

**МАШИНОЗНАВСТВО. ОБРОБКА МАТЕРІАЛІВ  
В МАШИНОБУДУВАННІ**

УДК 621.9

**В.І. Аверченков, д.т.н., проф.  
О.В. Ковальова, викл.,  
М.М. Нагоркін, аспір.  
В.П. Федоров, д.т.н., проф.**

*Брянський державний технічний університет, (Росія)*

**ІНЖЕНЕРІЯ І КОМП'ЮТЕРНИЙ МОНИТОРИНГ ПОВЕРХОНЬ ДЕТАЛЕЙ МАШИН  
ПРИ ОБРОБЦІ НА ВЕРСТАТАХ ІЗ ЧПУ**

*У статті розглядаються принципи інженерії поверхонь на основі аналізу логіко-функціональних зв'язків у технологічних системах обробки з метою формування заданого закону експлуатаційних характеристик у функції координат поверхні за рахунок її адаптації в процесі обробки до перемінних умов експлуатації. Розглядаються концепція створення систем "ЕОМ-ЧПУ" підвищеної гнучкості і титання інженерії мікрорельєфів поверхонь.*

Експлуатаційні властивості поверхонь деталей машин є важливим компонентом забезпечення надійності виробів машинобудування в цілому за час активного періоду їхнього життєвого циклу. Вони залежать від точності і ряду функціональних параметрів якості поверхні і поверхневого шару (ПКПС), до яких, у першу чергу, відносяться макровідхилення, хвилястість, шорсткість, наклеп і залишкові напруги [1]. Рішення актуальної задачі підвищення експлуатаційних властивостей поверхонь деталей машин базується на досягнутих успіхах технологічної науки, до яких відносяться: сформована методологія технологічних досліджень; розроблена система параметрів стану поверхневого шару з відповідним метрологічним забезпеченням; широкий арсенал засобів технологічного впливу, що дозволяє надійно формувати задані параметри якості обробки в необхідних межах; сучасні методи оптимізації та автоматизації й автоматизованого проектування технологічних процесів [1, 2, 3].

З позиції системного підходу життєвий цикл виробу являє собою складну кібернетичну систему, що складається з послідовних підсистем, причому вихід кожної з попередніх є одним із входів для наступних. Така послідовна ієрархія характерна для підсистем виготовлення й експлуатації, що, у свою чергу, можна розглядати як самостійні системи зі своїми входами, виходами і втратами.

Розглянемо фінішну стадію процесу обробки функціональної поверхні деталі типу направляючого ковзання (технологічна система (ТС) – обробка поверхневим пластичним деформуванням (ППД)) і процес її експлуатації в умовах тертя ковзання (система експлуатації – СЕ) (рис. 1).

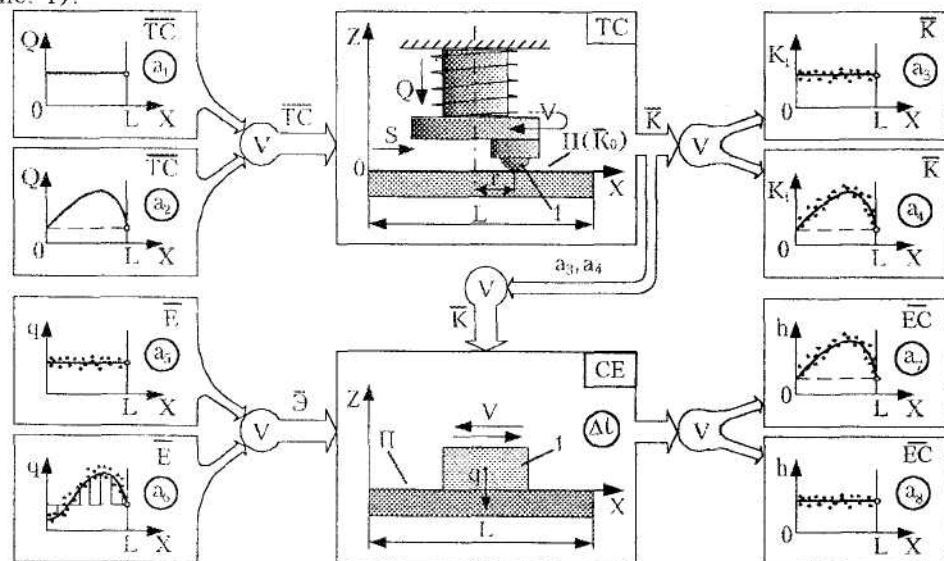


Рис. 1. Варіанти формування експлуатаційних властивостей поверхні з урахуванням умов виготовлення й експлуатації

У загальному випадку можна ввести наступні позначення:  $\overline{TC}$  – вектор вхідних факторів технологічної системи (ТС), що включає як елементи умови обробки (сила  $Q$ , швидкість  $V$ , подача  $S$  та ін.) і вектор  $\overline{K}_0$  значень ПКПС, отриманих на попередній операції;  $\overline{K}$  – вектор вихідних параметрів ТС, елементами якого є ПКПС;  $\overline{E}$  – вектор умов експлуатації оброблюваної поверхні деталі у відповідний СЕ (у розглянутому випадку навантаження  $q$ , відносна швидкість ковзання  $V$  та ін.);  $\overline{EC}$  – вектор вихідних параметрів СЕ, елементами якого є параметри експлуатаційних властивостей (ПЕС) (величина зносу  $h$  за час  $\Delta t$ , коефіцієнти тертя та ін.).

Варіанти окремих компонентів векторів  $\overline{TC}$ ,  $\overline{K}$ ,  $\overline{E}$ ,  $\overline{EC}$  являють собою відповідні функції від довжини поверхні  $\Pi$  (координата  $X$ ), загальний вид яких може бути представлений у вигляді вершин деревоподібного графа  $a_0, a_1, a_2, \dots, a_7, a_8$  ( $a_0$  – вихідний стан). Вершини  $a_7$  і  $a_8$  являють собою компоненту вектора  $\overline{EC}$ , у даному випадку знос за час  $\Delta t$  як функцію довжини поверхні  $\Pi$ :  $h = f(L) = f(X)$ .

При сформованій схемі обробки на побудованих режимах ( $a_1, Q = const$ ) формується поверхня деталі з ізотропною системою показників якості ( $a_3, K = const$ ). В умовах же експлуатації на поверхню діє комплекс зовнішніх факторів, компоненти якого у загальному випадку є випадковими величинами, математичні чекання яких змінюються в часі ( $a_6, q = f(X)$ ). Таким чином, для локальних ділянок поверхні компоненти комплексу зовнішніх факторів  $\overline{E}$  будуть мати різні значення, що неминує спричиняє анізотропію експлуатаційних властивостей поверхні в цілому ( $a_7, h = f(X)$ ).

Вершина  $a_8$  відповідає ізотропності експлуатаційних властивостей поверхні на всьому її протязі ( $h = const$ ).

За умови  $\overline{K}_0(L) = const$  для станів  $a_7$  і  $a_8$  мають місце наступні логічні вирази:

$$a_7 = ((a_1 \vee a_3) \wedge a_6) \vee ((a_2 \vee a_4) \wedge a_5) = A \vee B \quad (1)$$

$$a_8 = ((a_1 \vee a_3) \wedge a_5) \vee ((a_2 \vee a_4) \wedge a_6) = C \vee D. \quad (2)$$

Вираз (1) відповідає анізотропії, а (2) – ізотропії поверхні  $\Pi$  за величиною зносу на всьому протязі при заданих компонентах вектора  $\overline{E}$   $a_5$  і  $a_6$ . Саме виконання умови (2) є оптимальним для більшості випадків практики. Логічний доданок  $C = (a_1 \vee a_3) \wedge a_5$  являє собою ідеальний випадок: обробка й експлуатація поверхні здійснюється з твердими, незмінними режимами. Логічний доданок  $D = ((a_2 \vee a_4) \wedge a_6)$  припускає адаптацію поверхні  $\Pi$  до змінних у функції її координат умов експлуатації шляхом керування компонентами векторів  $\overline{TC}$  і  $\overline{K}_0$  процесом формування таких функцій якості  $K_i = f(X)$ , що з обліком апріорно відомих функцій  $E_i = f(X)$  забезпечать умову  $(\overline{EC})_i = f(X) = const$ . Рішення цієї достатньо складної задачі, що вимагає керування в процесі обробки цілою групою параметрів геометричних і фізико-механічних ПКПС, є однією з проблем, що стоїть перед інженерією поверхні.

Для досягнення поставленої мети необхідно використовувати методи, що дозволяють безпосередньо в процесі обробки варіювати її такі фактори, як: 1) силові (статичні і динамічні); 2) кінематичні (швидкість, подача, напрямки); 3) електрофізичні (сила струму, шпаруватість імпульсів, енергія випромінювання, перекриття зон лазерного впливу й ін.) Таким чином, процес обробки при рішенні задачі адаптації поверхні до перемінних умов експлуатації у функції її координат повинний бути досить гнучким. Цим умовам значною мірою відповідають процеси поверхнево-пластичного деформування (ППД), включаючи електромеханічну обробку (ЕМО), і обробка на верстатах із ЧПУ. Синтез цих методів при застосуванні керування обробкою від персонального комп'ютера (ПК) дозволяє реалізувати обробку поверхонь деталей машин поверхневим пластичним деформуванням програмним способом (ППДПС). Метод ППДПС застосуємо для обробки як плоских, так і циліндричних, торцевих, конічних та інших поверхонь, які мають аналітичний опис. При цьому вирішується широкий спектр питань інженерії поверхні, включаючи попереднє її моделювання, аналіз і практичну реалізацію його результатів.

Створена на базі верстата мод. 6P13Ф3 із системою ЧПУ "Координата 2ПТ71" система "Контур ПК-НС-01" як керуючий модуль включає персональний комп'ютер. Керуюча програма від комп'ютера передається на пристрій ЧПУ через блок гальванічної розв'язки, що необхідний для узгодження рівнів напруги відповідних сигналів. На сигнал "запит" від ЧПУ ПК видає "кадр" керуючої програми у відповідному коді. Керуюча програма формується постпроцесором для відповідної базової системи ЧПУ. Система передбачає аналіз сигналу "помилка введення". За вихідні дані може використовуватися інформація про переміщення по будь-яких двох осях з  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ . Система дозволяє здійснювати кругову інтерполяцію з заданою дискретністю і використовувати інформацію про інструмент (діаметр, виліт) для побудови еквідистанти.

Факт наявності і можливість використовувати ПК для попереднього розрахунку траєкторій руху інструмента по апріорно відомих і аналітичних залежностях, що задаються, а також для зв'язку з зовнішнім устаткуванням, вимірювально-інформаційними системами, промисловими роботами, ЕОМ більш високого рівня й ін., додають системі "Контур ПК-НС-01" риси, характерні для системи ЧПУ типу CNC і PCNC [4]. При цьому варто мати на увазі, що як виконавча частина застосовується морально застаріла система ЧПУ, але фізично досить працездатна і надійна. Пропонована концепція модернізації системи НС дозволяє розширити технологічні можливості й інші системи ЧПУ (2С42, 2С65 і ін.) з мінімальними витратами за рахунок розробки відповідного програмного забезпечення.

Однією з важливих задач інженерії поверхонь є створення регулярних мікрорельєфів за методом проф. Ю. Г. Шнейдера, що є одним з ефективних методів підвищення зносостійкості. Застосування для реалізації даного методу ППДПС дозволяє уникнути ряд твердих обмежень, викликаних конструктивними особливостями оснащення, що застосовувалося (при ППДПС воно може бути відсутнім), підвищити гнучкість обробки і реалізувати цілі класи мікрорельєфів, одержання яких традиційними "твердими" методами неможливе.

Інженерія плоских поверхонь типу направляючого ковзання з регулярним синусоїдальним рельєфом припускає наявність наступних вихідних даних (рис. 2,а):  $L$ ,  $B$  – габаритні розміри оброблюваної поверхні (обмежена контуром 1);  $l$  – технологічна величина, що визначає контур 2 фактично обробленої поверхні;  $r$  – радіус обертання деформуючого індентора при його периферійному розташуванні щодо осі інструмента;  $N$  – кількість "доріжок" обробки,  $N = 3$ ;  $n$  – кількість повних періодів синусоїди на фактичній довжині обробки ( $L - 2l$ );  $k$  – коефіцієнт перекриття "доріжок" обробки в частках розмаху синусоїди;  $\Delta\varphi$  – величина фазового зрушення між двома суміжними "доріжками" обробки;  $j$  – число інтервалів інтерполяції в межах одного періоду.

Відповідно до цих вихідних даних інші елементи траєкторії руху центра інструмента розраховуються за наступним алгоритмом:

1) амплітуда і період коливань визначаються за співвідношеннями (3) і (4) відповідно:

$$A_1 = \frac{B - 2(l+r)}{2(1 + R(N-1))}; \quad (3)$$

$$T_1 = \frac{L - 2(l+r)}{n}; \quad (4)$$

2) величини  $\Delta Y$  і  $\Delta X$  визначаються за формулами (5) і (6) відповідно:

$$\Delta Y = -2(i-1)kA_1 - (l-r + A_1), \quad i = 1, \bar{N}; \quad (5)$$

$$\Delta X = l + r. \quad (6)$$

З урахуванням отриманих співвідношень рівняння траєкторії руху центра інструмента для розглянутого випадку має вигляд:

$$Y_1 = A_1 \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T_1} X_1 + (i-1)\Delta\varphi\right) + \Delta Y. \quad (7)$$

У цьому випадку мікрорельєф утвориться слідами обробки 3 або 4 у залежності від розташування деформуючого індентора щодо осі обертання інструмента ( $r = 0$  і  $q = f(X)$  відповідно).

Пропонований програмний метод утворення мікрорельєфу дозволяє одержати квазірегулярний рельєф, утворений синусоїдальною траєкторією руху індентора 3, амплітуда якої промодульована за законом синуса 5 (рис. 2, б). Реалізація такого мікрорельєфу неможлива традиційними методами вибраковування і дозволить при експлуатації деталі

уникнути небажаних резонансних явищ при відносному русі поверхонь в умовах тертяковзання.

У цьому випадку мікрорельєф формується індентором, що переміщається або по траєкторії 3 ( $r = 0$ ), або по більш складній траєкторії 4 ( $r > 0$ ). За вихідні дані додатково до розглянутого раніше вводиться коефіцієнт  $k_1 = T_1 / T_2$ , що характеризує число періодів основної гармоніки траєкторії в одному періоді, що обгинає. Величина  $\Delta\varphi$  характеризує фазове зрушення синусоїд, що обгинають, при обробці двох суміжних "доріжок".

Рівняння траєкторії руху центра інструмента при реалізації квазірегулярного синусоїдального мікрорельєфу має вигляд:

$$Y_1 = A_1 \cdot \sin\left(\frac{k_1 2\pi}{T_1} X_1\right) \cdot \sin\left(\frac{2\pi}{T_1} X_1 + (i+1)\Delta\varphi\right) + \Delta Y. \tag{8}$$

Параметри, що входять у (8), визначаються аналогічно розглянутому раніше випадку.

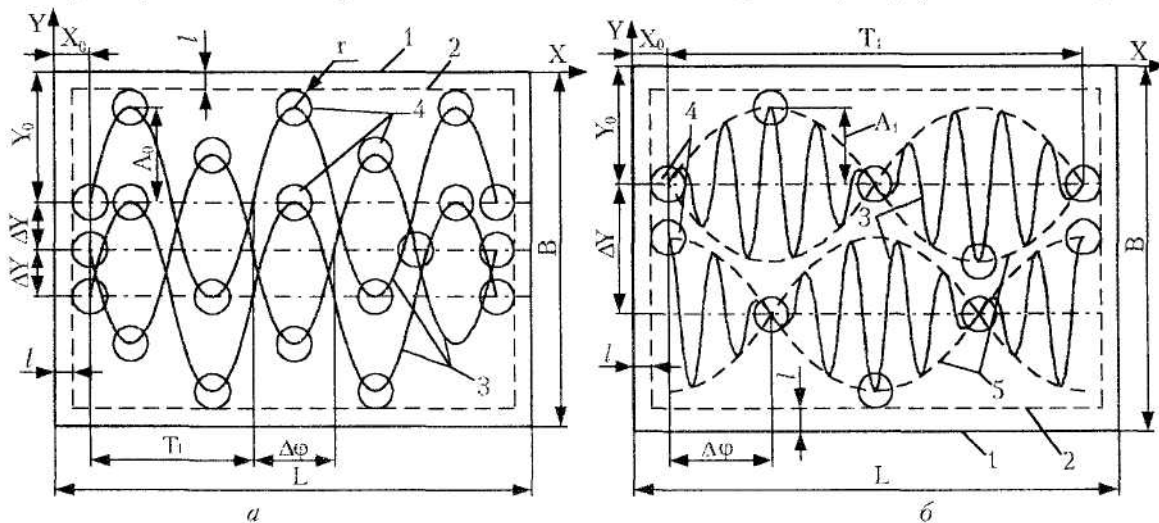


Рис. 2. Схема синтезу синусоїдальних регулярних (а) і квазірегулярних (б) мікрорельєфів при обробці ППДПС поверхонь центральним та периферійно розташованими інденторами

Формування мікрорельєфів методом ППДПС дозволяє керувати параметрами фізико-механічних властивостей у функції координат оброблюваної поверхні шляхом програмної зміни подачі, швидкості обробки або сили ППД шляхом програмування відповідного переміщення, наприклад,  $Z = f(X)$  для ТС на рис. 1, за заздалегідь заданими законами. У першому і другому випадках це досягається перемінною щільністю обробки.

При цьому, наприклад, значення амплітуд  $A_1$  і  $A$ , що входять у вирази (7) і (8), повинні бути випадковими дискретними величинами з заданим законом розподілу:

$$A = \text{Random}(A_0, A_{max}). \tag{9}$$

Верхня границя інтервалу  $A_{max}$  визначається, а нижня  $A_0$  задається в процесі проектування мікрорельєфу поверхні. Значення амплітуд усередині інтервалу ( $A_0, A_{max}$ ) визначаються програмним шляхом відповідно до заданого закону їхнього розподілу. При цьому використовується відповідна програма формування квазівипадкових чисел. Аналогічно можна змінювати й інші параметри мікрорельєфу, а також групу його параметрів.

Розроблений програмний метод формування мікрорельєфів дозволяє розширити їхню класифікацію, фрагмент якої (рис. 3) передбачає 2 основних типи мікрорельєфів: синусоїдальний і несинусоїдальний. Синусоїдальний підрозділяється на 3 різновиди: регулярний, квазірегулярний, стохастичний. Причому, останні два різновиди можуть бути реалізовані тільки на верстатах з комп'ютерними системами ЧПУ (системи (ПК + NC), CNC, PCNC). Параметри синусоїдального стохастичного мікрорельєфу формуються відповідно до виразу (9) шляхом використання відповідних датчиків псевдовипадкових чисел. Класифікація передбачає три типи стохастичного синусоїдального мікрорельєфу: 1) "А - стохастичний" - випадковою є амплітуда, що змінюється для кожного періоду; 2) "Т - стохастичний" - період



синусоїди є випадковою величиною, що змінюється за довжиною обробки; 3) “АТ – стохастичний” – випадковими величинами є одночасно амплітуда і період синусоїди.

Несинусоїдальні мікрорельєфи формуються інструментом, центр якого рухається відносно оброблюваної поверхні по безперервній траєкторії, що має аналітичний безперервний або кусочно-лінійний опис і відрізняється від синусоїди. Це великий клас мікрорельєфів, що мають найрізноманітнішу структуру і підлягають подальшому детальному дослідженню з впливу, що робиться на експлуатаційні властивості поверхні.

Запропонована класифікація передбачає мікрорельєфи з постійною і перемінною щільністю обробки, що досягається різними способами. Різні модифікації типів мікрорельєфу досягаються шляхом застосування інструмента з центральним (ЦІ) або периферійно (ПІ) розташованим індентором, виконаним у вигляді сталеві кульки або алмазного вигладжувача.

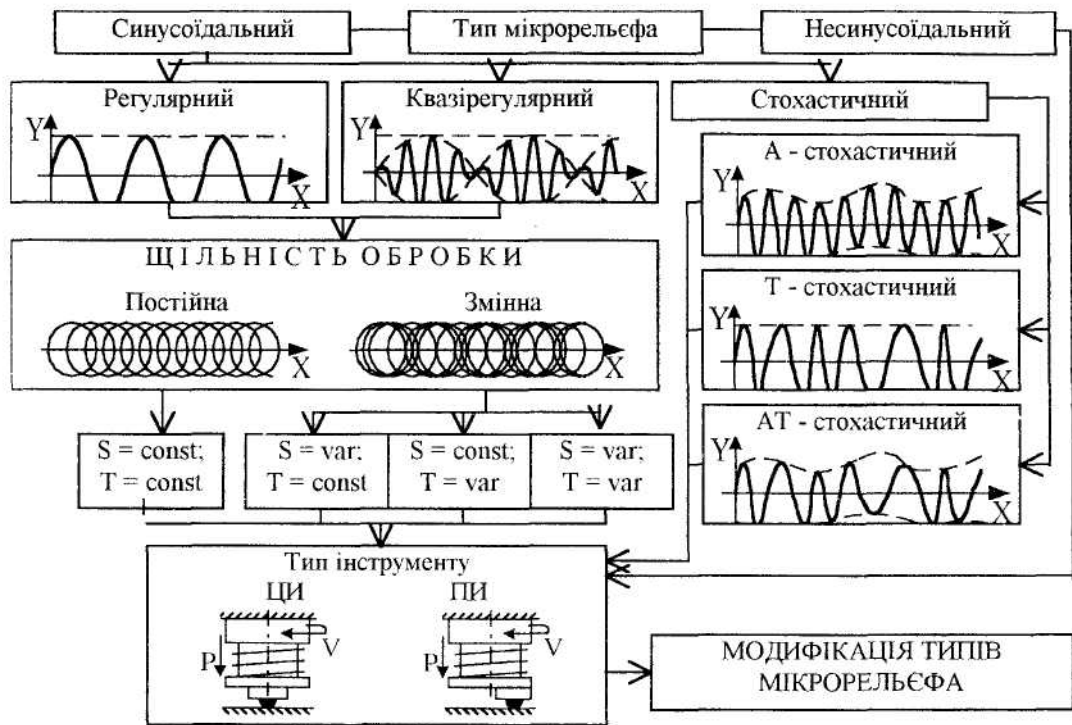


Рис. 3. Типи мікрорельєфів, реалізовані методом ППДПС на верстатах з комп'ютерними системами ЧПУ (ПК + NC, CNC, PCNC)

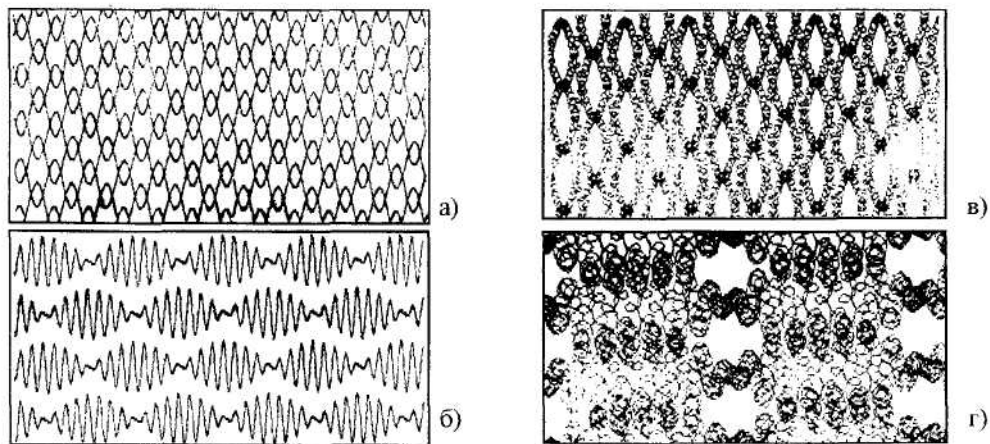


Рис. 4. Результати моделювання синусоїдальних регулярних (а, в) і квазірегулярних (б, г) мікрорельєфів при обробці центральним (а, б) і периферійно (в, г) розташованим індентором

Важливим етапом інженерії поверхонь є їхнє математичне моделювання. Блок-схема розробленої процедури моделювання мікрорельєфів як вихідних даних передбачає тип і

параметри мікрорельєфу, включаючи розглянуті вище конструктивні особливості поверхні деталі. Розроблене математичне і програмне забезпечення дозволяє моделювати всі розглянуті типи мікрорельєфів з використанням ПК системи ЧПУ з видачею результатів моделювання (вид рельєфу, його параметри й ін.) на дисплей або печатку. При одержанні позитивного рішення кожного з результатів моделювання (рис. 4), що відповідають необхідному критерію оптимальності, транслюються в керуючу програму й одержують практичну реалізацію при обробці поверхні.

Особливість розробленої системи полягає в тому, що процеси проектування і моделювання максимально наближені до робочого місця. У залежності від потужності ПК система може охоплювати групу верстатів і працювати під керуванням ЕОМ більш високого рівня.

Моніторинг поверхонь деталей машин містить у собі цілу гаму досліджень, що охоплюють коло задач від геометрії до фізико-хімії поверхневого шару. З погляду забезпечення таких експлуатаційних властивостей, як зносостійкість, контактна твердість, щільність з'єднань, корозійна стійкість і втомленісна міцність сучасна інженерія поверхні вимагає метрологічного забезпечення і створення інформаційно-вимірювальних систем для геометричних параметрів поверхні, параметрів наклепу і залишкової напруженості поверхневого шару. Високопродуктивний вимір і обчислення великої кількості ПКПС із високими вимогами до точності і вірогідності отриманих результатів необхідно для рішення задач підвищення надійності технологічного забезпечення експлуатаційних властивостей. В даний час значний комплекс задач моніторингу поверхні найбільш ефективно може вирішуватися шляхом розробки і реалізації автоматизованих керуючих вимірювально-інформаційних систем (ВІС) на базі ПК. Основними задачами таких систем є автоматизація процесу керування вимірами, збором, обробкою і представленням інформації, а при необхідності – керування експериментом, що припускає об'єднання в єдиний комплекс вимірювальних, що реєструють, і керуючих приладів. Розроблений фрагмент ВІС за моніторингом геометричних характеристик поверхні (рис. 5), побудований за блочно-модульною структурою (по функціях і виконанню), відноситься до систем з частковою автоматизацією і може добре вписуватися в САД – САМ – системи в частині інженерії поверхні, а також у САQ – системи – автоматизовані системи якості.

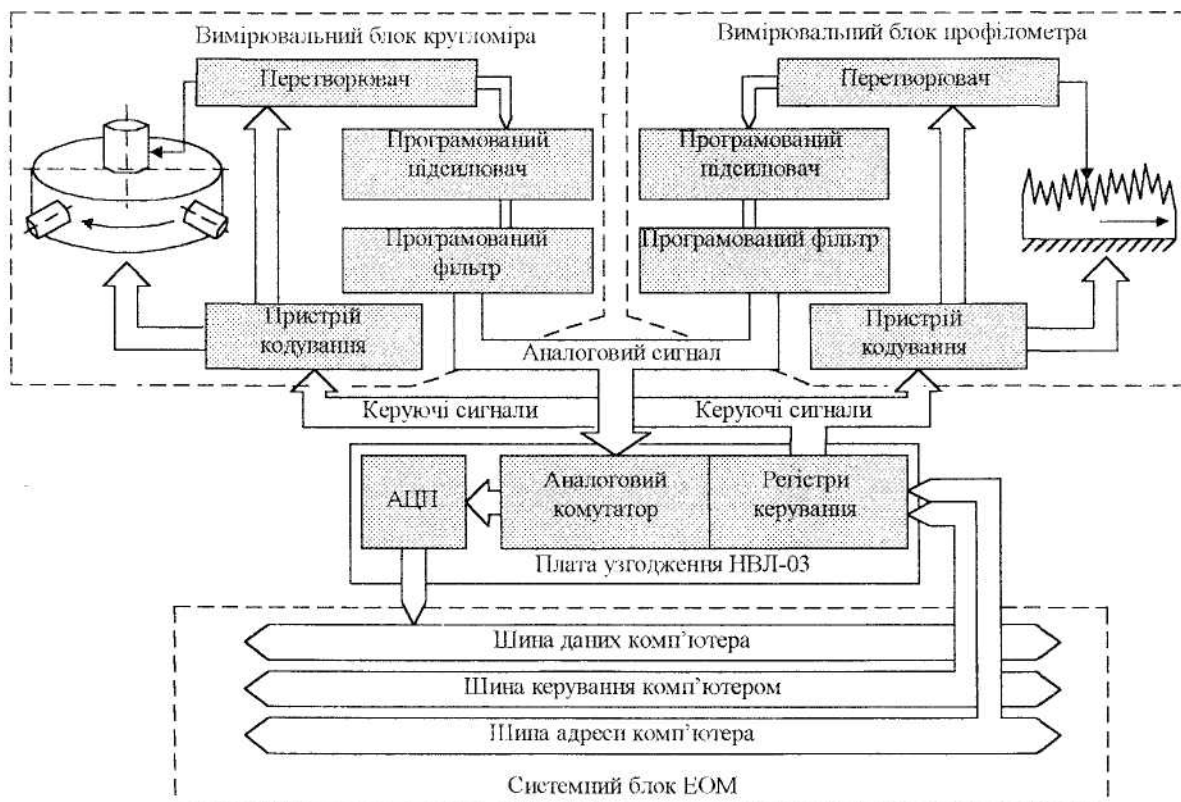


Рис. 5. Структурна схема вимірювально-інформаційної системи

До складу технічного забезпечення ВІС включені вимірювальні й обчислювальні модулі, а також модуль сполучення. Для виміру шорсткості і хвилястості використовуються профілографи мод. 170311 і 170622 (для виміру і розрахунків безпосередньо на робочому місці в складі комплексу ПК – ЧПУ NC), а для відхилень від круглості – кругломір мод. 175121 (завод “Калібр”, Росія). Модуль сполучення – плата АЦП НВЛ 03 (“Сигнал”, Росія), встановлюється в системному блоці ПК. ВІС дозволяє виміряти й обчислити як стандартні, так і дослідницькі параметри шорсткості і хвилястості (по 18 параметрів, включаючи побудову опорної кривої), відхилень від круглості TFE, EFKq, EFKq, EFK (ДСТ 24642-81).

У процесі роботи ВІС забезпечується виконання наступних функцій:

**для профілографа-профілометра:** 1) завантаження файлів із записаними профілями поверхні, створення і збереження в пам'яті нових файлів; 2) тарування системи за еталоном шорсткості, здійснюване окремою підпрограмою, що коректує масштабні коефіцієнти на підставі порівняння результатів виміру еталона з його висотними і кроковими параметрами ( $R_a$  і  $S_m$ ); 3) настроювання системи на проведений експеримент, що полягає у виборі коефіцієнта збільшення при знятті профілограми; числа вимірів (кроку дискретизації) на міліметр, установці відсічення кроку і довжини траси виміру; 4) балансування вимірювального щупа профілометра і запуск системи для зняття профілю поверхні з одночасним висновком його на екран дисплея; виділення ділянки на знятому профілі поверхні для подальшого дослідження; розрахунок параметрів шорсткості з висновком їхніх значень на екран дисплея; 5) висновок результатів вимірів на печатку;

**для кругломіра:** 1) настроювання кругломіра (збільшення і відсічення кроку при вимірі); 2) тарування системи за еталоном відхилення від круглості; 3) виконання процедури центрування, що дозволяє сполучити вісь обертання шпінделя кругломіра з віссю вимірюваної деталі; 4) розрахунок параметрів відхилення від круглості досліджуваних поверхонь з висновком результатів на дисплей і печатку; 5) завантаження існуючих файлів із записаними круглограммами, створення нових файлів з їх збереженням.

Для інтегрованої оцінки якості поверхонь деталей застосовуються методи кореляційного і спектрального аналізів. Персбування кореляційної функції профілю, розрахунок кореляційних характеристик, побудова корелограм дозволяє одержати додаткову інформацію про стан деталі. При роботі з базою даних (БД) для пошуку схожих за геометричними параметрами поверхонь, отриманих різними технологічними методами, використовується ідентичність їх корелограм при візуальній істотній відмінності за профілем один від одного.

Для інтегрованої оцінки якості й ідентифікації реальних профілів поверхонь деталей розраховуються і заносяться в БД такі параметри кореляційних функцій, як:  $D$  – дисперсія;  $D_\gamma$ ,  $D_\beta$  – дисперсії випадкової і систематичної складових;  $\gamma$  і  $\beta$  – коефіцієнти випадковості і періодичності профілю;  $T_\gamma$  і  $T_\beta$  – середній крок випадкової і періодичної складових;  $T$  – середній крок профілограми.

При визначеному дослідником відносному довірчому інтервалі, вираженому у відсотках, можна знайти профілі, ідентичні заданому профілю шорсткості, за найближчими параметрами кореляційної функції. При іншому способі ідентифікації порівнюються кореляційні функції  $K_x(t)$  і  $K_y(t)$  двох профілів. Для цього по відомих залежностях вважається коефіцієнт кореляції  $K$ .

Таким чином, створена ВІС є ефективним засобом для контролю параметрів поверхневого шару деталей машин і наукових досліджень в області підвищення якості виробів. Система може бути використана в заводських лабораторіях, у науково-дослідних і навчальних організаціях технічного профілю, а також може знайти застосування в системах гнучких контрольно-вимірювальних машин.

## ЛІТЕРАТУРА:

1. Рыжов Э.В., Суслов А.Г., Фёдоров В.П. Технологическое обеспечение эксплуатационных свойств деталей машин. – М.: Машиностроение, 1979. – 176 с.
2. Суслов А. Г. Качество поверхностного слоя деталей машин. – М.: Машиностроение, 2000. – 320 с.
3. Рыжов Э. В., Аверченко В. И. Оптимизация технологических процессов механической обработки. / Отв. ред. А.П. Гавриш; АН УССР, Ин-т сверхтвёрдых материалов. – Киев: Наук. думка, 1989. – 192 с.
4. Сосонкин В. Л. Принцип построения открытых систем ЧПУ типа PCNC. / Конструкторско-технологическая информатика – 2000: Труды конгресса. В 2-х т. Т. 2 / IV международный конгресс. – М.: Изд-во "Станкин", 2000. – С. 170–173.

АВЕРЧЕНКОВ Володимир Іванович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри “Технологія машинобудування”, проректор з інформатизації Брянського державного технічного університету, Заслужений діяч науки Російської Федерації, академік Міжнародної академії інформатизації, м. Брянськ – Росія.

Наукові інтереси:

- формалізація методів технологічного проектування;
- технологічне забезпечення якості машин.

КОВАЛЬОВА Олена Володимирівна – викладач кафедри “Технологія конструкційних матеріалів” Брянського державного технічного університету, м. Брянськ – Росія.

Наукові інтереси:

- технологічне управління якістю оброблюваних поверхонь.

НАГОРКІН Максим Миколайович – аспірант Брянського державного технічного університету, м. Брянськ – Росія.

Наукові інтереси:

- технологічне управління якістю оброблюваних поверхонь.

ФЕДОРОВ Володимир Павлович – доктор технічних наук, професор кафедри “Технологія машинобудування” Брянського державного технічного університету, м. Брянськ – Росія.

Наукові інтереси:

- надійність технологічних процесів.