

## دراسة الحركة الديناميكية لصفحة الصمامات مستقيمة الجريان باستخدام طرق الدالات الإحداثية من نظام توزع البارامترات

د. منى اسبر<sup>(1)</sup>

(تاريخ الإيداع 13 / 1 / 2019. قُبل للنشر في 24 / 4 / 2019)

### □ ملخص □

يتم في هذا البحث دراسة الحركة الديناميكية لصفحة الصمامات مستقيمة الجريان باستخدام طرق الدالات الإحداثية واعتبار الصفحة نظام له أكثر من درجة حرية (بارامترات موزعة). تمّ في هذا البحث وضع معادلات الحركة وحساب سعة الاهتزازات، كما تم تقييم الظواهر الناتجة عن تأثير الاهتزازات الأكثر سعة، وذلك في شروط العمل الفعلية. كما تمّ تحديد سرعة التدفق للصفحة على المحدد. وتمت مقارنة النتائج مع نتائج محسوبة بطرق أخرى.

**الكلمات المفتاحية:** الحركة الديناميكية، صمامات مستقيمة الجريان، طرق الدالات الإحداثية، البارامترات الموزعة.

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

## Studying the dynamic motion of the straight-flange valve plate Using the methods of the coordinate functions of the system of distribution of parameters

Dr. MounaEsber<sup>(1)</sup>

(Received 13 / 1 / 2019. Accepted 24 / 4 / 2019)

### □ ABSTRACT □

In this paper, the dynamic motion of the straight-flow valve plate is investigated using the methods of coordinate functions and the plate is considered to be a system that has more than one degree of freedom (distributed parameters).

In this research, the equations of motion and the calculation of vibration capacity were determined. The phenomena resulting from the effect of the higher vibrations were also corrected in the actual working conditions. The flow velocity of the plate is determined on the specified. The results were compared with results calculated in other ways.

**Keywords:** Dynamic motion, straight flow valves, methods of coordinate functions, distributed parameters

---

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

**مقدمة:**

كل الدراسات السابقة لحركة عنصر اغلاق الصمامات وتوصيف معادلات الحركة تمت دراستها كنظام أحادي الكتلة أي له درجة حرية واحدة [1، 2، 3].

عنصر إغلاق الصمامات مستقيمة الجريان  $\pi 4K - A$  عبارة عن صفيحة رقيقة نسبة طولها إلى سماكتها أكبر من 100 من سلبات هذه الصمامات انحرافها للعمل في نظام التذبذب (الررفة)، ويوضح ذلك من خلال توضع الصفيحة بشكل مواز لتدفق الغاز. التأثير المتبادل بين الصفيحة والتدفق يبين أن عامل الضغط المحسوب يتناقص بسرعة لدى اقتراب الصفيحة من المحدد، حيث يتناقص إلى الصفر في حال اقتراب مساحة المرور في الثقب من مساحة المرور في المقعد [4، 5].

عند دراسة الحركة الديناميكية لصفيحة هذه الصمامات يتم الأخذ بالاعتبار الذبذبات والترددات الحاصلة. كما تم تقييم تأثير الأشكال الأكثر سعة والظواهر الناتجة، وذلك في شروط العمل الحقيقية. في هذا البحث يتم حل المسألة باستخدام الدالات الإحداثية باعتبار الصفيحة نظام بارامترات موزعة، أي لها أكثر من درجة حرية.

**أهمية البحث وأهدافه:**

تكمن أهمية البحث في زيادة فعالية الضواغط المكبسية عن طريق تحسين الخواص الديناميكية والغاز وديناميكية الصمامات وذلك للوصول بها إلى بارامترات مثالية. اختصار الزمن والجهد المبذول لإنتاجها بشكل مسألة عملية هامة وضخمة.

والهدف من البحث هو دراسة الحركة الديناميكية لصفيحة الصمامات مستقيمة الجريان وإيجاد الترددات الخاصة لاهتزاز الصفيحة وإظهار تأثير شكل الاهتزازات العليا على عملها بالإضافة إلى سرعات الصدم مع المقعد وذلك باستخدام الدالات الإحداثية لوصف حركة الصفيحة باعتبارها نظام له أكثر من درجة حرية.

**طرائق البحث ومواده:**

يمكن تلخيص طرائق البحث بما يلي:

- استخدام الدالات الإحداثية لوصف حركة الصفيحة باعتبارها من نظام له أكثر من درجة حرية.
  - تشكيل الموديل (النموذج) الرياضي المطابق.
  - مقارنة النتائج مع نتائج محسوبة ومبرهنة مسبقاً بطرق أخرى.
- لحل المسألة باستخدام طريقة الدالات الإحداثية تم بالاعتماد على ما يلي:
- 1- اعتبار نسبة طول الصفيحة إلى عرضها أكثر من 2.
  - 2- يتم دراسة مسألة وحيدة البعد، أي نفترض أن إزاحة وانتقال الصفيحة على طول عرض الصفيحة يساوي الصفر [6].

في هذه الحالة معادلة الحركة تأخذ الشكل التالي:

$$\frac{E_j}{1 - \mu^2} \cdot \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + g \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = b_{nl} \cdot P(x, t) \quad (1)$$

حيث:  $P(x, t)$  - الضغط يتم تحديده عن طريق الكسح الستاتيكي للصمام، ويُعطى بالعلاقة:

$$P(x, t) = \psi(h) \cdot f(x) \cdot \Delta P_{k\ell} \quad (2)$$

حيث:

$\psi(h)$  - معامل ضغط التيار على الصفحة كتاب لإزاحة نهاية الصفحة الحرة،

$f(x)$  - التابع الذي يصف مخطط توزع الضغط على طول الصفحة،

$\Delta P_{k\ell}$  - هبوط الضغط على الصمام.

إن حل المعادلة (1) يكون على الشكل التالي:

$$y(x, t) = \sum_{i=1}^{\infty} u_i(x) v_i(t) \quad (3)$$

حيث:

$u_i$  - دالة الإحداثيات المختارة،

$v_i(t)$  - معاملات متعلقة بالزمن فقط.

بالتوافق مع طريقة "كالوركين" "ГаЛеркину". يجب أن تكون الدالات المختارة تطابق وتوافق الشروط

الحدية والتي في حالتنا هذه تأخذ الشكل التالي مع الأخذ بالاعتبار إن إحدى نهايتي الصفحة مثبت بشكل جاسيء،  
والجهة الأخرى حرة:

$$\left. \begin{array}{l} x = 0 \quad u|_{x=0} = \frac{du}{dx}|_{x=0} = 0 \\ x = \ell \quad \quad \quad = \frac{d^2u}{dx^2}|_{x=\ell} = \frac{d^3u}{dx^3} = 0 \end{array} \right\} \quad (4)$$

تُدخل متغيرات جديدة:

$$\bar{x} = \frac{x}{\ell} ; \quad \bar{y} = \frac{y}{h_{max}}$$

حيث:  $\ell$  - طول الصفحة،

$h_{max}$  - الانتقال الأعظمي لنهاية للصفحة.

نعوض المعادلة (2) في (1) مع إدخال المتغيرات الجديدة فينتج:

$$\frac{E_I}{1 - \mu^2} \cdot \frac{\partial^4 \bar{y}}{\partial \bar{x}^4} + q \frac{\partial^2 \bar{y}}{\partial t^2} = \frac{b_{n\ell}}{h_{max}} \cdot \psi(h) \cdot f(\bar{x}) \cdot \Delta P_{k\ell} \quad (5)$$

الشروط الحدية للمعادلة (5) ستكون:

$$\left. \begin{array}{l} \bar{x} = 0 \quad \bar{y}|_{\bar{x}=0} = \frac{\partial \bar{y}}{\partial \bar{x}}|_{\bar{x}=0} = 0 \\ \bar{x} = 1 \quad \frac{\partial^2 \bar{y}}{\partial \bar{x}^2}|_{\bar{x}=1} = \frac{\partial^3 \bar{y}}{\partial \bar{x}^3}|_{\bar{x}=1} = 0 \end{array} \right\} \quad (6)$$

بالنسبة لخاصية الدالات الإحداثية من الملائم اختبار دالة "كريلوفا" "А.Н. Крылов" والتي من أجل شروط المسألة المدروسة تأخذ الشكل التالي:

$$u_i(\bar{x}) = \frac{1}{N_i} [(shr_i + sinr_i)(chr_i \bar{x} + cosr_i \bar{x}) - (chr_i + cosr_i)(shr_i \bar{x} - sinr_i \bar{x})] \quad (7)$$

حيث:

$N_i$  - عامل معياري يتم تحديده من:

$$u_i(\bar{x} = 1) = 1$$

$r_i$  - جذور المعادلة:

$$chr_i \cos r_i + 1 = 0$$

يتم الحصول على المعادلة الأخيرة من شروط النهاية عند  $(x = 1)$  وجذور المعادلة مرتبطة بتردد الذبذبات الخاصة وفق العلاقة:

$$\omega_i = \frac{r_i^2}{\ell^2} \sqrt{\frac{EJ}{(1 - \mu^2) \cdot q}} \quad (8)$$

يتم إيجاد العامل المعياري  $N_i$  من المعادلة رقم (7).

$$N_i = (shr_i + sinr_i)(chr_i - cosr_i) - (chr_i + cosr_i)(shr_i - sinr_i)$$

تُعطى قيمة  $N_i$  و  $r_i$  للأشكال الأربعة الأولى للترددات وفق الجدول رقم (1).

جدول (1): يُبين قيمة  $N_i$ ،  $c_i$  و  $r_i$  للأشكال الأربعة الأولى للترددات.

	1	2	3	4
$r_i$	1,8751	4,6941	7,854	10,9956
$r_i^2$	3,5160	22,035	61,685	120,9
$N_i$	-8,2770	107,30	-2575,9	59638,2
$c_i$	1,8560	0,964	1,001	1,000

بعد التحويلات والتغييرات التي تم إنجازها يجب الانتقال من  $v_i(t)$  إلى  $u_i(t)$  بتعويض المعادلة (3) في

المعادلة (4) مع الأخذ بالحسبان بالتغيرات الحاصلة نجد أن:

$$\frac{EJ}{(1 - \mu^2) \cdot \ell^4} \cdot \frac{\partial^4}{\partial \bar{x}^4} \left( \sum_{i=1}^{\infty} u_i v_i \right) + q \frac{\partial^2}{\partial t^2} = \frac{b_{n\ell}}{h_{max}} \cdot \psi(h) \cdot f(\bar{x}) \cdot \Delta P_{k\ell} \quad (9)$$

بتفاضل  $u_i$  بالنسبة لـ  $\bar{x}$  ينتج:

$$\frac{d^4 u_i}{d\bar{x}^4} = r_i^4 \cdot u_i \quad (10)$$

بتعويض المعادلة (10) في المعادلة (9) مع الأخذ بالاعتبار أن  $v_i$  تابعة للزمن فقط ينتج:

$$\frac{EJ}{(1 - \mu^2) \cdot \ell^4} \cdot \sum_{i=1}^{\infty} r_i^4 u_i v_i + g \sum_{i=1}^{\infty} u_i \frac{d^2 v_i}{dt^2} = \frac{b_{\pi\ell}}{h_{max}} \cdot \psi(h) \cdot f(\bar{x}) \cdot \Delta P_{k\ell} \quad (11)$$

بتقسيم وضرب العنصر الأول من المعادلة (11) على  $q$  نجد:

$$q \cdot \sum_{i=1}^{\infty} \omega_i^2 u_i v_i + \sum_{i=1}^{\infty} u_i \frac{d^2 v_i}{dt^2} = \frac{b_{\pi\ell}}{h_{max}} \cdot \psi(h) \cdot f(\bar{x}) \cdot \Delta P_{k\ell} \quad (12)$$

نضرب طرفي المعادلة (12) بالتابع  $(u_i (i = 1, 2, 3, \dots))$  ونكامل من 0 حتى 1 فنجد:

$$q \int_0^1 \sum_{i=1}^{\infty} \omega_i^2 u_i v_i u_j d\bar{x} + q \int_0^1 \sum_{i=1, j=1}^{\infty} u_i v_j \frac{d^2 v_i}{dt^2} d\bar{x} = \frac{b\pi\ell}{h_{max}} \cdot \psi(h) \cdot \Delta P_{k\ell} \int_0^1 u_j f(\bar{x}) d\bar{x} \quad (13)$$

وبنتيجة تعامد التابع  $u_i$  مع  $u_j$  نحصل على:

$$\int_0^1 u_i u_j d\bar{x} = \begin{cases} 0 & \text{عند } i \neq j \\ C_i & \text{عند } i = j \end{cases} \quad (14)$$

حيث  $C_i$  ثابت من أجل الأشكال الأربعة الأولى وقيمته مبينة في الجدول رقم (1).

عندها معادلة الدخول يمكن تحليلها وتفكيكها إلى جملة معادلات لانهائية من الدرجة الثانية:

$$\frac{d^2 v_i}{dt^2} + \omega_i^2 v_i = \frac{b_{n\ell} \cdot \Delta P_{k\ell}}{g \cdot h_{max}} \cdot \psi(h) \cdot \frac{\int_0^1 u_i f(\bar{x}) d\bar{x}}{\int_0^1 u_i^2 d\bar{x}} \quad (15)$$

حيث  $i = 1, 2, 3, \dots$ . بضرب الجزء الأول (اليميني) من المعادلة رقم (15) بـ  $b$  مع الأخذ بعين الاعتبار المعادلة (14) ينتج:

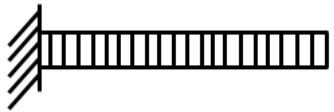

$$\frac{d^2 v_i}{dt^2} + \omega_i^2 v_i^2 = \frac{f_{n\ell} \cdot \Delta P_{k\ell}}{C_i \cdot m_{n\ell} \cdot h_{max}} \cdot \psi(h) \cdot D_i \quad (16)$$

حيث:  $f_{n\ell}$  مساحة الصفحة،  $m_{n\ell}$  كتلة الصفحة، و  $D_i$  معامل يأخذ بعين الاعتبار توزع الحمل على كامل الطول ويساوي:

$$D_i = \int_0^1 f(\bar{x}) u_i(\bar{x}) d\bar{x}$$

يُحدد  $D_i$  بالتكامل التقريبي. إنَّ قيمته للأشكال الأربعة الأولى، وفق قانوني توزع حمولة منتظم وبالتوافق مع معطيات الكسح الستاتيكي تُعطى بالجدول رقم (2).

جدول (2).

شكل الحمل	1-Я	2-Я	3-Я	4-Я
	0,3915	-0,2150	0,1274	-0,9090
	0,26113	-0,3649	0,38566	-0,08222

خلال دراسة الحركة الديناميكية للصفحة يكون من الأسهل دراسة الحركة كتابع لزاوية دوران عمود المرفق.

بإدخال الزاوية  $\varphi = \omega t$  ينتج لدينا معادلات بشكل لابيدي:

$$\frac{d^2 v_i}{d\varphi^2} + Z_i^2 v_i = \frac{f_{n\ell} \cdot \Delta P_{k\ell}}{C_i \cdot m_{n\ell} \cdot h_{max} \cdot \omega^2} \psi(h) \cdot D_i \quad (17)$$

حيث:  $Z = \omega_i / \omega$  التردد الخاص النسبي لاهتزاز الصفيحة،  
 $\omega$  تردد قوى الاضطراب (تردد عمود دوران الضاغط).  
 أما القيمة الحقيقية لسرعة نهاية صفيحة الصمام فتُعطى بالعلاقة التالية:

$$\frac{dh}{dt} = h_{max} \cdot \omega = \sum_{i=1}^{\infty} v_i \quad (18)$$

لإنجاز الموديل الرياضي من الضروري كتابة المعادلة التي توضح تغير هبوط الضغط على الصمام [4]. مثلاً، المعادلة لصمام السحب تأخذ الشكل التالي:

$$\frac{d\mathcal{X}}{d\varphi} = K(1 - \mathcal{X}) \frac{f'(\varphi)}{f(\varphi)} - \frac{2\sqrt{2K}}{\pi} \cdot \frac{\bar{h}}{M} f(\mathcal{X}) \frac{1}{f(\varphi)} \quad (19)$$

نأخذ عنصر واحد من الصمام المبين في الشكل (1). مقطع عبور الصمام يُعطى بالعلاقة التالية:

$$f_{k\ell} = 2\ell \int_0^1 y d\bar{x} + b_{k\ell} h \quad (20)$$

أو:

$$f_{k\ell} = 2\ell \int_0^1 \sum_{i=1}^{\infty} u_i v_i d\bar{x} + b_{k\ell} h = \ell h \left( \sum_{i=1}^{\infty} \beta_i v_i + \frac{b_{k\ell}}{h} \right)$$

حيث:

$$\beta_i = 2 \int_0^1 u_i d\bar{x}$$

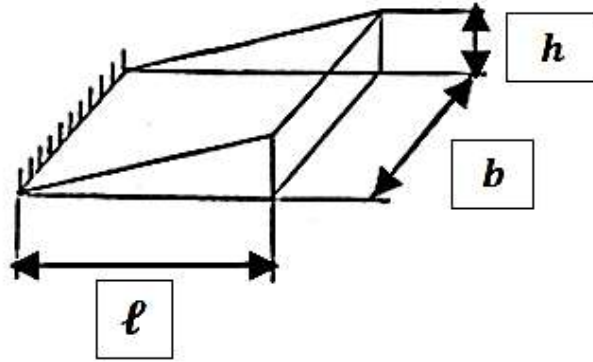
يتم الحصول على قيمة المعامل بسهولة باستخدام معطيات الجدول رقم (2)، عندها يكون لدينا:

$$\bar{h} = \frac{f_{k\ell}}{f'_{\omega}} \quad (21)$$

حيث تحت قيمة  $f'_{\omega}$  تُفهم قيمة  $\ell \cdot h$  بـ:

$$f_{\omega} = f'_{\omega} \cdot Z \quad (22)$$

حيث  $Z$  عدد ألسن الصمام.



الشكل (1): يبين شكل وأبعاد الصمام.

### النتائج والمناقشة:

من أجل حل مجموعة المعادلات التفاضلية (17) و (19)، تُحدد الشروط الابتدائية باعتبار أن الإزاحة والسرعة لجميع نقاط الصفحة تساوي الصفر في الدقيقة الأولى للفتح. وهكذا في الصمام الفعلي تحدث حركة الصفحة بين المقعد والمحدد، ولذلك من الضروري وضع شروط منطقية لصدم الصفحة بالمقعد، وهذا يستوجب وضع شروط منطقية لصدم الصفحة بهذه العناصر.

في حالة اعتبار الصفحة مسألة أحادية الكتلة، تعتبر حركة الصدم مرنة بشكل كامل مع معامل توقف للسرعة أقل من 1.

في هذه الدراسة وبسبب غياب المعطيات لحل مثل هذه المسائل يُفترض أن سرعة كل نقاط ألسن الصفحة تتغير في الوقت نفسه.

لحل جملة معادلات الدخول، قبل كل شيء، يجب ملاحظة أن حل النظام يتحدد بالأشكال الأربعة الأولى للاهتزاز. تقود جملة المعادلات إلى جملة معادلات غير خطية مكونة من تسع معادلات تفاضلية من الدرجة الأولى والتي يمكن كتابتها بشكل عام كما يلي:

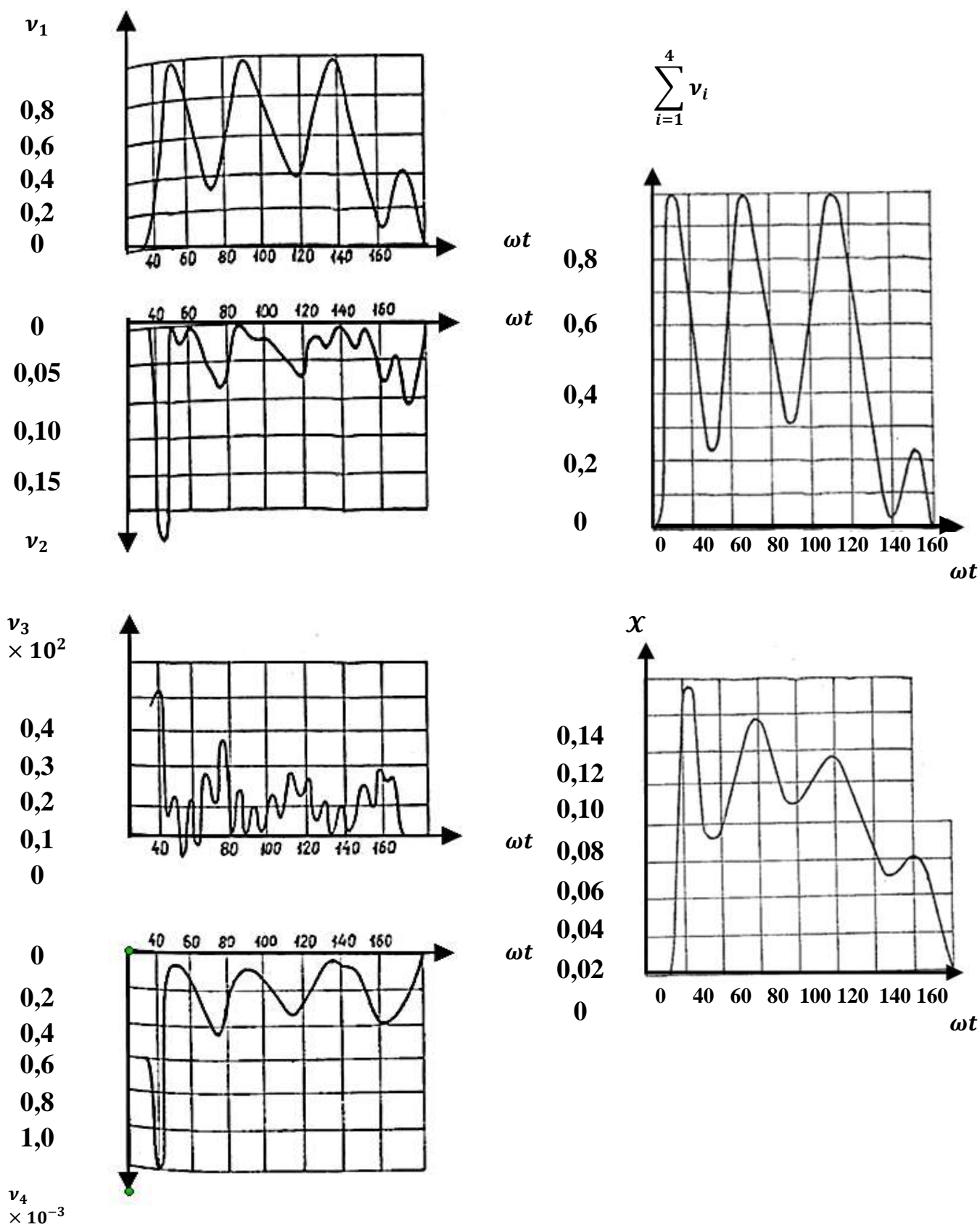
$$\frac{dy_i}{d\varphi} = f_i(\varphi, y_1, y_2, \dots, y_9) \quad (23)$$

حيث  $y_i$  قيم مجهولة. ( $i = 1, 2, 3, \dots, 9$ )

يتم حل مجموعة المعادلات على الحاسب، حيث يتم إدخال المعلومات على شكل جدول يتضمن قيم زوايا الدوران  $\varphi$ ، ضياع الضغط  $\chi$ ، مقطع الصمام  $\bar{h}$ ، انتقال نهاية الصفحة الحرة النسبي  $\frac{h}{h_{max}}$ ، السعات النسبية لكل شكل من الأشكال الأربعة  $\bar{h}_1, \bar{h}_2, \bar{h}_3, \bar{h}_4$  سرعات تغير سعات الشكل الأول.

جزء من المعلومات يتم الحصول عليه على شكل مخططات، جميع القيم تستخدم بشكل لابعدي. الصمام المدروس صمام امتصاص مستقيم الجريان ( $35 - \pi K$ ) لضغط أحادي المرحلة. يوضح الشكل (2) بعض نتائج الدراسة النظرية.





الشكل (2): يبين بعض نتائج الدراسة النظرية من أجل:  
 $h = 2.2 \text{ mm}$ ,  $\delta = 0.22 \text{ mm}$ ,  $n = 25 \Gamma_y$

تُبين، عملياً، تلك المخططات كل المعلومات الحسابية الآتية: الضياعات النسبية للضغط - ساعات انتقال كل شكل من الأشكال - مجموع إزاحات نهاية الصفحة - تغير مقطع عبور الصمام بالعلاقة مع زاوية الدوران. يبين الجدول رقم (3) قيم البارامترات الأساسية المعطاة.

جدول (3): يبين قيم البارامترات الأساسية المعطاة.

رقم الشكل أو الحالة	ارتفاع علو (الرفع) mm	عدد دورات المرفق	سماكة الصفحة mm	M	توزع هبوط الضغط على طول الصفحة
1	2,2	1500	0,3	0,0903	ثابت
2	2,2	1500	0,22	0,0903	ثابت
3	2,2	2000	0,22	0,0903	ثابت
4	2,2	2000	0,22	0,1204	حقيقي (فعلي)
5	1,7	1500	0,22	0,1169	ثابت
6	1,7	1500	0,22	0,1169	ثابت
7	1,7	1500	0,3	0,1169	ثابت

من الجدول الحالة أو رقم الشكل 1 و 2 تظهر تأثير السماكة عند ارتفاعات مختلفة لعلو الصفحة. التحليل يُبين تأثير البارامترات الأساسية للصمام (ارتفاع علو الصفحة - سماكة الصفحة - عدد الصفائح...). يتم الحصول بشكل مماثل لحالة دراسة نظام أحادي الكتلة.

بزيادة سماكة الصفحة يزداد مطال أو سعة اهتزاز الصفحة وهذا يؤدي إلى زيادة هبوط الضغط النسبي على الصمام. بتأثير مشابه نلاحظ عند مقارنة الأوضاع التي تحدث فيها زيادة ارتفاع علو الصفحة وانخفاض عدد الدورات. إنَّ تغير هذين العاملين يؤدي إلى تخفيض المعامل M وزيادة المعامل D. خفض العدد M يؤدي إلى تخفيض هبوط الضغط والقوة المؤثرة على الصمام بالإضافة إلى أنها لا تستطيع ضغط أو دفع الصفحة باتجاه المحدد والمحافظة على الصفحة في تلك الوضعية. زيادة D يقود إلى انخفاض الرفرة (الاهتزاز).

هكذا نجد أن حل مسألة الحركة الديناميكية لصفحة الصمام في هذه الحالة تطابق حل مسألة حركة الصفحة في حالة نظام أحادي الكتلة.

يُلاحظ من نتائج الحسابات التي تم الحصول عليها بغض النظر عن العلاقة النسبية بين المعاملات D و M وشكل توزع الضغط على طول الصفحة إن السعة  $\bar{h}_i$  لكل الأشكال تتمايز عن بعضها البعض، حيث الساعات لكل شكل من الأشكال التالية المدروسة تقريباً أقل بدرجة واحدة من الساعات للأشكال السابقة (التي قبلها). بمقارنة تغير الساعات للشكل الأول مع انتقال نهاية الصفحة يُظهر ويوضح أنه عملياً يوجد بينهما فرق صغير جداً خلال كامل فترة فتح الصمام. هذا يشير إلى أنه في هذه الحالة عند تحليل عمل الصمام يمكن استخدام الطريقة المبسطة لحساب الصمام كنظام أحادي الكتلة.

لكن عند الحسابات تم الحصول على نتائج هامة لقيم سرعات جلوس أو توقف الصفحة على المقعد. خلال جلوس الصفحة تم الحصول على سرعة تغير السعة للشكل الأول وذلك لبعض الحالات المدروسة حيث كانت بحوالي

مرتين أقل من سرعة إزاحة نهاية الصفيحة. تحليل جلوس الصفيحة يُبين أنه عند ارتفاعات علو غير كبيرة لسعة الشكل الأعلى ترتيباً تصبح متوافقة ومتكافئة مع سعة الشكل الأول، وبالتالي تصبح متناسبة ومكافئة لسعة تغير هذه السعات. هذا يدل على أن السرعة المحسوبة بهذه الطريقة تسمح باعتبار الصفيحة كنظام أحادي الكتلة. هنا يجب ملاحظة أن قطاع عبور الصفيحة الذي يتم عنده مقارنة السرعات لكل شكل صغير جداً حوالي  $(0,2) \div (0,1)h_{max}$ ، وبالتالي لا يمكن أن يبدي تأثيراً ملموساً على خصائص الطاقة وشكل المخططات. الرسوم البيانية لحركة السعات للأشكال الثانية والثالثة تعكس صورة واضحة لتردد الاهتزازات والتي يكون ارتباطها طفيف بشكل الرسم البياني للشكل الأول. يُظهر الحساب عند توزيع الضغط الفعلي على الصفيحة أنه يزداد دور الشكل الثاني، وبالتالي يزداد تأثير هذا الشكل على قيمة سرعة توقف الصفيحة على المقعد ويتضخم.

### الاستنتاجات والتوصيات:

- تُظهر مقارنة تغير السعات للشكل الأول مع انتقال الصفيحة أنه يوجد بينهما فرق صغير جداً خلال كامل فترة فتح الصمام، وهذا يشير إلى أنه عند تحليل عمل الصمام يمكن استخدام الطريقة المبسطة لحساب الصمام كنظام أحادي الكتلة.
- تم الحصول على نتائج هامة لقيم سرعات توقف الصفيحة على المقعد. تغير سعة الشكل الأول لبعض الحالات المدروسة كانت بحوالي مرتين أقل من سرعة إزاحة نهاية الصفيحة.
- يُبين تحليل جلوس الصفيحة على المقعد أنه عند ارتفاعات علو غير كبيرة لسعة الشكل الأعلى تصبح تقريباً متوافقة ومتكافئة مع سعة الشكل الأول، وبالتالي تصبح متوافقة مع سرعة تغير هذه السعات. هذا يدل على أن السرعة المحسوبة بهذه الطريقة تمكن من اعتبار الصفيحة كنظام أحادي الكتلة.
- يجب ملاحظة أن قطاع عبور الصفيحة الذي عنده تحدث مقارنة السرعات لكل شكل صغير جداً بشكل  $(0,1) \div (0,2)h_{max}$ ، وبالتالي لا يمكن أن يبدي تأثيراً ملحوظاً على خصائص الطاقة وشكل المنحنيات.
- الرسوم البيانية لسعات الأشكال الثانية والثالثة تعكس صورة واضحة لتردد الاهتزازات والتي تُظهر ارتباط ضعيف بشكل الرسم البياني للشكل الأول.
- يُظهر حساب توزيع الضغط الفعلي على الصفيحة أنه يزداد دور الشكل الثاني، وبالتالي تأثير هذا الشكل على قيمة سرعة توقف الصفيحة على المقعد يزداد ويتضخم.

### المراجع

- [1] Б. А. Спектора исследование прямооточных клапанов с учетом их предварительного изгиба, Ленинград, 1987.
- [2] И. Б. Пирумов “расчет на ЭВМ самодействующих клапанов поршневого компрессора. “рукопись одобрена Кофедрой Компрессоростроения, 1989.
- [3] В. Н. Белоногова “исследование динамики прямооточных Клопонов Для быстроходных Поршневых Компрессоров, 1999.
- [4] М. И. Френкль Поршневые Компрессоры “Машиностроение Ленинград, 1969.
- [5] б. С. Фотин, И. Б. Пируморов, П. И. Пластинин “Поршневые Компрессоры учеб. Пособие Для Вузов, 1987.
- [6] К. N. Ignatiev, I. B. Piromav, V. B. Zdalinsky, B. S. Chrustalyov. M. Esper. “Study of the valve element motion and the gas flow in the Straight-Flow Valves, 2005.