

Рис. 4 Схема зношування пари площина – площина: 1 – прошарок початку зношування, 2 – прошарок виходу на основу

має принципове значення для реалізації концепції керованого формування трибосистем азотуванням в тліючому розряді – з'являється можливість співставлення показників зносостійкості з фазовим складом поверхні тертя, оскільки вона в будь-якому прошарку є практично гомогенною структурою.

З проведеного в роботі аналізу слідує висновок, що з усіх розглянутих схем дослідження зносостійкості зразків найбільш прийнятною як з точки зору порівнювання результатів, так і з огляду на розробку перспективної керованої технології формування трибосистем азотуванням в тліючому розряді слід признати схему площина-площина. В принципі форма поперечного перетину зразка може призначатись тільки з умови технологічності забезпечення необхідної точності розмірів. Деяку похибку на початку процесу зношування вносить неминуче закруглення ребра, проте його розмір незначний в порівнянні до діаметра зразка.

### Література

1. Крагельский И. В., Добычин М. Н., Комбалов В. С. Основы расчетов на трение и износ. – М.: Машиностроение, 1977. – 526 с.
2. Справочник по триботехнике / Под общ. ред. М. Хебды, А. В. Чичинадзе в 3 т. Т. 1. Теоретические основы. – М.: Машиностроение, 1989. – 400 с..
3. Словарь-справочник по трению, износу и смазке / Е. Л. Швидков, Д. Я. Ровинский, В. Д. Зозуля, Э. Д. Браун. – К.: Наукова думка. – 1979. – 188 с..
4. Крагельский И. В., Михин Н. М. Узлы трения машин: Справочник. – М.: Машиностроение, 1983. – 320 с.
5. Гаркунов Д. Н. Триботехника: Учебник для студентов вузов. – 2-е изд.. – М.: Машиностроение. – 1989. – 328 с..
6. Долговечность трущихся деталей / Под ред. Д. Н. Гаркунова. – М.: Машиностроение, 1986. – Вып. 1 264 с.; 1987. – Вып. 2. – 203 с.; 1988. – Вып. 3. – 245 с.
7. Кузьменко А. Г. Методи розрахунків і випробувань на зношування та надійність: Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. – Хмельницький: ТУП, 2002. – 151 с.
8. Прочность, устойчивость, колебания. Справочник в трех томах / Под ред. Н. А. Биргера. – М.: Машиностроение. – Т.1. 831 с.
9. Каплун В. Г. Научные основы технологии упрочнения деталей машин и инструмента ионным азотированием в безводородных средах: Дис.... д.т.н.: 05.02.01. – Хмельницкий, 1992. – 450 с.

Надійшла 9.9.2009 р.

УДК 621.78/ (66.088+537.52+66.046)

І.М. ПАСТУХ, Н.С. МАШОВЕЦЬ  
Хмельницький національний університет

## ЕНЕРГЕТИЧНІ СПЕКТРИ ПРИ АЗОТУВАННІ ТИТАНУ В ТЛЮЧОМУ РОЗРЯДІ

*Розглянуті принципи формування енергетичних спектрів при азотуванні титанових сплавів в тліючому розряді.*

*Principles of shaping of energy distributions surveyed at a nitrogen hardening of titanium alloys in a glow discharge.*

Ключові слова: азотування титанових сплавів, енергетичні спектри.

В загальному вигляді при азотуванні в тліючому розряді падаючий потік, енергетична дія якого саме й формує модифікований поверхневий шар, складається з нейтральних та заряджених часток [1, 2]. Розроблена на базі цієї концепції енергетична модель покладена в основу теоретичного обґрунтування принципу керованого формування структури поверхні залежно від вимог експлуатації об'єктів модифікації. Запропонована система аналітичних критеріїв цілком адекватно відображає реальні процеси та результати модифікації [3 – 5], що дозволяє стверджувати про можливість не тільки проектувати технологічні процеси азотування в тліючому розряді, але і оптимізувати типові з метою пристосування їх до конкретних вимог, які висуваються до певних об'єктів азотування.

Енергетична модель реалізується на принципі сепарації енергетичних спектрів падаючого потоку

(ЕСПП), тобто виділення з нього тільки тих зон енергії часток потоку, в яких можливе протікання тих чи інших процесів. Важливо в цьому сенсі зазначити, що операція сепарації враховує не тільки рівень енергії та кількісний показник часток, які мають цю енергію, але також імовірнісні характеристики кутів передачі енергії від часток падаючого потоку часткам поверхні. Принципи розрахунків ЕСПП викладені в [1, 6]. Модель розрахунку ЕСПП методологічно побудована за принципом пошарового аналізу елементарних підпроцесів в області катодного падіння з наступною диференціацією часток по енергетичних рівнях. Враховувались наступні елементарні підпроцеси, що мають місце в умовах тліючого електричного розряду в газі: вторинна іонно-електронна емісія; термоелектронна емісія; пряма іонізація молекул й атомів електронним ударом; ступінчата іонізація молекул й атомів; дисоціація молекул електронним ударом; пружні зіткнення часток газу; резонансна перезарядка. Не враховувалася через несуттєвий вплив дисоціативна рекомбінація молекулярних іонів (по порядку величин перетин іонізації  $10^{-20}$  м<sup>2</sup>, а дисоціативної рекомбінації –  $10^{-27}$ - $10^{-32}$  м<sup>2</sup>). У якості вихідних даних приймалися склад газового середовища, напруга розряду  $U$ , В, тиск у розрядній камері  $p$ , тор, густина струму розряду  $j$ , А/м<sup>2</sup>, температура газового компонента  $T$ , °К. Програма розрахунку ЕСПП включала типові блоки формування енергетичних спектрів для заряджених часток молекулярного та атомарного азоту, атомарного аргону, молекулярного та атомарного водню, а також для швидких нейтральних часток цих же компонентів. При цьому слід зазначити, як це встановлено в [1, 3], інтенсивність потоків швидких нейтральних часток, котрі виникають внаслідок резонансної перезарядки – елементарного підпроцесу, імовірність якого в деяких умовах на порядок вища іонізації, порівняний, а в деяких випадках навіть перевищує інтенсивність потоку заряджених часток. До цього слід додати, що швидкі нейтральні частки, як правило, займають низькоенергетичну частину ЕСПП. Алгоритм розрахунку енергетичних спектрів окремих компонентів показано на рис. 1.



Рис. 1. Блок-схема розрахунку ЕСПП компонентів

Необхідність більш детального розгляду ЕСПП для процесу азотування титанових сплавів пояснюється насамперед тим, що технологічні параметри більш жорсткі (вища температура та тиск, дещо інший склад газових середовищ). Крім того, титанові сплави відносяться до активних по відношенню до азоту, оскільки енергія утворення нітридів титану суттєво менша енергії утворення нітридів заліза. З цієї причини азотування титанових сплавів при високому азотному потенціалові, як правило призводить до миттєвого утворення на поверхні шару нітридів. Цей шар блокує утворення всіх інших типових структур, характерних для азотування в тліючому розряді, а також процеси дифузії. В результаті товщина модифікованого шару незначна, часто вимірюється декількома мікрометрами, що і пояснює низьку результативність обробки. Наведені нижче ЕСПП розраховані тільки для азотно-аргонових середовищ при різних співвідношеннях вмісту компонентів за об'ємом. Наявність водню, як це впливає з [1], призводить до збільшення максимальної енергії (в наведених спектрах вона наближається до 120 еВ, при наявності водню максимальні значення енергії досягали б 150 еВ). На всіх розміщених нижче рисунках чітко виділяються три максимуми. Перший з них, лівіший, відповідає потоку швидких нейтральних часток, другий – середній – молекулярному азоту та атомарному аргону, останній – правий – атомарному азоту. Це дає змогу на основі енергетичної моделі процесу передбачати імовірність протікання тих чи інших підпроцесів з участю названих компонентів. Всі криві ЕСПП в кількісному відношенні відображають відносні величини інтенсивності потоків, тому кожна з них нормована на одиницю, оскільки фактично на рисунках, наведених нижче, представлені відносні ЕСПП (відношення значення ЕСПП в абсолютних

одиницях (номінальний ЕСПП) до густини потоку іонів, яка визначається через густину струму розряду). Такий принцип дозволяє розраховувати абсолютні значення кількості часток з певною енергією при відомій густині струму як однієї з основних електричних характеристик розряду.

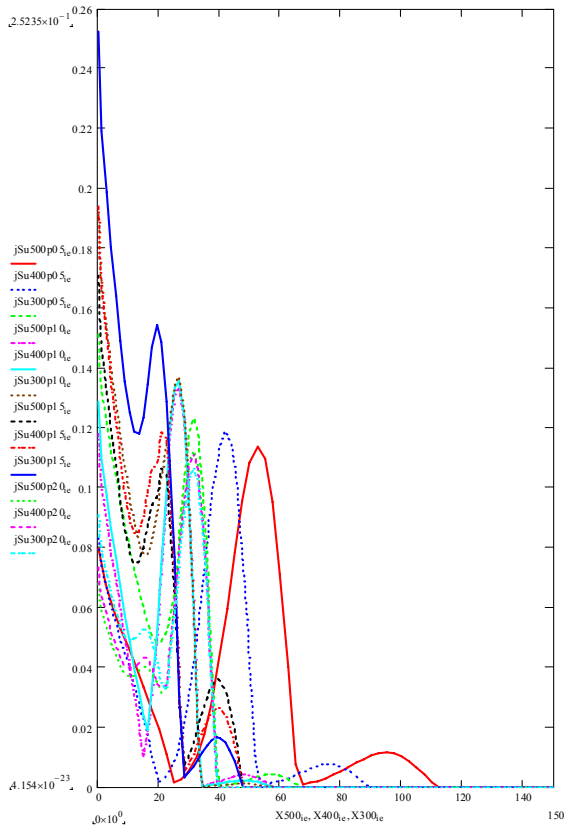


Рис. 2. ЕСПП для середовища: азот 10 %, аргон 90 %, температура 813°К, густина струму 10 А/м<sup>2</sup>

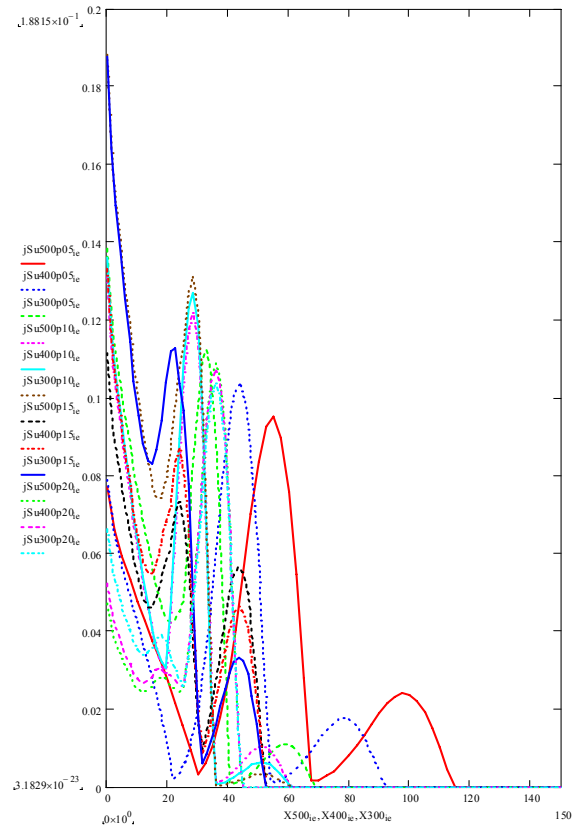


Рис. 3. ЕСПП для середовища: азот 10 %, аргон 90 %, температура 973°К, густина струму 15 А/м<sup>2</sup>

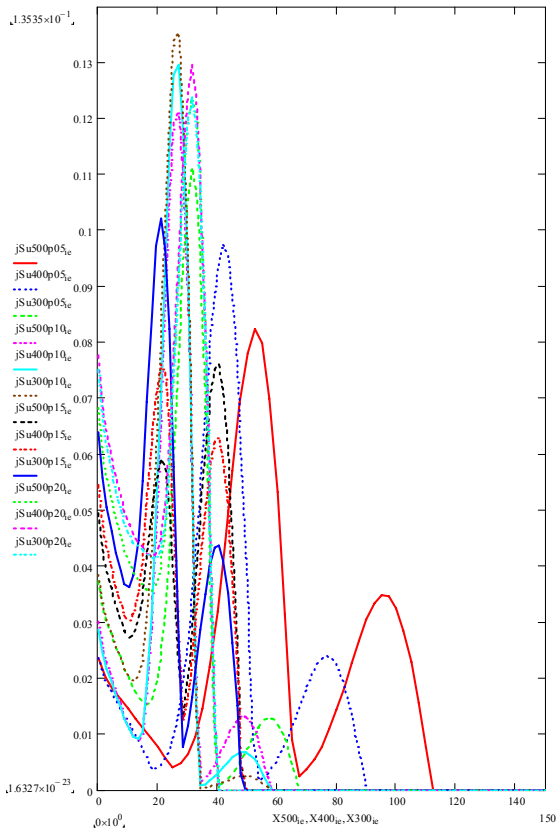


Рис. 4. ЕСПП для середовища: азот 50 %, аргон 50 %, температура 813°К, густина струму 10 А/м<sup>2</sup>

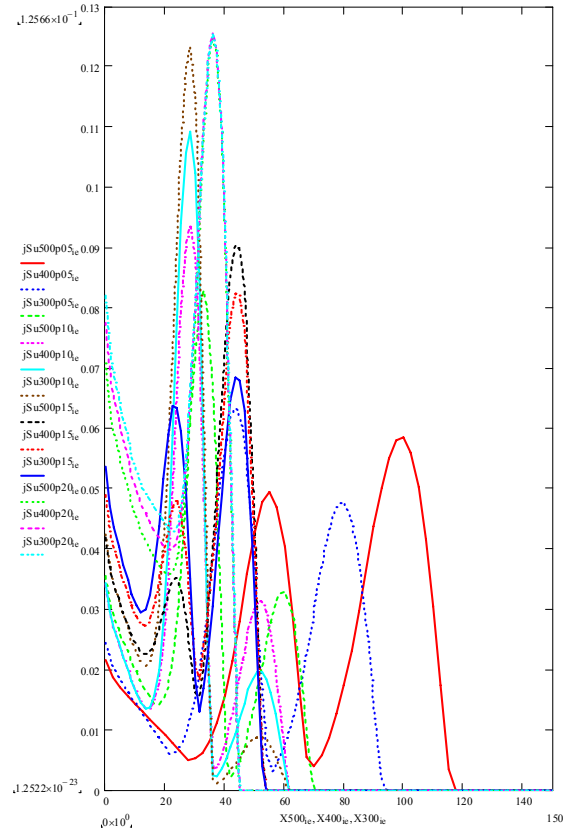


Рис. 5. ЕСПП для середовища: азот 50 %, аргон 50 %, температура 973°К, густина струму 15 А/м<sup>2</sup>

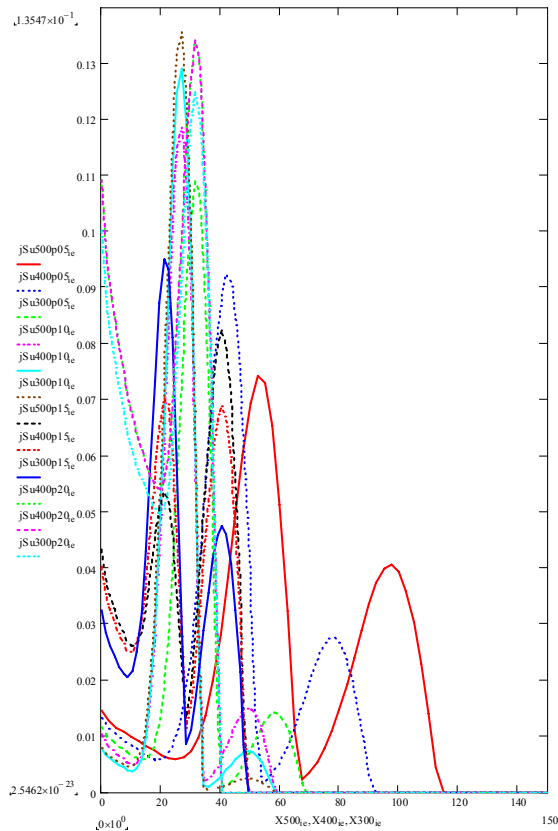


Рис. 6. ЕСПШ для середовища: азот 75 %, аргон 25 %, температура 813°K, густина струму 10 A/m<sup>2</sup>

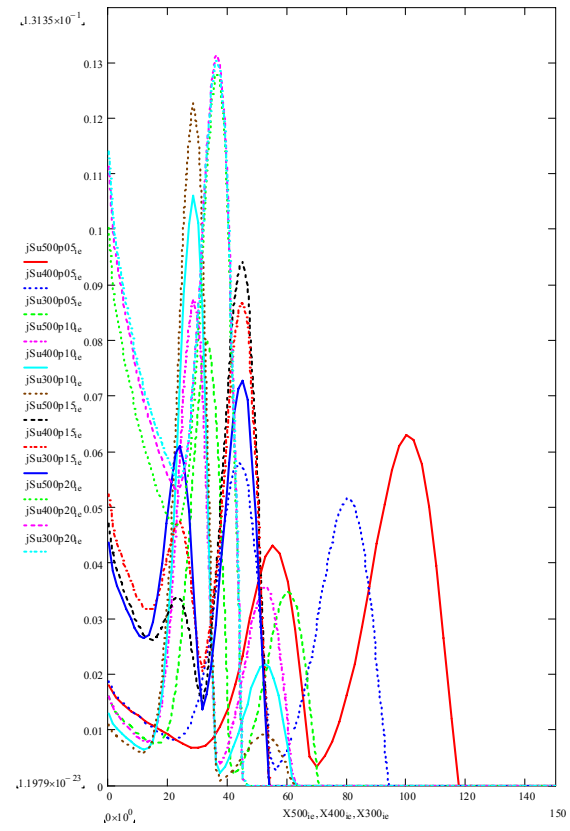


Рис. 7. ЕСПШ для середовища: азот 75 %, аргон 25 %, температура 973°K, густина струму 15 A/m<sup>2</sup>

Перший висновок, який слідує з порівняння рис. 2-7, полягає в тому, що форма енергетичних спектрів та абсолютні значення кількісних відносних характеристик суттєво залежать від параметрів технологічного режиму. Наприклад, якщо відслідковувати криву, правий кінець якої досягає енергії близько 120 eV, то для середовища N10Ar90 (тут і далі умовні позначення розшифровуються по типу цього прикладу – азот 10 % вмісту за об'ємом, аргон – 90 %) при температурі 813°K лівий кінець цієї ж кривої досягне значення біля 0,08. В аналогічній ситуації для середовища N75Ar25 при температурі 973°K – тільки 0,018, тобто значення відрізняються в чотири рази. Співставлення тих же прикладів за показником максимальних значень в околі енергії порядку 1 eV дає аналогічно 0,25 та 0,115. Для середовищ, де переважає аргон (рис. 2, 3) найбільші значення відповідають діапазону низьких енергій, для середовищ з підвищеним вмістом азоту зона максимальних значень відповідає енергії порядку 30-45 eV.

В середовищах, де переважає аргон, весь спектр зміщується в сторону низьких енергій. Це пояснюється, насамперед, тим, що більш важкий аргон має коротшу довжину вільного пробігу, тобто нижчий потенціал першого від катода прошарку вільного пробігу [1]. Результатом цього є відносно краща здатність утворення нітридів при одночасно достатній можливості розпорощення поверхневих утворень. В комплексі це призводить не тільки в певній мірі до нейтралізації блокуючого ефекту утворених шарів нітридів шляхом їх помірною розпорощення, але і до інтенсифікації утворення нових, розпаду їх і дифузії азоту в глибину поверхневого шару, тобто до збільшення глибини модифікованого шару і ефективності обробки в цілому.

Максимальна енергія при інших однакових умовах залежить від міжелектродної напруги в розрядній камері. Це можна відслідковувати по правих кінцях трьох кривих, розташованих послідовно з права наліво. Відповідно вони розраховані при напрузі 500, 400, 300 В. Разом зі зменшенням максимальної енергії зменшуються числові значення піків, наприклад, для рис. 7 вони відповідно складають 0,065; 0,054 та 0,035. Тиск впливає екстремально, як це неодноразово відмічалось для електричних і енергетичних характеристик розряду, а також результатів азотування, що підтверджує встановлений Арзамасовим Б.М. принцип мінімальної потужності як критерію оптимальності технологічного процесу. Проте на відміну від сталей оптимальний тиск відповідає дещо більшим значенням, що підтверджується дослідженнями результатів азотування [5].

Ріст температури спричиняє певне зміщення спектрів в сторону більших енергій, причому в цьому випадку зростають кількісні характеристики піків. Причиною цього є те, що при інших однакових параметрах технологічного режиму ріст температури в певній мірі аналогічний збільшенню числа часток в одиниці об'єму. З протилежної точки зору при вищій температурі менша кількість часток створює більший ефект їх активності. Тому при більш високих температурах енергетична дія падаючого потоку призводить до більш активного розпорощення поверхні та стимулює дифузію. В результаті при надмірно високих

температурах, як це має місце у високотемпературних режимах азотування титанових сплавів, знижується міцність основи, розпадаються нітриди, ефективність модифікації зменшується. Останнє цілком переконливо свідчить про перспективність низькотемпературного азотування титанових сплавів в тліючому розряді, що підтверджено експериментально [5].

Комплексним результатом зміни складу газового середовища є при інших однакових умовах зміна довжини вільного пробігу опосередкованої частки, що безпосередньо впливає на енергетику процесу. В цілому зростання майже всіх параметрів призводить до зміщення спектру в область високих енергій, середні значення характеристик технологічного режиму групує спектр в основному в зоні середніх енергій. Аналогічне можна відмітити і стосовно вмісту азоту в газових середовищах.

Таким чином, енергетичні спектри падаючого потоку дозволяють прогнозувати результати азотування титанових сплавів в тліючому розряді, причому зміною цілої низки параметрів технологічного режиму стає можливим корегувати результати модифікації та оперативно керувати процесом. Враховуючи зазначене вище, комбінаторика основних параметрів технології дозволяє перевести процес проектування її на наукову основу в протизагу громіздкому та дорогому методу технологічних проб.

### Література

1. Пастух И. М. Теория и практика безводородного азотирования в тлеющем разряде. – Харьков: ННЦ ХФТИ, 2006. – 364 с.
2. Пастух І. М. Енергетичний аналіз моделей азотування в тліючому розряді // Вісник ХНУ. – 2006. – № 5. – С. 7-14.
3. Пастух І. М., Здибель О. С. Практична апробація положень теорії азотування в тліючому розряді // Вісник ХНУ. – 2007. – № 1. – С. 7-25.
4. Пастух І. М., Машовець Н. С. Прогнозування формування нітридів в титанових сплавах при азотуванні в тліючому розряді // Вісник ХНУ. – 2007. – № 3. – Т. 2. – С. 28-37.
5. Пастух І. М., Машовець Н. С. Зв'язок аналітичних критеріїв з реальними структурами титанових сплавів, азотованих в тліючому розряді // Вісник ХНУ. – 2008. – № 6. – С. 16-22.
6. Пастух І. М. Енергетичний спектр падаючого потоку при азотуванні в тліючому розряді // Вісник ТУП. – 2005. – № 5. – Ч. 1. – Т. 1. – С. 5-15.

Надійшла 29.9.2009 р.

УДК 677.055

Б.Ф. ПППА, В.В. ЧАБАН

Київський національний університет технологій та дизайну

## ПРИВІД КРУГЛОВ'ЯЗальної МАШИНИ З ДЕМПФІРУЮЧИМ ПРИСТРОЄМ ТА ВИБІР ЙОГО ПАРАМЕТРІВ

*Запропонована нова перспективна конструкція приводу круглов'язальних машин з демпфіруючим пристроєм, що забезпечує зниження динамічних навантажень в механізмі в'язання в період несталого руху машини та метод вибору раціональних параметрів демпфіруючого пристрою.*

*The new perspective construction of occasion of round knitting machines is offered with a damping device which provides the decline of the dynamic loadings in the mechanism of knitting in the period of unstable motion of machine and method of choice of rational parameters of damping will build on.*

Ключові слова: привід круглов'язальної машини, конструкції.

### Вступ

Підвищення ефективності роботи круглов'язальних машин можливе за рахунок вдосконалення їх окремих механізмів, зокрема приводу [1, 2]. При цьому особливу увагу слід приділяти оснащенню приводу пристроєм для зниження динамічних навантажень, що виникають в період несталого режиму руху круглов'язальної машини [3].

Враховуючи доцільність підвищення ефективності роботи круглов'язальних машин, проблема розробки нових конструкцій приводів та методик вибору їх робочих параметрів є актуальною для сучасного легкого машинобудування.

Об'єктом досліджень обрано привід круглов'язальної машини з демпфіруючим пристроєм та метод вибору його робочих параметрів.

При розв'язанні задач, поставлених у даній роботі, були використані сучасні методи теоретичних досліджень, що базуються на теорії проектування в'язальних машин.

Завданням досліджень стала розробка нової конструкції приводу круглов'язальної машини з пристроєм, що дозволяє знизити динамічні навантаження на один з основних механізмів машини – в'язальний, що виникають під час пуску та гальмування.