

## تحليل الاهتزاز لكاتمة صوت غاز العادم

د. موفق علي توفيق\* و ياسر جعفر عواد\*

تاريخ الاستلام: 2009/ 2/ 2

تاريخ القبول: 2010/5/6

## الخلاصة

يقدم البحث الحالي تحليلاً لأهتزاز كاتمة صوت لغاز العادم وقد أفترض أنها مكونة بشكل أساس من أنبوب داخلي منقّب قطره الخارجي 0.042 m وسمكه 0.0006 m وطوله 0.8 m ومحاط بغلاف إسطواني قطره الخارجي 0.1325 m وسمكه 0.001 m وطوله 0.53 m وأن طول أنبوب الذنب (Tail Pipe) يبلغ 0.13 m ، وأن كاتمة الصوت مثبتة من بدايتها وحره من نهايتها ، وتم تطوير إنموذج رياضي لها يتكون من عتبتين مرتبطتين مع بعضهما بعدد من النوابض ويأخذ التحليل بعين الاعتبار تأثير الحامل المطاطي الساند للغلاف والذي تم تمثيله بنابض مرن ، وتم تقسيم كل من الأنبوب والغلاف إلى (30) عقدة و(29) مقطع على طول النظام ، وأتبعت طريقة المصفوفات الانتقالية لدراسة الاهتزاز الحاصل على النظام وحساب الخصائص الدينامية متمثلة بالانحراف ، الميل ، قوة القص ، عزم الانحناء علاوة على السرعة والضغط ودرجة الحرارة لكل موقع ، وقد تبين من خلال التحليل أن الغلاف يسلط تأثيراً واضحاً على الاستجابة الدينامية للأنبوب ، وأن التأثير المتبادل بين الأنبوب المنقّب والغلاف يؤثر تأثيراً كبيراً على الترددات الطبيعية للنظام ، وقد أثبتت الدراسة النظرية أن طريقة المصفوفات الانتقالية تعد فعالة وناجحة في تحديد الخصائص الدينامية لكاتمة الصوت عند مرور غاز العادم خلالها ، وحساب مقدار الترددات الطبيعية ودراسة نسق الاهتزاز لها ، كما تبين أيضاً من خلال الدراسة النظرية أن لمرونة الحامل المطاطي الساند للغلاف تأثير واضح على المنظومة إذ أن هناك قيم صلابة معينة للمطاط تؤدي إلى تحسين السلوك الدينامي للنظام إذ تعطي أدنى قيم لسعة الاهتزاز والمقادير المميزة الأخرى .

## Vibration Analysis of Exhaust Gas Silencer

## Abstract

This research presents an analysis of the vibration of exhaust gas silencer , assuming that the silencer is mainly consisting of a porous pipe of 0.042 m outer diameter , 0.0006 m thickness and 0.8 m length , surrounded by a cylindrical casing of 0.1325 m outer diameter , 0.001 m thickness and 0.53 m length , and the tail pipe is of 0.13 m length , taking in consideration that the silencer is fixed from one end and free at the other end .

The system is assumed to be made up of two simple beams connected together by number of springs . The rubber fastener (hook) which support the casing is modeled as an elastic spring . Each of the porous pipe and the casing are divided into (30) node and (29) element along the system .

The method of transfer matrices is adopted to simulate the vibration of the silencer , the dynamic characteristics , i.e. (deflection , slope , shear force , bending moment) as well as velocity , pressure and temperature are post-processed for each node .

It is shown that the casing exerts a considerable influence upon the response of the pipe , and system natural frequencies are highly affected by the interaction effects between the casing and the pipe .

The results show that the transfer matrices method is a powerful technique to compute the eigen modes in addition to the natural frequencies of vibration systems.

The theoretical study is also show that the rubber fastener (hook) has a considerable influence upon the system because some values of the rubber stiffness leads to reduction the amplitude of vibration and also the other values of eigen modes which is make the dynamic behavior of the system much better.

### المقدمة

ماقورنت بتلك المستويات الأخرى من الضوضاء .

وبناء على ما تقدم فإن هذا البحث يسلط الضوء على الاهتزازات الميكانيكية التي تتعرض لها كاتمة الصوت مع الأخذ بنظر الاعتبار تأثيرات كل من (الضغط و السرعة و درجة الحرارة) للغاز المار خلالها (والتي تعتبر من العوامل الخارجية المحيطة بالمنظومة) على الاستجابة الدينامية باستخدام طريقة المصفوفات الانتقالية ( Transfer Matrix Method ) ، وسيتم إعتبار أن كاتمة الصوت مكونة من (عمود) الذي يقابل الأنبوب الداخلي المنقب و (غلاف) محيط به (عند بناء الأنموذج الرياضي أي نظام أنبوب - غلاف).

ولقد تناول العديد من الباحثين دراسة الاستجابة الدينامية لأنظمة العمود (أنبوب) وغلاف تحت تأثير عوامل ومتغيرات متنوعة ، ففي عام (1970) قام الباحثان (P. [1] Srinivasan and V. Lakshinaray) بأجراء دراسة لمعرفة تأثير اهتزاز أنبوب يحتوي مائع ولنوعين من الشروط الحدية ، الأول مسند بسيط ( Simply Supported ) - و الثاني مسند ثابت - ( Clamped )

منذ بداية إختراع محركات الاحتراق الداخلي والضوضاء الناتجة من العادم عادة تعد المصدر الرئيسي أو السائد للضوضاء المتولدة من تلك المحركات ، هذا مما أدى دائماً إلى دفع المهندسين إلى السعي والمحاولة لتصميم محرك يتميز بالقوة ويكون أداءه وصوتة أهدأ مايمكن . كما إن هذه الضوضاء التي يسببها العادم طالما مثلت مشكلة بيئية كبيرة . كما إن منظومة العادم عادة تعتبر كمكونات ملحقة تضاف أو تربط بعد إتمام تركيب المحرك عملياً وبصورة نهائية . وتشتمل منظومة العادم على جزء مهم ورئيسي فيها وهي **كاتمة الصوت (Silencer)** والتي تكون وظيفتها تقليل مستوى الضوضاء الناتجة من المحرك إلى حد مقبول وغير مزعج . إن ضوضاء منظومة العادم تشمل الضوضاء التي تسببها ذبذبات غازات العادم المغادرة للأنبوب وكذلك الضوضاء الصادرة عن السطوح والأجزاء المهترزة التي تتألف منها منظومة العادم ، وأن كاتمات الصوت تتركب في إنبوب العادم لكي تعترض طريق موجات الصوت المنتقلة ، وبذلك فإن الضوضاء الناتجة ستكون مستوياتها آمنة بالنسبة للأذن البشرية حتى وإن تعرضت لها لفترة طويلة وهي أدنى إذا

ودوران المائع ذات تأثير واضح في الخصائص الدينامية لهيكل الأنبوب نتيجة الاهتزازات الناتجة عن حركة المائع .

في عام (2006) درست الباحثة [4] (Ansam) تأثير الاهتزاز المستحث في الخواص الدينامية لأنبوب ناقل للمائع مجهز بفتحة ولمواقع مختلفة من طول الأنبوب بأتياع طريقة أنتقال المصفوفة (Transfer) Matrix Method ، وتوصلت الباحثة إلى أن جريان مائع خلال أنبوب معرض للاهتزاز يحتوي على عائق يؤثر في التصرف الديناميكي للأنبوب فضلاً عن تأثيره في هيكليتيه الجريان بسبب الاهتزاز المستحث . وفي عام (1988) توصل عدد من الباحثين [5] (Toshiyuki et al) إلى أن قوة الضغط المحورية المسلطة على عتبة عندما تتسبب في إنحنائها تولد عزم إنحناء وقوة قص متعامدين فيما بينهما وعموديتين على إتجاه تسليط القوة المحورية .

أما بخصوص قوة الشد المحورية فقد توصل الباحثان [6] (Currie & Cleghorn) عند دراستهما العلاقة بين التردد الطبيعي وقوة الشد المحورية لعتبة إلى أن زيادة قوة الشد تؤدي إلى زيادة التردد الطبيعي للعتبة . يمكن أن نلاحظ من البحوث المذكورة أنفاً أن قوة الضغط المحورية تعمل على تقليل التردد الطبيعي بينما تعمل قوة الشد عمل معاكس لها .

ففي عام (1945) أستخدم [7] (Prohl) طريقة مشابهة لطريقة (Holzer's Method) المستخدمة لحساب الترددات الطبيعية للمنظومات ، وتمكن (Prohl) من ربط معادلات (الأنحراف ، الميل ، القص ، العزم) نقطة بدلالة نقطة أخرى وعند معرفة الشروط الحدية في نقطة البداية بالنسبة للمحور وتعويض مقدار قيمته واحد عن المقادير المجهولة في هذه النقطة يمكن معرفة المقادير (الأنحراف ، الميل ، القص ، العزم) على طول المحور حتى الوصول إلى نقطة النهاية

(Supported) . تم حساب التردد الطبيعي للأنبوب بأتياع الطرائق المدرجة أدناه :-

1. الحل التام للمعادلة التفاضلية (Exact) Solution .
2. طريقة دنكرلي (Dunkerley 's) (Method) .
3. طريقة رتز (Ritz Method) .

وتم التوصل إلى أن التردد الطبيعي الأول للاهتزاز الأنبوب يقل عند زيادة سرعة جريان المائع .

وفي عام (1974) قدم الباحث [2] (Cc.Huang , 1974) دراسة نظرية للاهتزاز الحر لأنبوب يحوي مائعاً بتطبيق نظرية (Timoshenko) إذ تضمنت الدراسة تأثير العوامل المدرجة أدناه :-

1. قوى القصور الذاتي الدوار للأنبوب والمائع (Rotatory Inertia) .
2. التشوه القصي في الأنبوب (Shear Deformation) .
3. قوى القصور الجانبية (Lateral Inertia Force) . الناتجة من حركة المائع داخل الأنبوب .

وتوصل إلى أن سرعة المائع تؤثر في قيمة التردد الطبيعي لاهتزاز الأنبوب لأن زيادة سرعة المائع تؤدي إلى نقصان قيمة الترددات الطبيعية (الأول ، الثاني ، الثالث) وبمعدل يختلف من طور نسق إلى آخر فقد كان معدل النقصان لتردد النسق الأول أعلى بكثير من معدل نقصان التردد الطبيعي لأطوار النسق الثاني والثالث . وفي دراسة قام بها الباحث [3] (Alaa) عام (2001) لأستقصاء تأثير الاهتزاز الناتج من جريان المائع خلال أنبوب مسند النهائيين يحوي حاجزاً . تضمن البحث دراسة تأثير الاهتزاز الناتج في الخصائص الدينامية لأنبوب ينقل مائعاً بتطبيق طريقة أنتقال المصفوفة في حل معادلة أنتقال الحركة الاهتزازية القسرية والحررة ، أستنتج الباحث أن قوة ضغط المائع

لذلك فإن الدراسة الحالية تدرس تأثير الاهتزازات الناتجة من جريان مائع خلال أنبوب من خلال تأثير خواص المائع في مرونة الأنبوب وكذلك توليد قوة محورية تؤثر هي الأخرى في الاهتزازات المحتثة ودراسة تأثير هذه الاهتزازات في خواص الجريان وذلك باستخدام طريقة المصفوفات الانتقالية في دراسة الاستجابة الدينامية للأنبوب تحت تأثير بعض المتغيرات المتعلقة بالغلاف علاوة على تأثير جريان غاز العادم وغيرها من المتغيرات.

### التحليل النظري

عند تعريض عتية معينة إلى تأثير حراري فإنها سوف تستطيل إستطالة حرارية مقدارها  $(T\delta)$  [13] ، [14] . حيث إن :-

$$d_T = a \cdot l \cdot \Delta T \quad \dots\dots\dots (1)$$

وعند وجود قيد محوري فإن الأستطالة الحرارية سوف تتحول إلى قوة محورية ضاغطة تعتمد على فرق درجات الحرارة و معامل المرونة إذ إن معامل المرونة دالة لدرجة الحرارة .

وهذه القوة المحورية يمكن أن تحتسب من مساواة الأستطالة الحرارية مع الأستطالة التي تسببها قوة محورية فيما لو أثرت لوحدها على العتية .

$$d_T = \frac{P \cdot l}{E \cdot A} \quad \dots(2)$$

$$a \cdot l \cdot \Delta T = \frac{P \cdot l}{E \cdot A} \quad \dots(3)$$

ومن ملاحظة المعادلة (3) نجد أن القوة المحورية تعتمد على فرق درجات الحرارة ومعامل المرونة ، أما مساحة المقطع ومعامل التمدد الخطي وعلى افتراض وجود تشوة قليل فتعدان ثابتين بالنسبة لدرجة الحرارة ، ولذا

بالنسبة للمحور والتي تكون فيها الشروط الحدية معروفة . وقد وجد الباحث عند تحقيق الشروط الحدية كاملة في نقطة النهاية فإن التردد المفروض هو تردد طبيعي ، سمي (Prohl) هذه الطريقة بـ (Tabular- Calculation Method) وقد أطلق عليها فيما بعد بـ (Prohl Method) .

ويعد [8] (Bohez) من المهتمين بهذه الطريقة فقد استخدم طريقة (Exact Transfer Matrix Method) لحساب التردد الحرج لمحور وكذلك (eigen mode) توزيع (الأنحراف ، الميل ، القص ، العزم) على طول المحور ، كما درس الباحث (Bohez) جميع الشروط الحدية المحتملة لتثبيت نهايات المحور وأهمل في دراسته هذه تأثير التخميد والتأثير الجيروسكوبي الذين يؤثران بشكل كبير في حالة الترددات العالية أو عند استخدام المحاور الضخمة كما أهمل تأثير الاهتزاز الألتوائي .

أما فيما يخص مواضيع تقليل الاهتزاز فنجد أبحاث [9] (Little & Pilkey) و [10] (Yang et al) . كما قام الباحثان [11] (Dopkin and Shoup , 1974) باستخدام طريقة المصفوفات الانتقالية (Transfer Matrix Method) لأيجاد الترددات الرنينية وشكل النسق (mode shape) لأنظمة خطية غير مخمدة ذات مدارات دائرية .

وفي عام (1980) أقترح الباحث [12] (Lund) طريقة لأيجاد الترددات الرنينية من خلال تحويل المصفوفات الانتقالية إلى مصفوفات مرونة ومصفوفات قصور ذاتي مما يسهل تشكيل المعادلة المميزة وإيجاد جذور المعادلة (Eigen values) وشكل النسق (mode shape) المناظر لكل جذر . وبهذا تم التخلص من أخطاء التقريب (Round of errors) الناتجة من الضرب القياسي للمصفوفات الانتقالية .

إن قوى الأثرية المؤثرة على كاتمة الصوت تنتج من تأثير ضغط الغاز المار داخل كاتمة الصوت وهذا التأثير يختلف بين الأنبوب والغلاف ويكون هذا الاختلاف بالشكل الآتي :-

1) يتكون الأنبوب الداخلي (العتبة) من مجموعة من الثقوب التي يمكن تشبيه طريقة ترتيبها على الأنبوب كمجموعة حلقات تتوزع الثقوب على محيط كل حلقة ، وأن عدد الثقوب الموجودة على كل حلقة متساوي لكل الحلقات.

ضغط الغاز لكل ثقب موجود على نفس الحلقة يكون متساوياً أي إن كل ثقب الحلقة الواحدة لها نفس الضغط بينما يختلف الضغط بين حلقة وأخرى حسب موقعها .

عند حساب قوة الأثرية على الأنبوب فإن ذلك يكون لمصفوفة المجال فقط ولا يتم حساب قوة إثارة للأنبوب في مصفوفة النقطة وذلك بسبب صغر المسافة بين ثقب وآخر ضمن الحلقة الواحدة إذا ما قورنت بالمسافة بين حلقة وأخرى وتحسب قوة الأثرية للأنبوب كما يلي :-

$$W_s = (P_{es})_m \cdot A_{ss} \quad \dots(5)$$

2) لحساب قوة الأثرية على الغلاف فإن ذلك يكون لمصفوفة النقطة فقط ولا يتم حساب قوة إثارة للغلاف في مصفوفة المجال ، ويتم ذلك بالشكل الآتي :-

$$P = a A E \Delta T \quad \dots(6)$$

#### متجة الحالة

متجة الحالة لنقطة معينة (i) هو متجة يتكون من إزاحات النقطة (i) والقوى الداخلية عند تلك النقطة ، ولكل عقدة أو محطة (Station) يوجد متجهان للحالة أحدهما على يمين المحطة ويرمز له  $\{Z\}_i^R$  والآخر على يسارها ويرمز له

فإن رفع درجة الحرارة يؤدي إلى زيادة القوة المحورية وبالتالي إحناء العتبة .

#### الوصف العام للتحليل

لغرض القيام بتحليل وافي للاهتزازات التي تنشأ في كاتمة الصوت لأي سبب كان يجب بناء إنموذج رياضي معين ليتم إعتماده عند إجراء التحليل وليكن مؤلفاً من عتبتين مرتبطتين مع بعضهما بعدد من النوابض المرنة (Elastic (springs) ، إذ أن العتبتين ترمزان لكل من الأنبوب الداخلي المثقب (Pipe) والغلاف الخارجي (Casing) .

يتم تقسيم كل من الأنبوب والغلاف إلى عدد من الأجزاء الصغيرة تسمى بالعناصر أو المقاطع مهمة الوزن (Elements) ولكل منها خواص دينامية ومرونة بسيطة ومرتبطة فيما بينها بنقاط مشتركة تسمى بالعقد (Nodes) . كما يتم تعريف العقد في مناطق وجود دعامة سائدة للأنبوب أو للغلاف (Prop) وكذلك توضيح طرق التثبيت والنهايات . . . إلخ .

وبما إن الأنبوب والغلاف مرتبطين معاً ، لذا يقتضي الحل أن تكون هناك علاقة تربط بين العناصر والنقاط الواقعة على كل منهما ، وبناء على هذا لابد أن تكون أطوال عناصر الأنبوب مساوية لأطوال عناصر الغلاف .

#### القوى المحورية

إن القوة المحورية الكلية المؤثرة على نهايتي العنصر تشمل كل من القوة المحورية الناتجة من التأثير الحراري (P) ، وكذلك القوة التي يولدها إجهاد القص عند الجدران ( $t_w$ ) نتيجة جريان غاز العادم داخل كاتمة الصوت وما ينتج منه من إحتكاك بين الغاز والجدار ، وبالتالي يمكن التعبير عن القوة المحورية الكلية بالشكل الآتي :-

$$N_f = P + t_w \cdot A_s \quad \dots(4)$$

قوى الأثرية



حصول نقصان في ضغط الدخول لغاز العادم إلى كاتمة الصوت وكذلك يلاحظ حصول نقصان في قيمة معامل المرونة لمقاطع كل من الأنبوب والغلاف وكذلك الحال فيما يخص معامل القص المرتبط به وذلك نتيجة ارتفاع درجة حرارة الجدار المرافق لأنخفاض درجة حرارة غاز العادم ، كما أن هذا الارتفاع في درجة حرارة الجدار أدى إلى حصول زيادة في القوة المحورية لكل من الأنبوب والغلاف هذا علاوة على أن زيادة قيمة عدد ماخ تعني زيادة في سرعة جريان غاز العادم وبالتالي زيادة في إجهاد القص عند جدران كل من الأنبوب والغلاف (Wall Shear Stress) كما أن ارتفاع درجة حرارة الجدار أدت أيضاً إلى حصول زيادة في الأستطالة الحرارية لكل من الأنبوب والغلاف .

أما عند زيادة قيمة عدد ماخ بمقدار أكبر لتصل إلى (0.64) فقد لوحظ حصول ارتفاع في قيمة كل من ضغط ودرجة حرارة غاز العادم فضلاً عن الارتفاع في سرعة الجريان وهذه المؤثرات أدت إلى حصول ارتفاع في قوة الأثارة لكل من الأنبوب والغلاف نتيجة لارتفاع ضغط الغاز المار ، كما أن ارتفاع درجة حرارة الغاز وكذلك الجدار أدت إلى نقصان في قيمة معامل المرونة للمقاطع الواقعة على كل من الأنبوب والغلاف وكذلك الحال بالنسبة لمعامل القص المرتبط بمعامل المرونة علاوة على ذلك ازدادت كل من القوة المحورية والأستطالة الحرارية لكل من الأنبوب والغلاف نتيجة هذا الارتفاع في درجة حرارة الجدار كما أن الزيادة في سرعة جريان الغاز أدت إلى زيادة إجهاد القص عند الجدران لكل من الأنبوب والغلاف مما تقدم يلاحظ أنه لا يوجد سلوك محدد وواضح لارتفاع وانخفاض كل من ضغط ودرجة حرارة غاز العادم المار المرافق لزيادة قيمة عدد ماخ المرتبطة بزيادة سرعة الجريان فقد لوحظ أن زيادة قيمة عدد ماخ من (0.54) إلى (0.59) رافقتها زيادة في السرعة

الأنبوب مثبت من بدايته (fixed) أي عند النهاية ( $z=0$ ) وحر من نهايته (free) . ومن ضمن ماتم دراسته في البحث هو : دراسة تأثير قيمة عدد ماخ

عندما يكون النظام تحت تأثير الترددات الطبيعية فإن مقادير الاهتزاز المميزة (Eigen modes) تكون بأقصى درجاتها ، لذا فإن عملية تعيين الترددات الطبيعية لمدى من الترددات تتم بأختيار نقطة (عقدة) معينة على الأنبوب أو الغلاف ورسم منحنى الأستجابة الدينامية لها بين الترددات وسعات الاهتزاز وعندئذ تمثل القمم (Peaks) التي يظهرها هذا المنحنى الترددات الطبيعية .

يبين الجدول (1) قيم التردد الطبيعي الأول والثاني والثالث بوجود قيم مختلفة لعدد ماخ وهذه القيم تعتمد على سرعة دخول غاز العادم إلى كاتمة الصوت فقد تم افتراض أن قيمة عدد ماخ عند الدخول ستبقى ثابتة عند كل النقاط داخل كاتمة الصوت من البداية إلى النهاية ولا تتغير من نقطة لأخرى بينما السرعة سوف تختلف من نقطة لأخرى من بداية الدخول لأنبوب العادم إلى الخروج منه . من خلال الجدول (1) يلاحظ أن هناك تأثيراً كبيراً وواضحاً لقيمة عدد ماخ في قيم الترددات الطبيعية للمنظومة ، وكذلك يلاحظ وجود سلوك محدد لزيادة ونقصان الترددات الطبيعية ، فعند مقارنة قيم تلك الترددات عند قيمة (Mach=0.54) مع تلك التي يكون فيها (Mach=0.59) نجد أن التردد الطبيعي الأول ينخفض في حين تزداد قيمة التردد الطبيعي الثاني والثالث ، ويتكرر نفس السلوك أعلاه عند زيادة قيمة عدد ماخ لتصبح (Mach=0.64) أي أن التردد الطبيعي الأول ينخفض بينما تزداد قيمة التردد الطبيعي الثاني والثالث . ومن جانب آخر لوحظ أن تغيير قيمة عدد ماخ من (0.54) إلى (0.59) رافقه حصول نقصان في قوة الأثارة (Excitation Force) على كل من الأنبوب والغلاف بسبب

وقيمة ( $Mach=0.54$ ) والقطر الخارجي للغلاف ( $0.1325\text{ m}$ ) و ( $0.2\text{ m}$ ) على التوالي ، و يلاحظ أن سعة الاهتزاز عند التردد الطبيعي الأول تقل عند زيادة قطر الغلاف بينما تزداد سعة الاهتزاز عند التردد الطبيعي الثاني والثالث عند زيادة قطر الغلاف ، ومن الجدير بالذكر أن زيادة القطر الخارجي للغلاف (مساحة المقطع العرضي) تقود إلى زيادة صلابة النظام وهذا يؤدي إلى زيادة في مقدار القوة المحورية للغلاف بالإضافة إلى زيادة في درجة حرارة جدار الغلاف .

#### دراسة تأثير طول أنبوب الذنب

تمت دراسة تأثير طول أنبوب الذنب (Tail Pipe) في قيم الترددات الطبيعية والاستجابة الدينامية للنظام ، إذ تمت زيادة طول أنبوب الذنب من ( $0.13\text{ m}$ ) إلى ( $0.25\text{ m}$ ) وعند قيمة ( $Mach=0.54$ ) وقد تم الحصول على الترددات الطبيعية الموضحة في الجدول (3) .

من الجدول (3) يلاحظ أن زيادة طول أنبوب الذنب (زيادة طول المنظومة مع كتلتها) أدت إلى تقليل قيم التردد الطبيعي الأول والثاني والثالث ، وذلك يمكن أن يعزى إلى أن زيادة الطول تؤدي إلى تقليل صلابة المنظومة إذ أن المنظومة ذات الطول القصير تكون ذات صلابة أعلى من المنظومة ذات الطول الكبير ، ومن جانب آخر فإن زيادة طول أنبوب الذنب مع بقاء عدد العقد الموجودة عليه كما هي معناه زيادة طول المقاطع الموجودة على أنبوب الذنب مما أدى إلى حصول ارتفاع في درجة حرارة جدار الأنبوب مع انخفاض في درجة حرارة الغاز بالنسبة للعقد الموجودة على أنبوب الذنب تفسير ذلك يعود إلى زيادة طول المقطع معناه زيادة طول المسافة التي يجري فيها غاز العادم داخل الأنبوب وهذا بدوره يؤدي إلى تعرض الأنبوب إلى مقدار أكبر من الحرارة التي تسبب هذا الارتفاع في درجة حرارة

وأنخفاض كل من الضغط ودرجة الحرارة للغاز أما عند زيادة قيمة عدد ماخ بمقدار أكبر لتصل إلى ( $0.64$ ) فإن ذلك أدى إلى زيادة في السرعة مع ارتفاع في قيمة كل من ضغط ودرجة حرارة الغاز المار ، وهذا بدوره يؤثر في صفات المنظومة والذي بدوره ينعكس على قيم الترددات الطبيعية لها

ويبين الشكل (4) توزيع ساعات الاهتزاز على طول الأنبوب ولمدى من الترددات الطبيعية ولقيم مختلفة لعدد ماخ ، يلاحظ من هذه الأشكال أن القيم المميزة تكون عالية في حالة ( $Mach=0.54$ ) بينما تكون أقل في حالة أعداد ماخ الأخرى وهي ( $Mach=0.59$ ) و ( $Mach=0.64$ ) على التوالي وذلك للأسباب السابقة الذكر ومنها تغيرات قيم ضغط غاز العادم ودرجة حرارته . وبناءً على كل ماتقدم يمكن أن نستنتج أن قيم الترددات الطبيعية والمقادير المميزة تعتمد وتتأثر بشكل كبير بتغير قيمة عدد ماخ وذلك لتأثيره الكبير في خواص غاز العادم خلال مروره في كاتمة الصوت .

#### دراسة تأثير قطر الغلاف

تم دراسة تأثير قطر الغلاف على الترددات الطبيعية والاستجابة الدينامية للمنظومة وذلك عند قيمة ( $Mach=0.54$ ) بزيادة قطر الغلاف من ( $0.1325\text{ m}$ ) إلى ( $0.2\text{ m}$ ) ، وقد حصلنا على الترددات الطبيعية المبينة في الجدول (2) .

من الجدول (2) يلاحظ أن هناك تأثيراً واضحاً لقطر الغلاف في قيم الترددات الطبيعية لكاتمة الصوت ، فعند زيادة القطر الخارجي للغلاف من ( $0.1325\text{ m}$ ) إلى ( $0.2\text{ m}$ ) نجد أن التردد الطبيعي الأول يزداد بينما يقل كل من التردد الطبيعي الثاني والثالث على التوالي .

وتبين الأشكال (5) و (6) توزيع ساعات الاهتزاز على طول النظام لكل من الأنبوب والغلاف عند الترددات الطبيعية



من الجدول (4) يلاحظ أن لصلابة المطاط تأثير كبير في قيم الترددات الطبيعية للنظام ، فعند مقارنة قيم الترددات الطبيعية عند قيمة معامل صلابة المطاط (  $500E+02$  N/m) مع تلك التي يكون فيها معامل الصلابة (  $250E+02$  N/m) نجد أن التردد الطبيعي الأول لا يتغير ويبقى ثابتاً في حين تقل قيمة التردد الطبيعي الثاني والثالث ، ويتكرر نفس السلوك السابق عند قيمة معامل الصلابة (  $750E+02$  N/m) مع ملاحظة أنه عند مقارنة قيم الترددات الطبيعية عند قيمة معامل الصلابة (  $250E+02$  N/m) مع الصلابة (  $750E+02$  N/m) نجد أن التردد الطبيعي الأول والثالث لكل منهما يكون متساوياً بينما يكون التردد الطبيعي الثاني للصلابة (  $250E+02$  N/m) أقل من التردد الطبيعي الثاني للصلابة (  $750E+02$  N/m) .

وتبين الأشكال (5) و (8) و (9) توزيع ساعات الاهتزاز على طول النظام لكل من الأنبوب والغلاف عند الترددات الطبيعية وقيمة (  $Mach=0.54$ ) والقيم المختلفة لمرونة الحامل المطاطي (الأدنى ، الوسطى ، الأعلى) التي ذُكرت سابقاً ، حيث يلاحظ أن قيم ساعات الاهتزاز تتغير عند الترددات الطبيعية وتسلك السلوك التالي وهو أن سعة الاهتزاز عند التردد الطبيعي الأول والثالث تكون بأعلى قيمة عند مرونة المطاط الأدنى وتليها عند مرونة المطاط الوسطى وتليها عند مرونة المطاط الأعلى ، أما عند التردد الطبيعي الثاني فإن أعلى سعة اهتزاز تكون عند المرونة الوسطى ثم تليها عند المرونة الأدنى ثم أدنى سعة اهتزاز تكون عند المرونة الأعلى ، وبذلك يمكن أن نستنتج أن مرونة الحامل المطاطي تأثيراً واضحاً في قيم الترددات الطبيعية والاستجابة الدينامية للمنظومة ، وكذلك يمكن أن يكون هناك قيم صلابة معينة تؤدي إلى تحسين السلوك الدينامي للنظام إذ تعطي أدنى قيم لسعة

جدار الأنبوب ، ومن جانب آخر يحصل تبادل حراري بين الغاز الجاري داخل الأنبوب والمحيط الخارجي مما يسبب الانخفاض في درجة حرارة الغاز . وكذلك حصول ارتفاع في مقدار القوة المحورية للنقاط الواقعة على أنبوب الذنب نتيجة لذلك مع حصول انخفاض في أجهاد القص على الجدار للأنبوب للمقاطع الواقعة عليه وحصول زيادة في مقدار قوة الاثارة على الأنبوب عند العقد .

وتبين الأشكال (5) و (7) توزيع ساعات الاهتزاز على طول النظام لكل من الأنبوب والغلاف عند الترددات الطبيعية وقيمة (  $Mach=0.54$ ) وطول أنبوب الذنب (  $0.13$  m) و (  $0.25$  m) على التوالي ، و يلاحظ أن سعة الاهتزاز تقل عند التردد الطبيعي الأول والثاني وتزداد عند التردد الطبيعي الثالث عند زيادة طول أنبوب الذنب ، وذلك للأسباب نفسها التي ذُكرت سابقاً والمتعلقة بتأثير زيادة طول النظام على صلابة المنظومة .

#### دراسة تأثير مرونة الحامل المطاطي

تمت دراسة تأثير صلابة أو مرونة الحامل المطاطي الساند لكاتمة الصوت على قيم الترددات الطبيعية والاستجابة الدينامية للمنظومة ، وذلك عند قيمة (  $Mach=0.54$ ) ، إذ أن صلابة المطاط ( Rubber ) (Stiffness) التي تم إستخدامها في النظام هي (  $500E+02$  N/m) والتي تم أختيارها في ضوء النماذج المتوفرة في الأسواق المحلية لذلك فقد تم أخذ قيم أخرى لصلابة المطاط أقل من القيمة الأصلية وأعلى منها وعلى افتراض ثبوت الظروف الجوية ، إذ أن الظروف الجوية المتغيرة وخاصة تغيرات درجات الحرارة تؤثر في خواص المطاط اللحظية ، وقد تم دراسة سلوك المنظومة عند كل صلابة ولمدى من الترددات وتم الحصول على الترددات الطبيعية المبينة في الجدول (4) .

الثاني والثالث على التوالي مع ثبات قيمة التردد الطبيعي الأول وهذا السلوك يأتي على إفتراض ثبوت الظروف الجوية وخصوصاً درجة الحرارة إذ أن تغيراتها تؤثر في خواص المطاط اللحظية .

(6) أن أدنى قيمة لصلابة الحامل المطاطي كانت عندها أعلى قيمة لسعة الاهتزاز للمنظومة ، وأعلى قيمة للصلابة كان لها أدنى سعة اهتزاز (وهذه هي الصلابة التي تؤدي إلى تحسين السلوك الدينامي للنظام) وذلك عند الترددات الطبيعية .

(7) أن عدم وجود تخميد في المنظومة يؤدي حتماً إلى ارتفاع قيم السعات الاهتزازية أو المقادير المميزة بصورة عامة خاصة عند مناطق الرنين مما أدى إلى ظهور بعض القيم الكبيرة والتي تعتبر خيالية وليست ضمن المديات المنطقية المسموح بها (خاصة عند بعض قيم الترددات الطبيعية الثانية والثالثة لبعض الحالات التي تم دراستها في البحث الحالي) .

في تحليل تأثير الاهتزاز و زاوية الميل في معامل انتقال الحرارة بالحمل الحر .

#### الحسابات :

ان طول المنطقة المزعنفة المعرضة الى فيض حراري منتظم وثابت هي (300mm) وان كمية الحرارة المتولدة في المسخن

الكهربائي الكلية ( $Q_{gen}$ ) تتحول الى حرارة تنتقل عبر الزعنفة بالتوصيل والى المحيط الخارجي من الاسطوانة بالحمل الحر

$$Q_{conv} \text{ و } Q_{rad} \text{ و } Q_{gen} >$$

$$Q_{gen} = Q_{conv} + Q_{rad} \quad (7)$$

ان كمية الحرارة المتولدة الكلية تحسب كمايأتي:

وان كمية الحرارة المنتقلة بالاشعاع تحسب كمايأتي :

$$Q_{rad} = s * e * A_r (T_{sav}^4 - T_{air}^4)$$

(9)

الاهتزاز أي يمكن أن تكون أفضل من الصلابة الأصلية المستخدمة في المنظومة .

#### الاستنتاجات

(1) أن قيم الترددات الطبيعية والمقادير المميزة تتأثر بشكل كبير بتغير قيمة عدد ماخ لتأثيره الكبير في خواص غاز العادم المار خلال كاتمة الصوت مما يؤثر في صفات المنظومة ، ولكن بصورة عامة لوحظ أن هناك سلوكاً معيناً لزيادة الترددات الطبيعية ونقصانها نتيجة زيادة قيمة عدد ماخ وهو أن التردد الطبيعي الأول يقل بينما يزداد كل من التردد الطبيعي الثاني والثالث.

(2) يؤثر السلوك الدينامي للغلاف تأثيراً كبيراً على قيم الترددات الطبيعية والاستجابة الدينامية للنظام لأن زيادة القطر الخارجي للغلاف (مساحة المقطع العرضي) تقود إلى زيادة صلابة النظام وبالتالي يلاحظ أن التردد الطبيعي الأول يزداد بينما يقل كل من التردد الطبيعي الثاني والثالث على التوالي .

(3) عند زيادة قطر الغلاف يلاحظ أن سعة الاهتزاز عند التردد الطبيعي الأول تقل بينما تزداد سعة الاهتزاز عند التردد الطبيعي الثاني والثالث ، أما الميل فيقل عند التردد الطبيعي الأول والثاني والثالث على الترتيب ، أما فيما يخص القص وعزم الأنحاء فيزدادان عند التردد الطبيعي الأول والثاني والثالث .

(4) زيادة طول أنبوب الذنب (زيادة طول المنظومة مع كتلتها) تؤدي إلى تقليل قيم الترددات الطبيعية الثلاث للمنظومة وإلى تقليل القيم الاهتزازية المميزة عند الترددات الطبيعية الأولى والثانية وزيادتها عند التردد الطبيعي الثالث إذ أن زيادة الطول تؤدي إلى تقليل صلابة المنظومة لأن المنظومة ذات الطول القصير تكون ذات صلابة أعلى من المنظومة الطويلة .

(5) لمرونة الحامل المطاطي تأثيراً كبيراً في قيم الترددات الطبيعية والاستجابة الدينامية للنظام إذ يلاحظ أن زيادة أو نقصان قيمة هذه المرونة أدت إلى نقصان قيمة التردد الطبيعي

### الاعداد اللابعديّة (Dimensionless Parameter)

اعتمدت درجة حرارة الغشاء ( $T_f$ ) في حساب الخواص الخاصة بالمائع الخارجي والتي يعتمد عليهما في حساب القيم اللابعديّة الأتية عدد رينولدز الاهتزازي (Vibrational Reynolds number)

عدد رايلي (Rayleigh number) ، عدد نسلت (Nusselt number) [4]

$$Re_v = \frac{2p * f * a * b_1}{n} \quad (15)$$

$$Ra = \frac{b * g * (T_{sav} - T_{air}) * b_1^4}{n * a * D_o} \quad (16)$$

$$Nu = \frac{h * b_1}{k_f} \quad (17)$$

وفي حالة ميل الاسطوانة عن الافق بزواية ( $\theta$ ) ضمن المدى المحدد تم اعتماد مركبة التعجيل الارضي في حساب عدد رايلي (Ra) وكماياتي [9]

$$Ra = \frac{b * g \sin \theta * (T_{sav} - T_{air}) * b_1^4}{n * a * D_o} \quad (18)$$

اما سرعة الاهتزاز (Vibration Velocity) و سعة الاهتزاز تم حسابها كما في مدرج ادناه

$$u = a * f \quad (19)$$

$$a = \frac{acc}{(2 * p * f)^2 * \sqrt{2}} \quad (20)$$

### مناقشة النتائج

يتناول هذا الجانب من البحث تحليل النتائج العملية المستحصلة من (360) اختباراً

حيث ان  $\theta$  : عامل انبعائية السطح وتساوي (0.004) .

وعليه فان معامل انتقال الحرارة بالحمل الحر تم حسابه من المعادلة الاتية التي تعرف بقانون نيوتن للتبريد

$$h = \frac{Q_{conv}}{A_f * \Delta T} \quad (10)$$

حيث  $A_f$  هي المساحة السطحية الكلية لنماذج الاختبار وكانت للنموذج الاول والثاني والثالث على التوالي كمايلي [0.1766359 m<sup>2</sup> , 0.1463036 , 0.158088 ] .

كما تم حساب معدل درجات الحرارة كما يلي :

$$T_{sav} = (T_1 + T_2 + \dots + T_n) / N \quad (11)$$

اما معدل درجة الطبقة المتاخمة ( $T_f$ ) تم حسابها كماياتي

$$T_f = \frac{T_{sav} + T_{air}}{2} \quad (12)$$

اعتمدت هذه الدرجة في حساب الخواص الفيزيائية للمادة العاملة (الهواء) بعد ايجاد معادلات تمكنا من الحصول على اي خاصية عند اي درجة حرارة . كما تم حساب معامل التمدد الحجمي من المعادلة الاتية

$$b = 1 / (T_f + 273) \quad (13)$$

لغرض حساب الفيض الحراري المسلط على الاسطوانة المزعفة يتطلب حساب القدرة المتولدة نتيجة مرور تيار كهربائي في مقاومة التسخين بتطبيق المعادلة (7) . حيث ان المساحة السطحية المعرضة لهذه القدرة هي مساحة الانبوب الداخلي للاسطوانة المزعفة وتحسب كماياتي

$$A_{si} = p * D_i * Lc \quad (14)$$

$$\therefore Q = Q_{gen} / A_{si}$$

الحراري تؤدي الى نقصان قيمة معامل انتقال الحرارة المتمثلة بالنسبة  $(hv/ho)$  لكافة زوايا الميل ولجميع نماذج الاختبار المحددة في البحث على الرغم من زيادة شدة الاهتزاز اذ يتراوح عدد رايلي  $(Ra)$

بين (3-95) للأنموذج الاول و (9-290) للأنموذج الثاني و (9-270) للأنموذج الثالث وهذا يعني ان الشكل الهندسي للنماذج المزعفة يكون له تأثير واضح في معامل انتقال الحرارة اذ ان الأنموذج الثاني والثالث يكونان فعالين في عملية انتقال الحرارة .

**تأثير تغير شدة الاهتزاز في عدد رينولدز الاهتزازي  $(Rev)$  :**

تم دراسة تأثير شدة الاهتزاز  $(af)$  في معامل انتقال الحرارة من خلال دراسة التأثير في عدد رينولدز الاهتزازي ولمستوى فيض حراري  $(500W/m^2 - 1500)$  ولكافة زوايا الميل المحددة في البحث اذ اظهر الشكل (11) ان زيادة شدة الاهتزاز تؤدي الى زيادة عدد رينولدز الاهتزازي وبعلاقة طردية ويكون التأثير واضحاً بزيادة زاوية الميل .

**تأثير تغير شدة الاهتزاز في معامل انتقال الحرارة :**

تم دراسة تأثير شدة الاهتزاز  $(af)$  في معامل انتقال الحرارة  $(hv/ho)$  لمستوى فيض حراري  $(500W/m^2 - 1500)$  ولكافة زوايا الميل المحددة في البحث اذ يوضح الشكل (12) ان قمة معامل انتقال الحرارة تزداد بزيادة شدة الاهتزاز لكافة النماذج عند الزاوية  $(0^\circ)$  وتقل بزيادة الزاوية حيث وتزداد الزيادة التنزلية بزيادة زاوية الميل ويعزى ذلك الى ان الوضع الافقي نتيجة الاهتزاز تتولد سرعة اضافية مقدارها  $(af)$  فضلاً عن قوة الطفو الرئيسي وتعمل على زيادة معامل انتقال الحرارة اما في حالة امالة النماذج بزوايا مختلفة هذه السرعة تعمل على اضطراب الهواء المتاخم للنماذج وكون مركبة قوى الطفو هي المؤثرة وتقل بزيادة

ولثلاثة نماذج اختبار ذات مساحة مقطع مختلفة و فيض حراري يساوي  $(1500, 1000, 500W/m^2)$  ولزوايا ميل مقدارها  $(0^\circ, 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ)$  ولتردد مقداره  $(Hz)$

$(2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20)$  . لذا تضمن هذا الجانب من البحث تأثير العناصر الأتية في معامل انتقال الحرارة بالحمل .  
**تأثير سعة الاهتزاز في التردد :**

تم دراسة تأثير سعة الاهتزاز  $(Amp)$  مع التردد  $(f)$  للأنموذج الاول اذ يوضح الشكل (4) ان اعلى سعة اهتزاز تحصل عند الزاوية  $(30^\circ)$  وتقل بزيادة الزاوية وتكون اقل مايمكن في الوضع الافقي لكافة الترددات المعتمدة في البحث  $(2-20 Hz)$  .

**تأثير عدد رينولدز الاهتزازي  $(Vibrational Reynolds Number)$  في معامل انتقال الحرارة :**

توضح الاشكال (5,6,7) العلاقة بين عدد رينولدز الاهتزازي ومعامل انتقال الحرارة المتمثل بالنسبة  $(hv/ho)$  للنتائج العملية اذ ان زيادة عدد رينولدز الاهتزازي  $(Rev)$  تؤدي الى زيادة معامل انتقال الحرارة لكافة نماذج الاختبار المستعملة في البحث عند الزاوية  $(0^\circ)$  وتقل مع زيادة مستوى الفيض الحراري. هذا السلوك سوف ينعكس لزوايا الميل بين  $(30^\circ, 45^\circ, 60^\circ)$  والتي عندها يقل معامل انتقال الحرارة بزيادة عدد رينولدز الاهتزازي ونرى ان هذا النقصان يزداد بزيادة الفيض الحراري ويعزى ذلك الى ان الاهتزاز الناتج لا يسبب خرقاً للطبقة المتأخمة الحرارية ذات السمك الكبير المتولدة بسبب زيادة الارتفاع في درجة حرارة سطح الاسطوانة ولذلك يكون تأثيره بسيطاً .

**تأثير عدد رايلي  $(Rayleigh Number)$  في معامل انتقال الحرارة :**

توضح الاشكال (8,9,10) ان زيادة عدد رايلي  $(Ra)$  الناتجة عن زيادة الفيض

حالة من حالات البحث علما ان نسبة الخطاء لهذه المعادلات هي (1-3 %). ولأيجاد معادلة عامة لأي أنموذج أختبار سواء كان (الاول ، الثاني ، الثالث ) ولأي فيض حراري كان (1500,500,1000 W/m<sup>2</sup>) في حالة امالة النماذج عن الافق بزوايا مقدارها (30°، 45°، 60°) تم استعمال نفس البرنامج للاستخراج هذه المعادلات ، وذلك بأدخال قيمة الزاوية (θ) على المعادلة العامة فتصبح هذه المعادلة كما يلي :

$$Nu = C * Ra^m * Rev^n * q^l$$

حيث (C , m , n , l) ثوابت

معادلة أنموذج الاختبار (1) ، فيض حراري مقداره Q=500w/m<sup>2</sup> ، هي كيميائي

$$Nu = 118.6350 * Ra^{0.53506} * Rev^{-0.11269} * q^{-1.30968}$$

هذا ويمكن وضع معادلات تأثير الزاوية لكافة نماذج الاختبار ولمستوى الفيض الحراري المحدد كما في الجدول الآتي:

في ضوء تحليل نتائج البحث امكن التوصل الى الاستنتاجات الآتية :

- 1- عند هز الاسطوانات ضمن مدى تردد (20-2Hz) في هواء ساكن تؤدي الى زيادة انتقال الحرارة قويمدى محدود عند الزاوية (θ=0°) .
- 2- ان معامل انتقال الحرارة للاهترزاز العمودي لاسطوانات مسخنة يقل بزيادة ميل الزاوية عن الافق وتكون اعظم قيمة له عندما

زاوية الميل مما يؤدي الى نقصان معامل انتقال الحرارة .

دراسة تأثير زاوية الميل في معامل انتقال الحرارة بالحمل :

تم دراسة تأثير زوايا الميل في معامل انتقال الحرارة ( hv/ho ) لكافة مديات رينولدز الاهترزازي وللترددات المعتمدة في البحث والتي تراوحت بين (2-20 Hz) اذ يوضح الشكل (13) تأثير زاوية الميل في معامل انتقال الحرارة ويتضح ان معامل انتقال الحرارة (hv/ho) يزداد عند الوضع الافقي اذ تظهر فاعلية الأنموذج الثالث لانتقال الحرارة ثم الأنموذج الثاني والاول ولمستويات الفيض الحراري (500-1500 W/m<sup>2</sup>) ويقل هذا التأثير بزيادة زوايا الميل ولكافة النماذج اذ تكون العلاقة عكسية بزيادة عدد رينولدز الاهترزازي وهذا يعزى الى ان الوضع الافقي لكافة النماذج المزعفة يكون تأثير قوى الطفو الرئيسي هو الفعال فضلا عن عمل الزعانف كمسارات لتيارات الحمل اذ يكون اتجاه جريان المائع الرئيس والثانوي بنفس الاتجاه مما يؤدي الى زيادة معامل انتقال الحرارة في حين زيادة الزاوية تعمل على ان يكون مركبة قوة الطفو هي الفعالة وحصول عرقلة لمسارات تيارات الحمل مما تؤدي الى تسخين الزعنف نفسها وبالتالي يقل معامل انتقال الحرارة ، اي ان عملية انتقال الحرارة في الوضع الافقي تكون افضل من حالة امالة النماذج بزوايا معينة ويعزى ذلك الى ان جريان ثانوي يرافق الحمل الحر ويعمل على تقليل الفرق في درجات الحرارة بين الجدار والمحيط .

#### العلاقات التجريبية المستنبطة

لقد تم التوصل في هذا البحث الى وضع علاقة لابعدية تعبر عن عدد نسلت الاهترزازي مع عدد رابلي وعدد رينولدز الاهترزازي . ان العلاقات الآتية قد استنتجت لوصف البيانات العملية لهذا البحث ، فقد تم استعمال برنامج (DGA - V1) لاستخراج المعادلات ولكل

thesis , University of Technology , (2001) .

[4] . Ansam A. M. , " The effect of induced Vibration on the flow properties in a pipe fitted with an orifice " , Ph. D. thesis , University of Nahrain , (2006) .

[5] . Toshiyuki Satoh et al , " Buckling of Coiled Springs by Combined Torsion & Axial Deflection " , JSME International Journal , Vol. 31 , No. 1 , page 56–61 , (1988) .

[6] . I. G. Currie & W. L. Cleghorn , " Free lateral Vibration of beam under Tension with a concentrated mass at the mid-point " , Journal of sound & Vibration , Vol. 123 , No. 1 , page 55–61 , (1988) .

[7] . M. A. Prohl , " A general method for calculating critical speeds of flexible rotors " , Journal of Applied mechanics , Vol. 12 , page 142–148 , September (1945) .

[8] . Erik L. J. Bohez , " Computer Aided dynamic Design of rotating shafts " , Computers in Industry , Vol. 13 , No. 1 , page 69–80 , (1989) .

[9] . R. M. Little & W. D. Pilkey , " A linear programming approach for balancing flexible rotors " , Journal of engineering for industry , Vol. 98 , No. 3 , page 1030–1035 , August (1976) .

[10] . J. L. Yang et al , " Heuristic optimization in the balancing of high speed rotors " , Journal of dynamic systems , Measurement

تكون الاسطوانة اما افقية او بميل قريب عن الافق .

3- يكون تأثير شدة الاهتزاز (af) في معامل انتقال الحرارة طرديا في الوضع الافقي وعكسيا بزيادة زوايا الميل .

4- ان ساعات الاهتزاز الصغيرة تأثيرها محدود في الطبقة المتاخمة الحرارية ومن اجل تحسين

معامل انتقال الحرارة يجب اختراق الطبقة المتاخمة الحرارية بساعات اهتزاز كبيرة .

5- للشكل الهندسي تأثير فعال في معامل انتقال الحرارة بالحمل لكافة الترددات والفيضان الحراري .

6- يقل معامل انتقال الحرارة بزيادة مستويات الفيضان الحراري .

7- يزداد عدد رينولدز الاهتزازي (Rev) مع زيادة كثافة الاهتزاز ولمختلف الزوايا وتكون الزيادة اكبر كلما كانت زاوية الميل اكبر

8- يقل معامل انتقال الحرارة الاهتزازي بزيادة عدد رايلي (Ra) ويكون بأعلى مقدار عند أعلى مستوى للفيضان الحراري.

#### المصادر

[1] . P. Srinivasan and V. Lak Shinaray anan , " Vibration of pipe carrying flowing fluid " , Transpotation engineering Journal , Proceeding of the American society of civil engineers , May (1970) .

[2] . Huang , C. c. , " Vibration of pipe containing flowing according to Timoshenko theory " , Transactions of the ASME , September (1974) .

[3] . Alaa A. M. H. , " The effect of induced Vibration on a pipe with a restriction conveying fluid " , Ph. D.

dynamics " , Tribology international , page 233–236 , (1980) .

[13] . Gerner A. Olsen , " Elements of mechanics of materials " , Prentice-Hall , Inc. , Englewood Cliffs , New Jersey 07632 , (1982) .

[14] . Ferdinand L. Singer & Andrew Pytel , " Strength of materials " , HARPER & Row Publishers , New York , (1982) .

and control , Vol. 106 , No.2 , page 163–169 , June (1984) .

[11] . J. A. Dopkin and T. E. Shoup , " Rotor resonant speed reduction caused by flexibility of disks " , Journal of engineering for industry , Trans. ASME , Vol. 96 , No. 4 , page 1328–1333 , (1974) .

[12] . J. W. Lund , " Review of analytical methods in rotor-bearing

## قائمة الرموز

الوحدات	المعنى	الرمز
$m^2$	مساحة مقطع العتبة	A
$m^2$	مساحة المقطع العرضي لكل من الأنبوب والغلاف على التوالي	$A_{cc} , A_{cs}$
$m^2$	مساحة الثقب الواحد	$A_h$
$m^2$	المساحة السطحية لأي عنصر	$A_s$
$m^2$	المساحة السطحية لمقطع (عنصر) كل من الأنبوب والغلاف من الداخل على التوالي	$A_{sc} , A_{ss}$
m	القطر الداخلي للأنبوب أو الغلاف	d
m	القطر الهيدروليكي للأنبوب والغلاف على التوالي	$D_{Hc} , D_{Hs}$
$N/m^2$	معامل المرونة لمقطع (عنصر) كل من الأنبوب والغلاف على التوالي	$E_c , E_s$
—	مصفوفة المجال للمقطع (i)	$[F]_i$
—	معامل الاحتكاك	f
$N/m^2$	معامل القص لمعدن كل من الأنبوب والغلاف على التوالي	$G_c , G_s$
$m^4$	عزم القصور الذاتي القطري لمساحة مقطع كل من الأنبوب والغلاف على التوالي	$I_c , I_s$

الوحدات	المعنى	الرمز
$\text{Kg} \cdot \text{m}^2$	عزم القصور الذاتي للكتلة بالاتجاهات الثلاثة على الترتيب	$I_z, I_y, I_x$
$\text{m}^4$	عزم القصور الذاتي القطبي لمساحة مقطع كل من الأنبوب والغلاف على التوالي	$J_c, J_s$
—	$\sqrt{-1}$	$j$
$\text{N/m}$	معاملات قوى صلابة المعدن بين الأنبوب والغلاف بالاتجاهين $X$ و $Y$ على الترتيب	$K_y, K_x$
$\text{N/m}$	معامل المرونة (قوة صلابة) الحامل المطاطي الساند للغلاف	$K_{yy}$
$\text{m}$	الطول الأبتدائي للعتبة	$l$
$\text{m}$	طول المقطع (العنصر) $(i)$	$l_i$
$\text{m}$	طول المقطع (العنصر) لكل من الأنبوب والغلاف	$L$
$\text{kg}$	كتلة النقطة $(i)$	$m_i$
$\text{N} \cdot \text{m}$	عزوم الانحناء حول المحور $X$ و $Y$ على الترتيب	$M_y, M_x$
$\text{N} \cdot \text{m}$	عزم اللي أو البرم حول المحور $Z$	$M_z$
—	عدد ماخ	$M$
$\text{N}$	القوة المحورية الكلية	$N_f$
—	عدد الثقوب للحلقة الواحدة	$n$
$\text{N}$	القوة المحورية الناتجة من التأثير الحراري	$P$
$\text{N/m}^2$	ضغط الغاز عند كل حلقة من حلقات الأنبوب	$P_{es}$
—	مصفوفة النقطة	$[P]_i$
$\text{N/m}^2$	ضغط الغاز بالاتجاه المحوري $Z$	$P_z$
$\text{C}^\circ$	درجة الحرارة التي تتعرض لها العتبة	$T$
$\text{C}^\circ$	درجة الحرارة المحيطة	$T^\circ$
$\text{C}^\circ$	درجة حرارة الغاز بالاتجاه المحوري $Z$	$T_z$



الوحدات	المعنى	الرمز
m/s	سرعة الغاز بالاتجاه المحوري Z	$U_z$
m/s	معدل سرعة الغاز عند الجدار (لأي عنصر)	$V$
N	قوى القص في الاتجاهات X و Y على الترتيب	$V_y, V_x$
N	القوة المحورية بالاتجاه المحوري Z	$V_z$
N	مركبات قوى الأثرارة التي يسببها ضغط الغاز المار وفي الاتجاهين X و Y على الترتيب	$W_y, W_x$
rad/s	تردد الأثرارة	$W$
m	الانحرافات القطرية في الاتجاهات X و Y على الترتيب	$X$ و $Y$
m	الأزاحات النسبية بالاتجاهات X و Y على الترتيب	$X, Y$
m	الأزاحة المحورية في الاتجاه Z	$Z$
—	متجة الحالة	$\{Z\}_i$

## الرموز اللاتينية

الوحدة	المعنى	الرمز
Kg/m <sup>3</sup>	كثافة المائع (غاز العادم)	$r$
rad/s	التردد الطبيعي	$\omega_n$
degree	زوايا الميل للعنصر حول X و Y على الترتيب	$q_x, q_y$
degree	زاوية الألتواء حول المحور Z	$q_z$
—	معامل الشكل للمقطع العرضي للأنبوب والغلاف	$k_s$
m	الاستطالة الحرارية	$d_T$
m/m/C°	معامل التمدد الطولي للمعدن	$\alpha$
N/m <sup>2</sup>	إجهاد القص عند جدار كل مقطع (عنصر) من مقاطع الأنابيب والغلاف من الداخل على التوالي	$t_{ws}, t_{wc}$
—	النسبة بين الحرارة النوعية للغاز بثبوت الضغط والحرارة النوعية للغاز بثبوت الحجم	$g$
—	النسبة الثابتة	$p$

## الرموز السفلية

الرمز	الدلالة
$C$	يشير إلى الغلاف
$S$	يشير إلى الأنبوب الداخلي المثقب (العمود)

## الرموز العلوية

الرمز	الدلالة
$i$	يشير إلى الجزء الخيالي من المتغير المركب
$r$	يشير إلى الجزء الحقيقي من المتغير المركب
$L$	يشير إلى أن المقدار أو المتجه يقع على يسار العقدة ( $i$ )
$R$	يشير إلى أن المقدار أو المتجه يقع على يمين العقدة ( $i$ )
—	تشير إلى المتغيرات المركبة

جدول (1) يبين أول ثلاثة ترددات طبيعية لقيم مختلفة لعدد ماخ

سرعة دخول الغاز (m/s)	عدد ماخ	التردد الطبيعي (rad/s)		
		الأول	الثاني	الثالث
183	0.54	258	3475	3478
200	0.59	252	3478	3482
217	0.64	176	3538	3542

جدول (2) تأثير القطر الخارجي للغلاف على الترددات الطبيعية

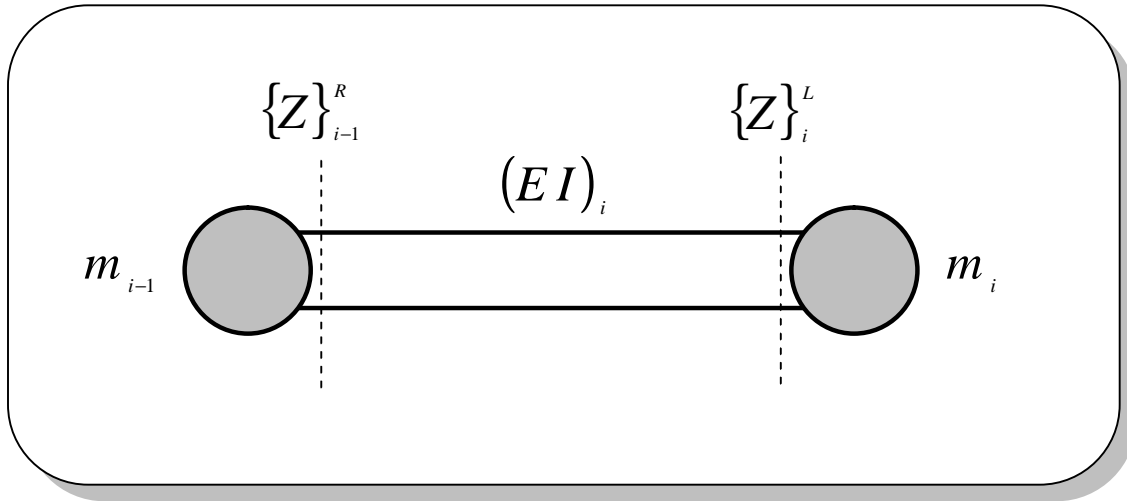
التردد الطبيعي (rad/s)	قطر الغلاف (m)	
	0.1325	0.2
الأول	258	293
الثاني	3475	3320
الثالث	3478	3324

جدول (3) تأثير طول أنبوب الذنب على الترددات الطبيعية

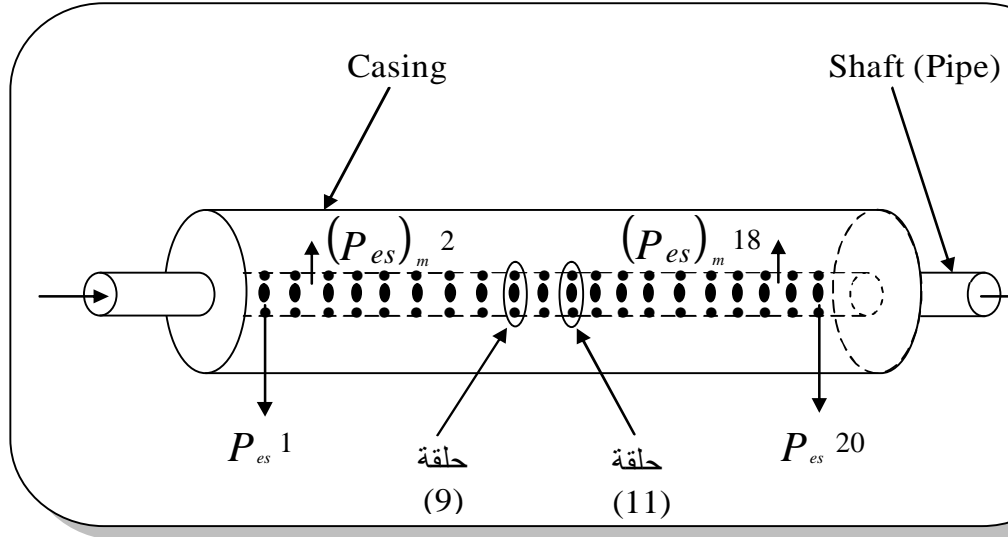
التردد الطبيعي (rad/s)	طول أنبوب الذنب (m)	
	0.13	0.25
الأول	258	230
الثاني	3475	380
الثالث	3478	2387

جدول (4) تأثير مرونة الحامل المطاطي على الترددات الطبيعية

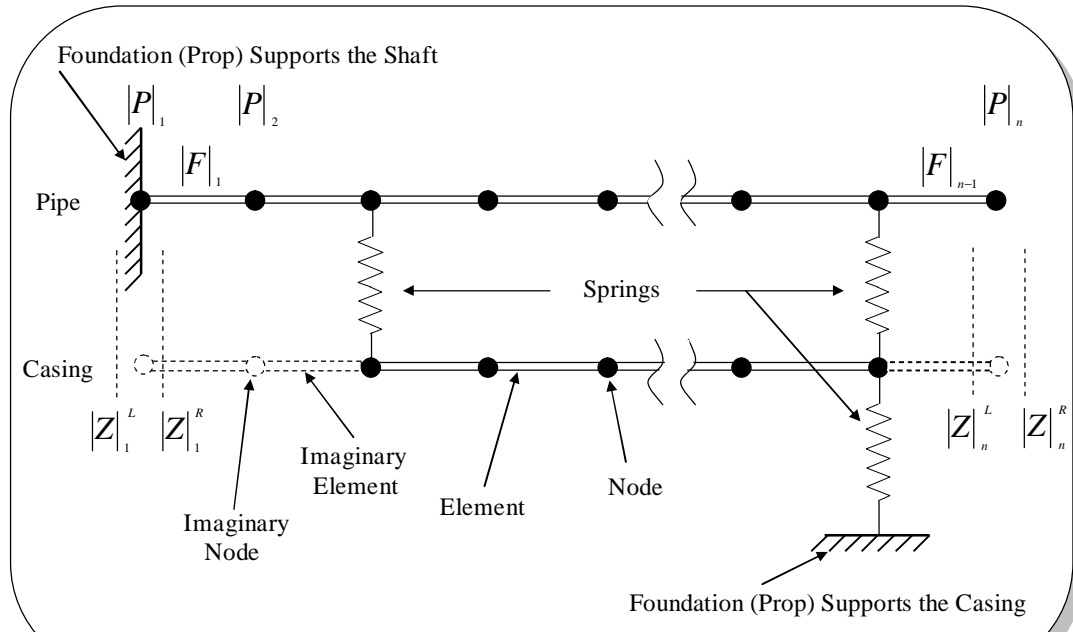
التردد الطبيعي (rad/s)	مرونة المطاط (الحامل) (N/m)		
	250E+02	500E+02	750E+02
الأول	258	258	258
الثاني	353	3475	489
الثالث	3474	3478	3474



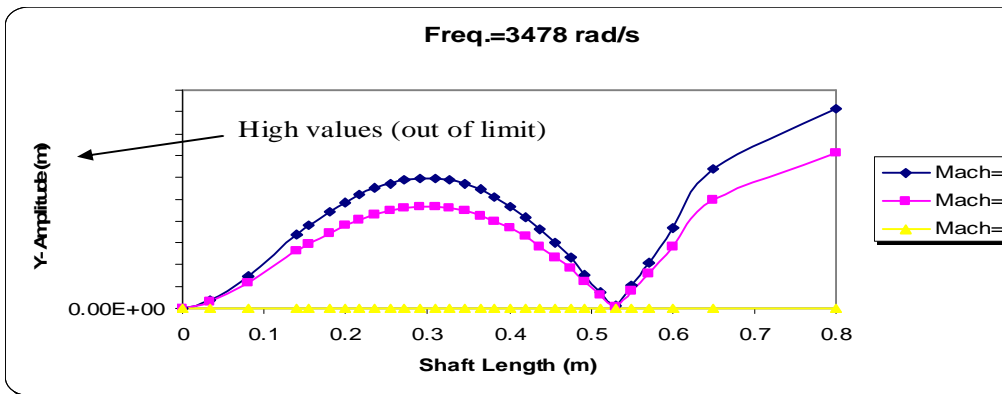
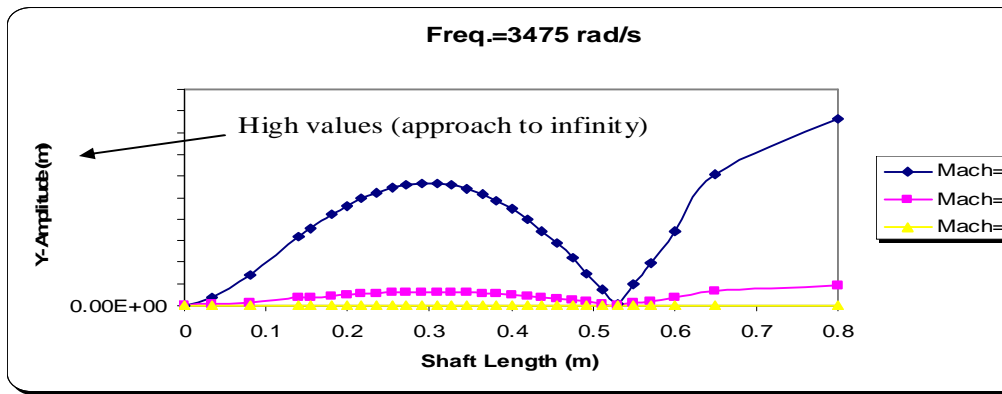
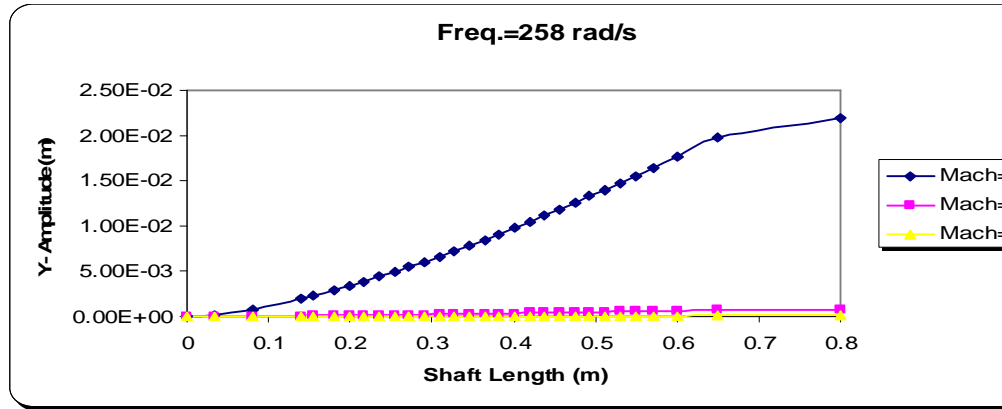
شكل (1) يبين عنصر محدد لعتبة انموذجية



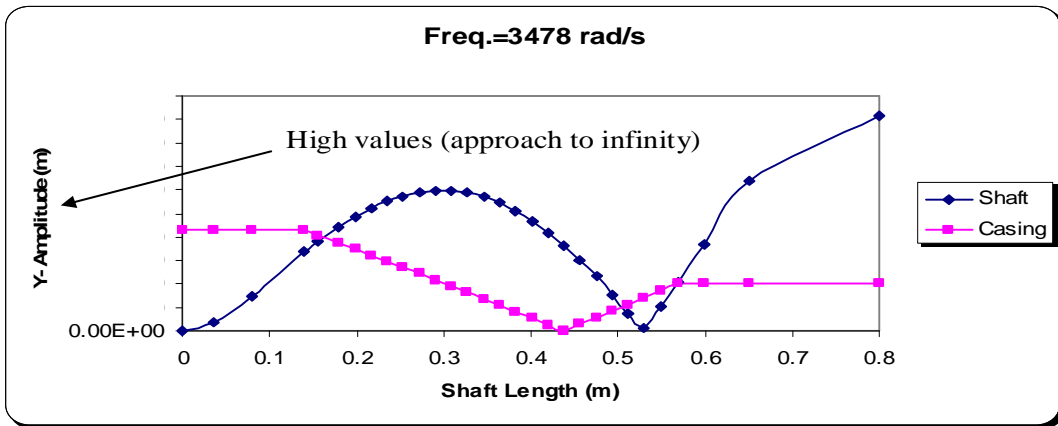
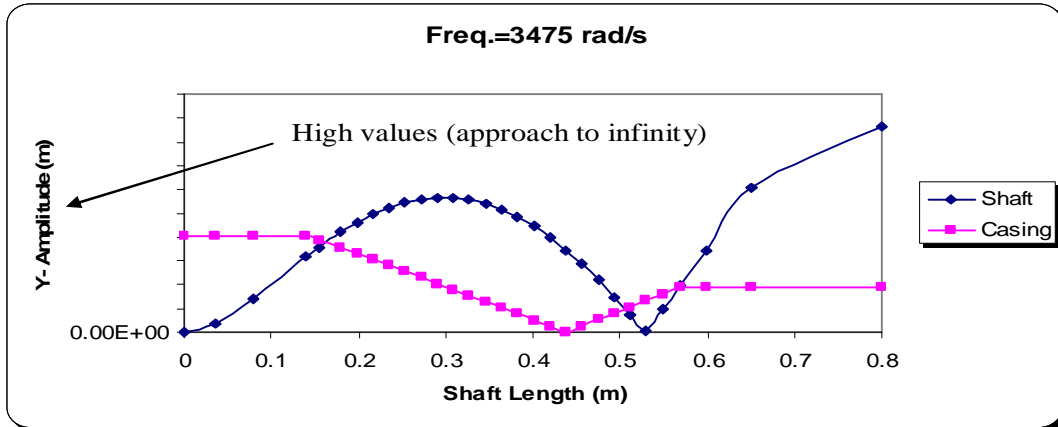
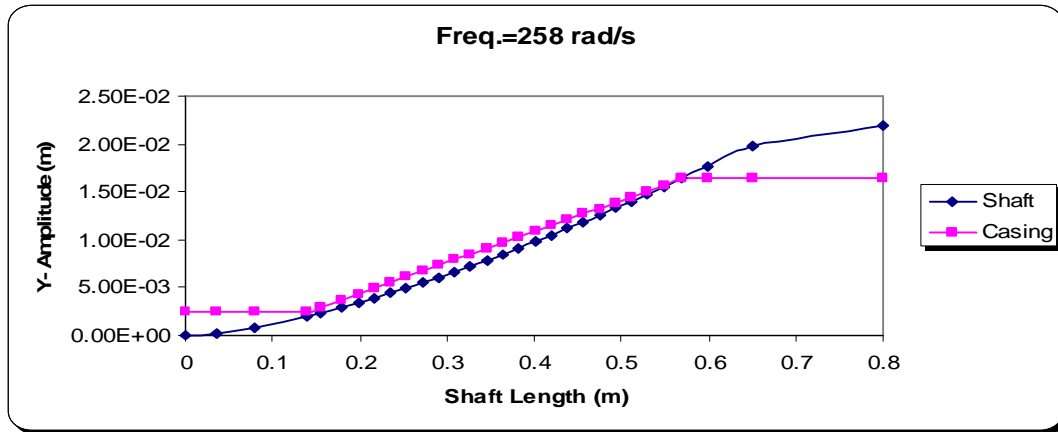
شكل (2) يبين نموذج مبسط لكاتمة صوت



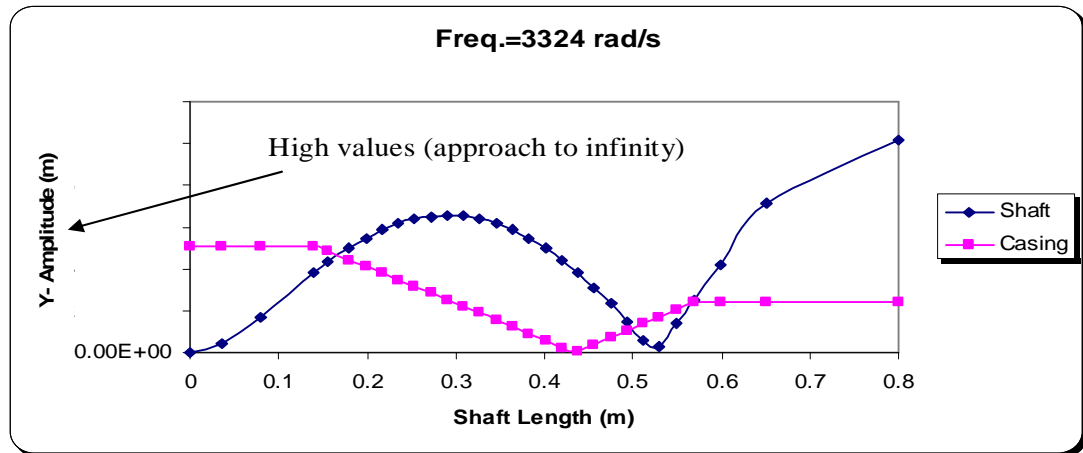
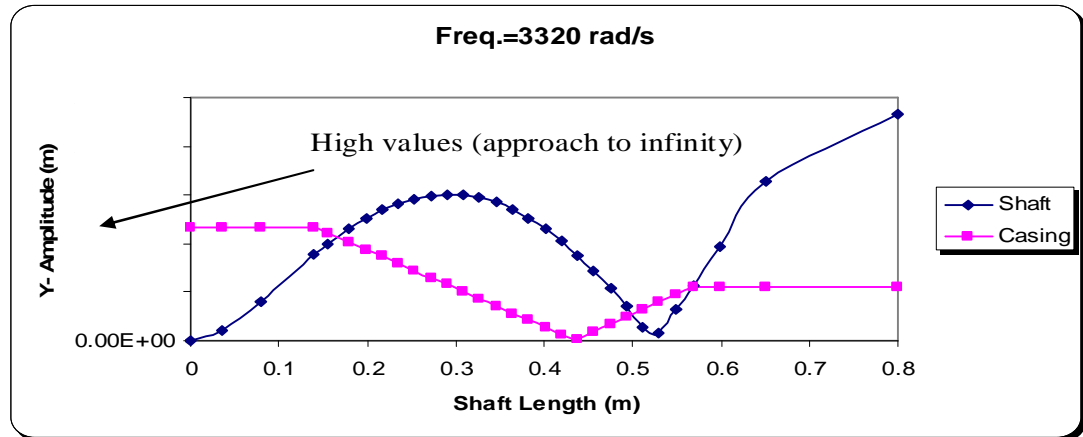
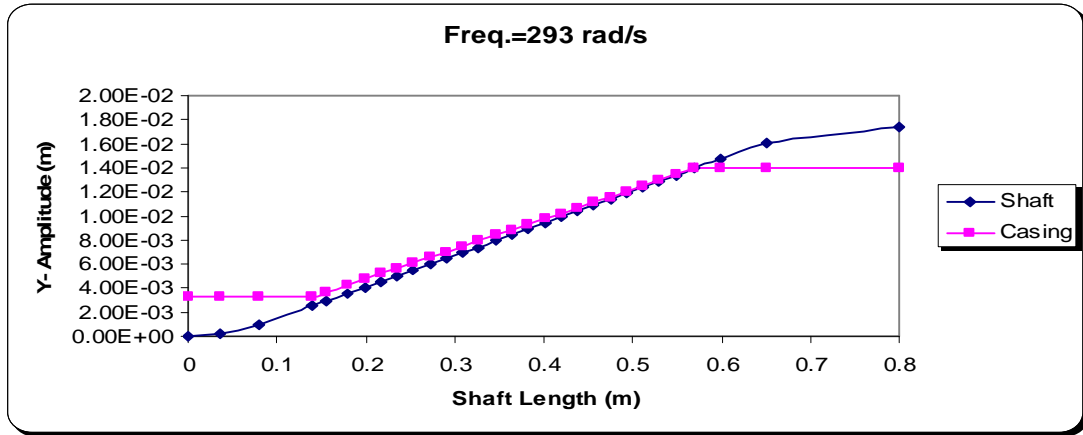
شكل (3) يبين الامودج الرياضي لكاتمة الصوت



شكل (4) تأثير تغير عدد ماخ على توزيع سعات الاهتزاز على طول الانبوب عند الترددات الطبيعية وعند قيمة (Mach=0.54)

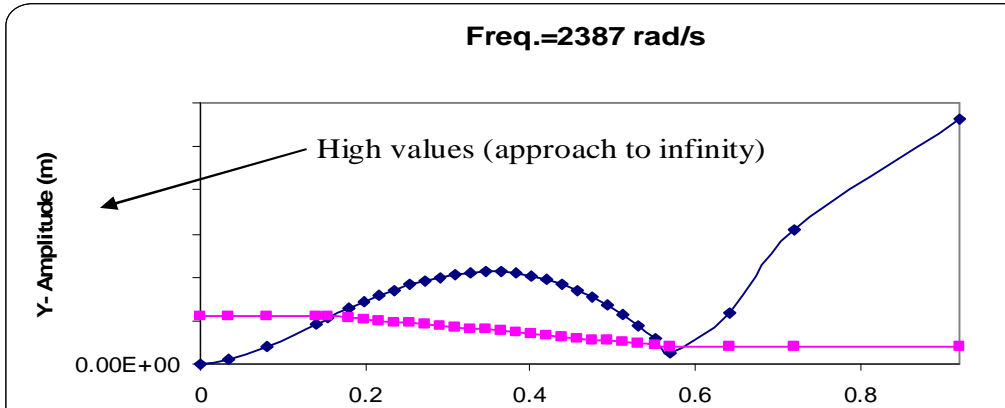
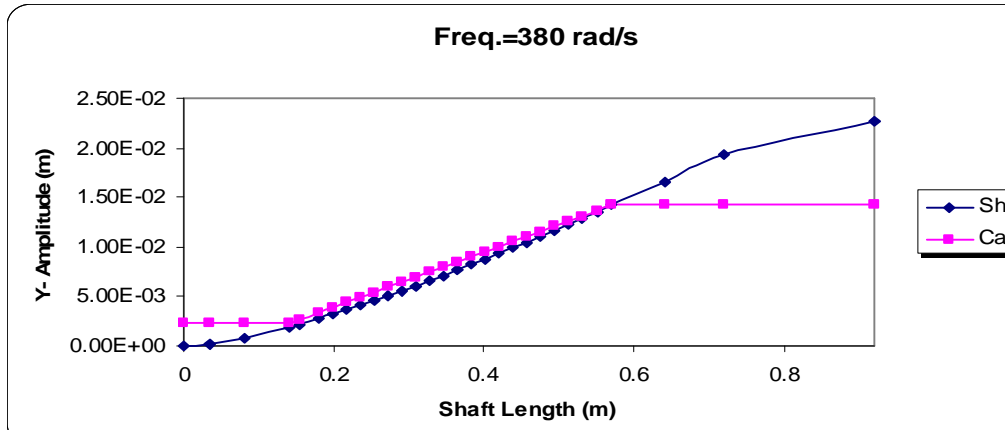
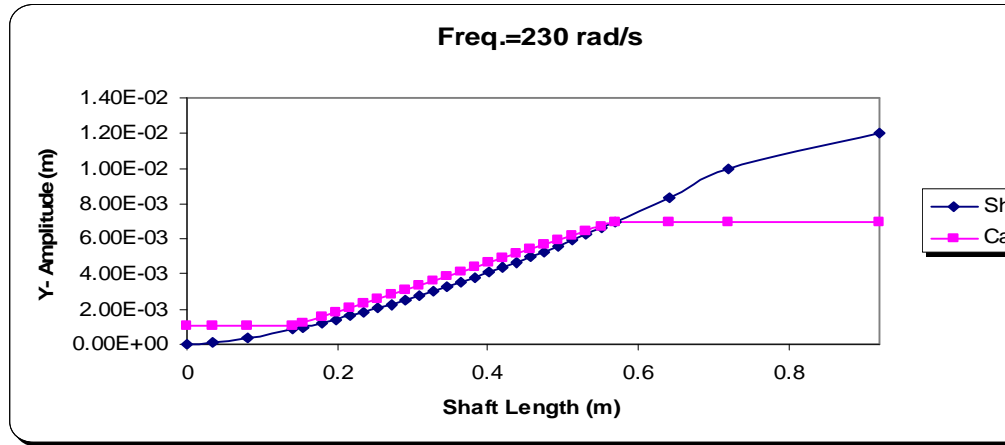


شكل (5) توزيع سعات الأهرزاز على طول الأنبوب لكل من الأنبوب والغلاف عند الترددات الطبيعية وعند قيمة (Mach=0.54) و (القطر الخارجي للغلاف = 0.1325 m)

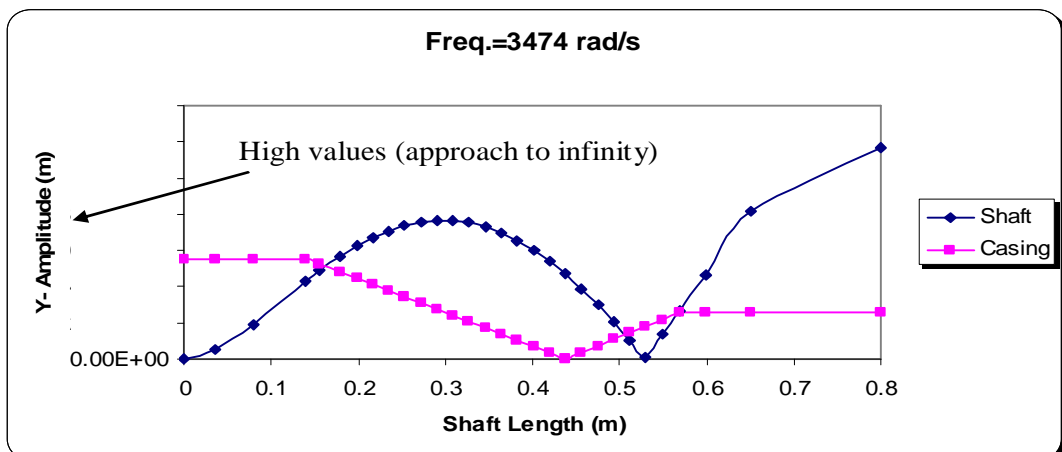
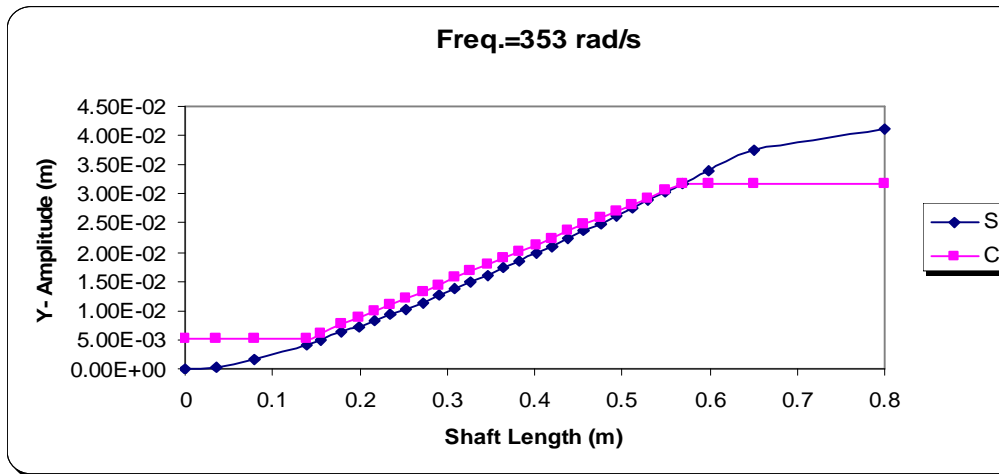
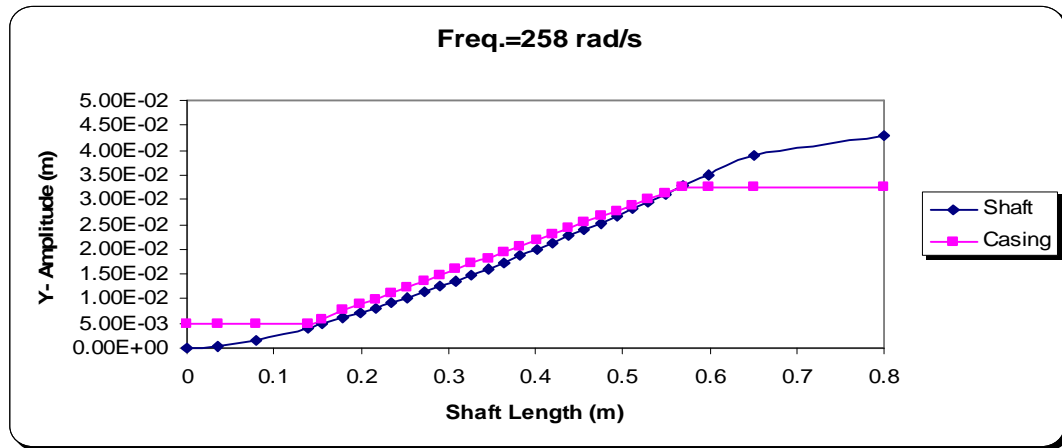


شكل (6) توزيع سعات الأهرزاز على طول الأنابيب لكل من الأنابيب والغلاف عند الترددات الطبيعية وعند قيمة (Mach=0.54) و (القطر الخارجي للغلاف = 0.2 m)

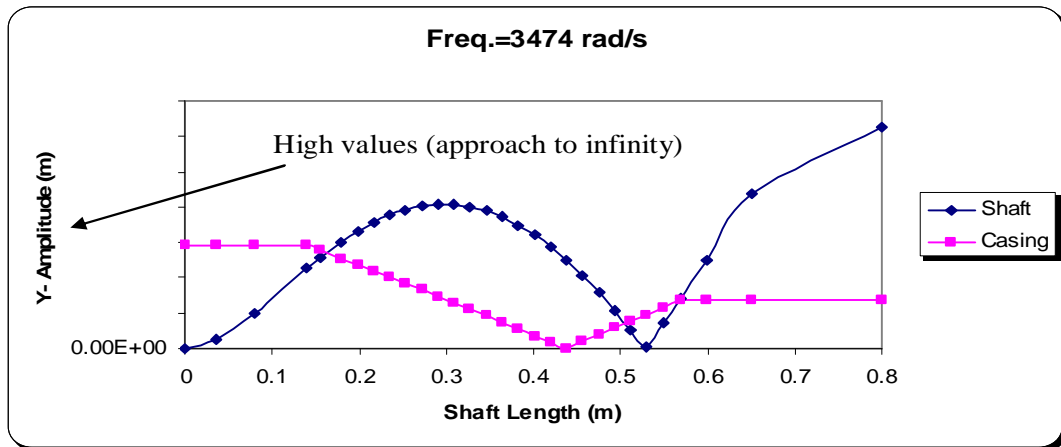
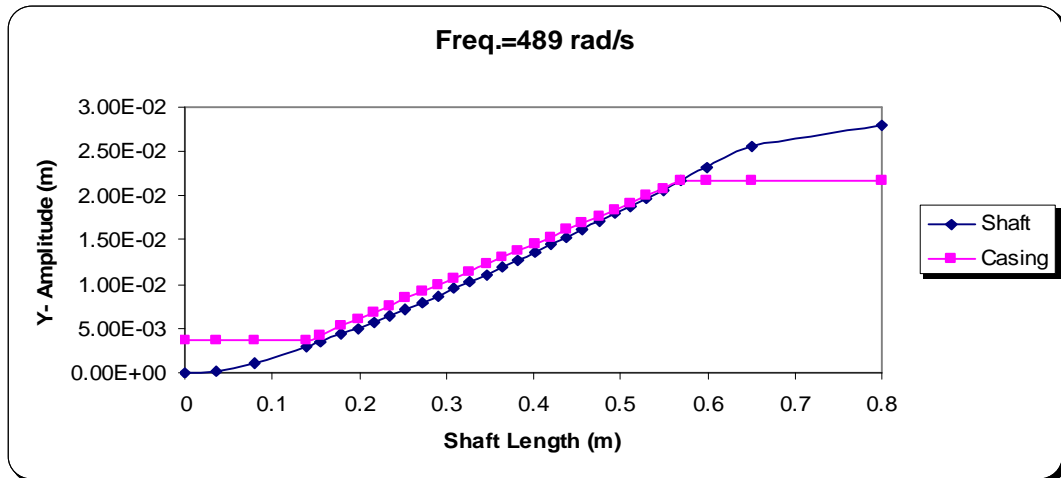
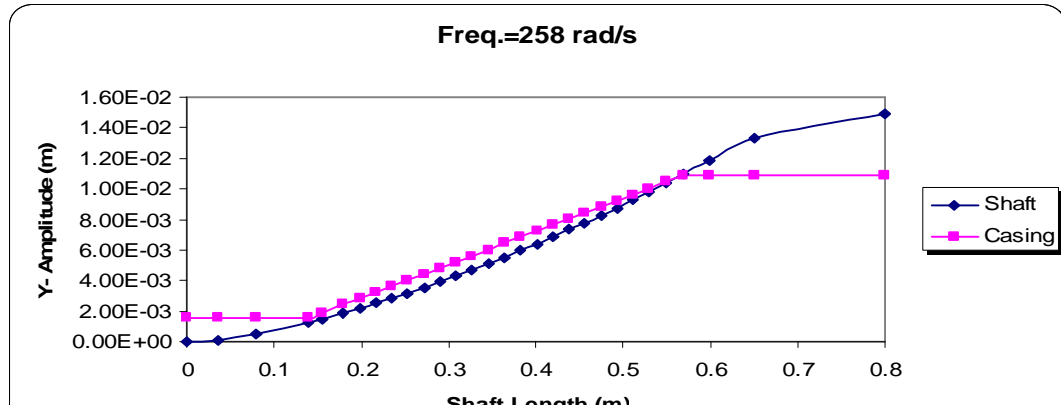




شكل (7) توزيع سعات الأهرزاز على طول الأنبوب لكل من الأنبوب والغلاف عند الترددات الطبيعية وعند قيمة (Mach=0.54) و (طول أنبوب الذنب = 0.25 m)



شكل (8) توزيع ساعات الأهرزاز على طول الأنبوب لكل من الأنبوب والغلاف عند الترددات الطبيعية وعند قيمة (Mach=0.54) و (مرونة الشيبال = 250E+02 N/m)



شكل (9) توزيع سعات الأهرزاز على طول الأنبوب لكل من الأنبوب والغلاف عند الترددات الطبيعية وعند قيمة (750E+02 N/m = مرونة الشبال) و (Mach=0.54)