolić nowo przyjętych inżynierów.

^{*)} Inżynier pracujący rok czy więcej w zakresie danej pracy badawczej i rozwojowej jest już wprowadzony w jej tematykę i zagadnienia. Stąd efektywność jego pracy w zakresie wykorzystania swej wiedzy i umysłowości zbliżona jest do 100%. Z kolei inżynier nowo przyjęty do danej pracy, posiadając nawet wiedzę ogólną o temacie, nie zna jego specyfiki, przyjętych dotychczas rozwiązań, itp., przez co efektywność jego pracy jest niska. Proces uzupełniania jego wiedzy przyspieszany jest drogą przydzielania, na ogół po kilku, nowo przyjętych jednemu inżynierowi doświadczonemu, tj. wciągniętemu już w daną tematykę. Pozostawianie nowo przyjętych bez takiej pomocy oceniane jest jako nieekonomiczne. W dalszej części pracy inżynierowie nowo przyjęci nazywani też będą szkolonymi, a inżynierowie doświadczeni, którzy im pomagają, szkolącymi lub wykładawcami.

Od miesiąca 20-go obserwujemy szybszy wzrost kadry. Wartość oczekiwana pracy jest wówczas duża, natomiast koszty oceniane są jako niewielkie. W takiej sytuacji odbiorca wypłaca dostateczne sumy pieniędzy potrzebne dla rozwoju pracy. Z upływem czasu doświadczonych inżynierów jest coraz więcej. W efekcie liczebność kadry, a co za tym idzie i zaawansowanie pracy zaczynają rosnąć w sposób widoczny.

Począwszy od 27-go miesiąca maleje oczekiwana wartość pracy. Przyczyną jest mały wzrost jej wartości rzeczywistej oraz krótszy okres przewidywań, a więc i ekstrapolacji tego wzrostu, gdy praca zbliża się ku końcowi. Przewidywane koszty całkowite natomiast wzrastają, co wywołane jest przewidywaniem spadku łącznej wydajności pracy. Spadek ten jest wynikiem krótszego w tym czasie okresu prognozowania wydajności pracy (nie ma uzasadnienia, aby okres ten przekraczał czas do zakończenia prac, który sukcesywnie maleje), zmniejszania się wzrostu wydajności pracy ze względu na poziom wiedzy technicznej i technologicznej (która zbliża się do poziomu swego nasycenia) oraz spadku wydajności pracowników, którzy obserwują obniżającą się wartość oczekiwaną pracy. Zwracamy uwagę, że opisane zmiany oczekiwanej wartości i kosztów nie mają wpływu na stopień finansowania pracy przez odbiorcę, bowiem w omawianym czasie jej wartość oczekiwana jest i tak dostatecznie duża, aby efektywność ekonomiczna przekraczała znacznie wartość przyjętego kryterium.

Od 6-go miesiąca przed zakończeniem pracy, który to termin ocenia odbiorca na podstawie stanu aktualnego kadry, dotychczasowego rozwoju pracy i jej zaawansowania, udostępnia on placówce badawczo rozwojowej całą sumę, którą przeznaczył na sfinansowanie danej pracy. Pozwala to placówce na maksymalnie intensywne prowadzenie pracy w końcowym jej okresie, gdy doświadczenie inżynierów i ich wydajność są największe. W czasie tym, tj. od 34 miesiąca, obserwujemy największy wzrost ilościowy kadry i zaawansowania.

W miesiącu 40-tym zaawansowanie pracy osiąga 100%, tj. została ona zakończona. Wówczas inżynierowie przenoszeni są do innych prac, co jednak trwa pewien czas. Stąd na wykresie, rys.3, obserwujemy wzrost zaawansowania do 110%.

W chwili zakończenia pracy, tj. w miesiącu 40-tym, otrzymujemy następujące wartości wskaźników efektywności, charakteryzujące jej wykonanie:

- efektywność ekonomiczna = 2,2
- oczekiwany fundusz efektów wdrożeniowych = 0,7 mln zł
- czas wykonania pracy = 31 miesięcy
- maksymalna liczba zatrudnionych inżynierów = 316
- koszty pracy = 8,3 mln zł.

WPLYW ZMIAN WARTOŚCI PARAMETRÓW SYSTEMU NA WSKAŹNIKI JEGO EFEKTYWNOŚCI

Przebadano drogą symulacji szereg przebiegów zachowania się modelu, przy różnych wartościach jego parametrów. Otrzymane wyniki porównano z wynikami modelu podstawowego, opisanymi w poprzednim ustępie.

Ze względu na ograniczoną treść opracowania, przedstawione zostaną jedynie wpływy zmian wartości następujących parametrów: mnożnika czasu rozpoznania pracy, planowego czasu wykonania pracy i czasu szkolenia nowo przyjętych inżynierów. Równocześnie pokazane zostaną wyniki, gdy wszystkie czasy operacji typu organizacyjnego, jak czas angażowania inżynierów, czas ich szkolenia, czas włączania ich do pracy, czas korekty błędu w ocenie zaawansowania pracy i czas rozpoznania wartości pracy zmniejszono do rozsądnego minimum (ok. połowy tych czasów w układzie podstawowym).

Wyniki powyższych badań zaprezentowane są w tabeli na rys. 4.

Układ podstawowy		Efektywność ekonomiczna		Wskaźniki efektywności									
				Fundusz efektów wdrożeniowych		Czas wykonania		Maksymalna liczba inżynierów		Koszty pracy			
				2.16		0.7 mln.zł.		31 m-cy		316		8,3 mln.zł.	
				Nowa wartość		Przyrost funduszu		Przyrost czasu wykonania		Przyrost maksymalnej liczby inżynierów		Przyrost kosztów pracy	
				mln. zł.	%	m-cy	%	osób	%	mln. zł.	%		
Pa- ra- me- try	1	Mnożnik czasu rozpoznania wartości	0,5	3,5	0,5	70%	-1,5	-5%	9	3%	0,25	3%	
	2	czas planowy m-ce	36	1,3	-0,3	-42%	1,3	4%	-38	-12%	-0,3	-4%	
	6	czas szkolenia inżynierów m-ce	3	11,7	2,8	400%	-5,8	-19%	25	8%	-0,8	-10%	
		Wszystkie czasy krótsze	0,5	13,3	3,9	550%	-14,4	-46%	221	70%	0,4	5%	

*) podane wartości wskazują oczekiwany fundusz wdrożeniowy

**) 31 m-cy to czas wykonania od chwili zawarcia umowy. Czas od zainicjowania pracy przez wykonawcę wynosi 40 m-cy

***) są to czasy: angażowania inżynierów, włączenia ich do pracy, ich szkolenie, korekty błędu oceny zaawansowania, rozpoznanie wartości pracy. Wszystkie zmniejszone o 0,5 (dwukrotnie).

Rys. 4. Tabela kształtowania się wskaźników efektywności

W jej pierwszym wierszu znajdują się liczby charakteryzujące efektywność pracy badawczo rozwojowej, uzyskane w układzie podstawowym. W pierwszej kolumnie, od lewej, wypisane są wartości

parametrów układu podstawowego, a ich nazwy wypisane są w kolumnie drugiej. Obok tych nazw, w kolumnie następnej, wypisane są nowe wartości parametrów.

Następna kolumna wypełniona jest wartościami efektywności ekonomicznej, dla nowych wartości parametrów. Dla tychże wartości wpisano w dalszych kolumnach liczby wynikowe przyrostów wskaźników efektywności, mierzonych w stosunku do ich wartości w układzie podstawowym. Omawiane wskaźniki to: wartość funduszu efektów wdrożeniowych, czas wykonania pracy, maksymalna liczba inżynierów zatrudnionych w trakcie pracy, koszt wykonania pracy. Przyrosty wskaźników efektywności, dodatnie jak i ujemne, podane są dla lepszej przejrzystości zarówno w bezwzględnych wartościach odchyłek w stosunku do wartości układu podstawowego, jak i procentach wzrostu czy spadku wynikowej wartości w stosunku do podstawowej.

Jak widzimy z rys. 4, zmiany wartości wskaźników efektywności kształtują się różnie i nie zawsze w sposób oczywisty. Za właściwą drogę wyjaśnienia kształtowania się kierunku i wartości tych zmian przyjęto wyjaśnienie ich przyczyn. Poniżej omówione zostaną przyczyny zmian wartości wskaźników efektywności, rys. 4, w wyniku wydłużenia założonego czasu planowego. Omówienie przyczyn zmian wartości wskaźników efektywności, przy zmianie wartości pozostałych parametrów z rys. 4 oraz przy wydłużeniu ograniczeń czasowych wypłat z funduszu nagród znajduje się w załączniku 2. Tam również omówiony został wpływ przypadkowych zmian absencji inżynierów na zachowanie się modelu, a to celem uczynienia tego zachowania się bardziej zbliżonym do realnego.

WPŁYW ZMIAN CZASU PLANOWEGO NA WSKAŹNIKI EFEKTYWNOŚCI

Przypominamy, że czas planowy w modelu ma jedynie charakter ramowy (w miejsce spotykanego u nas najczęściej dyrektywnego). Plan ramowy wykorzystywany jest do określenia wypłat bieżących na pracę, dla ocen jej pracochłonności, dla celów prognozowania, itp. Gdy więkzy jest założony czas planowy to wykonawca obniża wartość bieżących wypłat ze środków własnych przeznaczonych na rozwój pracy w jej wstępnym okresie, tj. gdy odbiorca nie jest jeszcze skłonny jej finansować. Liczy się bowiem z dłuższym trwaniem tego okresu. Podobnie postępuje odbiorca w pierwszym okresie, gdy on już finansuje pracę. W dalszym okresie odbiorca, zgodnie ze strukturą adaptatywną, przyjmuje własne prognozy terminu zakończenia pracy.

Rozpatrzmy teraz przyrosty wskaźników efektywności związane z powiększeniem o połowę założonego czasu planowego. W jego rezultacie otrzymano, rys. 4, spadek wartości efektywności ekonomicznej do wartości 1,3 i związany z nim 42% spadek wartości funduszu efektów wdrożeniowych. Czas wykonania pracy wydłużył się o 4%, przy obniżce kosztów o 4% i obniżce maksymalnej liczby inżynierów w trakcie trwania pracy o 12%. Przyczyny tych zmian omówimy poniżej.

EFEKTYWNOŚĆ EKONOMICZNA I FUNDUSZ EFEKTÓW WDROŻENIOWYCH A ZAŁOŻONY CZAS PLANOWY

Spadek efektywności ekonomicznej i związany z nim spadek funduszu efektów wdrożeniowych są znaczne przy wydłużeniu założonego czasu planowego. Przyczyną jest szybki spadek wartości pracy przy dłuższym terminie jej wykonania, rys. 3, co ma miejsce w rozpatrywanym przypadku.

TERMIN WYKONANIA PRACY A ZAŁOŻONY CZAS PLANOWY

Założenie dłuższego czasu planowego wydłuża termin wykonania pracy, rys. 4, gdyż należsze jest wówczas jej finansowanie bieżące. Z dwu przyczyn. Po pierwsze, przewidziana pula finansowa rozkłada się na dłuższy okres. Po drugie, założenie dłuższego czasu planowego zwiększa wartość prognozy wydajności, co powoduje spadek przewidywanego kosztu pracy oraz w dalszej konsekwencji spadek jej finansowania bieżącego.

Wydłużenie terminu wykonania pracy nie jest duże, ponieważ w rozpatrywanym przypadku struktury adaptatywnej odbiorca kieruje się założonym terminem planowym jedynie w pierwszym okresie pracy, gdy liczba inżynierów jest jeszcze niewielka, w stosunku do ich liczby w końcu pracy, rys. 3.

MAKSYMALNA LICZBA INŻYNIERÓW A ZAŁOŻONY CZAS PLANOWY

Dłuższy założony czas planowy wydłuża, jak już wyjaśniono, termin wykonania pracy, co z kolei jest przyczyną zmniejszenia maksymalnej liczby inżynierów, w trakcie jej przebiegu. Ponieważ w rozpatrywanym przypadku wzrost liczby inżynierów jest w pierwszym okresie przebiegu pracy ograniczony przede wszystkim potrzebą ich szkolenia, stąd w okresie tym wpływ zmiany wartości pozostałych czynników na ten wzrost jest niewielki. Tak więc i wpływ zwiększonego czasu realizacji pracy ma miejsce tylko w końcowej fazie pracy, a więc tylko w części całego jej przebiegu. Zmniejszenie maksymalnej liczby inżynierów jest więc w tym skróconym czasie względnie duże - 12%, w stosunku do 4% wydłużenia wykonania całości pracy.

KOSZT PRACY A ZAŁOŻONY CZAS PLANOWY

Całkowity koszt pracy maleje (rys. 4) przy wydłużaniu się terminu wykonania pracy. Powoduje ono bowiem obniżanie stosunku liczby inżynierów szkolonych do doświadczonych, co podnosi wydajność.

Na kształtowanie się całkowitych kosztów wykonania pracy wywiera również wpływ wydajność osobista inżynierów. Rośnie ona w początkowej fazie pracy. Wówczas bowiem, wskutek dłuższego okresu przewidywań, związanego z dłuższym czasem planowym, rośnie oczekiwana wartość pracy. A z nią spodziewana wartość nagród dla inżynierów, co stanowi czynnik motywujący podwyższanie wydajności. Gdy natomiast w końcowej fazie cyklu życia pracy, jej wartość rzeczywista zaczyna się obniżać, wówczas pojawia się, a następnie zwiększa ujemna składowa prognozy wartości pracy. W konsekwencji obserwujemy spadek oczekiwanej wartości pracy (rys. 4), a z nią spadek wydajności osobistej inżynierów.

Należy pamiętać, że wydajność osobista inżynierów ma znacznie większy wpływ na koszty i terminy wykonania pracy w końcowym okresie jej realizacji, aniżeli w początkowym. W okresie końcowym bowiem pracuje kilkakrotnie więcej inżynierów, rys. 3. Ostatecznie więc opisane zmiany wydajności osobistej w całym zakresie realizacji pracy wydłużają terminy i zwiększają koszty.

Zwracamy uwagę, że przyrost kosztów wskutek zmian wydajności osobistej ma kierunek prze-

ciwny niż omówiony w początku tego ustępu, spadek kosztów wskutek niższej wartości stosunku inżynierów szkolonych do doświadczonych. Wartość wymienionego tu przyrostu kosztów jest znacznie mniejsza niż wymienionego tu także spadku kosztów i stąd na rys. 4 widnieje ujemny przyrost kosztów (równoważny oszczędności), przy wydłużonym czasie planowym.

PODSUMOWANIE

Omówiono w pracy wyniki badań symulacyjnych wskazując, zdaniem autora, na pozytywną rolę, jaką narzędzie to może spełnić w organizowaniu i kierowaniu rozwojem podejmowanych zadań. Struktura realizacji prac badawczo rozwojowych, jak to pokazuje przedstawiony w załączniku 1 uproszczony jej opis, ma dużą liczbę wzajemnych, na ogół nieliniowych współzależności. Tak dużą, że skutoczna analiza działania całości systemu staje się praktycznie zbyt trudna, bez użycia odpowiednich metod badawczych. Proponowana jest metoda analizy dynamiki systemów zarządzania, użyta w tym opracowaniu.

Istotnym jest, aby kierujący dobrze rozumiał podstawowe zjawiska występujące w kierowanym przez niego systemie. Łatwiej będzie mu wówczas zaradzić zjawiskom ujemnym, a uwypuklić dodatnie. Ważny przykładowo zagadnienie, jakie nasuwa się przy obserwacji tabeli na rys. 4. Dlaczego względnie duże, 46%, skrócenie czasu wykonania pracy, gdy skrócimy wszystkie czasy operacyjno organizacyjne, wiąże się z nieznacznym, paroprocentowym wzrostem kosztów? Zrozumienie tego zjawiska wymaga (co podano w załączniku 3) rozpatrzenia i powiązania konsekwencji wielu przebiegów. Dokonanie tego w myśli, czy drogą własnych kalkulacji na papierze, jest sprawą bardzo trudną. Natomiast wydatnie pomoże nam model i symulacja.

Następną kwestią jest odszukanie najistotniejszych usprawnień podnoszących efektywność prowadzonych prac. Otóż z pomocą symulacji, a więc laboratoryjnie, możemy obserwować wpływ zmian wybranych wartości parametrów (wiersz: 4, 3 i 2 od końca w tabeli na rys. 4) czy ich określonej grupy (wiersz ostatni na rys. 4) na wielkości, które charakteryzują efektywność.

Zawsze pozostaje istotną kwestią realność proponowanych zmian. Na przykład, czy możliwe jest w praktyce dwukrotne obniżenie czasu szkolenia inżynierów, co powinno przynieść tak znaczne korzyści (rys. 4). Uzyskanie dwukrotnego skrócenia czasu szkolenia, przy zachowaniu jego merytorycznej efektywności jest niezwykle trudno. Niemątpliwie jednak, przy właściwej organizacji szkolenia, dobraniu zdolnych wykładowców, itp, wiele można w tej materii poprawić. Jedno z mniej znanych rozwiązań stosowane jest w tym celu w USA. Istnieją tam specjalne przedsiębiorstwa, specjalizujące się w pomocy organizowania szkolenia oraz dysponujące grupami inżynierów, którzy wyszkoleni są w szybkim opanowywaniu nowych zagadnień oraz w szkoleniu nowo przyjętych inżynierów. Grupy te, w miarę potrzeby, wypożyczane są odpłatnie firmom, które prowadzą prace badawczo rozwojowe. Przykład ten pokazuje, jak trafnie określona potrzeba wywołuje rozwiązanie organizacyjne, które bez doceniania tej potrzeby trudno by przewidzieć.

Słabą stroną niniejszej pracy jest, że przedstawia badania modelu adaptatywnej struktury procesu prac badawczo rozwojowych, odbiegającej od struktur planowych, powszechnie spotykanych u nas w kraju. Zwróćmy jednak uwagę, że przypuszczalnie różnice te nikną, przynajmniej częściowo-

wo, w odniesieniu do prac, których efektem jest produkcja eksportowa. Ponadto wydaje się, że organizacja prac ze zbytem na rynek krajowy, również może zyskać przy wprowadzeniu w nią pewnych cech adaptatywności. Związane z nimi "mehanizmy" bowiem, jeśli są tylko dobrze pomyślone, służą podnoszeniu efektywności prac badawczo rozwojowych.

Podsumowując, wyrażamy nadzieję, że przedstawiony w pracy materiał zachęci czytelników do zastanowienia się nad wprowadzaniem przynajmniej pewnych elementów zaproponowanej struktury adaptatywnej w kierowane przez siebie procesy prac badawczo rozwojowych. Jak również zachęci do korzystania z technik symulacji przy rozwiązywaniu problemów jakie napotykają przy organizowaniu tych procesów.



Załącznik 1

Schematy struktur podsystemów modelu

Tłem ogólnym dla całości opisanych w tym załączniku schematów poglądowych podsystemów modelu jest jego schemat przyczynowo skutkowy pokazany na rys. 2 w głównej części opracowania. Podsystemy realizacji pracy badawczo rozwojowej zaznaczone są na nim nazwami słownymi, mówiącymi o funkcji podsystemu. Linie ciągłe ze strzałkami pokazują oddziaływania podsystemów i kierunek tych oddziaływań.

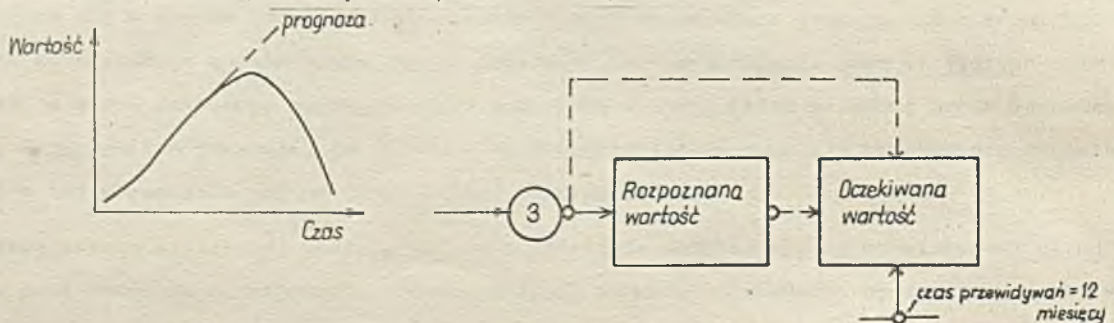
Opisy schematów poglądowych (rys. 5 - 10) będziemy starali się prowadzić odpowiednio do nazw podsystemów schematu przyczynowo skutkowego, w kolejności z góry na dół, wg rys. 2. Przy opisach tych będziemy się posługiwać:

- nazwami wielkości modelu
- nazwami objętymi obramowaniem, sygnalizującym wielkości akumulowane
- oznaczeniami zależności, którymi będą znaki działania arytmetycznego +, -, ·, x, zlokalizowane w kółku. W razie potrzeby charakter zależności opisujemy również wykresemi we współrzędnych prostokątnych
- oznaczeniami czasów opóźnień, które wyraząmy liczbą miesięcy zlokalizowaną w kółku
- znakami kreski z kółkiem w środku, które sygnalizują, że użyta przy tym znaku nazwa określa parametr.

Schematy, które omówimy opisują sektory funkcjonalne zbudowanego modelu. Opisy ich struktur stanowią duże uproszczenie w stosunku do struktur całości modelu. Celem ich jest jedynie zorientowanie czytelnika o ważniejszych zależnościach wewnętrznych sektorów. Zależności między sektorami podane są w opisie słownym.

Sektor rozpoznania wartości pracy, rys. 5.

Przebieg wartości pracy badawczej i rozwojowej w czasie, opisany cyklem jej życia pokazanym na rys. 5 stanowi wejście modelu. W praktyce nie znany awansem charakteru tego przebiegu. Znany jedynie jego wartość w chwili aktualnej i możemy przewidywać jej przyrosty w czasie przyszłym, co właśnie stanowi podstawę budowy sektora rozpoznania.



rys. 5. Rozpoznanie wartości pracy

Symulując zachowanie się danego systemu rzeczywistego rozwoju prac, zakładamy określony kształt cyklu pracy, taki jakiego się spodziewamy. W dalszych badaniach przyjmować możemy różne jego warianty.

W modelu przyjęto, że czas potrzebny dla rozpoznania rzeczywistej wartości pracy wynosi średnio około 3 miesięcy (przy małym zaawansowaniu pracy 7 miesięcy, przy dużym spada do 2). Wartość oczekiwana jest sumą wartości rozpoznanej plus ocena przyrostu wartości, otrzymana w wyniku rozpoznania trendów jej wzrostu czy spadku. Przy pozytywnej ocenie oczekiwanej wartości pracy, placówka badawczo rozwojowa przydziela jednego czy dwu pracowników do jej rozwijania. W późniejszym okresie ocena oczekiwanej wartości pracy wykorzystywana jest dla bieżącej oceny efektywności ekonomicznej, która decyduje o intensywności finansowania pracy, rys. 7.

Wykonawca jak i odbiorca określają indywidualnie wartość pracy jakiej oczekują, przy czym oceny ich na ogół różnią się. Uwzględniono te różnice w modelu. Natomiast sposób w jaki określają wartość pracy jest jednakowa.

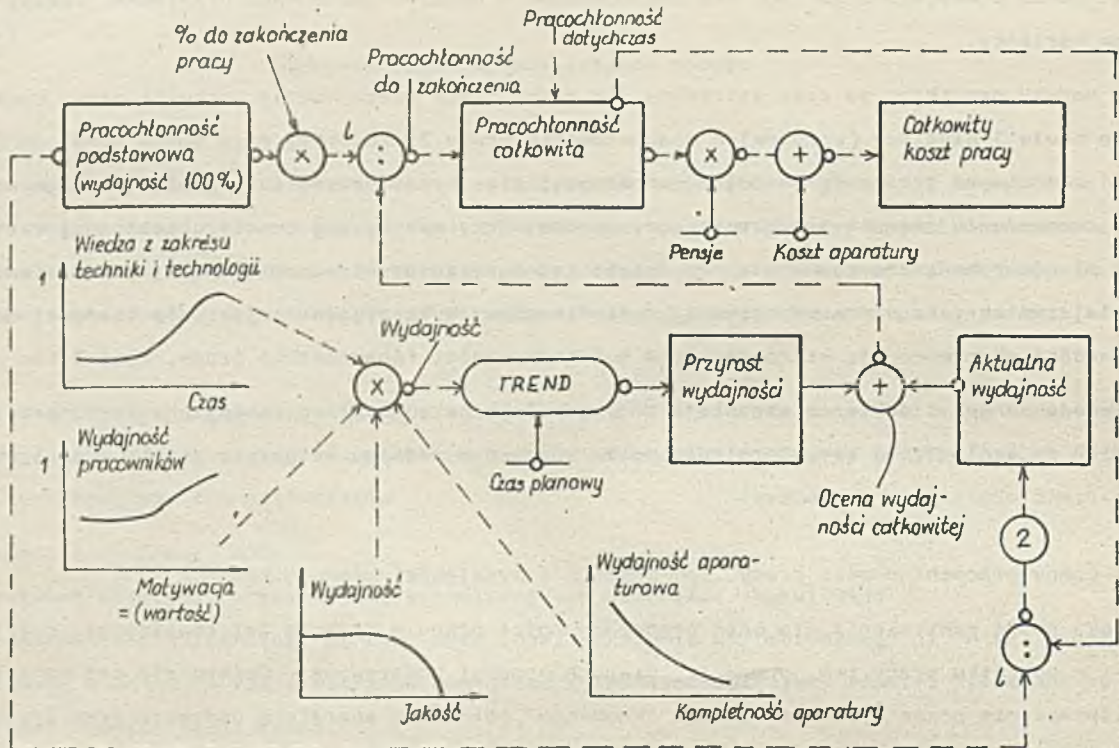
Sektor oceny pracochłonności pracy, jej kosztów i wydajności pracowników

Jako punkt odniesienia dla ocen pracochłonności pracy w trakcie jej realizacji, przyjmowana jest w początku pracy tzw. ocena jej pracochłonności podstawowej. Opiera się ona na założeniu dysponowania przez wykonawcę pełnym "know-how", potrzebną aparaturą badawczą oraz środkami motywacyjnymi, zapewniającymi pełną wydajność pracy inżynierów.

Pracochłonność niezbędną do zakończenia pracy, obliczaną w danej chwili czasu wyrażamy stosunkiem iloczynu pracochłonności podstawowej razy procent pracy do zakończenia, podzielonego przez wartość oceny wydajności całkowitej.

Aktualną ocenę kosztów całkowitych obliczamy sumując wartości dwu składników. Wartość pierwszego z nich uzyskujemy mnożąc wartość pracochłonności potrzebnej do zakończenia pracy, uzupełnioną liczbą osobo-miesiący jaką przepracowano dotychczas, przez pensje pracowników. Wartość drugiego składnika odpowiada kosztom aparatury jaką już zakupiono lub należy zakupić.

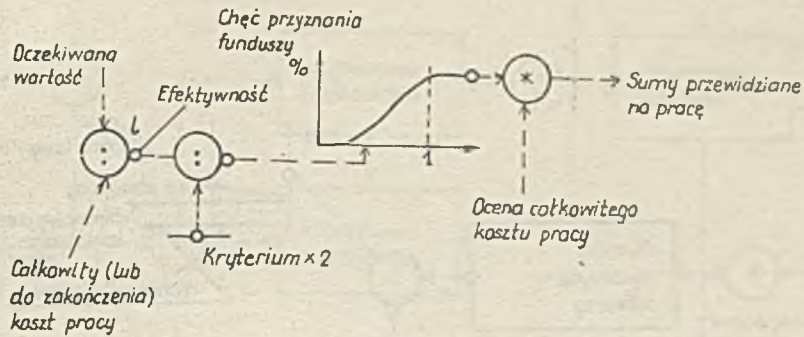
Ocena wydajności realizacji pracy jest funkcją raczej złożoną. Obejmuje ona wydajność uwzględniającą aktualny poziom technologii i jej trend, aktualną wydajność pracowników, również z uwzględnieniem jej trendu, kompletność posiadanej aparatury oraz wymaganą jakość wykonania danej pracy. Dopiero ich iloczyn określa wydajność łączną realizacji pracy. Trend wzrostu, czy spadku, wydajności pomnożony przez przyjęty okres przewidywań, związany z planowanym czasem pracy, reprezentuje przyrost wydajności przewidywanej. Jej suma z oceną aktualnej wydajności, obliczanej stosunkiem pracochłonności podstawowej do oceny pracochłonności całkowitej, tworzy następnie ocenę wydajności całkowitej.



rys. 6. Rozpoznanie wydajności pracowników oraz pracochłonności i kosztu pracy

Sektor oceny efektywności, rys. 7

Dysponując oceną oczekiwanej wartości pracy, rys. 5, oraz oceną całkowitego jej kosztu, rys. 6, odbiorca może w każdej chwili postępu pracy obliczyć aktualny stosunek tych wartości, tj. stosunek: wartość/koszt, będący miarą efektywności ekonomicznej wykonywanej dla niego pracy. Następnie, porównanie aktualnej oceny efektywności z wartością przyjętą za kryterium, skłania go (lub nie) do zawarcia umowy i finansowania placówki badawczo rozwojowej, celem wykonania danej pracy. Opisane zależności wyrażone są schematycznie na rys. 7. Przy wyliczaniu wartości efektywności ekonomicznej, za koszt przyjmowany jest całkowity koszt pracy lub koszt do jej zakończenia. Odbiorca posługuje się przeważnie wartością kosztu do zakończenia, bowiem mniej istotne jest dla niego ile już wydał na pracę, niż bieżąca kalkulacja stosunku oczekiwanej jej wartości do kosztów, które będzie jeszcze musiał ponieść.



rys. 7. Ocena efektywności oraz sumy przewidziane na pracę

Wymagania finansowe wykonawcy względem odbiorcy równoważne są ocenie całkowitego kosztu pracy. Sumy przyznawane wykonawcy przez odbiorcę równe są iloczynowi kosztu całkowitego pracy razy współczynnik określający chęć odbiorcy do przyznania funduszy. Wartość tego współczynnika zależy od bieżącej oceny efektywności ekonomicznej wykonywanej pracy.

Sektor ustalania funduszu własnego przez wykonawcę

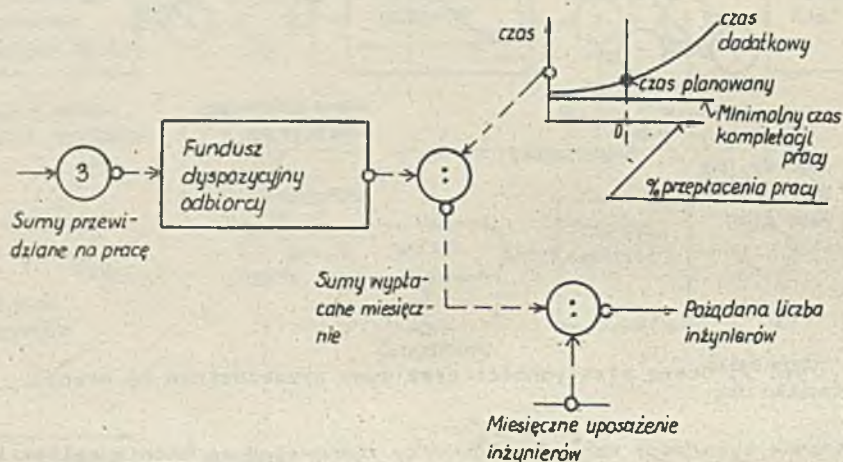
Fundusze własne wydatkowane na rozwój pracy przez wykonawcę określone są podobnie jak sumy przyznawane przez odbiorcę, rys. 7. Różne są jednak charakterystyki określające jego chęć przyznawania funduszy. Placówka badawczo rozwojowa bowiem nie zna charakterystyki odbiorcy, do której we własnym interesie chciałaby się dostosować. Placówka ta inwestuje w pracę gotówkę jedynie w wysokości ustalonego procentu sum, jakie spodziewa się, że przyzna odbiorca. Procent ten wyraża jej spodziewany dochód. W modelu uwzględniona jest również chęć ryzyka wykonawcy, wyrażona większym lub mniejszym finansowaniem własnym.

Finansowanie własne ma miejsce jedynie w początku pracy, dla przyspieszenia jej rozwoju. Od chwili gdy fundusze otrzymywane od odbiorcy są dostatecznie duże, wykonawca nie ma potrzeby finansowania pracy z funduszy własnych.

Sektor udziału finansowego odbiorcy, rys. 8

Określone w paragrafie Sektor oceny efektywności, sumy, przewidziane przez odbiorcę na rozwój pracy, przelewane są na fundusz dyspozycyjny finansowania tej pracy, co trwa około 3 miesięcy, rys. 8. Z kolei sumy z tego funduszu przekazywane są wykonawcy wg następującej filozofii odbiorcy. Odbiorca pokrywa bieżące rachunki przedstawiane sukcesywnie przez wykonawcę, jednak w wysokości nie większej niż określona przez iloraz: wartości funduszu dyspozycyjnego podzielonego przez pewien okres czasu obliczanego przez odbiorcę. Czas ten składa się z ocenianego czasu zakończenia pracy oraz z czasu dodatkowego będącego funkcją oceny nadpłaty za pracę, wyrażającą

się różnicą kosztu do jej zakończenia minus wartość pracy. Odbiorca przewiduje, że najkrótszy czas zakończenia pracy nie będzie krótszy od połowy czasu w jakim planuje się jej zakończenie.



rys. 8. Udział finansowy odbiorcy

Przyjęto, że czas dodatkowy zmienia się eksponentialnie w zależności od oczekiwanej nadpłaty za pracę. W przypadku, gdy wynosi ona zero, wówczas dodatkowy czas wyliczony przez odbiorcę wynosi połowę czasu planowego. Czas ten łącznie z minimalnym czasem kompletacji pracy równy jest wówczas czasowi planowemu.

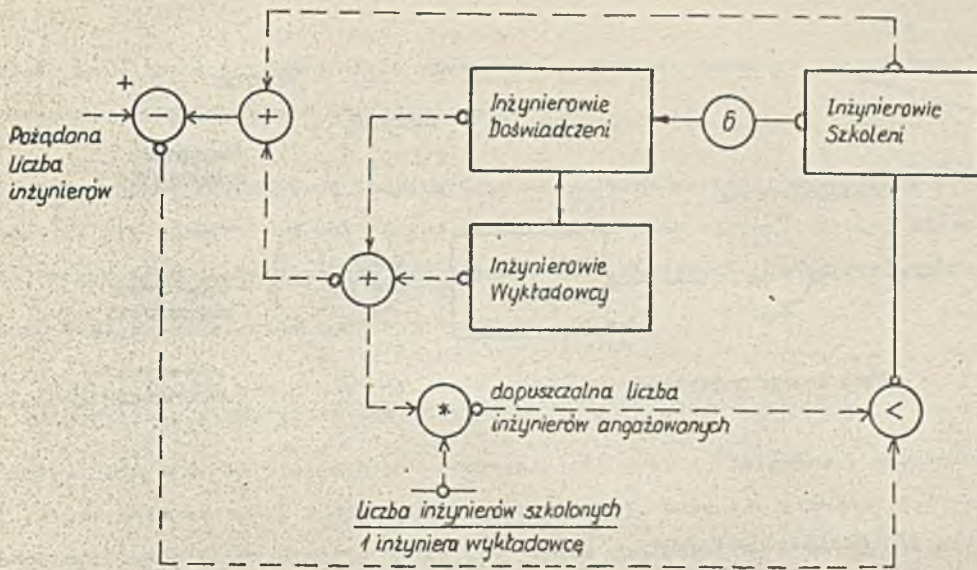
Gdy oczekiwana wartość nadpłaty jest większa od zera, to dodatkowy czas wprowadzany przez odbiorcę szybko rośnie. Gdy mniejsza od zera, to czas dodatkowy maleje.

Sumy wypłacane wykonawcy równo są aktualnej wartości funduszu dyspozycyjnego podzielonej przez sumę ocen czasu minimalnego kompletacji pracy plus czas dodatkowy.

Iloraz wypłacanej sumy podzielonej przez miesięczne uposażenie inżynierów tworzy liczbę inżynierów pożądaných.

Sektor kadr, rys. 9

Pożądana liczba inżynierów, rys. 9, wynikająca z dysponowanych przez wykonawcę funduszy, porównywana jest z liczbą aktualnie pracujących inżynierów. Różnica między tymi wartościami wskazuje liczbę inżynierów, którzy z punktu widzenia finansowego mogą i powinni być zatrudnieni dla rozwoju pracy.



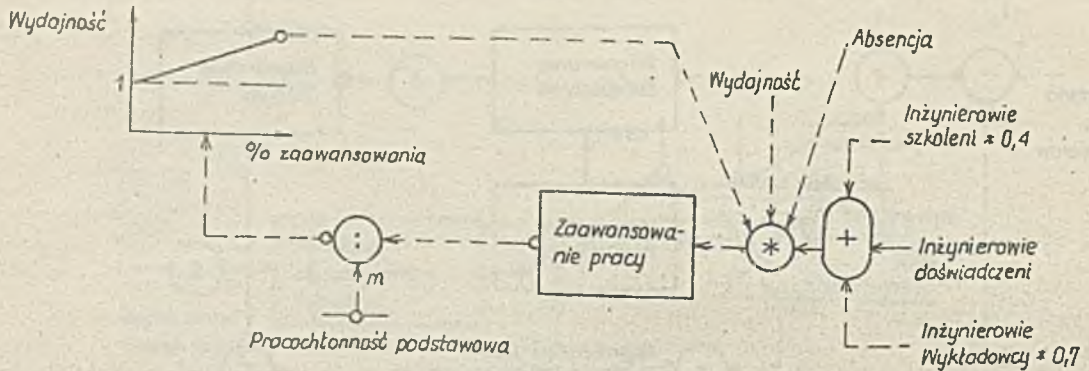
rys. 9. Sektor kadr

Jednakże możliwości finansowe nie są jedynym wykładnikiem naboru nowych inżynierów. Nowy inżynier musi być odpowiednio doszkolony w zakresie danej pracy, aby mógł ją rozwijać z pełną wydajnością i spełniać wymagania odnośnie jej jakości. Z tego względu w całości kadry inżynierskiej rozróżniamy trzy ich grupy, tj. inżynierów doświadczonych, inżynierów wykładowców i inżynierów szkolonych. Maksymalny nabór nowych inżynierów ograniczony jest liczbą inżynierów wykładowców i inżynierów doświadczonych pomnożoną przez współczynnik szkolenia. Wyraża go maksymalna liczba inżynierów szkolonych przez jednego inżyniera wykładowcę.

W ostatecznym rozrachunku liczbę przyjmowanych inżynierów określa mniejsza z liczb inżynierów pożądaných ze względów finansowych lub dopuszczalna ze względów szkoleniowych.

Sektor realizacji pracy, rys. 10

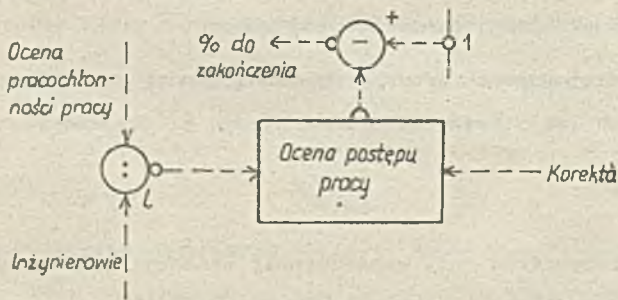
Wartość iloczynu aktualnej liczby inżynierów razy współczynnik absencji razy wydajność, z uwzględnieniem jej wzrostu w miarę postępu pracy i zdobytego doświadczenia, równa jest realnemu zaawansowaniu pracy. Stosunek tego zaawansowania do pracochłonności podstawowej (patrz Sektor oceny pracochłonności, rys. 6) wyraża z kolei procent zaawansowania pracy.



rys. 10. Realizacja pracy

Sektor oceny postępu pracy, rys. 11

Ocena postępu pracy wyrażona jest akumulowaną w czasie wartością stosunku liczby pracujących inżynierów (rys. 9) do oceny pracochłonności całkowitej, (rys. 6). Ocena postępu korygowana jest drogą jego porównywania z realnym zaawansowaniem, rys. 10. Pamiętaj jednak należy, że realne zaawansowanie pracy rozpoznawane jest dostatecznie dopiero przy wyższym jego poziomie.



rys. 11. Ocena postępu pracy

Załącznik 2

Przyczyny zmian wartości wskaźników efektywności procesu badawczo rozwojowego, występujących przy zmianach niektórych wartości jego parametrów

W załączniku tym omówione zostaną przyczyny zmian wartości wskaźników efektywności, rys. 4, występujące przy dwukrotnym skróceniu: czasu rozpoznania wartości pracy, czasu szkolenia inżynierów, wszystkich łącznie czasów operacyjno organizacyjnych oraz przyczyny zmian tych wskaźników przy wydłużeniu okresów wypłat z funduszu nagród.

Wpływ zmiany czasu rozpoznania wartości pracy

Rozpatrzmy przyrosty wskaźników efektywności, rys. 4, związane z dwukrotnym zmniejszeniem czasu rozpoznania wartości pracy badawczo rozwojowej. Czas ten stanowi nieliniową funkcję jej zaawansowania. Aby go dwukrotnie zmniejszyć użyto względem tej funkcji mnożnik o wartości 0,5. W rezultacie tej zmiany otrzymano, rys. 4, ponad półtorakrotny wzrost efektywności ekonomicznej wykonania pracy i związanego z nią funduszu efektów wdrożeniowych oraz paroprocentowe: spadek czasu wykonania pracy, wzrost maksymalnej liczby inżynierów, wzrost kosztów pracy.

Znaczny przyrost efektywności ekonomicznej i związany z nim przyrost funduszu efektów wdrożeniowych wywołane są zwiększoną wartością pracy, w miarę wcześniejszego jej kończenia (co wyjaśniamy niżej). Zwiększanie to jest szybkie, gdy praca kończy się w fazie zaniku cyklu jej życia, co w omawianym przypadku ma miejsce.

Szybsze rozpoznanie wartości pracy powoduje szybszy wzrost wartości oczekiwanej, a w dalszej konsekwencji wcześniejsze finansowanie pracy przez odbiorcę oraz wcześniejszy wzrost, a następnie spadek wydajności inżynierów (rys. 5 i 6). Rezultatem wcześniejszego finansowania jest szybszy przebieg pracy, a zatem i wcześniejsze jej zakończenie. Z kolei wcześniej występujący wzrost wydajności, mający miejsce w początku rozwoju pracy, niewiele obniża jej koszt, ponieważ pracuje wówczas niewiele jeszcze inżynierów. Natomiast spadek wydajności ma miejsce przy końcu pracy, gdy liczba inżynierów jest duża. Dzięki temu efekt tego spadku podwyższa koszt pracy więcej niż obniżał ten koszt wzrost wydajności w początkowej fazie realizacji pracy. W końcowym więc efekcie całkowity koszt pracy rośnie.

Wzrost maksymalnej liczby inżynierów, przy obniżeniu czasu rozpoznania wartości pracy, rys. 4, ma przyczyny podobne do przyczyn omówionych w stosunku do tej wielkości w treści zasadniczej opracowania, w paragrafie Maksymalna liczba inżynierów a założony czas planowy.

Wpływ zmian czasu szkolenia inżynierów

Dwukrotne obniżenie czasu wymaganego dla doszkalania nowo przyjętych inżynierów ma parokrotnie większy wpływ na podniesienie wskaźników efektywności pracy, niż zmiany omówione uprzednio, rys. 4. Przy zmianie czasu szkolenia obserwujemy 400% wzrost funduszu efektów wdrożeniowych, 19% spadek czasu wykonania pracy, 10% spadek jej kosztów. Maksymalna liczba inżynierów w trakcie pracy wzrosła o 8%, co wobec względnie dużych wartości poprzednio wymienionych przyrostów można uznać za względnie niewielki przyrost.

Praca kończona jest wcześniej, gdy dopiero przekroczyła fazę dojrzałości, rys. 1, a więc wartość pracy jest duża. Stąd i wartość efektywności ekonomicznej pracy jest wysoka, sięga wartości 11,7, a z nią wzrasta odpowiednio fundusz efektów wdrożeniowych.

Duże skrócenie czasu wykonania pracy wywołane jest względnie szybkim wzrostem liczby inżynierów w trakcie rozwoju pracy. Przypominamy, że wzrost ten w poprzednio opisanych przypadkach był ograniczony przede wszystkim potrzebami szkolenia. Gdy skrócimy czas szkolenia, to w krótkim czasie nowo przyjęci inżynierowie stają się doświadczonymi, czy wykładowcami, którzy mogą szkolić nowo przyjętych.

Spadek kosztu pracy to przede wszystkim wynik podniesienia wydajności całego zespołu. Ma ono miejsce, gdyż krótszy jest czas szkolenia nowo przyjętego inżyniera, w którym to czasie jego wydajność jest bardzo niska.

Wpływ skrócenia wszystkich czasów operacji typu organizacyjnego

Operacje typu organizacyjnego, których czasy wykonania zmniejszono tu o połowę, to: czas angażowania inżynierów, czas włączania ich do pracy, czas szkolenia inżynierów, czas korekty błędów w ocenie zaawansowania pracy i czas rozpoznania jej wartości.

Jak łatwo zaobserwować na rys. 4, drogą skrócenia wszystkich czasów operacji, uzyskano zdecydowanie największe skrócenie czasu wykonania pracy - o 36%, w stosunku do uprzednio rozpatrywanych przypadków. Efektywność ekonomiczna wzrosła również wysoko, do wartości 13,3. Podobnie znacznie wzrósł fundusz efektów wdrożeniowych - o 550%. Rośnie jednak koszt pracy, co nie miało miejsca przy skróceniu jedynie czasu szkolenia. Ponadto nieporównywalnie dużo rośnie maksymalna liczba inżynierów - o 70%.

Widzimy więc, że skrócenie wszystkich czasów operacji typu organizacyjnego w stosunku do skrócenia tylko jednego z nich, tj. czasu szkolenia przyniosło korzyści w zakresie czasu wykonania pracy i jej efektywności ekonomicznej, natomiast wniosło straty w zakresie poniesionych kosztów i podwyższyło maksymalną liczbę zatrudnionych inżynierów.

Wpływ zmian ograniczenia czasowego wypłat z funduszu efektów wdrożeniowych na wskaźniki efektywności

Wyliczono wartości wskaźników efektywności przy wydłużeniu z dwu do sześciu lat założonego okresu wypłacania nagród z funduszu efektów wdrożeniowych^{*)}. W wyniku podniesienia w ten sposób wydajności pracy inżynierów, jej koszty spadły o około 10%, jak również o podobną wartość spadło całkowite zatrudnienie potrzebne do jej wykonania. Czas wykonania pracy skrócił się przy tym minimalnie, tylko o niecałe pół miesiąca. Efektywność ekonomiczna wzrosła o około 10%. Ten wzrost efektywności jest głównie wynikiem spadku kosztu pracy, jw. Wartość pracy bowiem, w chwili jej zakończenia nie znalazła się jeszcze w fazie zaniku cyklu jej życia pracy, zachowując swoją wartość z fazy dojrzałości.

Zachowanie się modelu w zbliżonych do realnych warunkach przypadkowych zmian absencji inżynierów

Dotychczasowe wyniki otrzymano dla przypadków, gdy w modelu występują zależności o charakterze deterministycznym, z jedynym wyjątkiem przypadkowych opóźnień dostaw aparatury. Takie postępowanie jest słuszne dla badań, gdyż łatwiej pozwala na porównanie wyników, uzyskiwanych w różnych warunkach pracy modelu oraz pozwala łatwiej wyjaśniać obserwowane zjawiska. Jednakże w rzeczywistości stykamy się ze zdarzeniami o charakterze przypadkowym, odbiegającym od średnich przebiegu deterministycznego.

Chcąc ocenić wpływ zdarzeń przypadkowych na jakość uzyskanych wyników, zakłócono zachowanie modelu podstawowego przypadkowymi fluktuacjami absencji inżynierów. Uprzednio jej wartość była stała, wynosiła 10% aktualnego stanu zatrudnienia. Wprowadzona fluktuacja absencji charakteryzuje się odchyleniami o rozkładzie normalnym i 30% dewiacji. Uzyskane wyniki wskazują na minimalne ich odstępstwa, niższe od 2% od uzyskanych dla układu podstawowego, patrz rys. 4.

*) rozpatrywanie skutków takiego wydłużenia okresu wypłat nagród ma oczywiście sens jedynie przy odpowiednim wydłużeniu fazy dojrzałości cyklu życia wykonywanej pracy. Co uczyniono dla rozpatrywanych tu przypadków dwu i sześcioletniego okresu wypłacania nagród.

Załącznik 3

Wyjaśnienie przyczyn konsekwencji skrócenia wszystkich czasów operacyjno organizacyjnych

Przy skróceniu wszystkich czasów operacyjno organizacyjnych, rys. 4, obok zgodnego z przewidywaniem znacznego skrócenia czasu wykonania pracy, podwyższył się jej koszt. Sprawa ta nie jest oczywista i dopiero analiza symulacyjna pomaga nam ją wyjaśnić.

Rozpatrzmy wpływy zmian poszczególnych czasów na wzrost czy obniżkę kosztów. Dwa z nich były już rozpatrywane. Mowa tu o zmniejszeniu czasu szkolenia (rys. 4, wiersz przedostatni), który znacznie obniża koszt realizacji pracy, oraz o obniżeniu czasu rozpoznania wartości pracy (rys. 4, wiersz czwarty od końca), który nieznacznie ten koszt podwyższa. Zajmijmy się teraz wpływem zmian czasów nie wymienionych w tabeli na rys. 4.

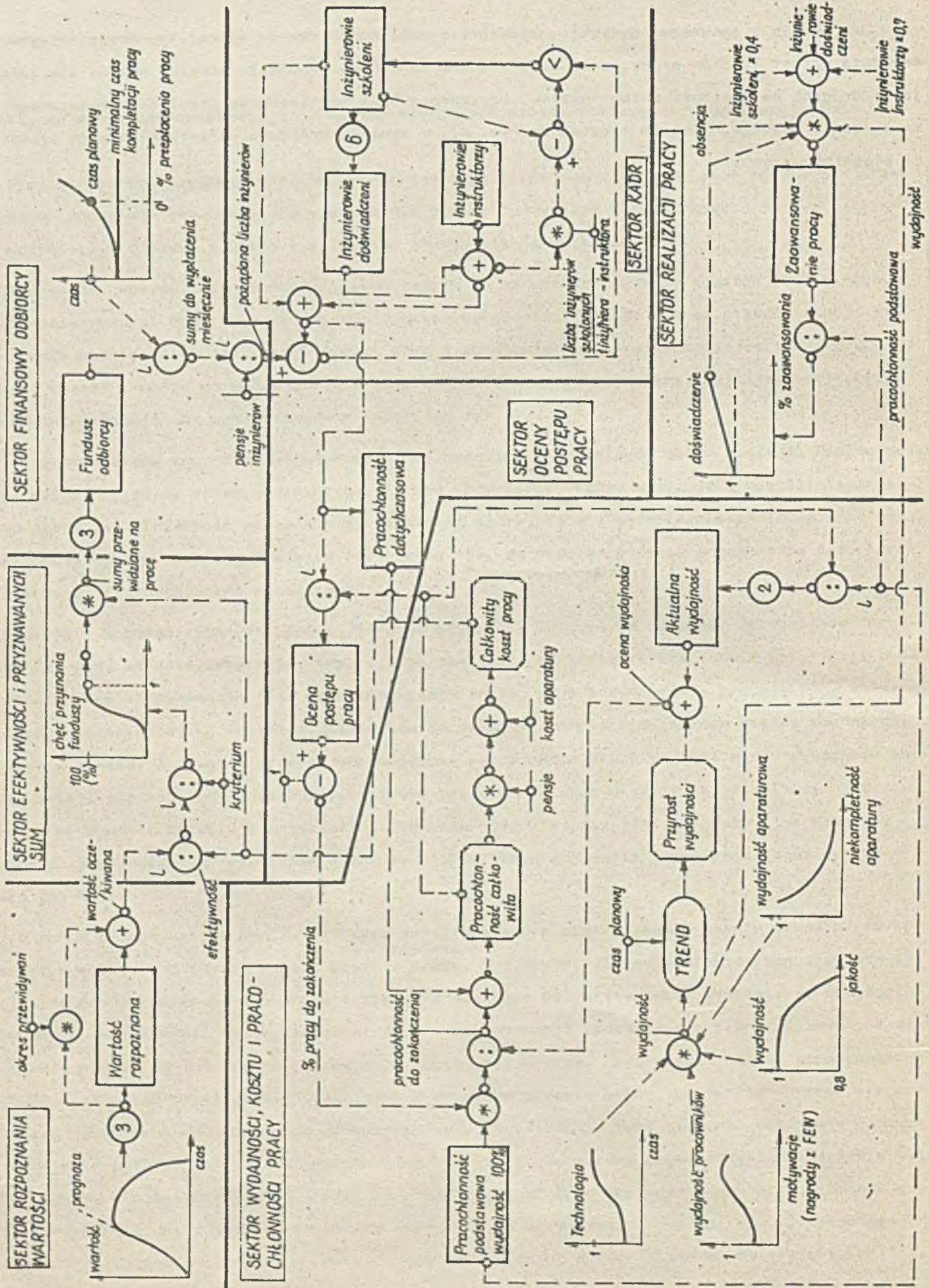
Skrócenie czasu angażowania inżynierów nie powoduje zauważalnych zmian kosztów. Dominujący bowiem wpływ na sposób przebiegu i wzrost liczby inżynierów, która decyduje o kształtowaniu się kosztu pracy, ma liczebność aktualnie zatrudnionej kadry. Ma ona ograniczoną zdolność szkolenia, co ogranicza dopływ nowo angażowanych inżynierów tak, że skrócenie czasu angażowania inżynierów nie powoduje istotnych zmian w kosztach.

Następny z rozpatrywanych czasów, to czas włączania inżynierów do pracy (obejmujący formalności kadrowe, badania lekarskie, itp.). Jego obniżenie wyraźnie skraca termin realizacji pracy. Dalszą tego konsekwencją jest podwyżka kosztu pracy, gdyż inżynierowie pracują przy niższej wydajności technicznej. W krótszym czasie bowiem mniej rozwinęła się jeszcze wiedza techniczna w zakresie tematu. Z drugiej strony, wcześniejsze zakończenie pracy podnosi nieco wydajność osobistą. Dzieje się tak, gdyż oczekiwana wartość pracy w końcowym okresie jej realizacji jest większa, co podnosi motywację inżynierów. Jednakże wpływ ten nie jest tak duży, jak wskazany uprzednio. W ostatecznym rezultacie więc, skrócenie czasu włączania inżynierów do pracy podwyższa jej koszt.

W końcu omówimy efekt obniżania czasu korekty błędów w ocenie zaawansowania pracy przez wykonawcę. Wywołuje ono pewien wzrost kosztów pracy. Przyjmijmy dla wyjaśnienia tego zjawiska sytuację, że ocena zaawansowania pracy kształtuje się zbyt optymistycznie. Wywołuje to zaniżenie oceny kosztu potrzebnego do jej zakończenia i w konsekwencji redukcję sum przewidzianych na finansowanie pracy, co w końcowym rozrachunku obniży jej koszty. Zbyt niskie bowiem finansowanie powoduje przedwczesne zwalnianie inżynierów w końcowym okresie pracy, co obniża wartość stosunku liczby inżynierów szkolonych do doświadczonych. Zmniejszenie tego stosunku natomiast podwyższa wydajność ogólną. Jeśli teraz wprowadzimy korektę błędów między zaawansowaniem rzeczywistym, a jego oceną, wówczas korekta ta zmniejszy stopień optymizmu w zakresie oceny zaawansowania pracy. W konsekwencji otrzymamy zmniejszenie skutków tego optymizmu, co wyrazi się wzrostem jej kosztów. Skrócenie czasu korekty odpowiada jej wzmocnieniu, a więc dalszemu zwiększeniu wartości kosztów.

Jak wynika z powyższej dyskusji, niektóre z omówionych czasów operacyjno organizacyjnych, powodują wzrost kosztów pracy, inne nie. Zbadano na drodze symulacji stopień wpływu tak jednych jak i drugich na wielkość zmian kosztów. Uzyskane wyniki potwierdzają rezultat nieznacznego zwiększenia kosztów, (wioraz ostatni na rys. 4), w wyniku skrócenia wszystkich czasów operacyjno organizacyjnych.

MODEL DYNAMIKI PRAC BADAWCZO-ROZWOJOWYCH



STRESZCZENIA

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENTS

Andrzej ROWICKI

Zautomatyzowane generowanie programowania dla automatów opartych na mikroprocesorach

W pracy rozważa się system programów reprezentujących działanie automatów skończonych. System programów generujących programy reprezentujące działanie automatów skończonych oraz programy reprezentujące działanie automatów skończonych są przystosowane do realizacji mikroprocesorowej. Generowanie programów odbywa się na drodze konwersacyjnej, tzn. konstruktor automatu musi dać odpowiedź na wiele prostych pytań generowanych przez system, dotyczących opisu działania automatu.

Автоматизированное генерирование программного обеспечения для автоматов, основанных на микропроцессорах

В работе рассматривается система программы репрезентирующих принцип действия конечных автоматов. Система программ, генерирующих программы, репрезентирующие принцип действия конечных автоматов и программы, репрезентирующие действие этих автоматов, приспособлены для микропроцессорной реализации. Генерирование программ производится в диалоговом режиме, т.е. конструктор автомата должен дать ответ на много простых вопросов, генерируемых системой касающихся описания принципа действия автомата.

Adam FAUDROWICZ

Размещение объектов на плоскости вспомогательное ЭВМ

В разработке описан способ расстановки плоскости с помощью метода, основанного на электрической модели. Описана сущность метода, рассмотрены примеры, а также указаны возможности его применения в разных отраслях техники.

Computer aided placement of geometrical object in a plane

The article describes the method based on an analog electrical model, which can be used for layout of a plane. The principles of this method, together with some examples are presented in this article. The possible application in various domains of technology is discussed too.

Ryszard LUKASZEWICZ

Модель динамики научно исследовательских работ

В работе предложена адаптивная структура процесса научно-исследовательских работ. Эта структура создаёт условия для получения максимальной эффективности процесса. Описана модель процесса, построенная согласно принципам динамики систем управления, а также результаты её симуляционных исследований.

The model of the dynamics of research and development

The paper contains the proposition of the adaptative structure of research and development process. This structure creates conditions for maximum effectiveness of the process. The model of the structure, built in System Dynamics convention, and the results of its simulation study have been described in this paper.

