

## دراسة وتصميم نظام عزل اهتزازي فعال لحماية الآلات الدوارة ذات الكتل الكبيرة من الاهتزازات

د. محمد خنيسي\*

(تاريخ الإيداع 2011 / 5 / 22. قُبِلَ للنشر في 2011 / 8 / 18)

### □ ملخص □

يسمح استخدام تكنولوجيا الاهتزازات بتطوير العمليات التكنولوجية التقليدية بشكل جذري، هذا وتؤدي الزيادة الكبيرة لسرعات حركة الآليات والآلات إلى زيادة الاهتزازات واتساع الطيف الاهتزازي مما يتطلب تطوير أنظمة عزل اهتزازي وابتكار حلول بناءة. تستخدم تكنولوجيا الاهتزازات في علم المينالوجيا (المعادن) وفي عمليات استخراج الثروات الباطنية (النفط والغاز والفحم).

تهدف هذه الدراسة إلى إيجاد نظام عزل اهتزازي فعال لحماية الآلات الدوارة ذات الكتل الكبيرة من الاهتزازات وبالتالي فإن إمكانية البحث في ديناميك الآلات الاهتزازية ذات المحاور الدوارة غير المتوازنة يبدو واقعياً جداً. حيث دلت الدراسة على أهمية موازنة الآلات ذات المحاور الدوارة غير المتوازنة يطيل في عمر هذه الآلات ويعطي مردوداً أفضل.

**الكلمات المفتاحية:** نظام عزل اهتزازي فعال، الآلات الدوارة ذات الكتل الكبيرة، تكنولوجيا الاهتزازات، ديناميك الآلات.

\* أستاذ مساعد - قسم هندسة الميكاترونك - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

# Studying and Designing an Effective Vibrational Isolating System for Protecting Rotational Big-Mass Machinery from Vibrations

Dr. Mohammad Khnissi \*

(Received 22 / 5 / 2011. Accepted 18 / 8 / 2011)

## □ ABSTRACT □

Using of vibrations technology enables the development of traditional technological operation. The high increase of movement speed of machines causes an increase in vibrations (vibrational spectrum) which requires the development of vibrational isolation systems and the innovation of thorow solutions.

This study aims to build an effective vibrational isolation system to protect rotational big-mass machines, consequently research possibility in dynamic vibrational machines with rotational axis unbalanced seems very realistic. Use vibrational technology in metalurgy and in the extraction of underground resources such as oil, gas and coal. Because balancing of machines with unbalanced rotational axis lengthens the age of these machines and improves the efficiency.

**Keywords:** Active vibrational isolation systems, big-mass rotational machines, vibrations technology, dynamic machines.

---

\* Associate Professor, Mechatronics Engineering Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

**مقدمة:**

يسمح استخدام تكنولوجيا الاهتزاز بتطوير العمليات التكنولوجية التقليدية بشكل جذري. أي إمكانية زيادة الإنتاج. تستخدم تكنولوجيا الاهتزاز بشكل واسع في علم المعادن وفي عمليات استخراج الثروات الباطنية. تؤدي الزيادة الكبيرة لسرعات حركة الآليات وقدره أجهزة الطاقة إلى زيادة الاهتزاز واتساع الطيف الاهتزازي المؤثر على موضع الحماية مما يتطلب تطوير أنظمة العزل الاهتزازي وابتكار حلول بناءة [1].

إن البحث والدراسة لموانع اهتزاز الأجسام ذات الكتلة الكبيرة لم يتم بشكل وافٍ إلى الآن. تقوم غالبية أنظمة التخماد المانعة للاهتزاز في آلات الحفر واستخراج المعادن الأكثر انتشاراً تقوم على أساس المواد المرنة وذلك بسبب كلفتها المنخفضة وآلية تركيبها البسيطة.

هناك الكثير من الآلات التكنولوجية بكتلة تتراوح من (2000-1000 Kg)، وفي حالات معينة قد تكون أكثر من ذلك، فإن الترددات العاملة تقع في الغالب ضمن المجال (15-25 Hz). بينت التجارب السابقة أن استخدام موانع الاهتزاز المتخامدة ليس فعالاً في حال الترددات المنخفضة للأجسام ذات الكتلة الكبيرة. كما أن استخدام الأنظمة الفعالة المانعة للاهتزاز غير مبرر في كثير من الأحيان، حيث صعوبة تعديل أنظمة التحكم فيها وقيمتها العالية. كانت حتى الآن تعالج مشكلة عزل الاهتزازات ذات التردد المنخفض والناجمة عن عمل الآلات المهتزة ذات الكتلة الكبيرة، إنشاء أماكن إنتاج واسعة منفصلة مدعومة الأساسات، وهذا ما سبب ظهور تكاليف إنشاء إضافية، وزيادة تكاليف نقل المواد التي يتم تصنيعها.

**أهمية البحث وأهدافه:**

إن الهدف من البحث هو إيجاد نظام عزل اهتزازي ذو تركيبة سهلة وكفاءة عالية مع إمكانية تعديل مؤشرات القيم المتغيرة بما يتناسب مع سير العملية الفنية. للوصول إلى هذا الهدف يجب استخدام نظام عزل اهتزازي ينسجم مع حالة عدم اتزان المحاور الدوارة، مع إمكانية تعديل ترددات ومقدار القوى المطبقة، وبما أنه لم يتم تناول سلوك نظام العزل الاهتزازي ضمن الآلات المهتزة حتى الآن. وبالتالي فإن إمكانية البحث في ديناميك الآلات الاهتزازية ذات المحاور الدوارة غير المتوازنة يبدو ذا أهمية كبيرة [2].

**طرائق البحث ومواده:**

في ضوء الهدف المنشود تم تحديد وحل المسائل التالية:

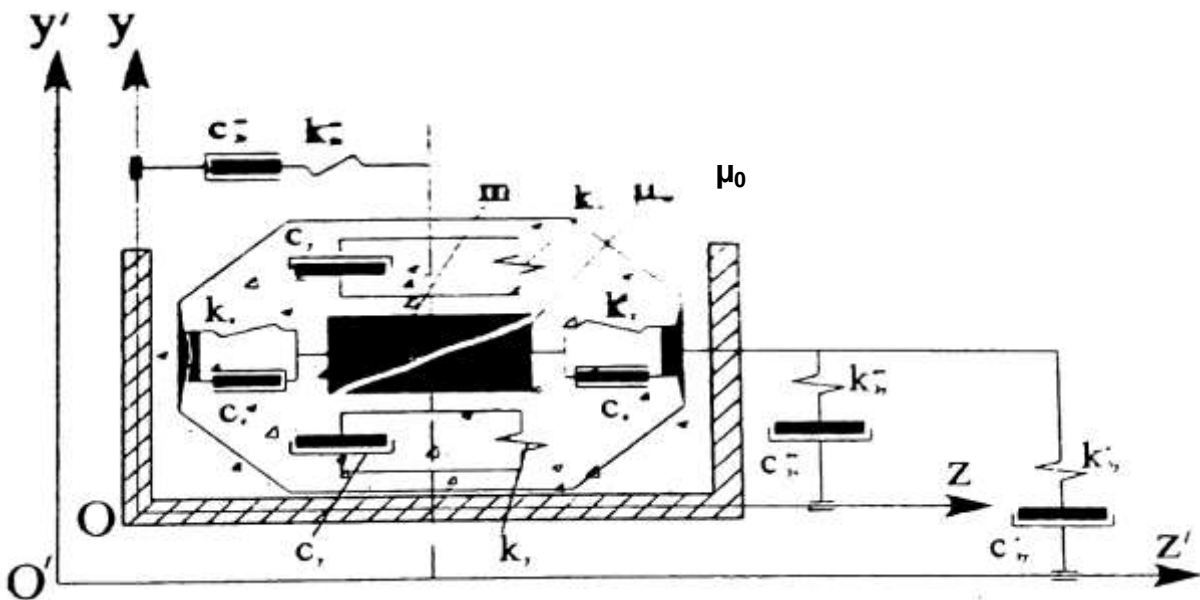
- القيام بدراسة نظرية والبحث في التحسينات العلمية التكنولوجية الموجودة في مجال تكنولوجيا عزل الاهتزاز بهدف إظهار المخططات الموجودة في مجال عزل اهتزاز الآلات التكنولوجية ذات الكتل المهتزة الكبيرة واختبار فعاليتها.
- إعداد نموذج رياضي للآلة المهتزة مع الإضافات المحدثة كنظام حماية من الاهتزازات، التي تسمح باختيار القيم المتغيرة لجميع ظروف مجريات العملية التكنولوجية.
- إعداد طريقة مثبتة علمياً لتشخيص قيم النموذج الرياضي للآلات المهتزة ذات المحاور الدوارة الإضافية كنظام عزل اهتزازي.
- إعداد نظام عزل اهتزازي للآلات المهتزة ذات الكتل الكبيرة يكون قادراً على العمل بفعالية في مجال الترددات المنخفضة، ويسمح بتعديل التردد وتأثير القوة.

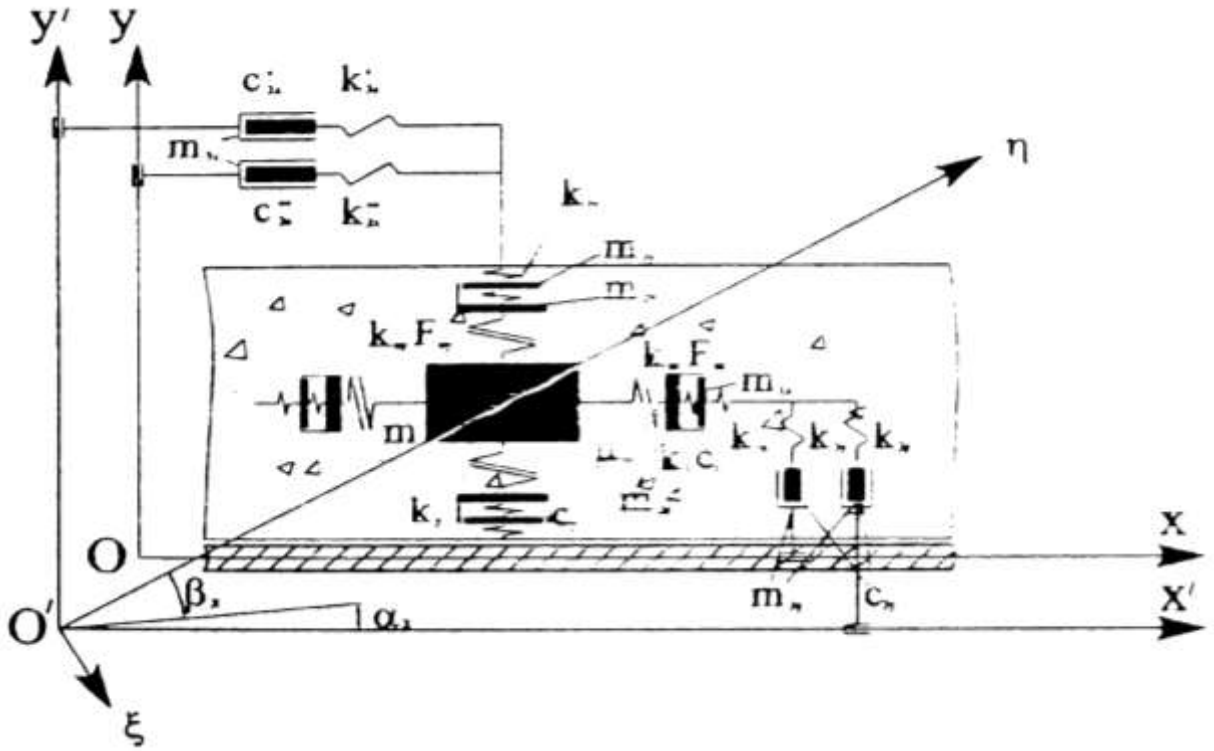
- القيام بالبحث حول مدى فعالية نظام عزل اهتزازي مع المحاور الدوارة غير المستقرة باستخدام المعايير المعروفة. لقد ارتكز البحث على نظرية الاهتزازات الحديثة، الميكانيك النظري، التحليل والإحصاء الرياضي، التصميم الرياضي باستخدام حزمة (Matlab).

### النتائج والمناقشة:

إن الآلة المهتزة هي عبارة عن بنية معقدة تحوي على حركات ميكانيكية معقدة وتشوهات. كذلك تحتوي هذه التركيبية عناصر الذاكرة، التي تؤدي بعد انفصالها إلى نظم فرعية دورياً، تعود وتندمج مرة أخرى. يشترط سلوك النظام بأن تحتوي الشروط الأولية للمرحلة التالية وتشوه عناصر حركة النظام بداية للاتصال التالي، في حدود زمن الترددات التي تقطع الاستمرارية ويكون النظام عبارة عن تركيبية متماسكة، وإن كان يتجزأ بشكل دوري إلى نظم فرعية [3]. لا يؤثر على سير العملية طبيعة تأثير العضو الناقل للحمولة فقط، بل وطبيعة العلاقة التبادلية لطبقاتها وجزئياتها فيما بينها عند المعالجة الاهتزازية لحمولات كبيرة الكتلة. تتفكك طبقة المادة غير المتماسكة إلى عدد كبير من الطبقات غير المتلامسة مع بعضها، لذلك فإن الأكثر ملائمة أن يكون النموذج من عدد نهائي من العناصر مع مؤشرات محددة.

وعليه فإن نموذج الحمولة الذي نظهره على الشكل (1) يجب أن يكون فراغياً، لأن التشوه في طبقة الحمولة في الاتجاه الأمامي للعضو المعرض للحمولة أو بالاتجاه عمودي على سطحه، وبسبب قوة تفاعل الإجهادات على الطبقات الأساسية في النظام الفراغي، تؤدي إلى تشوه في الاتجاه المعاكس كما يسبب التبادل الجانبي المرافق لذلك والذي يضغط الحمولة نحو جدران العضو الحامل عند حركة الحمولة بالنسبة له، قوة احتكاك. أضف إلى ذلك فإنه توجد طرق خاصة لنقل الاهتزازات، في تلك الحالات التي تخضع الحمولة فيها إلى تغير في الحجم (الفراغ الحجمي).





الشكل (1) نموذج الحمولة (القابلة للتناثر) على قاعدة مهتزة

بهذا الشكل، يكون من الصواب تجهيز طبقة الحمولة الكتلية لنموذج فراغي معمم بحيث أنه في الحالات المختلفة، يمكن تحويل النموذج ثلاثي التركيب إلى نموذج أكثر بساطة ثنائي التركيب.

في كل تركيبة لنموذج الحمولة الفراغية تتولد تغيرات مرنة ولزجة ولدنة لطبقة الحمولة الموزعة باتجاه المحاور  $xOy$  و  $yOz$  الشكل (1) يمكن نمذجة خصائص (المرونة، اللزوجة واللدونة) بالعناصر المرنة مع معاملات الصلابة  $(k_x, k_y, k_z, k_{Ix}, k_{Iy}, k_{Iz})$  كذلك بالعناصر المخمدة مع معاملات اللزوجة  $(c_x, c_y, c_z)$  وأيضاً بالأجسام اللدنة محدودة المرونة على التشوه  $(F_{nx}, F_{ny}, F_{nz})$  ومعاملات الصلابة  $(k_{nx}, k_{ny}, k_{nz})$ .

تتم نمذجة خصائص عطالة طبقة الحمولة بالكتل  $(m, m_{1x}, m_{1y}, m_{1z}, m_{2x}, m_{2y}, m_{2z})$  وتتم نمذجة الطبقة المفردة المركزية للحمولة بالكتلة  $m$ ، التي تتصل بشكل لدن  $(k_n)$  مع الكتلة  $m_2$ ، والتي تتمذج الطبقة المفردة الثانية. تتصل الكتلة  $m_2$  بدورها بالأجسام المرنة  $k$  بشكل متوازٍ وبالعناصر المخمدة  $c$  مع الأجسام المذكورة ذات الكتلة  $m_1$ ، منمذجة بذلك منطقة تلامس طبقة الحمولة مع السطح المتحرك. يتولد العزم المرافق لهذا التفاعل من الجسم المرن المذكور  $k_1$  ولهذا الجسم  $k_1$  اتصال منزلق مع السطح المتحرك.

يؤد النموذج ذو العطالة (المرن، اللزج واللدن)، لطبقة الحمولة تفاعلات الطاقة التالية لعملية انتقال الاهتزازات في اتجاه المحاور المناسبة.

يكون الضغط العادي لطبقة الحمولة على السطح الناقل في الاتجاهات  $x, y, z$ :

$$N_x = -k_{1x} \cdot x_1, \quad N_y = -k_{1y} \cdot y_1, \quad N_z = k_{1z} \cdot z_1 \quad (1)$$

حيث  $x_1, y_1, z_1$  انتقال الكتل  $m_{1x}, m_{1y}, m_{1z}$  في الاتجاهات  $x, y, z$  على التوالي.

كما تكون قوة الاحتكاك بالسطح الناقل (المؤشر الأول يدل على اتجاه محور الانزلاق، الثاني اتجاه عملية رد الفعل)

$$F_{xy}^T = \text{sign}(\dot{x}) \cdot \mu_x \cdot k_{1y} \cdot y_1 \quad (2)$$

$$\begin{aligned} F_{yx}^T &= \text{sign}(\dot{y}) \cdot \mu_y \cdot k_{1x} \cdot x_1 \\ F_{zx}^T &= \text{sign}(\dot{z}) \cdot \mu_z \cdot k_{1x} \cdot x_1 \\ F_{xz}^T &= \text{sign}(\dot{x}) \cdot \mu_x \cdot k_{1z} \cdot z_1 \\ F_{yz}^T &= \text{sign}(\dot{y}) \cdot \mu_y \cdot k_{1z} \cdot z_1 \\ F_{zy}^T &= \text{sign}(\dot{y}) \cdot \mu_z \cdot k_{1y} \cdot y_1 \end{aligned}$$

ملاحظة:

$$\text{sign}(x) = \begin{cases} 1 & \text{where } x \geq 0 \\ -1 & \text{where } x < 0 \end{cases}$$

وتعطي الضغوط المرنة المخمدة في طبقة الحمولة

$$\begin{aligned} F_x^{y\beta} &= -k_x \cdot (x_2 - x_1) - c_x \cdot (\dot{x}_2 - \dot{x}_1) \\ F_y^{y\beta} &= -k_y \cdot (y_2 - y_1) - c_y \cdot (\dot{y}_2 - \dot{y}_1) \\ F_z^{y\beta} &= -k_z \cdot (z_2 - z_1) - c_x \cdot (\dot{z}_2 - \dot{z}_1) \end{aligned} \quad (3)$$

أما الضغوط اللدنة في طبقة الحمولة فتعطي بالشكل التالي:

$$\begin{aligned} F_{nx} &= \begin{cases} F_{nx}^* & \text{where } (x - x_2) \cdot \frac{k_{nx}}{F_{nx}^*} \leq 1 \\ F_{nx}^* + k_{nx} \cdot (x - x_2) & \text{where } (x - x_2) \cdot \frac{k_{nx}}{F_{nx}^*} \geq 1 \end{cases} \\ F_{ny} &= \begin{cases} F_{ny}^* & \text{where } (y - y_2) \cdot \frac{k_{ny}}{F_{ny}^*} \leq 1 \\ F_{ny}^* + k_{ny} \cdot (y - y_2) & \text{where } (y - y_2) \cdot \frac{k_{ny}}{F_{ny}^*} \geq 1 \end{cases} \\ F_{nz} &= \begin{cases} F_{nz}^* & \text{where } (z - z_2) \cdot \frac{k_{nz}}{F_{nz}^*} \leq 1 \\ F_{nz}^* + k_{nz} \cdot (z - z_2) & \text{where } (z - z_2) \cdot \frac{k_{nz}}{F_{nz}^*} \geq 1 \end{cases} \end{aligned} \quad (4)$$

أما المعادلات التفاضلية للمعاملات المستمرة والمتغيرة، التي تصف انتقال طبقات الحمولة والوسط المحيط وتشوهها في اتجاه المحور  $y$  في جميع الأوضاع تأخذ الأشكال التالية:

$$\begin{aligned} \ddot{y} &= -\ddot{Y} - g \cos \alpha - \frac{2n_y}{\lambda} (\dot{y} - \dot{y}_1) - \frac{p_y^2}{\lambda} (y - y_1) - \left| \frac{\mu_y}{0} \right| \text{sign}(\dot{y}) f_z \\ \ddot{y}_1 &= -\ddot{Y} - g \cos \alpha - \frac{2n_y}{1 - \lambda} (\dot{y}_1 - \dot{y}) - \frac{p_y^2}{1 - \lambda} (y_1 - y) - \frac{p_{2y}^2}{1 - \lambda} (y_1 - y_2) - \left| \frac{p_{1y}^2}{0} \right| \frac{1}{1 - \lambda} y_1 \\ \ddot{y}_2 &= -\ddot{Y} - \frac{2n_y}{\lambda_2} \dot{y}_2 - \frac{p_{2y}^2}{\lambda_2} (y_2 - y_1) - \frac{p_{2y}^2}{\lambda_2} (y_2 - y) \end{aligned} \quad (5)$$

حيث  $\lambda, \lambda_2$  التناسب بين كتل الطبقات الفردية والبيئة الخارجية المشاركة في التشوه:

$$\lambda = m_1 / (m + m_1), \quad \lambda_2 = m_2 / (m + m_1)$$

$n_y, n_{2y}$  معاملات المتناقص اللوغاريتمي، مشروطة برودود الفعل الداخلية والخارجية للتشوه وتحرك طبقة الحمولة في اتجاه المحور  $y$ ،  $c_{2y}^*$  معامل الإخماد:

$$n_y = \frac{c_y}{2(m + m_1)}, n_{2y}^* = \frac{c_{2y}^*}{2(m + m_1)} \quad (6)$$

الترددات الذاتية لطبقة الحمولة والبيئة الخارجية في اتجاه المحور y:

$$p_y^2 = \frac{k_y}{m + m_1}, p_{1y}^2 = \frac{k_{1y}}{m + m_1}, p_{2y}^2 = \frac{k_{2x}}{m + m_1}, \quad (7)$$

معادلات انتقال طبقة الحمولة وتشوها في اتجاه المحور z:

$$\begin{aligned} \ddot{z}_1 &= i_{yz} f_y - \frac{2n_z}{1-\lambda} \dot{z}_1 - \frac{P_z^2}{1-\lambda} z_1 - \frac{P_{2z}^2}{1-\lambda} (z_1 - z_2) - \frac{P_{1z}^2}{1-\lambda} z_1 - \frac{\mu_z}{1-\lambda} \text{sign}(\dot{z}_1) f_y \\ \ddot{z}_2 &= -\frac{2n_{2z}^*}{\lambda_2} - \frac{P_{2z}^2}{\lambda_2} (z_2 - z_1) \end{aligned} \quad (8)$$

حيث معاملات المتناقص اللوغاريتمي، مشروطة بردود الفعل الداخلية والخارجية للتشوه وتحرك طبقة الحمولة في اتجاه المحور z:

$$n_z = \frac{c_z}{2(m + m_1)}, n_{2z} = \frac{c_{2z}}{2(m + m_1)} \quad (9)$$

حيث ترددات الاهتزازات الذاتية لطبقة الحمولة والبيئة الخارجية في اتجاه المحور z:

$$p_z^2 = \frac{k_z}{m + m_1}, p_{1z}^2 = \frac{k_{1z}}{m + m_1}, p_{2z}^2 = \frac{k_{2z}}{m + m_1}, \quad (10)$$

رد الفعل الحاصل لطبقة الحمولة على الجدار الجانبي للعضو الحامل

$$f_y = \frac{F_y}{m + m_1} \quad (11)$$

نظام المعادلات التفاضلية المبيّنة للحركة حول المحور x

$$\begin{aligned} \ddot{x} &= -\ddot{X} - g \cos \alpha - \frac{2n_x}{\lambda} (\dot{x} - \dot{x}_1) - \frac{P_x^2}{\lambda} (x - x_1) \\ \ddot{x}_1 &= -\ddot{X} - g \cos \alpha - \frac{2n_x}{1-\lambda} (\dot{x}_1 - \dot{x}) - \frac{P_x^2}{1-\lambda} (x_1 - x) \\ &\quad - \frac{1}{1-\lambda} \left| \text{sign}(\dot{x}_1) (\mu_{xz} f_{1y} + \mu_{xy} f_{1z}) \right| \end{aligned} \quad (12)$$

حيث معاملات المتناقص اللوغاريتمي، مشروطة بردود الفعل الداخلية والخارجية للتشوه وتحرك طبقة الحمولة في اتجاه المحور x، معاملات الإخماد:

$$n_x = \frac{c_x}{m + m_1}, n_{2x}^* = \frac{c_{2x}^*}{2(m + m_1)} \quad (13)$$

الترددات الذاتية لطبقة الحمولة والبيئة الخارجية في اتجاه المحور x

$$p_x^2 = \frac{k_x}{m + m_1}, p_{2x}^2 = \frac{k_{2x}}{m + m_1} \quad (14)$$

حيث الضغوط الحاصلة لطبقة الحمولة على جدران العضو الحامل وأرضيته.

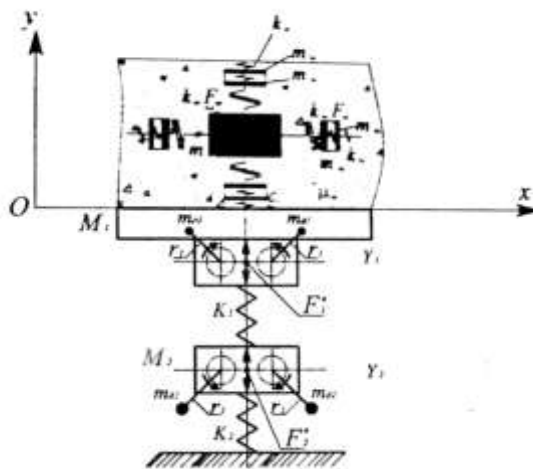
$$f_y = \frac{F_y}{m + m_1}, f_z = \frac{F_z}{m + m_1} \quad (15)$$

تم تطوير نموذج رياضي يبين سلوك نظام ثنائي المسقط ذات المحاور غير المستقرة المتحركة كنظام مانع للاهتزاز، المحمل بالحمولة غير المتماكة.

لنرَ نموذج النظام الفعال المانع للاهتزاز وحدة، والمحمل بالحمولة غير المتماكة، كنظام ثنائي المسقط الشكل (2) حيث-  $M_1, M_2$  كتلة الحامل وكتلة القاعدة البنينة:  $Y_1, Y_2$  انتقال الحامل والقاعدة البنينة:  $F_1^\beta$  جهد الاضطراب للعضو الحامل للحمولة:  $F_2^\beta$  الجهد المتولد عن مخمدات الاهتزاز:  $K_1, K_2$  صلابة العناصر المرنة.

يمكن كتابة نظام المعادلات غير الخطية التفاضلية من الدرجة الثانية [4]، التي توصف بشكل كامل حركة النموذج المبين في الشكل (2) حول المحور Y:

$$\left\{ \begin{array}{l} M_1 \ddot{Y}_1 + b_1(\dot{Y}_1 - \dot{Y}_2) + K_1(Y_1 - Y_2) = F_1^\beta - F_{1y} \\ M_2 \ddot{Y}_2 + b_1(\dot{Y}_2 - \dot{Y}_1) + b_2 \dot{Y}_2 + K_1(Y_2 - Y_1) + K_2 Y_2 = F_2^\beta \\ \text{where } t \leq t_0 (y_1(t_0) \geq 0) F_{1y} = k_{1y} \cdot y_1 \\ \text{where } t_0 \leq t \leq t_n (y_1(t_n) \leq 0) F_{1y} = F_{1x} = \text{sign}(\dot{y}_1) \mu_{yx} F_z, F_z = -k_{1z} \cdot z_1 \\ \text{where } t \geq t_n (|P_{1x}^2 x_1(t_{0\pm})_{xz}| \geq \mu_{xz} f_y(t_{0\pm})_{xz}) F_{1y} = F_{1y}^0 = c_{2y}^0 (y_1 - y_2) \\ \ddot{y} = -\ddot{Y}_1 - g \cos \alpha - \frac{2n_y}{\lambda} (\dot{y} - \dot{y}_1) - \frac{P_y^2}{\lambda} (y - y_1) - \frac{P_{2y}^2}{\lambda} (y - y_2) - \left| \frac{\mu_y}{0} \right| \text{sign}(\dot{y}) f_z \\ \ddot{y}_1 = -\ddot{Y}_1 - g \cos \alpha - \frac{2n_y}{1-\lambda} (\dot{y}_1 - \dot{y}) - \frac{P_y^2}{1-\lambda} (y_1 - y) - \left| \frac{P_{1y}^2}{0} \right| \frac{1}{1-\lambda} y_1 \\ \ddot{y}_2 = -\ddot{Y}_1 - \frac{2n_y}{\lambda_2} \dot{y}_2 - \frac{P_{2y}^2}{\lambda_2} (y_2 - y_1) - \frac{P_{2y}^2}{\lambda_2} (y_2 - y) \\ \ddot{z}_1 = i_{yz} f_y - \frac{2n_z}{1-\lambda} \dot{z}_1 - \frac{P_z^2}{1-\lambda} z_1 - \frac{P_{2z}^2}{1-\lambda} (z_1 - z_2) - \frac{P_{1z}^2}{1-\lambda} z_1 - \frac{\mu_z}{1-\lambda} \text{sign}(\dot{z}_1) f_y \\ \ddot{z}_2 = -\frac{2n_{2z}^*}{\lambda_2} - \frac{P_{2z}^2}{\lambda_2} (z_2 - z_1) \end{array} \right. \quad (16)$$



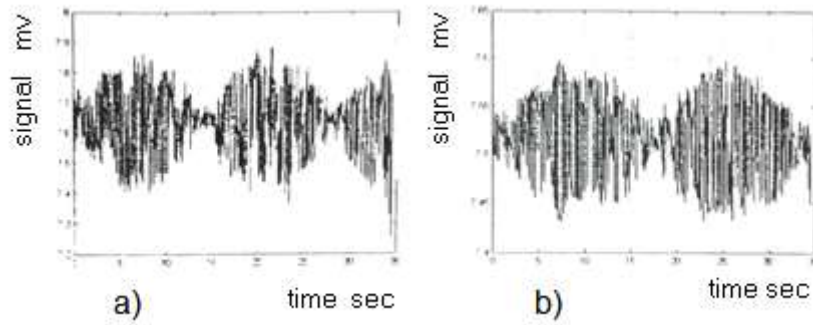
الشكل (2) نموذج الآلة المهتزة ثنائية المسقط محملة بالحمولة غير المتماكة



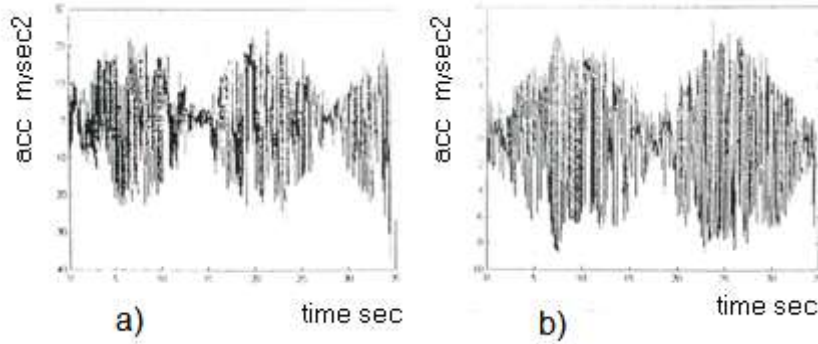
إن حل مجموعة المعادلات التفاضلية السابقة (16) يساعد في ما يلي:

- (1) الحصول على وظائف تأثير القوة اللازمة لتخميد اهتزاز القاعدة البيئية، حساب  $F_2^B$  عندما  $Y_2 = 0$
- (2) اكتشاف طيف ترددات الطنين الخطر  $F_2^B$  المحسوبة
- (3) تحقيق تأثير القوة على القاعدة البيئية على تردد الطنين الخطر  $F_2^B$  المحسوبة مع المجال الموافق وتقييم فعالية عمل النظام الديناميكي المانع للاهتزاز.

إن الحصول على حلول تحليلية للمسائل الموضوعية معقد إلى حد كاف على ضوء عدم اتزان نظام المعادلات التي تبين سلوك النموذج، المقدم في الشكل (2). ولحل المسائل تم تحقيق النمذجة الرقمية باستخدام تكنولوجيا حاسوبية وبرامج الهندسية التطبيقية.



الشكل (3) نتائج قياسات إشارات من حساسات التسارع



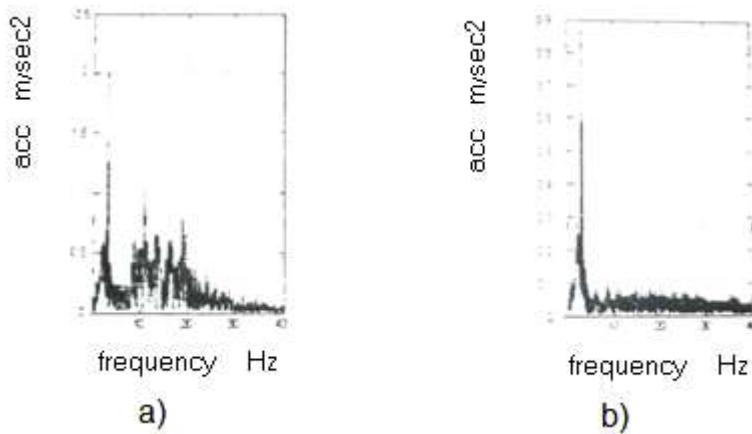
الشكل (4) نتائج قياسات من حساسات التسارع بوحدات التسارع

باستخدام طريقة المربعات الصغرى تم إصلاح وظيفة تأثير القوة المحرصة شكل وظيفة تأثير القوة المتولد من كل (المحور غير المستقر المتحرك):

$$F(t) = M_{CT} \cdot \Omega^2 \cdot \sin(\omega \cdot t + \beta) \quad (17)$$

نتائج قياس التسارعات باستخدام تحويلات (Fourier) تم نقلها إلى مجال تواتري لسهولة المقارنة مع التسارعات، التي تم الحصول عليها بالنمذجة الرياضية [5].

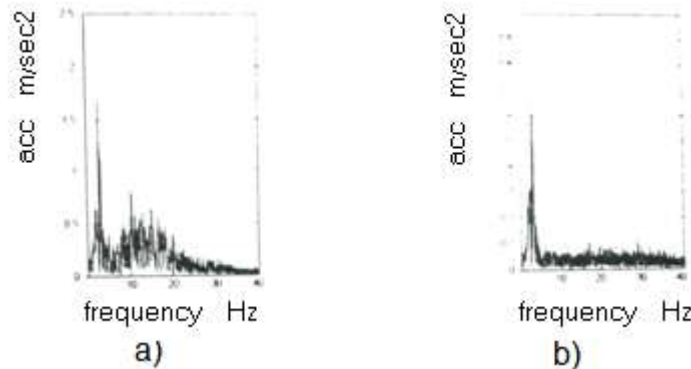
مثال عن التسارع الاهتزازي للقواعد في الشكل التواتري الشكل (5)



الشكل (5) التسارع الاهتزازي لقواعد التجهيزات المخبرية في الشكل الترددي

نتيجة المطابقة تم الحصول على معايير الحجمم للآلات التي يعطي النموذج الرياضي معها نتيجة موافقة للتجربة ويعتبر معاملات التناقص:

في الشكل (6) يقدم التقييمات الطيفية التسارع الاهتزازي لقواعد النموذج الرياضي



الشكل (6) التسارع الاهتزازي لقواعد النموذج الرياضي في الشكل الترددي

مقارنة المخططات البيانية في الشكل (5) و(6)، تم بالترددات الداعمة لعمل الآلات بحيث انفصال التردد والمدى يقع ضمن الحدود المسموحة.

ويكون النموذج الرياضي ملائم للتجربة المطلوبة.

**إيجاد المؤشرات المثلى لنظام (العزل الاهتزازي) وتقييم فعاليتها:**

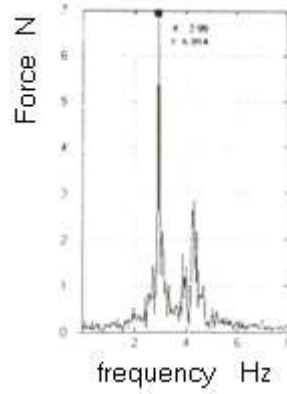
في الشكل (7) يقدم تأثير القوة على أساس الآلة المهتزة دون استخدام العزل الاهتزازي.

لتقييم فعالية عمل نظام العزل الاهتزازي يستخدم معامل خفض التأثير الديناميكي على الأساس.

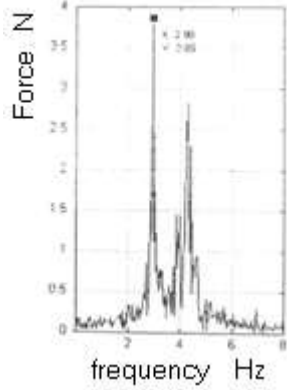
$$k_F = \frac{A_1^F}{A_2^F} \quad (18)$$

حيث  $A_1^F$  المدى الأقصى لتأثير القوة على الأساس في منطقة الترددات المنخفضة دون استخدام نظام العزل الاهتزازي،  $N$

$A_2^F$  المدى الأقصى لتأثير القوة على الأساس في منطقة الترددات المنخفضة باستخدام نظام العزل الاهتزازي،  $N$



الشكل (7) تأثير القوة على الأساس في منطقة الترددات المنخفضة دون استخدام نظام العزل الاهتزازي



الشكل (8) تأثير القوة على الأساس في منطقة الترددات المنخفضة باستخدام نظام العزل الاهتزازي

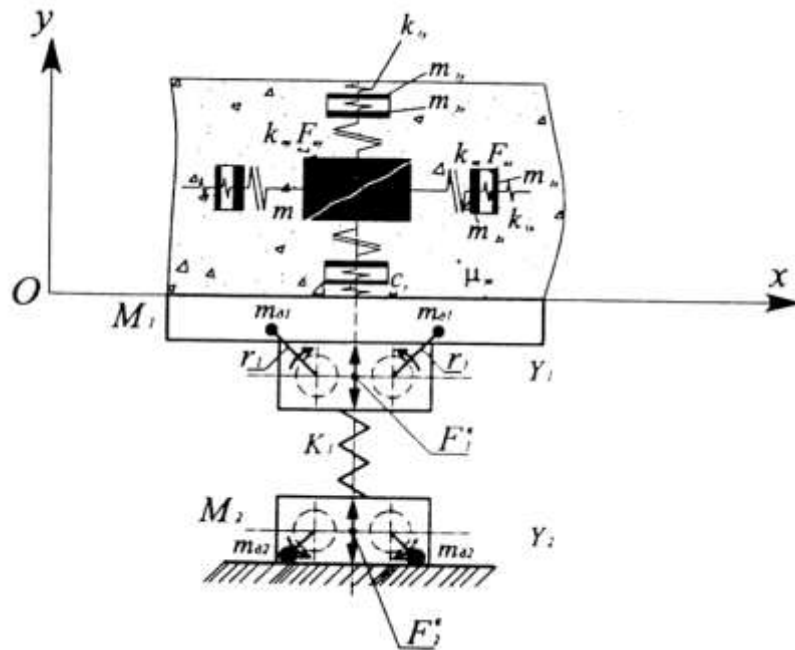
بإجراء تماثل مؤشرات نظام العزل الاهتزازي:

- تردد تأثير القوة  $v=2,975$  هرتز
  - مطال تأثير القوة  $A^F= 12,5N$
  - زاوية انحراف الطور  $\varphi = 3,103$  راديان
- هذه القيم مأخوذة في لحظة زمنية حيث زاوية الطور السابقة، وهي قيم تجريبية بحيث توضح الأشكال (7) و(8) المقارنة بدون استخدام نظام العزل ومع استخدام نظام العزل.

في هذه الحالة معامل خفض التأثير الديناميكي على الأساس يساوي 1,796

في الشكل (8) يبين تأثير القوة على الأساس في منطقة الترددات المنخفضة باستخدام نظام العزل الاهتزازي.

دلت الأبحاث، أن الاقتران الفعال لنظام العزل الاهتزازي مع القاعدة البينية المقاومة يلزم نظام تحكم تحويلي، مما يعقد تركيبية الوحدة. كذلك يمكن الوصول إلى العمل الثابت بتحقيق تأثير التزامن الذاتي للقاعدة البينية المقاومة مع اهتزاز الحامل، ما يتطلب أبحاث إضافية.



الشكل (9) نموذج الآلة المهتزة مع نظام مانع الاهتزاز ذات الأساس الثابت

لتبسيط تركيبية نظام العزل الاهتزازي يقترح التوقف عند المخطط المبين في الشكل (9)، بحيث أن المخطط المعطى سهل عند التطبيق ويمكن تركيبه بشكل أسهل في ظروف الإنتاج الواقعية.

### الاستنتاجات والتوصيات:

تم حل مسألة علمية تكنولوجية حقيقية، تتألف من تطوير نظام حماية من الاهتزازات منخفضة التردد في الآلات النشطة اهتزازياً، المستخدمة في استخراج المعادن ومعالجتها.

1. النموذج الرياضي المطور للنظام المهتز ثنائي التتابع المعقد مع الأخذ بالحسبان تأثير المادة القابلة للتناثر على ديناميكية الآلة المهتزة، ما يسمح إظهار تردد ومدى الانسجام الغالب للتأثير الديناميكي الذي ينتقل إلى الأساس وتبعاً لذلك اختيار مؤشرات نظام مانع الاهتزاز بشكل أمثل.

2. أشارت الأبحاث العملية التي أجريت إلى أن نتائج النمذجة الرياضية تتوافق بشكل كبير مع نتائج التجارب المتعددة. حيث يقع انحراف النتائج في حدود 0,38% إلى 16,38%، وعلى هذا الأساس يمكن الاعتراف بكفاية النموذج الرياضي.

3. أشارت الأبحاث المخبرية التي أجريت حول فعالية نظام مانع الاهتزاز بدلالة معامل خفض التأثير الديناميكي على أساس الآلة إلى إن النظام يسمح بخفض معدل الإيقاع المسيطر للتأثير الديناميكي بمقدار مرتين تقريباً، على أساس الآلات التكنولوجية المهتزة ذات الكتل الترددية الكبيرة في مجال الترددات المنخفضة.

4. يعد مخطط نظام المانع للاهتزاز المبين في الشكل (9) الأكثر قابلية للتطبيق التكنولوجي، حيث لاحتاج فيه إلى تركيب قاعدة دعم مرنة ببنية إضافية. كما يعتبر هذا النظام يعتبر ثابتاً ولا يؤثر عمله على مؤشرات مجريات العملية التكنولوجية، وهذا الأمر ذو أهمية كبيرة.

5. يعتبر تحقيق نظام قاعدة الدعم المرنة البيئية صعباً تكنولوجياً في ظروف الإنتاج الحقيقية، وكذلك فإنه يمكن في ظروف العملية التكنولوجية شبه المستقرة حدوث ارتداد عن نظام التعديل. لتجنب التأثير السابق يجب إدخال تغذية عكسية لمراقبة نظام حركة القاعدة ونظام التحكم بالمحرك.
6. يسمح نظام العزل الاهتزازي مع (المحاور الدوارة غير المستقرة المتحركة) بعمل تعديل بالمطال والتردد لتأثير القوة، وبهذا يضع في الحسبان التغير في النظام التكنولوجي، كما يتم التعديل في حالة التوقف عن العمل، مع هذا لا يعتبر ذلك سلبية ذات أهمية لأن الآلات التي يتم البحث فيها تعمل بشكل مستمر لمدة زمنية طويلة. ويجب من أجل التعديل في حالة العمل بالتردد إدخال التغذية العكسية لمراقبة مؤشرات التأثير الديناميكي وتركيب نظام التحكم بالمحرك، مما يتطلب تكاليف إضافية.

## المراجع

1. J.P. DEN-HARTOG, *mechanical vibrations*. 4<sup>th</sup>.ed. McGraw-Hill, 1956,548.
2. WILLIAM.T.THOMSON,MARIE DILLON DAHLEH, *theory of vibration with applications*. Delhi, 1998, 534.
3. SMIRNOV, V.P., L.A. REBAK, A.V. SINIOV, *active vibration isolation systems for technological machines*. Moscow, 2003, page 116-118.
4. SINQIRESUS. RAO, *mechanical vibrations*. 4<sup>th</sup>.ed., Pearson education. New Delhi, 2004, 1108.
5. S.TIMOSHENKO, *vibration problems in engineering*. New York, 1955, 439.