مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية ـ المجلد ١٣ ( العدد ٣) ١٤١٢هـ ـ ١٩٩١م

# اختيار طريقة الحماية من المطرقة المائية في محطات الضخ

د٠ جوني تقلا
استاذ مساعد في كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية
جامعة تشرين

تعتبر المطرقة المائية من المشاكل الكبيرة التي تتعرض لها محطات الضخ ولذلك قمنا بدراستها ومحاولة وضع الحلول المناسبة ، وقد تم في هذا البحث اعطاء فكرة موجزة عن المطرقة المائية وأطوار تشكلها وسرعة انتشار الموجة المرنة والتغير اللحظي للجريان الناتج عن التوقف الفجائي للمضخة كانقطاع التيار الكهربائي مثلا .

قدمنا بعد ذلك أهم الطرق العملية للحماية من المطرقة المائية ، وكان لابد من أن نضع أمام القارىء مخططا يبين امكانية حدوث المطرقة المائية في محطة ضخ ما ، قبل البدء باختيار طريقة الحماية ، وقد تعرضنا الى طرق الحماية المختلفة موضحين مجال استخدام كل طريقة ومزاياها .

## مقدمة :

تعتبر المطرقة المائية من المشاكل الهامة والخطيرة التي يمكن أن تتعرض لها محطات الضخ نتيجة التوقف الفجائي للمضخة كانقطاع التيار الكهربائي مثلا ، وقد تكون هذه المطرقة سببا في تحطم أنابيب الدفع وأحيانا في أعطال كبيرة في جسم المضخة نفسها ، لذلك يتوجب على دارس اية محطة ضخ أن يقوم بالحسابات الضرورية لمعرفة مدى تشكل المطرقة المائية ثم يضع الحلول لمعالجة هذه المشكلة ،، وان اختيار طريقة الحل يتعلق بعوامل عديدة لابد للدارس من الالمام بها ليتمكن من اختيار الحل الأفضل ، وهذا ماعالجناه في دراستنا هذه .

## ١ـ فكرة موجزة عن المطرقة المائية:(٢،١) :

لنعتبر مضخة تعطي تدفقا $Q_o$ ضمن انبوب وبسرعة $U_o$ ، ولنفرض أنه حدث توقف فجائي في عمل المضخة لسبب أولآخر كانقطاع التيار المغذي للمحرك الكهربائي للمضخة مثلا .(١)

ان هذا التوقف يؤدي الى حدوث ظاهرة تدعى بالمطرقة المائية ، يمكن وصفها كما يلي :

### آـ الطور الأول أو المطرقة المائية المباشرة :

ان عمود الماء المتحرك والصاعد ضمن انبوب الدفع يتوقف ، مؤديا عند بدء الانبوب قرب المضخة الى تشكل موجة مرنة ذات ضغط منخفض تنتشر باتجاه الخزان وعند وصول موجة الضغط المنخفض هذه الى

الخزان ، تتشكل موجة مرنة ذات ضغط ساكن نظامي تنتشر باتجاه معاكس من الخزان نحو المضخة .

ب ـ الطور الثاني أو المطرقة المائية المعاكسة ـ تتشكل موجة مرنة ذات ضغط مرتفع تنتشر من المضخة نحو الخزان، حيث تتشكل في نفس اللحظة التي تصل فيها موجة الضغط النظامي الى المضخة ،وكما في السابق منذ أن تصل موجة الضغط المرتفع الى الخزان تتشكل موجة ضغط ساكن نظامي تنتشر باتجاه معاكس من الخزان نحو المضخة .

عندما تصل هذه الموجة الى مقطع المضخة ، تؤدي الى حدوث موجة جديدة لمطرقة مائية مباشرة والظاهرة الموصوفة سابقا بأكملها تبدأ مرة أخرى .

ان ضياع الحمولة بالاحتكاك ضمن الانبوب يؤدي الى تخميد أمواج ارتفاع الضغط وانخفاضه حتى يصل النظام بالتتالي نحو السكون .

لكل طور من الأطوار السابقة زمن يعطى بالعلاقة :

$$t = \frac{2L}{a}$$

حيث $L$ طول الانبوب ، $a$ سرعة انتشار الموجة المرنة .

أثناء طور موجة المطرقة المائية المباشرة ، وحسب مقطع وطول الأنبوب فان أمواج الضغط المنخفض يمكنها أن تؤدي الى حدوث تكهف وأحيانا انفصال في خطوط التيار ، الحقيقة أن التكهف الناتج عن الطور الأول ليس خطرا بحد ذاته ، بل بالعكس فان مرحلة الضغط العالي في طور المطرقة المائية المعاكسة يمكن أن يترافق مع ازدياد في الضغط عال جدا وخطر .

ان الدراسة الكاملة للمطرقة المائية خارجة عن موضوع بحثنا ، ولا شك أن القارئ يستطيع أن يجد في المراجع الهيدروليكية الدراسة الرياضية لهذه الظاهرة ، وانما نرغب هنا دراسة طرق الحماية من هذه الظاهرة .

**٢ـ سرعة انتشار الموجة المرنة : (١)**

ان هذه السرعة هي تابع لطبيعة السائل ( الكتلة النوعية $\rho$ ، وعامل المرونة $\epsilon$ ) لمواصفات الانبوب ( القطر $D$ السماكة $S$ ، وعامل المرونة $E$ ) حيث يمكننا أن نكتب العلاقة :

$$\frac{1}{a^2} = \rho \left( \frac{1}{\epsilon} + \frac{D}{SE} \right)$$

من أجل الماء في الدرجة ( $10C^\circ$ )

$$\rho = 102 \frac{Kg.S^2}{m^4} \; ; \epsilon = 209 \times 10^8 \frac{Kg}{m^2}$$

واذا أخذنا : $\frac{D}{S} = 100$

( ) $E = 2 \times 10^{10} \frac{Kg}{m^2}$

نحصل على قيمة لـ $a$

$$a = 998 \; m / sec$$

اذا كان الانبوب من النوع الصلب جدا ، يمكن لـ $a$ أن تصل الى قيمة $1200 - 1300 \frac{m}{sec}$ نحصل على القيمة الحدية العظمى من أجل $E = \infty$ اذا كان الانبوب أقل صلابة فان قيمة $a$ تكون أقل من القيم السابقة .

ففي حال الأنابيب المطاطية يمكن أن تأخذ $a$ القيمة $a = 20 \frac{m}{sec}$

**٣ـ التغير اللحظي للجريان : (٢)**

لنعتبر أنبوبا يجري فيه الماء

بسرعة $U_o$ ولنفترض أن السرعة انخفضت فجأة الى قيمة $U$ .

يعطى انخفاض الضغط الأعظمي بالعلاقة :

$$\Delta h = - \frac{a}{g} ( U_o - U )$$

اذا انقطع التيار الكهربائي فجأة عن المحرك المدير للمضخة فان السرعة $U = 0$ ويكون هبوط الضغط الاجمالي في هذه الحالة اذا لم يوجد أي جهاز للجمه مساويا :

$$\Delta h = - \frac{a}{g} U_o$$

اذا اعتبرنا قيمة

$$g=10 \ \frac{m}{sec^2} \ ; \ a = 1000 \ \frac{m}{sec}$$

فاننا نحصل : $\Delta h = 100 \ U_o$

وهذا يعني أنه في حال اغلاق فجائي للمحرك المدير للمضخة فان هبوط الضغط مقدرا بمتر عمود ماء يكون مساويا تقريبا الى مئة مرة قيمة السرعة مقدرة م/ثانية مما قد يؤدي الى انهيار انبوب الدفع .

ماعدا حال المضخات حيث سرعة الجريان في انبوب الدفع منخفضة جدا ، فان انخفاض الضغط المذكور سابقا يعتبر خطرا جدا ويجب تحاشيه ، وبالمثل فان ارتفاع الضغط في الطور الثاني هو من نفس المرتبة ، وارتفاع الضغط هذا هو بصورة عامة أكثر خطورة أيضا من انخفاض الضغط .

**٤- طرق الحماية من المطرقة المائية :(٥)**

توجد طرق متعددة للحماية من المطرقة المائية لكل منها مزاياها ومجال استخدامها بحيث يمكن تصنيف هذه الطرق بأربع مجموعات .

آ- تخزين الطاقة

ب- تجهيزات الموجة ذات الاتجاه الواحد

ج- سكورة القطع

د- اقراص التحطيم .

قبل البدء بالتكلم عن كل من هذه الطرق للحماية من المطرقة الكائية سنقدم مخططا مقدما من قبل الدكتورلوفينسكي النمسا شكل /١/ يعطي العلاقة بين الرقم المميز $K$ للمحطة وهبوط السرعة لمجموعة المضخة ـ المحرك من $n_i$ الى $n_{i+1}$ وذلك لمعرفة امكانية حدوث موجة الصدم للمحطة علما أن $K$ محددة من قبل الدارس المذكور بالعلاقة التالية :/٥/

$$K = f [ ( L.P ) / ( j. n_i ) ]$$

حيث $f = 7 - 10$ فهي تأخذ قيمها الدنيا لمعطيات التحميل الجزئي للمضخة ، وتأخذ قيمها العليا في حالات الحمل الزائد على المضخات أي السرعات العالية .

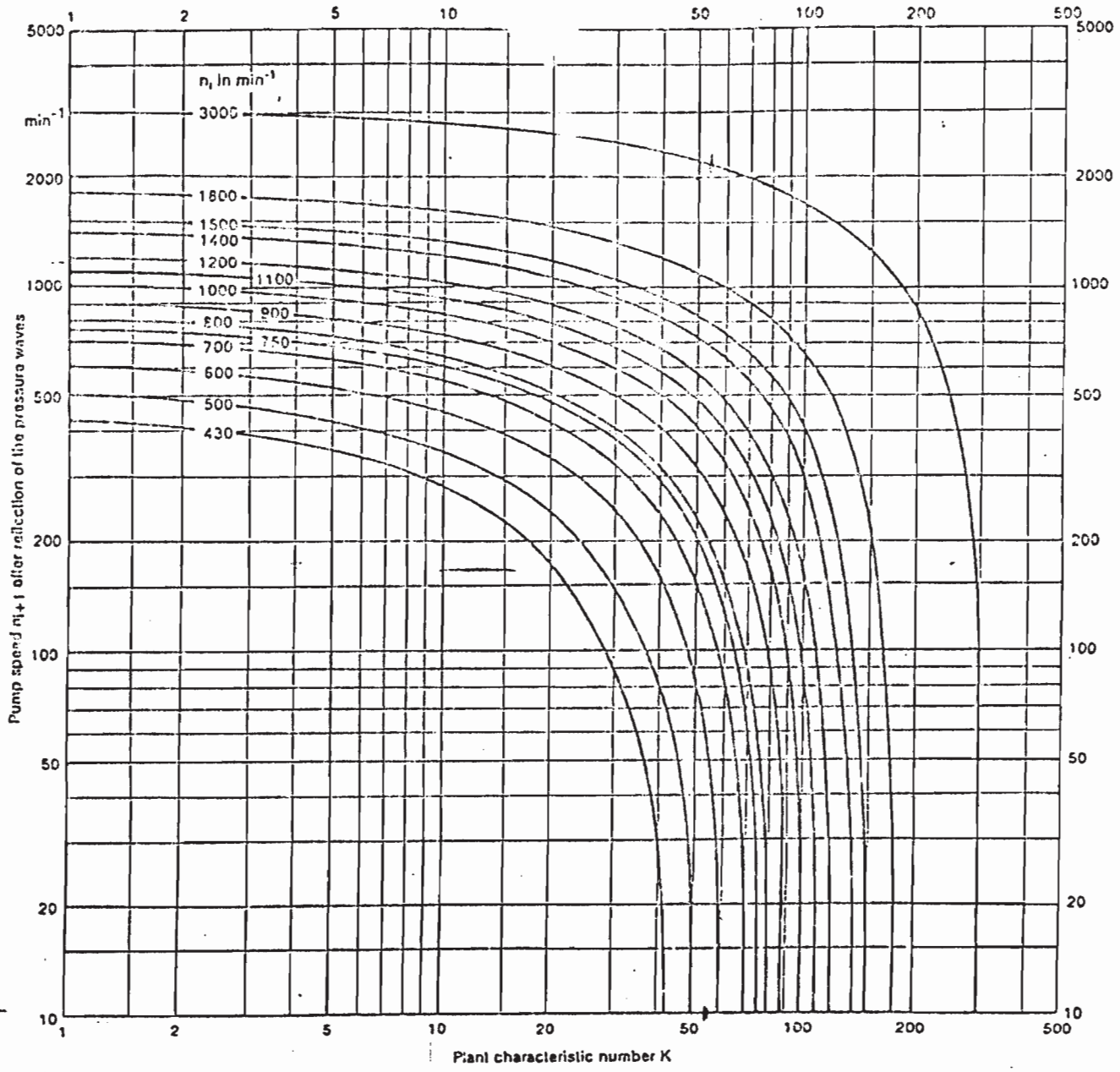
$L$ بالمتر طول الأنابيب .

$P$ استطاعة محور المضخة $KW$

$j$ عزم العطالة الكتلي ويساوي $j = \frac{G.D^2}{4}$

$n_i$ سرعة المضخة $min^{-1}$ عندما تبدأ موجة الضغط حيث $i = 0 \ ,1,2,...$ أما الحد $n_i + 1$ الموجود على المخطط فهو سرعة دوران المضخة $min^{-1}$ عندما تعود موجة الضغط الى محطة الضخ في وقت $i + 1$ .

وبحساب القيمة المميزة $K$ وباستعمال المنحني لسرعة أولية $n_i$ عند قيمة $K$ المحسوبة فان السرعة المنخفضة $n_{i+1}$ عند نهاية مدة الارتداد يمكن الحصول عليها من المحور الشاقولي وذلك شريطة تقاطع منحن $n_i$ مع قيمة $K$ .




Relation between plant characteristic number K according to equation (7) and the speed decrease of the pump unit from $n_i$ to $n_{i+1}$ for the estimating of the potential of waterhammer

Fig. 5: Relation entre le coefficient d'installation K suivant équation (7) et la chute de vitesse du groupe moto-pompe de $n_i$ à $n_{i+1}$ pour des examens approximatifs du risque de coup de bélier

الشكل (١) : العلاقه بين الرقم المميز للمحطه K

ونقصان سرعه المضخه من $n_i$ الى $n_{i+1}$ وذلك لتقدير

المطرقة المائيه الكامنه .

- المحور الافقى : قيم الرقم المميز K

- المحور الشاقولى: سرعة المضخه بعد ارتداد موجات الضغط .

وبالرجوع الى الشكل فاذا وقع تقاطع الشاقول المار من K مع المنحني $n_o = n_i$ خارج القسم المنحدر من المنحني فان الحماية من المطرقة المائية ربما يكون غير ضروري .

ولكن عادة فان الرقم K غالبا يكون كبيرا بحيث يتم التقاطع مع منحني السرعة $n_i$ اما في المنطقة شديدة الانحدار للمنحني أو وراء القسم الموجب ، ففي هذه الحالات إن الحماية من المطرقة المائية مطلوبة .

آ- تخزين الطاقة :

تستخدم في هذه الطريقة تجهيزات تقوم بتخزين الطاقة الناتجة عن انخفاض الضغط بعد إيقاف المضخة وذلك بتخزين طاقة الدوران للمضخة أو طاقة الضغط للماء ونذكر من هذه التجهيزات :

آ-١- خزانات الهواء :

وتستخدم في حال عدم تقاطع الرقم المميز K مع منحني السرعة المقابل n في الشكل السابق ، ومن أجل الخطوط الطويلة تكلف خزانات الهواء مبالغ ضخمة ولكنها تؤمن سلامة كبيرة .

من مشاكل خزانات الهواء وجود ضواغط هواء اضافة لخزان الهواء كما ان تشغيل سكورة عدم الرجوع بوجود خزان الهواء يكون قاسيا لذلك يفضل في هذه الطريقة استعمال سكورة عدم رجوع ذات استعمال سهل من نوع Hydrostop أما بالنسبة للخطوط ذات القطر الأكبر من 300 mm فينصح باستعمال سكر عدم رجوع من النوع Nozzle

يمكن حساب حجم خزان الهواء بصورة تقريبية بتحديد الزمن t الذي خلاله ينعكس التدفق ضمن الخط بالمعادلة :

$$t = L/500[(50\ U_o/H_o - H_{min}) + 1\ ]$$

حيث $H_{min}$ ارتفاع الضغط الأصغري المسموح به ، فاذا اعتبرنا أن انخفاض سرعة الماء في الانبوب يتم بصورة خطية يكون حجم الماء المنصرف من الخزان هو :

$$V_A = (CO/2)\ \frac{\pi D^2}{4}\ t \qquad m^3$$

حيث D القطر الداخلي للانبوب بالمتر

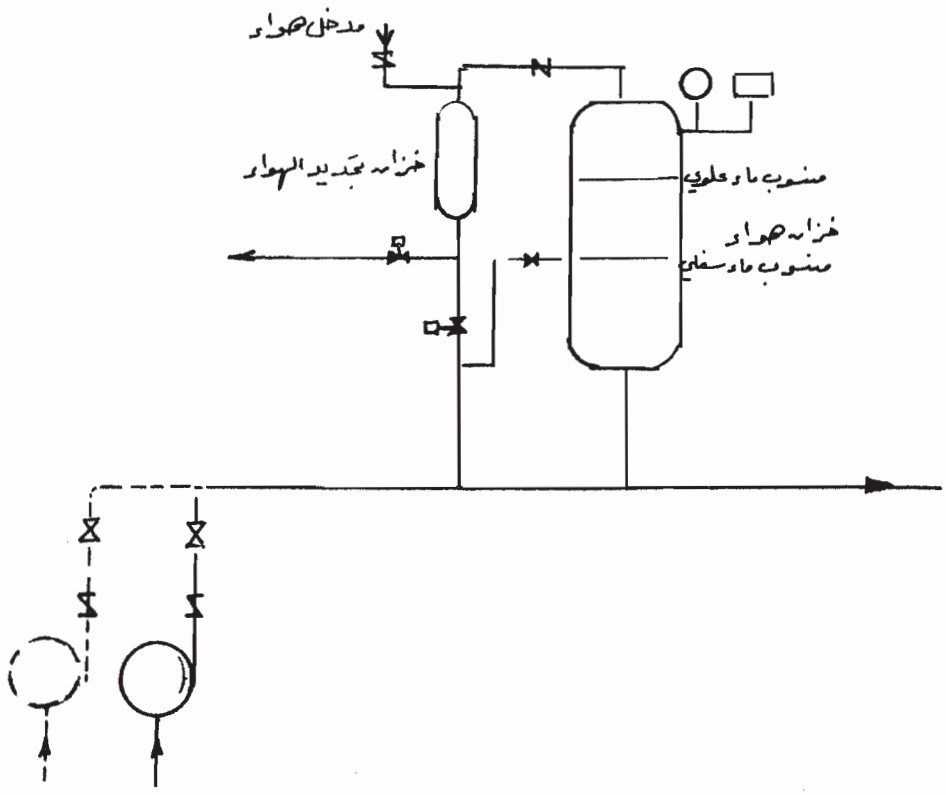
اذا اعتبرنا تحول ايزوثرمي فان حجم الهواء في خزان الهواء

$$V_o = V_A[(H_{min} + 10)/(H_o - H_{min})\ ] \quad m^3$$

ومنه نحصل على حجم خزان الهواء :

$$V_{tot} = Z(V_o + V_A) \qquad m^3$$

حيث $Z = 1,5 - 2$ حسب شكل خط الدفع والضغط الأعظمي المسموح به ويفضل استعمال خزان أكبر من هذا الحجم ، شكل /٢/٠




الشكـــل / ٢ /

آـ٢ـ انبوب التوازن الشاقولي :

يستعمل انبوب التوازن الشاقولي حصرا في محطات الضغط المنخفض حيث الارتفاع الكلي لهذا الانبوب الشاقولي يجب أن يتوافق مع ضغط المضخة عند تدفق معدوم ، كما يستخدم الانبوب الشاقولي في حماية النقاط المرتفعة من خط الماء الطويل شريطة أن يكون ضغط التشغيل الفعلي عند هذه النقاط المرتفعة لايزيد عن ١ـ٢ بار ، ولا يحتاج انبوب التوازن الشاقولي لأي صيانة ، ولكنه قبيح من الناحية الجمالية ، يحسب قطر الانبوب الشاقولي $D_{st}$ شكل/٣/من العلاقة :

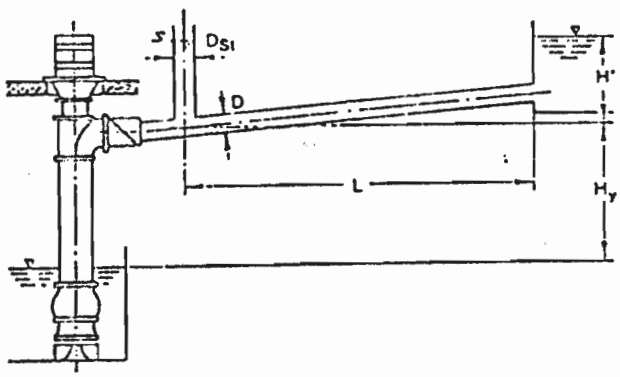
$$D_{st} = (U_o/H)\, D \sqrt{L/g}$$

D ـ قطر الانبوب m ، L طول الخط m

$U_o$ ـ سرعة الماء قبل الاضطراب، H فرق منسوب الماء في الخزان العلوي ومنسوب محور الانبوب عند وجود انبوب التوازن الشاقولي .

واذا صمم الانبوب الشاقولي مع فائض تدفق فان القطر $D_{st}$ يتراوح 0,3 - 0,5D في هذه الحالة فان الانبوب الشاقولي يصرف كليا بعد كل توقف ضخ ويدخل الهواء الى خطوط الضخ عبر الانبوب الشاقولي ، وهذا التصميم مناسب لانبوب شاقولي قرب نقطة

مرتفعة بحيث يسمح للهواء الذي سبق دخوله بالتفريغ عبر الانبوب الشاقولي وهنا يعمل الانبوب كسكر هواء شكل / ٣ /٠




الشكل / ٣ /

آ-٣- الدولاب المعدل :

يستخدم الدولاب المعدل مع المضخة لتخزين طاقة الدوران لها، ويفضل استخدامه للمضخات الأفقية ذات سرعات الدوران العالية والضغوط المرتفعة والمتوسطة ، ولخطوط الضخ التي تصل حتى 2 Km كطول ، ويستعمل الدولاب المعدل للحماية من المطرقة المائية اذا وقعت نقطة تقاطع الرقم المميز للمضخة K مع منحني السرعة n خارج منطقة الميل الحاد للمنحني ، وتتركز فوائد هذه الطريقة بعدم ضرورة الصيانة وبالاغلاق السلس لصمام عدم الرجوع، بينما من عيوبها لزوم وجود حوامل أكبر أو حوامل اضافية لمحور المضخة وضرورة تغذية أكبر لطاقة بدء التشغيل أو ضرورة وقت تشغيل أطول بسبب ضخامة عزم العطالة ، ومثل هذا الدولاب المعدل لايعطي حماية من المطرقة المائية في حال انعكاس التدفق كنتيجة لعطل صمام عدم الرجوع المفاجيء .

ب - تجهيزات الموجة ذات الاتجاه الواحد (٥) :

لاتشاهد هذه الطريقة في الحماية من هبوط الضغط المفاجيء باتجاه المضخة بعد ايقافها ولكنها تحد منه بحيث إن الضغط يهبط الى مادون الضغط الجوي بقليل وبصورة تدريجية يقلل الطاقة الحركية للماء في الانبوب عبر مآخذ الماء أو الهواء

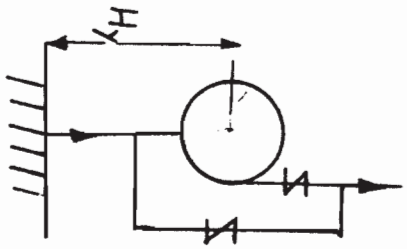
ب-١ خط موجة وحيدة الاتجاه :

يوصل خط الموجة وحيدة الاتجاه من جهة مدخل المضخة مع خط الدفع ( ويسمى أيضا ممر اجانبيا للمضخة ) مع صمام عدم رجوع ، وهذا من شأنه أن يقلل من مقاومة التدفق بسبب ايقاف الضخ الى قيمة مقاومة صمام عدم الرجوع للتدفق وكذلك عناصر الأنابيب المرافقة :

تستعمل هذه الطريقة بصورة خاصة في محطات الضخ التي يكون فيها معظم الضغط الاجمالي اللازم H هو ضياع الاحتكاك $H_W$ أو عندما يكون الضغط الستاتيكي أو الارتفاع الجغرافي $H_{st}$ صغيرا ، وربما أن ضغط بخار الماء

يمكن الوصول اليه بسهولة في مثل خطوط الضخ هذه فان عددا مناسبا من سكورة الهواء يجب تركيبه أيضا .

ان قطر خط الموجة وحيد الاتجاه يكون حوالي ٨٠ ٠/٠ من قطر خط الضخ على الأقل ، ويجب أن يركب صمام عدم الرجوع على خط الممر بمنسوب أقل من منسوب مدخل المضخة .




الشكل ٤

ب -٢- سكورة التهوية :

ان سكورة الهواء عند المدخل في كل تركيبات الموجة وحيدة الاتجاه تحد من قيمة الضغط الأدنى حتى الضغط الجوي ، في حال هبوط ضغط فجائي في الخط نتيجة انقطاع التيار الكهربائي مثلا ، الا أن ادخال الهواء في خطوط الضخ ليس مسموحا به دائما ويوصى به فقط عند وجود امكانية تهوية أخرى يمكن التحكم بها أي يسمح للهواء بالدخول اذا كان منسوب سكر الهواء أقل من منسوب الماء العلوي .

يستخدم سكر الهواء مع صمام عدم رجوع في خطوط الضغط وفي جهة هبوط الجريان ، اذا كان خط الضخ طويلا ويحتوي على العديد من النقاط المرتفعة عليها سكورة هواء فانه يفضل تركيب صمام عدم رجوع مع ممر جانبي مفتوح عند أخفض نقطة على الخط ( أي عند المقطع الذي يبقى مليئا بالماء دائما ) .

وهذا من شأنه أن يخمد جريان عمود الماء المرتد وذلك بضخ الهواء عبر سكورة الهواء بمعدل صغير ، كما يجب التأكد من عدم اعادة تشغيل المضخة ثانية الابعد أن يكون خط الضخ قد تمت تهويته كلية وهكذا يجب أن تكون المدة حتى التشغيل التالي للمضخة مساوية أو أكبر من الوقت المطلوب للتهوية .

ويحدد قطر سكر مدخل الهواء $D_L$ ( ويكون عادة من نوع السكورة ذات الكرة العائمة ) بحيث إن السرعة عند مدخله $U_L = U( D/D_L )^2$ لاتزيد عن القيم المبينة في الجدول التالي :

| $D_L$ (mm) | 50 | 80 | 100 | 150 | 200 |
|---|---|---|---|---|---|
| $U_L$ (m/sec) | 40 | 42 | 45 | 50 | 60 |

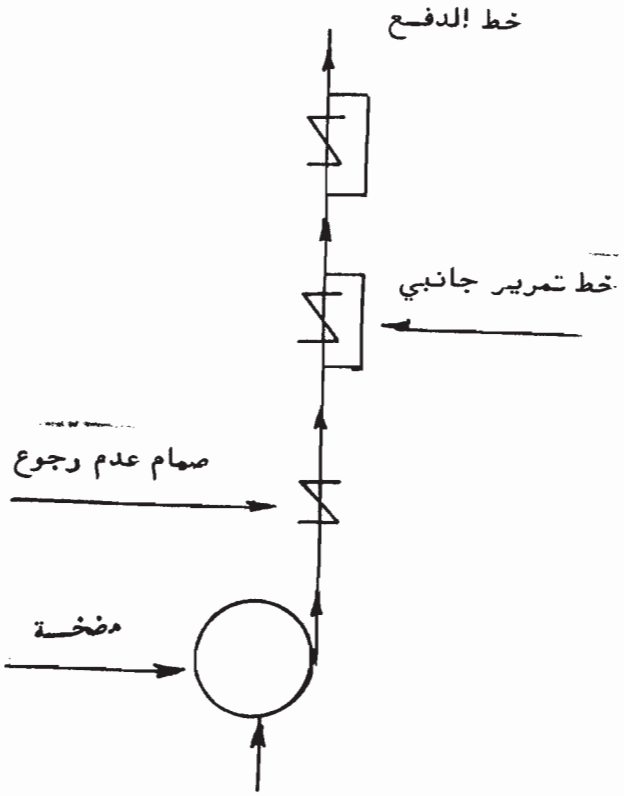
اما اذا كان السكر من نوع مزدوج الكرة فان سرعة دخول الهواء يجب أن لاتزيد عن 25 m/sec

ب -٣- صمامات عدم رجوع اضافية (٦) :

قد لاتحقق سكورة الهواء مع صمام عدم رجوع الحماية المطلقة من الصدمة المائية ، حيث قد يلاحظ وجود ضغط ديناميكي مرتفع قد يصل الى ضعف الضغط الستاتيكي ويمكن أن تزيد شدته عن القيم المسموح بها . ففي مثل هذه الحالات يمكن تركيب عدة صمامات عدم رجوع مع تجهيزها بممر جانبي مفتوح دائما وبقطر صغير . من شأن هذا التدبير تقسيم الضغط الستاتيكي ونقل الصدمة الى اثنين أو أكثر من الصمامات في

حال ارتداد الجريان .

ان استعمال صمامات عدم الرجوع للحماية من المطرقة المائية لايحتاج الى أي حجم في محطة الضخ وعمل هذه الصمامات يمكن الاعتماد عليه لأنه لاحاجة في تشغيلها لأي نظام كهربائي أو هيدروليكي وهي بالاضافة الى ذلك تعتبر الى حد ما أجهزة حماية ضد تحطيم الأنابيب . شكل /٥/ .




شكل / ٥ /

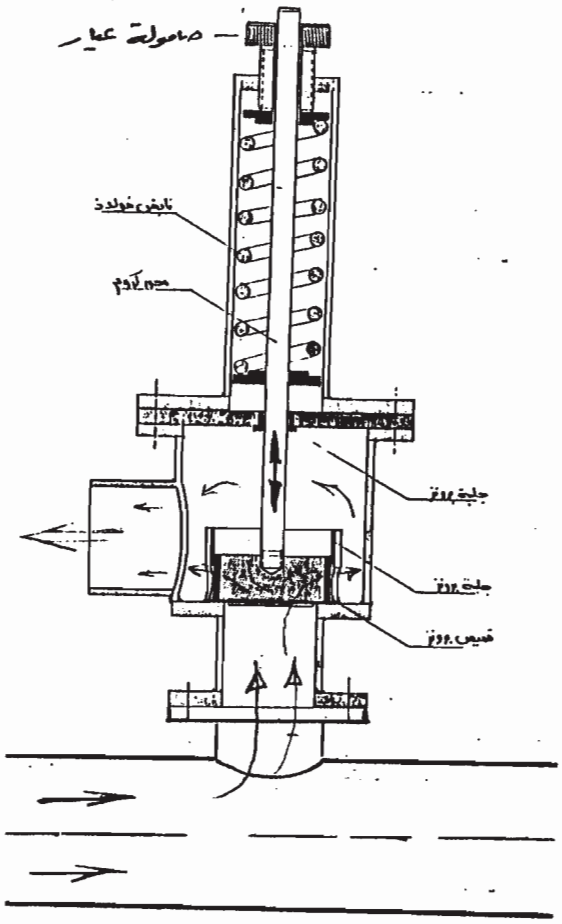
ب ـ٤ـ صمام المطرقة المائية : (٧)

وهو من النوع النابضي موضوع بعد المضخة يسمح بالانفتاح عند ضغط معين في حال حدوث مطرقة مائية مما يدفع كمية من ماء الانبوب نحو الهواء بحيث يحمي الانبوب والوصلات من الانفجار، ويكون ضغط الفتح لهذا الصمام أقل من الضغط الذي تتحمله الأنابيب والوصلات وأكبر من ضغط التشغيل بمقدار كاف ويستخدم هذا النوع من الصمامات من أجل ضغوط تشغيل متوسطة .

تم تصميم هذا النوع من الصمامات ونفذ وجرب في القطر العربي السوري وأعطى النتائج التالية :

ضغط التجريب الأقصى 12 bar

ضغط التشغيل 4 bar - 8 bar وهو عياري بواسطة صامولة عيار كمية الماء المتدفق 60 L1sec للصمام قياس 100 mm .




شكل / ٦ /

ج- سكر قطع مع تحكم بالتشغيل :

يستخدم سكر القطع ذو الاغلاق البطيء والمستخدم بدلا من صمام عدم الرجوع للحماية من المطرقة المائية ، حيث يوضع هذا النوع من السكورة في خط الدفع بعد المضخة ، فقبل وقف الضخ فان السكر يغلق ببطء وهكذا يبقى تذبذب الضغط الديناميكي صغيرا ، وفي حال الإيقاف غير المرغوب ( مثل حالة انقطاع التيار الكهربائي ) فان سكر القطع المفتوح المزود بكابح لزج وآلية الاغلاق بالجاذبية ينغلق ببطء بحيث إن المضخة تعزل عن خط الضخ فقط بعد أن يكون الجريان قد انعكس ، ويجب أن تكون مدة الاغلاق كافية ولا تقل عن ثلاثة الى أربعة أضعاف مدة الانعكاس ، وهنا تتعرض المضخة الى جريان عكسي وينعكس معه دوران المضخة فتعمل بذلك عمل العنفة فاذا كان هذا غير مسموح به فيجب استعمال سقاطة ضد الانعكاس لمنع ذلك ، الا أن هذه الوسيلة للحماية من المطرقة المائية غير شائعة الاستعمال الا في المحطات الضخمة .

د- أقراص التحطيم :

لاتعتبر أقراص التحطيم وسيلة للحماية من المطرقة المائية اذا ماقورنت بالطرق السابقة ، لأنها لاتستطيع الحماية وانما تقلل من آثار المطرقة المائية فهي تفتح الممر الجانبي على طرفي المضخة ( قبلها وبعدها ) وأقراص تتحطم عند زيادة الضغط عن الحد المسموح به من خط الضخ ، وتكون هذه الأقراص غير اقتصادية أبداً إذا تحطمت عند كل وقف للضخ، لذلك ينصح بها فقط اذا كان تذبذب الضغط في حالات الايقاف العادي يبقى ضمن الحدود المسموح بها ، أو عندما لايسمح بحدوث موجات الضغط عند انقطاع التيار، كما ينصح بها اذا تم تشغيل كافة المضخات في المجموعة في آنٍ واحد ، ويكون حجم أقراص التحطيم بحيث يمكن تمرير كل التدفق المعكوس خلال الممر الجانبي بدون أي ارتفاع في الضغط ، وواضح أن ضغط انفجار أو تحطم القرص يجب أن يكون أقل من الضغط الستاتيكي للمجموعة .

٥ - الخاتمة والنتائج :

ان خطر حدوث المطرقة المائية يكون كبيرا في الخطوط التي تتعرض فيها سرعة السائل الى تغييرات كبيرة خلال انعكاس موجات الضغط ويمكن تخفيف زيادة الضغط الديناميكي بالاغلاق البطيء للعناصر في مدة تبلغ حوالي ثلاثين مرة من مدة فترة الانعكاس وذلك حسب مميزات السكورة .

ويعتبر هبوط التدفق للمضخة بسبب انقطاع التيار الكهربائي مثلا من أكبر العوامل خطرا على تشكل المطرقة المائية وإن وسائل الحماية ضد المطرقة المائية هي التي تعتمد على منع حدوث تغيرات فجائية في سرعة الماء داخل الانبوب سواء باستخدام تجهيزات تخزين الطاقة ، أو باستخدام ممرات جانبية أو باستخدام صمامات عدم رجوع متعددة على ممرات جانبية ، أو باستخدام أقراص التحطيم وبعض هذه الطرق ذو حجم كبير وكلفة عالية وبعضها ذو فعالية في محطة دون أخرى ، ويعتمد اختيارها على العوامل العديدة التي مر ذكرها .

**RESUME**

Le chois de la méthode de protection contre le coup de belier dans les pompes

Le phénomène de coup de bélier est tres dangereux et complexe, surtout dans les stations des pompes .

Nous décrivons ici , une étude rapide sur ce phénomène, les phases de sa formation et la célérité de l'onde élastique .

Les moyens destinés à éviter le coup de belier sont très nombreux . On peut dire qu'il n'existe pas de dispositif que l'on puisse recommander dans tous les cas . Nous indiquons là quelques un des moyens utilisés, en cherchant à établir dans la mesure du possible leurs limitations .

1 - LENCASTRE, A . 1979 - Manuel d'hydraulique generale,Eyrolles Paris .

2 - COMOLET,R.1982- Mecanique experimentale des fluides,Tome II , Masson et cie, Paris .

3 - JAEGER, CH. 1963 -Hydraulique technique ,Eyrolles, Paris .

4- CAUVIN, A et GUERREE,H.1978- Elements d'hydraulique,Eyrolles Paris .

٥- اشراف د. جوني تقلا ، اعداد هزارحمزة ـ ١٩٩٠ ـ تحليل المطرقة المائيـــــة مشروع تخرج ـ جامعة تشرين .

٦- د. جوني تقلا ـ ١٩٩٠ ـ الآلات المائيـة المضخات ،جامعة تشرين كلية الهندســة الميكانيكية والكهربائية .

٧ ـ م. الياس خضرى ،صمام المطرقة المائيـة ـ حلـب .