الشركة القابضة
لمياه الشرب والصرف الصحي

برنامج المسار الوظيفي للعاملين بقطاع مياه الشرب والصرف الصحي

ظاهرة الطرق المائي

المحتوى

ظاهرة الطرق المائي أو المطرقة المائية Water hammer
أسباب الطرق المائي
العوامل التي تؤثر في عملية الطرق
العوامل التي تؤثر في سرعة الموجه
المطرقة المائية في محطات الضخ
طرق الحماية من المطرقة المائية
التغلب على ظاهرة الطرق المائي

ظاهرة الطرق المائي أو المطرقة المائية

- هي حدوث تغير فجائي لسرعة السريان في الأنبوب نتيجة إغلاق صمام بصورة فجائية ينتج عنه تحول القدرة الحركية لقدرة ضغط ينجم عنها فرق ضغط ينشأ خلال فترة قصيرة جداً قد يؤدي إلى انفجار للأنبوب (الماسورة).

- عند حدوث أي تغير في الحالة المستقرة لجريان سائل ضمن ناقل أو شبكة من الأنابيب - عن طريق إغلاق صمام أو إيقاف مضخة - فإن التغير الطارئ يؤثر في الحالة المستقرة للجريان، وتتولد موجات تنتشر بسرعة تُقارب سرعة انتشار الصوت في السائل، ابتداءً من النقطة التي

حدث عندها الاضطراب في الجريان (كالصمام أو المضخة) حتى نهاية الناقل، أو أي تغير في مقطع الأنبوب أو تفرع فيه، ثم تنعكس هذه الموجات جزئياً أو كلياً، وتعود إلى المقطع الأصلي انطلقت منه، لتنعكس مجدداً وهكذا حتى تتخامد بفعل الاحتكاك،

ويستقر السائل في وضع توازن جديد.

إن الانتقال من وضع مستقر للجريان في الناقل أو الشبكة إلى وضع مستقر آخر يرافقه دوماً انتشار موجات ضغط في أنحاء الناقل أو الشبكة مما يؤدي إلى تغير في ضغط السائل في الناقل.

وتعتمد قيم الضغوط العابرة ـ التي يمكن أن تكون لها آثار مدمرة في بعض الأحيان ـ على مقدار التغير في سرعة جريان السائل في الناقل أو الشبكة من العنصر الذي أحدث الاضطراب (صمام، مضخة...)، وأدى إلى تباطؤ السائل أو تسارعه.

تعدُّ دراسة هذه الاضطرابات والأسباب التي تؤدي إلى حدوثها ذات أهمية بالغة للمهندسين؛ لما يمكن أن تسببه من أضرار جسيمة في الأنابيب والمعدات إذا ما تجاوزت قيم الضغوط الناتجة القيم التي يمكن للناقل وملحقاته تحملها.

يطلق على هذه الاضطرابات العابرة أسماء متعددة، منها: تمورات الضغط pressure surges أو الضغوط العابرة transient pressures أو المطرقة المائية water hammer، والمصطلح الأخير هو الأكثر شيوعاً على الرغم من عدم دقته إذ يوحي باقتصار حدوث هذه الظاهرة على النواقل المائية فقط.

أسباب الطرق المائي

تحدث المطرقة المائية دائما عند إغلاق صمام بشكل مفاجئ أو توقف المضخات بشكل مفاجئ وغير متوقع مما يتولد عنه حدوث موجة شديدة خلف المحبس أو المضخة تصل سرعتها في مواسير الحديد إلي 1000 متر/ث وفي مواسير البلاستيك 300 متر/ث. هذه الموجة تؤدي لحدوث مشاكل كبيرة خاصة عند المحبس أو الطلمبة وعند منطقة وسط الماسورة وعند نهاية الماسورة.

فعند المحبس أو المضخة يحدث ضغط سالب كبير في المنطقة بعد الغلق مما يمكن أن يودي لتغيير وانقلاب في شكل العزوم في الماسورة بشكل فجائي مما يسبب اجهادات طرق على الماسورة شديدة جدا وصوت طرقات عال أو تلف في المحابس والمضخات ويحدث على الجانب الآخر ضغط موجب كبير ناتج عن ارتطام التدفق المائي بالمحبس أو المضخة بشكل فجائي وسرعة ارتداد عالية.

العوامل التي تؤثر في عملية الطرق

- سرعة موجة الطرق
- طول الماسورة بعد المحبس
- ثابت الطلمبة أو ثابت المحبس وهو يكون معطى مع كتالوج القطعة

العوامل التي تؤثر في سرعة الموجه

- معامل مرونة السائل
- معامل مرونة الماسورة
- قطر الماسورة
- سمك الماسورة
- كثافة السائل
- معامل خاص بطريقة تثبيت الماسوره من الجانبين
- ضاغط الطلمبة(المضخة)
- سرعة المياه في الماسورة التصرف المار بالماسورة
- القصور الذاتي لدوران المضخة
- عدد لفات المضخة RPM

المطرقة المائية في محطات الضخ

ينشأ كثير من حالات المطرقة المائية المهمة التي تستوجب الدراسة والتحليل عن التوقف والتشغيل المفاجئ للمضخات والصمامات المرتبطة بها في محطات الضخ.

في الحالة الطبيعية يُفتح الصمام تدريجياً بعد إقلاع المضخة، ويغلق تدريجياً قبل أن توقف هذه المضخة عن العمل، ولا تتشكل في هذه الحالة أي مخاطر تذكر. أما في الحالات الطارئة التي تتوقف المضخة فيها عن العمل فجائياً كما هي الحال عند انقطاع التيار الكهربائي، تتشكل ظاهرة المطرقة المائية، فتنشأ موجة ضغط منخفض تنتشر باتجاه مصب الأنبوب؛ لتنعكس، وتصبح موجة ضغط مرتفع؛ مما قد تسبب الأذى للمضخة والتجهيزات الملحقة بها؛ بخلاف الأذى الذي يمكن أن تلحقه بأنبوب الدفع الموصول مع المضخة.

طرق الحماية من المطرقة المائية

يمكن من حيث المبدأ تصميم الناقل أو أي مجموعة من الأنابيب بحيث تتحمل جميع الضغوط العظمى والدنيا التي يمكن أن تنشأ تحت أي ظروف تشغيلية ممكنة في فترة عمر المشروع؛ إلا أن مثل هذا التصميم يكون في معظم الحالات غير اقتصادي. لذا كان لابد من اتباع طرائق حماية تعتمد على استخدام تجهيزات خاصة أو القيام بإجراءات تحكم في التشغيل مهمتها منع حدوث موجات الضغط العالية أو المنخفضة التي يمكن أن تلحق بالناقل أو المجموعة أضراراً جسيمة. هناك كثير من أجهزة الحماية من المطرقة المائية ويختلف تصميم كل منها ومبدأ عمله باختلاف طبيعة الحالة التي تستخدم من أجلها.

ولا يتوافر جهاز وحيد مناسب لجميع الحالات ولجميع شروط التشغيل. لذا فعند القيام بتصميم ناقل أو مجموعة من الأنابيب فلابد من الموازنة ما بين مجموعة من الخيارات وانتقاء الحل الأنسب للناقل أو المجموعة وذات الكلفة الاقتصادية المناسبة.

وهناك عدد من الوسائل الشائعة الاستخدام في الحماية من المطرقة المائية والحالات المناسبة لاستخدامها منها ما يأتي:

أ- الإغلاق البطيء للصمامات

ب - خزانات الحماية

ج - خزانات الضغط

د - صمامات إدخال الهواء وإخراجه

-- الإغلاق البطئ للصمامات :

يعد معدل إغلاق الصمام ذو أهمية بالغة فى تحديد القيمة العظمى لموجة الضغط الناتجة عن الإغلاق. فإذا كان زمن الإغلاق للصمام قصيرا (إغلاق سريع) فمن المحتمل إرتفاع الضغط عند الصمام الى قيم كبيرة مما قد يسبب خطرا على الأنبوب (الماسورة)

الحل المثل

يتم إختيار زمن مناسب لإغلاق الصمام بحيث تكون قيم الضغوط العظمى والدنيا الناتجه عن عملية الإغلاق ضمن الحدود المقبولة . ويتم تحديد ذلك بالطرق الحسابية

شكل رقم (1)
محبس فراشة كهربائى

هذا المحبس مزود بمحرك كهربائى يسمح بتغيير زمن فتح القرص وإغلاقه
للتحكم فى مقدار ضغط المطرقة المائية الناتج

-- خزانات الحماية surge tanks

فى حالة عدم إمكانية التحكم فى قيم الضغوط التى تعبر الناقل عن طريق عملية إغلاق السكر أو التخفيف من سرعة تباطؤ المضخه.

فإن تحويل جريان السائل الى خزانات الحماية قد يخفف من معدلات تباطئه ومن ثم من قيم الضغوط الناتجه من ذلك .

شكل رقم (2)
خزان حماية منفذ من البيتون
المسلح ومفتوح من الأعلى

-- خزانات الضغط Pressure vessels

تستخدم فى حالة عدم إمكانية إستخدام خزانات حماية مفتوحه من الأعلى لاسباب إقتصاديه أو فنية . وخزان الضغط هو وعاء يحتوى على غاز مضغوط فى الجزء العلوى (عادة هواء) ويحتوى على سائل فى الجزء الأسفل .

وعادة تستخدم خزانات الضغط كوسيلة للحماية من المطرقة المائية الناتجه من توقف الطلمبات وفى هذه الحالة يوضع خزان الضغط عند طرف دفع الطلمبه وبعد صمام عدم الرجوع .

شکل رقم (3)
خزان ضغط نموذجی

في حال توقف المضخات عن العمل فجأة ينخفض الضغط عند طرف دفع المضخة؛ مما يؤدي إلى تمدد الهواء الموجود في الخزان دافعاً السائل أمامه باتجاه الناقل ومخففاً بذلك من حدة التغير في معدل الجريان في الناقل ومن ثم من مقدار الهبوط في الضغط. أما عند انعكاس الجريان في الناقل، فيُغلق صمام عدم الرجوع الموجود عند طرف دفع المضخة، ويتم تحويل كامل الجريان نحو الخزان مما يؤدي إلى انضغاط الهواء وتقلص حجمه. وتؤدي عملية الجريان من الخزان وإليه وتمدد الهواء وتقلصه فيه إلى التخفيف من قيم الضغوط الدنيا والعظمى الناجمة الناتجة.

مميزات خزانات الضغط مقارنة مع خزنات الحماية المفتوحه :

- حجم خزان الضغط دائما أصغر .

- يمكن تركيب خزان الضغط بالقرب من الطلمبة

عيوب خزانات الضغط :

- تحتاج الى ضواغط هواء لتعويض الهواء المنحل فى السائل

ويتطلب ذلك صيانة دورية للضواغط

-- صمامات إدخال الهواء وإخراجه air valves

عندما يمكن للضغط في مواقع معينة في الناقل أن ينخفض إلى ما دون قيمة الضغط الجوي مؤدياً بذلك إلى انفصال عمود السائل ثم إعادة التحامه في مرحلة لاحقة، وما يرافق ذلك من ضغوط عالية؛ قد يكون من المناسب في هذه الحالة استخدام صمامات إدخال هواء في تلك المواقع المعرضة للضغوط المنخفضة. تتلخص مهمة صمام إدخال الهواء في أن يفتح، ويسمح للهواء بالدخول إلى الناقل عندما يهبط الضغط عند الصمام إلى ما دون الضغط الجوي. ويجب أن يسمح صمام إدخال الهواء بدخول كميات كافية من الهواء في أثناء موجة الضغط المنخفض؛ وألا يتم طردها سريعاً جداً عند زوال الموجة؛ وذلك لتأمين التحام تدريجي لعمود السائل وللتخفيف من الصدمة الناتجة من الالتحام

شكل رقم (4)
صمام إدخال الهواء وإخراجه

شكل رقم (5)
صمام تحرير ضغط مزود بنابض

قد يكون من الأنسب في بعض الحالات استخدام صمامات تحرير الضغط للحماية من موجات الضغط العالية بدلا من استخدام خزانات حمـاية أو خزانات الضغط.

ويحتوي سكر تحرير الضغط عموماً على فتحة مغلقة بوساطة مكبس يرتكز على نابض أو بوساطة بوابة مثقلة بوزن خارجي. فإذا زاد ضغط السائل الجاري في الأنبوب عن حدٍ مسبق التعيين (وهو الضغط الأعظمي المسموح للأنبوب تحمله مع هامش أمان مناسب)؛ يتحرك عند ذلك المكبس أو البوابة فتنكشف الفتحة، ويخرج منها السائل، ويخف بذلك الضغط. وبعد زوال الضغط المرتفع يعود المكبس أو البوابة إلى وضعهما الأصلي بفعل النابض أو الثقل الخارجي

التغلب على ظاهرة الطرق المائي

يمكن التغلب على ظاهرة الطرق المائي في المواسير الكبيرة عن طريق

- زيادة عدد المحابس مما يقلل طول الماسوره بين كل محبسين
- غلق المحبس ببطيء نسبيا لتجنب سرعات الموجه الكبيرة
- ضمان وجود مصدر تيار كهربي احتياطي للطلمبة في حالة انقطاع التيار
- عمل غرف هواء مضغوط أو ما يعرف ب Air chamber وهو عبارة عن غرفه لمعادلة الضغط السالب في حالة تكونه وله تصميم خاص بجداول ومعادلات
- التأكد من احتمال الماسورة بسمكها ومعامل جسائتها لمقدار الطرق المتوقع

يصعب تحديد التاريخ الدقيق لبداية تحليل ظاهرة المطرقة المائية في الأنابيب، ويُعتقد أن المهندس الروسي نيكولاي جوكوڤسكي Nicolai Joukowsky كان أول من أظهر عام **1898** أن مقدار ارتفاع الضغط في ناقل مائي هو تابعٌ لمقدار التغير في سرعة جريان السائل، ولسرعة انتشار الموجة، والكتلة النوعية للسائل:

مقدار التغير في الضغط = الكتلة النوعية للسائل × سرعة انتشار الموجة في الأنبوب × مقدار التغير في السرعة

$$\delta P = Z_h Q$$

في هذا التعبير:

- الضغط الزائد δP يعبر عنه بوحدات Pa.
- Q السريان الحجمي بالمتر المكعب m^3/s.
- Z_h المعاوقة الهيدروليكية، بوحدات $kg/m^4/s$.

المعاوقة الهيدروليكية Z_h للأنبوب تحدد قدرته على نبض الطاقة المائية. وهي نفسها تُعرَّف كالتالي:

$$Z_h = \frac{\sqrt{\rho B_{eff}}}{A}$$

حيث:

- ρ كثافة السائل، معبراً عنها بالكيلوجرام kg/m^3
- A المساحة المقطعية للأنبوب، m^2
- B_{eff} معامل الانضغاط الفعال للسائل في الأنبوب، معبراً عنه بالباسكال Pa.

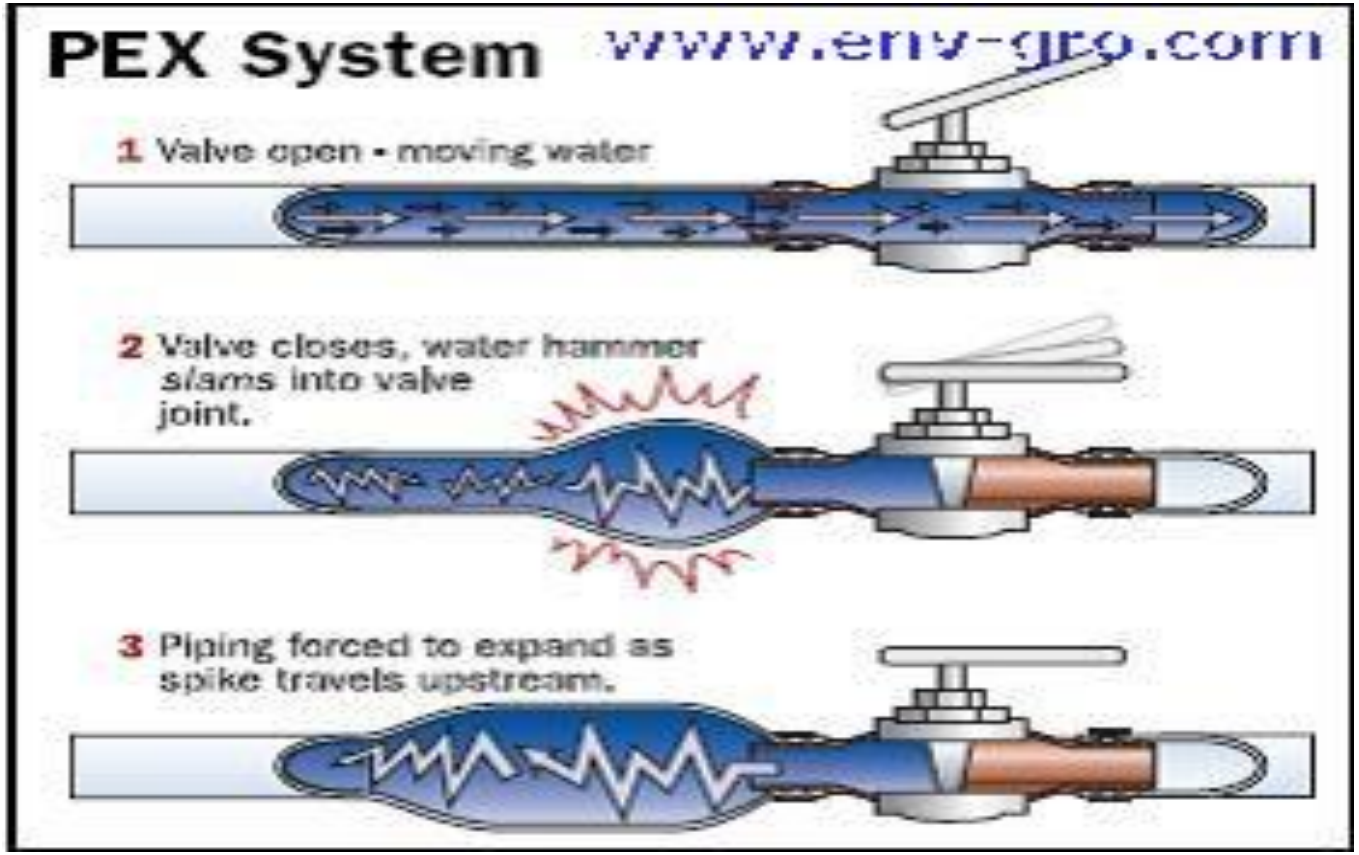
أُطلق على هذه المعادلة اسم «معادلة جوكوڤسكي»، وقد توصل إليها بوساطة دراسة تحليلية وتجريبية كلفته إياها مؤسسة مياه موسكو لتحري ظاهرة المطرقة المائية في أنابيب شبكة مياه المدينة.

تشير معادلة جوكوفسكي إلى أنَّ أي تغير في سرعة جريان الماء (الكتلة النوعية = 1000 كغ/م3) في أنبوب فولاذي (سرعة انتشار موجة المطرقة المائية فيه نحو 1000م/ثانية) بمقدار متر واحد في الثانية يؤدي إلى ارتفاع (أو انخفاض) في الضغط مقداره 1.000.000 نيوتن/م²؛ أي ما يعادل ارتفاعاً (أو انخفاضاً) في الضاغط مقداره 100 متر؛ مما يظهر بوضوح مدى خطورة هذه الظاهرة

وفي عام 1913 قام عالم الهيدروليكا الإيطالي لورنزو أليفي Lorenzo Allievi بوضع معالجة رياضية وتخطيطية لمسائل المطرقة المائية، وقد أسس ذلك لمزيدٍ من التطور في هذا الحقل قام به في الأعوام الخمسين التالية علماء آخرون مثل أنگس Angus وبرجرون Bergeron وشنايدر Schneider ووود Wood.

خُصِّص النصف الأول من القرن العشرين لتطبيق أعمال جوكوفسكي وأليفي في مسائل المطرقة المائية. وفي عام 1933 عقد أول مؤتمر علمي عنها في مدينة شيكاغو الأمريكية، كما عقد ثاني مؤتمر عنها في نيويورك عام 1937.

أطلق ظهور الحواسيب في الستينيات من القرن العشرين عهداً جديداً في مجال تحليل ظاهرة المطرقة المائية. وقد جعلت أعمال ستريتر ووايلي Wylie&Streeter (من جامعة مشيگن) تحليل ظاهرة المطرقة المائية جزءاً أساسياً من أعمال التصميم الهيدروليكي التي يضطلع بها المهندسون الهدروليكيون يومياً بدل أن يكون مقتصراً على مجموعة من المختصّين النادرين.


PEX System
www.env-grp.com
1 Valve open • moving water
2 Valve closes, water hammer slams into valve joint.
3 Piping forced to expand as spike travels upstream.