УДК 624.132.6 DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2021.92.1.97

ВИБІР МЕТОДУ КЕРУВАННЯ ВЕРСТАТОМ З ЧПУ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

Петренко Ю. А., Леміш В. М.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. *Здійснено дослідження характеристик верстатів з ЧПУ та методів їхнього керування. Під час аналізу характеристик різноманітних верстатів з ЧПУ різних цінових категорій та методів керування верстатами з ЧПУ визначено мету: розроблення комп'ютерної технології вибору методу керування верстатом з ЧПУ в умовах невизначеності з огляду на такі фактори, як швидкість обертів шпинделя, діаметр свердління та точність верстата.*

Ключові слова: *верстати з ЧПУ, методи керування верстатом з ЧПУ, розроблення комп'ютерної технології вибору методу керування верстатом з ЧПУ, математичний апарат нечіткої логіки, нечіткій логічний висновок, математична модель вибору методу керування верстатом з ЧПУ в умовах невизначеності.*

Вступ

Застосування верстатів з ЧПУ дозволило отримати значний економічний ефект і вивільнити велику кількість універсального обладнання. Ефективність верстатів з ЧПУ, згідно з даними вітчизняних та закордонних дослідників, визначається збільшенням продуктивності, кількістю замінних універсальних верстатів, скороченням термінів підготовки виробництва та технологічного оснащення, забезпеченням взаємозаміни деталей, скороченням або повною ліквідацією розмічальних і слюсарно-підгінних робіт, впровадженням з початку запуску нового виробу розрахунково-технічних норм, а отже, й забезпеченням суттєвого зменшення трудомісткості та підвищення продуктивність праці [1].

Існують різноманітні методи керування верстатами з ЧПУ, вибір оптимального має базуватися на основі декількох факторів. Так, за однакових умов можна отримати неправильний висновок, що не дозволить розкрити максимум верстата з ЧПУ [2].

Для робіт різного ступеня складності оптимальний метод буде відрізнятися. На його вибір впливають такі фактори, як фінансові можливості підприємства, кваліфікація працівників, тип верстата тощо.

Аналіз публікацій

Велика насиченість ринку верстатів з ЧПУ змушує до пошуку оптимального рішення для підприємства. Крім того, необхідно також звертати увагу не тільки на сам верстат з ЧПУ та його параметри, але й на методи його керування [3].

Під методами керування вестатом з ЧПУ маються на увазі методи для створення керувальних програм верстатом з ЧПУ, зокрема основними методами керування є ручне програмування, програмування за стійкою ЧПУ, програмування за допомогою CAD/CAM-систем.

Ручне програмування можна зіставити з арифметичними обчисленнями за допомогою ручки та паперу на противагу обчислень на електронному калькуляторі. Також розроблення великих проектів таким методом є настільки важким заняттям, що можна сказати, що воно неможливе.

Нині залишається чимало виробництв, в яких застосовують виключно ручне програмування для верстатів з ЧПУ. Ручне програмування використовують на невеликих підприємствах, де виготовляють прості деталі, або верстати використовуються для виготовлення обмеженої номенклатури виробів.

Програмування на пульті системи ЧПУ. Програми створюються і використовуються безпосередньо на стійці системи ЧПУ за допомогою клавіатури, дисплея, а також системи графічних піктограм і меню.

Підприємства, які використовують обмежену кількість робочих для виготовлення широкого асортименту деталей, застосовують метод програмування безпосередньо біля верстата з ЧПУ.

CAM (з англ. Computer-aided manufacturing) – автоматизована система або модуль автоматизованої системи, призначений для підготовки програм керування для верстатів з ЧПУ. Цим терміном визначають як сам процес комп'ютеризованої підготовки виробництва, так і програмно-обчислювальні комплекси, які використовуються інженерами-технологами [4].

CAD – комплексні рішення. Вони можуть бути програмними, технічними тощо. За допомогою САПР автоматизують створення проектно-конструкторських та інших документів на підприємстві, уніфікують проектування, оптимізують процес прийняття управлінських рішень (розширюючи інформаційну підтримку), вирішують інші завдання [5].

Системи CAD/CAM найкраще використовувати на великих підприємствах з великим штатом працівників, які підтримують максимальне завантаження верстатів і безперебійне виготовлення деталей.

На основі проаналізованих досліджень і публікацій можна сформулювати таке правило, що від ціни (як відомо, чим дорожчий верстат, тим кращими є його характеристики) буде залежати те, який метод керування верстатом з ЧПУ буде найкращим для підприємства.

Таким чином, актуальність дослідження полягає в створенні математичної моделі, алгоритму та самої комп'ютерної технології вибору методу керування верстатом з ЧПУ.

Мета і постановка завдання

Будь-який проект проходить крізь певні фази у своєму розвитку. Стадії життєвого циклу проекту можуть відрізнятися залежно від сфери діяльності та прийнятої системи організації робіт. Однак в кожного проекті можна виокремити початкову стадію (вибір мети, діагноз та визначення проблеми, генерація рішень, вибір ефективного рішення та розрахунок техніко-економічних показників), стадію підготовки і реалізації проекту та стадію завершення робіт. Це здається очевидним, але поняття життєвого циклу проекту є одним з найважливіших, оскільки саме поточна стадія визначає завдання та види діяльності інженера, методики, що використовуються, та інструментальні засоби.

Для вибору найкращого методу керування верстатом з ЧПУ відповідно до характеристики верстата розроблено алгоритм аналізу вхідних параметрів та на основі зробленого аналізу параметрів створено нечіткий логічний висновок (рис. 1).

В алгоритмі (рис. 1) процеси визначення категорії для кожної зі змінних виокремлено в окремий блок. До кожного з процесів визначення категорії для змінної належать тернарні операції (І, АЛЕ), в яких на основі заданих моментів переходу від одного значення до іншого визначається значення змінної (низьке, середнє або високе).

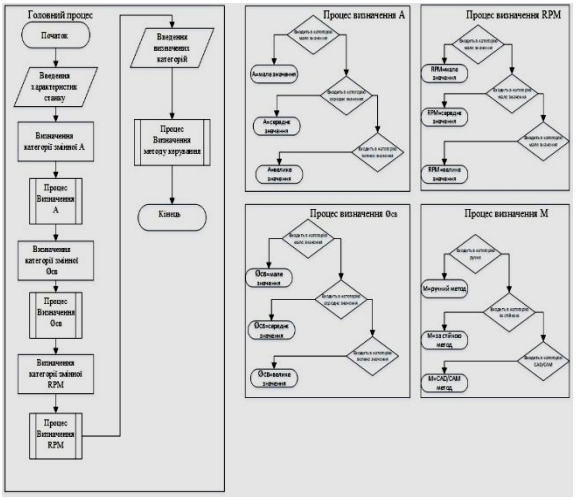

Рис. 1. Алгоритм аналізу вхідних даних та створення нечіткого логічного висновку

Необхідно зазначити, що вибір методу керування верстатом з ЧПУ здійснюється тільки на основі трьох параметрів, що може бути недостатнім для вирішення реального завдання.

Метою створення алгоритму є узагальнення самого процесу визначення категорії для змінної, що дозволяє створити гнучку систему до якої можна додавати нові фактори в процесі визначення найкращого методу керування верстатом з ЧПУ. Щоб додати новий параметр до алгоритму, необхідно лише визначити саму змінну для параметру і додати до головного процесу визначення створеної змінної.

Для досягнення цієї мети в роботі вирішуються такі завдання:

– системний аналіз класифікацій верстатів з ЧПУ та методів керування верстатами з ЧПУ;

– обґрунтування визначення категорій для параметрів верстата з ЧПУ та методів керування верстатом з ЧПУ;

– розроблення алгоритму вибору методу керування верстатом з ЧПУ на основі вхідних параметрів;

– розроблення математичної моделі нечіткого логічного висновку вибору методу керування верстатом з ЧПУ в умовах невизначеності;

– створення бази даних для зберігання верстатів з ЧПУ та їхніх параметрів;

– створення комп'ютерної технології з внесенням до неї створеної бази даних та алгоритму вибору методу керування верстатом з ЧПУ на основі вхідних параметрів.

Результати дослідження

Математичне вирішення цього завдання полягає у виборі найкращої допустимої альтернативи з безлічі альтернатив і заданих на цій множині співвідношень переваги [6]. Для вибору найкращого методу керування верстатом з ЧПУ необхідно задати в формалізованому виді межі його застосування відповідно до яких доцільно використовувати інші методи керування верстатом з ЧПУ.

Вибір методу керування здійснюється на основі рекомендованих довідкових значень точності та допуску, а також експертних оцінок [7].

Для розроблення моделі вибору методу керування верстатом з ЧПУ визначаються функції приналежності нечітких змінних [8].

Для швидкості обертів шпинделя визначені такі лінгвістичні змінні: «маленька швидкість обертів шпинделя», «середня швидкість обертів шпинделя» і «висока швидкість обертів шпинделя».

Для діаметра свердління визначені такі лінгвістичні змінні: «маленький діаметр свердління», «середній діаметр свердління» і «великий діаметр свердління»

Для точності верстата визначені відповідні категорії: «низька точність верстата», «середня точність верстата», «висока верстата».

Для показника RPM, значення якого змінюється від 200 до 10000, визначені нечіткі множини у вигляді залежностей (1)– (3) та побудована кусково-лінійна функція (рис 2):

$$m_{RPM(маленька)}=\begin{cases}1, & RPM\le 200\\ \dfrac{1100-RPM}{200}, & 200<RPM<1100\\ 0, & RPM\ge 1100\end{cases}; \quad (1)$$

$$m_{RPM(середня)}=\begin{cases}0, & RPM<200\,||\,RPM>6000\\ \dfrac{RPM-200}{200}, & 200<RPM<1100\\ \dfrac{6000-RPM}{200}, & 1100\le RPM\ge 6000\end{cases}; \quad (2)$$

$$m_{RPM(висока)}=\begin{cases}0, & RPM<200\\ \dfrac{RPM-1100}{1100}, & 1100<RPM<6000\\ 1, & RPM\ge 6000\end{cases}. \quad (3)$$

Для показника, значення якого змінюється від 14 до 35, визначені нечіткі множини у вигляді залежностей (4)–(6) та побудована кусково-лінійна функція (рис 3):

$$m_{Øсв(маленький)}=\begin{cases}1, & Øсв\le 14\\ \dfrac{20-Øсв}{14}, & 14<Øсв<20\\ 0, & Øсв\ge 20\end{cases}; \quad (4)$$

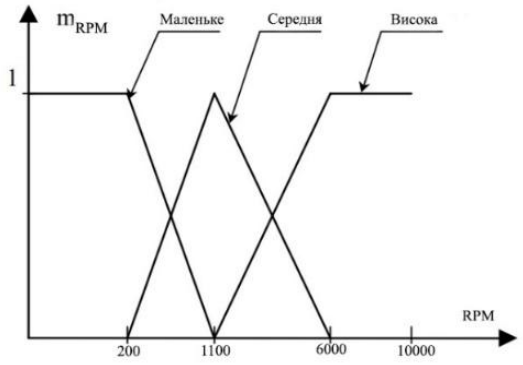

Рис. 2. Кусково-лінійна функція змінної RPM

$$m_{Øсв(середній)}=\begin{cases}0, & Øсв<14\,||\,Øсв>23\\ \dfrac{Øсв-14}{14}, & 14<Øсв<20\\ \dfrac{23-Øсв}{14}, & 20\le Øсв\ge 23\end{cases}; \quad (5)$$

$$m_{Øсв(високий)}=\begin{cases}0, & Øсв<14\\ \dfrac{Øсв-20}{20}, & 14<Øсв<23\\ 1, & Øсв\ge 23\end{cases}. \quad (6)$$

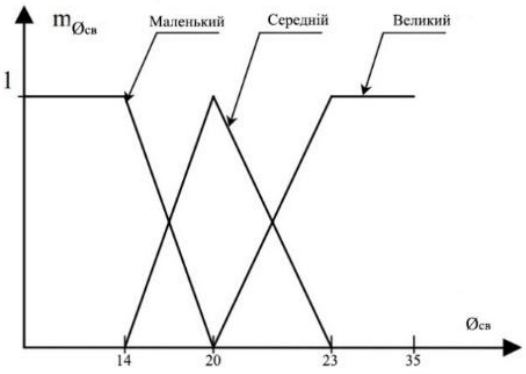

Рис. 3. Кусково-лінійна функція змінної

Необхідно зазначити, що для показника точності верстата, значення якого змінюється від 1 до 0,005, чим меншим є значення, тим верстат є більш точним, тобто $A_i \rightarrow \min$. Для зручності розрахунків кожне значення відмінусовувалося від одиниці, тобто $A_i = 1 - i$. Тоді найбільшим значенням точності верстата буде 0,995, а найменшим – 0,1. Для методу керування визначені нечіткі множини у вигляді залежностей (7)–(9) та побудована кусково-лінійна функція (рис. 4):

$$m_{A(маленька)}=\begin{cases}1, & A\le 0.1\\ \dfrac{0.1-A}{0.1}, & 0.1<A<0.6\\ 0, & A\ge 0.6\end{cases}; \quad (7)$$

$$m_{A(середня)}=\begin{cases}0, & A<0.1\|A>0.9\\ \frac{A\text{-}0.1}{0.1}, & 0.1<A<0.6\\ \frac{0.6\text{-}A}{0.1}, & 0.6\le A\ge 0.9\end{cases}; \quad (8)$$

$$m_{A(велика)}=\begin{cases}0, & A<0.1\\ \frac{A-0.6}{0.6}, & 0.1<A<0.9\\ 1, & A\ge 0.9\end{cases}. \quad (9)$$

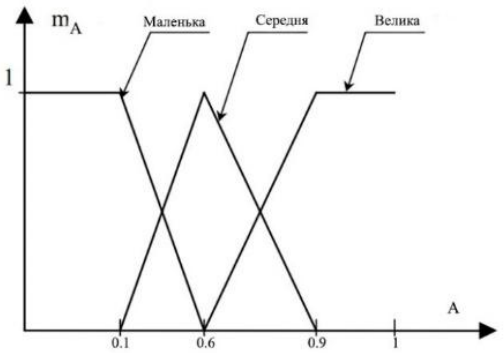

Рис. 4. Кусково-лінійна функція змінної *A*

Для методу керування верстатом з ЧПУ, значення якого змінюється від 0.1 до 0.9, визначені нечіткі множини у вигляді залежностей (10)–(12) та побудована кусково-лінійна функція (рис. 5).

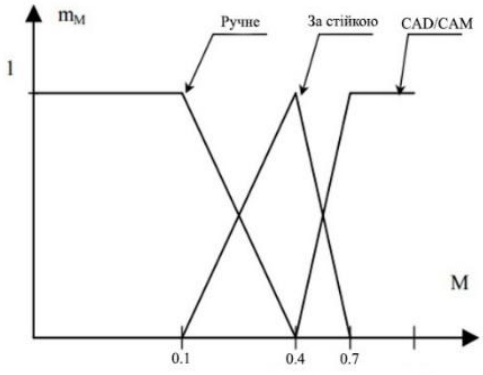

Рис. 5. Кусково-лінійна функція змінної M

Також для змінної методу керування верстатом з ЧПУ визначені такі лінгвістичні категорії: «низька – ручне програмування», «середня – програмування за стійкою», «складна – CAD/CAD-системи»:

$$m_{M(низька)}=\begin{cases}1, & M\le 0.1\\ \frac{0.1-M}{0.1}, & 0.1<M<0.4\\ 0, & M\ge 0.4\end{cases}; \quad (10)$$

$$m_{M(середня)}=\begin{cases}0, & M<0.1\|M>0.7\\ \frac{M\text{-}0.1}{0.1}, & 0.1<M<0.4\\ \frac{0.4\text{-}M}{0.1}, & 0.4\le M\ge 0.7\end{cases}; \quad (11)$$

$$m_{M(складна)}=\begin{cases}0, & M<0.1\\ \frac{M-0.4}{0.4}, & 0.1<M<0.7\\ 1, & A\ge 0.7\end{cases}. \quad (12)$$

Основу моделі нечіткого логічного висновку складають сформульовані продукційні правила в формі умовних доказів типу IF A THEN B [9].

Узагальнене нечітке правило виведення визначалося за схемою, наведеною в табл. 1.

Таблиця 1 − Узагальнене нечітке правило висновку

Умова імплікації	x − це A’ IF x −це A THEN y − це B
Висновок	y − це B’

Нечітке правило логічного висновку є впорядкованою парою (A, B), де A – нечітка підмножина простору вхідних значень X, B – нечітке підмножина простору вихідних значень Y. Система нечіткого висновку – це відображення $I^{розм\ (X)}$ у $I^{\ розм\ (Y)}$, де $_{розм}$ (Z) – оператор визначення розмірності простору Z. Необхідно зазначити, що кількість елементів у $I^{розм\ (X)}$ і $I^{розм\ (Y)}$ є нескінченно великою, тому неможливо задати правила нечіткого виведення відповідними парами точок. Однак вони можуть бути записані в формі нечітких умовних суджень у процесі вирішення завдання вибору методу оброблення [7].

Співвідношення переваги сформульовані як нечіткі умовні судження типу «IF Швидкість обертів шпинделя велика, діаметр свердління великий і велика точність станку THEN метод – CAD/CAM системи»; «IF – швидкість обертів шпинделя середня, діаметр свердління середній і середня точність станку THEN, метод – програмування за стійкою»; «IF – швидкість обертів шпинделя маленька, діаметр свердління маленький і маленька точність станку THEN, метод – ручне програмування».

Комп’ютерна технологія вибору методу керування верстатом з ЧПУ містить велику кількість компонентів. Оскільки для форми введення вхідних параметрів вибраний сайт, то для клієнтів використовують HTML, CSS,

JS, а для серверної частини – C# .NET та Entity Framework для роботи з базою даних [10].

Структурна схема комп'ютерної технології наведена на рис. 6.

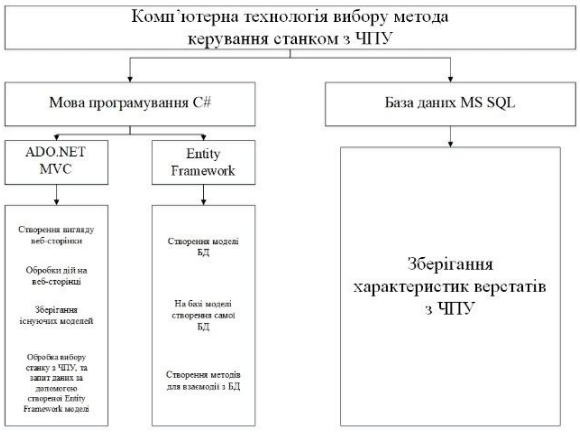

Рис. 6. Структурна схема комп'ютерної технології

Висновки

Таким чином, розроблена комп'ютерна технологія вибору методу керування верстатом з ЧПУ, яка на основі введених даних за допомогою розробленого алгоритму створює нечіткий логічний висновок. Це дозволяє значно прискорити вибір методу керування верстатом з ЧПУ з огляду на можливості верстата з ЧПУ.

Література

1. Виды станков. URL: http://stepmotor.ru (дата звернення: 01.10.2020).
2. Способы программирования станков с ЧПУ. URL: http://www.axispanel.ru (дата звернення 01.10.2020).
3. CNC Controller Market By Hardware – Global Forecast to 2023. URL http://marketsandmarkets.com (дата звернення: 01.10.2020).
4. Основные функции CAM-системы. URL: http://cintaro.com.ua (дата звернення: 01.10.2020).
5. CAD-программы. URL: http://www.asapcg.com (дата звернення: 01.10.2020).
6. Troelson A. Pro C# 7 With .NET and .NET Core. Introduction to Entity Framework. Apress Publ, 2017. Pp. 837–884.
7. Нечітка логіка – математичні основи. URL: http://basegroup.ru (дата звернення: 01.10.2020).
8. Круглов В. В., Дли М. И. Интеллектуальные информационные системы: компьютерная поддержка систем нечеткой логики и нечеткого вывода: монография. Москва: Физматлит, 2002. 560 с.
9. Zadeh L. A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning. American Elsevier Publ, 1975. 420 p.
10. Филь Н. Ю., Биньковская А. Б., Дудко Д. В. Информационные технологии процесса обработки деталей с использованием методов нечеткого вывода. Технология приборостроения. 2018. №2. С. 33–36.

References

1. Vidi stankov [Machines types]. Retrieved from: http://stepmotor.ru (accessed: 01.10.2020) [in Russian].
2. Sposobi programmirovaniya stankov s CHPU [Methods for programming CNC machines]. Retrieved from: http://www.axispanel.ru (accessed: 01.10.2020) [in Russian].
3. CNC Controller Market By Hardware – Global Forecast to 2023. Retrieved from: http://marketsandmarkets.com (accessed: 01.10.2020) [in English].
4. Osnovnie funkcii CAM-sistemy [Main CAM-system functions]. Retrieved from: http://cintaro.com.ua (accessed: 01.10.2020) [in Russian].
5. CAD-programmi [CAD-programs]. Retrieved from: http://www.asapcg.com (accessed: 01.10.2020) [in Russian].
6. Troelson A. Pro C# 7 With .NET and .NET Core. Introduction to Entity Framework. Apress Publ, 2017. Pp. 837–884.
7. Nechitka Logica – matematicheskie osnovi [Fuzzy logic – basics of mathematic]. Retrieved from: http://basegroup.ru (accessed: 01.10.2020) [in Ukrainian].
8. Kruglov V. V., Dli M.I. Intelektualnie informacionnie sistemy: komp'uternaya podderjka sistem nechetkoy logici I nechetkogo logicheskogo vivoda: monographia. Moskva: Fizmatlit, 2002. 560 s. [Intelligent information systems: computer support of fuzzy logic and fuzzy output systems] [in Russian].
9. Zadeh L. A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning. American Elsevier Publ, 1975. 420 p [in English].
10. Fil N. U., Binkovskaya A. B., Dudko D. V. Informacionnie technologii processa obrabotki detaley s ispozovaniem nechetkogo vivoda. Technologiya priborostroyeniya. 2018. № 2. C. 33–36. [Information technology of the processing of parts using fuzzy inferences methods] [in Russian].

Петренко Юрій Антонович, д.т.н., професор, +380(50) 802-21-31, petrenko.yuriy.an@gmail.com,
Леміш Владислав Михайлович, магістр, vlad.lemish123@gmail.com,
Харьківський національный автомобильно-дорожній університет.

The technology of choosing CNC machine control method under uncertainty

Abstract. Problem. *A big market saturation makes very hard finding for optimal solution for manufacture, besides you've to take look not only at CNC machines and its parameters but also at CNC machine control methods. By CNC machine control methods means methods for creating controlling programs. The main methods are manual programming, programming by CNC stand, programming with CAD/CAM systems.* ***Goal.*** *The goal of the paper is to ease choosing the CNC machine control method by developing the technology of choosing the CNC machine control method under uncertainty.* ***Methodology****. The article has categorized the types of CNC machines and their control methods. Based on system analysis of currently existed works, was created an algorithm, fuzzy math model which consists of fuzzy input and fuzzy output, and the technology of choosing the CNC machine control method itself.* ***Results.*** *Generalized and partial problems of choosing the CNC machine control methods are formulated; the fuzzy math logic model is developed; an algorithm based on the developed fuzzy math logic model is created and further implemented in the technology of choosing the CNC machine control method under uncertainty.* ***Originality.*** *The fuzzy logic math methods have developed in a new subject. Were defined linguistic variables for the CNC parameters, generalized fuzzy input, and output for choosing the CNC control method under uncertainty. Previously generalized fuzzy input and output has been transformed into an algorithm.* ***Practical value.*** *A created algorithm that was based on fuzzy math logical model was added to the technology of choosing the CNC machine control method under uncertainty.*

Key words: *CNC machines, CNC machine control methods, developing technology of choosing CNC machine control method, fuzzy math, fuzzy math output, math model of choosing CNC machine control method under uncertainty.*

Petrenko Yuri, Dr. Sc, Professor,
tel. +380(50) 802-21-31,
petrenko.yuriy.an@gmail.com,
Lemish Vladislav, Master student,
vlad.lemish123@gmail.com,
Kharkiv National Automobile and Highway University, Yaroslava Mudrogo st, 25, Kharkiv, Ukraine, 61002.

Компьютерная технология выбора метода управления станком с ЧПУ в условиях неопределенности

Аннотация. *Проведено исследование характеристик станков с ЧПУ и методов их управления. В результате анализа характеристик станка с ЧПУ в разных ценовых категориях и методов их управления определена цель работы, а именно разработка компьютерной технологии выбора метода управления станком с ЧПУ в условиях неопределенности с учетом таких параметров, как скорость оборотов шпинделя, диаметр сверления и точность станка.*

Ключевые слова: *станки с ЧПУ, методы управления станком с ЧПУ, разработка компьютерной технологии выбора метода управления станком с ЧПУ, математический аппарат нечеткой логики, нечеткий логический вывод, математическая модель выбора метода управления станком с ЧПУ в условиях неопределенности*.

Петренко Юрий Антонович, д.т.н., профессор,
+380(50) 802-21-31, petrenko.yuriy.an@gmail.com,
Лемиш Владислав Михайлович, магистр,
vlad.lemish123@gmail.com,
Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет.