

A 1 2 3 4 5 6 M 8 9 10 11 12 13 14 15 B 17 18 19

AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO
im. Generała Broni Karola Świerczewskiego

KATEDRA CYBERNETYKI

41

plk dr Jerzy SKIBIŃSKI

WSTĘP DO PROGRAMOWANIA HEURYSTYCZNEGO
(Szkic metodologiczny)



4224

WARSZAWA

LUTY

1970



AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO
im. Generała Broni Karola Świerczewskiego

KATEDRA CYBERNETYKI

41

płk dr Jerzy SKIBIŃSKI

WSTĘP DO PROGRAMOWANIA HEURYSTYCZNEGO
(Szkic metodologiczny)



4224

WARSZAWA

LUTY

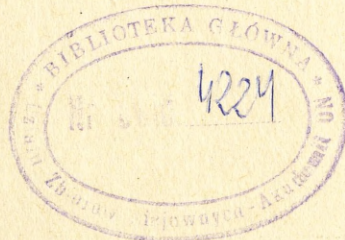
1970

AKADEMIA SZTABU GENERALNEGO
im. gen. broni K. Świerczewskiego

KATEDRA CYBERNETYKI

41

płk dr Jerzy SKIBIŃSKI
WSTĘP DO PROGRAMOWANIA HEURYSTYCZNEGO
/Szkic metodologiczny/



WARSZAWA

LUTY

1970 r.

SPIS ROZDZIAŁÓW

1. WPROWADZENIE. HEUREZA W PROCESIE MYŚLENIA.
 2. ISTOTA HEUREZY
 3. MODEL SYTUACJI PROBLEMOWEJ
 4. ISTOTA I CHARAKTER PROGRAMOWANIA HEURYSTYCZNEGO
 5. KLASYFIKACJA PROBLEMÓW /ZADAŃ/ W ŚWIELE JEZYKA HEUREZY
 6. STRUKTURY ZADAŃ PROGRAMOWANIA HEURYSTYCZNEGO
 7. STRUKTURA PROCESU PROGRAMOWANIA HEURYSTYCZNEGO
 8. ZASTOSOWANIE PROGRAMOWANIA HEURYSTYCZNEGO W PROCESACH
OPTIMALIZACJI WIELOCELOWYCH STRUKTUR HIERARCHICZNYCH
 9. ZAMIAST ZAKOŃCZENIA
- SPIS LITERATURY
PRZYPISY.

1. WPROWADZENIE. HEUREZA W PROCESIE MYŚLENIA

Problem poznania założeń i struktury procesu myślenia, pozwalającego człowiekowi znaleźć właściwą drogę postępowania^{x/} do prowadzącą do uzyskania poszukiwanego bądź oczekiwanego i korzystnego rozwiązania interesującego go problemu /zagadnienia, zadania, sytuacji/, na przykład w postaci decyzji, lub dowodu słuszności twierdzenia, od dawna absorbował umysły wielu ludzi nauki. W procesie rozwoju społeczeństwa zawsze bowiem chodziło o to, by procedury poszukiwania rozwiązań były ekonomicznie opłacalne, a rozwiązania - jak najkorzystniejsze, oczywiście, w świetle celu lub zbioru celów, które zamierzano osiągnąć. Co więcej, dając praktyczny wyraz stosowania ogólnej zasady gospodarności^{xx/}, poznanie struktury i "zasad" działania mózgu człowieka - mechanizmu sterującego procesem wydatkowania energii i zasobów materialnych - powinno również pomóc w uprzednim wykryciu faktu istnienia lub nieistnienia rozwiązania, którego zamierza się poszukiwać /np. dowód twierdzenia, algorytm, metodę ogólną itp/.

Sprowadzając problem do metod ułatwiających poszukiwanie /rozwiązań/, a dodajmy - reguł i środków oszczędzających czas i wysiłek umysłowy człowieka w celu, oczywiście, znalezienia pożądanego rozwiązania podjętego zadania, wkraczamy na obszar heurystyki^{xxx/}, dziedziny, która wprawdzie od blisko 24 wieków^{xxxx/} interesuje naukę, formułuje swe podstawy badawcze, lecz w ciągu ubiegłych 10 lat wyrosła już do rangi usamodzielniającego się działu cybernetyki "klasycznej", zajmującego się tworzeniem podstaw teoretycznych dla programów odwzorowujących pracę mózgu człowieka oraz tworzeniem tych programów /realizowanych na EMC/.

x/ Droga postępowania jako uogólnienie dla pojęć: sposób, strategia, taktyka, reguła, zasada, metoda itp.

xx/ Mamy tu na uwadze tzw. prakseologiczną zasadę gospodarności, a ściślej - dwa jej warianty, tj. wariant maksymalnych korzyści i wariant minimalnych nakładów.

xxx/ Heurystyka - z greckiego: heurezis - znalezienie, heurisko - znajduję.

xxxx/ Por. przyp. 1.

Nie jest też przypadkiem, że jeszcze w starożytności interesowali się heurazą i rozwijali ją głównie filozofowie, zwłaszcza w zastosowaniu do matematyki i logiki formalnej. Istniały bowiem wówczas, podobnie jak i obecnie, określone potrzeby stworzenia aparatury badawczej ułatwiającej m.in.: ustalenie istnienia /lub nie istnienia/ dowodu wysuwanego twierdzenia, przeprowadzanie dowodów prawdziwości twierdzeń, znalezienie metody doprowadzającej do uzyskania nawet przybliżonych wyników bardzo złożonych, lub bardzo pracochłonnych obliczeń /zwłaszcza numerycznych/ lecz umożliwić szybko. Interesujące wyniki w zakresie systematyzacji metod heurystycznych w służbie matematyki znajdują się w pracach: R. Descartes'a /1596-1650/, G. Leibniza /1646-1716/, B. Bolzano /1781-1848/, G. Helmholtza /1821-1894/, A. Poincaré'go /1854-1912/, E. Macha /1838-1916/ i in. Jednakże sama złożoność problematyki, składającej się na metodologię heurazy, zwłaszcza w świetle współzależności między tzw. naukami ścisłymi i społecznymi /głównie - filozofią i psychologią/ oraz brak możliwości eksperymentowania, nie pozwoliły nawet tak świetnej plejadzie uczonych wydać systematycznego wykładu o metodach heurazy.

Wypada również wskazać na rozwijanie heurazy w dziedzinie logiki formalnej, zwłaszcza z punktu widzenia praktycznych potrzeb w procesie uczenia. Jako jednego z pierwszych heurystyków - nauczycieli uważa się Sokratesa. Jemu też należy przypisać zasługę stworzenia podstaw dla powstałego dopiero w XVIII wieku kierunku nauczania poprzez pracę, to jest tzw. "szkoły pracy". Prekursorzy tej szkoły: J.J. Rousseau, J.H. Pestalozzi, A. Kameński i in. traktowali heurazę jako główną dźwignię metodologii nauczania aktywnego /m.in. poprzez stosowanie metod, ero-tematycznej, dyskusyjnej, laboratoryjnej/, wymagającego od uczącego się aktywnej postawy i samodzielności myślenia.

Obecnie istnieją już określone przesłanki by twierdzić, że współczesny i przewidywany postęp w rozwoju pedagogiki i dydaktyki ogólnej, wprawdzie angażujących się coraz intensywniej w kierunku wykorzystania cybernetyki i elektronicznej techniki obliczeniowej /zwłaszcza EMC/ jest w szczególności sposób uzależniony od postępów w rozwoju metodologii heurazy ogólnej /formalnej/, psychologii eksperymentalnej i /nazwijmy je w trybie

roboczym/ - cybernetycznych maszyn intelektualnych, realizujących na razie dość proste modele tzw. "sztucznej inteligencji".

Współczesne zainteresowanie heurazą, jako dziedziną, od której można oczekiwać pomocy w postaci metod badawczych, wystąpiło przede wszystkim na gruncie wyników badań psychologii eksperymentalnej, a ściślej, z powodu braku wyników oczekiwanych przez ten dział psychologii, gdy na pewnym etapie eksperymentowania okazało się, że konwencjonalne metody badań nie zapewniają odpowiedzi na niemal żadne z pytań dotyczących struktury pracy mózgu w procesie myślenia. W tym stanie rzeczy, psychologia eksperymentalna sięgnęła po heurazę i elektroniczną technikę obliczeniową, jakkolwiek było wiadomo, że aktualne /w końcu lat pięćdziesiątych/ EMC nie mogą jeszcze modelować /symulować/ procesów przebiegających w układach neuronowych człowieka, zwłaszcza w zakresie psychologii myślenia i fizjologii wyższej działalności nerwowej.

Wprawdzie należy uznać, że zastosowanie EMC w rozwoju metod heurazy dla potrzeb matematyki, lingwistyki matematycznej, planometrii itp. wywołało również jakościowy skok w rozwoju metod badawczych tych ostatnich, to jednak w świetle potrzeb psychologii eksperymentalnej postęp w dziedzinie EMC /m.in. stały wzrost szybkości działania, giętkości logiki i układów pamięci zewnętrznej/ wskazywał tylko przyszłe kierunki i potencjalne możliwości wykorzystania tej techniki w praktyce badań procesów psychicznych.

Wydaje się jednak, że sprowadzenie postępu w rozwoju EMC tylko do roli "wytyczającego perspektywy" heurazie byłoby po-
głędem dość pesymistycznym, zwłaszcza gdy weźmie się pod uwagę ilość i ciężar gatunkowy prac // wydanych w ciągu ubiegłych 10 lat/x/, w których stosuje się heurazę jako narzędzie podstawowe.

Do problemów, którym dotychczas poświęcono stosunkowo naj-
więcej uwagi należą:

x/ Stosunkowo najpełniejszy spis literatury do roku 1963 zawiera książka: Wycisłitielnyje masziny i myslenie; wyd. "Mir" Moskwa 1967 /tyt.oryg. Computers and Thought. A collection of articles Ed. E.A. Feigenbaum and J. Feldman, N.York 1963/ [12], w której podano ponad 1200 pozycji wydawniczych o różnym charakterze. Wprawdzie brak pełnych danych o literaturze z tej dziedziny w latach 1963-1970, można jednak przyjąć, że ogólny stan sięga 2500 pozycji.

- algorytmizacja zadań /przy czym nie tylko "czysto" matematycznychⁱ logicznych, lecz i ich zastosowań we wszelkim racjonalnym działaniu człowieka/;
- formułowanie pojęć;
- udowadnianie twierdzeń;
- wysuwanie hipotez;
- rozpoznawanie /obrazów, mowy itp/;
- poszukiwanie informacji;
- samonauczanie się /automatów/, w tym - gry intelektualne /szachy i warcaby/;
- planowanie /w systemach ekonomicznych/;
- tworzenie programów dla działania modeli "sztucznej inteligencji", odpowiadających możliwościom istniejącej ETO.

Oczywiście, dobór wymienionych problemów jest raczej przypadkowy, ilustrujący zakres możliwości, a nie wynika z klasyfikacji zadań.^{x/}

Dość szeroki wachlarz problemów, w których rozwiązaniu heureka odgrywa znaczną rolę nie oznacza, że dziedzina ta dysponuje pełną metodologią, a przynajmniej posiada w pełni utrwalone jej podstawy. Wywołane przez ETO jakościowe zmiany w metodykach rozwiązywania sytuacji problemowych w różnych dziedzinach spowodowały, że dotychczasowe, skromnie sformułowane podstawy metodologiczne heurazy również wymagają jakościowej przebudowy, a przy tym takiej by zadawała przynajmniej: matematyków, logików, psychologów, filozofów, lingwistów, wojskowych. Przebudowa ta jest jednak z kolei ściśle związana i uzależniona od stworzenia języka, w którym można by opisywać procesy heurystyczne. Niestety, aktualna sytuacja "wieży Babel", w której muszą pracować użytkownicy EMC nie sprzyja uderzeniu "szerokim frontem", istnieją już jednak pewne przesłanki dla bardziej optymistycznej oceny przyszłości.

Zainteresowanie możliwościami heurazy przejawiają dziś coraz szersze kręgi pracowników naukowych różnych dziedzin wiedzy, nie jest już możliwe wymienić wszystkich najbardziej aktywnych. Wypada jednak wspomnieć tych nielicznych, którzy

x/ Klasyfikacji zadań rozwiązywanych metodami heurazy poświęcimy nieco miejsca w rozdz. 5.

odegrali rolę prekursorów współczesnej heurezy, wytyczyli jej konkretne kierunki i położyli pierwsze kamienie węgielne dla budowy podstaw ogólnych metodologii heurezy formalnej. Do czołówki tej należą: A. Nevell, H.A. Simon, J.C. Shaw, J. Mc Corty, W.S. Mc Culloch, G. Polya pracujący na Zachodzie, głównie w USA. Spośród radzieckich pracowników naukowych wyróżnić należy: W.N. Puszkiną, L.M. Wekkera, A.W. Napałkowa, M.L. Brudno, B.F. Łomowa, W.M. Głuszkowa, A. Ja Bojarskiego.

Porównując tempo rozwoju współczesnej heurezy z tempem rozwoju ETO, automatyki i badań w dziedzinie psychologii myślenia, H.A. Simon w jednej ze swych prac napisał: "Myślę, że możemy się zgodzić, iż wiek XX jest wiekiem heurystyki formalnej. Bądźmy jednak ostrożniejsi i powiedzmy, że heureza przeżywa dopiero okres średniowiecza, a właściwą jej siłę zastosowań można będzie ocenić dopiero w wieku XXI poprzez rozwiniętą teorię decyzji heurystycznych.

2. ISTOTA HEUREZY

Jakkolwiek nie stwierdziliśmy dotychczas wyraźnie, to niewątpliwie można było zauważyć, że mówiąc o procesie myślowym, zachodzącym w mózgu człowieka, mieliśmy na uwadze tylko i jedynie procesy dotyczące jego twórczej działalności, dla której niezbędny jest wysiłek intelektualny skierowany dla osiągnięcia czegoś niepowtarzalnego, co uprzednio nie istniało w sensie faktu powszechnie znanego. Stąd też, heureza można nazwać dziedziną badającą prawidłowość tworzenia nowych działań w nowych sytuacjach;^{z/} inaczej - heureza jest wiedzą empiryczną tworzenia metod badań struktury procesów twórczych, przebiegających w mózgu człowieka i służącą modelowaniu prognozy poszukiwanego rozwiązania na podstawie diagnozy stanu, składających się na to rozwiązanie czynników pierwotnych - diagnozy wynikającej z analizy genezy tych czynników.

Proponowane podejście do treści pojęcia heurezy pogłębia

x/ Heureza, w sensie tu omawianym, nie doczekała się jeszcze właściwej sobie definicji, a przy tym powszechnie zaakceptowanej. Niektóre określenia zawiera przypis 2.

je i poszerza: pogłębia ze względu na konsekwencje o charakterze metodologicznym - heureka staje się bowiem wtedy narzędziem wiodącym w stosunku do występujących w klasycznej metodologii ogólnej, natomiast poszerzenie wyraża się poprzez objęcie zakresem działania badawczego możliwie pełnego obszaru charakterystyk badanego przedmiotu, traktowanego jako zbiór elementarnych sytuacji problemowych.^{x/} W ten sposób, w badaniach /w istocie swej/ szczególnie złożonych postaci twórczej działalności mózgu, heureka korzysta z cybernetycznego aparatu poznawczego, dzięki któremu nie tylko usiłuje ustalać granice podziału każdej z tych postaci procesów twórczych^{xxx/} na elementarne procesy informacyjne, lecz co więcej, podejmuje próby symulacji /na EMC/ struktur tworzonych przez te procesy elementarne.

To powszechnie znane w cybernetyce ogólnej metodyczne podejście do badanego przedmiotu /objektu/ procesu, zjawiska/ wymaga w badaniach procesów twórczych dodatkowych uściśleń, istotnych z punktu widzenia psychologii myślenia i fizjologii myślenia. Te uściślenia metodyki badań wynikają z umiejętności sformułowania możliwie ścisłej i o wyczerpującej odpowiedzi na pytania: czym jest myślenie? & ponadto - na czym polega specyfika twórczych form pracy mózgu w porównaniu ze znanymi w cybernetyce procesami przetwarzania informacji?

Dotychczasowe próby odpowiedzi na te pytania /po części z powodzeniem/, głównie ze stanowiska teorii funkcji mózgu oraz z punktu widzenia sterowania przy zastosowaniu metod heureka podejmowali m.in.: A. Newell, H.A. Simon i J.C. Shaw m.in. w pracach [37], [35], [41], [40], M.L. Minsky [29]^{xxx/} [28].

x/ Pojęcie "sytuacja problemowa" zostanie wyjaśnione w rozdz.3
xx/ Zauważmy, że przebieg i efekt każdego procesu twórczego zależy od motywu /prostego lub złożonego/, który go uruchomił, a stąd - każdy proces może spełniać różne funkcje wynikające z pobudek o charakterze psychologicznym i - zewnętrznym, informacyjnych o charakterze nakazów lub zakazów.

xxx/ Referat M.L. Minskiego [29] w tłum. ros. "Na puti k sozdaniju isskustwiennogo rozuma" występuje w zbiorze 12 .

A.W. Napałow [32] [34], C.L. Moodie i H.H. Young [30]. Niemniej jednak problem roli heurezy w badaniach struktury procesów myślenia nie został jeszcze dostatecznie naświetlony. Podejmowane prace [26] i [46]^{x/} można traktować jedynie jako zaawansowany wstęp do tego nowego działu cybernetyki.

Jednak nawet w obecnej, początkowej fazie prac nad ustaleniem metodologicznych podstaw heurezy, problem jej roli w procesie twórczej działalności człowieka można przedstawić w postaci pewnych /być może/ prymitywnych i lapidarnych pytań:

1. W jaki sposób człowiek rozwiązuje interesujący go problem /np. aby podjąć właściwą decyzję/ ?
2. Co i w jaki sposób wyróżnia, jako podstawowe i dostatecznie ogólne, przystępując do rozwiązania problemu ?
3. Co i w jaki sposób wyróżnia oceniając uzyskane wyniki ?

Jeśli proponowany przez metodykę formalny, wieloetapowy podział pracy nad problemem uznać za słuszny i praktycznie użyteczny, to wyniki obserwacji działalności twórczej człowieka w każdym z tych etapów^{xx/} /por. rys. 1/ /zwłaszcza, jeśli to możliwe - obserwacji etapów jako eksperymentów wielokrotnie powtarzanych/, powinny doprowadzić do przesłanek dla odpowiedzi na powyższe trzy pytania. Poszukując rozwiązania określonego problemu /zadania/, zwłaszcza o charakterze niepowtarzalnym, najczęściej najpierw poddajemy analizie wszelkie znane fakty, wyróżniamy niezbędne informacje uzupełniające, które należy dodatkowo uzyskać, stwierdzamy umowności i uwarunkowania, ustalamy pytania dla konkretyzacji wyników oraz kryteria ich oceny. Oczywiście, u podstaw tego procesu tkwi przynajmniej wstępne sformułowanie problemu i zbiór hipotez, które należy uzasadnić

x/ B. Reitmann [46] dał dość interesującą próbę stworzenia teorii pracy mózgu na podstawie założenia, że organizacja pamięci i przetwarzania danych ma strukturę.

xx/ Wiele interpretacji wieloetapowości procesów działalności twórczej /np. procesów badawczych/ można sprowadzić do podziału dostatecznie ogólnego:

- | | | |
|-----------|---------------|--------------------------------------------------|
| GENEZA | - - - - - I | Sformułowanie problemu. |
| DIAGNOZA | | II Wstępne ustalenie konstrukcji modelu problemu |
| - - - - - | - - - - - III | Ostateczne sformułowanie modelu |
| PROGNOZA | | IV Rozwiązanie modelu |
| - - - - - | - - - - - V | Weryfikacja wyników |

w postaci poszukiwanego rozwiązania.

Inaczej mówiąc, poszukiwanie rozwiązania problemu realizuje się na zbiorze określonych elementarnych sytuacji problemowych /podproblemów, problemów czątkowych/, z których każda opiera się na ustalonym zbiorze hipotez dotyczących merytorycznej strony rozwiązania problemu.

3. MODEL SYTUACJI PROBLEMOWEJ

Wspominaliśmy, że istnieją uzasadnione podstawy /nie tylko/ dla wysunięcia tezy o istnieniu realnych możliwości stworzenia teorii umożliwiającej modelowanie i badanie działalności umysłowej człowieka, a tym samym - struktury procesu rozwiązywania zadań.

Zauważmy też, że jakkolwiek z cybernetycznego punktu widzenia, umysłową działalność człowieka w procesie podejmowania decyzji można opisać przy pomocy dendrytu ^{x/}, to jednak w rzeczywistości występuje też wiele problemów, których nie da się opisać w postaci dendrytu /np, przeprowadzanie dowodów twierdzeń, deszyfrowanie, "problem komiwojażera" itp/, a jeśli nawet uda się odpowiednio dendryty utworzyć, to złożoność sekwencji ich łuków będzie przekraczała możliwości współczesnych EMC w zakresie przetwarzania ich stanów.

Wprawdzie, jak wynika z badań prowadzonych przez psychologię eksperymentalną, działalności umysłowej człowieka nie charakteryzuje błądzenie po dendrycie, to wydaje się, że wspomniana teoria powinna objąć i ten rodzaj działań, choćby nawet dlatego, że schematyzm sekwencji dróg poszukiwania być może wstępnie ułatwi wykrycie prawidłowości proces rozwiązywania zadań twórczych, szczególnie złożonych i zwłaszcza tych, które można zaliczyć do klasy zadań ekstrapolacyjnych w nieokreślonym obszarze poszukiwania.

x/ Przyjmuje się, że w dendrycie /drzewie/ węzły określają pewne stany /rozwiązania/ dopuszczalne, a łuki - możliwości przejść z jednego stanu do innego. Błądząc losowo wzdłuż różnych dróg dendrytu lub też korzystając z przyjętego systemu hipotez, należy kolejno przeglądać węzły /zgodnie z przyjętym kryterium/, aż do wykrycia spośród nich takiego, który odpowiada przyjętemu kryterium i może być uznany jako rozwiązanie zadania.

Proces kształtowania się w mózgu człowieka modelu informacyjnego interesującego go problemu /zadania/ można przedstawić w postaci modelu cybernetycznego, który nazwiemy modelem informacyjnym sytuacji problemowej. Oczywiście w treści swej model ten będzie zawierał pewne elementy wyrażające predyspozycje tego, który modeluje, ~~ten~~ jak w danej sytuacji widzi problem, biorąc pod uwagę wpływ wywierany na niego przez czynniki wewnętrzne /psychiczne/ i zewnętrzne /wpływ otoczenia/.

Budowę, a następnie badanie modelu informacyjnego sytuacji problemowej, krócej - modelu sytuacji problemowej można jednak podjąć po uprzednim wykryciu podstawowych prawidłowości, występujących w procesie podejmowania decyzji, one bowiem umożliwiają sformułowanie cech charakteryzujących nie tylko strukturę problemu /przedmiotu decyzji/, lecz co więcej - proces tworzenia jego modelu, a z kolei - rozwiązywania. Z praktyki projektowania systemów wiadomo, że nawet dobrze znając cechy, jakim powinna odpowiadać struktura przyszłego obiektu, można nie być w stanie opracować wystarczająco użytecznego modelu tego obiektu, a przynajmniej takiego by umożliwiał dokonywanie na nim najbardziej niezbędnych eksperymentów.

Na podstawie wyników badań psychologii eksperymentalnej /np. [45] , [44] , [4] / można przyjąć, że informacje o problemie - oryginale, kształtujące sytuację problemową - obraz w świadomości człowieka można przedstawić w postaci częściowo uporządkowanego zbioru elementów współzależnych, przy czym współzależności te nie koniecznie muszą mieć charakter deterministyczny.

Podobnie jak kształtujący się obiektywnie w mózgu model problemu, tak i cybernetyczne ujęcie modelu sytuacji problemowej powstaje w wyniku analizy tworzenia podzbiorów informacji /metainformacji/ i w miarę agregacji tych podzbiorów. Można też przyjąć, że ogólny model sytuacji problemowej /widzianej kompleksowo/ poddaje się dekompozycji na "podmodele", z których każdy opisuje tylko określony, elementarny fragment całości. Oczywiście, te modele elementarnych sytuacji problemowych łatwiej badać eksperymentalnie. W wyniku badań

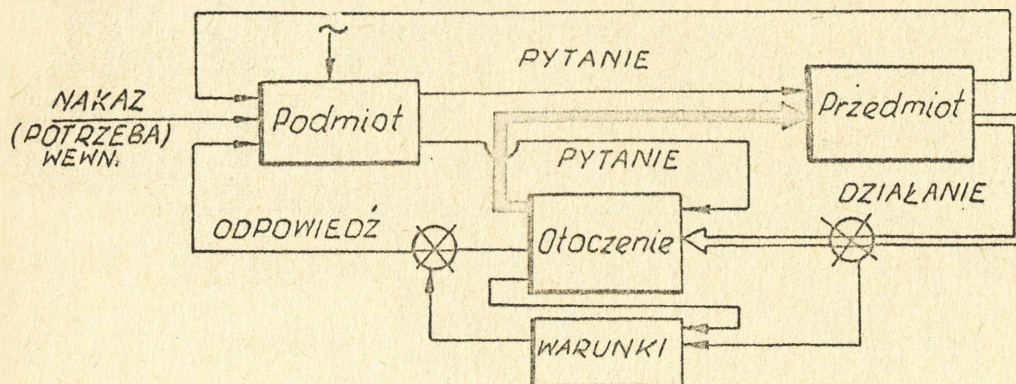
opisanych w pracy [45] stwierdzono m.in., że aktywność podejmującego decyzję przejawia się w analizie jedynie tych czynników każdej z elementarnych sytuacji problemowych, między którymi wykrył określone współzależności warunkujące treść decyzji. Stwierdzono również, że jakkolwiek badany przedmiot /człowiek grający w szachy/ rozwiązywał problem, który nadawał się do opisu przy pomocy dendrytu, to jednak struktura procesu poszukiwania rozwiązań migdy nie miała charakteru błędzenia po dendrycie.

Kolejną cechą modelu sytuacji problemowej /w tym również - elementarnej sytuacji problemowej/ jest umożliwianie tworzenia wariantów rozwiązań. Cecha ta ma szczególne znaczenie przy rozwiązywaniu problemów szczególnie złożonych, w których intelektualne zdolności człowieka odgrywają główną rolę /np. w pracy naukowo-badawczej/. Zdawało by się więc, że cecha ta przeczy heurystycznej strukturze procesu myślenia, która w zasadzie powinna doprowadzać do ograniczania liczby wariantów rozwiązań. Wiadomo jednak, że w toku pracy badawczej dość często występują okresy zaniku inwencji twórczej, powstawanie intelektualnej pustki, zagubienia się /w dendrycie/. W tych sytuacjach dąży się z reguły do ustalenia możliwie dużej liczby wariantów, zdejści sobie przy tym sprawę z wydłużenia się w ten sposób drogi poszukiwania rozwiązania. W tym ujęciu, cecha ta nie zawęża procesu heurystycznego, lecz co więcej, rozszerza jego zakres na problemy /zadania/ ekstrapolacyjne w nieokreślonych obszarach poszukiwania.

Wydaje się, że nie trzeba uzasadniać konsekwencji założenia o traktowaniu każdego z dowolnych wariantów rozwiązania, jako efektu właściwej mu elementarnej sytuacji problemowej. W związku z tym można też przyjąć, że w stosunku do każdego wariantu rozwiązania będzie miała zastosowanie ta sama struktura procesu twórczego, która obowiązuje przy rozpatrywaniu danej elementarnej sytuacji problemowej.

Z modelowego charakteru procesów heurystycznych wynika, że współzależność badanego przedmiotu /problemu/ od otoczenia i odwrotnie, a ponadto w stosunku do podmiotu /człowieka/ można sprowdzić do przepływu informacji i zasileni /jeśli występują, np. w procesie eksperymentowania w warunkach laboratoryjnych,

poligonowych itp/ według skrajnie uproszczonego schematu.

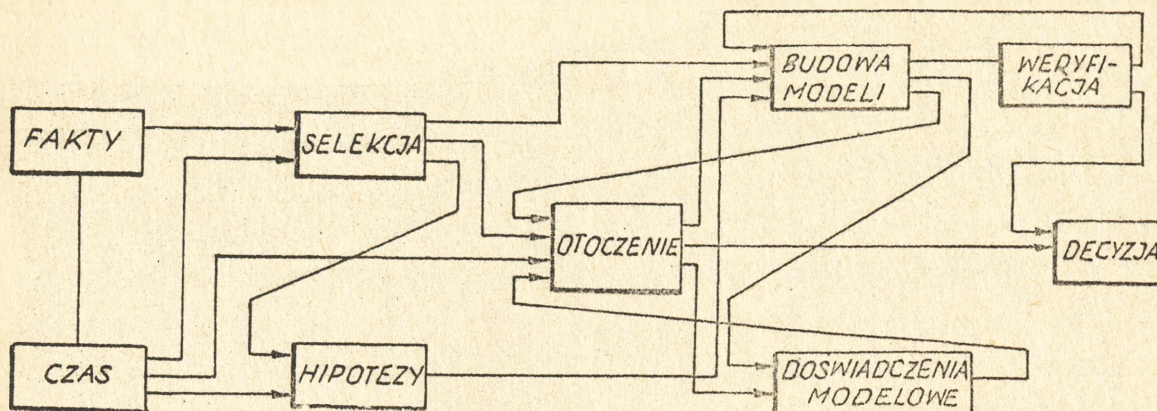


Rys. 1.

Uruchomienie procesu heurystycznego zależy ponadto od sformułowania modelu warunków ograniczających, w jakich będzie realizowane uzyskane rozwiązanie. Model warunków /ograniczeń/ powinien przy tym zapewniać:

- możliwość ustalenia badanej sytuacji problemowej;
- dokonanie analizy czynników warunkujących treść danej sytuacji problemowej;
- wyróżnianie elementarnych sytuacji problemowych /odpowiednio niższego rzędu/, stanowiących o wariantach rozwiązania;
- wybór właściwego wariantu jako rozwiązania danej sytuacji problemowej.

Wychodząc z założenia, że efekt pytań kierowanych przez podmiot i uzyskiwanych odpowiedzi /rys. 1/ zawsze uruchamia określone zasilania /w postaci decyzji dla przedmiotu/, które z kolei działają na otoczenie zmieniając je w całości, bądź tylko niektóre cechy jego elementów lub struktury, nasuwają się przesłanki do zestawienia ideowej postaci wewnętrznej struktury procesu tworzenia modeli sytuacji problemowej /rys. 2/.



Rys. 2

Informacje o zmianach otoczenia /rzeczywistych bądź przewidywanych/ podlegają selekcji, by wybrane spośród nich poddać konfrontacji w systemie ustalonych hipotez, a następnie, w wyniku weryfikacji hipotezy, wprowadzić do bloku tworzenia modeli sytuacji problemowych. Weryfikator wstępnej wersji modelu tj. blok ogólnego doświadczenia podmiotu ocenia wartość modelu sytuacji i zależnie od wyników oceny, wysuwa jako decyzję, bądź kieruje do bloku doświadczeń modelowych podmiotu, skąd po skonfrontowaniu z otoczeniem dokonuje się korekty /nawet wielokrotnie, jeśli zajdzie potrzeba/, by uzyskać postać rozwiązania.

Abstrakcyjny i jednocześnie heurystyczny charakter wewnętrznej struktury procesu tworzenia modeli sytuacji problemowych jest właściwy większości spośród badanych procedur pracy twórczej. Umożliwia wydatnie zmniejszać liczbę wariantów rozwiązań, a przy tym ułatwia ich porządkowanie, uwzględnia weryfikację hipotez w ujęciu modelowym i naturalnym.

Uzyskanie na tej drodze modele sytuacji problemowych nie wykluczają możliwości ich alternatywnego traktowania zależnie od zmian w systemie hipotez /w wyniku ich weryfikacji/, a ponadto, w rezultacie wielokrotnej konfrontacji z otoczeniem, aż do chwili uzyskania oczekiwanego /pożądanego/ rozwiązania /decyzji/. Niemniej istotne znaczenie dla skuteczności procesu twórczego ma możliwość włączania do analiz sytuacji problemowej /realizowanej w bloku doświadczeń modelowych/ wyników ewentualnych badań statystycznych, dotyczących rejestracji zmian w strukturze otoczenia.

Heurystyczne aspekty procesu tworzenia modeli sytuacji problemowych dają o sobie znać umożliwiając stopniową ich konkretyzację począwszy od wersji początkowej, wyjściowej aż do coraz bardziej odpowiadających strukturze otoczenia. Uściślenie modelu odbywa się niejako w dwóch płaszczyznach: jedną z nich jest eksperymentowanie naturalne przypominające metodę prób i błędów, drugą - wewnętrzne doświadczenie modelowe, które w sposób szczególnie wpływa na wzrost liczby eksperymentów /prób/ naturalnych. Stąd też, w toku uściślenia modelu daje się zauważyć działanie pewnej heurystyki, zmierzającej nie tylko do ograniczenia liczby eksperymentów, lecz również do stopniowej konkretyzacji kierunku eksperymentowania.

W procesie analizy modelu sytuacji problemowej /w bloku doświadczeń modelowych/ następuje również sprawdzanie jego logicznej niesprzeczności. Może się bowiem zdarzyć, że wśród wielu elementów modelu znajdzie się taki ich podzbiór, w którym współzależności między tworzącymi ten podzbiór elementami tworzą strukturę niezależną /pętlę, pierścień itp/, a przy tym sprzeczną /lub nawet częściowo niezgodną/ w stosunku do podstawowej struktury modelu danej sytuacji problemowej. Poprawienie modelu może wtedy nastąpić bądź poprzez eliminację tych elementów podzbioru, które wykazują bardzo małe prawdopodobieństwa statystyczne występowania, bądź - na drodze przekształcenia podzbioru w inny podzbiór, współzależny z pozostałymi podzbiórami elementów modelu. Przekształcenie to można dokonać m.in. na podstawie włączenia uzupełniających lub nowych elementów z otoczenia, na które należy złożyć odpowiednie "zapotrzebowanie", względnie uruchamiając dodatkowe eksperymenty kontrolne, lecz w odniesieniu do innej cechy /lub cech/ z ogólnego zbioru cech elementów badanego problemu, korygując na tej drodze stopień adekwatności elementów podzbioru sprzecznego względem ~~elementów~~ pozostałych podzbiorów.

Wreszcie należy wy wyróżnić przypadek występujący dość często w praktyce długookresowej działalności twórczej nad jednym problemem /np. w pracy naukowo badawczej z dziedziny ekonomii, socjologii, wojska itp/, gdy obiektywne zmiany otoczenia /problemu/ wymagają uwzględnienia ich wpływu na strukturę

i treść modeli sytuacji problemowych. Powstaje tu istotny problem stałej aktualizacji modelu, z jednoczesnym utrzymaniem w pamięci przyjętego układu, procesów tworzenia wszystkich poprzednich modeli sytuacji problemowych, by korzystać z nich dla tworzenia nowych lub tylko wybrane - aktualizować w miarę potrzeb^{x/}.

Ta ostatnia cecha podkreśla stałą aktywność proponowanego układu procesu heurystycznego w zakresie tworzenia ciągów aktualnych modeli sytuacji problemowych, wyróżniając przy tym zarejestrowane właściwości dynamiczne modeli, układ ten umożliwia rekonstrukcję dawnych modeli /np. w ramach genezy problemu/. Co więcej, występują też przesłanki pozwalające zauważyć pewną analogię między strukturą proponowanego układu procesu, a strukturą dynamicznego systemu adaptacyjnego. To istotne zagadnienie wymaga jednak potwierdzenia w wyniku szczegółowych badań teoretycznych i wielu eksperymentów.

4. ISTOTA I CHARAKTER PROGRAMOWANIA HEURYSTYCZNEGO

Przejmijmy, że w trybie roboczym /choć nie bez podstaw np. [39] , [38] , [44]/ wprowadzimy termin teoria rozwiązywania zadań /przez człowieka/, mając na względzie wiedzę o tworzeniu metod doboru środków i sposobów ich użycia dla rozwiązywania modeli sytuacji problemowych, przy minimalnym /dopuszczalnym/ wysiłku twórczym /człowieka/ i ekonomicznie uzasadnionych nakładach ze strony technik obliczeniowych /np. ETO/.

Przedmiotem badań tak określonej teorii byłyby więc tylko procesy informacyjne kształtujące się w mózgu człowieka i doprowadzające do rozwiązania zadanego modelu sytuacji problemowej.

Sięgając jednak po dotychczasowe wyniki psychologii eksperymentalnej, dotyczące badania procesów rozwiązywania zadań m.in. [44] , [35] , [19] , [3] , należy przyjąć, że elementy wstępnego sformułowania modelu sytuacji problemowej

x/ Propozycje rozwiązywania tego rodzaju zadań dla potrzeb kierowania operacyjnego występują w pracy [43] .

występują już w etapie pracy twórczej nad sformułowaniem problemu, ich treść zależy od stopnia dezagregacji problemu /kompleksu/, a ponadto od tego jak człowiek "widzi" analizowany /modelowany/ problem, tj. jakimi kieruje się motywami /pobudkami wewnętrznymi o charakterze psychologicznym i zewnętrznymi - wpływem otoczenia/. Istotnie, najczęściej nie można ustalić ostrej granicy między etapem sformułowania problemu i etapem wstępnego sformułowania modelu, podobnie też nie jest możliwe ustalenie takich granic między następnymi, kolejnymi stopniami procesu myślenia, doprowadzającego do rozwiązania zadania /nawet łącznie z etapem weryfikacji wyników, który wiąże się z etapem sformułowania problemu, zamykając łańcuch - jeden z cykli - w realizowanym procesie/. Stąd też jak widać, sformułowany powyżej przedmiot badań teorii, nazwanej w trybie roboczym teorią rozwiązywania zadań, należy rozszerzyć obejmując cały wieloetapowy i wielocykliczny proces myślenia twórczego, który zamierza się kontynuować aż do uzyskania rozwiązania sformułowanego problemu.

Aby więc nazwa teorii odpowiadała jej przedmiotowi proponuje się nową tj. teoria programowania heurystycznego^{x/} zawierając w niej nie tylko szerszy przedmiot badań, lecz i środki, tj. heurystyki oraz sposoby ich wykorzystania tj. na drodze programowania /oczywiście, uwzględniając praktyczne możliwości ETO/. W tym ujęciu teoria ta stała się częścią składową heurezy, jako nauki ogólniejszej, badającej wszelkie procesy działalności twórczej zachodzące w mózgu człowieka, w celu wykrywania prawidłowości występujących w tych procesach, a stanowiących o możliwie oszczędnych drogach postępowania tj. stosowanych sposobów, chwytów, strategii, reguł itp. nazwanych ogólnie heurystykami.

Uogólniając, teoria programowania heurystycznego, jako dział heurezy, zajmuje się metodyką budowy modeli sytuacji

^{x/} Czasem stosuje się też nazwę: teoria modelowania procesów myślenia lub teoria maszyn rozumnych, zależnie od tego jakie aspekty teorii traktuje się priorytetowo. Proponowana nazwa jest jednak ogólniejsza, ponieważ uwzględnia wszelkie aspekty myślenia twórczego, łącznie z wykorzystaniem protezy w postaci elektronicznej techniki obliczeniowej.

problemowych i mechanizacji, przy pomocy BMC, ciągów /cykli/ procedur heurystycznych /heurystyk/ doprowadzających do rozwiązania tych modeli. Metoda heurystyczna nazwiemy postępowanie zgodne z wybraną procedurą intuicyjnie uzasadnioną z punktu widzenia ekonomizacji wysiłku, doprowadzającego do uzyskania rozwiązania konkretnej sytuacji problemowej /zadania/.

Wszystkie metody heurystyczne mają pewne wspólne cechy.

Do cech podstawowych można zaliczyć /za [19] / :

1. Stosowanie kartezjańskiej zasady podziału problemu /kompleksu/ na części, uznane jako elementarne, z których każdej można podporządkować właściwy cel cząstkowy w stosunku do generalnego celu kompleksu; jako kryterium podziału często przyjmuje się np. wynik "analizy celów i środków".
2. Wykorzystywanie istniejącej silnej współzależności między różnymi zadaniami /w ramach ogólniejszej klasy zadań/, aby w wyniku analizy tych związków wybrać metodę rozwiązania intuicyjnie właściwą dla danego zadania.
3. Wykorzystywanie procedur rekurencyjnych w ten sposób, aby móc rozwiązywać podproblemy przy tych samych założeniach, a przy tym obowiązujących również dla problemu /kompleksu/.
4. Brak gwarancji dla otrzymania zadowalających rozwiązań cząstkowych, a nawet i zadowalającego rozwiązania dla kompleksu.

Dla stosujących metody heurystyczne ta ostatnia cecha ma szczególne znaczenie, gdyż podkreśla również niepewność oceny uzyskiwanych rozwiązań pod względem ich wartości użytkowej. Wiadomo powszechnie, że w przyrodzie, życiu społecznym itp. istnieje lub może powstać wiele problemów /zadań, sytuacji/, dla rozwiązania których w konkretnych warunkach nie można zapewnić, że zastosowanie nawet uprzednio opracowanej metody da pożądaną, optymalny wynik. Można jednak uznać jako sukces, jeśli istnieje możliwość zastosowania takiej taktyki poszukiwania rozwiązania, tj. takiej heurystyki, która okaże się korzystniejsza niż zwykły wybór dokonany w wyniku przeglądu wszystkich możliwych

wariantów rozwiązań^{x/} lub wybór w wyniku losowania.

Zauważmy również za M. Minskym [29], że przymiotnik "heurystyczne" /do słów metody, programy, procesy/ w tym sensie jak stosowany jest w niniejszej pracy i dość szeroko w literaturze, oznacza "pomagające zwiększyć zdolność rozwiązywania zadań". Termin ten, jako przymiotnik, można wiązać z dowolnym sposobem zmieniającym do zwiększenia efektywności systemów rozwiązywania zadań. "Program heurystyczny", oceniony jako dobry, powinien działać z powodzeniem przy rozwiązywaniu różnych zadań i należy godzić się z tym, że przy rozwiązywaniu niektórych z nich można spotkać się z niepowodzeniem. Często bowiem uważamy, że celowe zastosowanie metody heurystycznej i to nawet wtedy, gdy spodziewamy się, że może doprowadzić do niepowodzenia, jeśli tylko zapewnia ogólną poprawę charakterystyk problemu. Rzecz w tym, że metody nieściśle nie koniecznie są metodami heurystycznymi, a ściśle - nieheurystycznymi. Stąd też, termin "heurystyczne" nie należy traktować jako przeciwstawny terminowi niezawodne i odwrotnie, co wywołało w literaturze już wiele nieporozumień.

Zagadnieniu poszukiwania różnic między programami heurystycznymi i nieheurystycznymi poświęcono już w literaturze wiele miejsca i inwencji, przy czym charakterystyczne jest, że zbyt często mianem programu heurystycznego określa się taką procedurę poszukiwania rozwiązania, która pozwala wybrać szybko oczekiwany wynik na drodze przeglądu kolejno wszystkich dopuszczalnych rozwiązań danego problemu /zadania/ lub też poprzez penetrowanie coraz bardziej ograniczonego obszaru rozwiązań dopuszczalnych. Powyżej wspominaliśmy już o niecelowości

x/ Dość często nie jest nawet praktycznie możliwe wyróżnienie wszystkich wariantów rozwiązania danego zadania, nie mówiąc już o pracochłonności i czasie związanym z wyborem wariantu optymalnego. Np w zadaniach klasy "problemu komiwojażera" przy $n = 11$ ilość wariantów wynosi $(n-1)! = 3,628\ 800$; ilość możliwych ruchów w grze w szachy wynosi 10^{120} , w grze w warcaby 10^{40} , a przy tym powyższe przykłady nie dotyczą problemów występujących przy badaniach struktur układów szczególnie złożonych, działających np. w warunkach zmieniających się stopni niepewności.

stosowania takiego programu, gdyż najczęściej, zwłaszcza w przypadkach problemów szczególnie złożonych, nie będzie można ustalić nawet wszystkich granic obszaru rozwiązań dopuszczalnych, nie mówiąc już o ustaleniu ilości i miejsc w tym obszarze /np. punktów rozwiązań dopuszczalnych obrazujących stany systemu/.

Przykładem może służyć opis obszaru rozwiązań dopuszczalnych przy pomocy dendrytu /stanów dopuszczalnych/ badanego systemu/, w którym poszukiwanie rozwiązania można uzyskać w wyniku "błądzenia" wzdłuż jego dróg. Psychologia eksperymentalna dowodzi, że mózg człowieka z reguły nie korzysta z tej metody, której nawet nie można nazwać - heurystyczną, choćby tylko dlatego, że nie zapewnia ekonomizacji wysiłku w procesie poszukiwania.^{x/} Dlatego też trudno zgodzić się z A. Newelle'm, J.C. Shaw'em i H.A. Simon'em /w pracy [44] str. 528/, którzy proponują, aby podczas błądzenia po dendrycie efektywności heurystyk oceniać w postaci stosunku liczby dróg, które zostały przebyte do ogólnej liczby dróg dopuszczalnych do przebycia.^{xx/} Pozorną słuszność takiego ujęcia można zilustrować na przykładzie niewidomego malarza, który dobiera kolory do poszczególnych fragmentów obrazu, uprzednio konsultując się u swego głuchej pomocnika, a w wyniku jego "rad" odrzuca kombinacje kolorów niewłaściwych. Wątpliwe, czy taka metoda oceny efektywności działalności twórczej człowieka ma w ogóle jakikolwiek sens, jeśli

x/ Wyniki doświadczeń psychologii eksperymentalnej świadczą, że w procesie poszukiwania rozwiązań problemu szczególnie złożonego /typowego dla zastosowania heurystyki/, człowiek korzystający ze schematu dendrytowego miewa okresy szczególne, w których np. wskutek niepełnych lub sprzecznych informacji nie jest w stanie podjąć decyzji w zakresie ustalenia /dalejszej/ w jego mniemaniu - najlepszej drogi przez dendryt. Nawet w tych przypadkach, zmuszony do poszukiwań, człowiek niemal nigdy nie rozpatruje wszystkich znanych mu a priori informacji, lecz korzysta z intuicji w celu wyboru /nowej/ heurystyki. Stąd też wydaje się, że właśnie ten proces poszukiwania i formułowania nowej heurystyki stanowi o treści heurystycznej działalności człowieka, a więc powinien być przedmiotem badań heurystyki.

xx/ Nasuwa się przy tym wątpliwość, czy poszukiwanie rozwiązania w przestrzeni stanów opisanych dendrytem można uznać jako błądzenie po dendrycie. Jest to raczej zadanie, w którym stosuje się ekstrapolację wyników pośrednich w nieokreślonym, lub określonym/ obszarze poszukiwania.

sama metoda dla danej działalności /tj. błądzenie wzdłuż wszystkich dróg dendrytu/ nie budzi zaufania. Człowiek nigdy bowiem nie wybiera rozwiązania spośród ogólnej liczby wszelkich rozwiązań, a zawsze ogranicza obszar poszukiwań.

Można też przyjąć tezę, że właśnie w motywach skłaniających człowieka do ograniczenia obszarów poszukiwań, tkwią źródła różnic między programami heurystycznymi i nieheurystycznymi. Motywy te bowiem wynikają z innych założeń niż te, które skłaniają go do posługiwania się modelem dendrytowym.

Zróżnic między obu wymienionymi rodzajami programów można, naszym zdaniem, rozpatrywać wychodząc z ich struktur i sposobów funkcjonowania.

Na przykład, jeśli przyjmiemy, że jednym z kryteriów oceny wartości modelu matematycznego jakiegoś zadania jest istnienie algorytmu dla jego rozwiązania, a odpowiadający mu program na EMC pozwala uzyskać rozwiązanie optymalne /pomijając nawet czas pracy EMC/ to oczywiście, taki program będzie programem nieheurystycznym.

Wiadomo jednak, że istnienie algorytmu i programu na EMC wcale jeszcze nie oznacza, że rozwiązanie optymalne zostanie uzyskane. Na przykład, program realizujący na EMC algorytm "Simplex", jako metodę iteracyjną rozwiązywania układów równań liniowych, można zaliczyć do programów nieheurystycznych, lecz pod warunkiem, że stosuje się go do rozwiązywania układów równań, dla których normy macierzy są większe od jedności; w przeciwnym wypadku efektywność liczenia jest tak niska, lub nawet nie doprowadza do rozwiązania optymalnego, że bardziej opłacalne jest zastosowanie metody heurystycznej.

Struktury programów heurystycznych mają charakter niedeterministyczny, tzn., że sekwencje ciągów działań w procesie poszukiwania nie są ustalone i zawsze jednoznaczne, lecz zmieniają się zależnie od stanów informacji a priori, nawet o sytuacji początkowej, rozwiązywanego zadania. Oczywiście, można się tu doszukać pewnej analogii z programami nieheurystycznymi dla rozwiązywania modeli probabilistycznych, np. z programami metody Monte Carlo.

Należy wreszcie wyróżnić cechę szczególnie istotną

i różniącą oba rodzaje programów, a mianowicie - charakter i sposób funkcjonowania kryterium stanowiące o wyborze rozwiązania przez każdy z nich. Kryterium, według którego działa program heurystyczny wynika z uprzednio zrealizowanej działalności twórczej człowieka, podporządkowanej przyjętemu kryterium "wyższego rzędu". Inaczej mówiąc, człowiek ustala na drodze intuicji lub w wyniku analizy /heurystycznej/ kryterium ogólne, z którego wynikają kryteria szczegółowe, stanowiące o sekwencji działań prowadzonych do znalezienia rozwiązania. Natomiast, kryteria budowy programów nieheurystycznych wynikają jedno jednoznacznie ze struktury algorytmu /jeśli istnieje/. Oczywiście, z punktu widzenia funkcjonowania obu rodzajów programów na EMC różnica między nimi zanika. Maszyna bowiem nie wyróżnia heurystyk i nie interpretuje ich w stosunku do ciągów zwykłych działań matematycznych, wynikających z przetłumaczenia algorytmu na jej język.

5. KLASYFIKACJA PROBLEMÓW /ZADAŃ/ W ŚWIELE JEZYKA HEUREZY

Rozwijając szereg myśli /tylko częściowo uporządkowanych/, dotyczących genezy programowania heurystycznego, szeregu ważniejszych spośród charakterystycznych cech tej teorii jakie powinna posiadać, oraz warunków, jakie powinna spełniać, świadomie pominięliśmy niezwykle ważny dla tej teorii problem języka, a ściślej - języków, którymi powinna dysponować, a ponadto - tworzyć, by opis procesów twórczych w mózgu człowieka odpowiadał językowi w jakim formułowane jest sytuacja problemowa. Mimo wielu zasadniczych prac i uwieńczonych powodzeniem prób, problem właściwego heurezie języka należy traktować nadal jako szczególnie ważny dla rozwoju tej dziedziny. Rzecz w tym, że większość podejmowanych prac dotyczy problemów ogólnych i badań języków naturalnych /np. [23], [10], [24] /, języków formalnych z punktu widzenia programowania EMC /np. [8], [13] [41], [36] /, językowych systemów programujących itp., natomiast stosunkowo zbyt mało prac dotyczy języków jako środków myślenia i uogólnienia, jak np. [7], [11], [59].

Przyjmijmy, że w znaczeniu nam niezbędnym, język jest systemem wyrażań, tworzonych z pewnego zadanego podsystemu

symboli lub wyrażeń elementarnych /alfabetu/ na drodze ich wykorzystania zgodnie z zadanym systemem reguł; w tym ujęciu możemy też przyjąć, że wyrażenia elementarne łącznie z regułami tworzą gramatykę danego języka. Oczywiście, problem opracowania efektywnej gramatyki jest często zbieżny z problemem znalezienia efektywnego kodu lub programu dla maszyny.

Jeśli więc zgodzimy się z tezą, by program dla maszyny cyfrowej /EMC/ przybliżać do sposobu rozwiązywania zadań przez człowieka, to tym samym większą nadzieję należy łączyć z pracami, które wskazują kierunki, w jakich należy prowadzić systematyczne badania na styku lingwistyki matematycznej, psychologii eksperymentalnej, ze szczególnym uwzględnieniem psychologii myślenia, bioniki itp. Do po części tego rodzaju prac można zaliczyć [50], [51], w których mimo szeregu mankamentów, J.C. Solomonoff wskazuje konkretne kierunki systematyzacji prac badawczych. Ponadto, problemy modelowania języka rozpatruje się np. w pracach [25], [33], [52], [56] i in.

Wysuwając problem języka heurystyki /heurystyk/, czynimy to z dwóch względów: po pierwsze, by podkreślić, dalszy rozwój tej dziedziny należy w znacznej mierze od tego w jakim stopniu uda się stworzyć język, który pozwoli formalizować opis procesów myślenia /stanowiący wynik badań psychologii myślenia/ pod kątem możliwości ich programowania na EMC; po drugie, aby przyjąwszy język za podstawę próby uporządkowania zadań, które mieszczą się w obszarze rozwiązywania metodami heurystycznymi, oddzielając je od tych, dla których rozwiązania istnieją algorytmicznie heurystyczne.

Podstawowym przedmiotem rozważań będzie taka, wystarczająco ogólna klasa układów intelektualnie zaawansowanych, które w ustalonych przedziałach czasu realizują ciągi procesów decyzyjnych, stanowiących podstawę dla opracowania programów działania dla osiągnięcia zamierzonych celów.

Przyjmujemy, że realizowane w danej chwili działanie każdego układu tej klasy:

1. jest następstwem decyzji podjętej w poprzednim takcie procesu decyzyjnego;
2. jest zbiorem /nieskończonym, a przynajmniej przeliczalnym/ działań elementarnych;

3. odpowiada tylko jednemu rodzajowi działania złożonego, stanowiącego element nieskończonego ich zbioru dla danej klasy /stąd, decyzja jest aktem wyboru właściwego działania złożonego/;
4. wynika z zastosowania jednego ze sposobów łączenia podzbioru działań elementarnych w działanie złożone, przy czym zbiór sposobów łączenia działań elementarnych jest zbiorem nieskończonym, a przynajmniej przeliczalnym.
Ponadto wprowadzimy założenia dotyczące języka układu.
5. Każdy układ danej klasy realizuje słą działalność tylko w jednym właściwym mu języku.
6. Język układu zawsze opisuje jednoznacznie pełny zbiór działań elementarnych oraz sposoby ich łączenia doprowadzające do postaci działań złożonych; tym samym język opisuje jednoznacznie wszystkie procesy tworzenia sytuacji problemowych rozwiązywanych przez układ.
7. Algorytmy rozwiązania ciągu sytuacji problemowych wymagają opisywania ich tylko w języku danego układu.

W świetle powyższych założeń, podejmując problem do rozwiązania /np. w procesie badań naukowych/ mogą wystąpić 2 główne obszary realizacji procesów twórczych:

1. gdy istnieje język danego problemu;
2. gdy dany problem nie dysponuje własnym językiem.

Na pierwszym z nich wystąpią z kolei pewne sytuacje wynikające z faktów:

- istnienia lub braku opisu problemu i jego algorytmu w danym języku;
- istnienia lub braku możliwości opisanego w języku danego problemu metaalgorytmu tj. algorytmu dla poszukiwania algorytmu rozwiązania tego problemu.

Na drugim wystąpią 2 sytuacje wynikające z istnienia lub braku metody stworzenia języka danego problemu.

Powyższe przypadki w każdej sytuacji zawiera poniższe zestawienie tabelaryczne.

I: Istnieje język problemu

<p>SYTUACJE GŁÓWNE</p>	<p>Klasa algorytmu i metaalgorytmu</p>	<p>Charakter procesu. Przykłady</p>
<p>A Problem i algorytm są ściśle sformułowane</p>	<p>1 <u>Algorytm - deterministyczny</u></p> <p>2 <u>Algorytm - probabilistyczny</u> /zadane prawdopodobieństwo wyboru rozwiązania/</p> <p>3 <u>Metaalgorytm-deterministyczny</u> /dla poszukiwania algorytmu dowolnej klasy i dowolnego typu/</p> <p>4 <u>Metaalgorytm-probabilistyczny</u></p>	<p>Proces <u>nieheurystyczny</u>, realizowany na EMC np. wybór pożądanego wariantu rozwiązania w wyniku przeglądu całego zbioru /skóńczoneego/ rozwiązań dopuszczalnych</p> <p>Proces <u>nieheurystyczny</u>, realizowany na EMC np. losowe poszukiwanie, gdy w każdym kolejnym kroku wybiera się jedno z możliwych rozwiązań /z jednakowym prawdopodobieństwem/ w wyniku przeglądu całego zbioru /skóńczoneego/ rozwiązań dopuszczalnych.</p> <p>Proces <u>heurystyczny</u>, realizowany na EMC np. - gra w szachy, - dowodzenie twierdzeń /problem "logik-matematyk"/; - dowodzenie twierdzeń przy pomocy "maszyny geometrycznej", - zagadnienie całkowania przy pomocy symboli.</p>
<p>B Istnieje sformułowanie problemu algorytmu jego rozwiązania istnieje lecz nie został opracowany</p>	<p>Algorytm można wyrazić w języku zadania Dążyć do przekształcenia problemu wg sytuacji A.</p>	<p>Proces <u>heurystyczny</u>, na EMC bezpośrednio realizowalny np. - poszukiwanie optymalnego sterownika złożonymi procesami przy zadanym opisie procesu i kryterium</p>

<p>C Problem nie został jednoznacznie sformułowany</p>	<p>1 Istnieje algorytm <u>deterministyczny</u> dla sformułowania problemu</p> <p>2 Istnieje algorytm <u>niedeterministyczny</u> dla sformułowania problemu</p>	<p>Proces <u>heurystyczny</u> np. - sformułowanie hipotezy, że badany układ /obiekt/ jest grupą /lub pierścieniem/.</p> <p>/Stosując określony algorytm sformułować problem np. w celu zbadania cech danego układu /obiektu/.</p>
<p>A.</p>	<p>II: Język problemu nie istnieje. Procesy "czyste" heurystyczne.</p>	
<p>B.</p>	<p>Istnieje metoda stworzenia języka poprzez adaptację innego znanego języka</p> <p>Nie istnieje metoda jak dla II A.</p> <p>Wtedy:</p> <ol style="list-style-type: none">1. Dokonać wyboru języka spośród zbliżonych z punktu widzenia charakteru problemu.2. Zbudować model problemu w języku wybranym.3. Rozwiązać model w języku wybranym.4. Przeprowadzić eksperyment modelowy.5. Na podstawie p-tów 1-4 zbudować język właściwy dla badanego problemu.6. Sprowadzić proces badawczy do jednej z sytuacji I: A, B lub C.	

Jak można zauważyć, powyższe zestawienie jest również próbą klasyfikacji procesów twórczych /z punktu widzenia języka problemu/ mieszczących się w obszarze metod heurezy /oczywiście z wyjątkiem I: A_1 i A_2 /. Klasyfikacja ta obejmuje również procesy intelektualne, powstające w miarę wzrostu złożoności problemu w toku badań. Ten ostatni moment w sposób szczególny podkreśla istotę heurezy /programowania heurystycznego/, a mianowicie - zdolność tworzenia nowych języków odpowiadających tworzonemu bieżąco sytuacjom problemowym.

6. STRUKTURY ZADAN PROGRAMOWANIA HEURYSTYCZNEGO

Jeśli uznać, że efektem wysiłku twórczego powinny być takie metody poszukiwania rozwiązań podejmowanych problemów, które oszczędzają czas i wysiłek intelektualny człowieka, to myślenie jako proces zużytkowywania tej energii, powinno przebiegać w sposób sterowany. Program sterowania procesem myślenia jest z kolei efektem badań heurezy. Aby jednak dojść do tego programu wydaje się niezbędne, oprócz wykrywania prawidłowości rządzących chemiczną i psychologiczną stroną myślenia oraz wynikających z tych prawidłowości cech energii intelektualnej, dokonać pewnych metodologicznych ustaleń doprowadzających do stworzenia aparatu umożliwiającego formalizację struktur problemów i wynikających z nich zadań cząstkowych.

Powyżej, na tle próby formalizacji teorii programowania heurystycznego, przedstawiamy zarys modelowania struktur podstawowych naszym zdaniem, klas zadań.

Mówiąc najogólniej, proces twórczy poszukiwania rozwiązania każdego problemu można sprowadzić do badania odwzorowań T zbiorów oryginału, tj. zbioru $X = [x_i]$ sygnałów na wejściu i zbioru $S = [s_i]$ stanów oryginału na zbiór obrazu tj. zbiór $Y = [y_i]$ sygnałów na wyjściu, czyli

$$Y = [y_i : y_i = T(x_i, s_i)] \quad /1/$$

lub $Y = T(X, S) \quad /2/$

Stąd, wszelki układ będzie zbiorem trójek uporządkowanych

$$Z = \{ \langle x_i, s_i, y_i \rangle \}, \quad /3/$$

i podzbiorem iloczynu kartezjańskiego

$$Z \subset X \times S \times Y \quad /4/$$

Ponieważ zbiory X i S tworzą obszar określania funkcji T
/oznaczymy go symbolem Q /, zatem $Q \subset X \times S$, a stąd

$$Z = \{ \langle q_i, y_i \rangle \} \quad , \quad Y = T \quad /Q/ \quad /5/$$

$$q \in Q.$$

Czyli, wszelki układ można też przedstawić w postaci

$$Z_h = \{ Q, Y, T \} \quad /6/$$

pozwalającej sformułować trzy podstawowe klasy zadań, występujących w programowaniu heurystycznym. Każda z tych klas odpowiada odmiennemu rodzajowi sytuacji problemowej, a mianowicie

klasa A: przy zadanych informacjach o Q i Y uzyskać informacje o T /przy niepełnym opisie układu/;

klasa B: przy zadanych informacjach o Q i T uzyskać informacje o Y ; np. niech będą dane T oraz podzbiór $U \subset Q$, a należy otrzymać informacje o elementach obrazu tego podzbioru $DP(U) \subset Y$;

klasa C: przy zadanych informacjach o Y i T uzyskać informacje o Q /oczywiście po uprzednim wyznaczeniu przekształcenia odwrotnego względem konstrukcyjnego przekształcenia układu/.

Zauważmy przy tym, że zadania klasy A są dla programowania heurystycznego szczególnie istotne i charakterystyczne, to też na nich skupimy główną uwagę. Rozpatrzmy je bliżej w oparciu o następujące założenia podstawowe.

Niech będą zadane zbiory Q i Y oraz pewien zbiór odwzorowań $\Gamma = \{ \gamma_i \}$, jako klasa indukcyjna, której elementy generują: elementy zadanej klasy G - b a z y /składającej się z elementów pierwotnych/ w wyniku zastosowania określonych r e g u ł k o m p o z y c j i - elementów zadanej klasy N^x /.

x/ Elementy pierwotne bazy G można traktować jako sygnały na wejściu danego układu realizującego przekształcenie klasy N . W tym przypadku klasa Γ tworzy zbiór sygnałów na wyjściu układu. Można też przyjąć, że elementy bazy G są elementy klasy indukcyjnej Γ oraz wszelkie inne powstałe w wyniku stosowania reguł kompozycji elementów z klasy G , bądź innych stworzonych wcześniej zgodnie z tą zasadą.

Grupa A.1: przy zadanych informacjach o trzech zbiorach Q , $U \subset Q$ i Y oraz indukcyjnie określonej rodzinie funkcji Γ takiej, że

$$[\gamma \in \Gamma] \longleftrightarrow [\gamma : U \rightarrow Y] \quad /7/$$

znaleźć funkcję posiadającą zadaną cechę h

Zauważmy, że właśnie cecha h funkcji $\gamma \in \Gamma$ będzie wpływała na zróżnicowanie zadań. Na przykład, cecha h może dotyczyć procesu uogólnienia, w którym na podstawie niepełnych danych należy znaleźć funkcję charakteryzującą zadaną klasę. W tym przypadku wyróżnimy następną grupę zadań.

Grupa A.2: przy zadanych informacjach o trzech zbiorach: Q , Y i Γ oraz zadanej funkcji h odwzorowującej pewien podzbiór $Q' \subset Q$ w $Y' \subset Y$, znaleźć taką funkcję $\gamma \in \Gamma$, że

$$\gamma|_{Q'} = h \quad /8/$$

Grupa A.3: przy zadanych informacjach o czterech zbiorach: Q , Y , D , Γ , takich że $Y \subset Q$, $D \subset Q$ i Γ będą rodziną funkcji, znaleźć $\gamma \in \Gamma$ spełniającą warunek:

$$[q \in D] \longleftrightarrow [\gamma(q) \in Y] \quad /9/$$

Jeśli powyższy warunek uzna się jako zbyt sztywny, wystarczy zażądać, aby funkcja odwzorowywała dowolny podzbiór D w Y . Wtedy dojdziemy do sformułowania następującej grupy zadań.

Grupa A.4: przy zadanych informacjach o czterech zbiorach: Q , Y , D , Γ , spełniających warunek /9/, znaleźć taką funkcję, $\gamma \in \Gamma$ aby został spełniony warunek:

$$\exists \{ [q \in D] \wedge [\gamma(q) \in Y] \} \quad /10/$$

Jeśli przyjmiemy, że zbiory D i Y mogą być rodzinami innych zbiorów, a ponadto - rodzinami zbiorów rozłącznych, czyli

$$\begin{aligned} Y &= \bigcup_i Y_i \quad [Y_j \cap Y_i = \emptyset] \longleftrightarrow [j \neq i], \\ D &= \bigcup_i D_i \quad [D_j \cap D_i = \emptyset] \longleftrightarrow [j \neq i], \end{aligned} \quad /11/$$

Wtedy grupę zadań A.3 i A.4 można przekształcić w następujące dwie grupy tj. odpowiednio:

Grupa A.5: znaleźć taką rodzinę funkcji $\gamma = \{\gamma_i\}$, że

$$\forall \exists \{ [q_i \in D_i] \wedge [\gamma_i(q_i) \in Y_i] \wedge [\gamma_i \in \Gamma] \} \quad /12/$$

Grupa A.6: znaleźć taką rodzinę funkcji $\gamma = \{\gamma_i\}$, że

$$\forall \left\{ \left[\left[\bigcap_k \left[q_k \in D_i \right] \wedge \left[\gamma_j(q_k) \in Y_i \right] \wedge \left[\gamma_j \in \Gamma \right] \right] \right\} \quad /13/$$

Wydaje się, że powyższe grupy zadań obejmują większość spośród najczęściej spotykanych, których rozwiązanie wymaga zastosowania metod heurystycznych. Przykładem mogą służyć zagadnienia rozpoznawania obrazów rozwiązywane w oparciu o schemat /8/ grupy A.2, w której poszczególne zbiory będą dotyczyły: Q i Q' odpowiednio zbiorów możliwych obrazów na wejściu i powstałych w wyniku "treningu", Y , Y' odpowiednio zbiorów możliwych reakcji na obrazy /na wyjściu/ i reakcji w wyniku "treningu", Γ - zbiór wszystkich funkcji spełnianych przez urządzenie rozpoznające.^{x/}

Zagadnienie rozpoznania obrazów można też rozwiązywać korzystając ze schematu /9/ grupy zadań A.3. Zbiór Y obrazów wzorcowych /na wyjściu/ traktuje się w tym przypadku jako zbiór początkowych reakcji, którym powinny odpowiadać elementy zbioru Γ obrazów na wejściu, przy zadanym zbiorze D ciągów "egzaminacyjnych" i Q - zbiorze wszystkich możliwych obrazów. Oczywiście, elementy zbioru Γ odpowiadają elementom zbioru /wszystkich/ funkcji realizowanych przez dane urządzenie rozpoznające.

Innym przykładem zastosowania niektórych grup zadań może być:

= zagadnienie dowodzenia twierdzeń.

Ograniczmy się do rachunku zdań.^{xx/} Korzystając ze schematów dla grup A.3 poszukiwanie dowodu sprowadza się do znalezienia funkcji $\gamma \in \Gamma$, odwzorowującej zbiór D w zbiór Y , i ustalenia, że istnieje dopuszczalne przekształcenie $D \rightarrow Y$.

W tym przypadku Q oznacza zbiór wzorów prawdziwych, D i Y - dwa /różne/ wzory, natomiast $\gamma_i \in \Gamma$ - funkcja w postaci liniowych ciągów elementów zadanego zbioru skończonego

x/ W pewnych przypadkach zbiór Γ może obejmować wszystkie funkcje Boole'a realizowane przez urządzenie rozpoznające, co oczywiście poważnie ogranicza jego działanie.

xx/ Podobny sposób podejścia zawiera praca: A. Newell, J.C. Shaw, H.A. Simon: "Empiryezskije issledowanija maszyny "logik-teoretik", primier izuczenija ewristiki" rozdz. 2.3. w zbiorze prac 12

$P = \{P_i\}$, $\gamma_i = P_{i_1}, \dots, P_{i_m}$. Proces poszukiwania dowodu twierdzenia polega na dokonywaniu wyboru elementów ze zbioru P /ciągów tj. dowodów/, aby korzystając z ich przekształceń eliminować różnice między D i Y , a w następstwie dojść do poszukiwanego elementu s identycznego z elementem y .

Powyższe podejście do formalizacji zadań programowania heurystycznego nie wyczerpuje jeszcze potrzeb w zakresie uściślenia zarówno podstaw teorii jak i możliwości dalszych jej rozwinięć. W szczególności do dalszych uściśleń można dojść na drodze łańcucha na klasę zadanych cech h pewnych dodatkowych ograniczeń oraz określenia funkcji odwzorowującej zbiór Q w siebie, która pozwoli wyróżnić w Q pewien specjalny układ podzbiorów, tj. $T = \{T_i\}$, $T_i : Q \rightarrow Q$.

Załóżmy, że jeśli w Q istnieje taki podzbiór elementów, który spełnia warunek

$$\forall_i \forall_k \{ [q_j = T_k(q_i)] \vee [q_i = T_k(q_j)] \wedge [T_k \in T] \} \quad /14/$$

to nazwiemy go klasą spójności. Stąd możemy wyróżnić również określoną rodzinę klas spójności podzbiorów w Q .

W ten sposób można wyznaczyć jeszcze jedną grupę zadań. będzie nią:

Grupa A.7: przy zadanych informacjach o czterech zbiorach: Q, N, Y, Γ oraz zadanej rodzinie funkcji $T = \{T_i\}$ określającej przez indukcję rodzinę klas spójności w Q , znaleźć funkcję $\gamma \in \Gamma$, taką aby rodzina funkcji $T = \{T, \gamma\}$ określała przez indukcję klasę spójności U posiadającą następującą własność:

$$[D \cap U \neq \emptyset] \wedge [Y \cap U \neq \emptyset] \quad /15/$$

Zauważmy, że powyższe sformułowanie zadania jest znacznie słabsze niż w przypadku /2/, a przy tym bardzo zbliżone do sytuacji wyznaczonej przez zależność /3/.

Jeśli jednak wprowadzimy warunek ograniczający

$$D, Y \subseteq U \quad /16/$$

lub $[D \subset U] \wedge [Y \cap U \neq \emptyset] \quad /17/$

wtedy uzyskamy pewne wzmocnienie zadania A.7 i doprowadzimy do określonego uporządkowania klas spójności oraz włączenia niezbędnych norm i metryk.

7. STRUKTURA PROCESU PROGRAMOWANIA HEURYSTYCZNEGO

Przede wszystkim zauważmy, że efektywność heurystycznego procesu poszukiwania rozwiązania każdej zadanej sytuacji problemowej /jako "błądzenie" po dendrycie/ zależy od sprawności intelektualnej człowieka /zespołu/ stosującego metodę "prób i błędów" w połączeniu z aparatem pojęciowym logiki, teorii mnogości itp. Dlatego też proces programowania heurystycznego ma charakter rekurencyjny, bowiem poczynając od zadania pierwotnego $K^{(0)} = \{Q^{(0)}, D^{(0)}, Y^{(0)}, \Gamma^{(0)}\}$ uzyskuje się przy pomocy zbioru /ciągu/ przekształceń $T = \{T_i\}$ uporządkowany ciąg $K^{(0)}, K^{(1)}, K^{(2)}, \dots, K^{(m)}$... wyników dochodząc do takiego, który można uznać jako ostateczny, bądź wystarczający /np. z punktu widzenia dokładności pomiaru/.

Ciąg przekształceń $T = \{T_i\}$ może zawierać dużą ilość elementów, lecz z reguły powinien to być ciąg skończony dla przyjętej wersji procesu poszukiwania. Przyjmijmy, że ciąg przekształceń zawiera pięć elementów $T = T_1, T_2, T_3, T_4, T_5$ składających się na jeden /każdy/ cykl postępowania rekurencyjnego. Rozpatrzmy kolejno poszczególne kroki.

KROK 1 Przekształcenie T_1 / polega na dokonaniu rozbitcia zadanej rodziny cech problemu K na zbiory cech i wybór jednego z nich dla realizacji dalszych przekształceń.

Pierwotne sformułowanie problemu zawsze wynika z pewnego zbioru faktów /lub dotyczy określonego zbioru Q obiektów/, które formalnie rzecz biorąc, traktuje się jako niepodzielne elementy składowe problemu. Jednak w praktyce poszukiwania rozwiązania często występuje konieczność odwzorowywania nie poszczególnych elementów, $q \in Q$, lecz pewnych podzbiorów zbioru Q w inne podzbiory tego zbioru, przy czym argumentami tych odwzorowań będą określone cechy podzbiorów w Q . Należy przyjąć, że zawsze można wyznaczyć r o d z i n ę c e c h, właściwą pierwotnemu problemowi, dla której należy wyznaczyć zbiór rozbić $U^* = \{U_i\}$, wybrać z niego jedno, aby na jego elementach realizować dalszy ciąg przekształceń /tj. T_2, \dots, T_5 przewidując, że przekształcenie T_5 doprowadzi do ustalenia nowego zbioru rozbić dla następnego cyklu. Inaczej mówiąc przekształcenie T odwzorowuje problem K i podzbiór U na pewne przyjęte rozbitcie na elementy U^1 , czyli

$$U_1 = T_1 [K, U^{(1)}]$$

/18/

Pomijamy tu zagadnienie opisu wybranego rozbitcia dla konkretnej grupy zadań. Na przykład, dla grupy A.7. zbiór rozbić może odpowiadać rozmieszczeniu równoważnych klas spójności podzbiorów w Q i pewnego zbioru określającego rozwiązanie, tj. przecinającego się zarówno ze zbiorem D jak i ze zbiorem Y .
KROK 2 /Przekształcenie T_2 / sprowadza się do wyznaczenia p r z y-
m i o t ó w c e c h wyróżnionych w kroku T_1 , przy czym przymiotem danej cechy nazwiemy /w trybie roboczym/ jej dokładniejszą postać lub jej pochodną, a przy tym taką, która pozwoli na dokonanie wyboru właściwego elementu $\gamma(\in \Gamma)$.

Zauważmy, że przekształcenie T_2 powinien realizować określony explicite formalny system aksjomatyczny, zdolny do generowania dowolnej /a przynajmniej zadanej/ liczby przymiotów. System ten, jako określony zbiór przekształceń, przyjmuje /na wejściu/ cechy klas równoważnych wybranemu rozbitciu U_1 , a operator systemu przekształca je /na wyjściu/ w przymioty, co w rezultacie doprowadza do nowego /kolejnego/ rozbitcia zbioru Q . Zbiór przekształceń realizowanych przez system składa się zwykle z podzbioru przekształceń abstrakcyjnych, odwzorowującego informacje o danym problemie /np. w postaci aksjomatów lub postulatów/ oraz podzbioru reguł przyjętej logiki aksjomatycznej.

Formalnie rzecz biorąc, określenie przymiotów wyraża zależność:

$$G = T_2 [U_1]$$

/19/

gdzie G jest rodziną podzbiorów Q , z których każdy określa nowo sformułowany przymiot /cechę/.

Wypada jednak stwierdzić, że w działaniu praktycznym przekształcenia T_1 i T_2 wykonuje się /dotychczas/ najczęściej na podstawie ustalonych zbiorów cech i przymiotów, natomiast właściwe poszukiwania rozwiązania problemu przeprowadza się rekurencyjnie na przekształceniach T_3 i T_4 , gdyż jak zobaczymy od nich głównie zależy uzyskanie oczekiwanego wyniku. Przekształcenie T_2 stosuje się raczej w przypadkach rozwiązywania problemów złożonych, wymagających wielostronnego i perspektywicznego naświetlenia nawet w połączeniu ze zmianami w ich sformułowaniu, co właśnie osiąga się w krokach T_1 i T_2 .

System przekształceń T_2 może w programowaniu heurystycznym odgrywać różne role. M.in. stosuje się go nie tylko w celu uzyskania ściślejszego opisu elementów zbioru Q /niż w przypadku ograniczenia się tylko do korzystania ze zbioru U_1 /, lecz również może spełniać rolę łącznika między cechami klasy U_1 i ich przekształceniami w końcowych fazach procesu rekurencyjnego.^{x/}

KROK 3 /Przekształcenie T_3 / dotyczy wyboru pewnej funkcji $f \in \Gamma$ na podstawie ustalonych w poprzednich krokach /tj. T_1 i T_2 / zbioru /przymiotów/ G /por. /19// i ustalonego problemu K , czyli

$$f_i = T_{3x}[G, \Gamma, K], \quad /20/$$

gdzie indeksem x podkreślamy heurystyczny charakter tego przekształcenia. Ponieważ funkcja f_i dotyczy zbiorów D i Y /por. /9//, zatem nowy opis problemu przyjmie postać:

$$K' = \langle D', Y' \rangle = T_{3f}[\langle D, Y \rangle]. \quad /21/$$

Zauważmy, że właśnie przekształcenie T_3 decyduje o wyniku każdego cyklu, w którym występuje. Istotną rolę odgrywa tu bowiem wybór funkcji f , najczęściej zależny od rezultatów uzyskanych w poprzednich etapach. W związku z tym, synteza przekształcenia T_3 wymaga uprzedniego zorganizowania informacji w pamięci /np. EMC/ oraz ustalenia operacji na informacjach w niej zawartych. Duże usługi daje tu zastosowanie dendrytu, gdyż łatwo w nim wyróżnić poszczególne etapy oraz uporządkowanie wybranych funkcji.

KROK 4 /Przekształcenie T_4 / sprowadza się do zwięźnienia zbioru Γ i usunięcia z niego tych podzbiorów funkcji, które nie odpowiadają warunkom rozwiązania problemu. Osiąga się to przy pomocy przekształcenia:

$$\Gamma' = T_4[\Gamma, K'] \quad /22/$$

które doprowadza do ustalenia zbioru funkcji odrzuconych, tj.

$$\Gamma_1 = \Gamma \sim \Gamma' \quad /23/$$

i stwarza pewne podstawy, aby mniemać, że rozwiązanie znajduje się w zbiorze Γ' , czyli $f \in \Gamma'$.

Zauważmy przy tym, że przekształcenie T_4 ma /w pewnym

x/ Może się bowiem zdarzyć, że wskutek przejścia na inną płaszczyznę interpretacji oczekiwanych wyników rozwiązania problemu /np. z technicznej na ekonomiczną/, w kroku T_3 cechy U_1 ulegną zmianom o charakterze terminologicznym.

sensie/ charakter adaptacyjny w ramach ogólnego procesu poszukiwania rozwiązania.

KROK 5 /Przekształcenie T_5 / sprowadza się do sformułowania nowego zbioru $U^{(2)}$ rozbić /dla zbioru Q , tj. zbić /dla zbioru Q , tj.:

$$U^{(2)} = T_5 [\Gamma', U_1, U^{(1)}] \quad /24/$$

jako podstawy wyboru różnych funkcji i przejścia do następnego cyklu postępowania rekurencyjnego /tj. od T_1 do T_5 /. Oczywiście, w kolejnym cyklu występują już zbiory $\Gamma', D', Y', U^{(2)}$ zamiast poprzednich, odpowiednio $\Gamma_1, D, Y, U^{(1)}$.

8. ZASTOSOWANIE PROGRAMOWANIA HEURYSTYCZNEGO W PROCESACH OPTIMALIZACJI WIELOCELOWYCH STRUKTUR HIERARCHICZNYCH

Pojęciem niecelowe struktury hierarchiczne obejmujemy tu wszelkie wielopoziomowó urzutowane podzbiory układów /podsystemów/ spełniających określone zadania i realizujących różne lecz współzależne cele w ramach uogólnionego /globalnego/ celu kompleksu /systemu/. W związku z tym, szczególnego znaczenia nabiera problem metod analizy i syntezy hierarchicznego i wielocelowego systemu podejmowania decyzji i optymalnego sterowania złożonymi procesami realizowanymi przez kompleks /na przykład technologicznymi, gospodarczymi, wojskowymi itp./. Proponowane przez teorię systemów wielopoziomowych metody dekompozycji kompleksu i wyznaczania optymalnych sterowań dla uzyskanych w ten sposób podsystemów lub poszczególnych poziomów /nawet kosztem pogorszenia jakości sterowania nadrzędnego/, pomimo pewnego zmniejszenia ilości obliczeń nie zawsze są wystarczająco ekonomicznie uzasadnione. W przypadkach procesów szczególnie złożonych technika programowania heurystycznego może nieraz okazać się sprawniejszym narzędziem rozwiązywania tego rodzaju zadań, zwłaszcza wtedy, gdy istotną rolę będzie odgrywał wynik nawet mniej dokładny /rozwiązanie suboptymalne/ lecz uzyskane szybciej.

Poniżej proponujemy metodę heurystycznego podejścia do rozwiązywania zadań tej klasy. Oczywiście, ograniczymy się tylko do sformalizowania struktury zadania.

Przyjmujemy, że istnieje zadany zbiór Q elementów problemu podstawowego i pierwotnego, który w wyniku dekompozycji

rozbito na dwa zbiory Q_1 i Q_2 , przy czym

$$Q = Q_1 \times Q_2 \quad /25/$$

Niech elementami Q będą:

$$Q = \{q : q = \langle q^{(1)}, q^{(2)}, \dots, q^{(n)} \rangle\}, \quad /26/$$

a stąd

$$Q_1 = \{q_1 : q_1 = \langle q_1^{(1)}, q_1^{(2)}, \dots, q_1^{(m)} \rangle\}, \quad /27/$$

$$Q_2 = \{q_2 : q_2 = \langle q_2^{(1)}, q_2^{(2)}, \dots, q_2^{(n-m)} \rangle\} \quad /28/$$

Dekompozycja zbioru Q doprowadza do dekompozycji problemu podstawowego na zbiory zadań (D_1, Y_1) , (D_2, Y_2)

$$\text{przy czym} \quad D = D_1 \times D_2, \quad Y = Y_1 \times Y_2 \quad /29/$$

Najogólniej, zadanie pierwotne /wyjściowe/ kompleksu można przedstawić następująco:

$$\{[q \in D] \longleftrightarrow [\gamma(q) \in Y]\} \wedge \{\gamma \in \Gamma\} \quad /30/$$

Zrozumiałe, że zadania wynikające z Q_1 i Q_2 , potraktowane niezależnie, tj. w postaci:

$$\begin{aligned} [q_1 \in D_1] &\longleftrightarrow [\gamma_1(q_1) \in Y_1], \\ [q_2 \in D_2] &\longleftrightarrow [\gamma_2(q_2) \in Y_2] \end{aligned} \quad /31/$$

może nie doprowadzić do uzyskania optymalnego rozwiązania zadania realizowanego przez kompleks, gdyż wtedy odwzor^{ow}uje zbiór Q_1 na Q_1 , a γ_2 - odpowiednio zbiór Q_2 na Q_2 .

Dekompozycję zadania ogólnego /wyjściowego/ /30/ na dwa współzależne, doprowadzające do rozwiązania optymalnego, przeprowadzimy wychodząc z założenia o możliwości wyróżnienia:

$$q_1^{(y)} \in Y_1, \quad q_2^{(y)} \in Y_2; \quad /32/$$

$$q_1^{(d)} \in D_1, \quad q_2^{(d)} \in D_2;$$

oraz istnieniu odwzorowań, takich że

$$q_1^{(y)} = \gamma_1 [q_1^{(h)}, q_2^{(h)}]$$

$$q_2^{(y)} = \gamma_2 [q_1^{(h)}, q_2^{(h)}] \quad /33/$$

W ten sposób zadanie pierwotne dla kompleksu przyjmie postać:

$$q^{(y)} = \langle q_1^{(y)}, q_2^{(y)} \rangle = \gamma [q_1^{(d)}, q_2^{(d)}] = \gamma(q^{(d)}), \quad /34/$$

gdzie funkcje γ_1 i γ_2 będą nadal określone w obszarze zbioru Q , a obszary ich możliwych wartości zostaną zawężone do zbiorów Q_1 i Q_2 odpowiadających pierwszemu i drugiemu poziomowi w danym systemie hierarchicznym.

Aby jednak uzyskać dekompozycję zadania dostatecznie zwartą, niezbędne jest zwężenie obszaru określoności funkcji γ_1 i γ_2 obniżając tym samym ich rząd. Jako podobzasar określoności funkcji γ_1 i γ_2 należy więc wybrać pewne zbiory, odpowiednio

$$\begin{aligned} W_2 &= Q_1 \times S_2 \\ W_1 &= Q_2 \times S_1 \end{aligned} \quad /35/$$

o mniejszej mocy niż moc zbioru Q .

Przyjmijmy, że jeśli taka możliwość istnieje, to

$$\begin{aligned} q_1^{(y)} &= \gamma_1 [q_1^{(d)}, s_2], \\ q_2^{(y)} &= \gamma_2 [q_2^{(d)}, s_1]. \end{aligned} \quad /36/$$

Ponieważ s_2 i s_1 /36/ zależą od pozostałych, odpowiadających im części zadań, zatem

$$\begin{aligned} s_2 &= \varphi_2 [q_2^{(d)}, q_2^{(y)}] \\ s_1 &= \varphi_1 [q_1^{(d)}, q_1^{(y)}] \end{aligned} \quad /37/$$

Stąd zadania dla pierwszego i drugiego podsystemu /poziomu/ przyjmą postać, odpowiednio:

$$[q_1 \in D_1] \longleftrightarrow [\gamma_1(q_1, s_2) \in Y_1] \quad /38/$$

$$[q_2 \in D_2] \longleftrightarrow [\gamma_2(q_2, s_1) \in Y_2] \quad /39/$$

Oczywiście, zbiór $Q_1 \times S_2$ jest mniejszy od zbioru $Q_1 \times Q_2$, a ponadto warunek współzależności między zadaniami /38/ i /39/ wyznaczają równania /36/. Łatwo zauważyć, że od spełnienia tego warunku zależy właściwa dekompozycja zadania wyjściowego dla kompleksu. Inaczej mówiąc, istotne znaczenie ma tu sposób umożliwiający nie tylko rozwiązanie zadania /39/ niezależnie od /38/ lecz i modyfikację tych rozwiązań z punktu widzenia rozwiązania podstawowego zadania kompleksu /34/. Można to

osiągnąć przez taką zmianę funkcji pierwszego podsystemu /poziomu/, aby uzyskać możliwość koordynacji rozwiązań.

W związku z tym, jeśli przyjmiemy, że s_1 i s_2 są dla każdego poziomu wybierane dowolnie, czyli niech $s_1 = \alpha_1$, $s_2 = \alpha_2$, dla pierwszego poziomu i $s_1 = \beta_1$, $s_2 = \beta_2$ dla drugiego poziomu, wtedy:

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \varphi_1(q_1, \alpha_2), \\ \beta_2 &= \varphi_2(q_2, \beta_1) \end{aligned} \quad /40/$$

a zadania pierwszego i drugiego podsystemu /poziomu/ będą:

$$[q_1 \in D_1] \longleftrightarrow [\gamma_1(q_1, \alpha_2) \in Y_1], \quad /41/$$

$$[q_2 \in D_2] \longleftrightarrow [\gamma_2(q_2, \beta_1) \in Y_2]. \quad /42/$$

Z kolei, przystępując do wspomnianej zmiany funkcji γ_1 i γ_2 , należy mieć na uwadze, aby zmiana ta uwzględniała ich zależność od pewnej zmiennej k o o r d y n u j ą c e j. Zmienna ta powinna występować w obszarze określoności γ_1 i γ_2 , a jej wartość musi zależeć od nieprawidłowości wyboru

$$\alpha_1, \alpha_2; \beta_1, \beta_2$$

Powyższe rozważanie sprowadzimy do rozpatrzenia grupy zadań A.3:

$$[Q \in D] \longleftrightarrow [\gamma(Q) \in Y] \quad /43/$$

Utrzymujemy w mocy dekompozycję /25/ i /29/, na dwa poziomy, a stąd, wprowadzając dodatkowo funkcje koordynacji

x_1, x_2, x_3, x_4 otrzymamy:

$$[q_1 \in D_1] \longleftrightarrow \{\gamma_1^{(x)}[q_1, \alpha_2, x_1(\alpha_1, \beta_1), x_2(\alpha_2, \beta_2)] \in Y_1\} \quad /44/$$

$$[q_2 \in D_2] \longleftrightarrow \{\gamma_2^{(x)}[q_2, \alpha_1, x_3(\alpha_1, \beta_1), x_4(\alpha_2, \beta_2)] \in Y_2\} \quad /45/$$

przy czym dla pierwszego poziomu mamy:

$$\gamma_1^{(x)} : Q_1 \times S_2 \times S_1 \longrightarrow Q_1, \quad /46/$$

$$\gamma_1 : Q_1 \times S_2 \longrightarrow Q_1; \quad /47/$$

oraz dla drugiego poziomu:

$$\gamma_2^{(x)} : Q_2 \times S_1 \times S_2 \longrightarrow Q_2, \quad /48/$$

$$\gamma_2 : Q_2 \times S_1 \longrightarrow Q_2. \quad /49/$$

Rozwiązanie zadania pierwszego poziomu /44/ zależy od wyników obserwacji funkcji x_1, \dots, x_4 ; na tej drodze trzeba tak koordynować działanie podsystemu /44/, aby uzyskać rozwiązanie zadania podstawowego /43/.

Metodę osiągnięcia tego celu oprzemy na poniższym wywodzie:

Przyjmijmy, że zadano dekompozycję problemu A.3. i niech:

$$1/ \quad \gamma_1^{(x)} \mid Q_1 \times S_2 \times S_1 = \gamma_1 \times S_1 \quad /50/$$

$$\gamma_2^{(x)} \mid Q_2 \times S_1 \times S_2 = \gamma_2 \times S_2$$

przy założonym zwężeniu funkcji na dwa odpowiednie zbiory;

$$2/ \quad \{[\alpha_1 = \beta_1] \wedge [\alpha_2 = \beta_2]\} \rightarrow \quad /51/$$

$$\rightarrow \{[x_1 = \zeta] \wedge [x_2 = \zeta] \wedge [x_3 = \zeta] \wedge [x_4 = \zeta]\}$$

/ ζ oznacza element zerowy/;

$$3/ \quad (\alpha_1 = \beta_1) \wedge (\alpha_2 = \beta_2) \quad /52/$$

Można udowodnić, że $\gamma_1^{(x)}$ i $\gamma_2^{(x)}$ odwzorowujące D_1 i D_2 na Y_1 i Y_2 wyznaczają w zbiorowości rozwiązanie problemu podstawowego.

Niech $\gamma_{1D}^{(x)}$ i $\gamma_{2D}^{(x)}$ stanowią o rozwiązaniu zadań podsystemów, czyli niech Y_1 będzie obrazem $D_1 \times S_2 \times S_1$ na mocy $\gamma_{1D}^{(x)}$ a Y_2 - obrazem $D_2 \times S_1 \times S_2$ na mocy $\gamma_{2D}^{(x)}$.

Jeśli warunki /2/ i /3/ zostaną spełnione to oznacza, że funkcja $\gamma_{1D}^{(x)}$ jest określona na zbiorze $D_1 \times S_2 \times \zeta$, a $\gamma_{2D}^{(x)}$ na zbiorze $D_2 \times S_1 \times \zeta$. Lecz zgodnie z warunkiem 1/ istnieją wtedy takie funkcje:

$$\gamma_{1D} : Q_1 \times S_2 \rightarrow Q_1, \quad /53/$$

$$\gamma_{2D} : Q_2 \times S_1 \rightarrow Q_2,$$

że:

$$[q_1 \in D_2] \longleftrightarrow [\gamma_1(q_1, \beta_2) \in Y_1] \quad /54/$$

$$[q_2 \in D_2] \longleftrightarrow [\gamma_2(q_2, \beta_1) \in Y_2] \quad /55/$$

Na mocy zależności /38/ i /39/ funkcje te wyznaczają rozwiązanie problemu podstawowego /wyjściowego/.

W przedstawionej metodzie istotną rolę odgrywa podejście polegające na tym, aby każdy podsystem, na pierwszym /kierowniczym/ poziomie, realizował właściwe sobie zadanie na podstawie odpowiadającej wybranej funkcji γ , natomiast dla drugiego poziomu /wykonawczego/, kierownictwo powinno dobrać takie funkcje koordynacji x_1, \dots, x_4 , aby przypadek wystąpienia (α_1, β_2) traktować jako "stratę", a (α_2, β_1) - jako "zysk". Rozwiązanie problemu podstawowego dla podsystemu /kompleksu/ można uznać jako zadowalające /optymalne/, gdy zgodnie z przeprowadzonym wyżej wywodem, uzyska się przypadki $(\alpha_1 = \beta_1)$ i $(\alpha_2 = \beta_2)$.

Zauważmy, że na tej drodze, poprzez jej uogólnienie, można podejmować również próby rozwiązywania problemów podstawowych w przypadkach ich dekompozycji na większą liczbę podsystemów i poziomów w strukturze hierarchicznej kompleksu.

9. ZAMIAST ZAKOŃCZENIA

Cel niniejszej pracy nie został w części wstępnej jednoznacznie wyróżniony, gdyż podobnie nie jest łatwo sformułować zamiar, którego nie można zrealizować ku zadowoleniu wszystkich. Dążąc do przedstawienia w możliwie zwartej formie "zarysu wstępu" do programowania heurystycznego, mając przy tym na uwadze również i własne poglądy na szereg zagadnień nie tylko o znaczeniu pragmatycznym, /np. [55] / z konieczności trzeba było dokonać wyboru zagadnień, które potencjalnego czytelnika mogą w pierwszym rzędzie interesować. Dlatego też, przy okazji zakończenia wywodu, warto wspomnieć dziedziny, które nie zostały poruszone, jakkolwiek ich wpływ na rozwój heurystyki wzrasta z każdym rokiem.

Pominięto wpływ prac w zakresie modelowania mózgu, a m.in. pracę B.G. Farley'a [14] oraz wcześniejszą N. Rochester'a i in. [47], P. Milnera [27], I.Y. Lettwin'a i in. [23], [22], [1], [21], [54], [48]. Z wyjątkiem drobnej wzmianki o języku nie wspomniano niemal nic o problemie logiki i jej składu przy tworzeniu struktur języków heurystycznych oraz języków maszynowych. Ostatnie osiągnięcia w tej dziedzinie zasługują na szczególną uwagę /np. [2], [61], [53] /. Nie podjęto nawet próby zaakcentowania roli nauczania i maszyn uczących /np. [20], [15], [17], [60], [6] /, psychologii myślenia /np. w pracy [5] /, a później wielu innych, częściowo tylko wykorzystywanych dziedzin, np.

teorii gier automatów dla sterowania /por. [49], [58], [16], [18] /.

Wymienione powyżej luki nie wyczerpują braków niniejszego opracowania, wskazują jedynie na kierunki dalszych rozwinięć i pogłębień obszaru heurystyki. Przytoczone pozycje literaturowe odgrywają jedynie rolę ilustracji poszczególnych grup problemów i dziedzin, bez ambicji wyczerpania aktualnych wiadomości reprezentowanych przez każdą z nich.

Zauważmy wreszcie, że w okresie ubiegłych pięciu lat, rozwój prac w poruszonych wyżej dziedzinach charakteryzuje krzywa zbliżona do postaci krzywej wykładniczej. Powstawanie EMC trzeciej i czwartej generacji uczyni prace badawcze bardziej efektywnymi: eksperymenty dokonywane w czasie realnym, w systemach wieloprogramowych dostarczają wyników, które utrwalały podstawy dla tworzenia programów dla maszyn rzeczywiście "pomagających człowiekowi w myśleniu". Iluzoryczny do niedawna system "człowiek-maszyna" nabiera realnych kształtów i można już mieć nadzieję, że odegra podstawową rolę w procesie tworzenia "sztucznego ustroju intelektualnego" nazywanego jeszcze czasem "sztucznym rozumem".

SPIS LITERATURY

wykorzystanej w tekście i oznaczonej numerem w [].

1. AMOSOW N.M. : Regulacja życiennych funkcji i kibernetika. Izd. "Naukowa Dumka", Kijew, 1964.
2. APRESJAN Ju.D.: Idei i metody nowoczesnej struktury lingwistyki. "Proswieszczenija", Kijew, 1966.
3. ASHBY W.R.: Schema usilitelnej myslitelnych sposobnostiej. Sb. "Awtomaty". Izd. "Inostr. Lit." Moskwa, 1956.
4. BOBNIWA M.I.: Ewristiczeskije programmy "labirynta" i niekotoryje problemy psichologii. "Woprosy psichologii", nr 5, 1964.
5. BRUNER J.S., GOODNOW J.S., AUSTIN G.A.: A Study of Thinking, Wiley, New York, 1956.

6. BUSZ R., MOSTELLER F.: Stochasticeskaja model obuczenija. "Fizmatgiz", Moskwa, 1962.
7. CHERRY C.C.: On Human Communication. Tłum.ros.: O logikie swjazi /sintaktyka, semantika i pragmatika/, rozdz. w ks. Panow Zinzchenko /red./: "Inżeniernaja psychologia", Izd. "Progress", Moskwa, 1964.
8. CHOMSKY A.N.: On certain formal properties of grammars. Tłum.ros.: O niekotorych formalnych swojstwach gramatyk, "Kibiernetičeskij Sbornik", wyp. 5, 1962.
9. CHOMSKY A.N., MILLER G.A.: Finite state languages. Tłum.ros.: Jazyki z koniecznym czisłom sostojanij. "Kibiernetičeskij Sbornik", wyp. 4, 1962.
10. CHOMSKY A.N., MILLER G.A.: Introduction to the formal analysis of natural languages. Rozdz. z ks.: "Handbook of mathematical Psychology", Luce R., Bush R., Galanter E. /eds/, wol. 2, Wiley, New York, 1963.
11. COFER C.N.: The role of language in human problem solving /ref.: "Conf. on Human Problem Solving", N.Y. Univ. April 8, 1954/.
12. COMPUTERS and THOUGHT. A collection of articks: E.A. FEIGENBAUM, J. FELDMAN /eds/, Mc Graw-Hill Book Co. N.Y. 1963 Tłum.ros. Wycisli-tielnyje masziny i myszlenije. Izd. "Mir", Moskwa, 1967.
13. COPI I.M., ELGOT C.C., WRIGHT J.B.: Realization of events by logical nets. Tłum. ros.: Realizacja sobytij logiczeskimi sjetjami. "Kibiernetičeskij Sbornik", wyp. 3, 1961.
14. FARLEY B.G.: Self - organizing models for learned perception, rozdz. ks.: Yovitts M., Cameron S. /eds/: Self - organizing Systems /Tłum. ros.: Samorganizujuščiesja sistiemy, Izd. "Mir", 1964.

15. FINDLER N.V.: Some news approaches to machine learning, "IEEE Trans. Syst. Sci. and Cybernet", nr 5, 1969, str. 173-182.
16. FLEROW Ju.A.: Ob. igrach stochastycznych awtomatow. Izd. "Trudy Wyczystitielnogo Centra ANSSSR, Moskwa, 1967, s. 97-114.
17. FRANK H.: Lehralgorithmen und Lehrautomaten. "Fortschritte der Kybernetics", Oldendenburg-Verlag, München-Wien, 1967, s. 323-342. Tłum. ros.: Algoritmy obuczzenia i obuczajuszczije awtomaty. "Zarubieznaja Radioelektronika" nr 6, 1969.
18. GERIT A.M.: Ob. igrach nieprerionych awtomatow "Problemy pieredaczi informaczi" t. III, wyp. 1, 1967, s. 50-56.
19. GIFFER R., THOMPSON G.L., Van NESS V.: Numerical Experience with Schedulings Problems. Industrial Scheduling", Prentice-Hall, Englewood Cliffs, 1963.
20. GORN S.: On the mechanical simulation of learning and habit-forming. Tłum. ros.: O mechanicznym modelowaniu obrazowania przyzwyczek i obuczzenia. "Kibernetycznyj Sbornik", wyp. 8, 1964. Izd. "Mir".
21. HUNTER I.M.L.: Pamięć, fakty i złudzenie, Warszawa, PWN, 1963.
22. KEMPISTY M.: Pamięć skojarzeniowa, Model Cybernetyczny. Warszawa, PWN, 1968.
23. LETTWIN J.Y., MATURANA H., Mc CULLOCK W.S., PITTS W.: What the Frog's Eye Tells the Frog's Brain Tłum. ros.: Anochin P.K. /red./ Czto sobszczajet glaz l'jaguszki mozgu l'jaguszki "Elektronika i kibernetika w biologii i medicinie" 1963.
24. MANDELBORT B.: An information theory of the structure of language based on theory of statistical matching of messages and coding; rozdz. ks.: Jackson W /ed/: Communication Theory, Proc.

of the 2 nd London Syposium on Application of Communication Theory, Butterworth, London, 1953.

25. MILLER G.A.; CHOMSKY A.N.; Finitary Models of Language Users. rozdz. ks.: Mathematical Methods in Psychology, vol 2, Mc Graw-Hill, New York, 1964.
26. MILLER G.A., GALANTER E., PRIBRAM K.: Plan and Structure of Behavior. Tłum.ros.: Plany i struktura powiedienija. Izd. "Progress", 1965.
27. MILNER P.: Learning in Neural Systems, rozdz. ks. YOVITTS M., CAMERON S. /eds/: Self-organizing Systems. Tłum.ros.: Samoorganizujuszczijesja Sistiemy, Izd. "Mir", 1964.
28. MINSKY M.L.: Problems of formulation in the artificial intelligence area. Proc. Symp. on Mathem. Problems in Biology, "Am. Math. Soc", 1962.
29. MINSKY M.L.: Some methods of heuristic programming and artificial intelligence. Art. w zb.: Blake D.V., Uttley A.M. /ed/: Proc. of the Symp. on Mechanization of Thought Processes "National Physical Lab. Teddington, England, H.M. Stationary Office, London, 1959.
30. MOODIE C.L., YOUNG H.H.: A heuristic method of assembly line balancing for assumptions of constant or variable work element times. "J. Ind. Engng" nr 1, 1965 str. 23-39.
31. NAPALKOW A.W.: Information Processes of the brain art. w zb. [29].
32. NAPALKOW A.W., BOBNIEWA M.I.: Analiz informacyjnych procesow mozga czelowieka. "Woprosy psychologii" nr 6, 1962, s. 40-54.
33. NAPALKOW A.W., CZICZWARINA N.A.: Mozg i kibernetika. Izd. "Znanje", 1965.
34. NAPALKOW A.W., RODMAN N.N., DASZEWSKI B.A.: Ewristiczeskije programy kak osnowa raboty samoorganizujuszczijesja i samoobuczajuszczichsja sistiemi. Zb.: "Problemy Nejrokibernetiki", Izd. Rostowskiego Uniwers., 1966.

35. NEWELL A., SHAW J.C., SIMON H.A.: A variety of intelligent learning in a general problem solver, rozdz ks.: Yovitts M., Cameron S. /eds/: Self-organizing Systems. Pergammon Press, N.Y. 1960. Tłum. ros.: Samoorganizujuszcziesja systiemy Izd. "Mir", Moskwa 1964.
36. NEWELL A., SHAW J., SIMON H.A.: Raznowidnost intelektualnogo obuczenija wycislitelja dlja rjeszenija zadacz obiszczego tipa. Zbior: "Samoorganizujuszcziesja systiemy", Izdat. "Mir", Moskwa 1964, s. 211-264.
37. NEWELL A., SHAW J.C., SIMON H.A.: Elements of a theory of human problem-solving. "Psychol, Rev", 1958, s. 151-166.
38. NEWELL A., SIMON H.A.: GPS - a program that simulates human problem-solving. Ref. Syopozjum : Lernende Automaten. Technische Hochschule, Karlsruhe 11-14, 04.1961. Wyd. Oldenburg, München, 1961.
39. NEWELL A., SIMON H.A.: Heuristic problem-solving. The next advance in operations research. "J. Operations Research Soc. Am", nr 1, 1958.
40. NEWELL A., SIMON H.A.: The simulation of human thought. Current Trends in Psychological Theory. Univ. of Pittsburgh Press, Pittsburgh Pa, 1961, s. 152-179.
41. NEWELL A., SIMON H.A.: The logic theory machine "IRE Trans. on Information Theory", nr 3, 1956, s. 61-79.
42. PL/1 Language Specifications. IBM - Systems. Tłum. ros.: Uniwersalnyj jazyk programmowanija PL/1, Izd. "Mir", 1968.
43. POSPIEŁOW D.A.: Rjeszenija zadacz operatiwnogo uprawlenija pri pomoszczi systiemy modelej. Materiały "XVIII" Miedzunarodnogo Kongresa Psichologow", Moskwa, 1966, s. 108-113.
44. PSYCHOLOGIA MYSZLENIA, Izd. "Progress" 1965.
45. PUSZKIN W.N.: Operatiwnoje myszlenije w bolszych sistiemach. Izdat. "Energija", Moskwa 1965.

46. REITMAN W.R.: Cognition and Thought. An Information-Processing Approach. Wiley, N.Y. 1965.
47. ROCHESTER N., HOLLAND J.H., HAIBT L.H., DUDA W.L.: Test on a cell assembly theory of the action of the brain, using a large digital computer. "IRE Trans.on Informations Theory", nr 3, 1956, s. 80-93.
48. SADOWSKI B.: Układ siateczkowaty pnia mózgu i jego znaczenie fizjologiczne, Warszawa, 1961, PZWL.
49. SHUBIK M.: Bibliography on simulation gaming, artificial intelligence, and allied topics "J.Am.Statist.Assoc.", nr 292, 1960, s. 736-751.
50. SOLOMONOFF R.J.: A formal theory of inductive inference P.I. "Inform.a Control", 1964 /March/.
51. SOLOMONOFF R.J.: A formal theory of inductive inference P.II., /Inform. a Control", 1964, /June/.
53. STEVENS S.S. /ed/: Hendbook of Experimental Psychology N.Y. 1951. Tłum. ros. Eksperimentalnaja Psychologia" t. 1, 1960, t. 2, 1963.
53. SZANIN N.A. i in. : Algorifm maszynowego poiska jestestwien- nogo logiczeskiego wywoda w iszczislinski wyskazywanii "Nauka", Moskwa, 1965.
54. SZEWCZUK W.: Psychologia zapamiętywania - badania ekspery- mentalne, Warszawa, PWN, 1966.
55. SKIBINSKI J.: Wybrane aspekty teorii i techniki progra- mowania heurystycznego, Wojsk. Ak. Techn. "Zespół teorii walki", Warszawa 1969, s. 185-201.
56. TOMKINS S.S., MESSICK S. /eds/: Computer simulation of personality. Wiley, N. York, 1963.
57. TONGE F.M.: Ewristiczeskije metody balansirowanija raboty sborocznego konwejlera. Art. w zb. [12], s. 178-204.
58. USACZEW E.S.: Stochasticeskije modeli obuczenija i jeje swojstwa, Sb.: "Issledowanija po teorii samonastrawajuszczichsja sistiem". Izd. A.N. SSSR, Moskwa 1967.

59. VYGOTSKY L.S.: Thought and Longuage, Wiley, N.York, 1962.
60. WELTNER K.: Informationspsychologische Ausätze in der Pädagogik. Tłum. ros.: Informacjonno-psychologiczeskij podchod w pedagogikie. Zarubieżnaja Radioelektronika", nr 12, 1968, s.58-70.
61. ŽINKIN N.I.: Czetyre kommunikatywnyje sistiemy i czetyre jazyka. Sb.: Teoreticzeskije probliemy prikladnoj lingwistiki. Izdat. Moskowskogo Uniwersitieta, Moskwa, 1965, str. 7-37.

PRZYPIS 1

Mówiąc o 24 wiekach heurezy mamy na względzie zapewne najwcześniejszą wzmiankę, zamieszczoną przez greckiego matematyka i fizyka Papposa z Aleksandrii /na przełomie III i IV w. n.e./ w jego pracy pt. "Synagoge" /ok. 320 r./: "heureza powstała w wyniku prac trzech ludzi: Euklidesa, Apoloniusza z Pergii oraz Arystotelesa" właściwie oni opracowali dwa rodzaje analiz: pierwszy, dotyczący rozwiązywania zagadnienia przeprowadzenia dowodu prawdziwości twierdzeń; drugi - rozwiązywania zagadnienia znalezienia nieznanego dowodu.

Zauważmy, że Pappos uzupełnił i skomentował osiągnięcia matematyki /głównie geometrii/, wypracowane przez swych poprzedników, a wśród nich: Euklidesa /365 - 300 r. p.n.e./ działającego głównie w Aleksandrii, Apoloniusza z Pergii /262 - 200 r.p.n.e./, który również pracował w Aleksandrii oraz Arystotelesa /384 - 322 r.p.n.e./.

Ponieważ brak wielu prac poprzedników Pappusa, to jego dzieło składające się z 8 ksiąg pod ogólnym tytułem "Synagoge" /"Zbiór"/ jest głównym źródłem wiadomości o greckiej matematyce, uwzględniającym m.in. uwagi historyczne, odmiany i ulepszenia istniejących twierdzeń i dowodów, jemu też przypisuje się wprowadzenie notacji algebraicznej. Wiele spośród jego prac zaginęło, a m. in. "Chorographia matematica". Oprócz przekazania wiadomości o ówczesnym stanie matematyki Pappos podał również własne odkrycia, przede wszystkim z teorii krzywych stożkowych, znane jest też twierdzenie Pappusa, stanowiące szczególny przypadek twierdzenia Pascala /odkryte w 1639/ z zakresu geometrii rzutowej.

PRZYPIS 2

1. Wielka Encyklopedia Powszechna, PWN, podaje dwa znaczenia terminu heurystyka, który w naszym ujęciu odpowiada pojęciu **h e u r e z a**:
 - 1.1. znaczenie metodologiczne: umiejętność wykrywania nowych faktów i związków między faktami, dzięki którym dochodzi się do poznania nowych prawd naukowych;
- zwłaszcza czynność stawiania hipotez; czynności heurystyczne, tj. prowadzące do sformułowania hipotezy, są przeciwstawne czynnościom uzasadniającym;
 - 1.2. znaczenie historyczne: umiejętność /znajdowania/ wyszukiwania materiałów historycznych lub reguły wskazujące jak znajdować i zbierać materiały badawcze w historii; do pomocy heurystycznych w naukach historycznych zalicza się: inwentarze, ~~reperitoria~~, katalogi, bibliografie itp.
2. "Nowy międzynarodowy słownik języka angielskiego", wyd. Webstera /1959 r./ podaje:
heurystyczny: "służący dla wykrycia lub znalezienia czegoś";
heurystyka: "sztuka czynienia odkryć".
3. "Wörterbuch" de Kybernetik", red. prof. Klaus, 1967:
heurystyka: nauka o metodach i regułach odkryć i wynalazków. Metoda heurystyczna jest szczególnym przypadkiem metody "prób i błędów". Od metody dedukcyjnej różni się m.in. tym, że korzysta z założeń /a priori/ analogii, hipotez roboczych, prowizorycznych modeli itp. Metoda heurystyczna nie jest ścisłą metodą poszukiwania dowodu. Heurystyka bada przypadki odkryć i wynalazków występujące w rzeczywistości, aby na tej podstawie wyprowadzić ogólne prawa rządzące procesami prowadzącymi do odkryć i wynalazków. Heurystyka jest wiedzą empiryczną. Wykorzystuje fakty i wyniki badań: psychologii eksperymentalnej, teorii informacji, psychologii informacji oraz neurofizjologii.

Odbito w 50 egz.

Egz. nr 1-50 Bibl. Jawna

Wyk. Skibiński - plk

Druk. ZU

Nr ks. 355/804/WW

Kor. M.G.

Druk ASG-O-XV-4490

