

## Підвищення ефективності верстатних систем управління критичними параметрами процесу обробки

У статті розглядаються верстатні системи, які реалізують можливість управління критичними параметрами процесу обробки для підвищення ефективності цих систем, а саме розширення технологічних можливостей, поліпшення якості обробки та підвищення продуктивності.

**технологічна система верстата, верстатна система, автоматичне управління, критичні параметри**

Відомо [1, 2], що ефективність процесу обробки в технологічній системі верстата, що включає верстат, пристосування, інструмент і деталь характеризує певний набір параметрів, наприклад, режими різання (швидкість різання, глибина різання, подача), матеріал оброблюваної заготовки, рівень зношування ріжучої частини інструмента й ін. Ці параметри можна ранжирувати по ступені їхнього впливу на вихідні характеристики верстата або процесу обробки – точність обробленої деталі, продуктивність обробки й ін.

Як правило, підвищенню ефективності процесу обробки перешкоджають один або декілька обмежуючих (критичних) параметрів верстатних систем або процесу обробки [3, 4].

Вбудовування у верстатні системи автоматичного регулювання дозволяє досягти стабілізації різноманітних фізичних величин (параметрів) регульованого процесу [5], програмного управління вихідними величинами, спостереження за будь-якими зовнішніми факторами [6], а також адаптації, тобто пристосування верстатних систем з автоматичним управлінням до постійно змінюючихся внутрішніх або зовнішніх умов, автоматично підтримуючи якийсь критерій процесу на оптимальному рівні [7].

Таким чином, створення верстатних систем, які реалізують можливість управління критичними параметрами процесу обробки, дозволить значно підвищити їх загальну ефективність [8].

При проектуванні верстатних систем з автоматичним регулюванням варто враховувати, що створення багатопараметричних систем управління, які можуть бути з постійною й змінною структурою, порівняно складно й тому мало застосовується. Однак в окремих випадках, коли ступінь впливу декількох параметрів приблизно одного порядку, наприклад, у процесі обробки глибоких отворів, необхідне створення багатопараметричних верстатних систем з автоматичним управлінням.

В інших випадках для спрощення системи управління за регульований можна прийняти основний параметр управління, що стосується інших параметрів, то їх можна або не враховувати, якщо ступінь їхнього впливу не значна, або враховувати в обмеженнях.

У створенні автоматичного управління верстатними системами необхідний системний підхід, що дозволяє враховувати всі можливі здійсненні варіанти, і з їхнього числа вибрати максимально ефективне рішення.

У наведеній на рис.1 схемі охоплені основні сполучення управляємих параметрів контрольованої обробки або експлуатації верстатних систем.

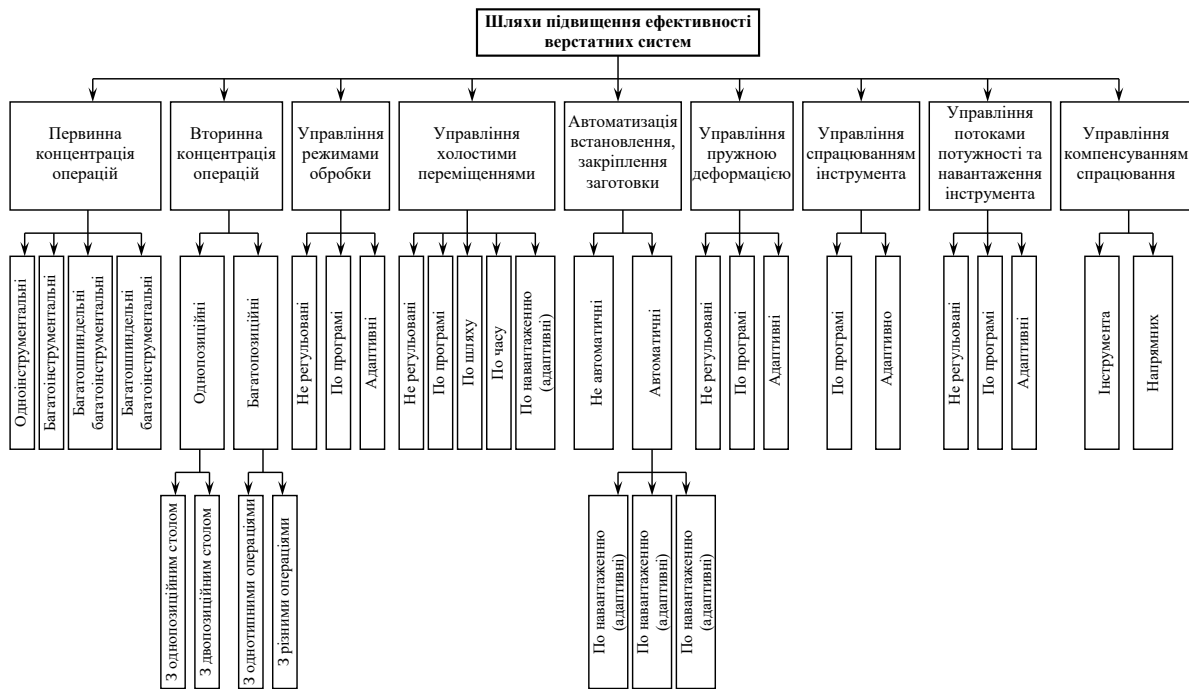


Рисунок 1 – Сполучення управляємих параметрів процесу обробки або експлуатації верстатних систем

Підвищення вихідної характеристики – точності процесу обробки дозволяє здійснити верстатна система, реалізована за схемою, показаною на рис. 2. Від електродвигуна 1 через передавальний механізм 2, що вміщує ланку настроювання, рух передається механізму 3, який має на виході два ступені свободи. Механізм 3 з'єднаний зі шпинделем і насосом 5, що через регульований дросель 4 з'єднаний з гідростатичними напрямними 6. У напрямних 6 встановлені регульовані клапани 9 з підпружиненими кульками 8. У процесі обробки рухлива напрямна 7 переміщається по опорних кульках, а технологічне навантаження впливаючи на кульки 8, переміщує їх в осьовому напрямку. Переміщення кульок в осьовому напрямку змінює прохідність отвору індивідуальних опор.

Зі збільшенням технологічного навантаження збільшується прохідний перетин індивідуальних опор, а це у свою чергу збільшує твердість гідростатичних напрямних і точність обробки.

Одночасно гідростатичний тиск підведений у безвитратну камеру 10 з ущільнювачами 12. Шток 13 затискного пристосування через кульку 11 спирається на гвинт. Шток 13 є одночасно поршнем порожнини з гідропластом. Ця порожнина через втулку 15 корпусу 14 впливає на гайку 18 закріплення заготовки 17.

При збільшенні технологічного навантаження шток 13 переміщається в осьовому напрямку й збільшує силу закріплення заготовки. Це забезпечує управління зусиллям закріплення заготовки у функції технологічного навантаження, а це у свою чергу знижує пружну деформацію заготовки, підвищуючи точність обробки.

Підвищення ефективності верстатної системи, призначеної для процесу глибокого свердління, дозволяє отримати схема, наведена на рис. 3. Процес глибокого свердління контролюється по трьох параметрах, а система управління здійснює алгоритм регулювання, що забезпечує максимальну продуктивність обробки.

У процесі свердління датчик 6, установлений на пінолі 5 силової головки 7 верстата 11, контролює рівень звукових коливань свердла. Відомо, що в міру

затуплення інструмента змінюється частота звукових коливань різального інструменту. Сигнали датчика через фільтр 14, порівняльний 13, програмний 12 і управляємий 10 пристрої забезпечують відповідно до алгоритму управління двигунами 9 й 8.

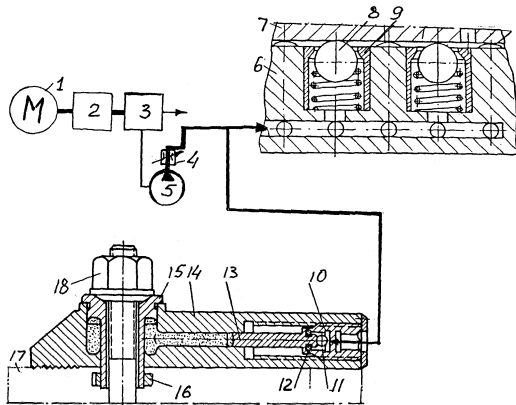


Рисунок 2 – Підвищення точності процесу обробки, за рахунок управління положенням рухливої напрямної й зусиллям закріплення заготовки

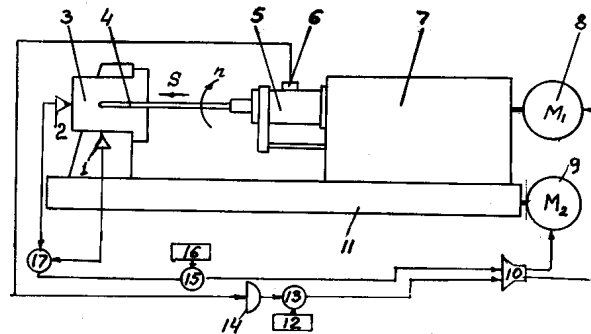


Рисунок 3 – Підвищення продуктивності процесу обробки, за рахунок управління режимами різання по трьох параметрах процесу обробки

По мірі затуплення інструмента відповідно до алгоритму спочатку знижується швидкість обробки, а потім свердло 4 відводиться для очищення й переточування.

Датчики 1 й 2 безупинно контролюють осьову силу й крутний момент у пристосуванні 3. Сигнали датчиків порівнюються пристроєм 17 і за результатами через аналітичний 15 і програмний 16 пристрої подається на управляючий пристрій 10, що відповідно до алгоритму управління змінює режими обробки, забезпечуючи необхідну продуктивність.

Підвищення точності розточення у двопрограмному режимі управління циклом, дозволяє досягти система, схема якої показана на рис. 4.

Оброблювана заготовка 7 кріпиться в шпинделі і їй надається обертання відповідно до заданої швидкості різання. Борштанга 3 кріпиться на корпусі 4 й їй надається рух відповідно до заданої швидкості подачі. На борштанзі кріпиться державка 11, у якій встановлений різець 6. Між борштангою й державкою виконане герметичне ексцентричне розточення, заповнене маленькими кульками 12.

Розточення з кульками сполучуються із джерелом тиску й плунжером 2. У процесі розточення отвору в заготовці 7 датчик 10 вимірює складову сили різання  $P_y$  й через порівняльний 8, програмний 9 і управляючий 5 пристрої змінює тиск у розточенні, заповненому кульками 12. Зміна тиску змінює деформацію державки 11, компенсуючи тим самим пружну деформацію різця під дією сили  $P_y$ .

У процесі розточення різець перебуває в рівновазі під дією моментів:

$$P \cdot a + P_x \cdot r = P_y \cdot e, \quad (1)$$

де  $P$  – сила тиску ексцентричної площини на різцетримач;

$a$  – радіус дії сили  $P$ ;

$P_x$  і  $P_y$  – відповідно осьова та радіальна складові сили різання;

$e$  – виліт різця;

$r$  – радіус розточення.

При рівності зазначених моментів відбувається повна компенсація пружної деформації різцетримача від технологічного навантаження. Це підвищує точність розточення.

Для виключення утворення риски на оброблюваній поверхні, перед виведенням різця, виконавчий механізм (на схемі не показаний) впливає на плунжер 2 і через нього

на кульки 12. Плу́нжер має два фіксованих положення. Різець відводиться наприкінці робочого ходу й підводиться на початку обробки. Таким чином, забезпечується двопрограмне управління різцетримачем з різцем 6.

Підвищення точності верстатних систем для токарної обробки досягається шляхом компенсації пружної деформації передньої опори шпинделя (рис.5).

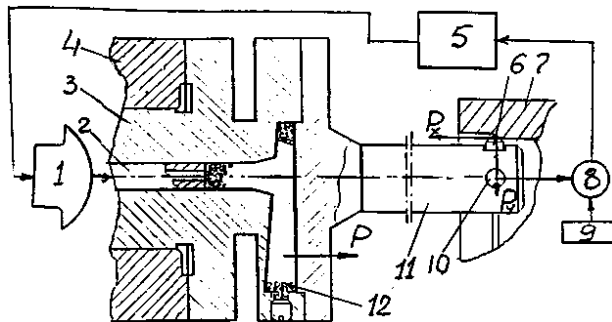


Рисунок 4 – Схема підвищення ефективності верстатних систем для операції розточування

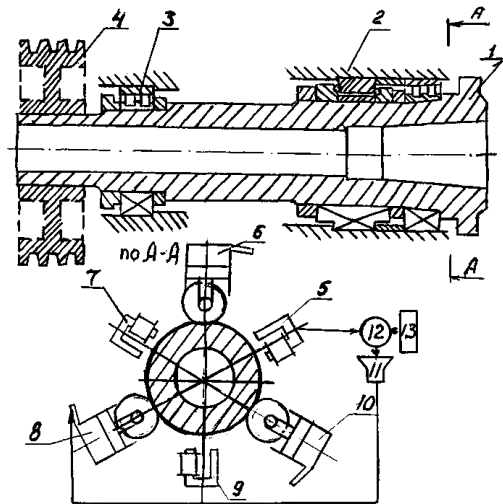


Рисунок 5 – Підвищення точності верстатних систем для токарної обробки шляхом компенсації пружної деформації передньої опори шпинделя

Шпиндель 1, встановлений на підшипниках 2, 3 у корпусі, приводиться в обертання шківом 4. У процесі обробки, датчики 5-7-9 контролюють пружну деформацію передньої опори шпинделя. Кожен датчик через автономну систему автоматичного управління, що включає порівняльний 12, програмний 13 і управляючий 11 пристрої проводить в дію відповідний виконавчий циліндр 6-8-10. Таким чином, забезпечується зниження чутливості передньої опори шпинделя до технологічного навантаження, що підвищує точність обробки й розширює технологічні можливості верстатів.

Проблему розширення технологічних можливостей процесу глибокого свердління вирішує верстатний комплекс, схема якого показана на рис. 6.

Відомо, що при обробці глибоких отворів ( $l > 3d$ ,  $l$  – глибина  $d$  – діаметр) спіральними й іншими свердлами, виникає проблема відводу стружки. Проблема збільшується при обробці в'язких і жаростійких сталей.

Проведені нами дослідження показали, що зміна напрямку із традиційного зверху вниз на свердління знизу вверх при тих самих режимах при обробці в'язких сталей знижує, за рахунок поліпшення відводу стружки, крутний момент на свердлі приблизно в 3 рази. Це дає можливість підвищити продуктивність обробки й збільшити гранично припустиму глибину свердління.

На вертикальній станині 3 встановлена силова головка 1 з інструментом 2. Головка може забезпечувати свердлу обертання, обертання з осьовими коливаннями інструмента або тільки осьові коливання.

Установлена на вертикальних напрямних 4 станини 3 силова головка 7 може забезпечити обертання шпинделя 16 із заготівкою й рівномірний або дискретний рух подачі.

Для здійснення руху подачі використовується стандартний гідропривід, що включає насос 18 з мотором, клапан 17, золотник 14, клапан 13, керований дресель 12.

У процесі обробки датчик 6 контролює навантаження двигуна 5 і через порівняльний 9, програмний 8 і управляючий 10 пристрої змінює настроювання дроселя й тим самим швидкість робочої подачі. Таким чином, здійснюється адаптивне управління подачею у функції навантаження.

Розширити технологічні можливості по параметрах руху формоутворення процесу хонінгування дозволяє схема, показана на рис. 7.

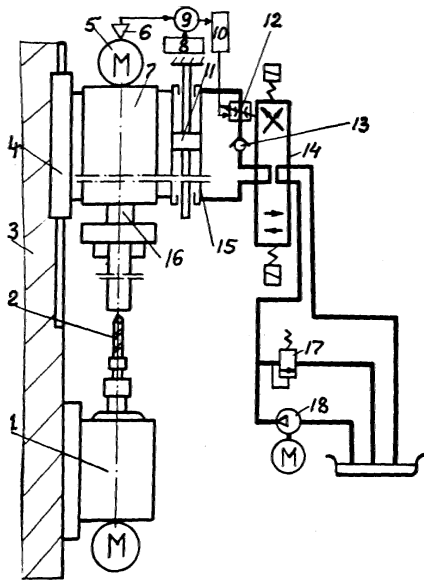


Рисунок 6 – Верстатний комплекс для свердління з адаптивним управлінням подачею у функції навантаження

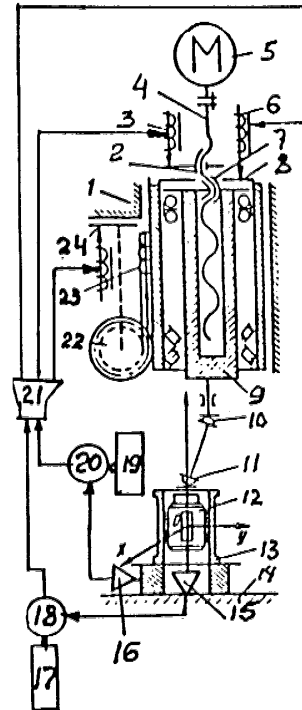


Рисунок 7 – Схема верстатної системи для процесу хонінгування з адаптивним управлінням режимами у функції технологічного навантаження

Від електродвигуна 5 через гвинт 4 з лівою й правою нарізкою рух може передаватися відповідними гайкам 2 й 7, які по черзі можуть з'єднуватися з піноллю 8, муфтами 3 й 6. В пінолі 8 на підшипниках розташований шпиндель 9. Він через шарнірні з'єднання 10-11 передає рух формоутворюючому інструменту 12, що обробляє заготовку 13, закріплену на столі 14. На пінолі 8 нарізана рейка 23, що через шестірню 22 і муфту 24 обмежує швидкість поступального руху пінолі 8 у корпусі 1.

У процесі обробки датчики 15-16 контролюють технологічне навантаження ( $M_{кр}$ ,  $P_x$ ) і через порівняльні 18 й 20, програмні 17 й 19 і управляючий пристрій 21 здійснює управління муфтами 24, 3 й 6. Таким чином, здійснюється адаптивне управління режимами у функції технологічного навантаження.

Ефективне свердління рушничними свердлами забезпечує верстатна система, показана на рис. 8. Обробка здійснюється на токарному верстаті. Заготовка 2 кріпиться в патроні 1 шпинделя верстата і їй надається обертання із заданою швидкістю. Свердло 3 кріпиться в шпинделі 8, установленому в пристосуванні на супорті і йому надається задана швидкість робочої подачі. Шпиндель 8 установлений у корпусі пристосування на мембранах 9 різного діаметра. Мембрани з корпусом пристосування утворюють порожнину, в яку подається ЗОР від гідросистеми, що включає насос 12, клапан 11, фільтр 7, акумулятор 6 і золотник 5.

При обертанні золотника 5 двигуном 4 у порожнині мембран 9 створюється пульсація тиску ЗОР. Збільшення тиску в порожнині в силу різних діаметрів мембран 9

стискає пружину 10 і відводить свердло 3 від оброблюваної поверхні. Одночасно прохолоджуються кромки свердла й дробиться стружка.

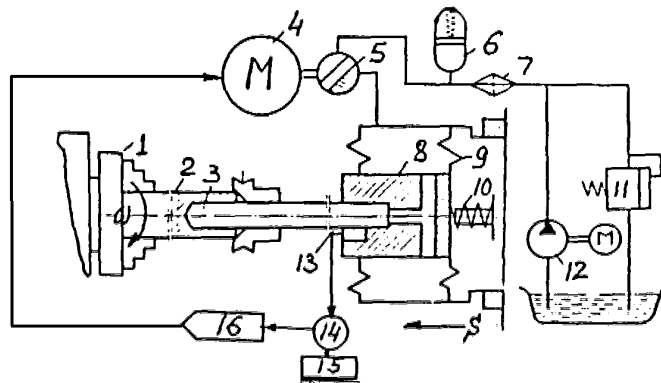


Рисунок 8 – Верстатна система, призначена для свердління рушничними свердлами

У процесі свердління датчик 13 вимірює крутний момент навантаження й через порівняльний 14, програмний 15 і управляючий 16 пристрої змінює частоту обертання двигуна 4 і частоту пульсацій тиску ЗОР. Збільшення частоти пульсацій ЗОР й осьових коливань свердла знижує крутний момент навантаження, таким чином, забезпечується адаптивне управління частотою коливань інструмента у функції технологічного навантаження.

Порівняльні випробування системи на токарному верстаті при свердленні отворів глибиною в 250 мм, діаметром 10 мм, у сталі 45 показали, що осьові коливання свердла, синхронні частоті обертання заготовки при одній і тій же подачі й швидкості різання знижують крутний момент навантаження приблизно в 3 рази. Це дає можливість не менш чим в 2 рази підвищити продуктивність процесу глибокого свердління.

Підвищення точності шляхом адаптивного управління подачею у функції технологічного навантаження вирішує верстатна система, схема якої показана на рис. 9.

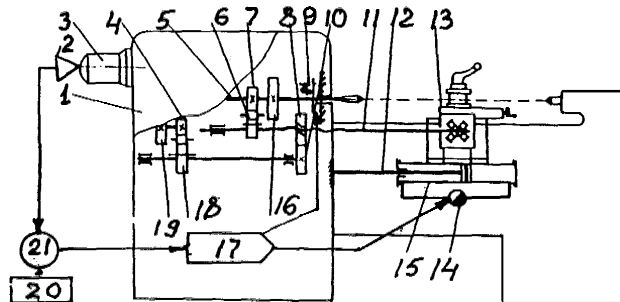


Рисунок 9 – Підвищення точності токарної верстатної системи шляхом адаптивного управління подачею у функції технологічного навантаження

Від електродвигуна 3 через коробку швидкостей 1 реверсивний механізм 4-18-19, шестірни 10-8 і реверсивний механізм 6-7-16, обертання отримує шпиндель 5. Одночасно гвинт 11 через підшипникову опору з'єднаний із супортом 13. Супорт 13 через шток 12 гідроциліндра з'єднаний зі станиною. У каналі з'єднуючої порожнини гідроциліндра 15 установлений регульований дросель 14.

У процесі обробки датчик 2 контролює навантаження двигуна 3 і через порівняльний 21, програмний 20 і управляючий 17 пристрої змінює швидкість робочої подачі, здійснюючи тим самим адаптивне управління швидкістю робочої подачі у функції технологічного навантаження (потужності) двигуна. Це підвищує точність

обробки. Для управління швидкістю холостих переміщень супорта використається управляєме гальмо 9.

Висновки. Подальшому підвищенню ефективності процесу обробки у верстатних системах перешкоджають один або кілька обмежуючих параметрів. Використання у верстатних системах автоматичного регулювання дозволяє стабілізувати основні параметри, наприклад пружну деформацію елементів технологічної системи верстата, шляхом регулювання режимів різання.

Створення верстатних систем з автоматичним управлінням основними параметрами процесу обробки приводить до поліпшення їхніх експлуатаційних властивостей, а саме розширення технологічних можливостей, поліпшення якості обробки, підвищення продуктивності й т.д.

При проектуванні верстатних систем з автоматичним регулюванням варто враховувати, що для спрощення системи управління, за регульований можна прийняти основний параметр управління, що стосується інших параметрів, то їх можна або не враховувати, якщо ступінь їхнього впливу не значна, або враховувати в обмеженнях.

У створенні автоматичного управління верстатними системами необхідно застосовувати системний підхід, який полягає в тому, що розглядаються всі можливі варіанти, і з їхнього числа вибирається здійснений і максимально ефективний.

## Список літератури

1. Металлорежущие системы машиностроительных производств / Под ред. Г.Г. Земскова и О.В. Таратынова. – М.: Высшая школа, 1988. – 464 с.
2. Металлорежущие станки: Учебник для машиностроительных вузов. / Под ред. В.Э.Пуша. – М.: Машиностроение. - 1985. – 575 с.
3. Пестунов В.М., Кариков Е.А. Повышение точности и производительности металлорежущих станков. – К.: Техніка, 1979. – 96 с.
4. Проников А.С. Оценка качества металлорежущих станков по выходным параметрам точности // Станки инструмент. – 1980. – № 6. – С.5-7.
5. Тверской М.М. Автоматическое управление режимами обработки деталей на станках. – М.: Машиностроение, 1982. – 208 с.
6. Петраков Ю.В. Теория автоматического управления в металлообработке: Навч. посібник. – К.: ІЗМН, 1999. – 212 с.
7. Адаптивное управление станками / Базров Б.М., Балакшин Б.С., Баранчуков И.М., Вороненко В.П., Евсеев Б.А. и др.; Под ред. Б.С. Балакшина – М.: Машиностроение, 1973, – 688 с.
8. Пестунов В.М., Лысенко А.В. Способы повышения выходных характеристик металлообрабатывающего оборудования // Вестник НТУУ "КПИ", Машиностроение. – 2003. – Вып. 44 – С. 196-199.

В статье рассматриваются станочные системы, реализующие возможность управления критическими параметрами процесса обработки для повышения эффективности этих систем, а именно расширение технологических возможностей, улучшения качества обработки, повышения производительности.

In the article the machine-tool systems realizing possibility of management by the critical parameters of process of treatment for the rise of efficiency of these systems are examined, namely expansion of technological possibilities, improvements of quality of treatment, rises of productivity.