

# ИНФОРМАЦИОННИТЕ ТЕХНОЛОГИИ В УПРАВЛЕНИЕТО НА ТЕХНОЛОГИЧНИЯ ПРОЦЕС

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В УПРАВЛЕНИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

### INFORMATION TECHNOLOGIES AND CONTROL OF TECHNOLOGICAL PROCESSES



Assoc. Prof. Eng. Georgiev V., PhD  
Technical University of Sofia, Plovdiv branch, Bulgaria  
E-mail: [mtpt@tu-plovdiv.bg](mailto:mtpt@tu-plovdiv.bg)

**Abstract:** *The increase of production quality when making parts by mechanical engineering is based on control of the technological process in real time. For this purpose the information technologies have more and more important role in the modern machine building. In the present report it is shared the experience of controlling the precision when making parts using CNC machine tools by direct computer control based on mathematical models for the process of size and shape forming.*

**KEYWORDS:** MECHANICAL ENGINEERING, MACHINE TOOLS, ADAPTIVE CONTROL

#### Въведение

В края на XX век развитието на научното познание за процеса механично обработване, на информационните технологии, компютърната техника и металорежещите машини достигна ниво, което дава възможност за качествено нов подход в управлението на процеса. В основата му е заложено интегриране на познанието за процеса, представено като база данни, с адаптивното управление в реално време при осъществяване на обработването и със след оперативния контрол за попълване на базата данни и самообучение на системата.

В периода 1997 – 2002 г. се разработват концепцията и стратегията за научни изследвания в областта на интелигентното компютърно управление (INC) и успоредно се създават и изследват експериментално такива системи за някои по-елементарни процеси.

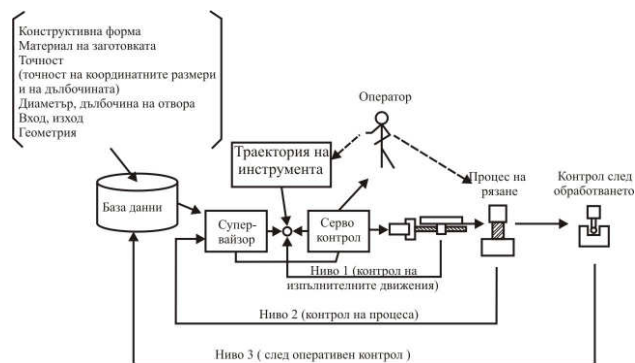
Изследователски екип от университета в Киото - Япония, в консорциум с изследователски технологични центрове от водещи фирми, като Mitsubishi Electric Corp., Yamazaki Mazak Corp, Yazda Precision Tools K.K. и др. в периода 1997 – 2002 г. осъществява научен проект за интелигентно компютърно управление при свредловане, резбонарязване и фрезозване [1,2,3].

Друг изследователски екип под ръководството на проф. Ямазак от Калифорнийския университет по механика и аеронавтика развива идеята за интелигентна CNC система, наречена TRUE-CNC, която е базирана на ЦПУ машини с отворена архитектура [4]. Наименованието TRUE съответства на качествата “Transparent”, “Transportable”, “Transplantable”, “Revivable”, “User-Reconfigurable” и “Evolving” (прозрачен, мобилен, взаимозаменяем, регениращ се, потребителски ре конфигурируем, отворен за развитие). Тя трябва да обхваща всичките етапи на реализиране на изделието: конструиране; проектиране на операцията; разработване на управляващата програма за ЦПУ; симулация и оптимизиране на програмата; избор на метод за адаптивно управление и активен контрол.

В Русия изследванията в областта на INC се развиват основно върху модели на изкуствения интелект и невронните мрежи [5,6]. Системите за оптимално управление на процеса механично обработване се изграждат чрез обединяване на диагностични модели на процеса базирани на изкуствени невронни мрежи, генетични алгоритми за оптимизация на режимите на работа и експертни системи за натрупване на знания.

В модела изкуствените невронни мрежи се използват за диагностика на формообразуването, качеството на обработената повърхнина и динамичните характеристики на процеса рязане, като се използват косвени методи на контрол. За оптимизация на операцията се използват успоредно експертна система и генетични алгоритми. Това съчетание дава възможност за по-универсално приложение на метода. Експертната система осигурява по-висока точност при определяне екстремума на целевата функция (точност, производителност, себестойност), но изисква достатъчен обем априорни знания за процеса. Следователно е приложима при производства с голяма серийност за да има достатъчен ресурс от време на експлоатация за натрупване на база данни и самообучение. Генетичните алгоритми са по-нечетни но работят и при ограничен ресурс на базата данни.

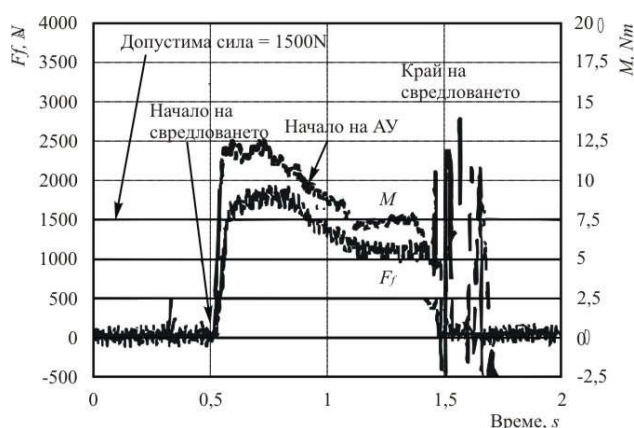
Като практически резултат от развитието на посочените изследвания са реализирани конкретни системи за интелигентно компютърно управление. Такава е системата за управление на процеса свредловане и фрезозване показана на фиг.1 [1].



Фиг.1. Система INC за свредловане и фрезозване

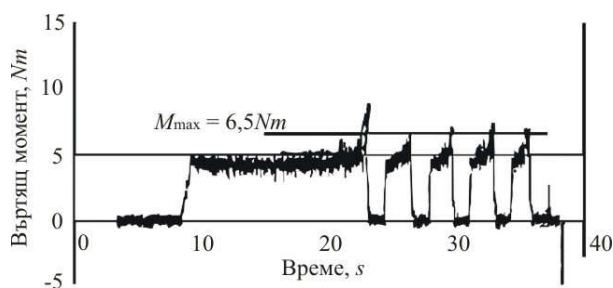
В процеса на свредловането с навлизане на инструмента по дълбочина над  $3d$  се наблюдава рязко нарастване на въртящия момент и за да се предпази свредлото от счупване е необходимо да се използва цикъл за дълбоко пробиване или да се приложи адаптивно управление [7]. Изследователският екип от университета в Киото контролира осовата сила и въртящия момент [1, 3]. Изследвани са различни методи за контрол – с динамометри установени на масата на машината, измерване тока на главния двигател, инсталиране на сензор за осовата сила във вретения възел. При малки диаметри на свредлата

последният метод е най-точен и надежен. На фиг.2 е показан запис от контрола на осовата сила и въртящия момент при свредловане със създадената система. Управлението се извършва с регулиране на подаването за да се поддържа зададена осова сила на рязане, която за конкретния случай е 1500N. Подаването, при което е достигнато зададеното натоварване на свредлото се регистрира в модула за обучение и се включва в базата данни за процеса. То се използва за приложение при следващи обработки с този инструмент и материал на заготовката. От фиг.1 се вижда, че преди самообучението, при проектирането на процеса е избрано по-голямо подаване и инструментът се претоварва, което без адаптивно управление може да доведе до счупването му.



Фиг.2.Осова сила и въртящ момент при свредловане

При дълбоки отвори се контролира въртящият момент. При достигане на въртящия момент до зададена допустима стойност процесът се прекъсва и свредлото се изважда за почистване на стружките. Запис на въртящия момент при реализиране на управлението е показан на фиг.3.



Фиг.3.Въртящ момент при дълбоко пробивен цикъл с адаптивно управление

### Концепция за научни изследвания в областта на интелигентното компютърно управление при ММ с ЦПУ

Резултатите от научните изследвания в областта на интелигентното компютърно управление показват, че за реализирането му са необходими определени предпоставки:

- Наличие на определена база знания за процесите обект на управление;
- Наличие на компютърна техника с определени технически характеристики и софтуерно осигуряване;
- Наличие на ММ с ЦПУ с възможности за директно компютърно управление;
- Наличие на средства и технологии за контрол на технологичния процес, включително в реално време;
- Наличие на алгоритми и специализиран софтуер за управление на процеса.

От анализа на посочените предпоставки произтичат насоките за научни изследвания и реализация на

интелигентно компютърно управление при механично обработване на ММ с ЦПУ:

- 1.Експериментални изследвания за натрупване на база знания за процесите обект на управление;
- 2.Създаване на математически модели за процесите обект на управление;
- 3.Създаване на системи за контрол на технологичния процес;
- 4.Създаване на алгоритми и специализиран софтуер за управление на технологичния процес.

Както се вижда, не се планират задачи за изследвания и развитие на компютърната техника и на ММ с ЦПУ, което е обект на изследователи извън научната област на технологията на машиностроенето.

Като обекти за изследване са определени струговането и свредловането на ММ с ЦПУ.

### Изследвания за интелигентно компютърно управление при струговане

Основната цел, поставена при струговането, е повишаване на точността и производителността на процеса. За постигането на тази цел е необходимо да се ограничи влиянието на случайните грешки, между които доминират грешките от силови деформации на технологичната система, както и на систематичните грешки от износването на инструмента и топлинните деформации на системата.

#### Намаляване на грешките от силови деформации.

Доказано е, че ефективно намаляване на грешките от силови деформации се постига с адаптивно управление (АУ) [7]. В реализираните системи за АУ основен източник на информация за силовите деформации е контролно устройство вградено в технологичната система. Обикновено се мери деформацията на еластично звено или енергетичен параметър, които са в тясна корелационна връзка с грешката от силови деформации. Основен недостатък на този метод е, че устройството не е с универсално приложение, а е специално за конкретните условия на работа и че се вгражда допълнителен сензор към машината, което усложнява конструкцията и. За да се избегнат тези недостатъци беше прието информацията за силовите деформации да се получава от математически модел за деформационното поведение на технологичната система.

Известно е, че тези модели са изключително сложни поради големия брой на факторите влияещи на силовата деформация. За да се получат практически приложими за целите на управлението модели е целесъобразно да се работи не с един обобщен модел, а със семейство прости модели валидни за локални области от многофакторното пространство. Това е постижимо с използването на съвременната компютърна техника.

Например, ако се разслои работното пространство, както е показано на фиг.4, уравнението за силовата деформация за определен слой с радиус  $R$  и дебелина  $\Delta R$  ще бъде:

$$y_R = \varphi(a, f, z), \quad (1)$$

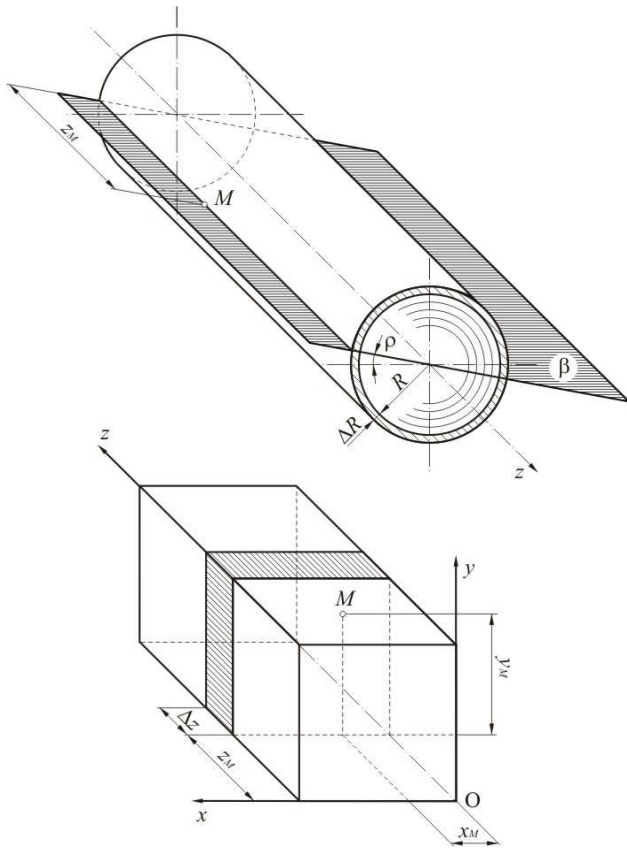
където  $a$  е дълбочината на рязане;  $f$  – подаването;  $z$  – координатата на т.М.

Посредством експериментални изследвания за конкретни условия на обработване функцията (1) може да се представи с прости полиноми от вида:

$$y = b_0 + b_1 a + b_2 f + b_{12} a f + b_{11} a^2 + b_{22} f^2. \quad (2)$$

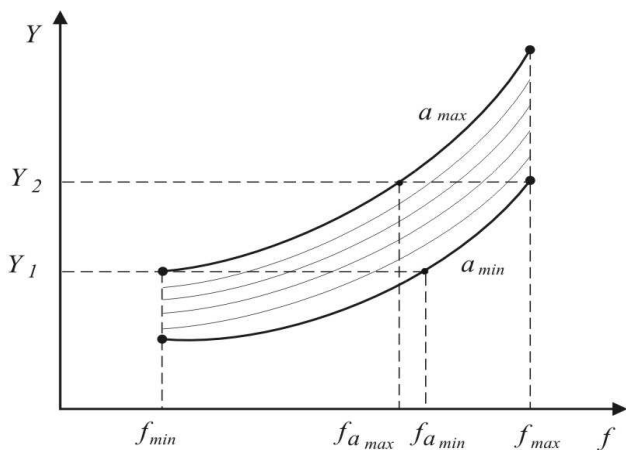
При разстъргване на къси цилиндрични втулки от стомана 35 с диаметър на отвора 28mm с конзолна борщанга с дължина на конзолата 100mm и диаметър на стеблото 20 mm е получено уравнението:

$$y = 8 + 71,4 a_p + 8 f + 925 a_p f - 120,4 a_p^2 - 219 f^2. \quad (3)$$



**Фиг.4. Разслояване на цилиндрично и призматично пространство**

Графичната интерпретация на уравнението (3) е представена на фиг.5. За да се намали грешката от силови деформации трябва обработването на партидата заготовки да се осъществи с постоянна деформация, като се регулира подаването, т.е. за всяка заготовка, като се измери преди обработването и се установи дълбочината на рязане, да се определи подаването от формула (3) при зададена деформация  $y$ .



**Фиг.5. Зависимост на силовите деформации от дълбочината на рязане и подаването**

Решение на уравнението (3) за всички дълбочини на рязане в диапазона от  $a_{\min}$  до  $a_{\max}$  има при нива на деформацията от  $Y_2$  до  $Y_1$ . За осигуряване на максимална производителност следва да се работи с нивото  $Y_2$ . При целева функция точността се работи с нивото  $Y_1$ .

За осъществяване на управлението се изследват и натрупват като база знания математически модели за силовите деформации при различни условия на технологията

– обработ-ваеми материали, размери на заготовките, размери и геометрични параметри на инстру-ментите и т.н. След въвеждане на входните условия за партидата заготовки алгоритъмът продължава с контрол на размера на поредната заготовка, определяне на необходимото за обработването подаване и внасяне на стойността му в програмата за управление на машината, след което се извършва обработването. Цикълът се повтаря за следващите по ред заготовки. Осъществяването на алгоритъма се извършва със специално разработен софтуер.

С представения метод за управление на точността при конкретните условия е постигнато намаляване на разсейването на размерите след грубо разстъргване от  $0,62mm$  на  $0,18mm$ .

**Намаляване на систематичните грешки.** Ефективно намаляване на систематичните грешки е възможно с активен контрол (АК) [8]. При струговане е подходящ активен контрол с измерване на обработените детайли след завършване на обработването. Тази разновидност на АК е известна като активен контрол след обработването (АКСО).

Характерно за активния контрол е, че се прилага при производства с голяма серийност. Това произтича от условието, че системата за АК се конструира за конкретно изделие. Освен това за правилното настройване и ефективна работа на системата е необходимо да са известни характеристиките на технологичния процес – стабилност на процеса, разсейване на размерите от случайните фактори, тренд на средната стойност на размера от систематичните фактори.

В съвременното машиностроене все по-рядко се наблюдава устойчиво едросерийно и масово производство. Конструкцията на изделията се променя динамично в резултат на ускореното техническо и технологично развитие и промяната на пазарното търсене. Това поставя условия за гъвкавост на производството при висока степен на автоматизация, което определя все по-широкото използване на ММ с ЦПУ в условията на серийно производство.

При тези условия се налага намиране на решения за АКСО при неизвестни параметри на технологичния процес и честа смяна на обекта на производство.

Алгоритъмът за АК включва: анализ на началното размерно настройване и при необходимост внасяне на корекция; контрол на размерите на обработените детайли и статистическа обработка на получената от контрола информация; приемане на решение за размерно поднастройване и осъществяване на поднастройването.

Анализът на началното размерно настройване се осъществява с изпълнение на следните процедури:

1. Извършва се статично размерно настройване на размер  $L_{cp}$ .
2. Обработва се малка извадка пробни детайли.
3. Определят се статистическите оценки на извадката – среден размер  $\bar{L}_1$ , дисперсия  $S_1^2$  и вероятно поле на разсеване  $\omega = 2kS$  на генералната съвкупност.
4. Определя се работният настроен размер  $L_{np}$  според предполагаемия характер на процеса.
5. Определя се поправката в размерното настройване:

$$\Delta L_1 = \bar{L}_1 - L_{np}.$$

6. Въвежда се корекция в размерното настройване чрез системата за ЦПУ по команда от сървъра на системата за АКСО и започва обработване на партидата.

След обработване на всеки един детайл се измерва получения размер и се запълва масив от данни. След третия и всеки следващ детайл се определя уравнението на регресия по натрупания обем информация за размерите на обработените детайли:

$$\bar{L} = \tilde{a} + \tilde{b}N,$$

където  $N$  е броят на обработените детайли;

$\tilde{a}$  и  $\tilde{b}$  - статистически коефициенти в уравнението на регресия.

В началото на процеса, поради малкия обем информация, се наблюдава значително колебание на ъгловия коефициент  $\tilde{b}$  на уравнението на регресия. Това явление може да се определи като прецесия на уравнението на регресия.

За да се използва уравнението на регресия за целите на размерното настройване е необходимо да са изпълнени две условия:

1. Уравнението на регресия да е адекватно.
2. Прецесията на уравнението на регресия да е затихнала до практически целесъобразно ниво.

Първото условие се проверява статистически по критерия на Фишер.

Второто условие се проверява, като разлика в достигнатите средни размери в две последователни уравнения на регресия:

$$\Delta \bar{L}_i = \bar{L}_i - \bar{L}_{i-1} \leq 0,1T,$$

където  $\bar{L}_i$  е средната стойност на размера от уравнението на регресия при  $N = i$ ;

$\bar{L}_{i-1}$  - средна стойност на размера от уравнението на регресия при  $N = i - 1$ .

Допустимото колебание  $\Delta \bar{L}_i$  е прието да бъде по-малко от 10% от допуската на размера.

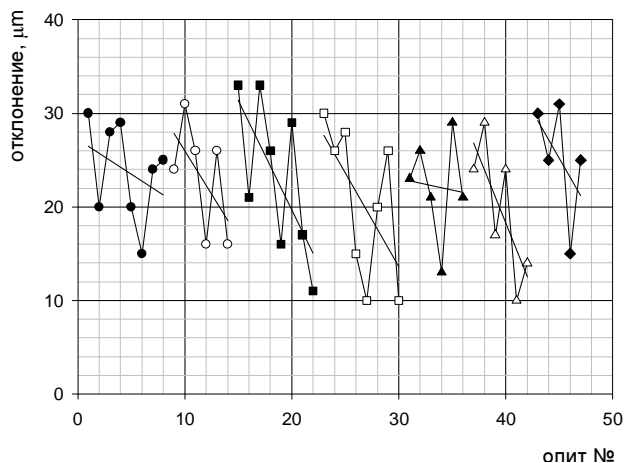
Ако са изпълнени двете условия може да се извърши проверка за статистическа значимост на разликата между достигнатия среден размер  $\bar{L}_i$  и работния настроен размер  $L_{np}$ :  $\Delta L_i = \bar{L}_i - L_{np}$ .

Проверката за статистическа значимост на  $\Delta L_i$  се извършва по критерия на Студент.

Ако се установи статистическа значимост на разликата се извършва размерно поднастройване за нейното компенсиране. След поднастройването започва попълване на нов масив от данни и аналогична на изложената обработка на информацията.

Представеният алгоритъм на работа е приложен при разстъргване на партида втулки на струт с ЦПУ СТ161. Използва се компютърна обработка на информацията чрез специализиран софтуер за статистически анализ. По резултатите от анализа се извършва автоматично размерно поднастройване чрез системата за ЦПУ, управлявана от персоналният компютър.

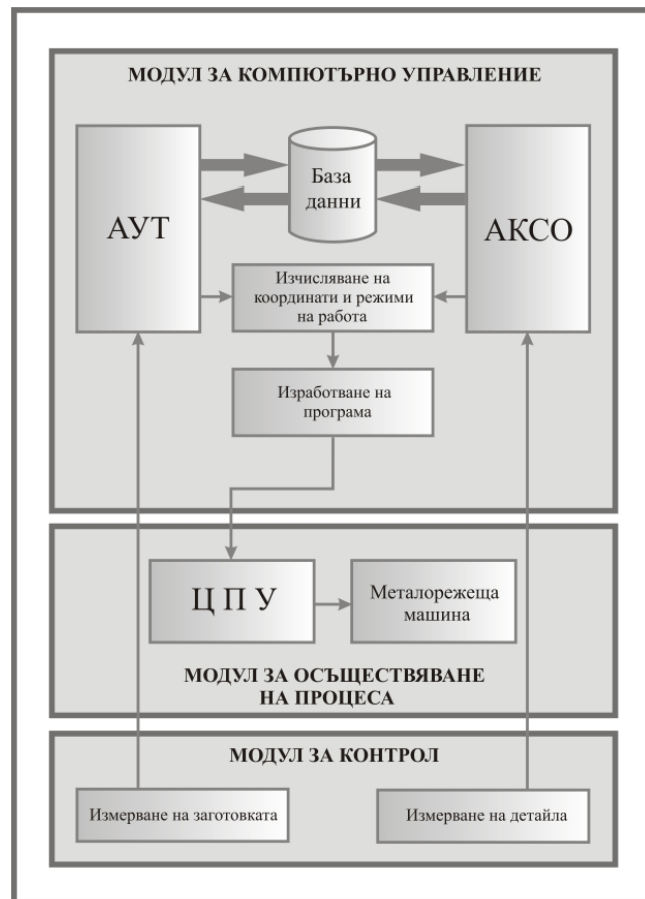
На фиг.6 е показана точкова диаграма на резултатите от обработването на партидата. В резултат на АКСО е постигнато сумарно поле на разсейване  $\omega_{\Sigma} = 32 \mu m$  при мигновено поле на разсейване  $\omega = 26 \mu m$ .



Фиг.6.Точкова диаграма на разстъргване с АКСО

Полученият резултат показват, че може да се получи сумарно поле на разсейване близко по големина до мигновеното поле, което дава възможност да се използва максимално зададения допуск на размера, а следователно и да се постигне по-висока производителност на технологичната операция.

**Система за INC с контури за АУ и АКСО при струговане.** Получените резултати за АУ и АКСО създадоха предпоставки за обединяването им в единна система за интелигентно компютърно управление. Блок-схемата на тази система е показана на фиг.7.



Фиг.7.Система за интелигентно компютърно управление при струговане

Системата е изградена от три модула, като всеки един от тях изпълнява определени функции. Освен това са създадени връзки между отделните модули за функционирането им в обща система.

Модулите на системата са:

- модул за контрол, който включва контрол на заготовките преди обработването и контрол на детайлите след обработването. Данните от контрола на заготовките постъпват в блока за адаптивно управление, а тези от контрола на детайлите – в блока за активен контрол;
- модул за осъществяване на процеса, който включва металорежещата машина и системата за ЦПУ;
- модул за компютърно управление, който осъществява създаването на управляващата програма и в комуникация със системата за ЦПУ осъществява управлението на процеса.

В сърцевината на системата е модулет за компютърно управление. Той е осъществен на компютърна система, в която е изградена база данни и е инсталиран специално създаден софтуер за осъществяване на описаните вече алгоритми за адаптивно управление и активен контрол, както и за генериране на управляващи програми и комуникация със системата за ЦПУ.

По резултатите от контрола на заготовките се осъществява адаптивното управление, като самостоятелен алгоритъм от блока за АУТ.

По резултатите от контрола на детайлите се осъществява активен контрол, като самостоятелен алгоритъм от блока за АКСО.

Създадените алгоритми и софтуер за осъществяване на интелигентното компютърно управление при стругане са проверени на струг с ЦПУ СТ161, адаптиран за директно компютърно управление. Проведените изследвания потвърдиха работоспособността и ефективността на системата.

### Изследвания за интелигентно компютърно управление при свредловане.

Идеята за интелигентно компютърно управление при свредловане е представена с блок-схемата на фиг.8.

Разграничени са два подхода на управлението. Първият представя алгоритъма на управление, когато се контролира мощността на рязане. Той е приложим за инструменти, при които мощността на рязане е съизмерима с мощността на празен ход на задвижването. Това е предпоставка за достатъчна чувствителност и точност на контрола на мощността на рязане, за да се осъществи адаптивно управление. Критерият за преценка, мощност на рязане – мощност на задвижването, е елемент на базата данни. Той определя изборът на алгоритъм за управление.

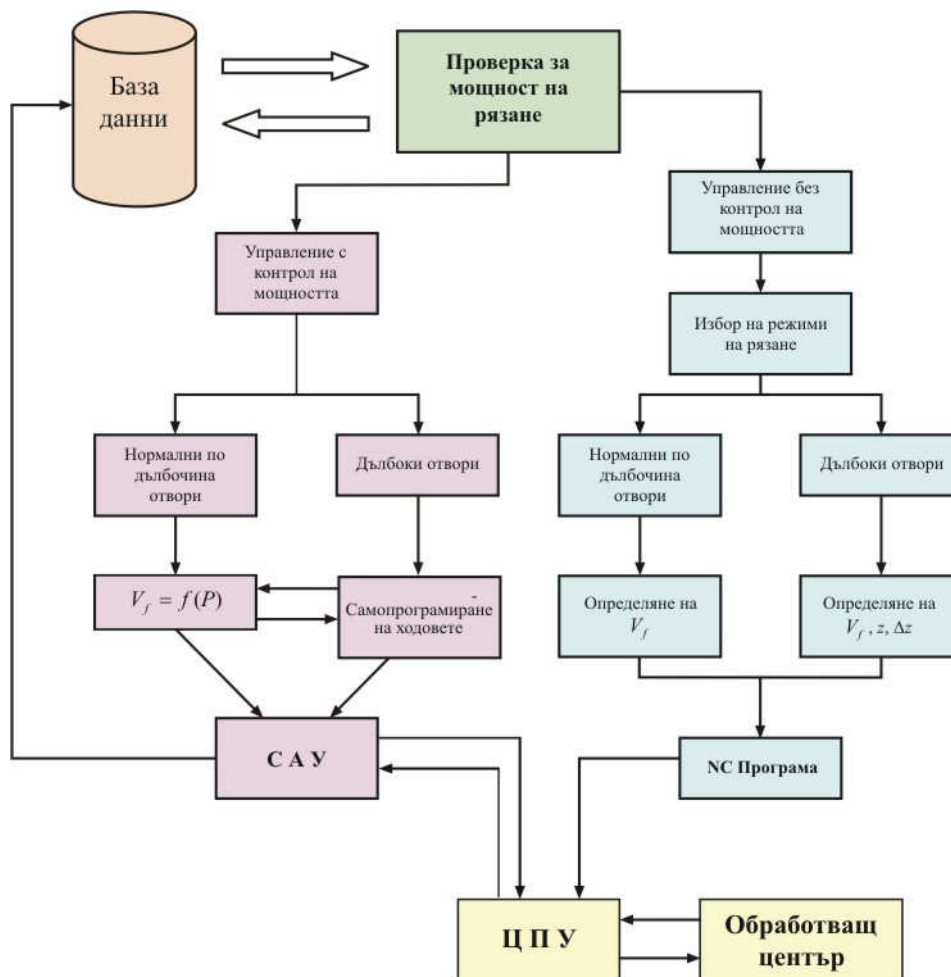
И в двата алгоритъма от базата данни се определя допустимия въртящ момент за конкретните условия на работа (инструмент, материал на заготовката, скорост на рязане).

В първия случай от базата данни, актуализирана със системата за самообучение, се избира началната скорост на подавателното движение. Установяването на действителната скорост се осъществява от системата за адаптивно управление по резултатите от контрола на въртящия момент в реално време.

Във втория случай се работи с постоянно подаване, определено от базата данни, както в първия случай. При достигане на въртящия момент до допустимия, определен от базата данни, процесът се прекъсва, свредлото се отвежда назад за почистване на стружките, като се запомня координатата на прекъсване, подвежда се инструментът на бърз ход напред до запомнената координата и продължава обработването с работно подаване. Този цикъл на работа се повтаря до обработването на цялата дължина на отвора, която е зададена в системата за ЦПУ.

Когато критерият за управление по мощността на рязане не е удовлетворен, изборът на алгоритъм се извършва от базата данни според дълбочината на отвора:

- при отвори, които не изискват дълбокопробивен цикъл от базата данни се избира скорост на подавателното движение, която за конкретните условия на работа е определена от натрупан производствен опит;



Фиг.8. Система за интелигентно компютърно управление при свредловане

При удовлетворяване на критерия за управление по мощността на рязане, са възможни два подхода, според дълбочината на отвора:

- с управление на подаването;
- със самопрограмиране броя на работните ходове.

- при отвори, които изискват дълбокопробивен цикъл, от базата данни се избират

параметрите му, които са определени на базата на математическите модели за натоварването на инструмента.

Предложената система за интелигентно компютърно управление дава възможност за реално осъществяване на научните достижения при управление на процеса свердловане в съвременните обраборващи центри с ЦПУ. Усъвършенстването на системата ще се осъществява с обогатяването и непрекъснатото обновяване на базата данни, което ще е задача на многостранен обмен на научен и производствен опит.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Kakino, et al. High Speed and High Productive Drilling by Intelligent Machine Tools. Proc. of the Japan - USA Symposium on Flexible Automation. Vol.1, pp. 285-289, 1998.
2. Sato, et al. Proposal of the Extended System Framework of Intelligent Machine Tool. Japan-USA Symposium on Flexible Automation. Hiroshima, Japan, July 14-19, 2002.
3. Sato, et al. High Speed and High Productive Drilling by Intelligent Machine Tools – Integration of the cutting conditions

planning and adaptive control for drilling. Proc. of the Japan - USA Symposium on Flexible Automation. 13061, 2000.

4. Yamazaki, et al. Autonomously Proficient CNC Controller for High-Performance Machine Tools Based on an Open Architecture Concept. Annals CIRP, 46-1, pp.275-278, 1997.

5. Кабалдин Ю.Г. и др. Управление технологическим оборудованием на основе искусственного интеллекта. Вестник машиностроения, 2001, №11, стр.52-57.

6. Кабалдин Ю.Г. и др. Применение нейросетевых моделей процесса резания в системах адаптивного управления. СТИН, 2002, №3

7. Под ред. Балакшина Б.С. Адаптивное управление станками. "МАШИНОСТРОЕНИЕ". Москва, 1973.

8. Под ред. Бурдуна Г. Д. и Волосова С. С. Технологическое обеспечение качества продукции в машиностроении (активный контроль). "МАШИНОСТРОЕНИЕ". Москва, 1975.