

Висновки. За результатами проведених досліджень зроблено такі висновки:

1. Розроблений контрольно-вимірювальний комплекс дає змогу проводити вимірювання величини поздовжніх, бокових і вертикальних прискорень у процесі випробувань мобільних машин.
2. Експериментальним шляхом визначені зміни прискорення сільськогосподарського мобільного агрегата і потужності двигуна в процесі рушання і розгону.

1. Василенко П.М. Элементы теории устойчивости движения прицепных сельскохозяйственных машин и орудий / П.М. Василенко // Сб. науч. тр. по земледельческой механике / ВАСХНИЛ. – Т.2 – М.: Сельхозгиз, 1954. – 64 с. 2. Лебедев А.Т. Оценка управляемости мобильных машин методом парциальных ускорений / А.Т. Лебедев, Н.П. Артёмов, А.В. Кот, М.А. Подригало // Праці Таврійського державного агротехнологічного університету. – Мелітополь, 2010. – Вип. 10, Т. 7. – С. 65–72. 3. Анилович В.Я. Конструирование и расчет сельскохозяйственных тракторов / В.Я. Анилович, Ю.Т. Водолажченко: Справ. пособ. – 2-е изд., переработ. и доп. – М.: Машиностроение, 1976. – 456 с. 4. Погорелый Л.В. Испытания сельскохозяйственной техники: научно-методические основы оценки и прогнозирования надежности сельскохозяйственных машин / Л.В. Погорелый, В.Я. Анилович – К.: Феникс, 2004. – 208 с. 5. Лурье А.Б. Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов / А.Б. Лурье. – М.: Колос, 1982. – 184 с. 6. Кульков А.В. Исследование влияния неустойчившегося характера нагрузки на эксплуатационные показатели работы МТА, определяемые косвенно по энергозатратам: автореф. дисс. ... канд. техн. наук / А.В. Кульков. – Л.: Пушкино, 1987. – 18 с. 7. Кутьков Г.М. Теория трактора и автомобиля / Г.М. Кутьков. – М.: Колос, 1996. – 287 с. 8. Гаврилов Э.В. Принципы работы мобильных вычислительных комплексов / Э.В. Гаврилов, О.П. Алексеев, О.П. Смирнов // Информационные технологии. – Харьков, 1999. – С. 139 – 141.

УДК. 620.179

М.О. ТИХАН

Національний університет “Львівська політехніка”

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕНЗОРЕЗИСТИВНОГО ДАВАЧА ТИСКУ ЗА НЕСТАЦІОНАРНОГО ТЕРМОВПЛИВУ

© Тихан М.О., 2011

Пропонуються методика, опис принципів, устаткування та результати дослідження перехідної характеристики тензорезистивного давача тиску під час термоударів.

The method, description of principles, equipment, and results of research of piezoresistive pressure sensors transient characteristic under thermal shock has been proposed.

Вступ. Для багатьох сучасних атоматизованих систем керування є вкрай необхідні давачі динамічного тиску, які спроможні працювати в умовах нестационарної температури. Такі проблеми зустрічаються в аерокосмічній галузі, військовій техніці, наукових дослідженнях, випробувальній техніці тощо. Так, вимірювання тиску у космічних апаратах супроводжується впливом температури

в межах $-150...+130\text{ C}^0$, у ракетноносіях температурні впливи мають амплітуду до $+700\text{ C}^0$ за швидкості зміни порядку $4000\text{--}5000$ град/с, а в області двигунів – до 3500 C^0 , у авіаційній техніці температурні впливи лежать в межах -60 до $+350\text{ C}^0$, у морській техніці – температурні впливи – -50 до $+120\text{ C}^0$, при відпрацюванні компресорних установок чи новостворених двигунів внутрішнього згоряння вимірювачі тиску піддаються впливу чітко виражених нестационарних температур з амплітудою до сотень градусів Цельсія [1...5].

Тому для забезпечення цих галузей якісними давачами тиску необхідно мати такі методи та устаткування їхньої атестації, чи перевірки, які б уможливили отримувати метрологічні характеристики за дії температури.

Сьогодні існуючі методи та устаткування дають змогу отримувати основні динамічні характеристики давачів [6]. Проте дуже мало методів та засобів, які б уможливили перевірку динамічних характеристик давачів за одночасного впливу змінної температури, особливо низької.

Отже, цілком очевидно, що розроблення таких методів та устаткування є вкрай актуальним завданням.

Загальні принципи, устаткування та методика дослідження. З аналізу нестационарних температурних процесів у давачах тиску відомо [7, 8], що вони доволі сильно впливають на динамічні характеристики вимірювачів.

Однак для розроблення засобів вимірювання в середовищах з довільною нестационарністю аналіз їхніх динамічних характеристик пропонується здійснювати за найрізкішого термовпливу – термоудару. Такий принцип дасть оцінку впливу температури “зверху”, і за менш різких термовпливів вона буде завищеною. Але, зважаючи на складність створення експериментального устаткування для відтворення термовпливу з різною зміною в часі, запропонована методика буде універсальною, оскільки забезпечить оцінку динамічних характеристик за найжорсткішого термовпливу.

Властивості давачів тиску в динаміці оцінюватимемо за допомогою їхньої перехідної характеристики, яка, на наш погляд, є найпрактичнішою динамічною характеристикою.

З метою всебічної оцінки впливу температури на перехідну характеристику дослідження отримано динамічні характеристики за нормальних умов, отримано температурну перехідну характеристику (отримано вихідний сигнал давача за дії тільки термоудару); отримано динамічні характеристики за одночасного удару тиску і температури. Знання саме цих характеристик дасть можливість порівняти результати досліджень за одночасного удару тиску і термоудару і дослідження перехідної характеристики за нормальних умов.

Принципову схему установки для створення одночасної дії удару тиску і холодного термоудару показано на рис. 1.



Рис. 1. Принципова схема установки для створення одночасного удару тиску і холодного термоудару

Такий пристрій поєднує принципи газодинамічної ударної труби і мембранної пневмоустановки для відтворення спаду тиску [6] і являє собою трубу, яка містить перегородку з крихкого матеріалу, і сітку за нею. У лівій частині труби розташовуємо давач, який атестується, і

цю частину камери вакуумуємо до певного рівня. При цьому внутрішня порожнина давача теж вакуумується до такого самого рівня, тому його початковий вихідний сигнал дорівнює нулю. У праву частину нагнітається охолоджений газ, і як тільки рівень тиску газу досягне критичного значення, перегородка руйнується, а охолоджений газ дуже швидко проникає в ліву частину труби. В результаті давач зазнає удару тиску і холодного термоудару.

Для правильного функціонування установки параметри перегородки підбирають, враховуючи вираз

$$\frac{R}{h} = \sqrt{\frac{[s](1-n) - aE\Delta T}{(1-n) \cdot 0,666\Delta P}}, \quad (1)$$

де R – радіус перегородки; h – товщина перегородки; $\Delta P = P_1 - P$ – різниця тиску у лівій і правій частинах труби; a – коефіцієнт теплового розширення матеріалу перегородки; n – коефіцієнт Пуассона; E – модуль Юнга; $[s]$ – границя міцності матеріалу перегородки; ΔT – початкова різниця температур перегородки і газу.

При цьому час наростання амплітуди удару тиску становитиме

$$t_x = \frac{S}{V}, \quad (2)$$

де S – максимальна довжина вільного пробігу молекул газу (за нормальних умов); V – швидкість руху фронту удару.

Окрім того, формула (2) надає можливість оцінити час наростання термоудару.

Амплітуда удару тиску обчислюється за формулою

$$\Delta P = P_1 - P_2 = P_1 \frac{2g}{g+1} (M^2 - 1), \quad (3)$$

де P_1 – рівень вакууму у вакуумованій камері; P_2 – тиск в потоці газу; g – питома теплоємність газу; M – число Маха.

Результат випробування тензорезистивного давача тиску з власною частотою 5 кГц за амплітуди тиску 6 МПа і амплітуди термоудару 175 К показано на рис. 2.

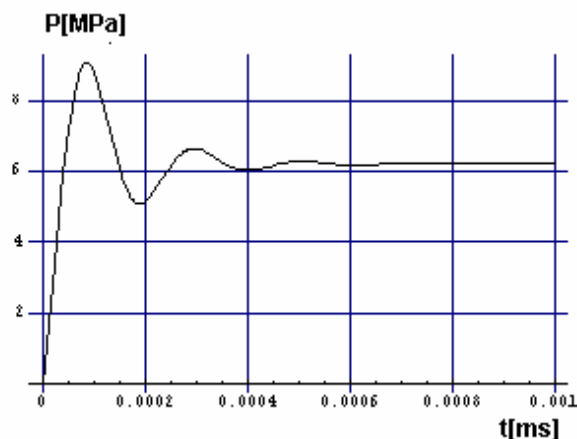


Рис. 2. Перехідна характеристика давача тиску за холодного термоудару

Одновременний удар тиску і гарячий термоудар створювався за допомогою стисненої і гарячої рідини, яка дуже швидко проникала в попередньо вакуумовану частину труби, де розташовувався давач.

Принципову схему установки для створення одночасного удару тиску і гарячого термоудару показано на рис. 3. За принципом роботи ця установка аналогічна до попередньої, за винятком того,

що труба розташовується вертикально і нижня камера має резервуар з гарячою рідиною, яка піддається дії тиску.



Рис. 3. Принципова схема установки для створення одночасного удару тиску і гарячого термоудару

У цьому дослідженні час наростання амплітуди удару тиску обчислювався за формулою

$$t_2 = \frac{L}{V_1 + V_2}, \quad (4)$$

де L – товщина незрівноваженого шару рідинної поверхні, яка проникає в камеру під впливом різниці тиску ΔP ; V_1 – швидкість розповсюдження хвиль у рідині; V_2 – швидкість проникнення рідини всередину труби, яку обчислюють за формулою

$$V_2 = \sqrt{\frac{2\Delta P}{r}}, \quad (5)$$

де r – густина рідини.

Результат випробування тензорезистивного датчика тиску з власною частотою 3,3 кГц за амплітуди тиску 4,8 МПа і амплітуди термоудару 473 К показано на рис. 4.

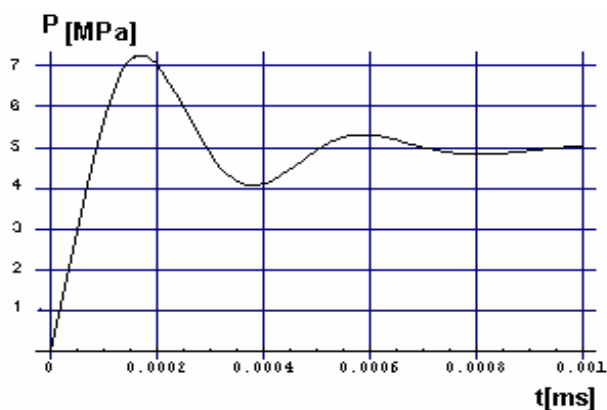


Рис. 4. Перехідна характеристика датчика тиску за гарячого термоудару

Методи отримання динамічних характеристик за нормальних умов аналогічні до методу отримання удару тиску і гарячого термоудару, але температура рідини при цьому дорівнює 20 °С.

Установка для створення тільки удару тиску аналогічна до попередньої, за винятком того, що рідина мала нормальну температуру. А хід дослідження був зворотний. Тобто в резервуар з рідиною був поданий певний надлишковий тиск, а потім у верхній частині труби з датчиком створювався вакуум до моменту руйнування перегородки.

Результат випробування тензорезистивного датчика тиску з власною частотою 3,3 кГц за амплітуди тиску 4,8 МПа показано на рис. 5.

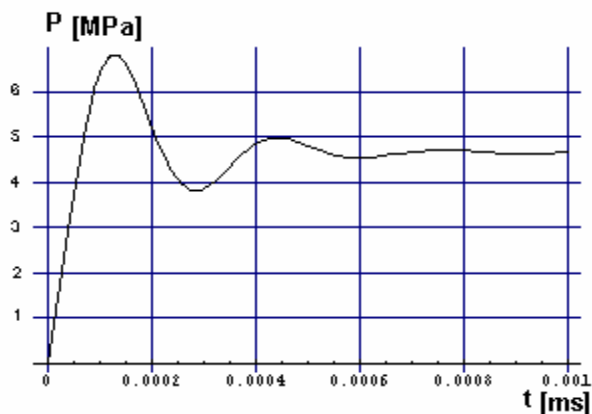


Рис. 5. Перехідна характеристика давача тиску за нормальних умов

Дослідження температурної перехідної характеристики давача за гарячого термоудару здійснювалось шляхом швидкого проникнення гарячої рідини у вакуумований канал, де розташований давач.

Принципова схема установки для створення лише гарячого термоудару показана на рис. 6.

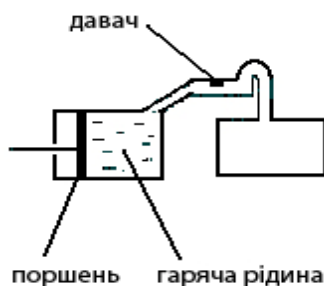


Рис. 6. Принципова схема установки для створення тільки гарячого термоудару

Установка містить трубчастий резервуар з поршнем і гарячою рідиною, канал, в якому розташовують давач і зливний резервуар. В усій системі створюється вакуум, а потім поршень швидко переміщається вправо. Під дією поршня рідина перетікає через канал, створюючи на давачі лише гарячий термоудар.

Результат випробування тензорезистивного давача тиску з власною частотою 20 kHz показано на рис. 7.

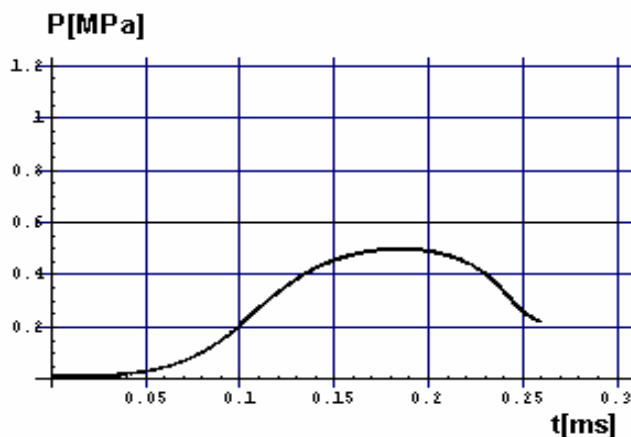


Рис. 7. Температурна перехідна характеристика за гарячого термоудару

Дослідження температурної перехідної характеристики давача за холодного термоудару здійснювалось шляхом швидкого занурення давача в камеру з охолодженим газом.

Принципову схему установки для створення лише холодного термоудару показано на рис. 8.



Рис. 8. Принципова схема установки для створення тільки холодного термоудару

Установка являє собою камеру, яка наповнена охолодженим газом, що переміщується. Давчач швидко занурюється в камеру і зазнає лише холодного термоудару.

Результат випробування тензорезистивного давача тиску з власною частотою 20 kHz показано на рис. 9.

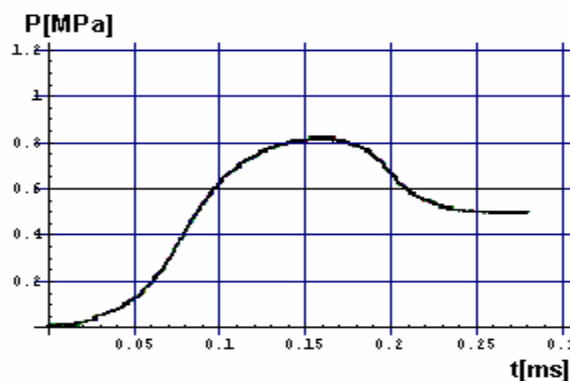


Рис. 9. Температурна перехідна характеристика за холодного термоудару

Висновки. Проведені дослідження підтвердили, що нестационарний термовплив в істотний спосіб змінює динамічні характеристики давача, що само по собі породжує динамічну складову його температурної похибки.

Для оцінки такої похибки і відповідно встановлення якісних показників давачів, призначених для роботи в умовах нестационарних температур, необхідно створювати спеціальну і сертифіковану випробувальну апаратуру.

Для використання давачів у системах автоматизованого виробництва необхідно розробляти способи коригування температурної похибки у реальному часі.

Отримані температурні перехідні характеристики дали змогу розробити спеціальний спосіб вимірювання тиску в умовах нестационарного термовпливу [9].

1. Maryamova I., Lavitska E., Tykhan M., Kutrakov A. *Semiconductor mechanical sensors for adverse and dynamic conditions. XIV IMEKO World Congress. V. IX A.* – P. 99–103. – Tampere, Finland, 1997.
2. Коптев Ю.Н., Горши А.В. *Давачовая аппаратура для ракетно-космической техники // Радиотехника.* – 1995. – № 10. – С. 5 – 6.
3. Шамраков А.Л. *Перспективы развития пьезоэлектрических датчиков быстропеременных, импульсных и акустических давлений // Датчики и системы.* – 2005. – № 9. – С. 4–8.
4. Балакин В.И., Марков Н.М., Тарбеев Ю.В., Грановский В.А., Домницкий В.М., Соломоник В.А. *Состояние и перспективы развития динамических измерений в*

отраслях энергетического, тяжелого и транспортного машиностроения // Динамические измерения (IV Всесоюзный симпозиум): Тезисы докладов. – Ленинград: НПО “ВНИИМ им. Д.И. Менделеева”, 1984. – С. 3–10. 5. Пойда А.Н., Смолин Ю.А., Коваленко В.Т., Сухопаров С.С. Динамические измерения давления в цилиндре и топливной системе дизеля // Динамические измерения (IV Всесоюзный симпозиум): Тезисы докладов. – Ленинград: НПО “ВНИИМ им. Д.И. Менделеева”, 1984. – С. 127–130. 6. Федяков Е.М., Колтаков В.К. и др. Измерение переменных давлений. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 216 с. 7. Тихан М.О., Малець Р.Б., Шинкаренко Г.А. Моделювання термомеханічних процесів в конструктивних елементах вимірювачів тиску // Машинознавство. – 2008. – №6. – С. 26–31. 8. Тихан М.О. Аналіз впливу термомеханічних процесів у мембрані тензометричного перетворювача динамічного тиску при термоударі на його додаткову похибку: Автоматика, вимірювання та керування // Вісник Національного університету “Львівська політехніка”. – 2007. – №574. – С. 69–75. 9. Тихан М.О. Спосіб вимірювання тиску в умовах нестационарних температур: Приладобудування // Вісник Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”. – 2008. – №35. – С. 77–84.

УДК.539.3:534.1

М.Г. ШУЛЬЖЕНКО, Ю.Г. ЄФРЕМОВ, В.І. ЦИБУЛЬКО, О.В. ДЕПАРМА
Інститут проблем машинобудування ім. А.М. Підгорного НАН України, м. Харків

ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ВИМІРЮВАЛЬНІ ЗАСОБИ ДІАГНОСТУВАННЯ ТУРБОАГРЕГАТІВ

Ó Шульженко М.Г., Єфремов Ю.Г., Цибулько В.І., Депарма О.В., 2011

Описано розроблені технології та комп'ютеризовані системи безперервного автоматизованого аналізу та діагностики вібраційного стану потужних турбоагрегатів ТЕС (ТЕЦ) для виявлення причин змін вібрації та попередження розвитку позаштатних ситуацій.

The developed technologies of the analysis of a vibrating state of powerful turbine units of thermal power stations and the created computerized systems of the continuous automated analysis of vibration for revealing of the reasons of change of vibration and preventions of development of unforeseen situations which are introduced on power blocks are described.

Постановка проблеми. Проблема підвищення надійності і технологічної безпеки експлуатації енергоблоків відповідно до вимог сучасного енергоринку з мінімальними витратами може вирішуватися шляхом використання засобів і новітніх інформаційних технологій діагностування вібраційного стану з визначенням небезпечних несправностей. Відомо, що вібраційний стан працюючого агрегата є одним з основних показників його технічного стану, а вібропараметри є найбільш чутливими до появи і розвитку пошкоджень.

Штатні системи контролю вібрації турбоагрегатів потужністю 100–800 МВт (в Україні їх більше 100) не забезпечують своєчасного виявлення появи і розвитку небезпечних несправностей.

Аналіз останніх досліджень. Сьогодні в області діагностики розроблені технології діагностування вібростану потужних паротурбінних агрегатів за вібраційними параметрами. У цьому напрямі здійснюють дослідження багато відомих закордонних фірм (“Shenck” Німеччина, “Bruel&Kjaer” Данія та інші), у тому числі і в Україні НПВ “Моноліт” і в СНД, зокрема, в