

Системи автоматичного управління з адаптивними властивостями в приводах верстатів

У статті пропонується підвищити ефективність верстатного обладнання за рахунок застосування у приводах систем автоматичного управління з адаптивними властивостями.

система автоматичного управління, привод, адаптація, верстатне обладнання

Для того, щоб витримати конкуренту боротьбу на ринку та знайти свого споживача будь-яка машина повинна володіти необхідними якісними показниками разом з привабливою вартістю. Одна з головних задач сучасного машинобудування – досягнення вимагаємої якості машини з найменшими затратами. При цьому головним показником якості машини та деталей є їх точність. Досягнення необхідної точності в процесі виготовлення виробу пов'язано з великими складностями. Як правило, необхідна точність досягається за рахунок вартості обробки, що цілком неприйнятно в умовах сучасної ринкової економіки.

Розв'язати цю суперечність дозволяє застосування систем автоматичного управління [1]. Застосування автоматичного управління в металообробці дозволяє досягти таких цілей: стабілізації різноманітних фізичних величин регульованого процесу, програмного управління вихідними величинами, стеження за будь-якими зовнішніми факторами, а також адаптації. Де адаптація означає пристосування системи автоматичного управління до внутрішніх або зовнішніх умов, що постійно змінюються, та має на меті наприклад екстремальне управління, автоматично підтримуючи деякий критерій процесу обробки на оптимальному рівні [2].

Проведені дослідження [3] показали що у всіх випадках застосування автоматичної системи управління з адаптивними властивостями у верстатному обладнанні: обробка деталей може відбуватись з найвищою продуктивністю, яка допускається технологічною верстатною системою (ТВС); збільшується стійкість інструмента та контролюється ступінь його затуплення; запобігається можливість поломки вузлів ТВС внаслідок перевантаження; з'являється можливість багатостатного обслуговування.

Разом з тим резерв підвищення ефективності верстатів полягає у вдосконаленні приводів [4] таким чином, щоб при заданих режимах і умовах обробки створити такі навантаження виконавчих органів і кінематичних ланцюгів приводу, які відповідають підвищенню точності.

Таким чином, актуальною є задача створення верстатів, приводи яких створенні на основі систем автоматичного управління з адаптивними властивостями. Для реалізації вказаної задачі розроблені та запропоновані конструкції приводів агрегатно-модульних, свердлувальних (в тому числі для глибокого свердління) та шліфувальних верстатів.

Для вирішення проблеми автоматичного регулювання приводів подачі верстатів, розроблена приведена на рис. 1 конструкція. У корпусі 6 на підшипниках встановлена втулка 5 на зовнішній поверхні якої нарізаний гвинт кулькової передачі.

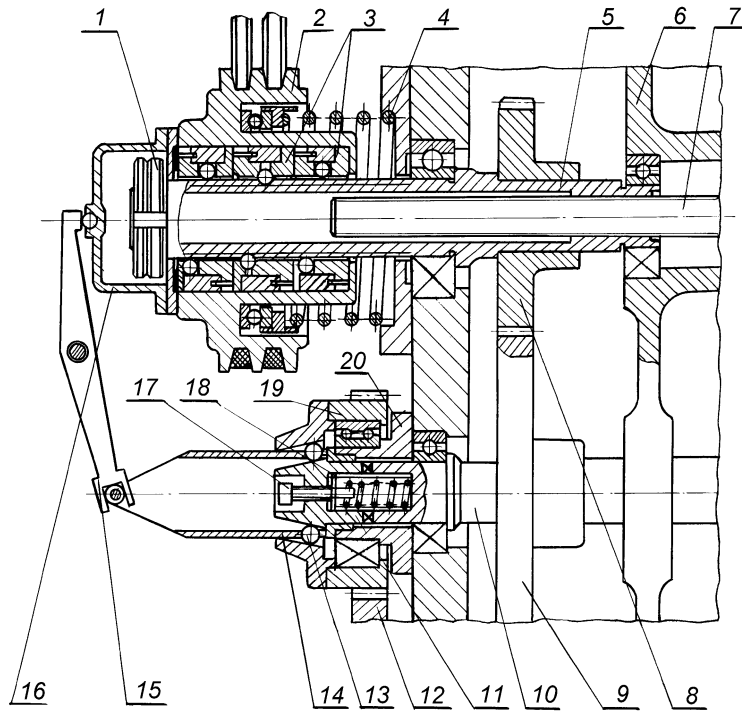


Рисунок 1 – Схема автоматичного регулювання приводів подачі верстатів

Складена гайка встановлена в отворі шківів 2. Від осьового зсуву гайка з шківом 2 утримується пружиною 4, попереднє стиснення якої регулюється гайками 1. На втулці 5 закріплена шестерня 8, що знаходиться в зачепленні з шестернею 9, встановленою на валу 10. З валом 10 торцевими куркульками сполучений ведений конус 11 варіатора безступінчатої зміни швидкості. Кульки 13 поміщені в сепаратора 14. Сепаратор через підпружинений важіль 15 сполучений з ковпаком 16, закріпленому на шківі 2.

До веденого конуса, закріпленого на шестерні 19, ведучий конус 11 притискається пружиною 18, встановленою у втулці, через кульки. Попереднє стиснення пружини 18 встановлюється гвинтом 17. Шестерня 19 встановлена на підшипнику на втулці 20 і знаходиться в зачепленні з шестернею 12 механізму подачі. У шліцьовий отвір втулки 5 входить шліцьовою хвостовик шпинделя 7, встановленого в пінолі.

Крутний момент навантаження приводу головного руху передається з веденого шківів 2 привода через підпружинену кулькогвинтову передачу, шліцьове з'єднання, шпинделю 7, який містить різальний інструмент або оброблювану деталь.

Кінематичний ланцюг подачі отримує рух від втулки 5 через зубчасту передачу 8-9 на кінцевий кульковий варіатор. З кінцевого варіатора рух подачі передається через шестерні 19-12 кулачковому приводу пінолі.

Принцип роботи описуваної конструкції полягає в тому, що крутний момент навантаження приводу, який передається шпинделю 7 момент діє на кулькогвинтову передачу 5-3 примушує підпружинений шків 2 зміщуватися в осьовому напрямі. Шків 2 стискаючи пружину 4 через ковпак 16, повертає важіль 15, друге плече якого шарнірно сполучене з сепаратором 14 кулькового варіатора.

Пружина 4 заздалегідь стиснута так, щоб передача крутного моменту, який не перевищує заданої величини, не проявляла захисних функцій механізму і механізм подачі забезпечує роботу верстата з постійною подачею.

При зростанні крутного моменту навантаження, в приводі головного руху за встановлену, стисненням пружини 4, величину, шків 2, зміщуючись в осьовому

напрямі, додатково стискає пружину 4. Одночасно через ковпак шків 2 повертає важіль 15, друге плече якого переміщає сепаратор 14 з кульками 13 в осьовому напрямі, чим досягається зміна передаточного відношення варіатора і зменшення швидкості робочої подачі. Зниження швидкості робочої подачі викликає зниження навантаження в приводі головного руху, що дозволяє пружині 4 повернути шків 2 в початкове положення, а варіатору встановити задану швидкість робочої подачі.

Діапазон регулювання варіатора визначається конструктивними параметрами механізму, які вибираються залежно від призначення приводу. Дана конструкція при максимальному зсуві сепаратора забезпечує діапазон регулювання подачі $D = 1,64$.

Крутний момент різання є функцією подачі, який при свердленні сталі визначається по формулі

$$M_{кр} = C_m \cdot D_c \cdot 1,9S^{0,8}, \quad (1)$$

де D_c – діаметр свердла в мм

S – величина робочої подачі в мм/об.

Для подачі діапазону $S = 0,2 \dots 0,4$ мм/об, зниження подачі у зв'язку з перевантаженням у всьому діапазоні змінює крутний момент в приводі в 1,5 рази, що цілком достатньо для зняття перевантаження в більшості випадків його виникнення.

У випадку, коли такої зміни подачі недостатньо для зниження крутного моменту за встановлену величину, важіль 15, повертаючись на максимальний кут, натисне на кінцевий перемикач крайнього перевантаження, що дає команду на вимкнення верстата або на відведення інструменту.

Для визначення точності спрацьовування механізму, розглянемо умови рівноваги гвинта 5 в припущенні, що привод має постійну швидкість обертання, а сила пружини важеля 15 і сили інерції перехідних процесів в механізмі несутірно малі. У цих умовах можна записати:

$$P - P_n - F_{mp} = 0, \quad (2)$$

де P – осьова сила в кулькогвинтовій передачі;

P_n – сила пружини;

F_{mp} – сили опору і тертя пружному зсуву шківу в осьовому напрямі.

Рівняння (2) можна записати у такому вигляді:

$$\frac{2M}{d \cdot \operatorname{tg}(\alpha + \rho)} - c \cdot f - F_{mp} = 0, \quad (3)$$

де M – момент навантаження, що крутить, в приводі головного руху;

d – діаметр кулькового гвинта;

α – кут підйому гвинтової лінії;

ρ – приведений кут тертя в гвинтовій передачі;

c – жорсткість пружини;

f – величина стиснення пружини.

Рівняння (3) визначає співвідношення основних конструктивних параметрів механізму. Чутливість механізму може бути охарактеризована співвідношенням:

$$\frac{f}{M} = \frac{1}{c} \left[\frac{2}{d \cdot \operatorname{tg}(\alpha \pm \beta)} - \frac{F_{mp}}{M} \right]. \quad (4)$$

Для підвищення точності спрацьовування механізму необхідно понизити сили тертя в механізмі.

У клинопасових передачах, зазвичай вживаних в агрегатних і інших верстатах, що мають достатню міжцентрову відстань, сили пружного зсуву веденого шківів в передачі можна не враховувати.

Розглянута конструкція вирішує питання автоматичного захисту різального інструменту і механізму верстата від перевантаження по крутному моменту та може бути вбудований в механічний привід верстатів силових головок і інших верстатів без значної його переробки.

Проблему захисту інструменту від поломки і автоматичного (адаптивного) управління процесом глибокого свердління вирішує конструкція показана на рис. 2.

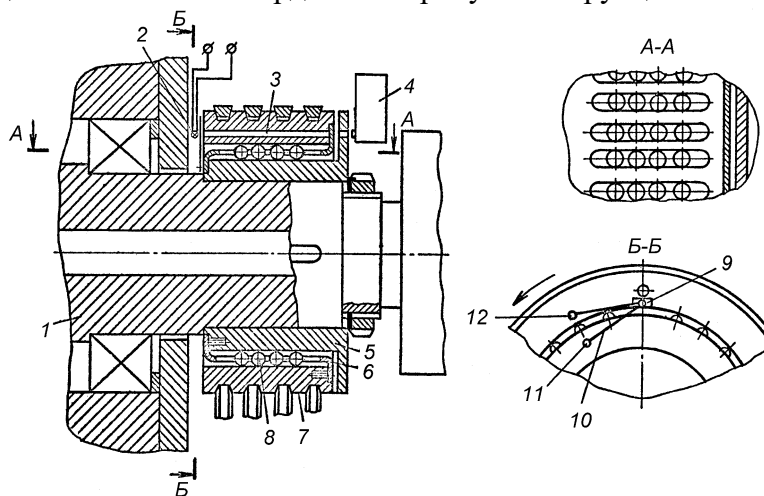


Рисунок 2 – Система автоматичного (адаптивного) управління процесом глибокого свердління

Привод містить шків, встановлений на кінці шпинделя 1 верстата для глибокого свердління і складається з ведучого елемента 7, веденого елемента 5, пружного сепаратора 6, тіл кочення 8, V-подібної пружної пластини 10, закріпленою на ведучому і веденому елементах 7, 5 штифтами 12, 11, рухомого елемента 9, безконтактного вимірювального фотоелектричного перетворювача з освітлювачем 2 і фотоприймачем 4. У ведучому елементі 7 виконаний отвір 3. Сепаратор 6 торцями з'єднаний з ведучим елементом 7 і веденим елементом 5. В процесі роботи верстата обертання на шпиндель 1 передається від приводного електродвигуна (на рис. 5 не показаний) за допомогою ремінної передачі, одним з шківів якої є ведучий елемент пристрою 7. Періодично, при проходженні променю світла від освітлювача 2 через отвір 3 на фотоприймач 4 подається сигнал, що свідчить про нормальні режими роботи верстата і інструменту, закріпленого в шпинделі. При виникненні перевантаження пружний елемент 6 деформується і ведучий елемент повертається щодо веденого. Пружна пластина 10 згинається, і її рухомий елемент 9 перекриває отвір 3. Світловий потік перекривається, і в систему управління верстата від фотоприймача 4 подається сигнал, що свідчить про відхилення від заданих режимів. Світловий потік так само може перекриватися хвостовиком елемента 5. Наявність тіл кочення 8 забезпечує високу радіальну жорсткість пристрою, що дозволяє використовувати його як шків ремінної передачі, у той час сили тертя мінімальні, що підвищує надійність і точність спрацьовування пристрою.

Використання сепаратора підшипника як пружний елемент дозволяє різко скоротити габарити пристрою, не знижуючи його метрологічних якостей. Застосування пропонованого механізму перетворення дозволяє підсилити відносно невеликий зсув ведучого і веденого елементів і збільшує чутливість пристрою.

Автоматичне (адаптивне) управління приводом верстата забезпечує конструкція показана на рис. 3. Вузол складається з корпусу 1, в якому встановлений приводний гвинт 2, що приводиться в обертання передачею 17, та передає обертання шпинделю 6 через гайку 5. Гайка спирається з одного боку на пружний елемент 4, а з іншого боку підтиснута кільцем 3, встановленим в пінолі 7. Піноль пов'язана з штоком 8

гідростабілізатора, в циліндрі якого поршнем 14 встановлений тиск між поршнями 16 і 10, закріпленими на штоку. У поршні виконаний центральний отвір 13 діаметром, більшим діаметру штока, а в упорі 10 – радіальні отвори 12. Упор 16 виконаний у вигляді шайби з діаметром, більшим центрального отвору в поршні. Порожнини 15 і 9 стабілізатора з'єднані через дросель 11.

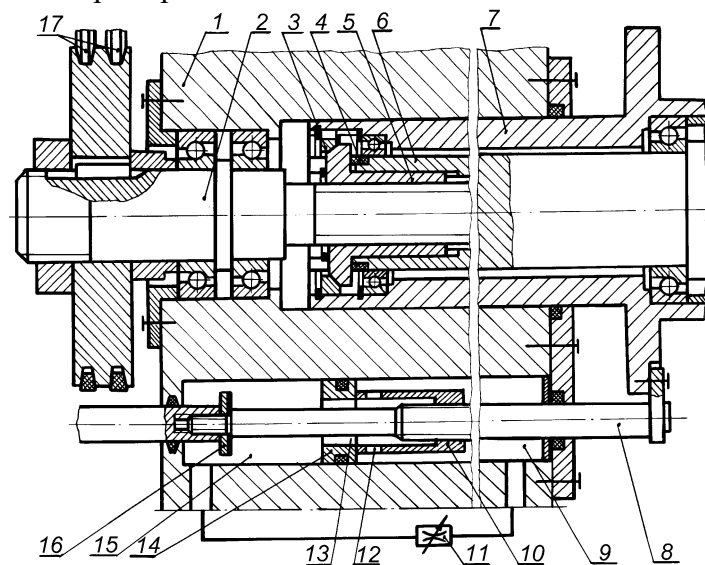


Рисунок 3 – Автоматичне (адаптивне) управління приводом верстата

У початковий момент поршень 14 встановлений біля упору 10, а гайка 5 замкнута кільцем 3. При обертанні приводного гвинта 2 шайба залишається нерухомою відносно пінолі, оскільки вона замкнута кільцем 3. Гвинт 2, вигвинчуючись з гайки 5, переміщує піноль прискорено в осьовому напрямі. Разом з піноллю переміщується шток 8. Прискорено переміщення відбувається доти, поки упор 16 не упреться в поршень 14, перекривши отвір 13. Після цього поршень 14 почне переміщення разом зі штоком, витісняючи рідину з порожнини 9 через дросель 11 в порожнину 15. Таким чином, на штоку створюється зусилля, стримуюче переміщення пінолі. Одночасно із зіткненням упору 16 і поршня відбувається врізання інструменту в деталь. Піноль гальмується зусиллям різання і зусиллям на штоку 8. Гвинт 2, вигвинчуючись з гайки 5, переміщує її, деформуючи елемент 4. При цьому кільце 3 і гайка 5 розмикаються і шпindel 6 починає обертатися. В процесі різання інструмент і шпindel навантажуються моментом, в результаті в з'єднанні гвинта 2 і гайки 4 виникає осьове зусилля у напрямі робочої подачі по величині більше осьової складової сили різання. Надлишок зусилля подачі компенсується стабілізатором.

Після закінчення обробки реверсує приводний двигун. Гайка 5 замикається з кільцем 3 і перестає обертатися. Приводний гвинт 2, угвинчуючись в гайку 5, переміщує шпindel з піноллю в напрямі, зворотному напрямку робочої подачі. Разом з піноллю переміщується шток 8. Поршень почне переміщатися лише тоді, коли упор 10 замкнеться з поршнем. Далі переміщуючись разом зі штоком, поршень встановиться в початкове положення. При цьому робоча рідина з порожнини 15 в порожнину 9 потрапляє через отвір 13 в поршні в отвір 12 в упорі 10.

Довжина прискореного підведення в пінолі буде дорівнювати відстані від упору 16 до поршня 14 в початковому положенні. При зміні положення упору 10 уздовж осі штока зміниться відстань між упорами 16 і поршнем 14 в початковому положенні, а значить зміниться довжина ділянки прискореного підведення.

Автоматичне (адаптивне) управління приводом забезпечує схема головки показана на рис. 4. Силова головка містить корпус 3, піноль 2 з різьбовою ділянкою 4,

яку охоплює гайка-шестерня 22, встановлена в підшипниках 21, між якими знаходиться датчик навантаження 20, чутливий до зміни навантаження. Гайка-шестерня 22 сполучена шестернями 19, 18 з регульованим двигуном подачі 14. У підшипниках пінолі 2 встановлений шпindel 1, що має різьбовий хвостовик 11, зв'язаний з гайкою приводної втулки 12. Паралельно шпинделю встановлений вал 9. Приводна втулка 12 зв'язана з валом 9 через шестерні 10, 13. Передачі 7, 15 і 6, 16 через муфти 5, 8 пов'язані з втулкою, яка шпонкою 17 з'єднана з хвостовиком шпинделя 1. Датчик 20 з'єднаний з входом фазочутливого підсилювача (ФЧУ) 23, вихід якого зв'язаний з комутатором (КУ) 24, який управляє муфтами 5, 8.

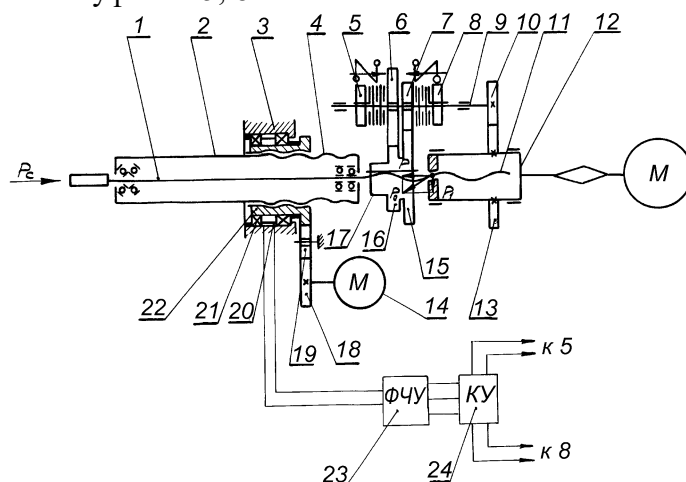


Рисунок 4 – Система автоматичного управління циклом роботи силової головки

В процесі роботи силової головки від приводного електродвигуна через ланку налагодження приводна втулка 12 отримує обертовий рух із заданою швидкістю різання. Від приводної втулки 12 через різьбовий хвостовик 11 отримує обертання шпindel 1, заданий цикл зворотно-поступальних рухів забезпечується регульованим електродвигуном подачі 4 через зубчаті шестерні 19, 18 і шестерню-гайку 22, що охоплює різьбову ділянку пінолі 2.

Зміна величини і напрямку рушійної сили P здійснюється двома паралельними кінематичними ланцюгами, що охоплюють диференціал, і керованими муфтами 5, 8. Диференціал виконаний у вигляді несамогальмівної гвинтової передачі, ведучим елементом якого є приводна втулка 12, веденим – різьбовий хвостовик 11 шпинделя 1.

При передаточному відношенні кінематичного ланцюга, що містить пари шестерень 13-10 і 6-16, з'єднаними муфтою 5, більшому передаточного відношення охоплюваної ділянки диференціала, напрям вектора рушійної сили P в гвинтовій несамогальмівній передачі не співпадає по напрямку з силою опору. При передаточному відношенні кінематичного ланцюга, що містить шестерні 13-10, 7-15 і муфту 8, меншому передаточного відношення охоплюваної ділянки диференціала, вектори P і P_c співпадають.

Встановлений в опорі ланки приводу подачі датчик навантаження 20 сприймає різницю між силою опору P_c і рушійною силою P . Його вихідний сигнал пропорційний величині навантаження, що діє в приводі подачі. При зміні напрямку дії навантаження, змінює свою полярність вихідний сигнал датчика.

На вхід фазочутливого підсилювача 23 від датчика 20 поступає сигнал, який посилюється і через комутуючий пристрій 24 управляє муфтами 5, 8. У разі появи на виході фазочутливого підсилювача 23 сигналу від датчика 20 з полярністю відповідної напрямку навантаження, діючої з боку сили опору комутуючий пристрій включає муфту 8, яка збільшує рушійну силу. Муфта 8 буде включена до тих пір, поки вихідний сигнал

датчика 20 не зменшиться до нульового значення або не змінить своєї полярності. При зростанні вихідного сигналу зворотної полярності до деякої величини, визначеної порогом чутливості підсилювача 23, муфта 8 вимикається, а включиться муфта 5, що збільшить силу опору P_c . Різниця сил P_c і P зростатиме і датчик знову подає команду на включення муфти 8. Надалі цикл роботи повторюватиметься з частотою визначеною швидкодією системи управління. Таким чином, датчик навантаження 20 виконує роль негативного зворотного зв'язку управління по навантаженню.

Перехід з прискореного підведення на робочу подачу здійснюються у момент зустрічі інструменту із заготовкою. В результаті цього в приводі подачі відбувається різке збільшення навантаження, яке сприймає датчик 20, що подає команду на включення муфти 8 і перемикає двигуна подачі 14, відповідно до програми. Підтримка навантаження в приводі подачі на заданому рівні здійснюється муфтами 5, 8, керованими датчиком навантаження 20.

У разі, коли параметри диференціального механізму вибрані за умовами сталого процесу різання і забезпечують рівність $P = P_c$, в стабілізації навантаження приводу беруть участь обидві муфти 5, 8. У разі коли, $P_c > P$, стабілізацію навантаження на привід подачі здійснює тільки муфта 8, а для випадку $P_c < P$ – муфта 5. При зниженні сили опору P_c до нульового значення датчик 20 дає команду на перемикає двигуна 14 з робочої подачі на прискорене відведення і включення муфти 5, що забезпечує компенсацію сил тертя в напрямних пінолі 2.

Підтримка постійного навантаження в приводі подачі, а також форсування подачі при перехідних процесах різання (врізання і вихід інструменту) дозволяє підвищити продуктивність. За рахунок безступінчатої автоматичної зміни довжини робочого і загального ходу інструменту підвищиться точність використання заданого циклу, що розширить технологічні можливості верстата.

Випробувана конструкція металорізального верстата, на прикладі силової електромеханічної головки, показали можливість збільшення продуктивності верстата шляхом скорочення циклових втрат, в порівнянні з відомими конструкціями.

Система автоматичного управління приводами шліфувального верстата представлена на рис. 5. Система складається: 1 – датчик навантаження, 2 – порівняльний пристрій, 3 – задавальний пристрій, 4 – управляючий пристрій, 5 – шліфувальний круг, 6 – шліфувальна бабка, 7 – заготовка, 8, 10 – двигуни, 9 – датчик величини струму живлення, 11 – задавальний пристрій, 12 – порівняльний пристрій, 13 – жорсткий упор, 14 – датчик величини крутного моменту, 15 – задавальний пристрій, 16 – порівняльний пристрій, 17 – управляючий пристрій, 18 – двигун.

Здійснюється спосіб наступним чином. Швидкий підвід шліфувального круга до заготовки повинен відбуватися за мінімальний час. Тому в цій складовій циклу за критерій оптимального управління може бути прийняте динамічне навантаження в приводі подачі шліфувальної бабки. В процесі швидкого підводу шліфувального круга 5, встановленого на шліфувальній бабці 6 до заготовки 7, вимірюється навантаження в приводі подачі датчиком 1. Результат вимірювання подається в порівняльний пристрій 2, куди одночасно подається сигнал задавального пристрою 3. Результуючий сигнал оптимального управління через пристрій 4 управляє двигуном 8. Таким чином, в першій елементарній складовій циклу здійснюється оптимальне управління швидкістю у функції навантаження.

На другому етапі підведення шліфувального круга 5 до заготовки 7 оптимальним управлінням може бути зміна швидкості двигуна 8 з швидкого підводу на чорнову подачу по моменту зіткнення круга 5 із заготовкою 7, по якому судять про зміну величини струму в ланцюзі живлення електродвигуна 10 приводу шліфувального круга.

Система оптимального управління другої елементарної складової циклу роботи верстата, що містить датчик 9 величини струму живлення електродвигуна 10, приводу шліфувального круга 5. Датчик включений в замкнуту систему управління двигуном 8, складається з задавального 11 і порівняльного 12 пристроїв. Забезпечує оптимальне управління подачею в функції навантаження двигуна 10.

В момент дотику шліфувального круга 5 з заготовкою 7 відбувається збільшення струму живлення двигуна 10, яке фіксується датчиком 9. В результаті порівняння отриманого сигналу з заданим пристроєм 11 відбувається переключення швидкості обертання двигуна 8 з швидкого підводу на швидкість врізання шліфувального круга 5 в заготовку 7.

Для здійснення автоматичного управління процесом врізного шліфування цикл роботи верстата представляють у вигляді послідовно виконуваних елементів, в кожному елементі циклу визначають параметр оптимального управління, а в процесі здійснення циклу змінюють структуру управління відповідно до прийнятих критеріїв оптимального управління відповідними елементами циклу. Оптимальне управління складовими елементами циклу забезпечує оптимізацію циклу, наприклад, за часом циклу або продуктивністю.

Висновки. Застосування автоматичних систем управління з адаптивними властивостями у приводах дозволяє підвищити ефективність процесу обробки, а саме знизити небезпеку ушкодження верстату і заготовки від перевантаження, зменшити залежність процесу обробки від верстатника, автоматично оптимізувати режими різання. Результати застосування таких систем показали, що вони дозволяють знизити собівартість обробки заготовок, скоротити похибки виготовлення, підвищити продуктивність верстатного обладнання та розширити його технологічні можливості.

Список літератури

1. Медведєв Д.Д. Автоматизированное управление процессом обработки резанием.– М.: Машиностроение, 1980.– 143 с.
2. Петраков Ю.В. Теорія автоматичного управління в металообробці: Навч. посібник.– К.: ІЗМН, 1999.– 212 с.
3. Соломенцев Ю.М. Митрофанов В.Г., Протопопов С.П. и др. Адаптивное управление технологическими процессами. – М.: Машиностроение. – 1980.– 536 с.
4. Пестунов В. М., Лисенко О. В. Підвищення ефективності металообробного обладнання удосконаленням приводів. – Зб. наук. пр. КНТУ. Техніка в с/г виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кіровоград, 2006.– Вип. 17.– С. 154-160.

В статті пропонується підвищити ефективність станочного обладнання за рахунок застосування в приводах систем автоматичного управління з адаптивними властивостями.

In the article it is suggested to promote efficiency of machine-tool equipment due to application in the drives of the automatic control systems with adaptive properties.

Одержано 02.04.07

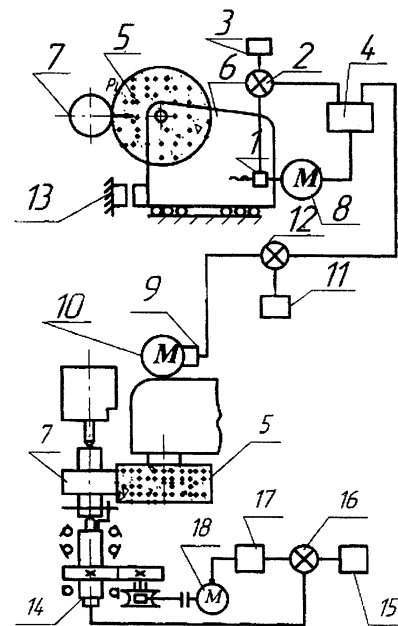


Рисунок 5 – Схема системи автоматичного управління процесом шліфування