

УДК 621.9

Ковальов В. Д., Мельник М. С., Васильченко Я. В., Саєнко М. О.

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ВАЖКОГО ТОЧІННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ СИСТЕМ АДАПТИВНОГО УПРАВЛІННЯ

Верстатобудування становить основу важкого машинобудування, яке є базою для розвитку всіх основних галузей народного господарства – металургії, енергетики, залізничного транспорту, автомобілів, суднобудування, будівництва портів, нафтохімічних заводів, освоєння і видобутку корисних копалин і т. д. Основна група устаткування машинобудівних підприємств України – це токарні верстати. На важких токарних верстатах з числовим програмним керуванням проводиться механічна обробка широкої номенклатури деталей, таких як прокатні валки, ротори турбін, колісні пари залізничного і гірського транспорту, корабельні гребні вали і багато іншого (рис. 1).

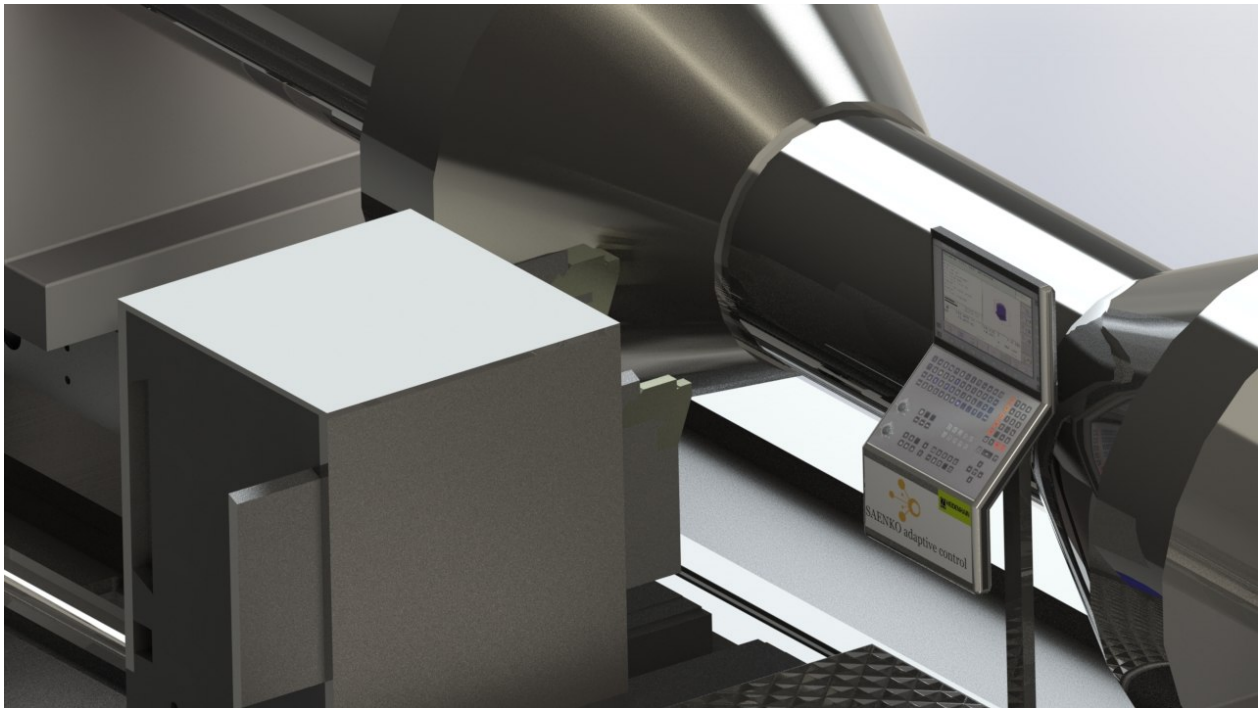


Рис. 1. Тривимірний модель обробки деталі на важкому токарному верстаті з ЧПК

У зв'язку з широкою автоматизацією машинобудівного виробництва велике значення набуває завдання визначення оптимальних режимів роботи інструменту. Від цього багато в чому залежать продуктивність обладнання, собівартість і точність обробки, витрата ріжучого інструменту, якість поверхневого шару та інші параметри процесу металообробки. На виробництві режими різання призначаються відповідно до нормативів. Однак, виробничі умови, як правило, відрізняються від нормативних. Тут позначається вплив динамічного стану верстата, коливання властивостей між партіями виробу, коливання властивостей між партіями інструменту і т. д. і врахувати їх на стадії проектування технологічного процесу не надається можливим. Вплив суб'єктивного фактору виявляється неминучим при врахуванні реальних умов.

Існуючі методи і системи керування та оптимізації режимів різання або ґрунтуються на використанні емпіричних показників процесу різання, отриманих при певних умовах експерименту і неадекватно відображають стан верстатної системи, або для своєї реалізації

вимагають великого обсягу матеріальних витрат і додаткових апаратних засобів при відносно низькій ефективності регулювання. Втрата точності при оцінці показників процесу різання неминує призводить до економічних втрат. Ці втрати визначаються простим устаткуванням і робочою силою, понаднормовими роботами, порушенням ритмічності виробничого процесу, підвищеним зносом різального інструменту, що негативно позначається на якості продукції, і загрожує штрафними санкціями за невиконання контрактних зобов'язань. Економічні втрати неминує збільшують собівартість виробів, а нераціональне використання обладнання знижує його продуктивність.

Прагнення подолати зазначені недоліки призвело до появи автоматизованих систем керування, які дозволяють оптимізувати процес металообробки завдяки одержуваній поточної інформації за параметрами, які визначають умови і якість процесу різання.

Причому зміна параметрів процесу різання здійснюється в режимі реального часу, під яким розуміється режим обробки інформації, що забезпечує взаємодію системи обробки інформації з зовнішніми по відношенню до неї процесами в темпі, що сумірний зі швидкістю протікання цих процесів. Обробка різанням обумовлює темп взаємодії системи обробки інформації з зовнішніми процесами, який відповідає періоду стійкості різального інструменту.

Згідно з цим задача автоматичного керування точністю та продуктивністю обробки деталей на верстатах шляхом застосування адаптивних систем керування набуває особливої важливості. Способи адаптивного керування відкривають принципово нові шляхи підвищення точності і ефективності використання різного металообробного обладнання, в тому числі верстатів з ЧПК і багатоопераційних верстатів. Адаптивні системи забезпечують оптимізацію шляхом управління точністю та продуктивністю безпосередньо в процесі обробки деталей на верстатах.

Застосування адаптивних систем на верстатах з ЧПК і багатоопераційних верстатах дозволяє створювати самоналагоджувальні технологічні системи, що забезпечують досягнення необхідної точності і заданої продуктивності при обробці кожної нової деталі. Ефективність, одержувана в результаті застосування адаптивних систем керування, полягає в підвищенні якості оброблюваних деталей, зниження часу обробки, зменшення вартості виготовлення деталей [1].

Метою роботи є розробка та реалізація законів керування режимами обробки на важкому токарному верстаті, а саме керування подачею для регулювання сили різання за допомогою PLC модулів.

Для керування важким токарним верстатом за допомогою PLC модулів використана наявна на кафедрі «Комп'ютеризовані мехатронні системи, інструмент і технології» Донбаської державної машинобудівної академії система контурного керування для токарних верстатів Heidenhain MANUAL plus 620 з інтегрованою можливістю управління PLC (рис. 2) [2].

Однією з проблем, що стоять перед наукою про різання металів, є розробка методів, що забезпечують автоматичну стабілізацію найбільш важливих параметрів процесу різання. В якості параметра регулювання в адаптивних системах часто використовують будь-який силовий параметр різання (крутний момент, потужність, сили різання), теплові явища, вібрації.

Оптимальна продуктивність верстатної системи визначається, в основному, такими параметрами режиму різання, як швидкість, глибина і подача. Максимально допустима подача, як правило, обмежується ефективною потужністю або обертовим моментом верстата, міцністю найслабшої ланки механізму подачі верстата, жорсткістю оброблюваної деталі, міцністю і твердістю інструмента, шорсткістю оброблюваної деталі.

Багаточисленні технологічні випробування показали, що обробка деталей з використанням оптимальних температур різання дозволяє значно збільшити розмірну стійкість інструменту, отримати мінімальні для обраних умов сили різання, шорсткість поверхні, глибину і ступінь наклепу, а також найбільш стабільний і рівномірний розподіл залишкових напружень в різних точках оброблюваної поверхні. Досліди з одночасним вимірюванням

тангенціальної складової сили різання P_z , температури різання θ , відносного поверхневого радіального зносу h_{ou} і висоти нерівностей R_z показали, що моментам стабілізації сили різання, коли вона розглядається функцією швидкості різання при постійних значеннях глибини різання і подачі, відповідають мінімуми кривих відносного зносу і висоти нерівностей, отже, оптимальні температури різання. Встановлено, що оптимальному різанню відповідають оптимальна температура θ_0 і мінімальне або мінімально-стабілізоване значення сили різання P_{zmin} .

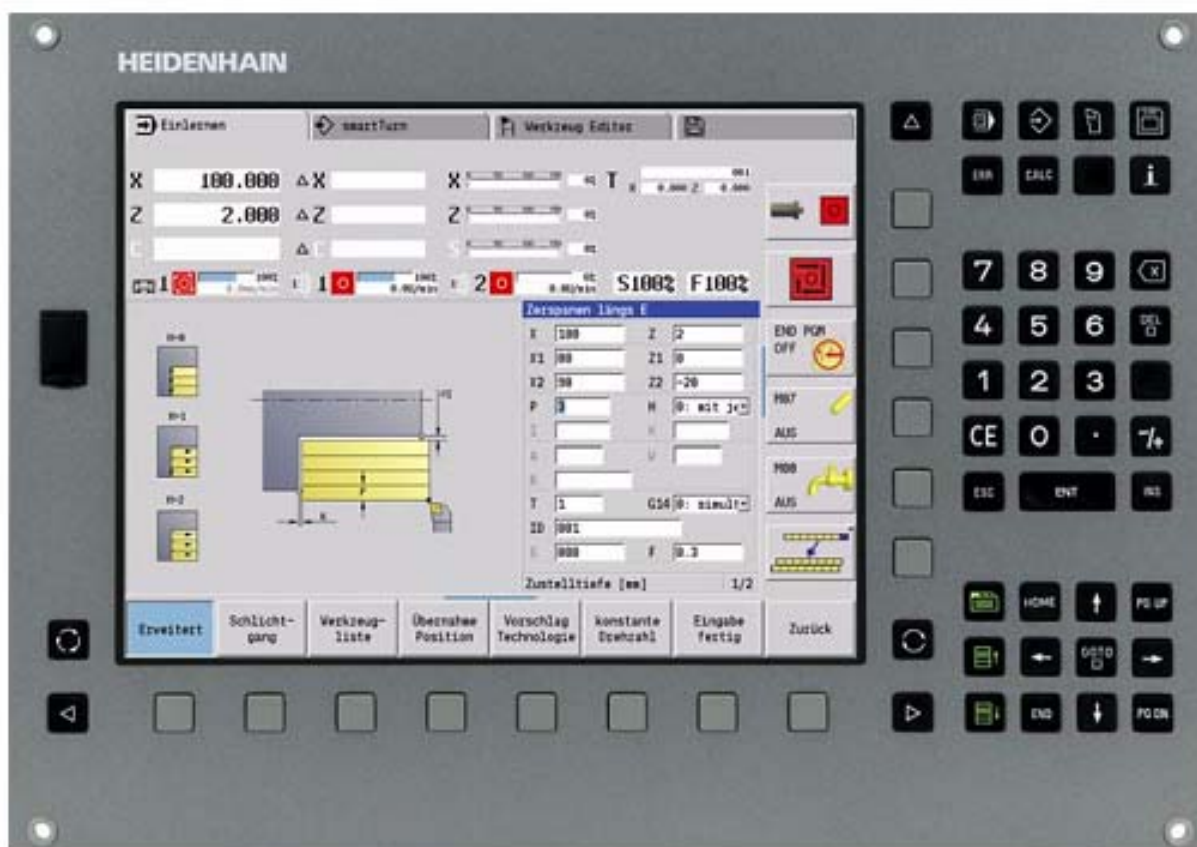


Рис. 2. Система керування Heidenhain MANUAL plus 620

Для вимірювання сили різання можна скористатися результатами вимірювання сили струму на якорі двигуна головного приводу або приводу подач. В цьому випадку сила струму пропорційна або потужності, або крутним моментам на валу електродвигуна. Також вимір сил можна здійснювати, використовуючи тензометричні підшипники або оправки, датчики напруги і деформацій, а також динамометри, вбудовані в різцетримач. У всіх випадках важливу роль грає місце розміщення датчиків. Чим ближче воно до зони різання, тим точніше вимірювання і вище надійність системи контролю. Також для вимірювання деформацій внаслідок дії сил різання можна застосовувати магнітопружний датчик. У волоконно-оптичному інтерферометрі для вимірювання зовнішніх сил при силовому навантаженні в якості чутливого елемента використовується оптоволоконний провідник. При деформації оптоволоконного провідника, через який пропускається промінь когерентного монохромного випромінювання, відбувається модуляція променя, за характером якої можна зробити висновок про силу, що діє на провідник.

Для оптимізації обробки на важкому токарному верстаті застосуємо закон керування поздовжньої подачі різця в залежності від значення сили різання (1) [3]:

$$S = \frac{y_P}{\sqrt{10 C_P \cdot t^{x_P} \cdot v^n \cdot K^P}} \quad (1)$$

Розроблена схема, призначена для автоматичної підтримки заданого значення зусилля різання при поздовжньому точінні на важких токарних верстатах з метою отримання максимальної продуктивності обробки при виключенні перевантажень ріжучого інструменту. Дана система складається з наступних частин: 1 – датчик кута повороту; 2 – датчик зусилля різання; 3 – пристрій порівняння; 4 – пристрій завдання номінального зусилля різання; 5 – регулятор; 6 – електронний аналог інерційного елемента з керуванням постійної часу; 7 – обмежувальний пристрій; 8 – привід поздовжньої подачі

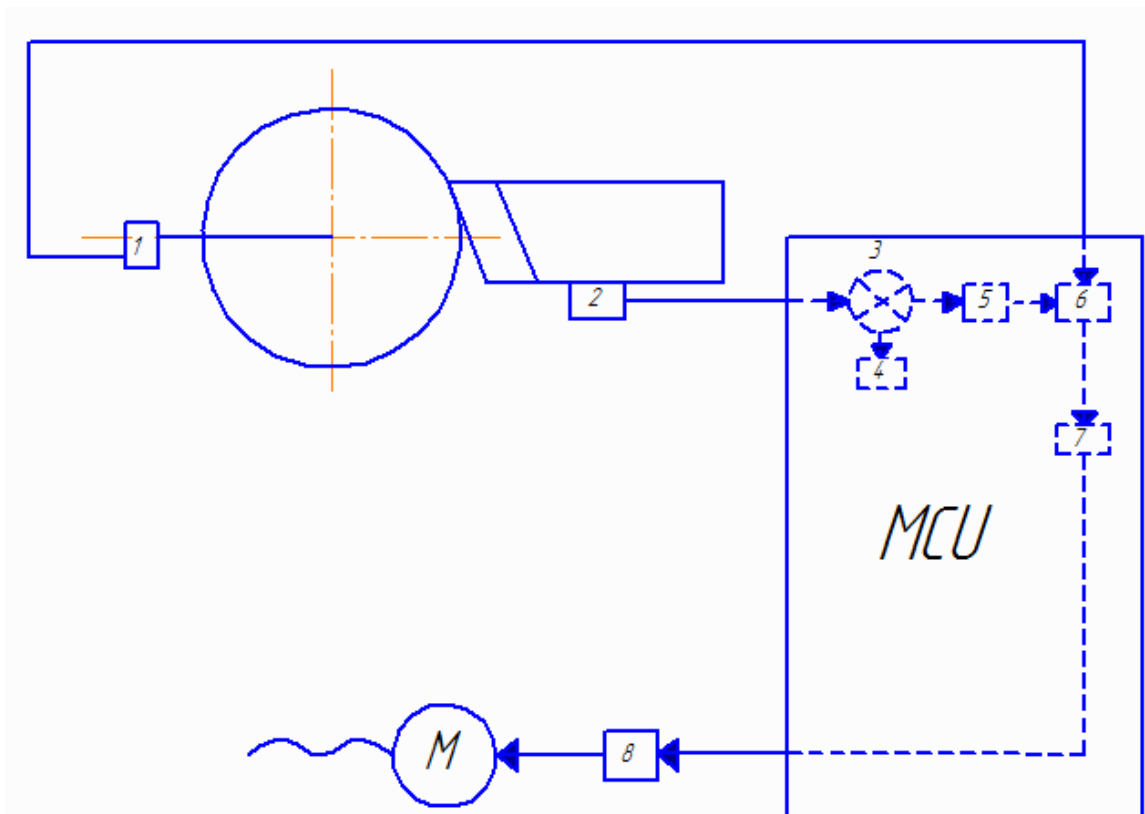


Рис. 3. Структурна схема системи оптимального керування швидкості подачі по зусиллю різання

Система працює наступним чином. Датчик кута повороту 1 вимірює кут ріжучого інструменту. Датчик 2 вимірює поточне значення сили різання, яке порівнюється з номінальним значенням обраного інструменту. У разі відхилення поточного значення сили різання від заданого значення, регулятор 5 коригує сигнал швидкості подачі до тих пір, поки не буде отримано рівність поточної заданого значення сили різання в сталому режимі. Адаптивний інерційний елемент 6 необхідний для забезпечення стійкості системи регулювання при різних швидкостях обертання заготовки. Послідовне з'єднання розглянутих елементів робить систему нестійкою і призводить до виникнення автоколивань швидкості подачі. Стійкість системи забезпечується в разі, коли постійна приводу подачі дорівнює або більше періоду обертання заготовки.

Для вирішення завдання коригування швидкості подачі з метою підтримки оптимальної сили різання був розроблений алгоритм (рис. 4).

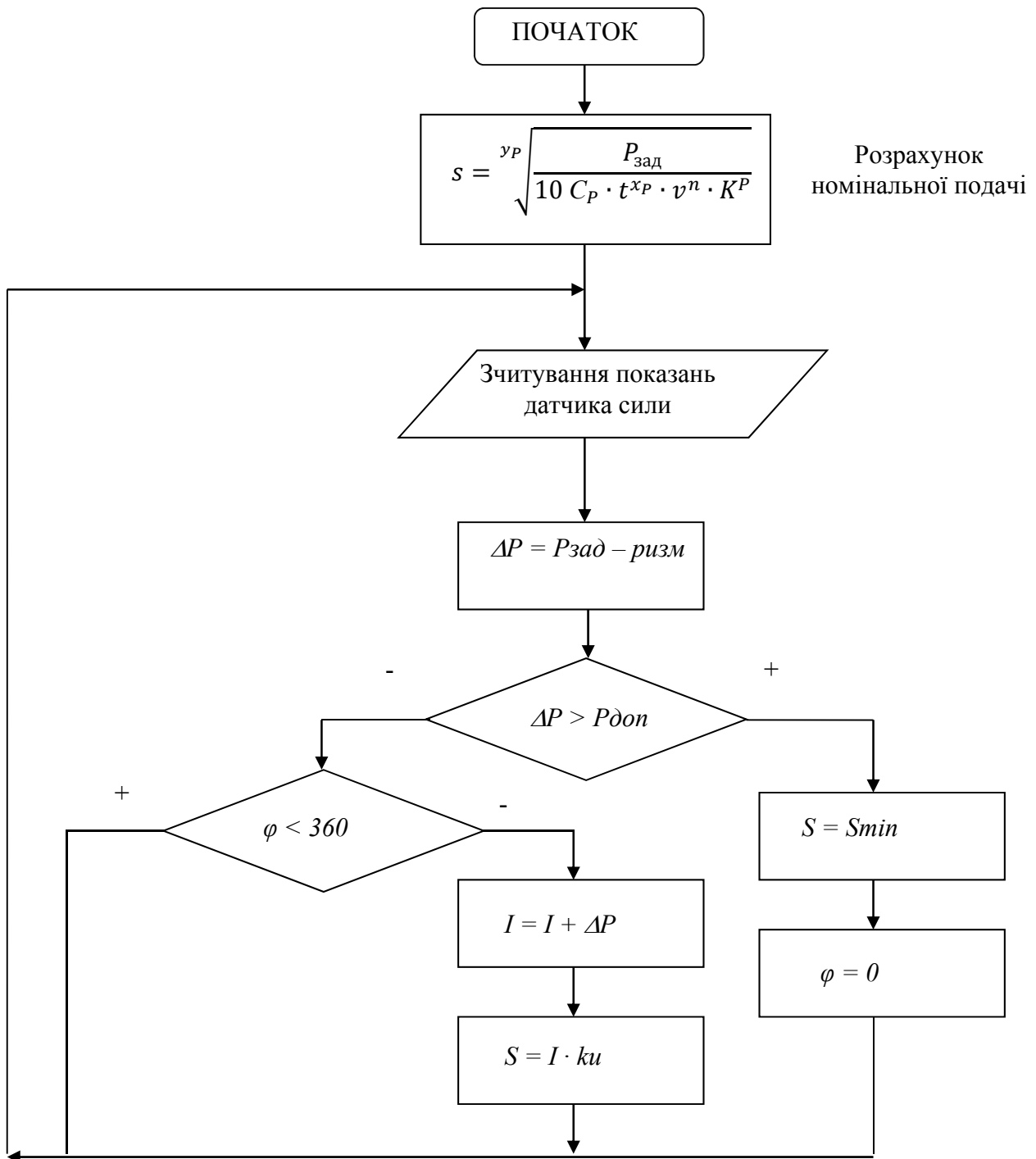


Рис. 4. Алгоритм роботи системи автоматичного регулювання швидкості подачі важкого токарного верстата

1. Процес врізання виконується з деякою мінімальною швидкістю подачі S_{min} . Ця швидкість вибирається залежно від конкретних умов обробки, з таким розрахунком, щоб сила різання не перевищила максимально допустиму для ріжучого інструменту величину при максимально можливому збільшенні припуску і твердості заготовки.

2. Протягом одного повного обороту заготовки виконується вимір сили різання і знаходиться її максимальне значення.

3. Обчислюється необхідна швидкість подачі по формулі (2):

$$S = S_{\min} ([Pz] / Pz) I / y, \quad (2)$$

де $[Pz]$ – максимально допустима сила різання, обмежена міцністю ріжучого інструменту;

Pz – максимальне вимірне за один оборот заготовки значення сили різання;

y – показник ступеня, що характеризує вплив подачі на силу різання для даних умов обробки.

4. Встановлюється розраховане значення швидкості подачі і протягом наступного обороту контролюється сила різання. Якщо протягом обороту сила різання перевищить значення $[Pz]$ більш ніж на встановлений допуск – проводиться максимально швидке зниження швидкості подачі до значення S_{\min} , після чого процес повторюється з пункту 2. Якщо максимальне за поточний оборот значення сили різання виявилось в межах допуску, то значення швидкості подачі залишається незмінним і повторюється даний пункт алгоритму. Якщо максимальне за поточний оборот значення сили різання виявилось менше нижньої межі поля допуску, то швидкість подачі для наступного обороту коригується за формулою (3):

$$S_{i+1} = S_i ([Pz] / Pz) I / y, \quad (3)$$

де S_i – швидкість подачі на поточному обороті заготовки.

Після чого знову повторюється даний пункт алгоритму [4].

ВИСНОВКИ

Адаптивне керування на важкому токарному верстаті з ЧПК реалізовано шляхом використання програмованого логічного контролера PLC із завданням необхідних законів керування (по силі різання). Це дозволяє коригувати розроблену програму ЧПК в процесі обробки при зміні зовнішніх впливів на технологічну систему.

У представленій роботі розроблена блок-схема адаптивного оптимального керування процесом поздовжнього точіння шляхом зміни поздовжньої подачі різця в залежності від сили різання. Дана система виробляє вимірювання сили в зоні різання і на підставі цього коригує керовані параметри процесу різання (подачу) для досягнення оптимального значення.

Як пристрій прийняття рішень, використовувалося спеціальне програмне забезпечення – стійка Heidenhain MANUAL plus 620 з вбудованим PLC модулем, що дозволяє реалізувати закони керування режимами обробки на важкому токарному верстаті.

Використання систем адаптивного оптимального керування дозволить скоротити витрати, підвищити точність, збільшити термін служби різального інструменту.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ковальов В. Д. Дослідження динамічної стійкості технологічної системи важкого токарного верстата з адаптивною системою управління / В. Д. Ковальов, Я. В. Васильченко, М. С. Мельник // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць. – Краматорськ : ДДМА, 2013. – Вип. № 33.
2. HEIDENHAIN PLC Training Course Seminar PLC-PROG, 2008.
3. Ковальов В. Д. Розробка методики управління режимами обробки на важкому токарному верстаті за допомогою PLC модулів / В. Д. Ковальов, М. С. Мельник, І. К. Березовська // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем : зб. наук. праць. – Краматорськ : ДДМА, 2014. – Вип. № 35.
4. Ковальов В. Д. Управління режимами обробки на важких токарних верстатах за допомогою PLC модулів / В. Д. Ковальов, Я. В. Васильченко, М. С. Мельник // Високі технології в машинобудуванні. – Інтерпартнер : Харків, 2014.