

Determining the loss of pressure and energy in piston valves

Dr. Mouna Esber⁽¹⁾

(Received 12 / 9 / 2018. Accepted 10 / 2 / 2019)

□ ABSTRACT □

A new method (Network Numograms) for determining the loss of pressure and energy in the self-impact valves of piston compressors is introduced. A network **Numegram** is created to determine the flow factor in the fuse and ring valves, which is based on the results of the study and research of the elements of the valve in a stable current. The proposed method for determining the loss of pressure and energy can be used to compare valves of different models in their design process.

Keywords: Determining Pressure transducer and energy, Self-impact valves, Piston ompressors, Numegram.

⁽¹⁾Associate professor, Marine Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

حديد ضياع الضغط والطاقة في صمامات الضاغط المكبسي

د. منى اسير⁽¹⁾

(تاريخ الإيداع 12 / 9 / 2018. قُبِلَ للنشر في 10 / 2 / 2019)

□ ملخّص □

في هذا البحث يتم تقديم طريقة جديدة (نوموغراما شبكية) لتحديد ضياع الضغط والطاقة في الصمامات ذاتية التأثير للضاغط المكبسية، حيث يتم إنشاء نوموغراما شبكية لتحديد عامل التدفق في الصمامات الفجوية والحلقية، والتي تم وضعها على أساس نتائج دراسة وبحث عناصر الصمام في تيار ثابت (مستقر). الطريقة المقترحة لتحديد الضياع في الضغط والطاقة يمكن استخدامها لمقارنة الصمامات ذات النماذج المختلفة عند عملية تصميمها.

كلمات مفتاحية: ضياع الضغط والطاقة، صمامات ذاتية التأثير، ضاغط مكبسي، نوموغراما.

⁽¹⁾أستاذ مساعد - قسم البحرية - كلية الهندسة الكهربائية والميكانيكية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.

مقدمة:

من المعروف أن الصمامات ذاتية التأثير المستخدمة في الضواغط المكبسية تبدي تأثير مباشر على اثنين من البارامترات الهامة للضاغط وهي: الاقتصادية والوثوقية [1, 2].

يجب على الصمامات أن تظهر قدر الإمكان مقاومة ديناميكية صغيرة لتيار الغاز المار من خلالها، إذ تعتبر المقاومة الناتجة عن مرور الغاز في الصمامات أحد أسباب ضياع الضغط والطاقة في الضاغط، والطاقة المصروفة للتغلب على المقاومة في الصمامات المختلفة التصاميم كل على حدى تصل إلى % (20 ÷ 25) للضاغط السريعة الأشواط آخذين بعين الاعتبار أن الضواغط هي آلات مستهلكة للطاقة، وإن كمية الطاقة اللازمة لتشغيل هذه الآلات كبيرة مما يوضح أن زيادة المردود الفعلي يقلل من هذه الطاقة [3, 4, 5, 6, 7]، وبالتالي فإن إيجاد طريقة لتحديد الضياعات في الصمامات يشكل أهمية كبيرة ولا سيما عند تصميمها بإنشاء نوموغراما.

أهمية البحث وأهدافه:

إن تخفيض الضياعات وزيادة المردود للضاغط المكبسية يشكل أهمية اقتصادية كبيرة كون هذه الآلات تستخدم بشكل واسع في الصناعة وفي مجالات عدة.

يهدف البحث إلى إيجاد طريقة حسابية بسيطة تمكن من تحديد ضياع الضغط والطاقة في صمامات الضاغط المكبسي، أي تخفيض الضياعات وزيادة المردود للضاغط المكبسية، وتوضح كافة البارامترات التي تتعلق بها هذه الضياعات، وذلك عن طريق إنشاء نوموغراما شبكية بالاعتماد على النتائج التي تم الحصول عليها أثناء بحث عناصر الصمام في تيار ثابت.

طرائق البحث ومواده:

تم اعتماد الطريقة التحليلية لتحديد ضياع الضغط، حيث نأخذ المعادلة الأساسية لتدفق الغاز عبر الصمام:

$$V = \alpha_k \cdot F_c \cdot \varepsilon_k \cdot \sqrt{\frac{2\Delta P_k}{\rho}} \quad (1)$$

حيث:

V - كمية الغاز المار عبر الصمام في لحظة زمنية معينة ويقدر بـ (m^3/sec) ،

ΔP_k : ضياع الضغط في الصمام في اللحظة الزمنية المعتمدة (kg/m^2) ،

ρ : كثافة الهواء قبل الصمام وتقدر بـ $(kg/sec^2/m^4)$ ،

ε_k : معامل تمدد الغاز ويعطى بشكل تقريبي بالعلاقة:

$$\varepsilon_k = \sqrt{1 - \frac{\Delta P_k}{P}} \quad (2)$$

حيث:

P - ضغط الغاز قبل أو أمام الصمام ويقدر بـ (kg/m^2) ،

F_c : مقطع العبور في الصمام ويقدر بـ (m^2) ،

α_k : معامل التدفق في الصمام ويحدد على أساس النفخ أو الكسح للصمام في تيار ثابت، ويعطى بالعلاقة التالية:

$$\alpha_k = \sqrt{\frac{\rho C_R^2}{2\Delta P_k \cdot \varepsilon_k^2}} \quad (3)$$

حيث C_R سرعة تدفق الغاز في مقعد الصمام وتقدر بـ (m/sec) .

نجد من العلاقة (1) أن ضياع الضغط عند تدفقات متساوية للغاز:

$$\Delta P_k = \frac{V^2 \rho^2}{2 \cdot \varepsilon_k^2 (\alpha_k \cdot F_c)^2} \quad (4)$$

هذا يعني أن ضياع الضغط في الصمام يتعلق بمجال تدفق الصمام والذي يعكس الخواص الديناميكية للغاز حيث يدخل في هذه العلاقات (1)، (2)، (3) و (4) حجم أو قياس قنوات الجريان وشكلها وانسيابية الشكل وخشونة جدرانها من جهة، ومن جهة أخرى يتعلق ضياع الضغط بقيمة مقاطع عبور الصمام F_c . أما الجداء $(\alpha_k \cdot F_c)$ فيمثل مقطع العبور القياسي للصمام. وهي القيمة التي تحدد ضياع الضغط في الصمامات باختلاف تصميمها.

من أجل استنتاج المعادلات الرياضية لتحديد ضياع الضغط في الصمام، تم اعتماد الفرضيات التالية:

1- اعتبار بارامترات الغاز (P, ρ, T) أمام صمام السحب وبعد صمام الطرد ثابتة.

2- عدم وجود فراغ ميت في الأسطوانة.

3- كثافة الغاز الموجود في الأسطوانة خلال شوط الامتصاص أو الطرد ثابتة.

معادلة التدفق للغاز عبر الصمام والأسطوانة بالنسبة لصمام الامتصاص هي:

$$C_c \cdot F_c = C_n \cdot F_n \cdot \varepsilon_k \quad (5)$$

حيث: F_n - مساحة المكبس،

C_n - السرعة اللحظية للمكبس وتعطى بالعلاقة التالية:

$$C_n = \frac{\pi}{2} C_m \left(\sin\varphi + \frac{\lambda}{2} \sin\varphi \right) \left[\frac{m}{sec} \right] \quad (6)$$

حيث: C_m - السرعة الوسطى للمكبس وتعطى بالعلاقة التالية:

$$C_m = \frac{S \cdot n}{30}$$

حيث: S - شوط المكبس ويقدر بالـ $[m]$.

n - عدد الدورات بالدقيقة.

φ - زاوية دوران العمود.

$\lambda = \frac{R}{L}$ - نسبة نصف قطر المرفق إلى طول ذراع التوصيل، حيث R نصف القطر (radius).

بحل المعادلات (4)، (5) و (6) يتم تحديد ضياع الضغط في صمام الامتصاص بالعلاقة التالية (11):

$$\Delta P_k = 1,232 \rho \left(\frac{C_m \cdot F_n}{\alpha_k \cdot F_c} \right)^2 \cdot \left(\sin\varphi + \frac{\lambda}{2} \sin\varphi \right)^2 \quad (7)$$

يمكن كتابة المعادلة بشكل لا بعدي بتقسيم طرفي المعادلة على الضغط أمام (قبل) الصمام P_B بالرمز

وللجداء $\alpha_k \cdot F_c = \emptyset$ عندها تصبح المعادلة بالشكل التالي:

$$X_B = 1,232 \frac{\rho_B}{P_B} \left(\frac{C_m \cdot F_n}{\emptyset} \right)^2 \cdot \left(\sin\varphi + \frac{\lambda}{2} \sin\varphi \right)^2 \quad (8)$$

المقدار $\frac{C_m \cdot F_n}{\phi}$ يمثل السرعة الوسطى (متوسط السرعة) الحدية أو الشريطية للغاز في الصمام منسوبة إلى مقطع عبور الصمام الحدي:

$$\phi = \alpha_k \cdot F_c$$

سنرمز للمقدار اللابيدي بـ:

$$\frac{\rho_B}{P_B} \left(\frac{C_m \cdot F_n}{\phi} \right)^2 = \frac{1}{W_B^2} \quad (9)$$

عندها المعادلات (7) و (8) تأخذ الشكل التالي:

$$\Delta P_{kB} = \frac{1,232}{W_B^2} \rho_B \cdot \left(\sin\varphi + \frac{\lambda}{2} \sin 2\varphi \right)^2 \quad (10)$$

$$X_B = \frac{1,232}{W_B^2} \cdot \left(\sin\varphi + \frac{\lambda}{2} \sin 2\varphi \right)^2 \quad (11)$$

معادلة استمرار التدفق خلال صمام الطرد تعطي بالعلاقة التالية:

$$C_c \cdot F_c = C_n \cdot F_n \quad (12)$$

بحل المعادلات (4) مع (6) و (12) يتم تحديد ضياع الضغط في صمام الطرد بالمعادلة التالية:

$$\Delta P_{kH} = 1,232 \frac{\rho_H}{\varepsilon_k^2} \cdot \left(\frac{C_m \cdot F_n}{\phi} \right)^2 \cdot \left(\sin\varphi + \frac{\lambda}{2} \sin 2\varphi \right)^2 \quad (13)$$

في المعادلة (13) كثافة الغاز قبل الصمام نفس كثافة الغاز في الأسطوانة خلال فترة الطرد (ρ_H)، وباعتبار أن حرارة الهواء في الأسطوانة قبل صمام الطرد تساوي حرارة الهواء بعده عنها يتم التعبير عن علاقة كثافة الهواء في الأسطوانة وخلف صمام الطرد بالعلاقة التالية:

$$\frac{\rho_H}{P_H} = \frac{P_H + \Delta P_{kH}}{P_H} = |1 + X_H| \quad (14)$$

حيث P_H و ρ_H ضغط وكثافة الغاز بعد صمام الطرد:

$$X_H = \frac{\Delta P_k}{\rho_H}$$

معادلة تمدد الهواء ε_k يمكن تحديده بشكل تقريبي بالعلاقة التالية:

$$\varepsilon_k = \sqrt{1 - \frac{\Delta P_k}{\rho_H + \Delta P_k}} = \sqrt{\frac{1}{1 + X_H}} \quad (15)$$

وكذلك بالنسبة لصمام الامتصاص، وهذا يعني أن:

$$\frac{\rho_H}{P_H} \cdot \left(\frac{C_m \cdot F_n}{\phi} \right)^2 = \frac{1}{W_H^2} \quad (16)$$

من المعادلة (13) مع الأخذ بعين الاعتبار المعادلات (14) و (15) و (16) نجد أن:

$$\Delta P_{kH} = \frac{1,232}{W_H^2} P_H (1 + X_H)^2 \cdot \left(\sin\varphi + \frac{\lambda}{2} \sin 2\varphi \right)^2 \quad (17)$$

يمكن كتابة المعادلة السابقة بشكل لابعدي كما يلي:

$$X_H = \frac{1,232}{W_H^2} (1 + X_H)^2 \cdot \left(\sin\varphi + \frac{\lambda}{2} \sin 2\varphi \right)^2 \quad (18)$$

وهكذا نجد أن قيمة المقدار اللابعدي W في المعادلات (10)، (11)، (17) و (18) يحدد ضياع الضغط في الصمام كتابع لنظام عمله (ρ, P, Cm) ونسبة أبعاد المكبس والأسطوانة $(F_n \cdot F_c)$ ، ومع الخواص الغازوديناميكية للصمام (α_k) .

الخطوط البيانية $X = f(\varphi)$ ستكون متطابقة في الحالة التي يكون فيها المقدار اللابعدي للتركيب W ثابتاً أي أن $(W = const)$ ، وذلك دون أن يكون له علاقة بتركيب أو تصميم الصمامات.

تحليل المعادلات (17) و (18) وقيمة المقدار اللابعدي W تبين أن ضياع الضغط يتزايد طردياً وبشكل مباشر مع مربع جداء السرعة الوسطية للمكبس بمساحته $(C_m \cdot F_n)$ ، ويتناسب عكساً مع مربع مقطع العبور الحدي للصمام $\emptyset = \alpha_k \cdot F_c$.

وهكذا للحفاظ على ضياعات ضغط متساوية للضغط في الصمام عند سرعات منخفضة وسرعات عالية للمكبس يجب زيادة قيمة \emptyset في نفس العلاقات التي تتزايد فيها سرعة المكبس.

إن نتيجة تقييم الصمامات الحلقية والمستخدمة بنجاح في الضواغط ذات الأشواط البطيئة لا تسمح بزيادة مقاطع العبور للصمام بشكل مباشر أو طردي مع زادة سرعة المكبس. ولذلك تعتبر هذه الصمامات السبب في الضياعات الكبيرة للطاقة في الضواغط ذات الأشواط السريعة [1].

عند تصميم الصمامات تكون قيم البارامترات المحسوبة بواسطة، المعادلات (10)، (11)، (17) و (18)، عادة معلومة ومعروفة باستثناء قيمة معامل تدفق الصمام α_k ، والذي يتم تحديده تجريبياً عن طريق النفخ أو الكسح للصمامات في تيار ثابت (الكسح الستاتيكي). وهو يتعلق فقط بالعلاقة بين أبعاد قنوات العبور للصمام وبشكلها ونظافة سطوح الجدران، ولا يتعلق بالقيمة المطلقة لممرات الصمام.

بارامترات الغاز وسرعة التيار ومعامل التدفق تكون واحدة لجميع الصمامات ذات التصميم الهندسية المتشابهة، ومن أجل الصمام قيد الدراسة معامل التدفق يتغير فقط بحسب مكان توضع الصفيحة، أي برفع الصفيحة للأعلى. قيمة معامل التدفق خلال زمن الفتح الكامل للصمام ستكون ثابتة وغير متعلقة بزواوية دوران العمود. وهكذا لن يتغير ارتفاع صعوده؛ المعيار W يبقى أيضاً ثابتاً ولا يتعلق بـ φ ، وخطوط ضياع الضغط $X = f(\varphi)$ تتصف بقيمة محددة $(W = const)$.

من خلال هبوط أو صعود الصفيحة بالعلاقة مع ارتفاع توضع الصفيحة فإن مقطع شق الصمام يتغير مع زاوية دوران العمود، معامل تدفق الصمام أيضاً يتغير، وكذلك المعيار W . لو كان لدينا علاقة ارتفاع توضع الصفيحة مع زاوية دوران العمود φ ، وذلك لفترات الصعود والهبوط للصفائح، وأيضاً علاقة معاملات التدفق كتابع ارتفاع الصعود للصفائح $\alpha_k = f(h)$. عندها لكان من الممكن بحل هاتين المعادلتين الحصول على $\alpha_k = f(\varphi)$ وادخالها في المعادلات (10)، (11)، (17) و (18). عند ذلك يمكن بواسطة بهذه المعادلات حساب ضياع الضغط في الصمام وكذلك فترة رفع وتخفيض الصفيحة. لكن العلاقة التي يتم التوصل إليها $h = f(\varphi)$ لفترة رفع أو هبوط الصفيحة هي عبارة عن

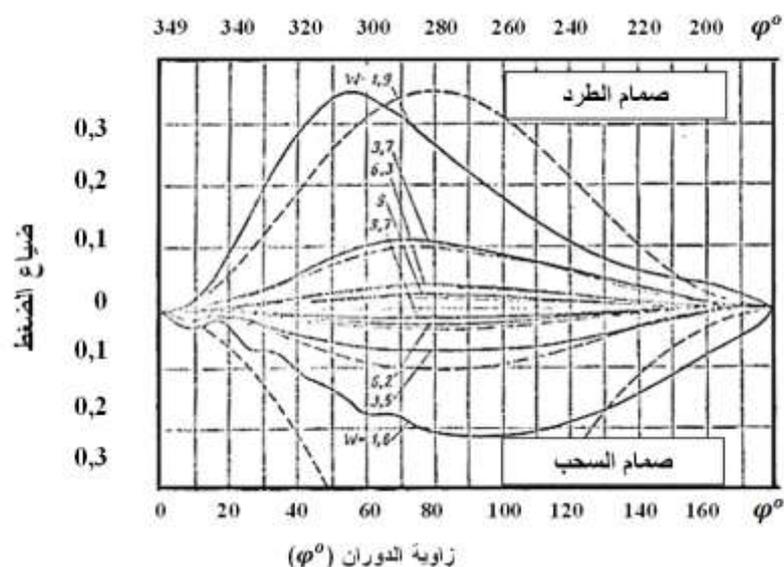
مسألة صعبة معقدة جداً، والتي لم يتم حلها بهذا الشكل حيث كان من الممكن حل هذه المعادلات بإحدى طرق التكامل العددي التقريبية.

النتائج والمناقشة:

لا يوجد ضرورة عملية لتحديد ضياع الضغط في الصمام لأن زمن الفتح الكامل للصمام يشغل جزءاً كبيراً من شوط الامتصاص أو شوط الحقن. معامل تدفق الصمام لهذه الفترة، كما ظهر سابقاً، ستكون قيمته ثابتة ونتيجة ذلك ستكون قيمة W أيضاً ثابتة، كما هو مبين في الشكل (1).

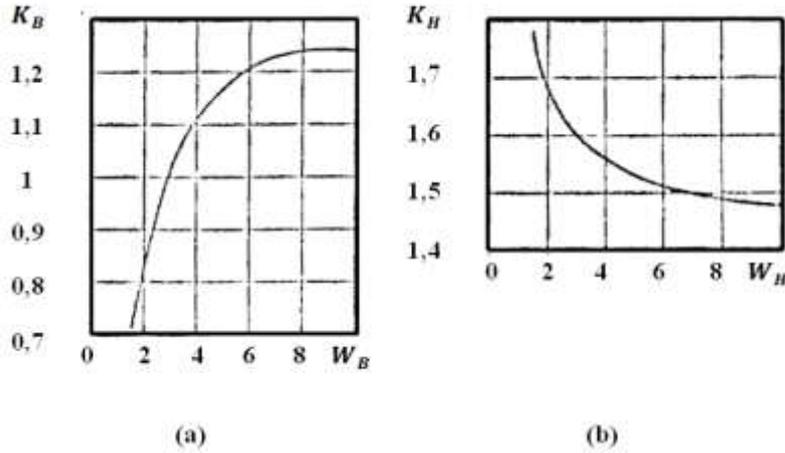
معامل التدفق للصمام في حالة الفتح يتم تحديده كما رأينا بالنفخ الستاتيكي للصمام، وبالمعادلات (10)، (11)، أو (17) و (18)، حيث يمكن للمصمم حساب ورسم مخطط ضياع الضغط في الصمام كتابع لزاوية الدوران $X = f(\varphi)$ أو $\Delta P_k = f(\varphi)$ ، وذلك في حالة أن الصمام مفتوح بشكل كامل. المعادلات (10) و (17) تم اختيارها وتدقيقها تجريبياً عن طريق عرض داخل الأسطوانة للضاغط مع صمامات مفتوحة بدون صفائح. عند ذلك الضغط أو التخلخل في الأسطوانة سيحدث فقط على حساب المقاومة الناتجة أو المتولدة في حالة الصمام المفتوح.

يُظهر الشكل (1) المنحنيات الحسابية والتجريبية لهبوط الضغط في صمامات السحب والطرء المفتوحة عند قيم مختلفة لـ W ، حيث تتغير قيمة W كنتيجة لتغير عدد دورات الضاغط، وأيضاً بسبب تغير قيمة أو مقدار مقطع العبور للصمام. كما يوضح الشكل (1) أن المنحنيات الحسابية لضياع الضغط في صمام السحب تعطي قيمة عالية، بينما تعطي في حالة صمام الطرد قيمة منخفضة لـ ΔP_k . وذلك عكس المنحنيات التجريبية، حيث أنه من أجل أغلب الحالات المعروفة التي تكون بها W حوالي (3÷10). تعكس المنحنيات الحسابية تعكس بشكل صحيح طبيعة تغير ΔP_k كتابع لـ φ وقيمة ΔP_k لا تختلف بشكل كبير عن القيم التجريبية.



الشكل (1): يبين المنحنيات الحسابية والتجريبية لضياع الضغط في صمامات السحب والطرء عند قيم مختلفة لـ W .

يبين الشكل (2.a) المنحني البياني لمعامل التصحيح K_0 لتصحيح المعادلات (10) و (11) المعينة بنتائج القيم التجريبية.



الشكل (2): المنحني البياني لمعامل التصحيح K_0 لمعادلة حساب ضياع الضغط في الصمامات: (a) تمثيل معامل التصحيح K_B لصمام الامتصاص، (b) تمثيل معامل التصحيح K_H لصمام الطرد.

تأخذ المعادلات (10) و (11)، المتعلقة بمعامل التصحيح، الشكل التالي:

$$\Delta P_{KB} = \frac{K_B}{W_B^2} P_B \cdot \left(\sin\varphi + \frac{\lambda}{2} \sin 2\varphi \right)^2 \quad (19)$$

$$\chi_B = \frac{K_B}{W_B^2} \cdot \left(\sin\varphi + \frac{\lambda}{2} \sin 2\varphi \right)^2 \quad (20)$$

في حالة صمام الطرد يكون للمنحنيات $\Delta P_{KH} = f(\varphi)$ أهمية عملية ليس على كامل شوط (عبور) الصمام وإنما فقط على الجزء أو القطاع الذي يحدث فيه الطرد فعلياً. وهذا يوافق، في الشكل (1)، المنحنيات الفرعية $\Delta P_k = f(\varphi)$ الواقعة بين قيمتها العظمى والقيمة $\varphi = 360^\circ$ ، كما هو مبين في الشكل (1)؛ ضمن هذا المجال يكون للمنحنيات الفرعية $\Delta P_k = f(\varphi)$ قيم أقل من القيم التجريبية.

يبين الشكل (2.b) منحنى معامل التصحيح K_H لتصحيح المعادلات (17) و (18) وذلك بنتائج التجربة على القطاع من القيمة العظمى وحتى $\varphi = 360^\circ$. حيث تأخذ المعادلات (17) و (18) تأخذ الشكل التالي:

$$\Delta P_{KH} = \frac{K_H}{W_H^2} P_H \cdot \left(\sin\varphi + \frac{\lambda}{2} \sin 2\varphi \right)^2 \quad (21)$$

$$\chi_H = \frac{K_H}{W_H^2} P_H \cdot \left(\sin\varphi + \frac{\lambda}{2} \sin 2\varphi \right)^2 \quad (22)$$

وبنتيجة التحويل والمعالجة لصمام السحب وصمام الطرد، فإن المعادلات التي يتم الحصول عليها تأخذ الشكل التالي:

$$\Delta P_K = \frac{K}{W^2} P \cdot \left(\sin\varphi + \frac{\lambda}{2} \sin 2\varphi \right)^2 \quad (23)$$

$$\chi = \frac{K}{W^2} \cdot \left(\sin\varphi + \frac{\lambda}{2} \sin 2\varphi \right)^2 \quad (24)$$

حيث: K معامل التصحيح والذي يتم الحصول عليه من الشكل (2)،

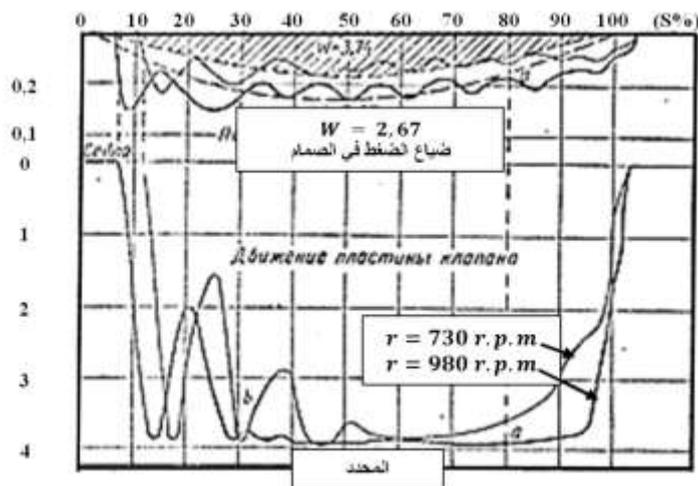
P الضغط أمام أو قبل صمام الامتصاص المراد حساب ضياع الضغط فيه.

تم اختيار المعادلة (23) تجريبياً للحصول على المخططات البيانية لضياع الضغط في الصمامات الواقعة تحت الحمل في ظروف التشغيل.

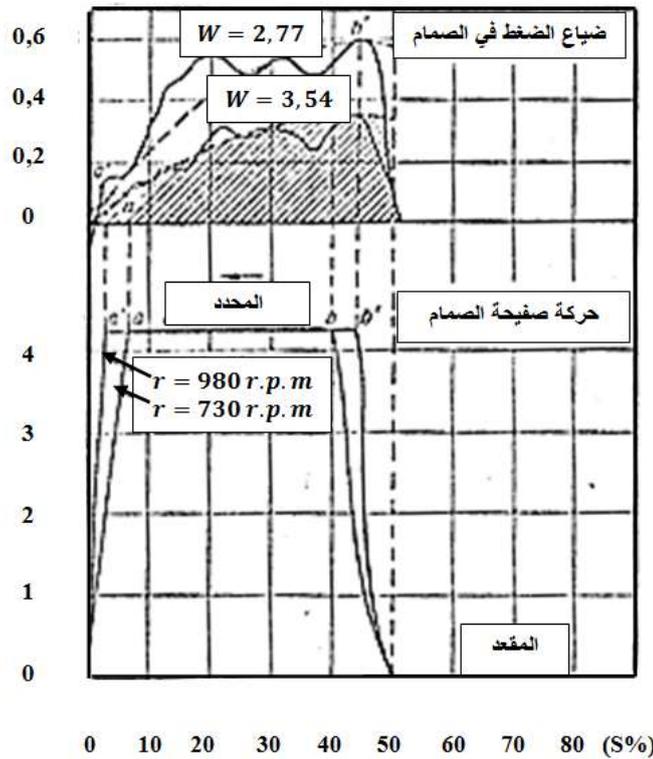
يُظهر الشكلان (3) و (4) منحنى ضياع الضغط في كل من صمامات السحب والطرء للمرحلة الأولى للضاغط $(K_c \exists -3M)$ مأخوذة عند ضغط طرد المرحلة (1) $(2,6 \text{ atm})$ ، وعدد دورات 730 و 80 دورة في الدقيقة $(r.p.m)$ ، وهذا يطابق قيمتين لكل من W_B و W_H :

$$W_B = (2,67 - 3,74); \quad W_H = (2,77 - 3,54)$$

تمثل الخطوط المنقطة ضياع الضغط للصمام خلال الفتح الكامل، والتي يتم الحصول عليها من المعادلة (23). يوجد في الجزء الأسفل من الشكل مخططات حركة الصفائح المأخوذة بنفس الوقت مع منحنيات ضياع الضغط في الصمامات. كما هو مبين في الشكلين (3) و (4) الأجزاء أو القطاعات (a-b) عندما يكون الصمام مفتوح بشكل كامل. حيث يلاحظ التطابق والتوافق الجيد بين المنحنيات الحسابية والمنحنيات التجريبية.

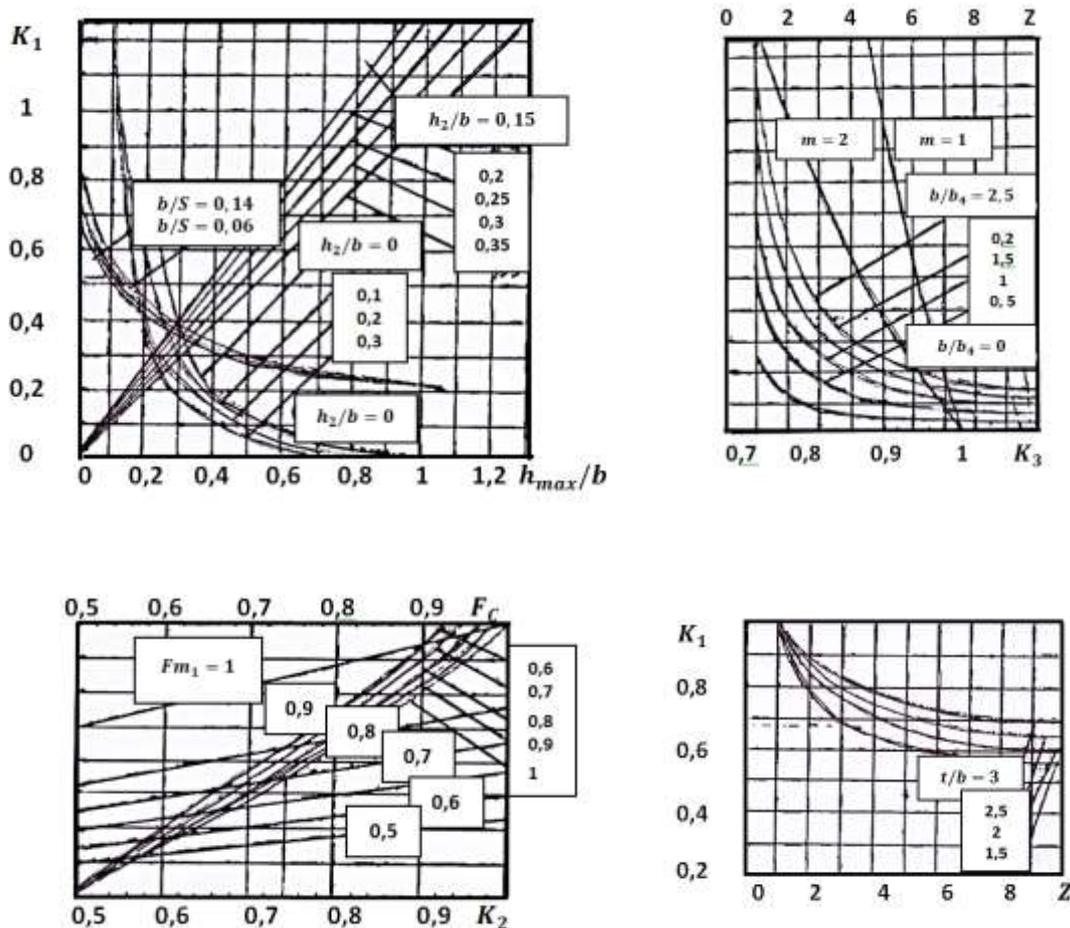


الشكل (3): منحنيات ضياع الضغط الحسابية والتجريبية.



الشكل (4): منحنيات ضياع الضغط الحسابية والتجريبية للضاغط بمرحلة واحدة بضغط (2.6 atm) وعند عدد دورات ($r = 730 \text{ r.p.m}$ & $r = 980 \text{ r.p.m}$).

المنحنيات الحسابية تتطابق وتتوافق بشكل جيد مع المنحنيات التجريبية، كذلك نبين على تلك الأجزاء ارتفاع الصفائح وهبوطها، لكن منحنياتها غير متطابقة. هكذا أثناء هبوط الصفيحة وعندما يتناقص ارتفاع توضع الصفيحة، فإن معامل التدفق أيضاً يتناقص، وضياع الضغط في الصمام يصبح أكبر منه في الحالة التي يكون فيها الصمام مفتوحاً. يبين الشكلين (3) و (4) منحنيات ضياع الضغط التي تم رسمها من أجل شوط المكبس $\Delta P_k = f(S)$ حيث نرى أن فترات رفع وهبوط الصفائح تأخذ قيمة صغيرة جداً من الشوط مقارنة مع حالة الفتح الكامل للصمام. نتيجة لذلك، فإن الجزء الأكبر من المنحنيات الحسابية لشوط المكبس تعكس بشكل صحيح وفعلي الضياعات الحقيقية في الصمامات. إن مساحة المخططات في الإحداثيات $\Delta P_k - S$ تمثل العمل الضائع في الصمامات. إن مقارنة المعطيات التحليلية والتجريبية عن ضياع الطاقة في الشكلين (3) و (4) تظهر أن حساب ضياع الضغط في الصمام وفق المعادلة (23)، مع افتراض أن الصمام مفتوح بشكل كامل، تعطي قيمة أخفض للضياعات في حدود حتى (10%). كذلك تبين أنه من أجل تحديد ضياع الضغط في الصمام باستخدام المعادلات المعطاة أعلاه من الضروري معرفة معامل التدفق للصمام، والذي يمكن تحديده عن طريق نفخ وكسح الصمام في تيار ثابت. يمكن تحديد معامل التدفق للصمام المدروس أو المصمم بالعلاقة مع أبعاد قنواته عن طريق مخطط بياني (نوموغراما)، كما هو موضح في الشكل (5)، والذي يتم إنشاؤه على أساس بحث ودراسة عناصر الصمام في تيار مستقر (بالكسح الستاتيكي) ساكن، والهدف من النوموغرام هو شرح وإظهار تأثير علاقات مختلف الأبعاد لأجزاء عبور الصمام على معامل تدفقه [12].



الشكل (5): معامل التدفق، مخطط بياني (نوموغراما) لتحديد معامل التدفق للصلمام الفجوي والحلقي.

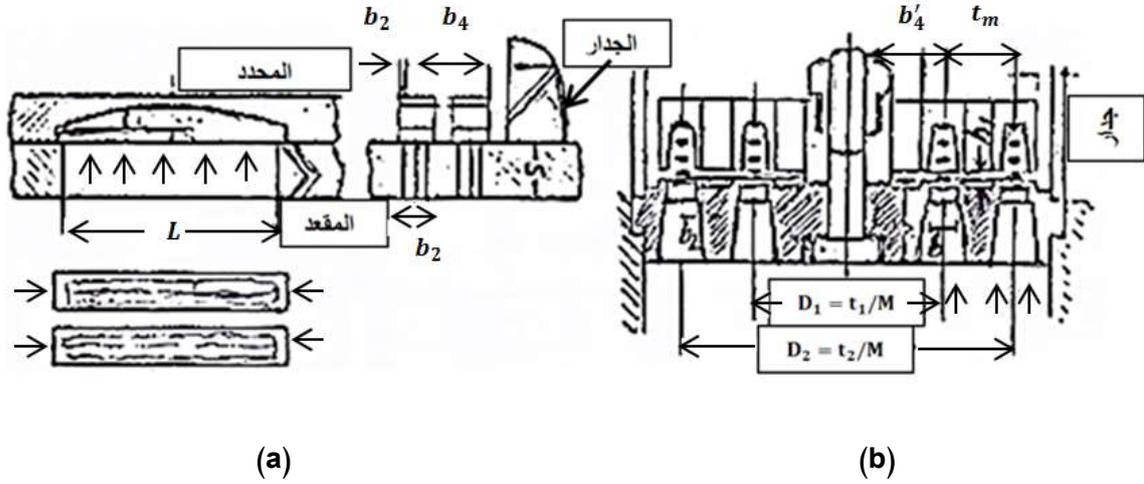
إن الدراسة التي تم إنجازها مع الأخذ بعين الاعتبار نظرية التشابه شملت مساحة واسعة من العلاقات الممكنة للأبعاد المعطاة. يعطي النوموغرام إمكانية حساب معاملات التدفق للصلمامات الفجوية والحلقية بمقاسات مختلفة، وذلك بالعلامة مع القيم اللابعدية:

$$\frac{h_{max}}{b}, \frac{h_1}{b}, \frac{h_2}{b}, \frac{b}{S}, f_c, f_\omega, f_o, Z, \frac{b^4}{b}, \frac{t}{b}, m$$

إن دقة وصحة الحسابات بواسطة النوموغرام تم تدقيقها والتأكد منها عن طريق القيم التجريبية التي تم الحصول عليها لمعادلات تدفق الصمامات، حيث تم أخذ 12 نموذج من الأبعاد المختلفة للفجوية وأحادي الحلقات وثلاثي الحلقات. إن معامل التدفق للصلمام الحلقي تم تحديده كجاء أربعة معاملات، والتي تقع على النوموغرام رقم 1، 2، 3، 4 كما هو مبين في الشكل (5).

$$\alpha_K = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4$$

أما معامل التدفق للصمام الفجوي يتم تحديده كجداء معاملين اثنين، واللذين يقعان على النوموغرام رقم (1) و (4)، كما هو مبين في الشكل (5). أما طريقة إيجاد العوامل K_1 ، K_2 ، K_3 ، و K_4 فيتم تحديدها من النوموغرامات الأربعة المنقطة. تظهر رموز القيم الداخلة في النوموغرام على مخططات الصمامات الفجوية والحلقية في الشكل (6a) والشكل (6b).



الشكل (6): مخططات الصمامات الفجوية والحلقية.

إن القيم غير المقروءة وغير الظاهرة في الأشكال تأخذ القيم أو المعاني التالية:
عدد الصفائح، Z

m عدد الجدران المحيطة بالصمام، وهي تأخذ القيم $m = 1$ أو $m = 2$ ،

والمحدد، والتي يمكن إيجادها كعلاقة مساحة العبور المحصورة بالحواجز والمحددات إلى مساحة العبور بدون هذه الحواجز أو العتبات:

$$f = \frac{F}{F'}$$

حيث F' مساحة العبور بدون محدد أو عتبة.

إن معامل التدفق المحدد بالنوموغرام والمنسوب إلى مساحة مقطع العبور للمحدد بدون اعتبار أو حساب الحواجز أو المحددات أو بوجود المحددات، تُعطى قيمة مقطع عبور الصمام الحدي أو القياسي بالعلاقة:

$$\Phi = \alpha_k \cdot F_c$$

أي في العلاقات المعطاة أعلاه يمكن إيجاد مقطع العبور الحدي للصمام كحاصل ضرب معامل التدفق في مقطع العبور لمحدد الصمام دون الأخذ بعين الاعتبار الحواجز والمحددات.

الطريقة المعطاة أعلاه لحساب ضياع الضغط في الصمامات يمكن أن تُستخدم بنجاح لتحديد ضياع الضغط في الخطوط متعددة المراحل البيئية، وفي الأجهزة، في هذه الحالة، يتم إدخال إلى المعادلة (23) معاملات التدفق للأجزاء أو الأقسام المختلفة بشكل منفصل كل على حدى في الخطوط والأجهزة التي يمر من خلالها الغاز. يمكن تحديد معاملات التدفق على أساس معاملات المقاومة الموضعية، وذلك من أجل القطاعات والأجزاء المحددة من الأنابيب والأجهزة (قبل الدخول والخروج من سعة أو خزان في أنبوب محدد الطول، كوع أو النفاث إلى آخره...). إن القيم الموافقة لهذه الحالات موجودة بكثرة في المراجع والدراسات وهي دقيقة وذات موثوقية.

يتم تحديد معادل التدفق الذي يجب إدخاله إلى المعادلة (23) بالمعادلة التالية:

$$\alpha_{\mu} = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_{\mu}}}$$

من أجل الحصول على منحنى ضياع الضغط بين مرحلتين متتاليتين يتم جمع منحنيات ضياع الضغط للقطاعات المختلفة لكل جزء من المقاومات الموضعية والمتوضعة في طريق مرور الغاز من مرحلة الضغط المنخفض إلى مرحلة ذات ضغط أعلى.

• مثال توضيحي لتبيان كيفية تحديد ضياع الضغط في الصمامات:

من أجل توضيح كيفية تحديد ضياع الضغط في الصمامات بالطريقة المقترحة نطبق هذه الطريقة على الصمام الفجوي في حالتي السحب والطرء.

بمرحلة واحدة وبمرحلتين لضغط مكبسي يمتلك البارامترات التالية:

$$\text{الإنتاجية: } V = 10 \text{ m}^3/\text{sec} \quad \text{عدد دورات العمود في الدقيقة: (730 r.p.m)}$$

$$\text{شوط المكبس: } S = 200 \text{ m.m} \quad \text{قطر الأسطوانة للمرحلة الأولى: } D_1 =$$

$$350 \text{ m.m}$$

$$\text{الاستطاعة المستهلكة: } N = 65 \text{ kWatt}$$

إن صمامات السحب والطرء للمرحلة الأولى الموضحة في الشكل [6, (a,b)] لها الأبعاد التالية:

$$\text{عدد الأسطوانات } Z = 16$$

$$L = 120 \text{ m.m}$$

$$h_1 = 0,65 \text{ m.m}$$

$$S = 25 \text{ m.m}$$

$$h_2 = 4 \text{ m.m}$$

$$b = 8 \text{ m.m}$$

$$b = 2 \text{ m.m}$$

$$t = 20 \text{ m.m}$$

القيمة النسبية للفراغ الميت في أسطوانة المرحلة الأولى: $\varepsilon_M = 0,06$

ضغط سحب المرحلة الأولى: (ضغط جوي) $P_B = 1 \text{ atm}$

درجة حرارة الامتصاص للمرحلة الأولى: $t_{BC} = 20 \text{ C}^o$

كثافة الهواء قبل صمام الامتصاص للمرحلة الأولى:

$$\rho_B = \frac{\gamma_0 T_0}{g(273 + t_{BC})} = \frac{1,293 \times 273}{9,81(273 + 20)} = 0,123 \left[\frac{\text{kg. sec}^2}{\text{m}^4} \right]$$

السرعة المتوسطة للمكبس:

$$C_m = \frac{S.n}{30} = \frac{0,2 \times 730}{30} = 4,86 \left[\frac{\text{m}}{\text{sec}} \right]$$

مساحة المكبس:

$$F_n = \frac{3,14 \times (0,35)^2}{4} = 0,0961 \text{ m}^2$$

مقعد عبور مقعد الصمام:

$$F_c = 0,152 \text{ m}^2$$

معامل التدفق للصمام المفتوح يتم إيجاده من الشكل (5) وذلك بكتابة ما يلي:

$$\frac{h_{max}}{b} = \frac{4 + 0,65}{8} = 0,58 \quad \frac{h_2}{b} = \frac{2}{8} = 0,25$$

$$\frac{b}{S} = \frac{8}{25} = 0,32 \quad \frac{t}{b} = \frac{20}{8} = 2,5 \quad \frac{h_1}{b} = \frac{0,65}{8} = 0,081$$

من النوموغرام رقم (1) المبين في الشكل (5) يتم تحديد المعامل $K_1 = 0,58$ ، ومن النوموغرام رقم (4) المبين في الشكل (5) يتم تحديد المعامل $K_4 = 0,62$ ، وذلك عند عدد صفائح $Z = 16$ ، والذي يساوي K_4 عند عدد صفائح يساوي $Z = 10$. هذا يعني من أجل عدد صفائح أكثر من 10 الخطوط على النوموغرام رقم (4) تكون تقريباً أفقية، معامل تدفق الصمام سيكون:

$$\alpha_K = K_1 \cdot K_4 = 0,58 \cdot 0,62 = 0,36$$

مقطع عبور الصمام الحدي أو القياسي:

$$\phi = \alpha_K \cdot F_c = 0,36 \cdot 0,0152 = 0,00548 \text{ m}^2$$

$$W_B^2 = \frac{P_B}{\rho_B} \left(\frac{\phi}{C_m \cdot F_n} \right)^2 = \frac{100000}{0,125} \left(\frac{0,00548}{4,86 \cdot 0,0961} \right)^2 = 11,3 \rightarrow W_B = 3,36$$

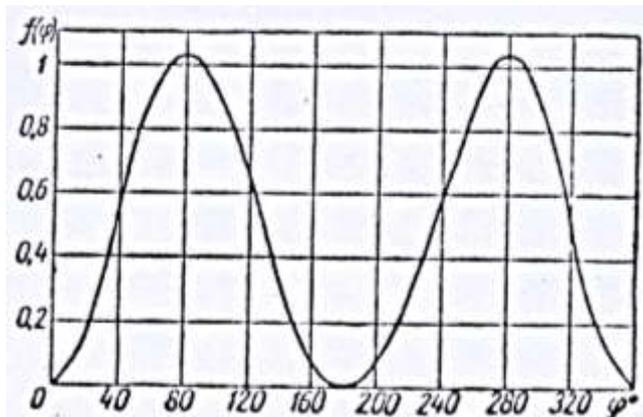
معامل التصحيح يؤخذ من الشكل (2a) عند $W_B = 3,36$ حيث نجد أن $K_B = 1,055$.

ضياع العمل في صمام السحب يتم تحديده بالمعادلة (23):

$$\Delta P_{KB} = \frac{K_B}{W_B^2} \rho_B \cdot \left(\sin\varphi + \frac{\lambda}{2} \sin 2\varphi \right)^2 = \frac{1,055}{11,3} \rho_B \cdot \left(\sin\varphi + \frac{\lambda}{2} \sin 2\varphi \right)^2$$

$$\Delta P_{KB} = 0,0933 \cdot \left(\sin\varphi + \frac{\lambda}{2} \sin 2\varphi \right)^2 \quad (*)$$

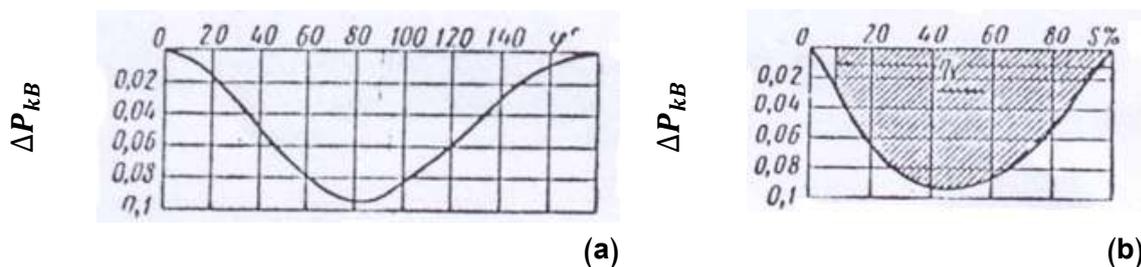
وحسب المعادلة (*) يتم رسم خط تغير ضياع الضغط في الصمام بالعلاقة أو نسبة إلى زاوية دوران عمود المرفق الشكل (8a). أما المقدار $f(\varphi) = \sin\varphi + \frac{\lambda}{2} \sin 2\varphi$ يؤخذ من المخطط أو المنحني المبين في الشكل (7).



زاوية دوران العمود

الشكل (7): يبين المخطط الحسابي.

يبين الشكل (8b) منحنى ضياع الضغط حيث تم رسمه بالعلامة مع شوط المكبس.



الشكل (8): يبين مخطط ضياع الضغط في صمام الامتصاص.

بداية فتح صمام الامتصاص يتم تحديده اعتماداً على المردود الحجمي الفعلي والذي تم حسابه بالطريقة التقليدية حيث في هذه الحالة $\eta_0 = 0,928$.

تمثل المساحة المباشرة المحددة بخطوط $\Delta P_K = f(S)$ على الشكل (8b) العمل الضائع في صمام الامتصاص. هذه المساحة تساوي عند قياس عبور الشوط: $m_p = 0,01 \left(\frac{kg}{cm^2 cm} \right)$ وشوط المكبس: $m_s = 0,01 \left(\frac{m}{cm} \right)$ بلغت $F_{und} = 139 (cm^2)$

وتكون الاستطاعة المستهلكة للتغلب على مقاومة صمام الامتصاص تساوي:

$$N_B = 1,634 \cdot m_p \cdot m_s \cdot F_{und} \cdot F_n \cdot n = 1,634 \cdot 0,01 \cdot 0,01 \cdot 139 \cdot 0,0961 \cdot 730 = 1,6 \text{ kWatt}$$

• صمام الطرد:

$$P_H = 3 \text{ atm} \quad \text{ضغط الطرد للمرحلة الأولى:}$$

$$t_H = 155 \text{ C}^o \quad \text{درجة حرارة الطرد للمرحلة الأولى:}$$

$$\rho_H = \frac{1,293 \cdot 273,3}{9,81(273 + 155)} = 0,25 \left[\frac{kg \cdot sec^2}{m^4} \right]$$

إن قيم F_C و ϕ لها نفس قيم صمام السحب:

$$W_H^2 = \frac{P_H}{\rho_H} = \left(\frac{\phi}{C_m \cdot F_n} \right)^2 = \frac{30000}{0,25} \left(\frac{0,00548}{4,86 \cdot 0,0961} \right)^2 = 16,6 \rightarrow W_H = 4,07$$

معامل التصحيح K_H يؤخذ من الشكل (2b) عند القيم: $W_H = 4,07$ و $K_H = 1,555$

ضياع الضغط في الصمام يتحدد بالمعادلة (23):

$$\begin{aligned} \Delta P_{kH} &= \frac{K_H}{W_H^2} \rho_H \cdot \left(\sin \phi + \frac{\lambda}{2} \sin 2\phi \right)^2 = \frac{1,055}{16,6} \cdot 3 \cdot \left(\sin \phi + \frac{\lambda}{2} \sin 2\phi \right)^2 \\ &= 0,281 \cdot \left(\sin \phi + \frac{\lambda}{2} \sin 2\phi \right)^2 \\ \Delta P_{kH} &= 0,281 \cdot \left(\sin \phi + \frac{\lambda}{2} \sin 2\phi \right)^2 \quad (**) \end{aligned}$$

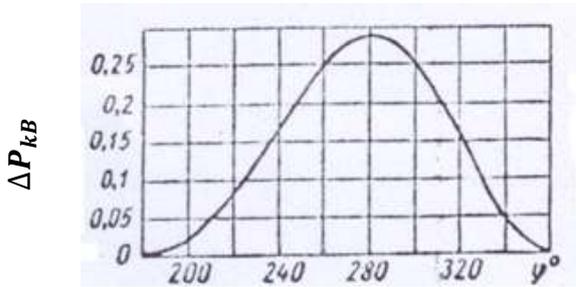
يتم الاعتماد على المعادلة (***) والشكل (7) إنشاء منحنى ضياع الضغط في صمام الطرد، وذلك بالعلاقة

مع ϕ ، الشكل (9a). إن الشكل (9b) يبين منحنى ضياع الضغط ΔP_{kH} كتابع لشوط المكبس $\Delta P_{kH} = f(S)$. يتم إيجاد لحظة أو بداية الطرد بطريقة حسابية على أساس العلاقات الترموديناميكية لعملية الانضغاط

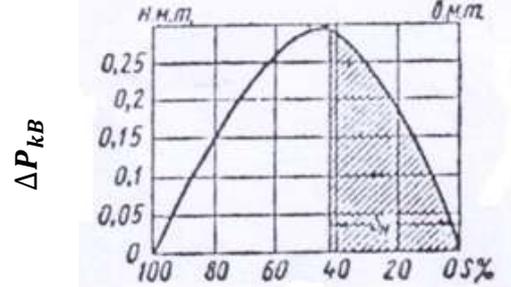
البوليتروبي:

$$S_H = \frac{100 + \varepsilon_\mu \%}{(P_H/P_B)^{1/m}} - \varepsilon_\mu \%$$

حيث m دليل الانضغاط البوليتروبي.



(a)



(b)

الشكل (9): يبين مخطط ضياع الضغط في صمام الطرد.

في الشكل، إن المساحة المباشرة والمحددة بالخطوط $\Delta P_k = f(S)$ تمثل العمل الضائع في صمام الضغط

حيث تبلغ هذه المساحة عند مقياس: $m_p = 0,025 \left(\frac{kg}{cm^2 cm}\right)$ و $m_s = 0,01 \left(\frac{m}{sec}\right)$ و $F_{und} = 74 (cm^2)$ الاستطاعة المصروفة للتغلب على مقاومة صمام الطرد تساوي:

$$N_i = 1,634 \cdot m_p \cdot m_s \cdot F_{und} \cdot F_n \cdot n = 1,634 \cdot 0,025 \cdot 0,01 \cdot 74 \cdot 0,0961 \cdot 730 = 1,7 \text{ kWatt}$$

السرعة المتوسطة للهواء في المقعد:

$$C_c = \frac{C_m \cdot F_n}{F_c} = \frac{4,86 \cdot 0,0961}{0,0103} = 30,7 \left[\frac{m}{sec}\right]$$

السرعة المتوسطة للهواء من نفس الصمام:

$$C_c = \frac{C_m \cdot F_n}{F} = \frac{4,86 \cdot 0,0961}{0,0105} = 44,4 \left[\frac{m}{sec}\right]$$

إن النتائج التي تم الحصول عليها لضياع الضغط تسمح بتقييم اقتصادية عمل الصمامات وتعطي مجال لإمكانية تطويرها وتحسينها مستقبلاً. وذلك عن طريق التحكم بالبارامترات التي تؤثر على عمل الصمام كالمقاومة، الغاز وديناميكية مرور الغاز، وتغير مقطع الصمام، وبالتالي معامل تدفقه لكتلة الصفيحة وسرعة المكبس حيث وجدنا أن الضياعات تتناسب طردياً مع مربع جداء السرعة الوسطية للمكبس في مساحة المكبس، وطردياً مع مربع مساحة مقطع الصمام الحدي أو القياسي $\Phi = \alpha_K \cdot F_c$.

الاستنتاجات والتوصيات:

إن الطريقة التي تم الحصول بواسطتها على حساب ضياع الضغط في الصمامات تسمح بتقييم اقتصادية عمل الصمامات، وتفسح المجال لإمكانية تطويرها وتحسينها مستقبلاً. وأخيراً يمكن القول إن دراسة أي بارامتر من البارامترات المذكورة أعلاه يشكل خطوة علمية في هذا المجال.

المراجع

1. Б. С. ФОРУНА ПоршНЕВЫЕ КОМПРЕССОРЫ МашиМОСТРОЕМОр, ЛеНЧНГР 1987.
2. Френкель М. И. ПоршНеВне КОМпрессоры МашиНЗ 1949.
3. Пуромов И. Б. М. Н. С. Здалинский В. в “ИсЛеДОВВаНИЕ ДИНаМики СаМОДеЙСТВующего КлапНа ПОРшНеВОГО КОМПРЕссора” ЛеНЧНГР 1987.
4. C. J. Deachamps, R. T. S. Ferreira, A. T. Prata. *The effective flow and force areas in compressor valves*. Proc of 1988 Compressor Engineering Conference at Purdue.
5. Захаренко. С. Е, Красчоту ПРОТОЧЕК ГаЗа ЧеРеЗ шЛи ТруДы ЛПИ, N2, 1953.
6. Полевоё. А. А, АВТОМАТНЗаучЯ ХОЛОДИЛЬНЫХ УСТАНОВОК И Систем КОНДИчироваНия ВОЗДуха. Санктпетербург, ПроФессия, 2012.
7. J. Sustek, Ruman and P. Tomlein. *Pressure losses in the refrigerant flow of CO₂ Through valve plate in piston compressor*. Compressors, 2013.
8. Ладин Н.В, Пегухов. В, А, Корояев В.В. Судовые Изогермические Конгейнеры. Учебное Пособие. Санкт – Петербург, Гмаим, аду С.О. Макрова, 2015.
9. Evaluating true horse power and CFM Ratings of Air compressors.
10. Air compressor basics: positive displacement versus dynamic compression. Retrieved 2017 – Via the 5th Utility.
11. Уравнения Подобного Вида Были Применены Ранее Для Расчта Пружинем. В. Е. УыДзик и иозльсон “ХолоДильные Мошины и аппараты”.
12. Т. Ф. Коидратъевой “ИеслеДование Полосовых самопру ЖинЯщих Клапанов Поршневы Компрессоров”.