

**Заспа Ю.П.,
Шалапко Ю.І.,
Возняк А.Л.**

Хмельницький національний університет,
м. Хмельницький, Україна
E-mail: shalapko@yahoo.com

АКУСТОЕМІСІЙНИЙ АНАЛІЗ ПЕРЕХІДНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ МАШИНИ ТЕРТЯ

УДК 534.134:621.891

Методом спектрального аналізу акустичної емісії досліджені перехідні режими роботи експериментальної машини тертя. Виявлені суттєві відмінності таких режимів від встановлених режимів експлуатації машини – як за спектральним складом віброакустичного поля, так і за напрямом каскадних процесів передачі енергії в динамічній системі. Відмічений максимальний рівень інерційних навантажень в пускових режимах машин і механізмів, що створює ризики виникнення аварійних ситуацій.

Ключові слова: машина тертя, перехідний режим, акустична емісія, спектр, енергетичний каскад, збурення.

Вступ

Перехідні режими експлуатації машин і механізмів (увімкнення, вимкнення, зміна робочих параметрів) є аварійно-небезпечними в зв'язку із значно вищим рівнем інерційних навантажень – в порівнянні з встановленими режимами [1, 2]. Високий рівень акустичної емісії, характерний для перехідних режимів [2, 3], може бути використаний з метою їх безконтактної діагностики в реальному масштабі часу. В роботі таким способом досліджується експериментальна машина тертя [4], що включає електромагнітний привід, трансмісію, вузол тертя та статорну частину. Завданням роботи є встановлення фізичних механізмів і закономірностей перехідних режимів роботи машини і механізмів, виходячи з даного експериментального прикладу.

Технічне обладнання та методика експерименту

Кінематична схема дослідної машини тертя показана на рис. 1.

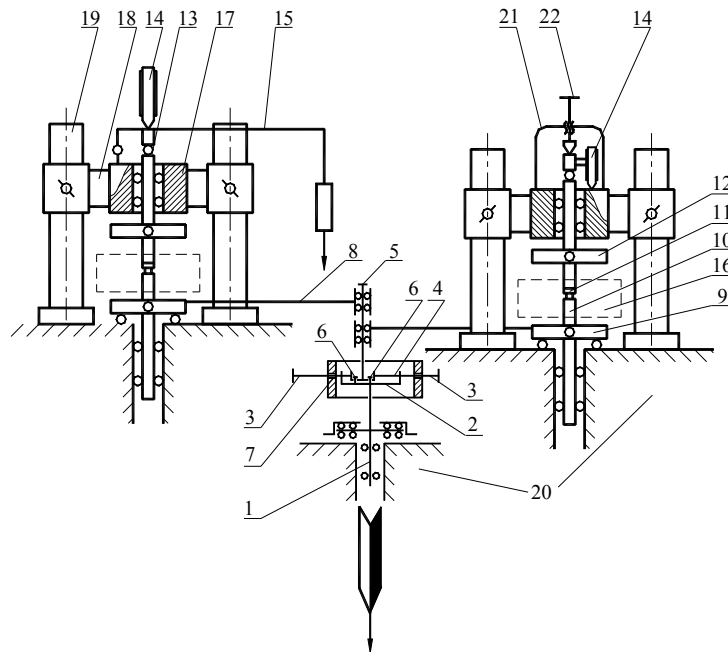


Рис. 1 – Кінематична схема установки:

- 1 – вал електродвигуна; 2 – направляючі; 3 – гвинтова пара;
- 4 – повзун; 5 – вал; 6 – гвинт; 7 – корпус;
- 8 – шатун; 9 – кривошип; 10, 11 – зразкотримачі;
- 12 – затискач; 13 – вал; 14 – датчик переміщення;
- 15 – важіль навантаження; 16 – роз'ємна камера;
- 17 – головка; 18 – направляючі; 19 – колони;
- 20 – основа; 21 – пружний елемент; 22 – гвинтова пара

Установка розроблена для досліджень номінально нерухомих фрикційних з'єднань в умовах фретингу та реверсивного тертя. Обертальний рух вала електродвигуна змінного струму за допомогою ступінчастої пасової передачі та кривошипно-шатунного механізму перетворювався у зворотно-поступальний рух зразкотримача нижнього зразка. Номінально нерухомий верхній контрзразок був закріплений у самовстановлюючій головці, здатній рухатись вздовж колон статора. Нормальне навантаження в дослідному контакті задавалось важільною системою, амплітуда коливань нижнього зразка регулювалась зміною ексцентриситету кривошипно-шатунного механізму. Використовувалась контактна пара типу плоска смуга-торець циліндра з номінальним контактним тиском близько 30 МПа та з номінальною частотою коливань ≈ 28 Гц. Увімкнення електроприводу здійснювалось прямою подачею напруги живлення без використання спеціальних пускових схем. Акустична емісія машини реєструвалась портативним комп'ютером з виносним мікрофоном. Подальша обробка записаних осцилограм акустичної емісії (АЕ) здійснювалась з використанням стандартного програмного забезпечення – у т.ч. швидкого перетворення Фур'є.

Експериментальні результати та їх обговорення

На рис. 2 показані загальні осцилограми АЕ, записані в процесі роботи машини тертя в різних режимах. Короткотривалі максимуми сигналу акустичної емісії відповідають моментам увімкнення та вимкнення установки. Мінімуми на осцилограмах пов'язані із спеціальним знаттям нормального навантаження у дослідному фрикційному контакті. Довготривалі спадні ділянки осцилограм характеризують рух машини «за інерцією» після вимкнення електроприводу.

На рис. 3 наведені більш детальні та різномасштабні за часом осцилограми сигналу АЕ, що характеризують пусковий режим машини.

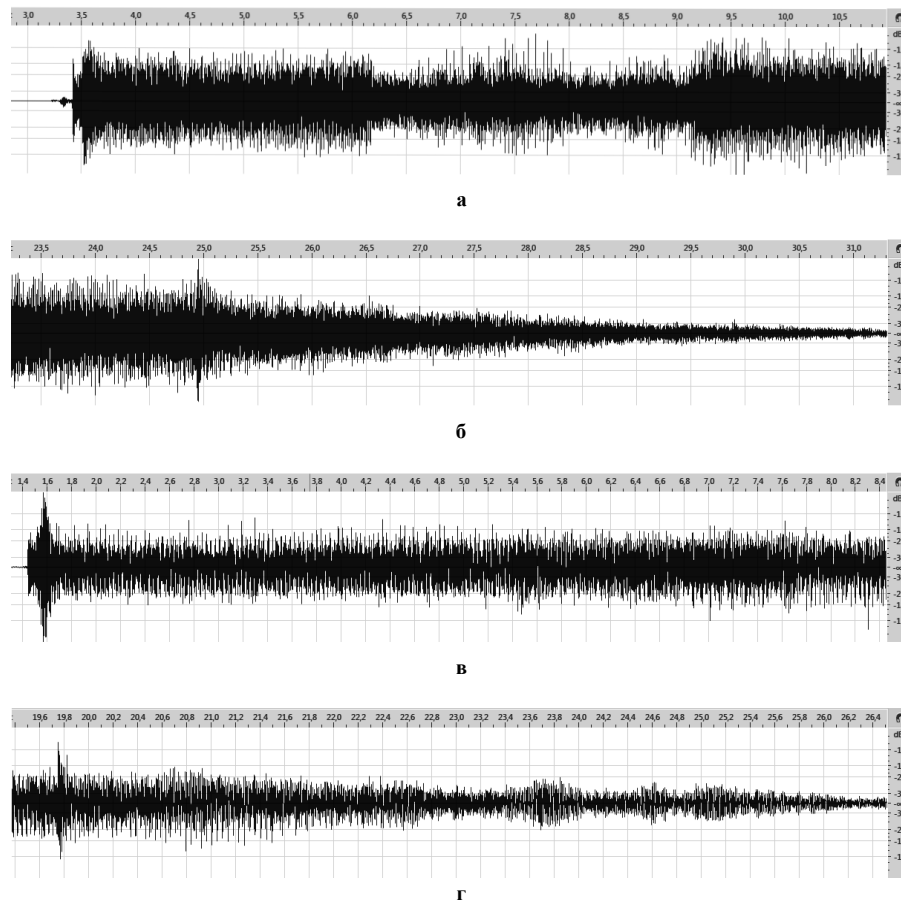


Рис. 2 – Осцилограми сигналів акустичної емісії, записані для значень амплітуди встановлених коливань рухомого зразка: а - б – 300 мкм; в - г – 150 мкм

Як видно, спостерігаються інтенсивні каскадні процеси передачі енергії між збуреннями різних часових (і частотних) масштабів, пов'язані з швидким увімкненням електроприводу та відповідними інерційними навантаженнями. Нестационарний процес пуску в цілому триває $\sim 0,30$ сек. і завершується переходом у встановлений режим роботи машини.

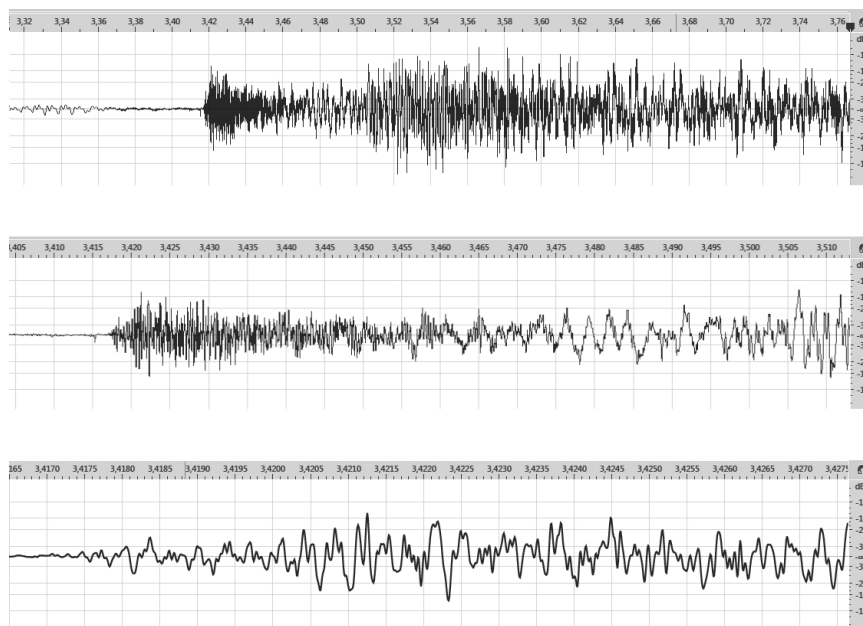


Рис. 3 – Різномасштабні осцилограми акустичної емісії, що характеризують пусковий режим машини

Нестационарний процес вимкнення електроприводу машини у порівнянні з увімкненням є значно спокійнішим та коротшим ($\sim 0,15$ сек) – рис. 4. Після вимкнення електроживлення машина, як уже відзначалось, ще тривалий час працює «за інерцією» (рис. 2), що значною мірою знімає величину інерційних перевантажень.

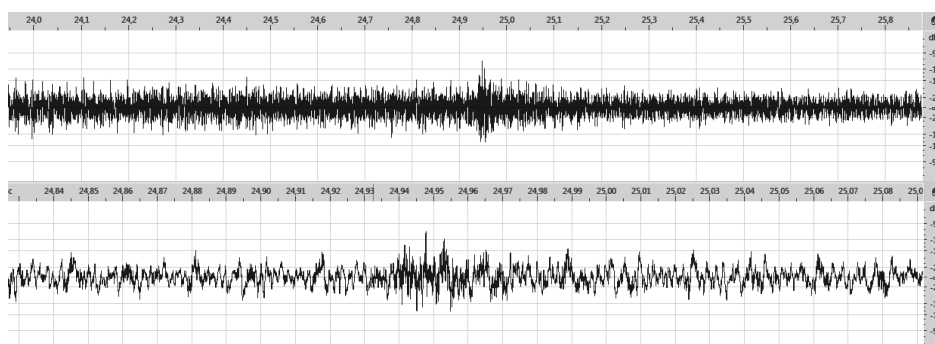


Рис. 4 – Осцилограми акустичної емісії, що характеризують процес вимкнення електромагнітного приводу машини

Окремий інтерес становить виявлення напрямів каскадної передачі енергії вихоре-хвильових збурень в процесі зупинки машини після вимкнення електроприводу. На рис. 5 показані отримані з цією метою Фур'є – спектри сигналів АЕ в різних режимах роботи машини. Аналіз спектрів показує, що напрям каскадного транспорту енергії суттєво залежить від значення дисбалансу роторної частини установки, тобто ексцентриситету кривошипно-шатунного механізму. При малому дисбалансі після вимкнення електроприводу спостерігається сильно виражений турбулентний зворотний каскад, направлений в інфразвукову частину спектру збурень – рис. 5, б. Навпаки, збільшення дисбалансу роторної частини, сприяючи посиленню нелінійних акустичних (ударних) процесів, перенаправляє потік енергії в бік вищих частот – рис. 5, г. При цьому спектр збурень дещо звужується – у порівнянні з відповідним робочим режимом (рис. 5, в).

У перехідних режимах роботи машини також суттєво перерозподіляється роль домінуючих частот у спектрі збурень – т.з. частот енергетичної накачки [2]. Так при малому дисбалансі ротора машини після вимкнення електроприводу домінуючою стає частота 75 - 80Гц – рис. 5, б. В робочому режимі ця роль виконувала номінальна частота коливань кривошипно-шатунного механізму (≈ 28 Гц) – рис. 5, а.

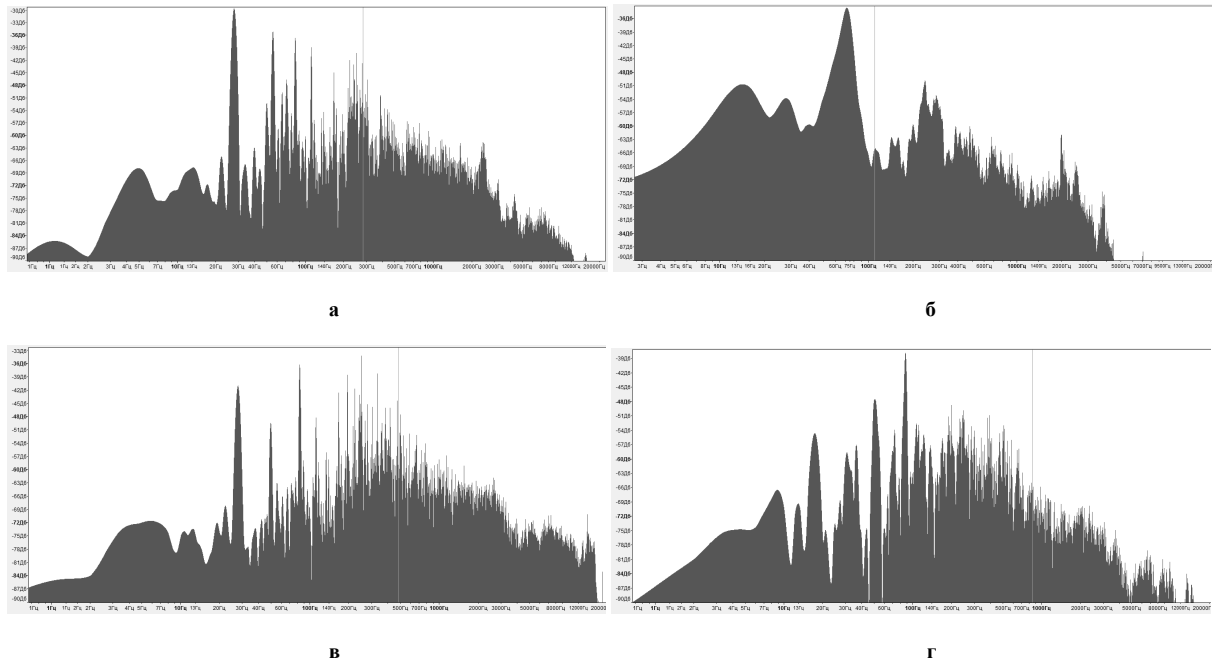


Рис. 5 – Спектри сигналів АЕ у встановлених режимах роботи машини (а, в) та в процесі її руху «за інерцією» після вимкнення електроживлення (б, г). Амплітуда встановлених віброколивань рухомого зразка: а - б – 150 мкм; в - г – 300 мкм

Висновки

Таким чином, виходячи з даного експериментального прикладу, слід зробити висновок про те, що перехідні режими роботи машин і механізмів суттєво відрізняються від встановлених робочих режимів як за характером спектру збурень поля швидкостей і поля механічних напружень, так і за напрямом каскадних процесів передачі енергії в динамічній системі.

Максимальний рівень інерційних вібронавантажень в перехідних режимах створює ризики виникнення аварійних ситуацій. Ці ризики можуть бути суттєво зменшені за рахунок оптимізації дисбалансу роторної частини машини, або ж механізму. Зокрема, підтримання дисбалансу на допустимому рівні блокує інверсний енергетичний каскад збурень, направлений в інфразвукову частину спектру при зменшенні робочого навантаження, або ж відключенні приводу машини. Це сприяє збереженню цілісності динамічної системи у таких перехідних режимах.

Література

1. Заспа Ю.П., Разуваева М.А., Шалапко Ю.И. Динамическая автоподстройка под внешнее силовое воздействие в номинально неподвижном фрикционном соединении // Трение и износ. – 2011, т. 32, №4, 375-380.
2. Заспа Ю.П. Когерентная трибодинамика // Трение и износ. – 2012, т. 33, №6, 656-673.
3. Akay A. Acoustics of Friction // J. Acoust. Soc. Am. – v. 111, №4, 1525-1548.
4. Пат. 69559А України, МПК 7G01N3/00. Установка для дослідження матеріалів та покриттів в умовах фретинг-процесів / Гончар В.В., Шалапко Ю.І., Каплун В.Г. / Опубл. 11.08.2003, Бюл. №9.

Поступила в редакцію 22.12.2014

Yu.P. Zaspа, Yu.I. Shalapko, A.L. Voznyak. **The acoustic-emissive analysis of transient operation of the friction machine.**

The transitional modes of experimental friction machine are investigated by the method of the spectral analysis of the acoustic emission. Significant differences between such modes and the established modes of the operation of the machine – both as for the spectral composition of the vibroacoustic field and the direction of the cascade energy transfer processes in a dynamic system were revealed. The maximum level of the inertial loads in the starting modes of the machine and mechanisms that creates the risk of accidents was marked.

Keywords: friction machine, transitional regime, acoustic emission, spectrum, the energetic cascade, disturbance.

References

1. Zaspа YU.P., Razuvaeva M.A., Shalapko YU.I. Dynamicheskaya avtopodstroyka pod vneshneye silovoye vozdeystvie v nominalno nepodvizhnom frikcionnom soedineniy. *Trenye i iznos*. 2011, vol. 32, №4, 375-380.
2. Zaspа YU.P. Koherentnaya trybodynamiya. *Trenye i iznos*. 2012, vol. 33, №6, 656-673.
3. Akay A. Acoustics of Friction. *J. Acoust. Soc. Am.* - V. 111, №4, 1525-1548. 4. Pat. Ukraine 69559A, IPC 7G01N3 / 00. Installation for study materials and coatings under fretting processes. Gonchar V.V., Shalapko YU.I., Kaplun V.G. Publish. 11.08.2003, Bull. №9.