

**Висновки.** Розглянуто математичну модель динамічного режиму роботи віброударних агрегатів з ланцюгово-розгалуженим способом з'єднання твердих тіл на прикладі віброударної гратки моделі 31327. Наведено приклади контактної взаємодії робочих поверхонь твердих тіл, а також графіки максимальних значень теоретичної та експериментальної частоти технологічного навантаження віброгратки моделі 31327.

1. *Вибраци в технике. Т. 4. – М.: Машиностроение, 1981. – 512 с.* 2. *Гергега И.И., Лозовой И.С., Козулькевич М.Р., Шона В.М. Обобщённая математическая модель колебательной системы с учётом изменения положения и величины технологической нагрузки // Докл. АН УССР. – 1989. – № 12. – С. 32–35.* 3. *Гергега И.И., Нісонський В.П. Математична модель ланцюгово-розгалуженої віброударної коливальної системи // Доп. НАН України. – 1994. – 35. С. 58–63.* 4. *Нисонский В.П., Гергега И.И., Козулькевич М.Р., Гуцуляк Ю.В. Математическая модель многосекционных выбивных агрегатов с учётом рассеяния энергии // Пробл. прочности. – 1994. – № 10. – С. 30–36.* 5. *Нісонський В.П., Гергега И.И., Шона В.М. Математична модель багатосекційного вібраційного агрегату // Доп. НАН України. – 2000. – № 6. С. 62–65.* 6. *Нісонський В.П. Математична модель контактної взаємодії елементів багато секційних агрегатів // Доп. НАН України. – 2003. – № 12. – С. 51–57.*

УДК 681.518.3:621.371

**О.В. ПИЛИПЕНКО, П.І. ЗАБОЛОТНИЙ, Л.Г. ЗАПОЛЬСЬКИЙ**  
Інститут технічної механіки НАНУ і НКА України

## **НВЧ-ЩУП ДЛЯ ЛОКАЛЬНИХ ВИМІРЮВАЧІВ ПАРАМЕТРІВ ВІБРАЦІЙ З НИЗЬКОЮ ЧАСТОТОЮ**

© Пилипенко О.В., Заболотний П.І., Запольський Л.Г., 2006

*Проаналізовано можливості застосування первинних перетворювачів для вимірника параметрів вібрації на основі об'ємних НВЧ резонаторів за одно- й дворезонаторними схемами. Показано, що обидві схеми забезпечують приблизно однакові можливості вимірювання параметрів вібрації, проте, з урахуванням конструктивних особливостей (менша маса, габарити та ін.), схемі з одним резонатором треба надати перевагу.*

*The analysis of opportunity of primary converters application for vibration parameters measurement is carried out on the basis of volumetric microwave resonators by one and two cavity circuits. It was shown, that both circuits provide approximately identical opportunities of vibration parameters measurement, nevertheless, in view of design features (smaller weight, dimensions, ets) the circuit with one resonator was more preferred.*

**Постановка проблеми.** Однією з актуальних задач діагностики складних механізмів є необхідність виявлення місць локалізації джерел підвищеної вібрації і параметрів самої вібрації. Для розв'язання цієї задачі, як правило, використовують пристрої на основі первинних перетворювачів індуктивного або ємнісного типу. Проте такі пристрої, незважаючи на безперечні переваги, мають і низку недоліків, насамперед інерційність, недостатню заводо захищеність від зовнішніх електромагнітних полів, а також низьку роздільну здатність у разі потреби контролю за вібраціями з амплітудою переміщень, що змінюється від десятих часток міліметра до декількох десятків міліметрів. Додаткове екранування елементів цих пристроїв і відповідних до них провідників лише збільшує паразитні ємності, ускладнює їхню конструкцію і знижує їхню інформативність [1, 2]. Найчастіше така ситуація виникає під час моніторингу локальних

переміщень складних об'єктів з розподіленою геометрією, а також випробувань на вібростендах з великою амплітудою переміщень. Необхідність контактного локального контролю за параметрами переміщень у разі вібрації з вищезгаданими особливостями підводить до необхідності створення пристроїв у вигляді вимірювального щупа.

Метою роботи є аналіз можливості застосування первинних перетворювачів у вигляді вимірювального щупа на основі об'ємних резонаторів НВЧ-діапазону для локального вимірювання параметрів вібрації.

**Основна частина.** Ідея побудови НВЧ-щупа базується на можливості оцінки зміни резонансних частот об'ємного резонатора унаслідок зміни геометричних характеристик його елементів у разі вібрації. Найоптимальнішими є два варіанти перебудови власних резонансних частот резонатора за допомогою аксіального металевого або діелектричного штиря, що переміщується, або металевої торцевої стінки резонатора, що також переміщується. Використання магнітних азимутно-симетричних коливань НВЧ-поля можна реалізувати два варіанти технічних рішень: безконтактне переміщення торцевої металевої стінки самого резонатора або переміщення усередині резонатора металевого штиря, пов'язаного з контрольованою поверхнею.

Вибір як віброуючого елемента торцевої стінки резонатора або металевого стрижня визначається контрольованим діапазоном вібропереміщень. Так, для визначення параметрів мікрівібрацій (до  $10^{-1}$  мм) для забезпечення найбільшої чутливості НВЧ-щупа доцільно як елемент, що коливається, використовувати торцеву стінку резонатора.

За амплітуди вібропереміщень, порівнянної з половиною довжини хвилі електромагнітної хвилі, краще використовувати металевий або діелектричний штир як елемент, що коливається.

У [3] показано, що в задачах, пов'язаних з визначенням локальних переміщень за допомогою металевого стрижня, як об'ємний резонатор доцільно використовувати біконічний резонатор, який має більшу крутизну переналагодження ніж, наприклад, конічний і забезпечує велику чутливість вимірювальної системи.

Для експериментального дослідження вихідних характеристик НВЧ-щупа було розглянуто два варіанти вимірювальних схем.

Перший варіант побудовано за схемою двома резонаторами [4] для вимірювання зсувів резонансної частоти вимірювального резонатора відносно опорного резонатора, спричинені зміною положення стрижня – щупа, пов'язаного з об'єктом, що переміщується (вібує, рис. 1).

Другий варіант побудовано за схемою з одним резонатором.

Структурну схему варіанта для двох резонаторів наведено на рис. 2 і складається з: 1 – НВЧ-генератора з модульованою частотою, 2 – низькочастотного генератора пилкоподібної напруги, 3 – феритового циркулятора, 4, 5 – вимірювального і опорного резонаторів, 6 – узгодженого навантаження, 7 – детекторної секції, 8 – формувача прямокутних імпульсів, 9 – широтно-імпульсного демодулятора, 10 – фільтра і 11 – системи реєстрації осцилографа.

На відміну від схеми, використовуваної в [4], обидва резонатори – опорний 5 і вимірювальний 4 введено за схемою абсорбції, а як інформаційний сигнал використовують електромагнітну хвилю, що відбивається від вимірювального і опорного резонаторів у момент проходження резонансу, яка відгалужується циркулятором 3 в детекторну секцію 7. За таким підходом можна не тільки скоротити кількість структурних елементів, подаючи опорний і вимірювальний сигнали на один детекторний діод, але і створити для НВЧ-генератора полегшений режим роботи, оскільки для збереження високої добротності резонаторів їхній зв'язок з передавальним трактом є невеликим. Завдяки цьому велика частина НВЧ-енергії розсіюється в узгодженому навантаженні 6.

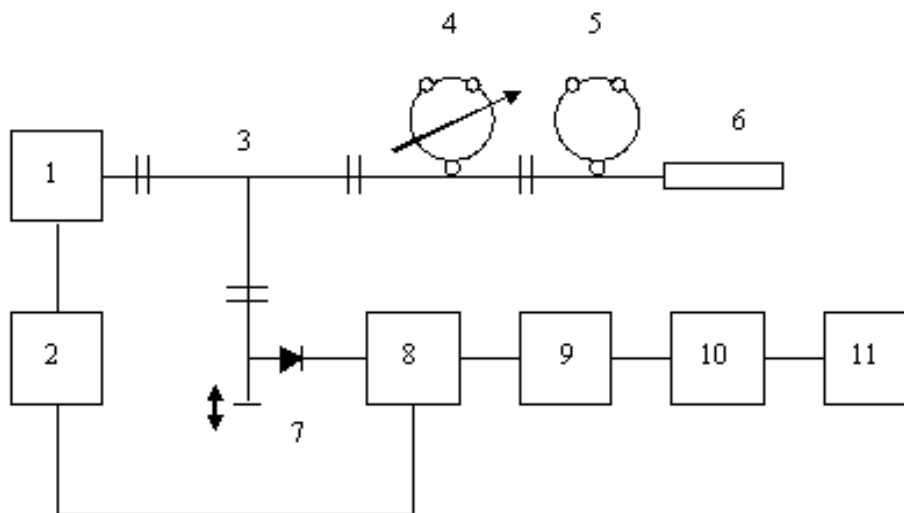


Рис. 1. Структурна схема вимірювача параметрів вібрації

Моменту проходження значення частоти НВЧ-генератора відповідного околу резонансних частот відповідає поява на виході детекторної секції інформаційних сигналів у вигляді резонансних кривих коливального контуру. У блоці 8 ці сигнали формуються з двох вузьких прямокутних імпульсів, які потім використовуються для формування імпульсу, тривалість якого визначається часовим інтервалом між вимірювальним і опорним імпульсами. У результаті коливального руху металевого або діелектричного стрижня НВЧ-щупа змінюється резонансна частота вимірювального резонатора 4, а, отже, і тривалість прямокутного імпульсу на виході формувача 8. Отже, механічні коливання стрижня НВЧ-щупа перетворюються в електричний сигнал з широтно-імпульсною модуляцією, який після проходження демодулятора 9 і фільтра 10 перетворюється в низькочастотний сигнал і подається на аналого-цифровий перетворювач (АЦП) системи реєстрації 11 (або з'являється на екрані осцилографа). При цьому частота сигналу, яку фіксують, відповідає частоті механічних коливань, а його амплітуда пропорційна амплітуді механічних коливань.

Попередні експериментальні дослідження свідчать про хороші перспективи і можливості застосування цього рішення під час тривалих безперервних спостережень, оскільки воно мінімізує вплив температурної і часової нестабільності НВЧ-генератора на результати вимірювань.

Проте у випадках, коли необхідно проводити експрес-оцінку параметрів вібрації (переміщень), такий підхід не зовсім зручний, оскільки структурна схема має багато елементів, що збільшують габаритні розміри вимірювального пристрою.

Виходячи з цього, було розроблено і виготовлено макет простішої системи, яка дає змогу реалізувати схему з одним резонатором НВЧ-щупом. Такий підхід найбільш прийнятний для умов, якщо вимірювання без калібрування проводять протягом нетривалого проміжку часу і в умовах з незначними коливаннями температури (у межах 5–10 градусів).

Структурну схему варіанта з одним резонатором вимірювального НВЧ-щупа показано на рис. 2, де 1 – частотно-модульований НВЧ-генератор, 2 – низькочастотний генератор трикутної напруги, 3 – феритовий вентиль, 4 – вимірювальний резонатор, 5 – детекторна секція, 6 – АЦП, 7 – ПЕОМ.

Під час проведення вимірювань на керівний вхід НВЧ-генератора 1 подають модулюючий сигнал від низькочастотного генератора трикутної напруги 2. Нульовому значенню амплітуди модулюючої напруги відповідає початкова частота генерації –  $f_n$ . Найбільшому значенню амплітуди модулюючої напруги відповідає частота генерації –  $f_k$ .

Як і в першому схемному рішенні, у момент проходження значення частоти НВЧ-генератора через область резонансних частот, на виході детекторної секції 5 спостерігаються сигнали (рис. 3),

що відповідають за формою резонансним кривим коливального контуру. При цьому на одному періоді  $T$  модулюючої трикутної напруги виникають дві резонансні криві – на його висхідній 1 і на нисхідній 2 частинах.

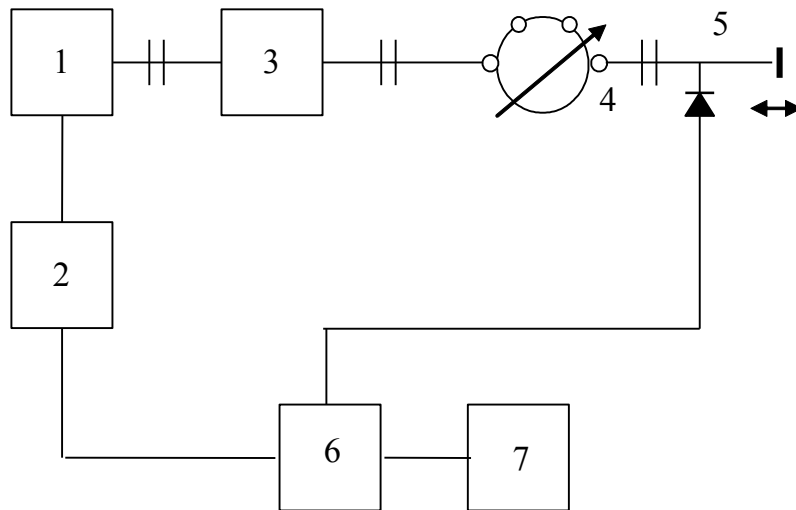


Рис. 2. Структурна схема вимірювача параметрів вібрації з НВЧ-щупом на основі одного резонатора

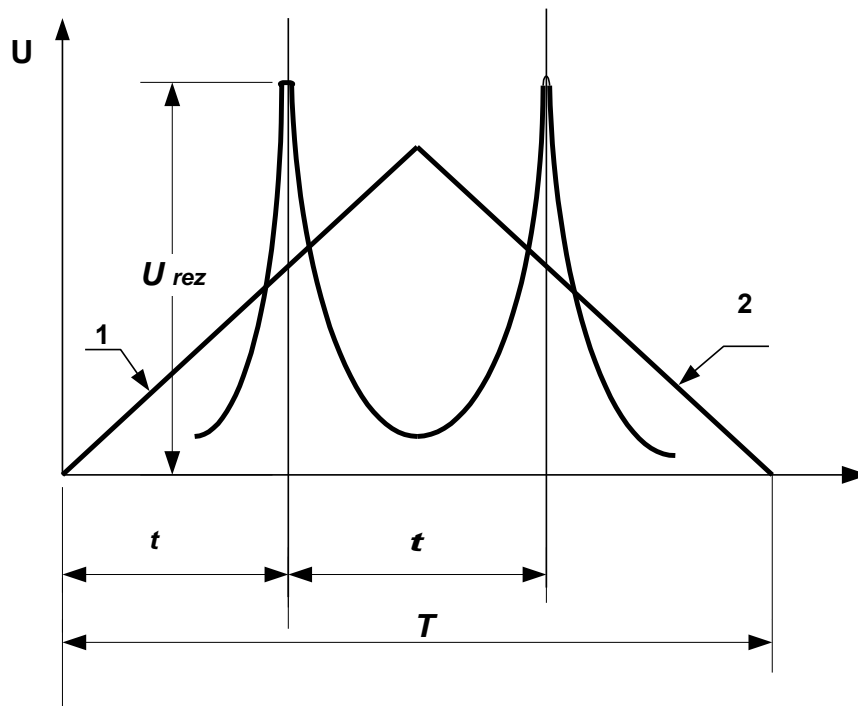


Рис. 3. Сигнали на виході детекторної секції 5

За відсутності переміщень стрижня тривалість часового інтервалу між максимальними значеннями амплітуд напруги резонансних кривих, що спостерігаються на висхідній 1 і нисхідній 2 частинах модулюючого низькочастотного сигналу, незмінна (рис. 4). У разі переміщення стрижня значення часового інтервалу  $t$  змінюється пропорційно до параметрів його переміщень.

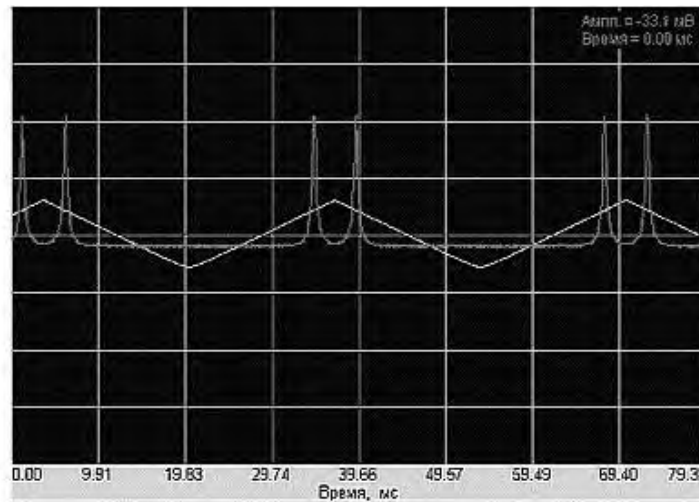


Рис. 4. Осцилограма сигналів на виході детекторної секції 5 за нерухомого стрижня

За лінійним законом зміни частоти НВЧ-генератора, між резонансною частотою резонатора  $f_p$ , періодом модулюючих коливань  $T$ , початковим  $f_n$  і кінцевим  $f_k$  значеннями частот НВЧ-генератора існує така залежність [4]:

$$2 \cdot \frac{f_k - f_n}{T} = \frac{f_p - f_n}{t}, \quad (1)$$

де  $t$  часовий інтервал, що відповідає зміні частоти НВЧ-генератора від  $f_n$  до  $f_p$ .

За трикутної форми модулюючої напруги  $t$  можна подати через часовий інтервал  $\tau$  між появою резонансних відгуків, відповідних висхідній і нисхідній частинам модулюючої напруги, тобто

$$t = T/2 - \tau/2 \quad (2)$$

У результаті резонансну частоту  $f_p$  можна визначити так

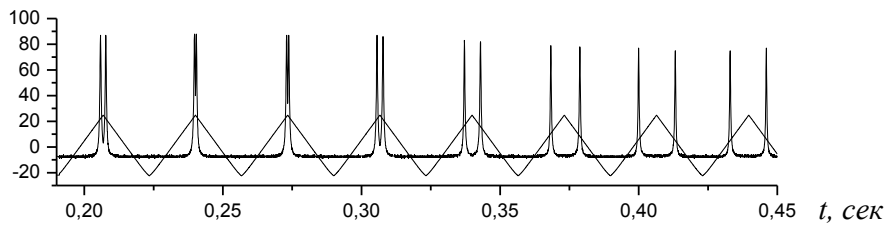
$$f_p = f_k - (f_k - f_n) \cdot \frac{\tau}{T} \quad (3)$$

Під час коливального руху стрижня резонансна частота резонатора багато разів змінюється від максимального  $f_{max}$  до мінімального значення  $f_{min}$ . Оскільки резонансна частота резонатора є функцією положення металевого стрижня, то різниця значень мінімальної  $f_{min}$  і максимальної  $f_{max}$  резонансних частот резонатора із стрижнем, що коливається, пропорційна різниці часових інтервалів  $\Delta\tau = \tau_{max} - \tau_{min}$ , і містить інформацію про амплітуду вібрації. Часовий же інтервал між резонансними відгуками з  $\tau_{min}$  або  $\tau_{max}$  дорівнює періоду вібрації.

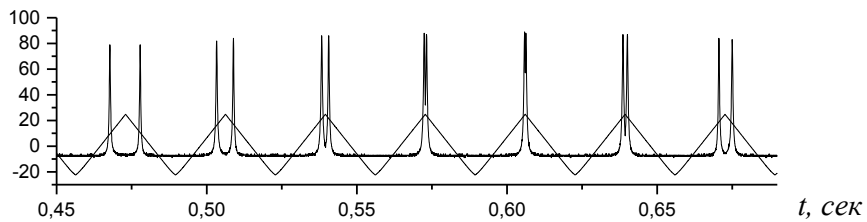
Для якісної ілюстрації сказаного на рис. 5 і 6 наведено часові епюри резонансних відгуків біконічного резонатора із стрижнем, що коливається. Як видно з рис. 5, перше  $\tau_{min}$  спостерігається при  $t=0,24$  с, а друге – при  $t=0,61$  с, що відповідає періоду вібрації  $T=0,37$  с або частоті вібрації 2,7 Гц. Аналогічно з рис. 6 видно, що для цього випадку період вібрації дорівнює 1,46 с, а частота – 0,68 Гц.

Із застосуванням сучасних методів цифрової обробки сигналів можна визначити часові координати максимальних значень амплітуди сигналу, відповідній резонансній частоті і тим самим зменшити амплітудні похибки і вплив зміни добротності резонатора на точність визначення часових інтервалів між резонансними відгуками.

*A, отн. ед.*

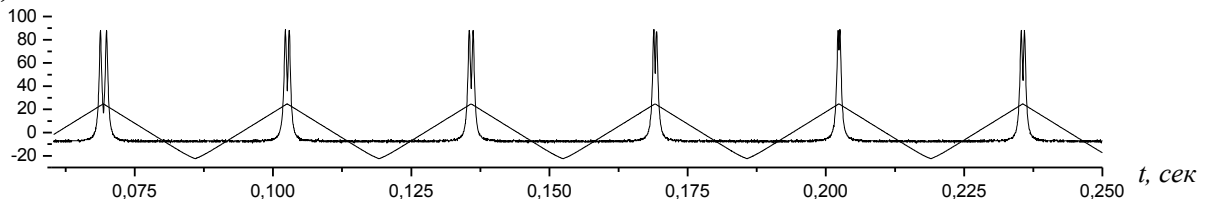


*A, отн. ед.*

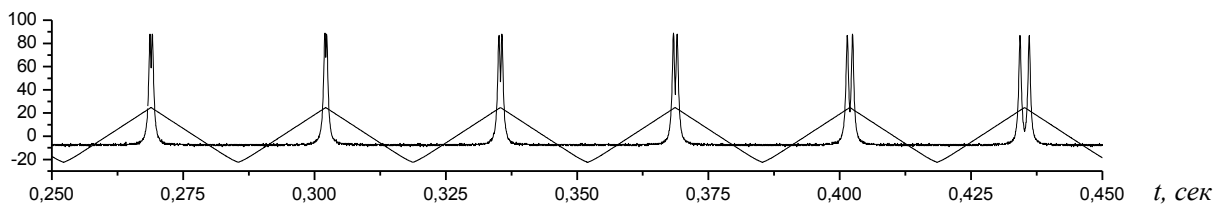


*Рис. 5. Часові епюри резонансних відгуків і модулюючої напруги за частоти вібрації 2,7 Гц*

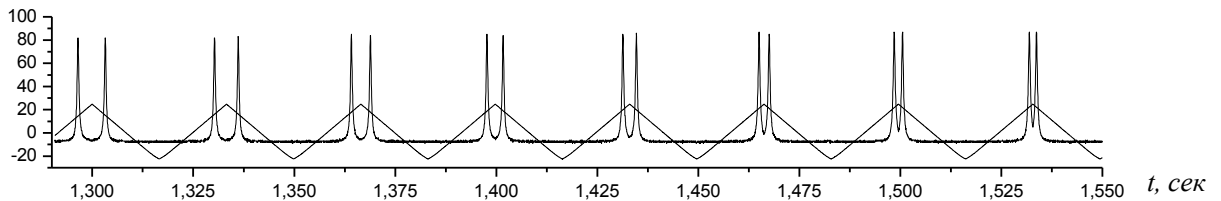
*A, отн. ед.*



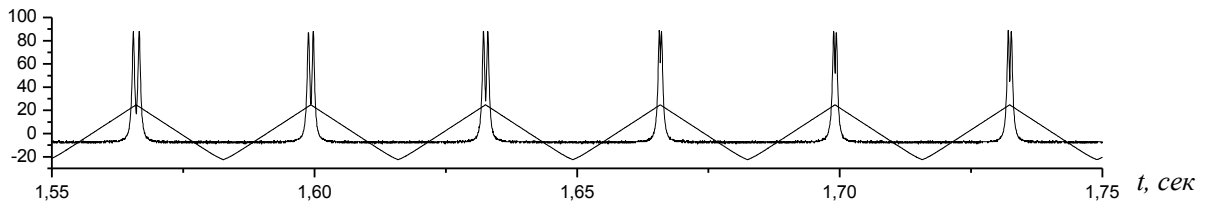
*A, отн. ед.*



*A, отн. ед.*



*A, отн. ед.*



*Рис. 6. Часові епюри резонансних відгуків і модулюючої напруги за частоти вібрації 0,68 Гц*

**Висновки.** У результаті досліджень схем з одним і двома резонаторами апаратно-програмної реалізації НВЧ-щупа, показано, що обидві схеми забезпечують приблизно однакові можливості вимірювання параметрів вібрації, проте з урахуванням конструктивних особливостей (менша маса, габарити та ін.) схема з одним резонатором є кращою.

1. Заблоцкий И.Е., Коростелев Ю.А., Шипов Р.А. Бесконтактные измерения колебаний лопаток турбомашин. – М.: Машиностроение, 1977. – 160 с. 2. Данилин А.И., Воторопин С.Д., Чернявский А.Ж. Использование автодинных приемо-передающих модулей на диодах Ганна для определения предаварийных деформаций лопаток турбомашин // 11-я Междунар. Крымская конф. “СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии” (КрыМиКо-2001): Материалы конференции. – Севастополь, 10–14 сентября 2001 г. – Севастополь: Вебер, 2001. – С. 654–655. 3. Пилипенко О.В., Горев Н.Б., Запольский Л.Г., Коджеспирова И.Ф., Привалов Е.Н., Дробахин О.О., Салтыков Д.Ю. Первичные преобразователи для измерения параметров вибрации на основе конических и биконических резонаторов // 14-я Междунар. Крымская конф. “СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии” (КрыМиКо-2004): Материалы конференции. – Севастополь, 13–17 сентября 2004 г. – Севастополь: Вебер, 2004. – С. 705–706. 4. Брандт А.А. Исследование диэлектриков на сверхвысоких частотах. – М.: Гос. изд. физ.-мат. лит., 1963. – 403 с.

УДК 621.855

**О.І. ПИЛИПЕНКО, Д.О. ІЛЬІН**

Чернігівський державний технологічний університет

## **МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ ЛАНЦЮГОВОГО ПРИВОДА, ОСНАЩЕНОГО ДЕТАЛЯМИ З ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ**

© Пилипенко О.І., Ільїн Д.О., 2006

*Розглянуто результати моделювання динамічних процесів за допомогою структурної схеми ланцюгового привода, оснащеного металевим та полімерним ланцюгами. Наведено порівняльні характеристики кутових швидкостей обертальних мас та динамічних навантажень у ведучій та веденій вітках ланцюгового привода, оснащеного металевим та полімерним ланцюгами, отриманих аналітичним методом та симуляцією динамічних процесів.*

*The results of simulation of dynamic processes with the help of the structure diagram of a chain drive equipped with metallical and polymeric chains are considered. The presented comparative characteristics of angular rate of rotary masses both dynamic loads in leading and driven strands of a chain drive equipped with metallical and polymeric chains, obtained by an analytical method and simulation of dynamic processes.*

**Постановка проблеми.** Основним недоліком колишніх методів розрахунку ланцюгових приводів було неврахування динамічного характеру навантаження, гостро поставало питання міцності, тобто параметри визначали або зовсім без врахування динамічних явищ, що неминуче супроводжують роботу ланцюгової передачі, або з врахуванням деяких з них за допомогою приблизних емпіричних коефіцієнтів [1, 2]. Розвиток науки і техніки призвів до необхідності і можливості вирішення проблеми розрахунків і конструювання ланцюгових передач на основі теорії