



جامعة  
بنغازي الحديثة



**مجلة جامعة بنغازي الحديثة للعلوم  
والدراسات الإنسانية  
مجلة علمية إلكترونية محكمة**

**العدد الثامن**

**لسنة 2020**

حقوق الطبع محفوظة

## شروط كتابة البحث العلمي في مجلة جامعة بنغازي الحديثة للعلوم والدراسات الإنسانية

- 1- الملخص باللغة العربية وباللغة الانجليزية (150 كلمة).
- 2- المقدمة، وتشمل التالي:
  - ❖ نبذة عن موضوع الدراسة (مدخل).
  - ❖ مشكلة الدراسة.
  - ❖ أهمية الدراسة.
  - ❖ أهداف الدراسة.
  - ❖ المنهج العلمي المتبع في الدراسة.
- 3- الخاتمة. (أهم نتائج البحث - التوصيات).
- 4- قائمة المصادر والمراجع.
- 5- عدد صفحات البحث لا تزيد عن (25) صفحة متضمنة الملاحق وقائمة المصادر والمراجع.

### القواعد العامة لقبول النشر

1. تقبل المجلة نشر البحوث باللغتين العربية والانجليزية؛ والتي تتوافر فيها الشروط الآتية:
  - أن يكون البحث أصيلاً، وتتوافر فيه شروط البحث العلمي المعتمد على الأصول العلمية والمنهجية المتعارف عليها من حيث الإحاطة والاستقصاء والإضافة المعرفية (النتائج) والمنهجية والتوثيق وسلامة اللغة ودقة التعبير.
  - ألا يكون البحث قد سبق نشره أو قُدم للنشر في أي جهة أخرى أو مستل من رسالة أو اطروحة علمية.
  - أن يكون البحث مراعيًا لقواعد الضبط ودقة الرسوم والأشكال - إن وجدت - ومطبوعاً على ملف وورد، حجم الخط (14) وبخط (Arial 'Body') للغة العربية. وحجم الخط (12) بخط (Times New Roman) للغة الإنجليزية.
  - أن تكون الجداول والأشكال مدرجة في أماكنها الصحيحة، وأن تشمل العناوين والبيانات الإيضاحية.
  - أن يكون البحث ملتزماً بدقة التوثيق حسب دليل جمعية علم النفس الأمريكية (APA) وتثبيت هوامش البحث في نفس الصفحة والمصادر والمراجع في نهاية البحث على النحو الآتي:
  - أن تُثبت المراجع بذكر اسم المؤلف، ثم يوضع تاريخ نشره بين حاصرتين، يلي ذلك عنوان المصدر، متبوعاً باسم المحقق أو المترجم، ودار النشر، ومكان النشر، ورقم الجزء، ورقم الصفحة.
  - عند استخدام الدوريات (المجلات، المؤتمرات العلمية، الندوات) بوصفها مراجع للبحث: يُذكر اسم صاحب المقالة كاملاً، ثم تاريخ النشر بين حاصرتين، ثم عنوان المقالة، ثم ذكر اسم المجلة، ثم رقم المجلد، ثم رقم العدد، ودار النشر، ومكان النشر، ورقم الصفحة.
2. يقدم الباحث ملخص باللغتين العربية والانجليزية في حدود (150 كلمة) بحيث يتضمن مشكلة الدراسة، والهدف الرئيسي للدراسة، ومنهجية الدراسة، ونتائج الدراسة. ووضع الكلمات الرئيسية في نهاية الملخص (خمس كلمات).

3. تحتفظ مجلة جامعة بنغازي الحديثة بحقها في أسلوب إخراج البحث النهائي عند النشر.

## إجراءات النشر

ترسل جميع المواد عبر البريد الإلكتروني الخاص بالمجلة جامعة بنغازي الحديثة وهو كالتالي:

- ✓ يرسل البحث إلكترونياً ( Word + Pdf ) إلى عنوان المجلة [info.jmbush@bmu.edu.ly](mailto:info.jmbush@bmu.edu.ly) او نسخة على CD بحيث يظهر في البحث اسم الباحث ولقبة العلمي، ومكان عمله، ومجاله.
- ✓ يرفق مع البحث نموذج تقديم ورقة بحثية للنشر (موجود على موقع المجلة) وكذلك ارفاق موجز للسيرة الذاتية للباحث إلكترونياً.
- ✓ لا يقبل استلام الورقة العلمية الا بشروط وفورمات مجلة جامعة بنغازي الحديثة.
- ✓ في حالة قبول البحث مبدئياً يتم عرضة على مُحكمين من ذوي الاختصاص في مجال البحث، ويتم اختيارهم بسرية تامة، ولا يُعرض عليهم اسم الباحث أو بياناته، وذلك لإبداء آرائهم حول مدى أصالة البحث، وقيمتها العلمية، ومدى التزام الباحث بالمنهجية المتعارف عليها، ويطلب من المحكم تحديد مدى صلاحية البحث للنشر في المجلة من عدمها.
- ✓ يُخطر الباحث بقرار صلاحية بحثه للنشر من عدمها خلال شهرين من تاريخ الاستلام للبحث، وبموعد النشر، ورقم العدد الذي سينشر فيه البحث.
- ✓ في حالة ورود ملاحظات من المحكمين، تُرسل تلك الملاحظات إلى الباحث لإجراء التعديلات اللازمة بموجبها، على أن تعاد للمجلة خلال مدة أقصاها عشرة أيام.
- ✓ الأبحاث التي لم تتم الموافقة على نشرها لا تعاد إلى الباحثين.
- ✓ الأفكار الواردة فيما ينشر من دراسات وبحوث وعروض تعبر عن آراء أصحابها.
- ✓ لا يجوز نشر إي من المواد المنشورة في المجلة مرة أخرى.
- ✓ يدفع الراغب في نشر بحثه مبلغ قدره (400 دل) دينار ليبي إذا كان الباحث من داخل ليبيا، و (200 \$) دولار أمريكي إذا كان الباحث من خارج ليبيا. علماً بأن حسابنا القابل للتحويل هو: (بنغازي - ليبيا - مصرف التجارة والتنمية، الفرع الرئيسي - بنغازي، رقم 001-225540-0011. الاسم (صلاح الأمين عبدالله محمد).
- ✓ جميع المواد المنشورة في المجلة تخضع لقانون حقوق الملكية الفكرية للمجلة.

[info.jmbush@bmu.edu.ly](mailto:info.jmbush@bmu.edu.ly)

00218913262838

د. صلاح الأمين عبدالله  
رئيس تحرير مجلة جامعة بنغازي الحديثة  
[Dr.salahshalufi@bmu.edu.ly](mailto:Dr.salahshalufi@bmu.edu.ly)

# حساب معاملات التشغيل الأساسية لمضخات الطرد المركزي لتحديد بداية حدوث التجايف

د. فرج أحمد الزروق بارود

( كلية الهندسة - قسم الهندسة الميكانيكية والصناعية - جامعة بني وليد - ليبيا )

## المخلص:

تتناقش هذه الورقة ظروف حدوث التجايف في المضخات. وتعتبر مضخة الطرد المركزي أداة مهمة لنقل السوائل ولمنع ظهور التجايف يجب أن نعرف بداية ظهورها في المضخة، ان أحد مصادر عدم الاستقرار في مضخة الطرد المركزي هو ظاهرة التجويف ويمكن أن يتسبب التجويف داخل مضخة الطرد المركزي في حدوث المزيد من التأثيرات الغير المرغوب فيها، مثل تدهور الأداء الهيدروليكي (انخفاض في العلو و الكفاءة) وتلف المضخة عن طريق التنقر والتآكل واهتزاز الهيكل والضوضاء الناتجة، ويمكن أن يظهر التجويف ضمن النطاق الكامل لظروف التشغيل؛ لذلك يجب منعه بكل الوسائل، وعلى هذا الأساس تم حساب المعاملات الأساسية لقدرة الشفط لمضخة معينة.

**الكلمات الرئيسية:** ظاهرة التجويف، التآكل، اهتزاز، شفط المضخة، مضخة الطرد المركزي.

## Abstract.

This paper discusses the conditions for the occurrence of cavitation in pumps. A centrifugal pump is a critical Liquid transportation device. To prevent the onset of the cavitation, we have to know the beginning of cavitation phenomenon in the pump. One of the sources of instability in a centrifugal pump is cavitation phenomenon. Cavitation within a centrifugal pump can cause more undesirable effects, such as deterioration of the hydraulic performance (drop in head-capacity and efficiency curves), damage of the pump by pitting and erosion and structure vibration and resulting noise. Cavitation can appear within the entire range of operating conditions; therefore it must, by all means, be prevented. And on this basis, was done of calculating the basic parameters of the suction capacity of a particular pumping.

**Keywords:** Cavitation phenomenon, corrosion, vibration, pump suction, Centrifugal pump.

## - مقدمة:

في هذه الورقة تم التركيز على كيفية بداية حدوث التجاويف أو ما يعرف بالتكهف وما هي المسببات في ظهورها والعوامل المساعدة في تزايدها، لقد قمنا بدراسة ميدانية وراقبنا بعض المضخات وكيف تطورت التجاويف بها، ثم اصغنا بعض من المعاملات من خلال معادلات الموائع التي لها علاقة بالشفط وسرعة الدخول والضغط عند مدخل ومخرج دفاعة المضخة، وحصلنا على قيم ومنها تم رسم منحنيات لعلاقات التدفق والعلو والشفط، ان بداية حدوث التجاويف (التكهف) هي ظاهرة تشكل فقاعات من البخار لسائل متدفق في منطقة ينخفض فيها ضغطه إلى ما دون ضغط البخار وهذه ظاهرة غير مرغوب فيها لأنها تسبب الضوضاء وتلف لأجزاء الآلة نتيجة للاهتزاز وبالتالي تنخفض كفاءتها.

ان العامل الرئيسي الذي يحد من عمر المضخات هو التآكل وحدث التجاويف والتكهف في ريش الدفاعة، وكذلك زيادة مستوى الاهتزازات فوق القيم المسموح بها، لذلك فإن الشرط الرئيسي الذي يحدد التشغيل الآمن والموثوق به والاقتصادي لأنظمة التصريف هو توفير أوضاع تشغيل خالية من حدوث التجاويف لوحداث الضخ.

من المعروف أن حدوث التجاويف والتكهف في مضخات الطرد المركزي متعددة المراحل يكون مصحوبًا بغليان موضعي للسائل عند مدخل الدفاعة للمرحلة الأولى من الجزء الأولي للريشة، وترتبط حالة الغليان بتحويل طاقة ضغط معينة متناقصة إلى سرعة محددة متزايدة ويحدث في منطقة حلق الدفاعة من الجزء الأولي للريشة ويعتمد ضغط البخار المشبع للمياه على درجة حرارته وتكوينه الفيزيائي والكيميائي (وجود مواد كيميائية ومركبات مذابة ومحتوى على شوائب عضوية وغير عضوية والغازات المذابة) [1].

يمكن أن ينخفض الضغط في قسم مدخل الدفاعة إلى قيمة مساوية لضغط الأبخرة المشبعة للسائل الذي يتم ضخه وهنا تبدأ عملية الغليان الموضعي، وبسبب فقاعات البخار يحصل التكهف وهي حالة خطيرة على أجزاء المضخة [2]. في المرحلة الأولى من حدوث التجاويف تحدث ضوضاء هيدروديناميكية مميزة في المضخة تسبب في انخفاض علو (Head) المضخة وقدرتها. وأثناء التشغيل طويل المدى في هذا الوضع فإنه يبدأ التلف في أجزاء مدخل ريش الدفاعة من كل مرحلة من مراحل المضخة حتى تتآكل [3] كما موضح في (الشكل 1 ، أ) ثم يحدث تدمير كامل للدفاعات كما مبين (الشكل 1 ، ب).



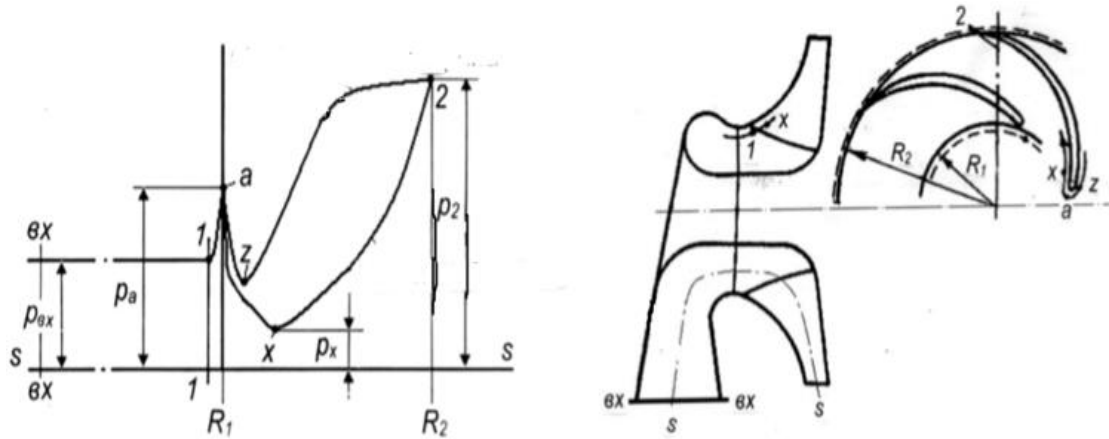
الشكل (1) الصورة النموذجية للضرر الناتج عن تآكل دفاعة مضخة:

أ - بداية التآكل؛ ب - تدمير كامل للدفاعة.

## التحليل الفيزيائي والرياضي لحدوث التجايف:

تعتمد النماذج والطرق الرياضية لحساب معاملات التجويف لمضخات الطرد المركزي على تقييم طبيعة توزيع سرعة السائل والضغط والفقد الهيدروليكي على طول خط أنابيب الشفط (السحب) أثناء مرحلة الدخول مع الخواص المعروفة للسائل المضخ (الكثافة وضغط البخار المشبع) والضغط الجوي [1، 2، 3، 4، 5] وكذلك المعاملات الرئيسية التي تحدد قدرة الشفط للمضخة وضغط السائل الكلي عند مدخل الدفاعة بحيث يكون أعلى من ضغط البخار المشبع [6، 7، 8].

في الشكل (2) رسم تخطيطي يوضح دفاعة مضخة و توزيع الضغط خلالها ومناطق التجويف بداخلها كما مبين ينخفض الضغط أولاً عند (النقطة z) ثم يزداد بسرعة إلى قيمته النهائية  $P_2$  عند نصف قطر  $R_2$ . (القسم 1-1) كما موضح بالشكل (2) منطقة أبواب المدخل يظل الضغط  $P_{BX}$  فيها ثابتاً حتى حلق الدفاعة ويزداد الضغط إلى  $P_a$  عند النقطة a الأمامية لحافة الريشة وكما بالرسم التوضيحي فان التغيير في الضغط



الشكل (2) يبين رسم توضيحي لمناطق التجويف في دفاعة

مضخة طرد مركزي وتغير طبيعة الضغط في ريشة الدفاعة.

ينقسم إلى تيارين بشكليين منفصلين للجانبين الأمامي والخلفي للريشة، فعلى السطح الخلفي للريشة تختلف طبيعة تغيير الضغط وتوزيعه، أما على السطح الأمامي للريشة فانه يكون كالتالي في القسم x لوحظ انخفاض الضغط حتى قيمة  $P_x$  والتي ستكون الحد الأدنى للضغط في قناة الجزء المتدفق من الدفاعة لمرحلة دخول المضخة، ومن النقطة x يبدأ الضغط على الجزء الخلفي من الريشة في الزيادة وعند نصف القطر الخارجي  $R_2$  للدفاعة ليصل الضغط لقيمه العظمى  $P_2$  في مقدمة الريشة. من الرسم التوضيحي في الشكل (2) فإن القسم الأول لغليان السائل سيكون في منطقة الريشة بالقرب من النقطة z. وتبدأ عملية غليان السائل بين النقطتين z و x وهي بداية حدوث التجويف، حيث ان  $P_{H,II}$  ضغط البخار المشبع للمياه التي يتم ضخها،  $P_x$  الضغط الأدنى في قناة الدفاعة لمرحلة دخول المضخة، علاوة على ذلك هناك عدد من الأسباب لحدوث التجويف ويمكن تقسيم هذه الأسباب إلى مجموعتين: تكنولوجية وهي مرتبطة بخصائص وحدات الضخ وطرق تشغيلها، وتصميمية وهي متعلقة بالمضخة ومعدات محطة الضخ المستخدمة.

تشمل الأسباب التكنولوجية:

- أ) تغيير ارتفاع الشفط الهندسي  $h_{T,BC}$ .
- ب) التغيرات في درجة الحرارة والتركيب الفيزيائي والكيميائي للمياه التي يتم ضخها.

- (ج) زيادة المقاومة في خط الشفط (انسداد وتراكم في شبكة السحب، خلل في صمام السحب، رواسب ملحية في أنابيب الشفط).
- (د) دخول الهواء إلى خط شفط المضخة (خلل في غلق غطاء المدخل، تسرب الهواء من خلال خط أنابيب الإمداد).

تشمل الأسباب التصميمية ما يلي:

- (أ) نوع المضخة ومعدل سرعتها.
- (ب) سرعة (معدل التدفق) السائل في بداية مدخل الدفاعة للمرحلة الأولى من المضخة.
- (ت) المقاومة الهيدروليكية عند مدخل ريشة المضخة.
- (ث) طريقة تصميم خط أنابيب الشفط ومجرى الدفاعة تؤثر على توزيع السرعات في بداية مدخل الدفاعة.
- المعاملات الأساسية التي تحدد قدرة الشفط للمضخة وقدرتها على مقاومة ظهور التجايف وتطورها هي [4]:

$\Delta h$ - معامل التجويف عند مدخل المضخة الناتج عن ضغط البخار المشبع للسائل  $P_{H.П}$  والكثافة  $\rho$  وتدني الضغط في خط السحب للمضخة  $P_{BX}$ . وانه أصعب شيء في تحديد  $\Delta h$  هو التقدير الدقيق لمعامل بداية التجويف  $\lambda_3$  [9 ، 10 ، 11].

$$\Delta h = (p_{ex} + \rho v_{ex}^2 / 2 - p_{H.П}) \rho g \quad \dots\dots\dots(1)$$

$C_{kp}$ - معامل السرعة الحرج المرتبط بمدخل المضخة والذي يحدد قدرة شفط المضخة الطاردة المركزية بسرعة دوران  $n$  ، ومعدل التدفق  $Q$  ومعامل التجويف الحرج  $\Delta h_{kp}$ .

$$C_{kp} = n \sqrt{Q} / (\Delta h_{kp} / 10)^{3/4} \quad \dots\dots\dots(2)$$

$h_{T.BC.KP}$  - معامل الشفط الهندسي الحرج والذي يتم تحديده مع الأخذ في الاعتبار سرعة السائل عند الدخول إلى الدفاعة  $V_{BX}$  ، والفقد الهيدروليكي في مسار سحب المضخة  $h_{ПOT.BC}$  والضغط الجوي في غرفة مضخة الصرف  $P_{AT}$ .

$$h_{T.BC.KP} = \frac{P_{AT} - P_{H.П}}{\rho g} - \frac{v_{BX}^2}{2g} - h_{ПOT.BC} \quad \dots\dots\dots(3)$$

$\lambda_3$  - معامل بداية التجويف.

$$\lambda_3 = (2g\Delta h_{kp.o} - v_{BX.1}^2) / W_1^2 \quad \dots\dots\dots(4)$$

لإعطاء تقييم موثوق للحالة الحالية للمضخة عند ظهور بداية التجويف من الضروري:

- تحديد مقياس كمي لمعايير التجويف، مع مراعاة التصحيحات التجريبية لكل وحدة ضخ محددة، وربط قيمة هذه المعاملات بظروف التشغيل.
- تحديد أهم معاملات التجويف ومقارنة قيمها بالحالية بالقيم المقابلة للوضع الأولي للتدفق عند حدوث التجويف وتشخيص حالة التجويف لوحدة الضخ العاملة.
- حساب الحد الأقصى لرفع كمية (السحب) الشفط في المضخة العاملة [3] يتضح أنه من 60 إلى 74٪ من وحدات الضخ العاملة التي تضخ النفايات أو مياه المناجم تعمل باستمرار أو

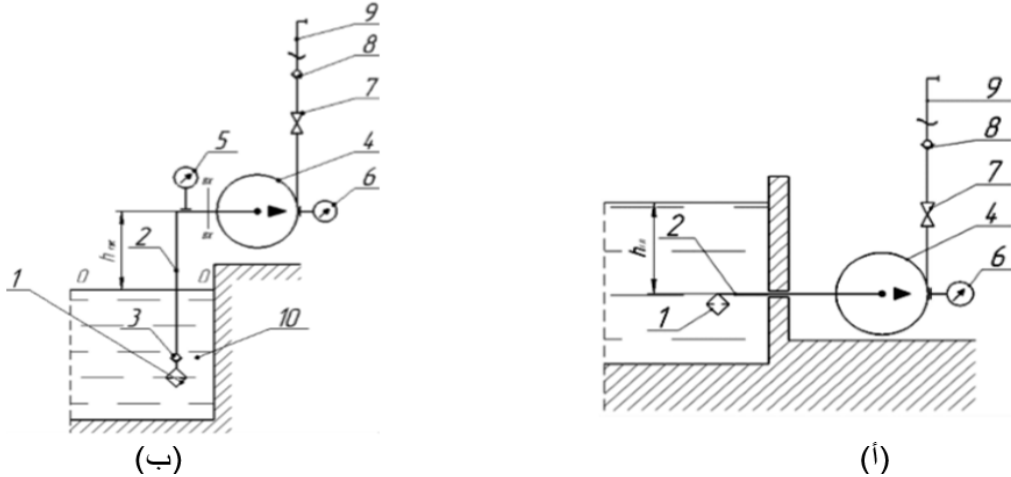
بشكل دوري في أوضاع مسببة للتجاويف والتكهف، مع أن السبب الرئيسي في ازدياد التجاويف في جزء مدخل المضخة هو انخفاض الضغط إلى ما دون القيمة الحرجة المسموح بها في خط الشفط وفي مرحلة الدخول إلى المضخة.

- ينتج التجويف في مضخات الريشة عن انخفاض الضغط أثناء تدفق السوائل، ولدى يجب إيجاد حل في كيفية تغير الضغط أثناء تدفق المياه في خط الشفط من المدخل إلى خط أنابيب الإمداد ومنها للدفاعة في كل مرحلة.

- تتسبب الفواقد الموضعية في مدخل خط أنابيب الشفط في انخفاض الضغط، حيث يمكن أن تنخفض القيمة المطلقة عند مدخل المضخة (حواف مجرى الريش) إلى قيم أقل من ضغط البخار المشبع  $P_{H,II}$ .

- الضغط في هذه المنطقة الخطرة، وفقاً لظروف تكوين التجاويف والتكهف فإن المنطقة ليست ثابتة ويتم تحديدها من خلال الارتفاع الهندسي لموقع المضخة كما بالشكل (3) بالنسبة للسطح الحر للسائل في البئر ووضع تشغيل المضخة وعوامل أخرى.

وبالنظر إلى المخططين الرئيسيين في الشكل (3) لتشغيل معدات ضخ المناجم بارتفاعات شفط إيجابية وسلبية في مناجم الفحم نلاحظ:



الشكل (3) تخطيطات وحدات الضخ بالنسبة لمستوى المياه في مستجمعات المياه

أ - محور الدفاعة تحت السطح الحر؛ ب - محور الدفاعة فوق السطح الحر

الرسم البياني الهيدروليكي (أ) تأخذ المضخة الماء من حوض مفتوح وهو مستوى السطح الحر الذي يقع فوق محور دفاعة المضخة (الشكل 3، أ) الرسم البياني الهيدروليكي (ب) يتم ضخ مياه المنجم من خزان مفتوح حيث يقع مستوى سطحه الحر أسفل محور دفاعة المضخة (الشكل 3، ب) ووحدات الضخ العاملة في أنظمة إمدادات المياه ذات ضغط عالي، وتطبيق العلاقات المعروفة التي تم الحصول عليها بناءً على حل معادلة برنولي لجزئيين: مستوى السطح الحر للسائل في بئر عند مدخل المضخة وإهمال السرعة في أولهما [5] نحصل على معادلة تحديد الضغط في المقطع عند المدخل في المضخة.

$$\frac{P_{ex}}{\rho g} = \frac{P_{at}}{\rho g} - \frac{v_{Bx}^2}{2g} - h_{T.BC} - h_{HOT.BC} \dots \dots \dots (5)$$



$h_{\text{ПOT,BC}}$  فقد الطاقة للتغلب على المقاومة في خط الشفط للمضخة (مجموع الفواقد في التركيبات والاحتكاك على طول خط الأنابيب وما إلى ذلك). من المعادلة (5) نلاحظ أن العلو (Head) في المنطقة ذات الضغط الأدنى حيث يكون التجويف ممكناً، ويتم تحديده من خلال التعبير بقيمة الشفط الهندسي  $h_{\text{T,BC}}$

$$h_{\text{T,BC}} = \frac{P_{\text{at}} - P_{\text{BX}}}{\rho g} - \frac{v_{\text{BX}}^2}{2g} - h_{\text{ПOT,BC}} \quad \dots\dots\dots(6)$$

يمكن الحصول على أكبر قيمة (حرجة) لارتفاع الشفط الهندسي (الجيومتري)  $h_{\text{T,BC,MAX}}$  المقابل للحظة بداية التجويف وفقاً للمعادلة (5) بشرط أن يكون ضغط المدخل مساوياً لضغط البخار المشبع للسائل الذي يتم ضخه  $P_{\text{BX}} = P_{\text{H,II}}$ .

$$h_{\text{T,BC,MAX}} = h_{\text{T,BC,CP}} = \frac{P_{\text{at}} - P_{\text{H,II}}}{\rho g} - \frac{v_{\text{BX}}^2}{2g} - h_{\text{ПOT}} \quad \dots\dots\dots(7)$$

القيمة  $(P_{\text{at}} - P_{\text{H,II}})/\rho g$  في جزء المدخل تحدد قدرة الشفط للمضخة وتحدد قيمة الشفط الفاكومتري  $H_{\text{BAK}}$  ويتم تحديد العلاقة بين ارتفاعات الشفط الهندسي (الجيومتري)  $h_{\text{T,BC}}$  والشفط الفاكومتري  $H_{\text{BAK}}$  من خلال المعادلتين التاليتين:

$$h_{\text{T,BC}} = H_{\text{BAK}} - \frac{v_{\text{BX}}^2}{2g} - h_{\text{ПOT}} \quad \dots\dots\dots(8)$$

$$H_{\text{BAK}} = h_{\text{T,BC}} + \frac{v_{\text{BX}}^2}{2g} + h_{\text{ПOT,BC}} \quad \dots\dots\dots(9)$$

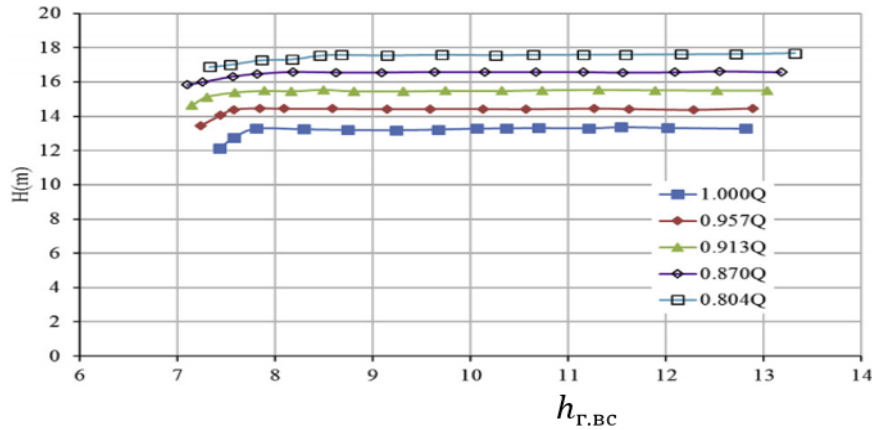
بالرجوع للشكل (3) وإذا أخذنا القسم 0-0 كمستوى حر لتطبيق المعادلة، فإن الفرق بين المخطط 2 والمخطط 1 هو أن الشفط الهندسي (الجيومتري)  $h_{\text{T,BC}}$  سيكون له قيمة سالبة ومن المعادلتان (8) و (9) نحصل على

$$h_{\text{T,BC}} = h_{\text{T,II}} = \frac{v_{\text{BX}}^2}{2g} + h_{\text{ПOT}} - H_{\text{BAK}} \quad \dots\dots\dots(10)$$

$$H_{\text{BAK}} = \frac{v_{\text{BX}}^2}{2g} + h_{\text{ПOT}} - h_{\text{T,II}} \quad \dots\dots\dots(11)$$

يمكن استخدام المعادلة (10) لتحديد ارتفاع الشفط المسموح به.

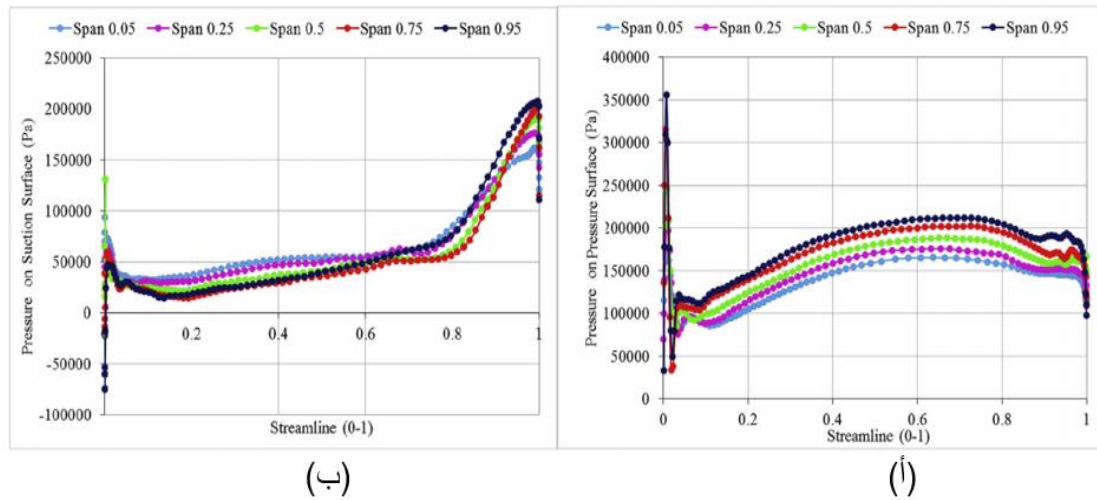
من المعادلات السابقة والقيم التي حصلنا عليها من الدراسة الميدانية على المضخات تحصلنا على منحنيات توضح حدوث التجويف حسب معدلات التدفق وكذلك منحنيات توزيع الضغط على طول ريشة الدفاعة، وفي الشكل (4) نلاحظ المنحنيات تبين كلما زادت قيمة العلو (Head) يحصل انخفاض في قيمة التدفق (Q) وتختلف المنحنيات حسب معدلات التدفق اختلافاً كبيراً بسبب تغير قيم الشفط الهندسي  $h_{\text{T,BC}}$ ، على سبيل المثال عند (1.000Q) تتناقص قيمة العلو بشكل متسارع عند القيم الدنيا للشفط الهندسي  $h_{\text{T,BC}}$  وبشكل حاد.



الشكل (4) يبين منحنيات حدوث التجويف حسب معدلات التدفق.

أما في حالة (0.804Q) يكون التناقص تدريجي، و بهذا يمكن أن تسبب معدلات التدفق المتغيرة تغييرات في زاوية التدفق مما يؤدي إلى تغيرات و حدوث تدفق اخر على جانب الريشة الذي يسبب في حدوث و تطور التجويف [4].

ومن أجل إظهار توزيع الضغط على سطح ريشة الدفاعة بشكل أفضل، يتم توزيع الضغط على طول ريشة الدفاعة في امتداد مختلفة (0.05، 0.25، 0.5، 0.75، 0.95) حيث يحدث الضغط الأدنى أثناء الشفط عند الحافة الأمامية للريشة وهذا واضح عند Span 0.5 و Span 0.95 بالقرب من Streamline 0.2 كما هو موضح في الشكل (5) البياني (ب) ويحدث أقصى ضغط أثناء الشفط عند الحافة الخلفية للريشة وهذا واضح بظهور قمم الضغط عند كل الامتداد بالقرب من Streamline 0.7 كما بالشكل (5) البياني (أ).



الشكل (5) يبين توزيع الضغط على طول ريشة الدفاعة

في الشكل (6) حالات تكون التجاويف رقم 1 نلاحظ ان ريش الدفاعة لا يوجد حولها أي تجاويف ورقم 2 بداية حدوث التجاويف وتزداد في رقم 3 ثم تتزايد بوضوح في الرقم 4.

ان المعاملات السابقة التي تم استنتاجها من المعادلات هي التي ستحدد حالة المضخة من حيث حدوث أو عدم حدوث التجويف وتسمح بتشخيص أوضاع التشغيل، وبالنظر إلى هذه المعاملات من الممكن تحديد قيمتها التي يمكن أن تعطىها المضخة في وضع التشغيل. ان ارتفاع الشفط

الهندسي السالب  $h_{\Gamma,BC} = h_{\Gamma,II}$  يحدث ضغطًا زائدًا عند المدخل ويمكن أن يظل الضغط في قنوات الدخول للمرحلة الأولى أعلى من الضغط الجوي مما يستبعد حدوث التجويف.



الشكل (6) يبين بداية حدوث التجاويف في الدفاعة حول الريش

تتيح المعادلة (10) إمكانية تحديد فعالية رفع الشفط مع جميع المعاملات التي يحددها التصميم والميزات التكنولوجية لوحدة الضخ، ومن بين العوامل الرئيسية التي تحدد القيم الحرجة لكلا المعاملين  $h_{\Gamma,BC,cr}$  و  $H_{BAK}$  هي:

- درجة حرارة وكثافة السائل الذي يتم ضخه.
  - الشوائب الميكانيكية الموجودة في السائل، والغازات غير المذاب والأملاح الذائبة (كبريتات، كلوريدات، كربونات، بيكربونات، .. إلخ).
  - وضع تشغيل المضخة.
  - المقاومة الهيدروليكية لخط السحب وضيقه.
- يمكن أن تختلف درجة حرارة النفايات ومياه المناجم ومياه التبريد لمحطات الطاقة، اعتمادًا على العمق وظروف التهوية وموسم السنة، وكذلك بشكل كبير ضغط الأبخرة المشبعة  $P_{H,II}$ . وتجدر الإشارة إلى أنه عند حساب المعاملات التي تحدد قدرة الشفط للمضخة، يتم أخذ قيمة سرعة الدخول  $V_{BX}$  مساوية للسرعة المحورية في جزء المدخل للدفاعة، ومن المهم أيضًا متابعة حالة المضخة أثناء تشغيلها، عندما تتآكل المضخة ينخفض ضغطها وطاقتها بالإضافة إلى زيادة استهلاك الطاقة الكهربائية لضخ السائل ويقل أداؤها.

#### - النتائج:

1. عند حساب المعاملات التي تحدد قدرة الشفط للمضخة، يتم أخذ قيمة سرعة الدخول التي تساوي السرعة المحورية عند بداية مدخل الدفاعة.
2. من المهم الاحتفاظ بسجلات لحالة المضخة أثناء تشغيلها.
3. عندما تتآكل المضخة ينخفض ضغطها وطاقتها ويقل أداؤها وبالإضافة إلى زيادة استهلاك الطاقة الكهربائية لضخ السائل.
4. من أجل تقييم موثوق لحالة المضخة وإظهار التجاويف من الضروري تحديد المعاملات التالية (ارتفاع الشفط الهندسي الحرج والضغط الحرج عند مدخل الدفاعة) مع مراعاة التصحيحات التجريبية لكل وحدة ضخ.
5. تزيد قيمة الشفط الهندسي  $h_{\Gamma,BC,cr}$  أو تنقص مع تغيير وضع تشغيل المضخة من حيث معدل التدفق، والذي له علاقة بطاقة السرعة  $V_{BX}^2/2g$  عند مدخل الدفاعة.

6. تؤدي الزيادة في سرعة التدفق فوق القيمة الحرجة إلى ظهور التجايف وتطورها لاحقاً مع تكوين مناطق ذات ضغط منخفض في قنوات الدفاعة.
7. يجب تعديل نتائج اختبارات حدوث التجويف التي يتم إجراؤها في المصنع لوحداث الضخ مع مراعاة أقصى درجة حرارة ممكنة للمياه، كما أن كثافة الماء والشوائب الميكانيكية والغازات غير المذابة والأملاح الذائبة الموجودة فيها لها تأثير كبير في تكوين التجويف لوحدة الضخ.
8. يمكن أن تسبب معدلات التدفق المتغيرة تغييرات في زاوية التدفق مما يؤدي إلى تغييرات و حدوث تدفق اخر على جانب الريشة الذي يسبب في حدوث و تطور التجويف

## References.

1. Karelin, V. Ya. Cavitation phenomena in centrifugal and axial pumps. - M.: Nedra, 1975. -- 353 p.
2. Pernik, A.D. Cavitation problems. - L.: Shipbuilding, 1966. -- 440 p.
3. Palamarchuk, N.V. Mine and mine pumps: A Handbook / N.V. Palamarchuk - Donetsk, LLC Mining machines, 2009. -- 601 p.
4. Petrov, V.V. Cavitation in high-speed vane pumps / V.V. Petrov, V.F. Chebaevsky. - M.: Mechanical Engineering, 1982. -- 192 p.
5. Palamarchuk, N.V. Characteristics of pumps operating with excessive inlet pressure / N.V. Palamarchuk, A.P. Dengin, E.M. Moiseev. - Coal of Ukraine, 2011. - No. 11. - P. 43-51.
6. Mikhailov, A.K. Vane pumps. Theory, calculation and design / A.K. Mikhailov, V.V. Malyushenko. - M.: "Mechanical engineering", 1977. - 290 p.
7. Shemel, VB Study of stall cavitation modes of centrifugal pumps. - Proceedings of the WIGM, 1958. - Issue. 22. -- S. 13-29.
8. Vane pumps: Handbook / V.A. Zimnitsky, A.V. Kaplun, A.N. Papir, V.A. Umov. - L.: Mechanical engineering, 1986. -- 334 p.
9. Lomakin, A.A. Centrifugal and axial pumps / A.A. Lomakin. - L.: Mechanical engineering, 1966. -- 364 p.
10. Rozhdestvensky, V.V. Cavitation. - L.: Shipbuilding, 1977. -- 248 p.
11. Rumaherang, V.M. Methodology for calculating the determination of cavitation indicators of hydraulic turbines / V.M. Rumakherang, G.I. Topage, A.B. Zakharov // Scientific and technical statements of SPbSPU, 2012. - №1. - S. 112-118.