مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (30) العدد (3) 2008
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (30) No. (3) 2008

عن النمذجة الفيزيائية للمطرقة المائية في الجمل الهيدروليكية المغلقة.

الدكتور سامي قدسية *

(تاريخ الإيداع 9 / 6 / 2008. قُبِل للنشر في 2008/7/6)

□ الملخّص □

إن النمذجة الفيزيائية للمطرقة المائية (الصدمة الهيدروليكية) تعتمد بشكل أساسي على مبادئ التشابه التي تساعد على حل الجمل الهيدروليكية المعقدة، والتي تتمتع حساباتها بالدقة الكافية. يعود هذا إلى أهمية الجمل المدروسة ودرجة تعقيدها، وبالتالي معرفة ليس فقط القيم العظمى للضغط عند حدوث المطرقة المائية، بل كذلك معرفة طابع بارامترات العمليات المرافقة لهذه الصدمة وتغيرها.

الكلمات المفتاحية: النمذجة– مطرقة مائية– جمل هيدروليكية.

* أستاذ – قسم هندسة القوى الميكانيكية – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين– اللاذقية– سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (30) العدد (3) 2008
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (30) No. (3) 2008

On Physical Modeling of the Water Hammer in a Closed Hydraulic System

Dr. Sami Koudsie *

(Received 9 / 6 / 2008. Accepted 6 / 7 / 2008)

□ ABSTRACT □

Basically, the physical modeling of water hammer depends on a similarity basis, which helps solve a complex hydraulic system. It always characterizes its calculation with complete accuracy. This is ascribed to the importance and complexity of that system, therefore, knowing not only the maximum pressure value of water hammer occurrence, but also its characteristics and change of the value of parameters accompanying it.

Keywords: modeling, water hammer, hydraulic system.

*Professor, Mechanical Power Engineering Department, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

غالبا ما تُصادف في الصناعة جمل هيدروليكية تكون بعض عناصرها أو فروعها مغلقة عند أماكن وصلها بالأنبوب الرئيس، ويعود ذلك لدرجة تعلقها بالبارامترات، وبطريقة تأثرها بطابع عدم استقرارية حركة السائل في الأنبوب الرئيس المزود بالأجهزة الضرورية مثل أجهزة الرفع الهيدروليكية الحجمية [1]. إلا أن استخدام مبادئ التشابه المعروفة تساعد في حل الدارات الهيدروليكية المغلقة عن طريق النمذجة لمعرفة قيم الضغط التي تحصل عند حدوث المطرقة المائية ومعرفة طابع تغير قيم بارامترات المطرقة المائية.

أهمية البحث وأهدافه:

عند حدوث الصدمة الهيدروليكية (المطرقة المائية) في أنبوب(موديل) يحتوي على ماء مضغوط فان نموذج هذه الصدمة يمكن عدّه مشابهاً لحدوث صدمة في أنبوب طبيعي [2,3] إذا تحقق الشرطان الآتيان:

بالنسبة إلى أنبوب طبيعي: $$\frac{a.\mathrm{v}}{g.H} = idem - E_p \qquad (1)$$

أما بالنسبة إلى الأنبوب الموديل: $$\frac{T_s.a}{\mathrm{L}} = idem - H_\theta \qquad (2)$$

حيث: a – سرعة انتشار موجة الصدمة الهيدروليكية.

v– سرعة السائل في الأنبوب.

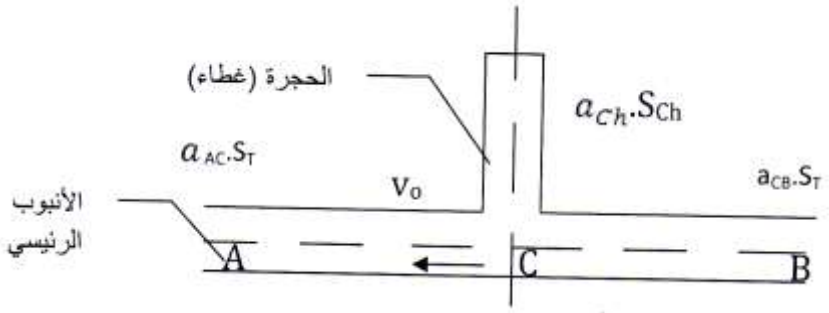
g– تسارع الجاذبية الأرضية.

H– ضاغط السائل في الأنبوب.

Ts– زمن الصدمة.

L– طول الجزء المدروس من الأنبوب.

إن إدخال الرموز اللابعدية H_θ،E_p في نظرية الصدمة تم بسبب عدم ارتباطها بنظرية التشابه. وفق خواص مبادئ التشابه المبينة أعلاه تم القيام بعملية النمذجة للصدمة الهيدروليكية في أجزاء طاقية (قدروية) من جمل هيدروليكية عند أماكن وصل الأنابيب [4,5]. تنحصر خاصية هذه الجمل في إمكانية تحريك السائل حتى لحظة حصول الصدمة لدى كافة عناصر الجملة الهيدروليكية. عند نمذجة الصدمة الهيدروليكية في الجمل الهيدروليكية مع أجهزتها تبين أن استخدام المبادئ H_θ،E_p غير كاف؛ لأنه في الأماكن المغلقة تكون السرعة v=0، وبالتالي عند نمذجة هذه الجمل يجب القيام ببعض التسامحات (الإهمالات) الهندسية من أجل تسهيل الدراسة، وهذا يساعد على عدّ هذه العملية منطقية، ولأن عملية النمذجة لا يمكن القبول بها من دون هذا التسامح [6]؛ لذلك يجب معرفة كيفية حدوث الصدمة الهيدروليكية في أنبوب رئيس مزود بغطاء انسدادي كما هو مبين في (الشكل–1)



(الشكل –1) الإنبوب الهيدروليكي مع الحجرة المغلقة

طريقة البحث ومواده:

بفرض حدوث صدمة ذات أطوار متساوية في النقطة A خلال زمن معين فسيحدث داخل الحجرة انخفاض بالسرعة البدائية vo بمقدار ΔvA، عندها في هذه النقطة سيحدث ارتفاع بالضغط قيمته:

$$\Delta PA=\Delta vA.\rho.aAC \qquad (3)$$

حيث: ρ: كثافة السائل المدروس.

في هذه الحالة ستتحرك موجة الضغط المرتفع على طول الأنبوب لكن بالاتجاه المعاكس لجريان السائل (موجة الضغط المنخفض ستتحرك وفق اتجاه جريان السائل أي من مقر الصدمة) حتى تصل إلى مكان تلاقي الأنبوب بالحجرة المغلقة. نتيجة لهذا عند مدخل الحجرة يحدث انخفاض بالضغط يكون مساويا لسعة الموجة القريبة من القيمة ΔPA. (تهمل هنا الضياعات الهيدروليكية على الاحتكاك). تحت تأثير هذا الانخفاض في الضغط داخل الحجرة يبدأ جريان السائل بسرعة مساوية vCh، مما يؤدي إلى رفع الضغط داخل الحجرة بمقدار $\Delta P'_{Ch}$.

يمكن التعبير عن السرعة vCh و الضغط $\Delta P'_{Ch}$ المتعلقين مع بعضهما بعضاً وفق العلاقة (3) بالعلاقة التالية:

$$v_{Ch} = \frac{\Delta P'_{Ch}}{\rho.a_{Ch}} \qquad (4)$$

حيث v_{Ch}: سرعة السائل في الحجرة. (تهمل الضياعات الهيدروليكية عند مدخل الحجرة).

نتيجة لجريان السائل في الجزء AC من الأنبوب إلى الحجرة فإن ضغط الصدمة سينخفض حتى القيمة $\Delta P'_{Ch}$، عندها السرعة المتزايدة باتجاه الحجرة ستساوي المعادلة التالية:

$$v_{AC} = \frac{\Delta P_A - \Delta P'_{Ch}}{\rho.a_{AC}} \qquad (5)$$

أما نتيجة لجريان السائل باتجاه الحجرة فإن ضغط الصدمة على الجزء CB سيرتفع أيضا حتى القيمة $\Delta P'_{Ch}$ فقط، محتفظا بسرعة جريان السائل باتجاه الحجرة بقيمة مقدره بالمعادلة التالية:

$$v_A = \frac{\Delta P_A - \Delta P'_{Ch}}{\rho.a_{BC}} \qquad (6)$$

إذا افترضنا أنه لم يتم الحصول على انقطاع في تيار السائل عند مدخل الحجرة عندئذٍ يمكن كتابة المعادلة التالية:

$$v_{Ch} \cdot \frac{S_{Ch}}{S_T} = v_{AC} + v_{BC} \qquad (7)$$

بتعويض قيم السرعات من المعادلات (4) و(5) و(6) في المعادلة (7) وبعد القيام ببعض التحويلات والاختصارات نحصل على المعادلة المبينة أدناه:

$$\Delta P'_{Ch} = \Delta P_A \cdot \frac{1}{1 + \frac{a_{AC} \cdot a_{BC}}{a_{Ch}(a_{AC} + a_{BC})} \cdot \frac{S_{Ch}}{S_T}} \qquad (8)$$

حيث:

a_{Ch} – سرعة انتشار موجة الضغط في الحجرة المغلقة.

في هذه الحالة ستقترب الموجة ذات الضغط $\Delta P'_{Ch}$ والسرعة v_{Ch} في الحجرة ستقترب من حالة التخامد التي ستؤدي إلى حدوث ضغط جديد قيمته $\Delta P'_{Ch}$ والذي سيشكل مع الضغط الموجود ضغطاً يعادل: $\Delta P_{Ch} = 2\Delta P'_{Ch}$. عندما تنتهي قيمة موجة الضغط وسرعة جزيئات السائل إلى الصفر، وتصبح هذه الجزيئات ملامسة لجدران الأنبوب، عندها تحصل هذه الجزيئات على قيمة الضغط نفسها، وهو ضغط تتعلق قيمته بنسبة مساحات المقاطع العرضية للحجرة والأنبوب، وبالتالي تكون قيمتها اخفض (من اجل SCh <ST) أو تساوي (من أجل SCh ≈ST) أو أكبر (من أجل SCh >ST) من قيمة الضغط في الحجرة.

تطابقا مع تلك النتيجة فإن العملية التالية للضغط في الحجرة والأنبوب تجري بشكل متغير، لكن هذا ليس ذا أهمية؛ لأن عملية تغير الضغط بالدرجة الأولى الحاصلة في حجرة الانسداد هي التي تحدد عملية الجريان التالية.

بضرب بسط العلاقة (8) بـ2 ومن أجل الحصول على ΔPCh نفترض أن aAC=aBC=aT ومن ثم بتقسيم طرفي المعادلة على ΔPA نحصل على :

$$\frac{\Delta P_{Ch}}{\Delta P_A} = \frac{2}{1 + \frac{a_T}{2a_{Ch}} \cdot \frac{S_{Ch}}{S_T}} = \overline{\Delta P_{Ch}} \qquad (9)$$

الذي يعبر عن الارتفاع النسبي لضغط الصدمة بوجود الانسداد عند طور صدمي واحد.

إذا عبرنا عن المجموع التالي بما يساوي:

$$\frac{a_T}{a_{Ch}} \cdot \frac{S_{Ch}}{S_T} = \alpha$$

$$\overline{\Delta P_{Ch}} = \frac{2}{1+\alpha}$$

فإننا نحصل على:

وبالتالي يمكن عدّ هذه النسبة مبدأ لتشابه العمليات عند حدوث الصدمة الهيدروليكية في أنبوب مغلق (جملة هيدروليكية مغلقة).

نلاحظ من خلال ذلك أن نظرية التشابه تتطلب أولا" وجود تشابه هندسي للجمل ووجود تشابه للرموز من أجل ترابط العلاقات. في هذه الحالة يتحقق التشابه الهندسي بوجود الانسداد في الأنبوب (الموديل) وفي الأنبوب الطبيعي (المشابه للآلات وأجهزة القياس الهندسية المزودة بالجملة الهيدروليكية). يتمّ الحصول على تشابه المعادلات التي تدل على ترابط الظواهر في

الجملة يتم الحصول عليها من خلال استنتاج المعادلة العائدة لبارامترات كافة الظواهر في جملة غير تناسبيه، وبالتالي يجب أن يتحقق في نظرية التشابه لكلتا الجملتين (جملة الأنبوبة "الموديل" والأنبوبة الطبيعية) الظاهرة المعبرة عن الشرط التالي:

$$\frac{a_T}{a_{Ch}} \cdot \frac{S_{Ch}}{S_T} = \text{idem}$$

من ناحية ثانيه في نظرية التشابه نرى أن إضافة الشرطين الأوليين المساويين للواحد ورموز التشابه المكونة من قيم ثابتة داخلة في شروط التساوي يكتفي بوجود تشابه مع الظاهرة، عندها تعدّ هذه الشروط مقبولة، وبالتالي:

$$\frac{a_T}{a_{Ch}} \cdot \frac{S_{Ch}}{S_T} = \text{idem} - E_a$$

ومنه نحصل على:

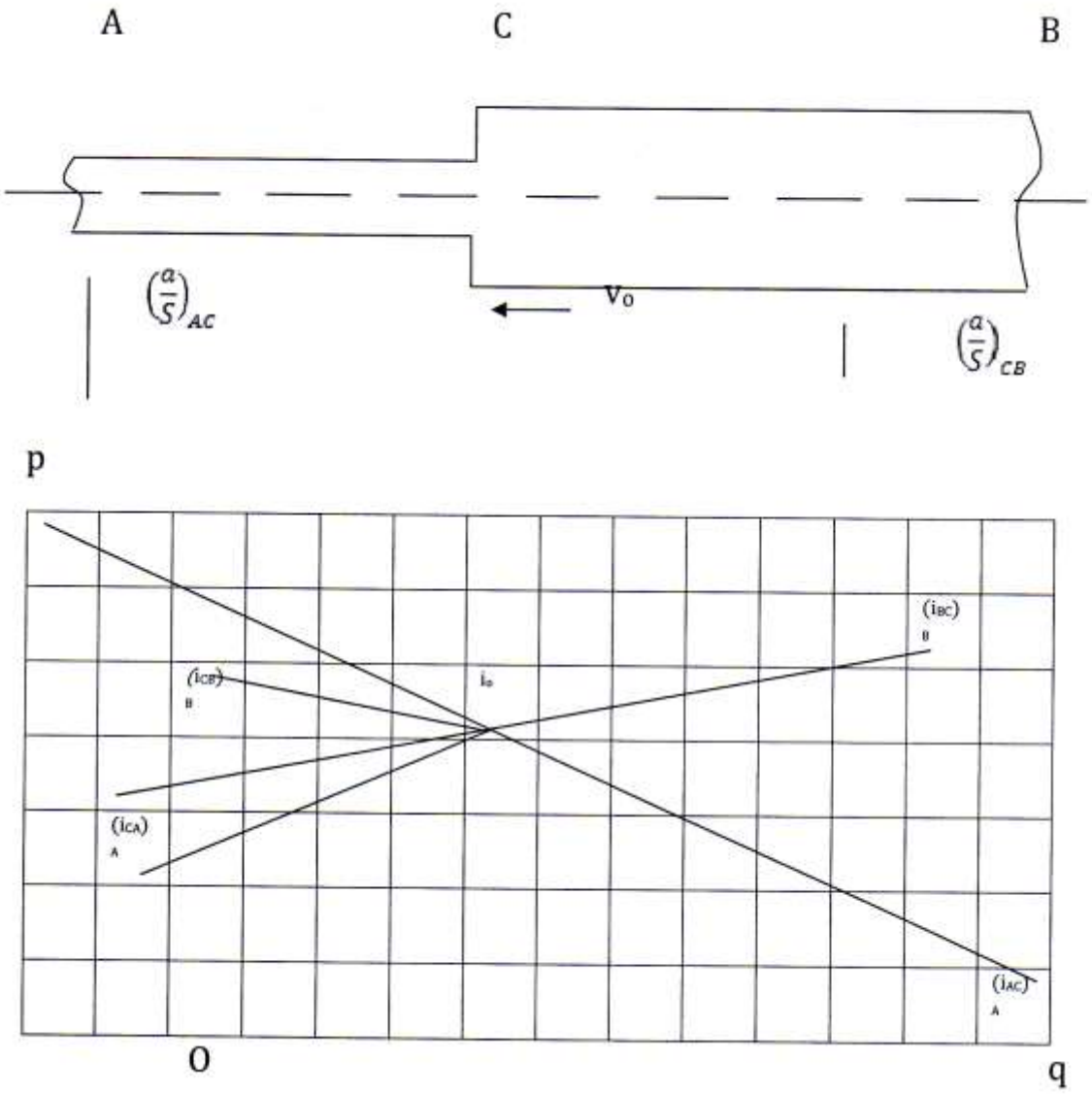
$$\frac{m_{a_T} \cdot m_{S_{Ch}}}{m_{a_{Ch}} \cdot m_{S_T}} = 1$$

الفكرة الفيزيائية لمبدأ التشابه E_a تصبح مفهومة عند تحليل العلاقة (9)؛ إذ يتحدد أي جزء من أجزاء الموجة المدروس، وبالتالي تحديد القيمة وأي الموجات (الإيجابية أو السلبية) هي الأقرب إلى المدخل، والتي ستصل إلى مكان الانسداد من جهة الأجزاء (AC أوBC) لدى الأنبوبة الرئيسة في لحظة زمنية قصيرة؛ لتصل إلى مكان الانسداد (أو الإغلاق).

في هذه الحالة إذا عددنا أن قانونية انتشار موجات الصدمة في الأنبوب غير متعلقة بوجود تيار السائل أو انقطاعه ، فإنه يستنتج أن مبدأ E_a يمكن استخدامه في شبكة الأنابيب.

النتائج والمناقشة:

بما أن مبدأ التشابه E_a يمكن أن يحدد نوعيه انقطاع تيار السائل في الأنبوب الرئيس، فإن فهم الفكرة الفيزيائية لمبدأ التشابه E_a يمكن أن يتم من خلال الحل البياني لمسالة الصدمة الهيدروليكية التي يعبر عنها بتغيرات للضغط بالنسبة إلى الغزارة على طول الجزأين AC و BC كما هو واضح في(الشكل –2).



(الشكل –2) مخطط الحساب البياني للمطرقة المائية في الانبوب الهيدروليكي المعقد.

بتحليل منحنيات هذا الشكل نلاحظ أنه عند حدوث نصف الطور الأول للصدمة الهيدروليكية في الأنبوب AB المكون من الجزأين CB و AC نرى أن الجزء الأساسي (مثلا AC) يحقق المبدأ E_P [عندما تكون $\left(\frac{a}{S}\right)_{CB} \neq \left(\frac{a}{S}\right)_{AC}$] وهذا يعني ان هذا الجزء يكون محققاً $\left(\frac{a}{S}\right)_{AC} = idem$ ، وبالتالي إذا حافظنا على النسبة $\left(\frac{a}{S}\right)_{CB} = idem$ حيث تحتفظ $\left(\frac{a}{S}\right)_{AC}$ على قيمة الزاوية نفسها؛ أي:

$$(t_{AC})_A \cdot i_o(t_{CB})_B = (t_{BC})_B \cdot i_o(t_{CA})_A$$

وذلك من اجل الجزء الطبيعي وموديله (نموذجه)، وهذا يعني أن العمليات في الحالتين الأولى والثانية ستجريان بشكل متشابه.

الاستنتاجات والتوصيات:

الفكرة الفيزيائية لمبدأ التشابه Ea يتم فهمها من خلال الحل البياني للصدمة في الجمل الهيدروليكية المغلقة.

تحليل العلاقة (9) من خلال دراسة النمذجة الفيزيائية يساعد في تحديد نوعية الجزء المدروس لجريان السائل في أثناء حدوث الصدمة الهيدروليكية في الجمل المغلقة.

نوعية جريان السائل قبل الانسداد وبعده في فرع من الجمل الهيدروليكية المغلقة سيكون متشابهاً.

المراجع:

1. غولين ن.ب. (*بنية تيار الماء والمقاومات الهيدروليكية في الجريان غير المستقر المضغوط*) – أعمال ف.اي.ي. موسكو، 2002 ، 47–56.
2. اغنازاروف .اي.ن. – *نظرية التشابه واستخدام قوانين التشابه على الحركة غير المستقرة*. الأكاديمية العلمية الارمنية السوفييتية، 1967 ، رقم 3 93–98.
3. كيرتيتشيف .م.ن. – *نظرية التشابه*، الأكاديمية العلمية السوفييتية، 1973، 113–120.
4. فوكس.د.أ. – *الصدمة الهيدروليكية وتحليل التيار غير المستقر في الأنبوب*، موسكو، 1992، دار الطاقة (ترجمة عن أعمال مهندسي الميكانيك رقم 9) 90 –96 .
5. هانس ديتشر وغيره. – *تكوين الضغط المنخفض وحساب الصدمة الهيدروليكية*، 2005، رقم 7 85–95.
6. بوناتيان.ب.ل. – *نمذجة العنفات الهيدروليكية عند العمليات التحويلية*. الأكاديمية العلمية السوفييتية، 1985 ، 37–43.
7. GATTO, K., BYRNE, K.P. and others – *Mean and fluctuating pressure measurement over an areular cylinder in cross flow*. Exp. Fluid 30 , 2001, 67-72.