

2. Сердюк В. П. Расчет приводов машин легкой промышленности / В. П. Сердюк. – К.: Техніка, 1978. – 232 с.
3. Гарбарук В. Н. Проектирование трикотажных машин / В. Н. Гарбарук. – Л.: Машиностроение, 1980. – 472 с.
4. Голубенцев А. Н. Динамика переходных процессов в машинах со многими массами / А. Н. Голубенцев. – М.: Машгиз, 1959. – 306 с.
5. Кожевников С. Н. Динамика машин с упругими звеньями / С. Н. Кожевников. – К.: Изд-во АН УССР, 1961. – 190 с.
6. Піпа Б. Ф. Динаміка круглов'язальних машин / Б. Ф. Піпа, О. М. Хомяк, Г. І. Павленко. – К.: КНУТД, 2005. – 294 с.

УДК 621.787

**В.І. Гурей**, аспірант

Тернопільський національний технічний університет ім. І. Пулюя, м. Тернопіль, Україна

## МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ФРИКЦІЙНОГО ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

*Розроблено комп'ютерну програму в середовищі MatLAB для обчислення динамічних параметрів процесу фрикційного зміцнення плоских поверхонь деталей машин з застосуванням пристроїв зі змінною жорсткістю.*

**Ключові слова:** моделювання, динамічні процеси, фрикційне зміцнення.

*Разработана компьютерная программа в среде MathLAB для вычисления динамических параметров процесса фрикционного упрочнения плоских поверхностей деталей машин с применением приспособлений с изменяемой жесткостью.*

**Ключевые слова:** моделирование, динамические процессы, фрикционное упрочнение.

*A computer program is developed in MathLAB to calculate the dynamic parameters of the process of the frictional hardening of planar surfaces of machine parts using devices with variable stiffness.*

**Key words:** simulation, dynamic processes, friction hardening.

**Постановка проблеми.** Експлуатаційні характеристики деталей машин та механізмів залежать не стільки від якості металу всього перерізу, скільки від фізико-хімічних властивостей та стану поверхні виробів, які формуються на кінцевих стадіях виготовлення деталей. Обумовлено це тим, що в поверхневих шарах при різних схемах навантаження виникають найбільші напруження. При дії циклічних навантажень наявні концентратори сприяють розвитку втомних процесів у поверхневому шарі матеріалу. При виготовленні деталей машин необхідно забезпечити оптимальні показники якості поверхні, зокрема шорсткість, макро- і мікроструктуру матеріалу, твердість, величину і знак залишкових напружень.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** На сьогодні застосовуються методи поверхневої обробки та зміцнення з використанням висококонцентрованих джерел енергії. При цих методах на відносно невеликі об'єми поверхневого шару металу діють з великими швидкостями концентровані потоки енергії високої інтенсивності та з наступним його швидким охолодженням. Фрикційна обробка належить до таких методів поверхневого зміцнення. За своєю природою вона аналогічна до процесу шліфування. Висококонцентрований потік енергії утворюється при високошвидкісному (60-80 м/с) терті металевго інструмента-диска по оброблюваній деталі в зоні їх контакту. У зону обробки подається у технологічне середовище [1]. При такій обробці у поверхневому шарі деталей проходить інтенсивне зсувне деформування металу і відбуваються структурні та фазові перетворення з утворенням зміцнених (білих) шарів, які мають специфічні фізико-механічні, електрохімічні, корозійні й експлуатаційні характеристики [2].

Дослідження процесу фрикційного зміцнення проводились, в основному, стосовно формування поверхневого шару металу, вплив його на довговічність деталей. На фор-

мування параметрів якості обробленої поверхні суттєво впливають динамічні процеси, які виникають у зоні контакту інструмент-деталь при їх фрикційному зміцненні.

**Формулювання мети.** Динамічні процеси, які виникають при фрикційному зміцненні, практично не досліджувались. Тому метою цієї роботи було визначити динамічні параметри, які виникають при фрикційному зміцненні плоских поверхонь.

**Виклад основного матеріалу.** Фрикційне зміцнення, як зазначалось, аналогічне до процесу шліфування. Замість абразивного круга встановлюється металевий інструмент-диск. При зміцненні плоских поверхонь використовуються модернізовані плоскошліфувальні верстати, у яких збільшено колову швидкість на периферії робочої поверхні інструменту до 60-70 м/с. Для збільшення інтенсивності зсувного деформування поверхневого шару металу в зоні контакту інструмент-деталь, на робочій поверхні інструмента нарізані поперечні пази. Зміцнені поверхневі шари утворюються за рахунок дії теплового потоку та зсувного деформування.

Інструмент-диск притискається до оброблюваної поверхні деталі з силою, яка змінюється залежно від режимів обробки, застосовуваного технологічного середовища, форми робочої частини інструменту та інших параметрів. У зоні контакту діє сила взаємодії, яка виникає за рахунок високошвидкісного тертя інструмента по оброблюваній поверхні деталі. Робоча поверхня інструмента є перервною. Ширина паза вибирається такою, щоб вона була більшою від ширини зони контакту інструмент-деталь. При проходженні паза над зоною контакту сила притиску та сила взаємодії інструмент-деталь розривається контакт з інструментом і на певний момент часу вони рівні нулеві. При входженні у контакт наступного виступу інструменту проходить ударне навантаження зони контакту. Під дією вказаних сил відбувається коливання системи верстат-інструмент-притискування-деталь у горизонтальному і вертикальному напрямках.

Взаємодія між окремими масами описується двома видами зв'язків – пружними зв'язками, які характеризуються жорсткістю, та демпфуючими зв'язками, які характеризуються коефіцієнтами демпфування. Для дослідження пружної системи верстата розглядаємо систему вздовж горизонтальної і вертикальної осей.

Для опису пружної системи плоскошліфувального верстату при фрикційному зміцненні плоских поверхонь інструментом з перервною робочою частиною запишемо систему диференціальних рівнянь. Отриману систему диференціальних рівнянь розв'язуємо, застосовуючи метод Рунге-Кутта четвертого порядку, використовуючи середовище MatLAB. Блок-схема програми для моделювання динамічних процесів фрикційного зміцнення плоских поверхонь деталей із змінною жорсткістю пристрою наведена на рисунку 1, а робоче вікно програми – на рисунку 2.

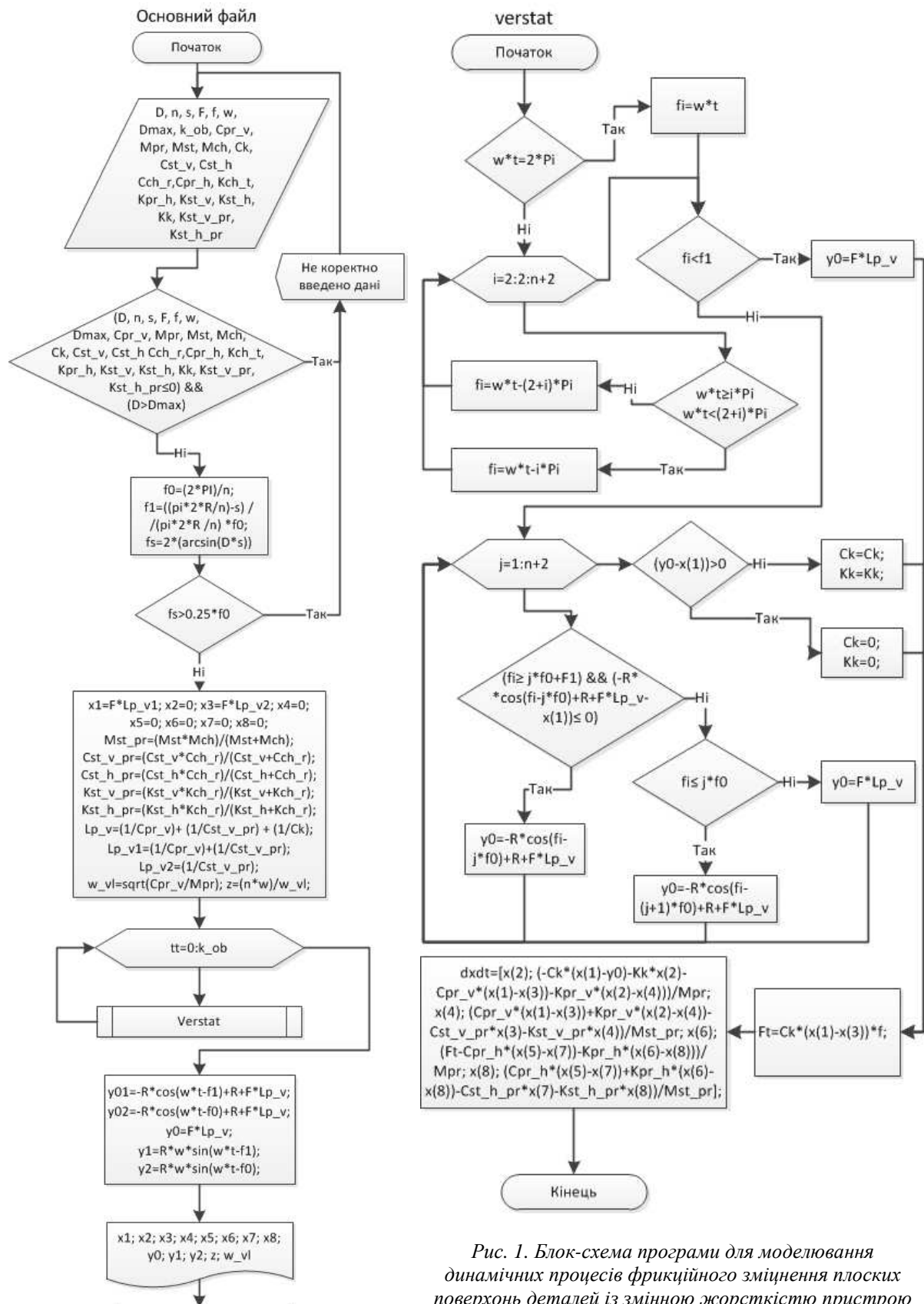


Рис. 1. Блок-схема програми для моделювання динамічних процесів фрикційного зміцнення плоских поверхонь деталей із змінною жорсткістю пристрою

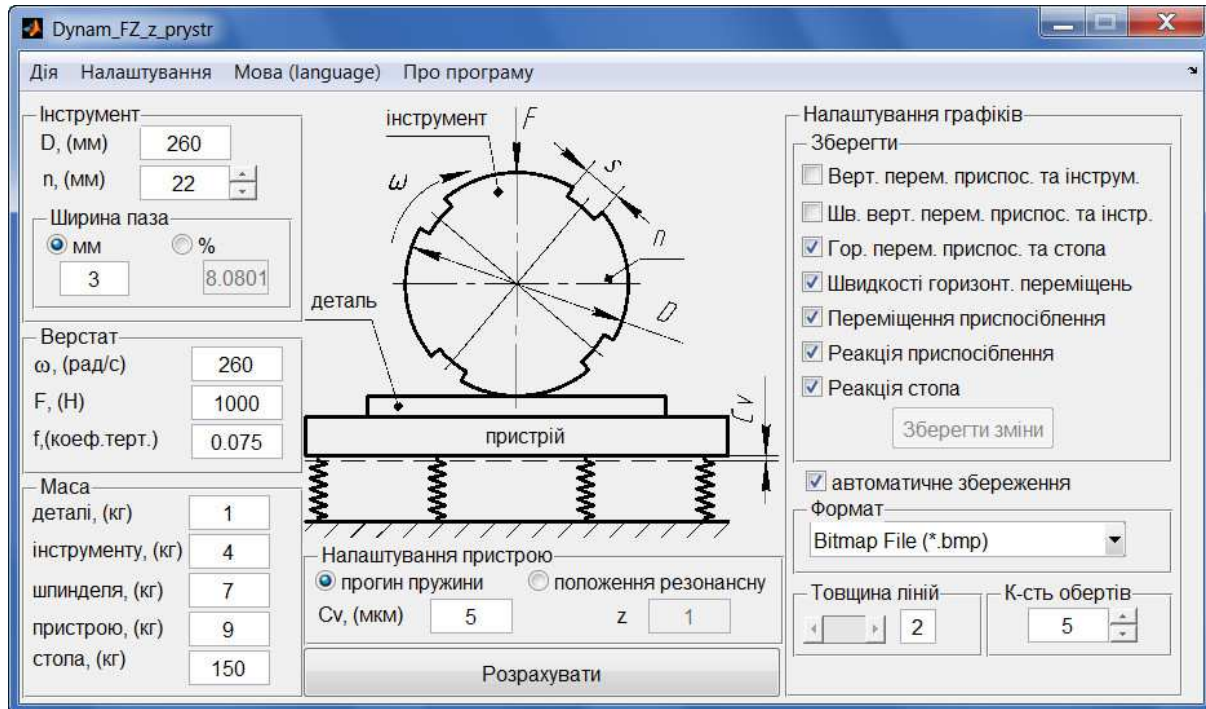


Рис. 2. Робоче вікно програми

Деталь на верстаті може бути закріплена на магнітній плиті, а також у спеціальному пристрої, який кріпиться на столі верстата. Пристрій розроблено таким чином, що можна змінювати його жорсткість. Дослідження показали, що на формування зміцненого шару впливає жорсткість верстату. Змінити жорсткість шпиндельного вузла чи стола верстату є проблематично, тому було запропоновано використовувати пристрій для закріплення деталі зі змінною жорсткістю.

Розроблена програма для динамічного моделювання пружної системи верстата дозволяє визначати вертикальні та горизонтальні переміщення інструменту, деталі, пристрою та стола верстата; відображає фазовий кут удару гладкої частини інструменту; швидкість вертикальних та горизонтальних переміщень інструменту, деталі, пристрою та стола верстата; реакції пристрою та стола верстата. У програмі маємо можливість зміни параметрів інструменту, маси інструменту, деталі, пристрою та стола верстата, а також жорсткість системи. Після завершення роботи програми отримані результати обчислень виводяться у вигляді графіків (рис. 3-4).

У момент проходження пазу над зоною контакту інструмент-деталь сам контакт між робочою поверхнею деталі й інструмента відсутні, так як вибрана ширина пазу є набагато більшою за зону контакту. При входженні гладкої частини інструменту відбувається ударне навантаження зони контакту. Зона контакту деформується під дією виступу початку гладкої робочої частини на величину вертикальної подачі, на яку виставлений інструмент. Поверхня зони контакту деталі продовжує ще переміщатись глибше і початковий момент навіть відривається від інструмента. У поверхневому шарі проходять затухаючі коливні переміщення у вертикальному напрямі. Після проходження гладкої частини інструменту і наступного входження пазу, поверхневий шар металу розвантажується і зона контакту переміщується вертикально, тобто відновлює свої розміри після зняття навантаження. У поверхневому шарі оброблюваної деталі проходять інтенсивні коливні процеси під дією ударних навантажень інструмента (рис. 3).

Точка перетину кривої переміщення тильної частини пазу з кривою переміщення поверхні деталі дає можливість визначити фазову кут удару інструменту по оброблюваній поверхні. За даним кутом ми можемо визначити швидкості вертикальних переми-

щень точки, яка є початком гладкої робочої частини інструменту та точкою на оброблюваній поверхні у зоні контакту інструмента з деталлю (рис. 3, б).

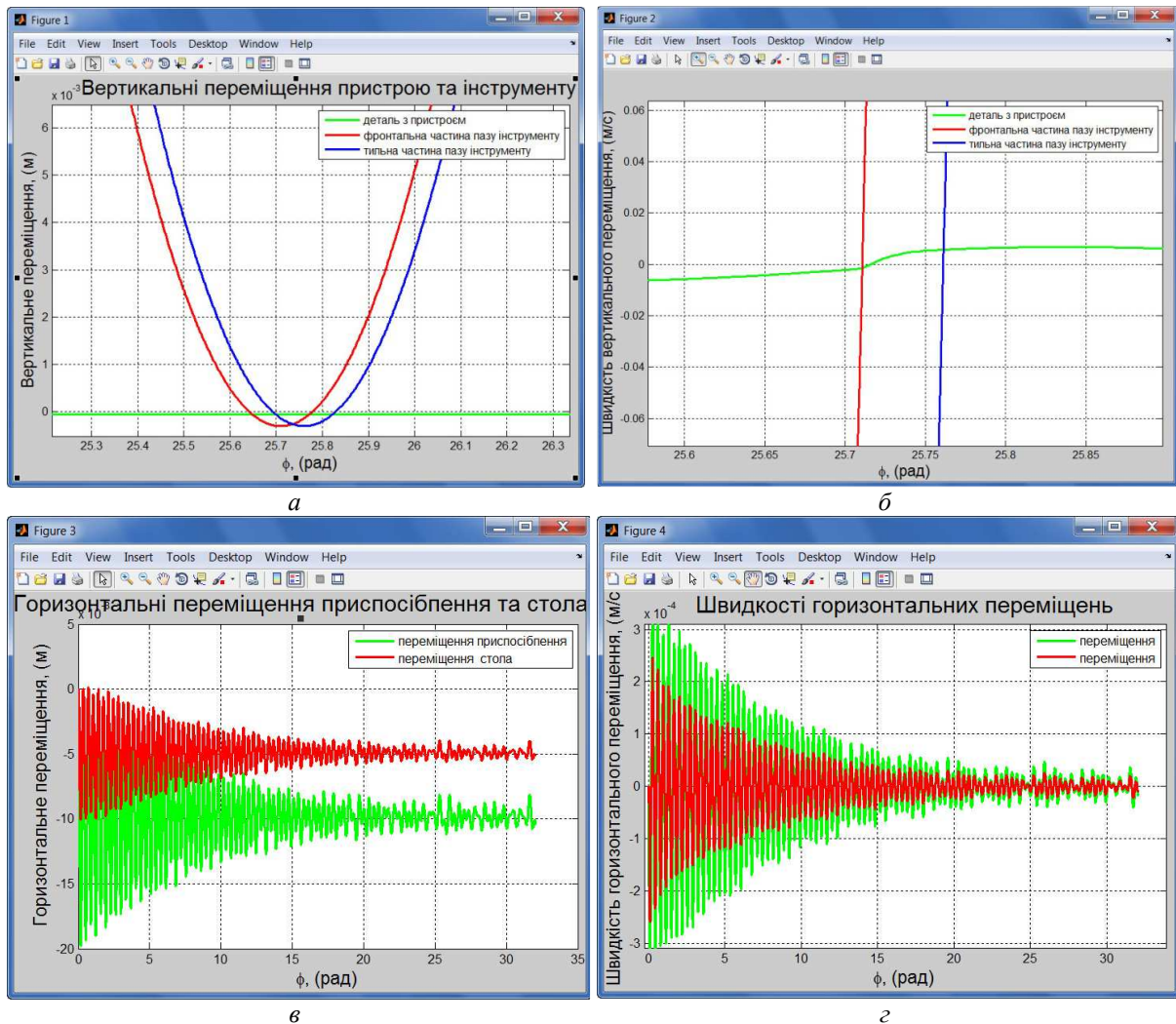


Рис. 3. Вертикальні переміщення пристрою та інструменту (а, б), горизонтальні переміщення пристрою та стола верстату (в) та швидкість горизонтальних переміщень (г) при фрикційному зміненні плоских поверхонь

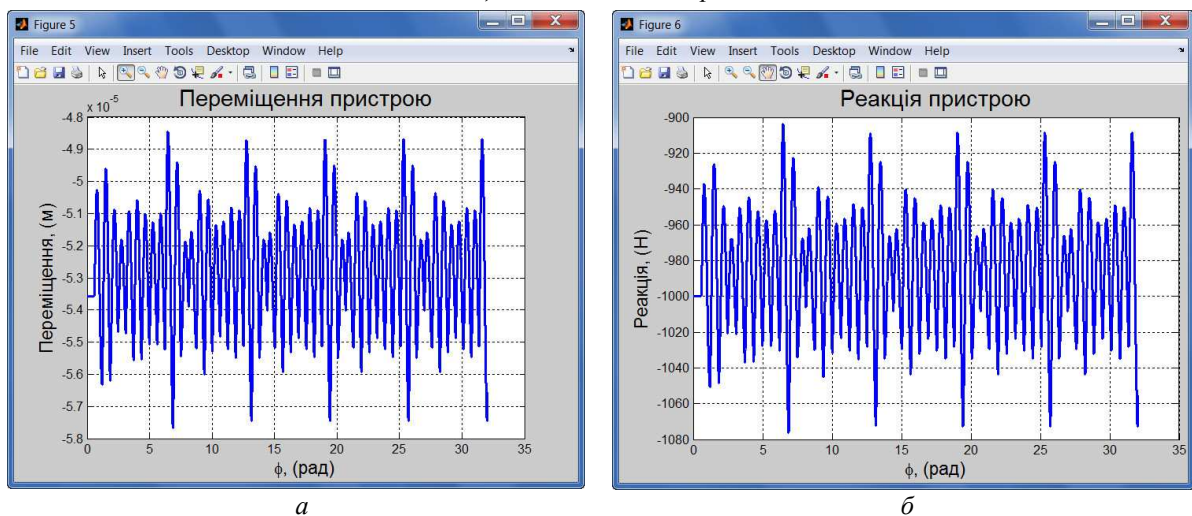


Рис. 4. Переміщення (а) та реакція (б) пристрою при фрикційному зміненні плоских поверхонь інструментом з нерівною робочою поверхнею

Характер зміни швидкості вертикальних переміщень оброблюваної поверхні показує про складні динамічні процеси, які виникають у поверхневих шарах при фрикційному зміцненні з використанням інструмента з поперечними пазами на його робочій частині. Вказані переміщення будуть впливати на якісні характеристики обробленої поверхні, а також на формування зміцненого шару.

**Висновки.** Розроблена комп'ютерна програма дослідження динамічної моделі процесів, які проходять при фрикційному зміцненні плоских поверхонь деталей машин інструментом з перервною робочою частиною, дозволяє оцінити вертикальні та горизонтальні переміщення, їх швидкості, фазовий кут удару інструменту і деталі, пристрою та стола верстата, а також реакції пристрою та стола верстата. При цьому отримуємо графічні залежності вказаних параметрів процесу зміцнення.

Отримані результати динамічних процесів при фрикційному зміцненні дозволяють оптимізувати режими зміцнення, виходячи з якісних параметрів обробленої поверхні.

#### **Список використаних джерел**

1. Бабей Ю. И. Поверхностное упрочнение металлов / Ю. И. Бабей, Б. И. Бутаков, В. Г. Сысоев. – К.: Наукова думка, 1995. – 253 с.
2. Гурей І. В. Формування нанокристалічних структур у поверхневих шарах сталевих деталей при фрикційному зміцненні / І. В. Гурей // Машиностроение и техносфера XXI века: сборник трудов международной научно-технической конференции: в 4-х т. Т. 1. – Донецк: ДонНТУ, 2008. – С. 276-279.