

Для стали DP980 получена феноменологическая модель эволюции прочностных характеристик, которая одновременно учитывает влияние деформационного упрочнения, технологической температуры нагрева и технологической выдержки при пиковой температуре. Уравнение (4) позволяет проектировать операции ремонта, рассчитывать длину сварочных швов, прогнозировать прочностные характеристики деталей после ремонта.

Интерес дальнейшего исследования представляют величина допустимого ослабления деталей из расчета обеспечения заданного уровня пассивной безопасности, а так же критерии неразрушающего контроля качества ремонта, позволяющие определить текущие свойства стали кузова после ремонта с неизвестными режимами.

Список использованных источников

1. Огородников В. А. Приложение метода определения напряженно-деформированного состояния в пластической области измерением твердости деформированного металла к решению задач технологической механики / В. А. Огородников // Вопросы механики и физики процессов резания и холодного пластического деформирования: сборник научных трудов института сверхтвердых материалов НАН Украины. Серия Г: Процессы механической обработки. – К., 2012. – С. 359-366.
2. Byun T.S. Tensile Properties and Inhomogeneous Deformation of Ferrite-Martensite Dual-Phase Steels / Byun T.S., Kim I.S. // Journal of Materials Science, 28. – 1993. – p. 2923-2932.
3. Erdogan M., The Effect of New Ferrite Content on the Tensile Fracture Behaviour of Dual Phase Steels, Journal of Materials Science, 37. – 2002. – p. 3623-3630.
4. Bag A. Influence of Martensite Content and Morphology on Tensile and Impact Properties of High-Martensite Dual-Phase Steels/ Bag A., K.K. Ray, E.S. Dwarakadasa// Metallurgical and Materials Transactions A, 30. – 1999. – p. 1193-1202.
5. Фалалеев А. П. Моделирование поведения двухфазных сталей на операциях холодной ремонтной вытяжки кузовов автомобилей / А. П. Фалалеев // Наукові нотатки ЛНТУ: зб. наук. праць. Вип.12. – Луцьк, 2012. – С. 85-92.
6. Фалалеев А. П. Влияние температурных режимов кузовного ремонта на эволюцию механических свойств двухфазных автомобильных сталей / А. П. Фалалеев // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту ДонНТУ: науково-виробн. зб. Вип. 13. – Донецьк, 2012. – С. 56-64.

УДК 621.822.172:621.7.079

Д.Ю. Федориненко, канд. техн. наук

О.А. Плівак, асистент

С.В. Майданюк, асистент

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТОЧНОСТІ РЕГУЛЬОВАНОЇ ГІДРОСТАТИЧНОЇ ВТУЛКИ ШПИНДЕЛЬНОГО ПІДШИПНИКА

Запропонована нова конструкція гідростатичної втулки регульованої радіальної опори шпинделя. Розроблена методика вимірювання показників точності опорної поверхні гідростатичної втулки з урахуванням особливостей її будови. Здійснено спектральний аналіз точності контуру опорної поверхні гідростатичної втулки. Визначені статистичні характеристики амплітуд та початкових фаз спектра опорної поверхні втулки. Встановлені закономірності формування амплітуд гармонік спектра контуру опорної поверхні залежно від технології виготовлення втулки.

Ключові слова: точність, гідростатична втулка, спектральний аналіз, технологія виготовлення.

Предложена новая конструкция гидростатической втулки регулируемой радиальной опоры шпинделя. Разработана методика измерения показателей точности опорной поверхности гидростатической втулки с учетом особенностей ее строения. Осуществлен спектральный анализ точности контура опорной поверхности гидростатической втулки. Определены статистические характеристики амплитуд и начальных фаз спектра опорной поверхности втулки. Установлены закономерности формирования амплитуд гармоник спектра контура опорной поверхности в зависимости от технологии изготовления втулки.

Ключевые слова: точность, гидростатическая втулка, спектральный анализ, технология изготовления.

The new construction of the regulable hydrostatic bush of spindle radial support is offered. The method of measuring of hydrostatic bush base surface exactness indexes is developed taking into account the features of its structure. The spectrology of exactness is carried out to the contour of hydrostatic bush base surface. Statistical descriptions of bush

spectrum amplitudes and initial phases are definite. Conformities to the law of spectrum accordions amplitudes forming are set to the contour of base surface depending on manufacturing of bush methods.

Key words: *exactness, hydrostatical bush, spectrology, manufacturing methods.*

Постановка проблеми. Найбільш відповідальним елементом регульованої шпindelної гiдростатичної опори (ГСО) є гiдростатична втулка, від точності виготовлення якої багато в чому залежить точність підшипника в цілому.

Відсутність методик урахування впливу параметрів точності опорних поверхонь підшипника приводить до визначення завищених розрахункових експлуатаційних показників, що, у свою чергу, спричиняє зменшення надійності роботи опори та вихідних показників точності обертання шпindelя під навантаженням з боку процесу різання. Це значно ускладнює обґрунтований вибір експлуатаційних параметрів системи живлення, що обумовлює зниження показників якості шпindelних вузлів із ГСО і стримує їх впровадження у верстатах.

Аналіз досліджень і публікацій. У роботах Коровчинського М.В. [1], Білоусова О.І. [2] оцінено вплив деяких похибок форми спряжених поверхонь підшипників ковзання на функцію тиску, несучу здатність, витрати рідини. Показано, що несуча здатність, момент тертя, витрата рідини істотно залежать від точності спряжених поверхонь навіть при незначних відхиленнях функції зазору від гармонійної складової.

У роботах Бушуєва В.В. [3], Ковальова В.Д. [4] показано, що деформації опорних поверхонь чинять шкідливий вплив на всі експлуатаційні характеристики ГСО. Вплив шорсткості опорних поверхонь ГСО досліджувався в роботі [5]. Вказано, що в найбільшому ступені шорсткість (при $Rz \leq 0,4$ мкм) впливає на витрати рідини (до 5 %), несуча здатність при цьому змінюється в межах 0,3 %.

У монографії [6] показано, що геометричні похибки спряжених опорних поверхонь, які формуються під час виготовлення підшипника, спричиняють погіршення його експлуатаційних характеристик, насамперед несучої здатності та жорсткості.

Слід також зазначити, що існуючі методики проектування не враховують вплив деформації, технологічної спадковості гiдростатичної втулки на експлуатаційні характеристики шпindelних ГСО, що не припустимо для регульованих конструкцій опор.

Мета статті. Метою цієї роботи є розробка методики вимірювання, аналізу показників точності опорної поверхні гiдростатичної втулки регульованої конструкції та їх впливу на точність шпindelного радіального підшипника.

Виклад основного матеріалу. Як об'єкт аналізу розглянемо гiдростатичну втулку регульованої радіальної ГСО [7], дослідний зразок якої показаний на рисунку 1.

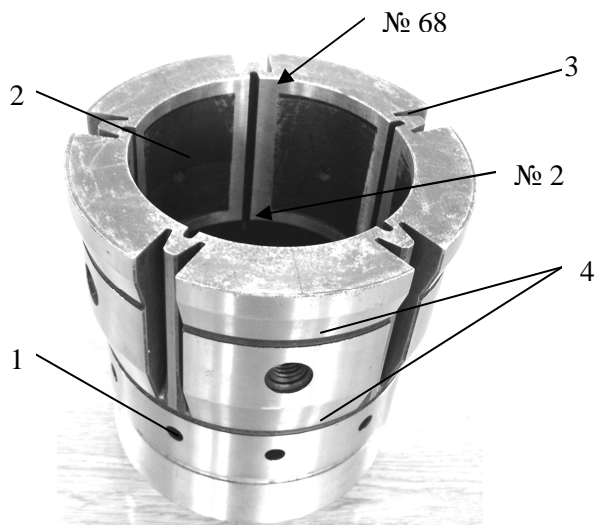


Рис. 1. Дослідний зразок гiдростатичної втулки

З метою підвищення жорсткості підшипника гiдростатична втулка містить п'ять карманів 2, які підключені через постійні дроселі до джерела стисненої рідини. Для компенсації впливу нерівномірності регулювання зазору на точність обробки зазначена втулка виконана з двома короткими кінчними поясками 4 з кутом нахилу 15° до осі шпindelя. Для розвантаження опорної частини підшипника від осьових зусиль у різевому з'єднанні на хвостовій частині втулки виконані в тангенціальному напрямку десять наскрізних отворів 1.

З метою надання втулці пружних властивостей на її зовнішній поверхні виконана група пазів криволінійного профілю 3, між якими утворені кармани для підводу рідини (рис. 1), причому зазначені пази розташовані в безпосередній близькості один від одного, а сусідні пази виконані почергово на внутрішній та зовнішній поверхнях втулки.

Оцінювання точності гідростатичної втулки здійснювалося за показниками відхилення від циліндричності та круглості її опорної поверхні. Для вимірювання зазначених показників використано комплекс (рис. 2), який складається з кругломіра 1 моделі 298 зі штатним записуючим пристроєм 2, аналого-цифрового перетворювача (АЦП) 3 та персонального комп'ютера (ПК) 4.

Кругломір дозволяє виконувати вимірювання від круглості та циліндричності. Його побудовано на принципі прецизійного обертання деталі навколо осі O відносно нерухомого щупа $D1$. Щуп має можливість переміщуватися вздовж осі деталі.

Під час обертання деталі в прецизійному шпинделі кругломіра необхідно чітко визначити кутові положення деталі відносно щупа, тобто знати координати точок контакту вимірюваної поверхні деталі зі щупом у полярній системі координат. Для вирішення цього завдання в конструкцію приладу було внесено конструктивні доповнення – встановлено додаткові датчики $D2$ (рис. 2) для відстежування кутового положення шпинделя приладу. Таким чином, на АЦП з кругломіра передається два сигнали: один – відхилення реального профілю деталі, другий – кутове положення шпинделя.

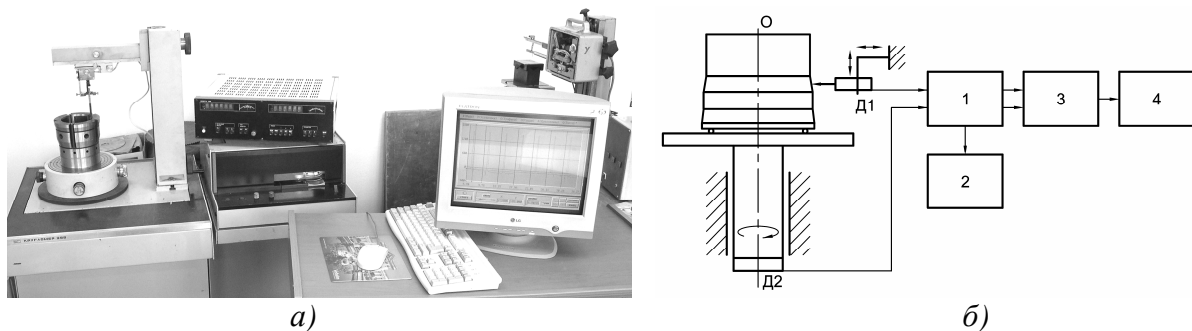


Рис. 2. Загальний вигляд:

а) та схема; б) комплексу для вимірювання точності гідростатичної втулки

Визначення відхилень опорної поверхні втулки від циліндричності, круглості здійснено за результатами вимірювання відхилень радіальної координати контурів поперечних перерізів при фіксованому положенні її осі. Вимірювання круглограм здійснено в 70 поперечних перерізах по опорній довжині втулки з кроком між сусідніми перерізами 1 мм.

Вимірювання виконуються в такій послідовності: контроль параметрів вимірюваної деталі (габаритних розмірів, ваги); підготовка приладу до вимірювань, яка включає проведення калібрування приладу; центрування деталі; нівелювання осі деталі до осі шпинделя приладу; встановлення обмежень переміщення щупа для переривчастих поверхонь гідростатичної втулки; проведення вимірювань; обробка результатів вимірювань.

Калібрування приладу відбувається із застосуванням спеціальних установочних мір, які дозволяють встановити прецизійний шпиндель приладу з мінімальним відхиленням відносно його осі, а також отримати масштабні коефіцієнти.

Далі проводиться настроювання приладу з встановленою гідростатичною втулкою, а саме: центрування та нівелювання осі опорної поверхні втулки з метою встановлення мінімального відхилення центру ваги деталі відносно осі шпинделя, а також суміщення осей опорної поверхні втулки і шпинделя приладу.

Вимірювання відхилень від циліндричності на комплексі було зведене до вимірювання профілів опорної поверхні втулки в окремих перерізах, перпендикулярних до її

осі. При цьому шляхом центрування та нівелювання осі деталі було максимально наближено прилеглий циліндр опорної поверхні втулки до уявного циліндра з мінімальним відхиленням від циліндричності в крайніх перерізах.

Для аналізу частотного складу круглограм здійснено їх спектральний аналіз.

Спектральний аналіз здійснено за результатами математичного опису контуру опорної поверхні втулки, для чого здійснено її експериментальні виміри на кругломірі з послідуною цифровою обробкою. Дискретні значення ординати перерізу поверхні втулки виміряно в 4100 точках (через $1,532 \times 10^{-3}^\circ$ по куту). Положення поперечних перерізів № 2 та № 68 умовно показані стрілками на рис. 1.

На рис. 3 показано відхилення ординати контуру опорної поверхні, на якому простежуються западини, що обумовлені наявністю поздовжніх пазів втулки.

З метою подальшого аналізу інформації, яка відповідає ділянкам $I_1 \dots I_6$ (рис. 3) опорної поверхні підшипника, проводилося видалення з дискретного набору значень по куту 360° ординат переривчастого профілю, що відповідають западинам 1. Для цього визначалися проміжки часу, які відповідають западинам 1, і проводилося об'єднання ділянок $I_1 \dots I_6$ дискретного масиву значень ординат профілю за допомогою функцій `submatrix` та `stack` пакета MathCAD. У результаті отримали дискретний набір ординат профілю в функції часу вимірювання, який наведений на рисунку 4.

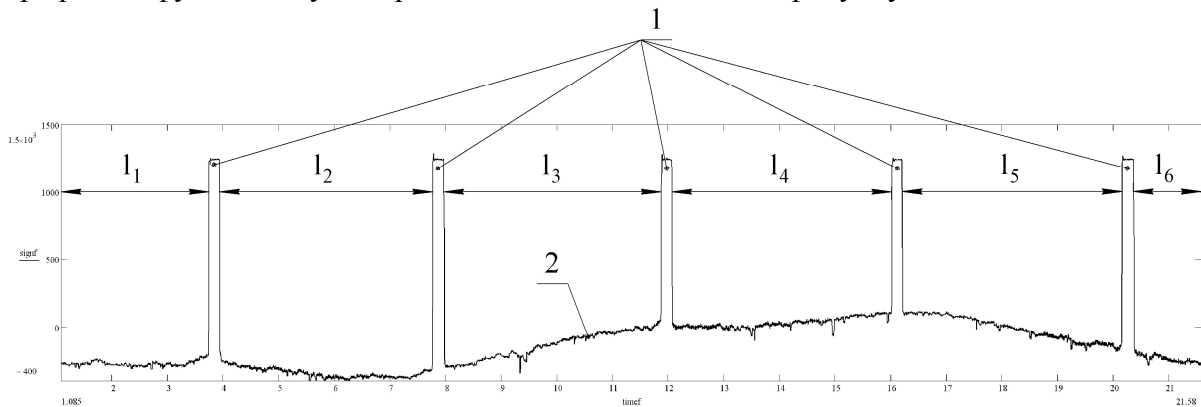


Рис. 3. Відхилення ординати контуру опорної поверхні гідростатичної втулки в перерізі № 2: 1 – западини, які відповідають поздовжнім пазам втулки

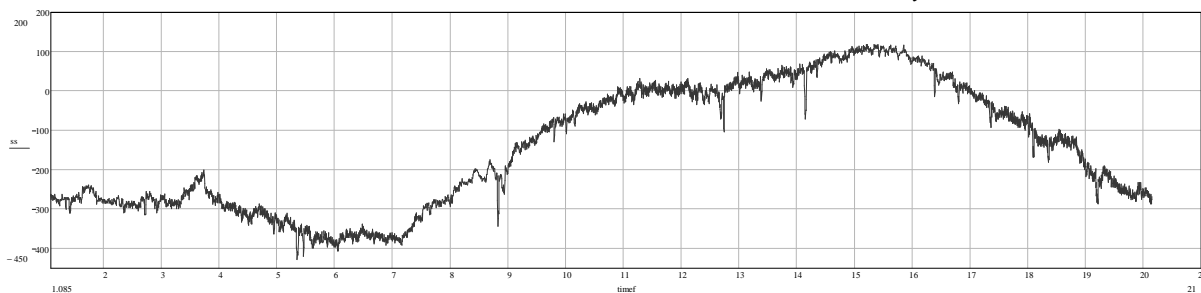


Рис. 4. Відхилення ординати контуру опорної поверхні втулки в перерізі № 2 після видалення западин

Для визначення масштабу осі ординат на рисунку 4 проводився запис круглограми зовнішньої циліндричної поверхні еталонного зразка з лискою в ідентичних до вимірювання втулки умовах (рис. 5).

Значення коефіцієнтів ряду, амплітуд і початкових фаз утворюють спектр контуру опорної поверхні втулки. На рисунку 7 наведено спектр амплітуд $A_m(k)$ ряду Фур'є контуру втулки в перерізі № 2.

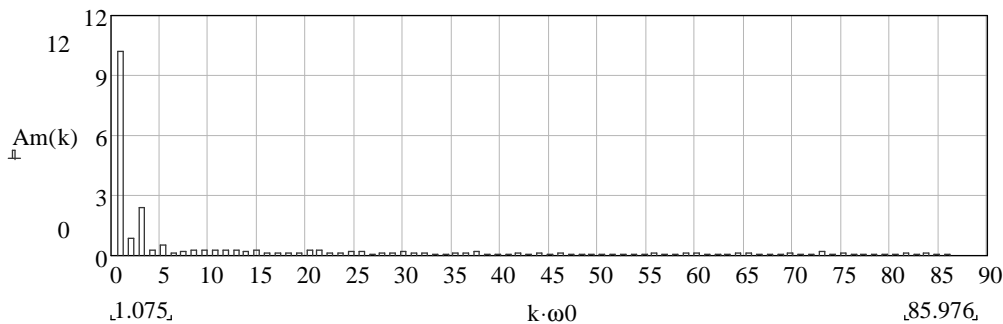


Рис. 7. Спектр амплітуд контуру опорної поверхні гідростатичної втулки в перерізі № 2

На представленому спектрі вісь абсцис є віссю частоти. Враховуючи, що $T \approx 2\pi$ і, відповідно, $k \cdot \omega_0 \approx k$ для зручності подальшого аналізу розглянемо спектр амплітуд у функції номеру k гармоніки.

Суттєвими є амплітуди гармонік з номерами до п'ятої включно (рис. 8). Найбільше значення має перша гармоніка, яка характеризує ексцентриситет контуру опорної поверхні втулки. У спектрі простежуються гармоніки, що характеризують огранювання поверхні, причому найбільшого амплітудного значення приймають гармоніки з номерами 3, 5. Наявна також друга гармоніка, що характеризує овальність контуру. Інші гармоніки мають нерегулярні зміни.

Формування огранювання контуру опорної поверхні втулки з числом граней 3, 5 пояснюється явищем технологічної спадковості технологічних баз та конструктивних форм відповідно.

Огранювання з трьома гранями виникає внаслідок використання трикулачкового самоцентрівного патрону для базування і силового замикання втулки під час остаточної обробки її опорної поверхні. Внаслідок деформації втулки під час обробки з боку трьох кулачків патрону формується відповідне огранювання контуру обробленої поверхні. Огранювання з п'ятьма гранями формується внаслідок спадкування конструктивної форми втулки, що налічує п'ять груп поздовжніх пазів. Під час обробки ділянки втулки, утворені переривчастим профілем опорної поверхні, деформуються майже окремо, що обумовлює виникнення огранювання з п'ятьма гранями.

У спектрі на рис. 8, наведеному для перерізу опорної поверхні втулки № 68, простежується шоста суттєва гармоніка, яка кратна третій гармоніці й обумовлена деформаціями втулки під час використання трикулачкового патрона для фінішної обробки опорної поверхні.

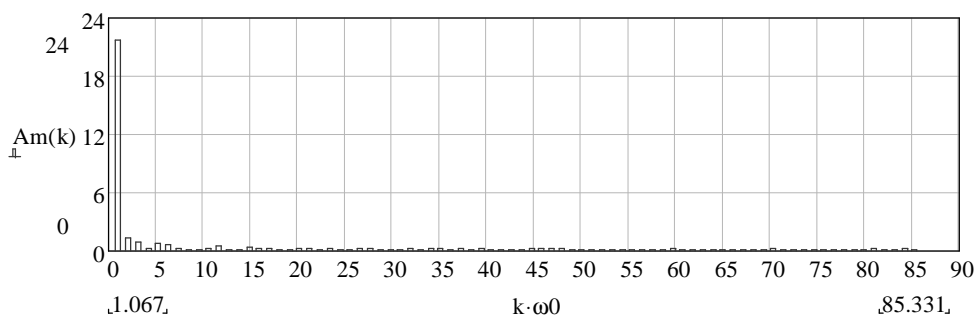


Рис. 8. Спектр амплітуд контуру опорної поверхні гідростатичної втулки в перерізі № 68

З аналізу спектра на рисунку 8 випливає, що гармоніки з номерами 1, 2, 5, 6 істотно зростають по відношенню до спектра контуру опорної поверхні в перерізі № 2, значення четвертої гармоніки лишається приблизно на постійному рівні, а величина третьої гармоніки зменшується.

Статистичною обробкою спектрів амплітуд і початкових фаз гармонік в 70-ти перерізах опорної поверхні втулки отримано математичне сподівання амплітуд m_{Ak} та початкових фаз $m_{\psi k}$ суттєвих гармонік, які наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Статистичні характеристики амплітуд та початкових фаз спектра опорної поверхні гідростатичної втулки

	Номер гармоніки k					
	k=1	k=2	k=3	k=4	k=5	k=6
m_{Ak} , МКМ	12,52	1,06	1,19	0,19	0,62	0,36
$m_{\psi k}$, °	-34,3	-9,5	-64,2	-48,5	15,4	-2,1

Отримані статистичні характеристики амплітуд і початкових фаз гармонік спектра є основою для подальшого аналізу функції зазору регульованих ГСО шпинделя.

Висновки. Розроблена методика вимірювання показників точності опорної поверхні регульованої конструкції гідростатичної втулки, яка дозволяє визначити вплив технології виготовлення, геометричних відхилень на експлуатаційні характеристики підшипника.

На основі спектрального аналізу контуру опорної поверхні втулки встановлені закономірності формування точності, обумовлені технологією виготовлення. Необхідний пошук шляхів зменшення впливу технологічної спадковості на точність опорної поверхні гідростатичної втулки.

Список використаних джерел

1. Коровчинский М. В. Прикладная теория подшипников жидкостного трения / М. В. Коровчинский. – М., 1954. – 186 с.
2. Белоусов А. И. Влияние некоторых погрешностей форм вала и обоймы на характеристики гидростатического подшипника / А. И. Белоусов, Т. А. Хромова // Исследование гидростатических подшипников. – 1973. – С. 18-28.
3. Бушуев В. В. Гидростатическая смазка в станках / В. В. Бушуев. – М.: Машиностроение, 1989. – 176 с.
4. Ковальов В. Д. Основи теорії розрахунку та проектування гідравлічних опорних вузлів верстатного устаткування: дис. ... д-ра техн. наук: 05.03.01 / Віктор Дмитрович Ковальов. – К.: НТУУ „КПІ”, 2001. – 424 с.
5. Строк Л. В. Влияние шероховатости опорных поверхностей на характеристики незамкнутого осевого гидростатического подшипника / Л. В. Строк, Я. Ю. Пикалов, В. С. Секацкий // Известия Самарского научного центра РАН. – 2011. – Т. 13. – № 1(3). – С. 654-657.
6. Струтинський В. Б. Статистична динаміка шпиндельних вузлів на гідростатичних опорах: монографія / В. Б. Струтинський, Д. Ю. Федориненко. – Ніжин: Аспект-Поліграф, 2011. – 464 с.
7. Пат. 97685 UA, МПК F16C 32/06. Регульований радіальний гідростатичний підшипник / В. Б. Струтинський, Д. Ю. Федориненко, С. В. Бойко; заявник і патентовласник Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут”. – № а201003534; заявл. 26.03.2010; опубл. 12.03.2012, Бюл. № 5.
8. Струтинський В. Б. Математичне моделювання процесів та систем механіки / В. Б. Струтинський. – Житомир: ЖІТІ, 2001. – 612 с.