

# ПРИЛОЖЕНИЕ НА МЕТОДИТЕ НА ИЗКУСТВЕНИЯ ИНТЕЛЕКТ ПРИ ПРОЕКТИРАНЕ, ПЛАНИРАНЕ, ПРОИЗВОДСТВО И УПРАВЛЕНИЕ

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИЕМ, ПЛАНИРОВАНИЕМ, ПРОИЗВОДСТВОМ И УПРАВЛЕНИЕМ

### APPLICATION OF THE ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS IN DESIGN, PLANING, PRODUCTION AND MANAGEMENT

Prof. DSc PhD Popov G.  
Technical University of Sofia, Bulgaria  
E-mail: [gepop@tu-sofia.bg](mailto:gepop@tu-sofia.bg)

**Abstract:** *The paper discusses the artificial intelligence methods, which are applied in the design, planning, production and management stages. Sample applications of some of these methods are presented: fuzzy logic theory application for design of spindle units for machine tools and holonic approach, Petri nets and generalized nets for design of RMS for metal-cutting processing.*

**KEYWORDS:** *ARTIFICIAL INTELLIGENCE METHODS, FUZZY LOGIC, PETRI NETS, RECONFIGURABLE MANUFACTURING SYSTEMS*

#### 1. Въведение

Развитието на съвременните информационни технологии и тяхното приложение в производството, маркетинга, организацията и управлението се базират на използването на методите на изкуствения интелект. Той се явява клон от компютърната наука, занимаващ се с проектирането на автоматизирани компютърно управляеми системи, които представят характерните черти на човешкия интелект, включващи изводи и заключения, обучение, самоусвършенстване, търсене на цел, решаване на проблеми и т.н. [1]. В по-широк план това е клон в науката, обхващащ разработване и прилагане на изчислителен инструментариум, който подражава или е вдъхновен от естествения интелект да изпълнява задачи с производителност и ефективност, съизмерими и дори по-високи от тези на естествените системи.

След своето зараждане през 50-те години изкуственият интелект създаде широка гама от методи, които намират все по-голямо приложение при решаването на разнообразни проблеми на производственото инженерство в направление на проектирането, планирането, производството и управлението на системно ниво.

#### 2. Методи на изкуствения интелект

В табл. 1 са представени най-често използваните методи на изкуствения интелект, които са намерили приложение в практиката [2-6]. Тук в лявата колона са дадени общоприетите съкращения на понятията от английската терминология (средната колона), а в дясната – техните български еквиваленти.

Анализът на публикации с изследвания от областта на производствените системи показва, че към момента се прилагат по-интензивно само една част от методите на изкуствения интелект [6-8]. Те са представени в табл. 2, като са насочени към четирите етапа при създаване на производствените системи: проектиране, планиране, производство и управление на системно равнище, при което са поставени и баловете (по преценка на авторите) за честотата на тяхното приложение.

#### 3. Приложение на теорията на размитата логика при проектиране на времевен възел за металорежеща машина

Размитата логика съдържа достатъчно мощни средства за формално описание на всеки казус. Тези средства са обособени в класове от т.нар. размити оператори.

Основната идея за тяхната употреба се крие в трактовката на всеки казус като отношение между стойностите на размити входни/изходни променливи.

Нека бъде разгледан следният проблем [9]:

*"Да се оцени радиалната стабилност на търкалящ лагер със сравнително малък вътрешен диаметър".*

Решението, което експерт в областта би предложил, е:

*"При условие, че вътрешният диаметър на търкалящия лагер не е много голям, очакваната радиална стабилност също няма да бъде много висока".*

Внимателният анализ на експертното мнение позволява обособяването на общо знание и казуси.

Общо знание в случая е: *Колкото по-голям е вътрешният диаметър на лагера, толкова по-голяма е неговата радиалната стабилност.*

Тук могат да бъдат формулирани следните казуси:

- Ако вътрешният диаметър на лагера е среден, радиалната му стабилност е понижена;
- Ако вътрешният диаметър на лагера е голям, радиалната му стабилност е голяма;
- Ако вътрешният диаметър на лагера е малък, радиалната му стабилност е малка.

Формалното описание на общото знание и казуса, може да се осъществи в следния ред:

- Дефинират се лингвистичните променливи, участващи в общото знание. Тук те са: вътрешният диаметър и стабилността на лагера.

- Построяват се техните терм-множества и съответните им универсални множества.

- Построява се формалната интерпретация на казуса с помощта на някои от размитите оператори. Тук това е операторът "min":

Таблица 1. Методи на изкуствения интелект, прилагани в производствените системи

Съкращение	Английска терминология	Българска терминология
AM	Associative Memory	Асоциативна памет
AT	Automata Theory	Теория на автоматите
BA	Blackboard Architecture	Архитектура на табличните автомати
BMS	Bionic Manufacturing Systems	Бионични производствени системи
CA	Cognitive Approach	Когнитивен подход
CBS	Constrain Based Search	Търсене при наличие на ограничения
CDG	Conceptual Dependency Graphs	Концептуални графи
CI	Computer Intelligence	Компютърна интелигентност
CS	Cognitive Systems	Когнитивни системи
CT	Chaos Theory	Теория на хаоса
CV	Computer Vision	Компютърно зрение
DM	Data Mining	Извличане на данни
EP	Evolutionary Programming	Еволюционно програмиране
ES	Expert Systems	Експертни системи
FL	Fuzzy Logic	Размита логика
GA	Genetic Algorithms	Генетични алгоритми
GN	Generalized Nets	Обобщени мрежи
GP	Genetic Programming	Генетично програмиране
GT	Graph Theory	Теория на графите
HA	Holistic Approach	Холистичен подход
HMS	Holonic Manufacturing Systems	Холонни производствени системи
HS	Heuristic Search	Евристично търсене
HSs	Hybrid Systems	Хибридни системи
IN	Immune Networks	Имунни мрежи
KBS	Knowledge Based Systems	Системи базирани на знания
KR	Knowledge Representation	Представяне на знания
LS	Learning Systems	Обучаващи системи
MAS	Multi Agent Systems	Мултиагентни системи
ML	Machine Learning	Машинно обучение
NLP	Natural Language Processing	Процедури на естествени езици
NFN	Neuro-Fuzzy Nets	Размити невронни мрежи
NN	Neural Networks	Невронни мрежи
PN	Petri Nets	Мрежи на Петри
PR	Pattern Recognition	Разпознаване на образи
QR	Qualitative Reasoning	Заклучения по качествени признаци
RL	Reinforcement Learning	Поощряващо обучение
RT	Reasoning Techniques	Техники за логически изводи
SA	Simulated Annealing	Симулационна релаксация
SL	Supervisory Learning	Надзираващо обучение
SN	Semantic Nets	Семантични мрежи
ST	Similarity Theory	Теория на сходството

$$\mu_{\text{CASE}}(x, y) = \min(\mu_{V_i=P_i}(x), \mu_{W_i=Q_i}(y))$$

Където  $\mu_{\text{CASE}}(x, y)$  е функция на принадлежност на казуса;  $\mu_{V_i=P_i}(x)$  - функцията на принадлежност на лингвистичния терм  $P_i$ , интерпретиращ входната лингвистична променлива,  $V_i$  в рамките на казуса  $\mu_{W_i=Q_i}(y)$  - функцията на принадлежност на лингвистичния терм  $Q_i$ , интерпретиращ изходната лингвистична променлива  $W_i$ , в рамките на казуса.

Нека например бъде оценена лингвистично радиалната стабилност на опора, за която е известно, че:

- Конструирана е от търкалящи лагери със сравнително малък брой търкалящи елементи;
- Търкалящите лагери са от малък типоразмер;

- Броят на лагерите в опората е малък.

За решението на този проблем ще бъде използвана база общи знания, изградена в съответствие със следните евристики:

- "Колкото по-голям е броят на търкалящите елементи, толкова по-висока е стабилността на опората";
- "Колкото по-голям е вътрешният диаметър на лагера, толкова по-висока е стабилността на опората"
- "Колкото по-голям е броят на лагерите в опората, толкова по-голяма е стабилността ѝ".

Формалното им описание може да бъде реализирано в следния ред:

- Най-напред се построяват лингвистичните променливи и техните терм множества.

Таблица 2. Приложение на методите на изкуствения интелект

Области на приложение на методите на изкуствения интелект		Проектиране	Планиране	Производство	Управление
BA	Архитектура на табличните автомати		X		X
CBS	Търсене при наличие на ограничения	XX	XX	XXX	X
CT	Теория на хаоса	X	X	X	XX
CV	Компютърно зрение	X		XX	
DM	Извличане на данни	X	XX	XXX	XX
EP	Еволюционно програмиране	XXX	XX	X	XXX
ES	Експертни системи	XX	X	XXX	XX
FL	Размита логика	XX	XX	XX	XXX
GA	Генетични алгоритми	X	XX	X	XXX
GP	Генетично програмиране	X	XX	X	XXX
GT	Теория на графите	X	XXX	X	XXX
HMS	Холодни производствени системи		XXX		X
HS	Евристично търсене	X	XXX	XX	XXX
HSs	Хибридни системи		X	XX	XXX
KBS	Системи базирани на знания	XXX	XX	XXX	XXX
MAS	Мултиагентни системи		XXX		X
NFN	Размити невронни мрежи		X	XX	XX
NN	Невронни мрежи	X	X	XX	XXX
PN	Мрежи на Петри		X	XX	XXX
PR	Разпознаване на образи	X	X	XX	XXX
QR	Заклучения по качествени признаци				XX

- Лингвистичните променливи и техните терм множества са както следва:

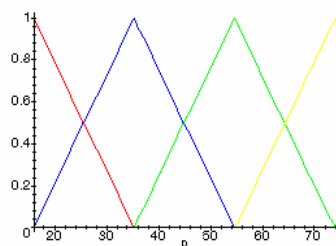
Лингвистична променлива	Означение	Терм множество
Брой на търкалящите елементи	$V_1$	{Малък, Среден, Голям, Много голям}
Вътрешен диаметър на лагера	$V_2$	{Малък, Среден, Голям, Много голям}
Брой на лагерите в опора	$V_3$	{Малък, Среден, Голям}
Радиална стабилност на опората	$W_1$	{Ниска, Повишена, Висока, Много висока}

- След това се построяват универсалните множества за всяка от лингвистичните променливи:

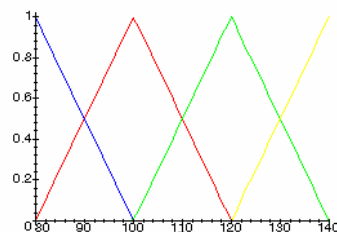
Лингвистична променлива	Означение	Универсално множество
Брой на търкалящите елементи	$V_1$	$U_{V_1} = [16...74]$
Вътрешен диаметър на лагера, <i>mm</i>	$V_2$	$U_{V_2} = [80...140]$
Брой на лагерите в опора	$V_3$	$U_{V_3} = [1...6]$
Радиална стабилност на опората, <i>N/μm</i>	$W_1$	$U_{W_1} = [500...2500]$

- Построяват се функциите на принадлежност на термите

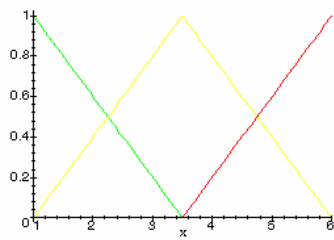
Тези функции на принадлежност са дадени както следва: на фиг. 1 - брой на търкалящите елементи -  $V_1$ , фиг. 2 - вътрешен диаметър на лагера -  $V_2$ , фиг. 3 - брой на лагерите в опора -  $V_3$  и фиг. 4 - радиална стабилност на опората -  $W_1$ .



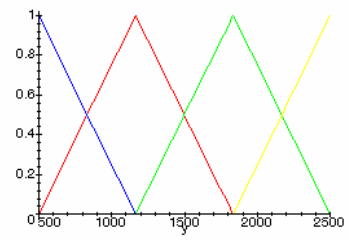
Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3



Фиг. 4

- Формулират се общите за областта знания:

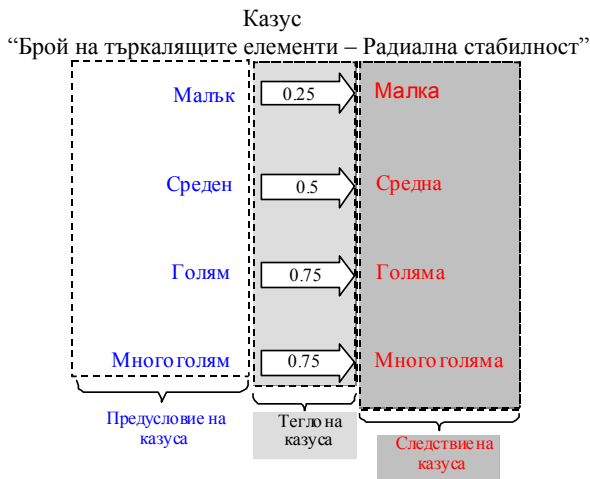
1. Ако  $V_1 = \text{“Голям”}$
2. Ако  $V_2 = \text{“Голям”}$
3. Ако  $V_3 = \text{“Голям”}$

Тогава  $W_1 = \text{“Висока”}$

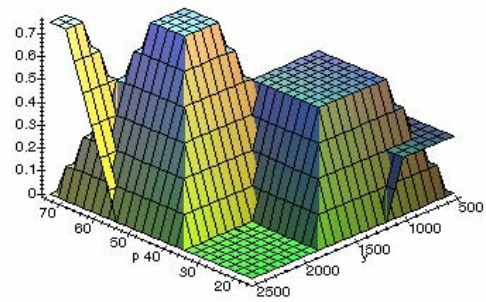
Тогава  $W_1 = \text{“Висока”}$

Тогава  $W_1 = \text{“Висока”}$

- Формулират се казусите, както следва:

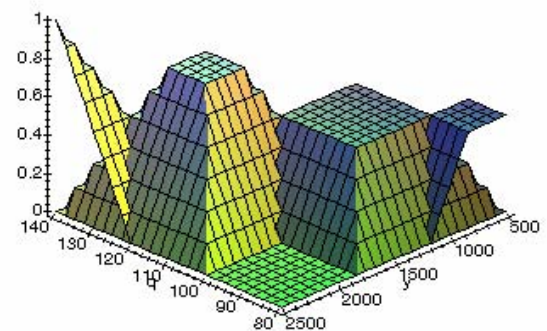


Графичен вид



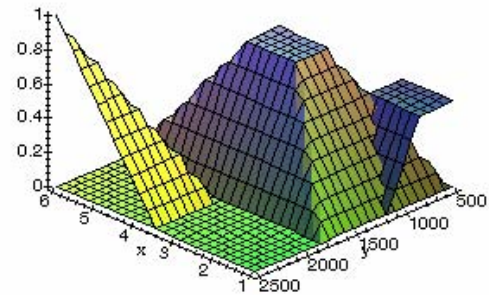
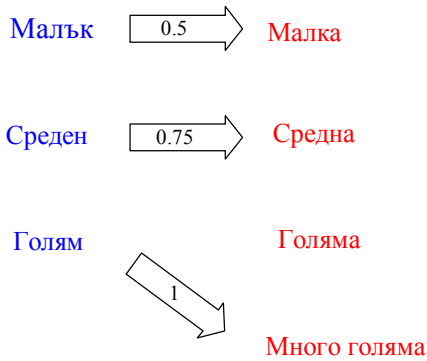
Фиг. 5

“Вътрешен диаметър на лагера – Радиална стабилност”



Фиг. 6

“Брой на лагерите в опора - Радиална стабилност”

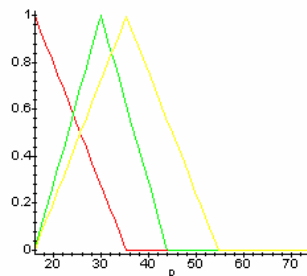


Фиг. 7

По-нататък за илюстрация ще бъде решена следната задача: да се определи радиалната стабилност на опората, за която е известно, че:

- Броят на търкалящите елементи е между малък и среден - оценен като “Не много голям”;
- Вътрешният диаметър на лагера е оценен като “Голям”;
- Броят на лагерите в опората е оценен като “Малък”.

За стойностите на лингвистичните променливи “Вътрешен диаметър на лагера” и “Брой на лагерите в опората” съществуват казуси, следователно за тях базата от функции на принадлежност няма да бъде претърсвана. Първата лингвистична променлива има стойност, чиято функция на принадлежност е зададена от експерта, както е представено на фиг. 8:



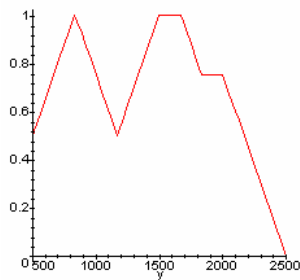
Фиг. 8

Осреднената стойност на функцията на принадлежност е представена графично на фиг. 9.

$$\bar{\mu} = \frac{1}{n} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n \mu_{w_i=Q_1'} + \mu_{w_i=Q_2'} + \mu_{w_i=Q_3'}}{\sup\left(\frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n \mu_{w_i=Q_1'} + \mu_{w_i=Q_2'} + \mu_{w_i=Q_3'}\right)\right)}$$

където:

$$\sup\left(\frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n \mu_{w_i=Q_1'} + \mu_{w_i=Q_2'} + \mu_{w_i=Q_3'}\right)\right) = 0,33$$



Фиг. 9

Лингвистичната апроксимация е извършена по метода на Yager.

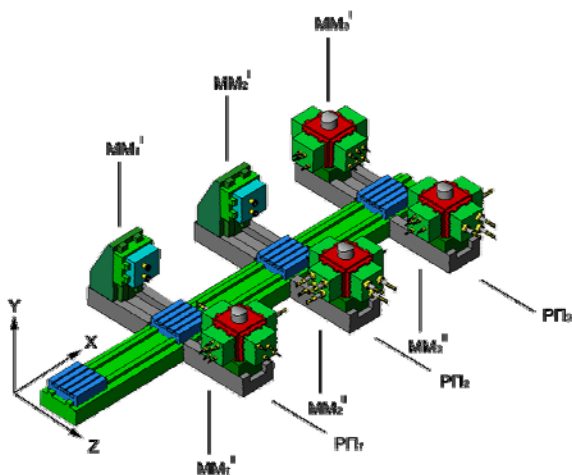
Резултатът от дефъзификацията показва, че най-близо до получената осреднена функция на принадлежност е термът “Средна радиална стабилност”.

$$C_{\bar{\mu}} = \frac{\int_{500}^{2500} \bar{\mu} \cdot y \cdot dy}{\int_{500}^{2500} \bar{\mu} \cdot dy} = 1396, N / \mu m$$

**4. Приложение на холонния подход, мрежите на Петри и обобщените мрежи при проектиране на реконфигуриращи се производствени системи за механична обработка.**

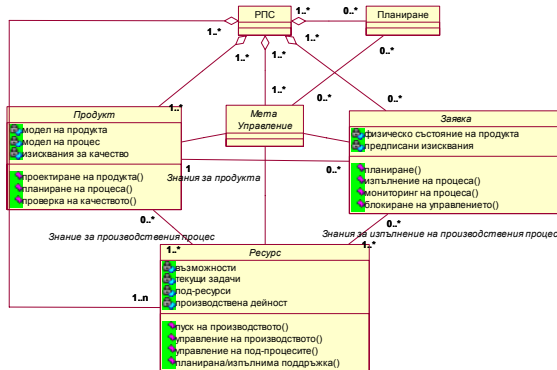
Методите на изкуствения интелект бяха приложени при проектиране на реконфигурираща се система (РПС) за механична обработка на гама цилиндрови блокове за ДВГ.

На фиг. 10 е дадена част от поточната линия за обработка на двойка срещуположни стени, съставена от еднопозиционни и четирипозиционни работни станции за фрезови, пробивни, резбонарезни и др. операции. При смяна на обработвания детайл, работните станции се реконфигурират чрез смяна на многовретенните приставки [10-13].



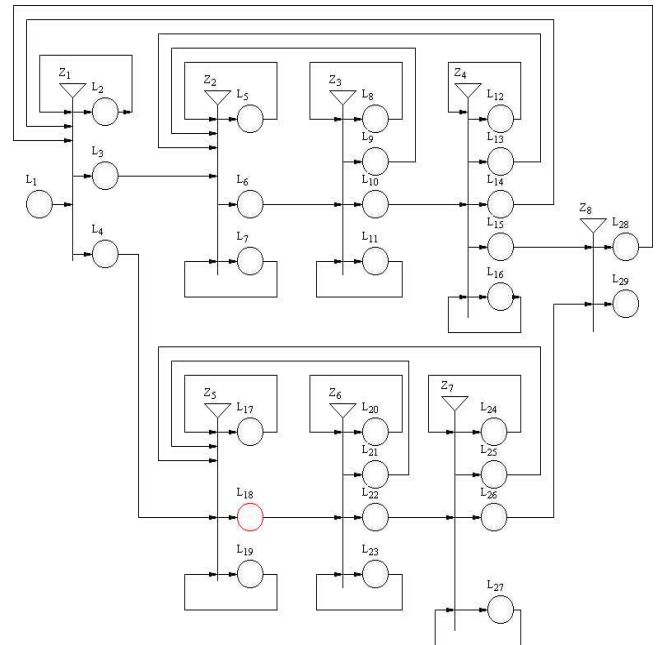
Фиг. 10

Системното проектиране на РПС се извършва при използване на холонния подход. На фиг. 11 е дадена еталонната холонна архитектура на РПС, позволяваща допълване, отстраняване и модифициране на компонентите на системата. Към трите основни холона, които съответстват на конвенционалната холонна архитектура – холон на заявките, холон на ресурсите и продукт-холон са добавени два допълнителни холона – планиращ холон и холон за метауправление. Планиращият холон чрез оптимизационни алгоритми определя реда за изпълнение на технологичните операции. Метауправляващият холон след като осъществи комуникация с останалите холони от системата (РПС) взема решения на базата на актуалното състояние на системата, както и на евентуални външни и вътрешни промени относно предпочетената управляваща структура [13].



Фиг. 11

Оптималното планиране на технологичните операции, които се изпълняват на съответните работни позиции на РПС, е извършено чрез прилагане теорията на обобщените мрежи. Обобщеният модел на мрежата за оптимално планиране на технологичните операции е даден на фиг. 12. Той интегрира производствения модел с процедурата за оптимално планиране и се явява част от планиращия холон на РПС [10].



Фиг. 12

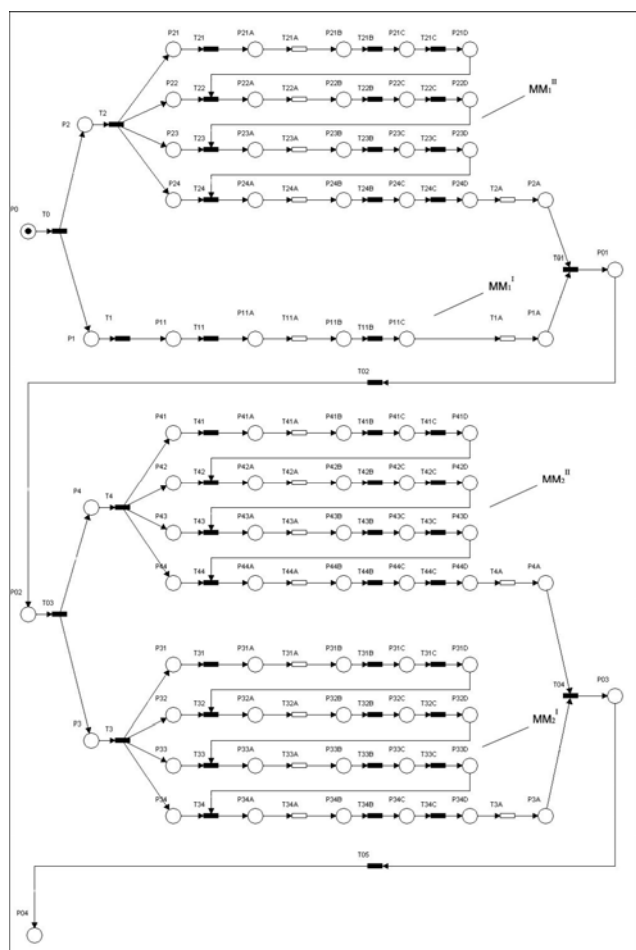
След като се симулират резултатите в обобщения мрежов модел, оптималните решения се представят чрез Гант-диаграми (фиг. 13). Те показват последователността за изпълнение на операциите според вида на работните станции (една- или четирипозиционни) от поточната линия на РПС. С различна шриховка са представени отделните технологични операции – фрезование, свредловане, зенкероване, райбероване, свредловане под ъгъл и нарязване на резба [10].

PC	Операции на повърхност А	Операции на повърхност С
1	A1 (4x4)	C6 (3x1)
2	A2 (3x4)	C7 (3x1), C3, C4, C5
3	A12 (2x3), A11, A5, A8	C1, C4, C5
4	A10, A13, A6, A15	
5	A10', A11', A7, A16	
6	A3, A4, A17, A9	

Фиг. 13

Моделирането на операциите в РПС е извършено чрез мрежи на Петри. На фиг. 14 е показан част от построения модел за управление на РПС за обработване на цилиндровите блокове чрез обикновени мрежи на Петри, като MM<sub>1</sub><sup>I</sup> е еднопозиционна работна станция за фрезови или пробивни (свредловане под ъгъл) операции, а MM<sub>1</sub><sup>II</sup>, MM<sub>2</sub><sup>I</sup> и MM<sub>2</sub><sup>II</sup> са четирипозиционни работни станции, върху които се извърш-

ват останалите операции – свредловане, зенкерване, райбироване и нарязване на резба с машинен метчик [10].



Фиг. 14

Други приложения на методите на изкуствения интелект при проектиране на системите за управление и диагностика на РПС се представят в някои от докладите на секционните заседания.

### Заклучение

Методите на изкуствения интелект играят все по-голяма роля в научните изследвания във всички области на човешкото познание. Те са една успешна алтернатива на досега прилаганите „класически“ методи. Развитието на компютърните и комуникационните техники и технологии в последното десетилетие направи възможно развитието и прилагането на интелигентните методи във всички етапи от жизнения цикъл на изделията и особено при тяхното проектиране, планиране, производство и управление.

Настоящото изследване представя част от резултатите на един научен консорциум от катедра „Технология на машиностроенето и металорежещи машини“ при ТУ София и катедра „Автоматизация на производството“ при ХТМУ София. Тези резултати са също илюстрация на това, че по-ефективно използване на интелигентните методи се постига чрез тяхното комбинирано приложение.

### Литература

1. Russel S., P. Norvig, Artificial Intelligence: A Modern Approach, Prentice Hall, 2003.
2. Barr A., Feigenbaum E. A., The Handbook of Artificial Intelligence, Kaufmann, Los Altos, 1981.
3. Chrissolouris G., Wrigh K., Knowledge-Based System in Manufacturing, Annals of CIRP, pp. 437-440, 1986.
4. Davies B. J., Knowledge-Based Systems in Production Engineering, Annals of CIRP, pp. 423-424, 1986.
5. Uliero Mihaela, Approaching Intelligent Control Systems Design, Proceedings of Third European Congress on Intelligent Techniques and Soft Computing, Aachen, Germany, September 28 – 31, pp.651 – 657, 1995.
6. Teti R., Kumura S.R.T., Intelligent Computing Methods for Manufacturing Systems, Annals of CIRP, pp. 630-652, 1998.
7. Preiss K., Artificial Intelligence in Manufacturing Systems, Annals of CIRP, pp. 443-444, 1986.
8. Dini G., Literature Database on Applications of AI Methods in Manufacturing Engineering, Annals of CIRP, pp. 524-528, 1997.
9. Popov G., Dimitrov S., An Approach for Modeling and Optimization of Constructive Parameters for Precise Machine Tools Using Fuzzy Logic, Proceedings of 2<sup>nd</sup> AMETMAS-NoE Workshop and Technology Transfer Day, St. Petersburg, 27-29 May, pp. 140-148, 1999.
10. Batchkova I., G. Popov, G. Stambolov - Application of Generalized Nets for optimal scheduling of Reconfigurable Manufacturing Systems Proceedings of the 10<sup>th</sup> ISPE International Conference on Concurrent Engineering: Research and Applications, 26-30 July 2003, Madeira, Portugal, pp. 1017-1023.
11. Попов Г., И. Бачкова, Г. Стамболов - Управление на оптимално планираните операции в реконфигурираща се производствена система чрез мрежи на Петри, Научна конференция „AMTEX“ 03, сп. Машиностроителна техника и технологии, №3, 2003, стр. 153-157.
12. Бачкова И., Г. Попов, Г. Стамболов – Управление на работни станции в холонни реконфигуриращи се производствени системи чрез мрежи на Петри, VI Международен конгрес „Машиностроителни технологии 04“, 23-25.09.2004, Сборник с доклади, стр. 38-41.
13. Batchkova I., G. Popov, G. Stambolov – Holonic Approach for System Design of Reconfigurable Manufacturing System, 4<sup>th</sup> IFAC Workshop DEKOM-TT 2004, Bansko, 03-05 October, Preprints, pp. 271-276.