

УДК 539.3

Бабенко А.Е., д.т.н, проф., Лавренко Я.І.  
НТУУ «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

## ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПОР ТА РУХУ ЦЕНТРИФУГИ PICO21

Babenko A., Lavrenko Ya.

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine ([babenko.ae@gmail.com](mailto:babenko.ae@gmail.com), [lavrenko.iaroslav@gmail.com](mailto:lavrenko.iaroslav@gmail.com))

### EXPERIMENTAL STUDY OF MECHANICAL CHARACTERISTICS OF SUPPORT AND MOVEMENT OF CENTRIFUGE PICO21

*Експериментально досліджені механічні характеристики центрифуги та її елементів. Досліджено рух центрифуги. Дослідження дало можливість встановити реальні параметри системи, які необхідні для розрахунку її динаміки. Встановлено, що опори у першому наближенні можна вважати лінійно-пружними. Знайдені залежності власних частот від швидкості і напрямку обертання центрифуги. Встановлені додаткові частоти на яких виникає явище резонансу.*

*Ключові слова:* Коливання, лабораторна центрифуга, ротор, пружна опора.

Швидкий ріст робочих швидкостей механізмів і машин в останнє десятиріччя поставив перед механіками і технікою ряд нових наукових завдань. Одна з них - дослідження динаміки роторів, що працюють за критичними швидкостями першого і вищих порядків.

Лабораторні центрифуги використовуються як в медичних, біомеханічних так і в хімічних лабораторіях для розділення сумішей на фракції, які складаються з речовин різної щільності. Центрифуги як правило мають великі швидкості обертання до 15000 обертів за хвилину. Досліджувалась лабораторна центрифуга PICO 21, яка застосовується в медицині для швидкого приготування зразків. Виявлені режими нестабільного функціонування центрифуги, які погіршують результати роботи.

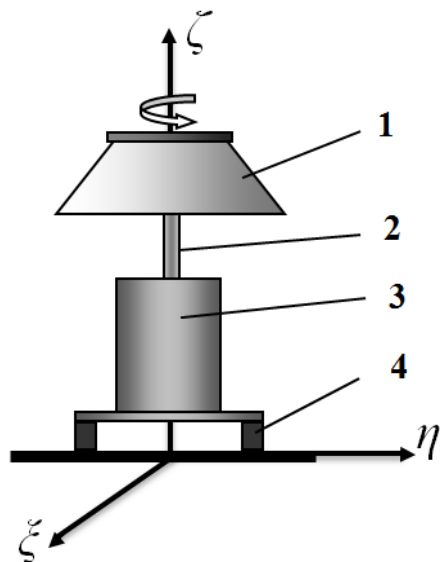


Рис. 1. Схематичне зображення лабораторної центрифуги

Центрифуга (Рис.1) складається з ротору 1, що обертається навколо вертикальної осі 2, який приводиться до обертання електродвигуном 3, якор якого сидить на тій самій осі, а корпус закріплений на пружних опорах 4 [1,2,3]. Опори сконструйовані так, що дозволяють центрифугі обертатись відносно нерухомих осей  $\xi, \eta$ , причому жорсткість при обертанні відносно них однакова. Таким чином, рух центрифуги складається з обертання ротору, валу та якоря двигуна навколо власної осі симетрії та обертання системи навколо осей  $\xi, \eta$ . Пружними елементами опор центрифуги є гумові циліндри. Динамічна поведінка центрифуги залежить від жорсткості та демпфування опор.

**Актуальність.** Від параметрів руху центрифуги залежить якість виконання необхідних робіт. Перехідні процеси можуть погіршувати вихідну продукцію. Ті ж самі процеси суттєво впливають на виникнення вібрацій, які викликають руйнування. Виходячи з цього вивчення механічних характеристик центрифуги є актуальною задачею при проектуванні.

**Метою роботи** є визначення характеристик лабораторної центрифуги з врахуванням її конструктивних особливостей, які полягають в тому, що центрифуга на відміну від типових розрахункових схем є багатомасовою системою.

Ця система закріплена на пружних опорах, що відповідає реальній конструкції. Для визначення жорсткості пружних опор була використана методика збудження вимушених коливань за допомогою вібростенду, який дозволяє визначати динамічні характеристики опор при розтягуванні та зсуві. На пружній опорі, яка змонтована на вібростенді, знаходиться маса  $m = 0,5$  кг (Рис.2) [4, 5]. За допомогою багатоканальної станції DS-0271A, яка входить до станції DS-2000 (Рис.2, б), який в свою чергу передає вихідний розгорнутий

сигнал до датчика коливань I, вимірюється прискорення маси  $\ddot{x}(t)$ . По знайденому прискоренню визначається сила  $F = m \cdot \ddot{x}(t)$ . Пристрій DS-2000 дозволяє визначати пікові значення амплітуди коливань в залежності від об'єкту дослідження. У місці закріплення опори за допомогою датчика II вимірюють прискорення  $\ddot{y}(t)$ . Інтегруючи обидва прискорення і поділивши на  $(2\pi f)^2$ , отримаємо переміщення  $x(t)$  і  $y(t)$ . Більш точні вимірювання можливі, якщо датчик збурення буде мати роз'єм для підключення зовнішнього вхідного сигналу. Синхронне вимірювання проводиться за рахунок сигналу від DS-0271A. Частота змушуючої сили позначається  $f$ .

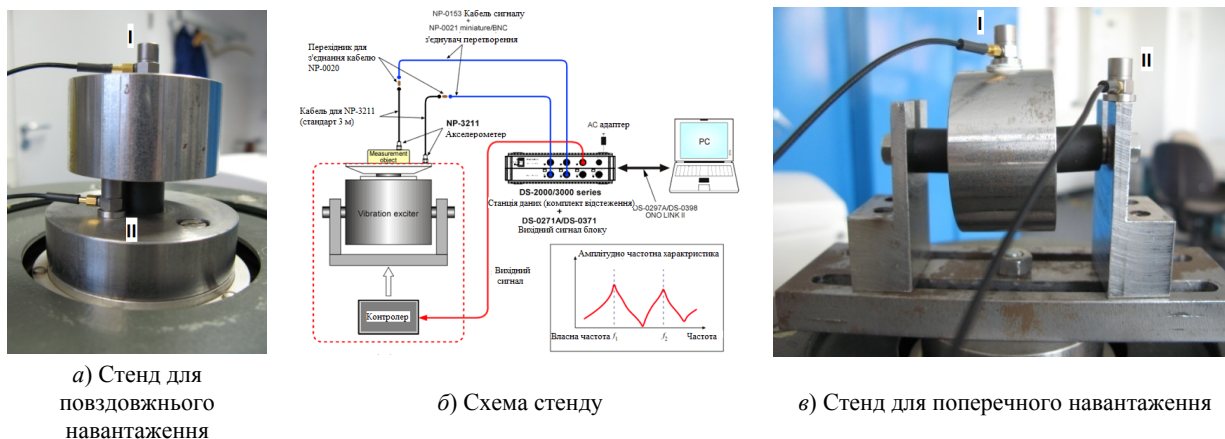


Рис. 2. Стенд для визначення жорсткості та демпфірування

Типові залежності віброприскорень, які фіксувались за допомогою датчиків змонтованих на масі I та у місці закріплення опори на вібростенді II від часу наведені на рис.3.

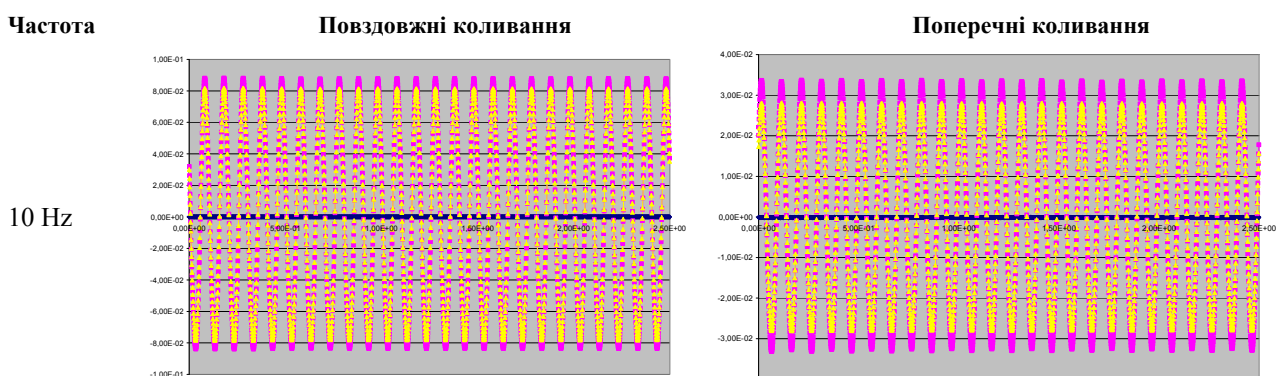


Рис. 3. Результати експериментальних досліджень

Різниця  $z(t) = x(t) - y(t)$  показує величину деформації опори під дією навантаження. Використовуючи знайдені деформацію  $z(t)$  і силу  $F(t)$  визначається жорсткість та коефіцієнт демпфірування. Результати експериментального визначення жорсткості та демпфірування наведені нижче на рис.4.

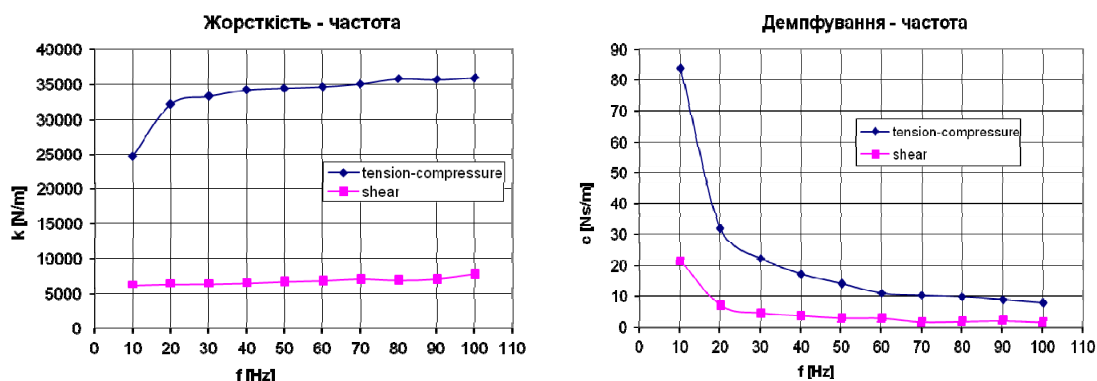


Рис. 4. Залежності жорсткості та демпфірування від частоти

Пружна опора піддавалася циклічному деформуванню у вигляді розтягу-стиску за допомогою експериментального обладнання MTS 810 (рис.5) з амплітудами 1 мм та 0,5 мм при жорсткому режимі навантаження.

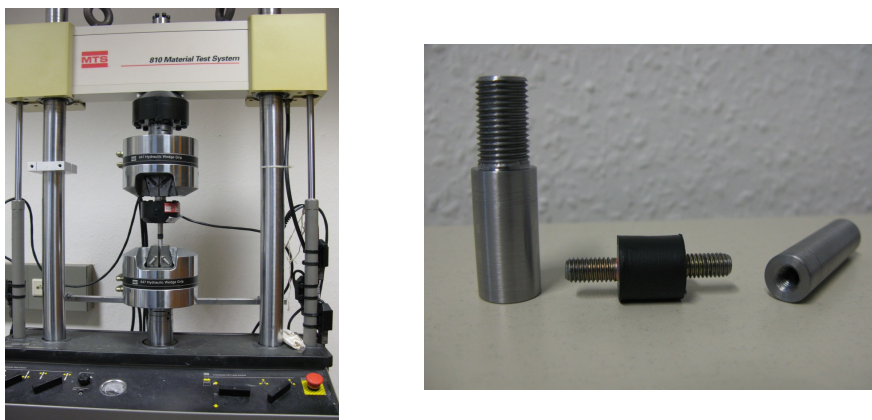


Рис. 5. Стенд MTS 810 та зразки опор

На рис.5 показаний випробувальний стенд MTS 810, на якому проводились випробування. Верхній захват нерухомий. За допомогою датчика вимірювалось переміщення нижнього захвату. Для вимірювання сили використовувалась месдоза до якої кріпиться верхній захват. Результати дослідів наведені на рис.6

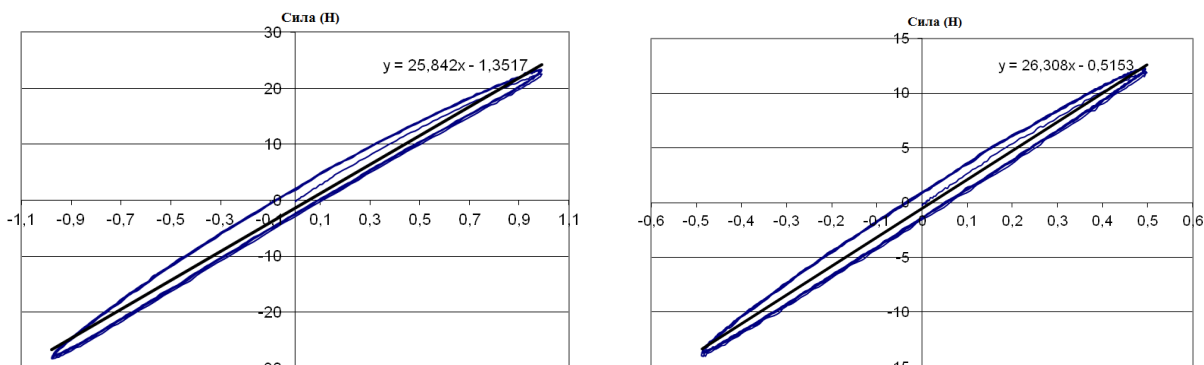


Рис. 6. Петля гістерезису

Результати експерименту показали, що пружні опори у першому наближенні можна вважати лінійно-пружними.

Динамічна поведінка центрифуги залежить не тільки від опор а і від деформації пружних елементів, якими є вал та підшипники. Тому дослідження руху лабораторної центрифуги PICO 21 в цілому є необхідним.

Експериментальне дослідження проводилось з використанням лабораторної бази інституту механіки Отто-фон-Геріке Університету Магдебурга (Німеччина).

Переміщення вимірювались за допомогою двох лазерів Triangulation Displacement Sensors Opto NCDT 2220 (micro - epsilon) ILD 2220 – 100, промені яких направлялись на бічну поверхню ротора лабораторної центрифуги під кутом 90°. Сигнали вимірювались за допомогою підсилювача типу NP-3414 вбудованого в лазері (Рис.7). Пристрій DS-2000 отримує цей сигнал, а DS-0227 аналізує його. Результати обробки отриманих даних та траєкторія руху тіла, що обертається, відображаються на екрані ПК. Визначались горизонтальні переміщення верхньої точки валу центрифуги при обертанні ротора на різних швидкостях обертання.

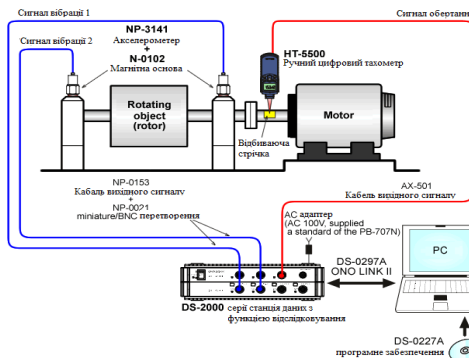


Рис. 7. Стенд та його схематичне зображення для експериментального визначення залежності власних частот від частоти обертання

Переміщення та траєкторія руху, яку описує верхня точка валу з закріпленим ротором, графічно зображені на рис.8.

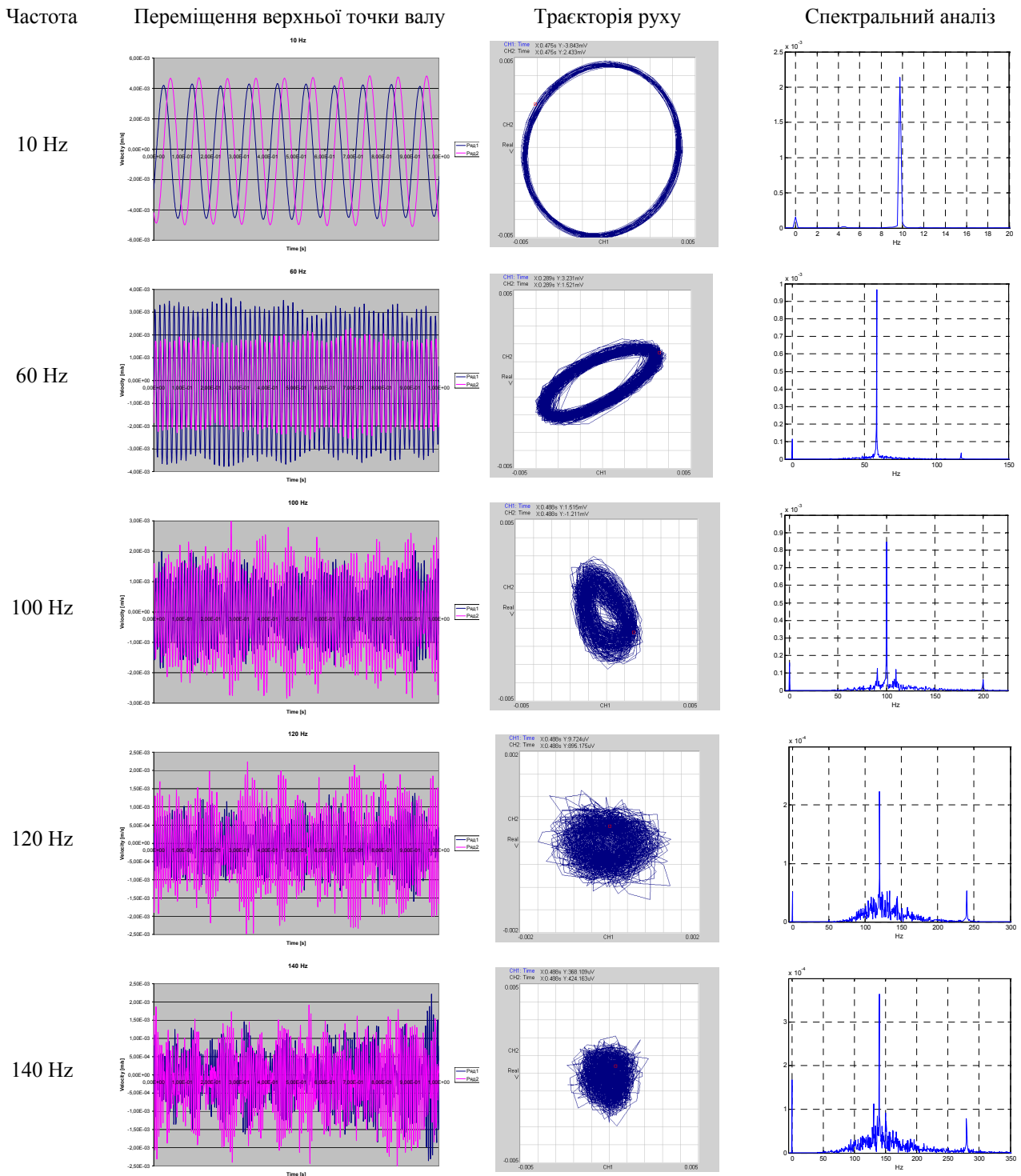


Рис. 8. Переміщення та траєкторія руху верхньої точки валу

Спектральний аналіз коливань ротора дав можливість визначити власні частоти та показав, що збуджується не тільки основна частота, а і на більш високих частотах збуджується друга частота, яка відповідає подвійній першій.

### Висновки

1. Розроблена експериментальна методика визначення механічних параметрів центрифуги від яких залежить рух центрифуги. На її основі визначені механічні характеристики пружних опор, які можуть бути використані для розрахунку руху центрифуги.



2. Проведений спектральний аналіз дозволив експериментально визначити власні частоти та виявити нову закономірність, яка полягає в тому, що на більш високих частотах з'являється друга частота, яка відповідає подвоєній першій.

3. Дослідження показали, що вільний кінець валу лабораторної центрифуги описує траєкторію, яка може мати форму еліпса або заповнювати всю область в залежності від частоти коливань. Орієнтація еліпса залежить від амплітуди та різності фаз, що по суті очевидно залежить від початкових даних.

4. Виконані дослідження дали можливість визначити нестабільні режими і тим самим визначити область робочих режимів центрифуги.

**Аннотація.** Експериментально дослідовані механічні характеристики центрифуги і її елементів. Досліджено рух центрифуги. Дослідження дали можливість виявити реальні параметри системи, які необхідні для розрахунку її динаміки. Встановлено, що опори в першому наближенні можна вважати лінійно-пругими. Отримані залежності власних частот від швидкості і напрямку обертання центрифуги. Визначені додаткові частоти, на яких виникає явище резонансу.

**Ключові слова:** Колибання, лабораторна центрифуга, ротор, пружна опора.

#### **Abstract.**

**Purpose.** Definition of laboratory centrifuge characteristic with regard to its structural features.

**Design/methodology/approach.** The dynamic characteristics of the centrifuge with design features that consist in fact that it is multi-mass system fixed on elastic support is determined. Contrast to the previous well-known approaches in which the centrifuge is seen as a single-mass construction and do not take into account the design features fixing is shown. Quality of work required depends on the centrifuge parameters. The dynamic behavior of a centrifuge depends on the stiffness and damping supports. To determine the stiffness of rubber supports used the method of perturbation forced vibrations using vibration stand, which allows to determine the dynamic characteristics of the supports in tension and shear.

**Findings.** Found that support in the first approximation can be considered linear elastic. The dependences of the natural frequencies of the frequency and direction of rotation of the centrifuge.

**Originality/value.** This research was important and original in field of vibrations of medical machines, which usually work with high values of frequencies. It shows changes of own frequencies depending on work frequencies. It can help to avoid a resonance during operation.

**Keywords:** Vibration, lab centrifuge, rotor, rubber support.

#### **Бібліографічний список використаної літератури**

1. *Бабенко А.Е., Лавренко Я.И., Штракельян Й.* Динамика центрифуги на нелинейно упругом основании. // Вестник НТУУ «КПІ», Машиностроение.— К.: НТУУ "КПІ". - 2011. — Вып. 61 Т1. - С. 91–94.
2. *Бабенко А.С., Лавренко Я.И.* Визначення власних частот коливань лабораторної центрифуги з врахуванням гіроскопічних ефектів. // Вісник НТУУ «КПІ», Машинобудування. — К.: НТУУ «КПІ». - 2011. — Вип. 63. - С. 268 – 272.
3. *Бабенко А.С., Лавренко Я.И., Куренков М.М.* Вплив гіроскопічних ефектів на коливання валу центрифуги. // Вісник НТУУ «КПІ», Машинобудування. — К.: НТУУ «КПІ». - 2013. — Вип. 65 – с. 166-174.
4. *Fischer J., Strackeljan J.*: Stability Analyses of High Speed lab centrifuges considering internal damping in rotor shafts, Technische Mechanik, Band 26, Heft 2, 2006, pp. 131-147.
5. *Fischer J., Strackeljan J.*: FEM-Simulation and stability analyses of high speed rotor systems. 7th IFToMM-Conference on Rotor Dynamics, Vienna, Austria, 2006.

#### **References**

1. *Babenko A., Lavrenko Ia., Strackeljan J.*: Journal of Mechanical Engineering of the National Technical University of Ukraine “Kyiv Politechnic Institute”, 2011, no 61 T1, pp. 91–94.
2. *Babenko A., Lavrenko Ia., Strackeljan J.*: Journal of Mechanical Engineering of the National Technical University of Ukraine “Kyiv Politechnic Institute”, 2011, no 63, pp. 268 – 272.
3. *Babenko A., Lavrenko Ia., Kurenkov M.* Journal of Mechanical Engineering of the National Technical University of Ukraine “Kyiv Politechnic Institute”, 2013, no 65, pp. 166-174.
4. *Fischer J., Strackeljan J.*: Stability Analyses of High Speed lab centrifuges considering internal damping in rotor shafts, Technische Mechanik, Band 26, Heft 2, 2006, pp. 131-147.
5. *Fischer J., Strackeljan J.*: FEM-Simulation and stability analyses of high speed rotor systems. 7th IFToMM-Conference on Rotor Dynamics, Vienna, Austria, 2006.

Подана до редакції 28.11.2013