Calculate the Inter-pressure of Multi-stage Compressors

Dr. Mouna Safi Esber*

(Received 17 / 10 / 2019. Accepted 23 / 1 / 2020)

☐ ABSTRACT ☐

In this paper, the exponential equations with fractional indexes used in the calculation of inter-compressors and the relationship between absorption and expulsion pressures are replaced at known hypotheses by linear equations.
The proposed method simplifies arithmetic work, and produces results with sufficiently high accuracy for practical design.

Keywords: calculation of inter-pressure - multistage compressors

***Associate Professor, Marine Engineering Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

حساب الضغط البيني للضواغط المتعددة المراحل

د. منى صافي اسبر *

(تاريخ الإيداع 17 / 10 / 2019. قُبِل للنشر في 23/ 1 / 2020)

□ ملخّص □

يتم في هذا البحث استبدال جملة المعادلات الأسية ذات الدلائل الكسرية المستخدمة في حساب الضغوط البينية، وتحديد العلاقة بين ضغوط الامتصاص والطرد، وذلك عند فرضيات معروفة، وذلك باستخدام جملة معادلات خطية، والتي بمساعدتها يمكن تحديد قيم الضغوط البينية.

الطريقة المقترحة تبسط العمل الحسابي، وتعطي نتائج ذات دقة عالية كافية من أجل التصميم العملي.

الكلمات المفتاحية: حساب الضغط البيني – ضواغط متعددة المراحل.

* أستاذ مساعد – قسم الهندسة البحرية – كلية الهندسة الكهربائية والميكانيكية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.

مقدمة:

يعتبر تحديد الضغط البيني بين مراحل الضاغط متعدد المراحل إحدى مسائل الحساب الترموديناميكية. إن حل هذه المسألة يُعتبر سهل نسبياً في مرحلة التصميم، ولكن يُصبح صعب جداً عند الحسابات الاختبارية [1, 2].

عادة تكون المعطيات التصميمية للضاغط والمبردات البينية معلومة، والتي يتم فيها تحديد الحجوم التي ترسمها وتحددها المكابس، قيم الفراغ الميت النسبية، كذلك درجات حرارة الامتصاص لكل مرحلة، إضافة إلى ذلك يعطى ضغط الامتصاص لكل مرحلة من مراحل الضاغط، والضغط النهائي لانضغاط المرحلة الأخيرة [3, 4].

أما صعوبة تحديد الضغط البيني فتتلخص في أنها تتعلق ليس فقط بعلاقة الحجوم المحددة من قبل المكابس بل أيضاً تتعلق بمعاملات الامداد لكل مرحلة على حدى، والتي بدورها تتعلق بالعلاقة بين ضغط الطرد وضغط الامتصاص لكل مرحلة [5, 6]. وتُعتبر هذه العلاقة علاقة أسية مع دليل أسي كسري [5, 6].

يتم تحديد الضغوط البينية من أجل n–مرحلة للضاغط رياضياً حيث يقود إلى حل n–معادلة مع n مجهول حيث $n-1$ معادلة تعتبر أسية بدلائل كسرية.

حل مثل هذه المعادلات كما هو معلوم صعب جداً، وحلها يتم بطريقة التقريب المتتابع أو المتتالي [7, 8, 9, 10].

في العمل المقترح يتم استبدال المعادلات الأسية مع دلائل كسرية بجملة معادلات خطية عند فرضيات معلومة تسمح بتحديد الضغوط البينية لكل مرحلة.

أهمية البحث وأهدافه:

إن تحديد الضغوط البينية للضاغط المتعدد المراحل والعلاقة التي تربط بين ضغط الامتصاص والطرد يُشكل أهمية كبيرة لحساب عمل الضاغط وكفاءته.

يهدف العمل إلى استبدال جملة المعادلات الأسية ذات الدلائل الكسرية التي تربط بين ضغط الامتصاص وضغط الطرد، وتسمح بتحديد الضغط البيني في المبردات. إن هذه المعادلات صعبة الحل، ويتم حلها بالطرق التقريبية بمعادلات خطية تسمح بتحديد الضغوط البينية لكل مرحلة من مراحل الضاغط بسهولة.

النتائج والمناقشة:

من المعروف من نظرية الضواغط أن ضغط الامتصاص للمراحل التالية يتم تحديده بالعلاقة:

$$(\mathrm{P}_{i+1})_{\mathrm{B}} = P_{iB}\frac{\mathrm{V_i}}{\mathrm{V_{i+1}}}.\frac{\lambda_{\mathrm{i}}}{\lambda_{\mathrm{i+1}}}.\frac{\mathrm{T_{i+1}}}{\mathrm{T_i}} \quad (1)$$

حيث: $(\mathrm{P}_{i+1})_{\mathrm{B}}$ و P_{iB} ضغوط الامتصاص للمراحل السابقة التالية،

$\mathbf{V_i}$ الحجم الذي يحدده المكبس للمرحلة i،

$\mathbf{T_i}$ الحرارة المطلقة للامتصاص للمرحلة i مقدرة بالكلفن ^{o}K ،

λ_{i} معامل الامداد أو التغذية للمرحلة i.

إن العلاقة بين ضغط الامتصاص للمرحلة التالية $(\mathrm{P}_{i+1})_{\mathrm{B}}$ وضغط الطرد للمرحلة السابقة P_{iH} يتم تحديدها بالعلاقة التالية:

$$P_{iH} = (\mathrm{P}_{i+1})_{\mathrm{B}}.\alpha_i;\ \alpha_i > 1 \quad (2)$$

حيث α_i معامل يأخذ بعين الاعتبار الضغط الضائع بين المراحل، أما قيمته فهي تتعلق بتصميم ومساحة مقطع الصمامات ومقاومة المبردات البينية في الضاغط. بتعويض القيمة المعطاة لـ $(\mathrm{P}_{i+1})_\mathrm{B}$ من العلاقة (2) في العلاقة (1) نحصل على العلاقة التالية:

$$\frac{P_{iH}}{\alpha_i} = P_{iB}\frac{\mathrm{V_i}}{\mathrm{V_{i+1}}}.\frac{\lambda_\mathrm{i}}{\lambda_\mathrm{i+1}}.\frac{\mathrm{T_{i+1}}}{\mathrm{T_i}}$$

ومنه فإن علاقة الضغط في كل مرحلة يُعطى بالعلاقة:

$$\sigma_i = \frac{P_{iH}}{P_{iB}} = \alpha_i\frac{\mathrm{V_i}}{\mathrm{V_{i+1}}}.\frac{\lambda_\mathrm{i}}{\lambda_\mathrm{i+1}}.\frac{\mathrm{T_{i+1}}}{\mathrm{T_i}}$$

ونعتبر أن:

$$\alpha_i\frac{\mathrm{V_i}}{\mathrm{V_{i+1}}}.\frac{\mathrm{T_{i+1}}}{\mathrm{T_i}} = A_i \qquad (3)$$

وبالتالي تصبح العلاقة النهائية:

$$\sigma = A_i.\frac{\lambda_\mathrm{i}}{\lambda_\mathrm{i+1}} \qquad (4)$$

نجد من هنا أن A_i لا تتعلق بـ σ. وأن معامل الامداد (لكل مرحلة) يعتبر أساساً حاصل جداء معاملين خاصين: المعامل الحجمي λ_V ومعامل التسخين λ_W حيث:

$$\lambda = \lambda_V.\lambda_\mathrm{W} \qquad (5)$$

ويُعتبر كلا العاملين توابع متعلقة بالضغط σ ، وكما هو معروف لدينا:

$$\lambda_V = 1 - \varepsilon\left(\sigma^{1/m} - 1\right)$$

حيث: ε قيمة نسبية للفراغ الميت،

m دليل التمدد البوليتروبي.

يمكن كتابة معامل التسخين λ_W على شكل علاقة خطية تجريبية:

$$\lambda_\mathrm{W} = 1{,}01 - 0{,}022\sigma$$

بالتعويض بقيم λ_V و λ_W في العلاقة (5) نحصل على:

$$\lambda = 1{,}01 - 0{,}022\sigma - \varepsilon\left(\sigma^{\frac{1}{m}} - 1\right)(1{,}01 - 0{,}022\sigma) \qquad (5a)$$

لنرمز بـ $f(\sigma)$ للمقدار:

$$\left(\sigma^{\frac{1}{m}} - 1\right)(1{,}01 - 0{,}022\sigma) = f(\sigma) \qquad (6)$$

إن قيمة σ في الضواغط ولأكثر الحالات لكل مرحلة تأخذ $[1{,}5 \div 7]$. ضمن هذه الحدود التابع الذي يتم الحصول عليه يمكن تجزئته إلى عدة مجالات من خلال المقدار $\Delta\sigma = 1$ حيث يتم من كل مجال تبديل التابع الأسي مع دليل كسري خطي، وباختلاف بسيط عن التابع (6) في مجال طوله $\Delta\sigma = 1$. وحسب هذا يكون الاختلاف عن التابع الخطي صغير جداً حتى درجة تصل إلى (0,5%). إن التابع الخطي الذي يتم استبداله أسياً يأخذ الشكل التالي:

$$f(\sigma) = M\sigma - N \qquad (7)$$

حيث قيم M و N تتعلق بمكان المجال أو المدى المعطى.

عند الحساب يمكن بسهولة كبيرة تقييم المجال المحدد حيث يتم إيجاد القيمة المجهولة σ_1، وذلك بأخذ مجال بطول كاف. إن قيم M و N تحدد وفق العلاقات، وذلك حسب **(П.Л.Чебыwеву)** كما يلي:

$$M = \frac{f(\sigma_2) - f(\sigma_1)}{\sigma_2 - \sigma_1} \quad (8)$$

$$N = M\frac{\sigma_1 + \xi}{2} - \frac{f(\sigma_1) + f(\xi)}{2} \quad (9)$$

حيث: σ_1 و σ_2 قيم في بداية ونهاية المجال،

$f(\sigma_1)$ و $f(\sigma_2)$ قيم $f(\sigma)$ حسب العلاقة (6) في بداية ونهاية المجال،

ξ القيمة البينية لـ σ داخل المجال، ويُعطى بالعلاقة التالية: $\xi = \sigma_1 + 0{,}5\Delta\sigma$.

عند أخذ المجال $\Delta\sigma = \sigma_2 - \sigma_1 = 1$ ، فإن:

$$M = f(\sigma_2) - f(\sigma_1) \quad (8a)$$

يبين الجدول (1) والجدول (2) قيم $f(\sigma)$ والمعاملات M و N المحسوبة وفق العلاقات (6) و (8) و (9) عند القيمة $\Delta\sigma = 0{,}5$.

الجدول (1): قيم $f(\sigma)$.

	قيم $f(\sigma)$					
	$m = 1{,}1$	$m = 1{,}2$	$m = 1{,}25$	$m = 1{,}3$	$m = 1{,}35$	$m = 1{,}4$
1,50	0,436	0,393	0,374	0,358	0,342	0,328
1,75	0,644	0,577	0,549	0,523	0,499	0,477
2	0,848	0,755	0,716	0,680	0,648	0,619
2,50	1,241	1,094	1,032	0,977	0,927	0,882
3	1,619	1,414	1,329	1,254	1,186	1,125
3,50	1,981	1,718	1,609	1,512	1,427	1,350
4	2,330	2,005	1,874	1,756	1,652	1,560
4,50	2,665	2,279	2,124	1,987	1,865	1,756
5	2,988	2,542	2,362	2,204	2,066	1,941
5,50	3,299	2,791	2,588	2,410	2,254	2,116
6	3,599	3,030	2,804	2,606	2,433	2,280
6,5	3,886	3,258	3,008	2,792	2,601	2,434
7	4,165	3,475	3,204	2,969	2,762	2,581

الجدول (2): قيم M و N.

المجال	$m = 1{,}1$		$m = 1{,}2$		$m = 1{,}25$		$m = 1{,}3$		$m = 1{,}35$		$m = 1{,}4$	
	M	N	M	N	M	N	M	N	M	N	M	N
1,5-2	0,824	0,799	0,724	0,692	0,684	0,650	0,644	0,606	0,612	0,574	0,582	0,543
2-3	0,771	0,690	0,659	0,588	0,613	0,505	0,574	0,463	0,538	0,423	0,506	0,388
3-4	0,771	0,511	0,591	0,355	0,545	0,302	0,502	0,249	0,466	0,208	0,435	0,176
4-5	0,658	0,299	0,537	0,140	0,488	0,075	0,448	0,032	0,414	0,041	0,381	-0,039
5-6	0,611	0,064	0,488	-0,105	0,1442	-0,155	0,402	-0,197	0,367	-0,233	0,339	-0,249
6-7	0,566	-0,205	0,445	-0,363	0,400	-0,406	0,363	-0,430	0,329	-0,461	0,301	-0,476

بالتعويض من العلاقة **(5a)** قيمة $f(\sigma)$ من العلاقة (7) نجد:

$$\lambda_i = (1{,}01 - 0{,}022\sigma_1) - \varepsilon_i(M_i\sigma_i - N_i)$$
$$\lambda_i = (1{,}01 - \varepsilon_i V_i) - (\varepsilon_i M_i + 0{,}022)\sigma_i$$

$$\left.\begin{aligned}1{,}01+\varepsilon_i N_i &= B_i\\ \varepsilon_i M_i + 0{,}022 &= C_i\end{aligned}\right\} \qquad (10)$$

ومنه العلاقة النهائية لحساب λ_i تعطى:

$$\lambda_i = B_i - C_i\sigma_i \qquad (11)$$

بتعويض العلاقة (11) في العلاقة (4) نجد:

$$\sigma_i = A_i.\frac{B_i - C_i\sigma_i}{B_{i+1} - C_{i+1}.\sigma_{i+1}}$$

ومنه يتم تحديد العلاقة بين σ_i و σ_{i+1}:

$$\frac{1}{\sigma_i} + \frac{C_{i+1}}{A_i.B_i}\sigma_{i+1} = \frac{A_i.C_i + B_{i+1}}{A_i.B_i}$$

نرمز للمقادير:

$$\left.\begin{aligned}\frac{A_i.C_i + B_{i+1}}{A_i.B_i} &= P_i\\ \frac{C_{i+1}}{A_i.B_i} &= Q_i\end{aligned}\right\} \qquad (12)$$

$$\frac{1}{\sigma_i} + Q_i.\sigma_{i+1} = P_i \qquad (13)$$

من أجل n–مرحلة للضاغط في هذه الحالة يتم أخذ **(n−1)** معادلة. العلاقة التي تم التوصل إليها والتي تربط بين σ_i لكل مراحل الضاغط والضغوط البدائية والنهائية يمكن كتابتها بالشكل التالي، من العلاقة (2):

$$\sigma_i = \frac{P_{iH}}{P_{iB}} = \frac{\alpha_i(\mathrm{P}_{i+1})_{\mathrm{B}}}{P_{iB}}$$

ومن أجل جميع المراحل نكتب بالشكل التالي:

$$\sigma_1 = \alpha_1\frac{P_{2H}}{P_{iB}};\ \sigma_2 = \alpha_2\frac{P_{3H}}{P_{2B}};\dots.;\quad \sigma_{n-1} = \alpha_{n-1}\frac{P_{nH}}{P_{(n-1)B}}\dots;\ \ \sigma_n = \alpha_n\frac{P_{nH}}{P_{nB}}$$

نجد بأخذ جداء هذه الحدود أن:

$$\sigma_1 \times \sigma_2 \times \sigma_3 \dots \sigma_n = (\alpha_1 \times \alpha_2 \times \alpha_3 \times \dots\ \ \sigma_{n-1})\frac{P_{nH}}{P_{1B}} = K \qquad (14)$$

حيث K يمكن تحديده بسهولة بالضغوط البدائية والنهائية المعطاة في العلاقة (14).

من أجل تحديد الضغط في كل مرحلة لضاغط رباعي المراحل من العلاقة (13) نجد بالنسبة للمرحلة الأولى:

$$\frac{1}{\sigma_1} + Q.\sigma_2 = P_1 \qquad (13a)$$

نحدد قيمة $\frac{1}{\sigma_1}$ من العلاقة (14):

$$\frac{1}{\sigma_1} = \frac{\sigma_2 \times \sigma_3 \times \sigma_4}{K}$$

نعوض في العلاقة **(13a)** فنجد:

$$\frac{\sigma_2 \times \sigma_3 \times \sigma_4}{K} + Q.\sigma_2 = P_1$$

$$\sigma_2 = \frac{P_1}{\frac{\sigma_3\times\sigma_4}{K} + Q} \qquad (15)$$

من أجل المرحلة الثانية، من العلاقة (13) وتعويض $\frac{1}{\sigma_2}$ بقيمتها من العلاقة (15) نجد أن:

$$\frac{1}{\sigma_2}+Q_2.\sigma_3=P_2$$

$$\frac{\sigma_3\times\sigma_4}{K}+P_1.Q_i.\sigma_1=P_1.P_2-Q_1\,;\;\;\frac{\frac{\sigma_2\times\sigma_3\times\sigma_4}{K}}{P_1}+Q_2.\sigma_3=P_2$$

ومنه:

$$\sigma_3=\frac{P_1.P_2-Q_1}{\frac{\sigma_4}{K}+P_1.Q_2} \tag{16}$$

وبشل مشابه ومماثل نجد قيمة σ_4:

$$\sigma_4=\frac{P_1.P_2.P_3-P_1.Q_2-P_3.Q_1}{\frac{1}{K}+P_1.P_2.Q_3-Q_1.Q_3} \tag{17}$$

من أجل ضاغط ثلاثي المراحل الحساب يبدأ من العلاقة (16)، عند ذلك تأخذ $\sigma_4=1$. ومن أجل الضاغط الثنائي المرحلة الحساب يبدأ من العلاقة (15) حيث $\sigma_4=1$ و $\sigma_3=1$. ومن أجل عدد المراحل أكبر من المراحل، العلاقات تصبح أكثر صعوبة، ومن أجل التبسيط ندخل القيم التالية من العلاقة رقم (17):

$$\left.\begin{aligned}P_1.P_2.P_3-P_1.Q_2-P_3.Q_1=R\\ P_1.P_2.Q_3-Q_1.Q_3=T\end{aligned}\right\} \tag{18}$$

عندها من أجل ضاغط خماسي المراحل العلاقة (17)، ومن أجل المرحلة الرابعة تصبح على الشكل التالي:

$$\sigma_4=\frac{R}{\frac{\sigma_5}{K}+T} \tag{17a}$$

من أجل المرحلة الخامسة:

$$\sigma_4=\frac{R.P_4-T}{\frac{1}{K}+R.Q_4} \tag{19}$$

وبشكل مشابه ومماثل ندخل المقدار σ_6 من أجل الضاغط سداسي المراحل:

$$\sigma_6=\frac{R.P_4.P_5-T.P_5.R.Q_4}{\frac{1}{K}+R.P_4.Q_5-T.Q_5} \tag{20}$$

من أجل تحديد المراحل المتبقية الأخرى للضاغط الخماسي أو السداسي المراحل يتم من العلاقات (15) و (16) و (17) و (19). من العنصر الأول المقام $\left(\frac{\sigma}{K}\right)$ بحيث أن ندخل بشكل إضافي في الجداء $(\sigma_5.\sigma_6)$، وذلك من أجل ضاغط سداسي المراحل، و σ_5 من أجل ضاغط خماسي المراحل.

الاستنتاجات والتوصيات:

إن حساب الضغوط البينية يتم وفق ما يلي:

1- البدء من تصميم مساحة أقنية العبور ومقاومات المبردات البينية، ويتم تحديد القيم النسبية التي تحدد وتوضح ضياع الضغط البيني σ_i.

2- يتم تحديد قيمة K من العلاقة (14) وذلك بحسب الضغوط البدائية والنهائية المعطاة للضاغط وقيم α_i.

3- يتم تحديد قيم A_i من أجل كل مرحلة بالعلاقة (3).

4- يتم تقسيم المجال أو المدى والذي يقع ضمنه σ_i لكل مرحلة. عادة قيمة σ_i تكون قريبة من قيمة A_i. إذا كان الاختلاف في قيمة الفراغ الميت للمرحلة المعطاة والفراغ الميت للمرحلة التالية قليل. عند الاختلاف الكبير والواضح بين ε_i و ε_{i+1} عندئذ قيمة σ_i يمكن أن تقع في المجال التالي. من أجل المرحلة الأخيرة، المجال يتم تقيمه من قيمة K المحددة في الترتيب 2 ومجالات المراحل السابقة.

5- بحسب تقييم المجالات والدليل البوليتروبي m المحددة في الجدول (2) يتم أخذ قيم M_i و N_i لكل مرحلة من المراحل.

6- يتم تحديد قيم B_i و C_i من أجل كل مرحلة بالعلاقة (10).

7- يتم بوساطة العلاقة (12) تحديد قيم P_i و Q_i لكل مرحلة حسب الفرضيان من (7-3).

8- من العلاقة (17) يتم تحديد σ_4 بسهولة والتي تعطى وفق الجدول (كمثال الجدول 3).

9- وفق العلاقة (16) يتم تحديد σ_3.

10- وفق العلاقة (15) يتم تحديد σ_2.

11- وفق العلاقة (14) يتم تحديد σ_1.

12- يتم التأكد والتحقق من صحة ودقة الحسابات من خلال مقارنة علاقات ضغوط الطرد والامتصاص لكل مرحلة مع المحسوبة سابقاً بالعلاقات (15) و (16). أما من أجل ضاغط خماسي أو سداسي المرحلة فإنه بعد تحديد كل من P_i و Q_i يتم حساب R و T بالعلاقات (18)، ومن ثم يتم تحديد قيم σ_5 أو σ_6 بالعلاقات (19) أو (20).

<u>كمثال:</u> تحديد الضغوط لكل مرحلة من مراحل ضاغط رباعي له المعطيات التالية:

	المرحلة 1	المرحلة 2	المرحلة 3	المرحلة 4
مساحة المكبس	835	207	50,3	12,6
القيمة النسبية للفراغ الميت	0,06	0,08	0,14	0,20
ضياع الضغط من المراحل		7%	6%	5%

درجة حرارة الامتصاص في جميع المراحل تساوي: $T_1 = T_2 = T_3 = T_4 = 298\ {}^oK$

ضغط الامتصاص للضاغط يساوي: $0,95\ ata$

الدليل البوليتروبي (بوليتروبي التمدد) من أجل جميع المراحل يساوي: $m = 1,2$

حساب الضغوط النسبية مبينة في الجدول (3)

جدول (3): يبين حساب الضغوط النبسية.

رقم العلاقة	الصيغ الحسابية	مرحلة 1	مرحلة 2	مرحلة 3	مرحلة 4
(3)	$A_i = \alpha_i \frac{\mathrm{V_i}}{\mathrm{V_{i+1}}} . \frac{\mathrm{T_{i+1}}}{\mathrm{T_i}}$	1,07	1,06	1,05	-
		4,31	4,36	4,2	-
جدول 2 عند $m = 1,2$ (10)	المجال المفترض لـ σ	0,06 4→5	0,0,8 5→6	0,14 4→5	0,20 3→4
	M_i	0,537	0,188	0,537	0,591
	N_i	0,140	-0,105	-0,140	0,355
	$B_i = (1{,}01 - \varepsilon_i N_i)$	1,0184	1,0016	1,0299	1,081
	$C_i = (\varepsilon_i M_i + 0{,}022)$	0,055	0,061	0,098	0,140
	$A_i C_i$	0,237	0,266	0,411	-
	$A_i C_i + B_{i+1}$	1,239	1,296	1,492	-
	$A_i B_i$	4,39	4,37	4.33	-
(12)	$\frac{A_i . C_i + B_{i+1}}{A_i . B_i} = P_i$	0,282	0,297	0,345	-
	$\frac{C_{i+1}}{A_i . B_i} = Q_i$	0,0130	0,0224	0,0324	-

يتم حساب قيمة K من العلاقة (14) كما يلي:

$$K = \sigma_1 \times \sigma_2 \times \sigma_3 \frac{P_{Hq}}{P_{Bq}} = 1{,}07.1{,}06.1{,}05 \frac{351}{0{,}95} = 440$$

تحدد قيمة σ_4 من العلاقة (17):

$$\sigma_4 = \frac{0{,}282.0{,}297.0{,}345. -0{,}282.0{,}0224 - 0{,}0139}{\frac{1}{440} + 0{,}282.0{,}297.0{,}0324 - 0{,}0139.0{,}0324} = 3{,}92$$

وبشكل مشابه:

$$\sigma_3 = \frac{0{,}282.0{,}297 - 0{,}0139}{\frac{3{,}92}{440} + 0{,}0224 - 0{,}282} = \frac{8{,}38 - 1{,}39}{0{,}893 + 0{,}632} = \frac{6{,}99}{1{,}525} = 4{,}58$$

$$\sigma_2 = \frac{0{,}282}{\frac{3{,}92.4{,}58}{440} + 0{,}0139} = \frac{28{,}2}{4{,}08 + 1{,}39} = 5{,}16$$

$$\sigma_1 = \frac{K}{\sigma_1 \times \sigma_2 \times \sigma_3} = \frac{440}{3{,}92.4{,}58.5{,}16} = 4{,}76$$

قيم معاملات الامداد موضحة في الجدول (4) المبين أدناه.

جدول (4): يوضح معاملات الامداد (التغذية).

حساب معاملات الامداد	مرحلة 1	مرحلة 2	مرحلة 3	مرحلة 4
σ_i	4,76	5,16	4,58	3,92
$\sigma^{1/1{,}2} - 1$	2,68	2,93	2,55	2,12
$\lambda_V = 1 - \varepsilon\left(\sigma^{1/1{,}2} - 1\right)$	0,839	0,766	0,613	0,576
$\lambda_W = 1{,}01 - 0{,}022\sigma$	0,995	0,897	0,909	0,924
λ	0,750	0,687	0,584	0,532

A–ضغط الامتصاص:

$$\text{المرحلة الثانية} - \quad P_{BC_2} = 0{,}95.\frac{835}{207}.\frac{0{,}759}{0{,}687} = 4{,}22\ ata$$
$$\text{المرحلة الثالثة} - \quad P_{BC_3} = 4{,}22.\frac{207}{50{,}3}.\frac{0{,}687}{0{,}584} = 20{,}45\ ata$$
$$\text{المرحلة الرابعة} - \quad P_{BC_4} = 20{,}45.\frac{50{,}3}{12{,}6}.\frac{0{,}584}{0{,}532} = 89{,}6\ ata$$

B–ضغط الطرد:

$$\text{المرحلة الثانية} - \quad P_{1H} = \alpha_1.P_{BC_2} = 1{,}07.4{,}22 = 4{,}51\ ata$$
$$\text{المرحلة الثالثة} - \quad P_{2H} = \alpha_2.P_{BC_3} = 1{,}06.20{,}45 = 21{,}7\ ata$$
$$\text{المرحلة الرابعة} - \quad P_{3H} = \alpha_3.P_{BC_4} = 1{,}05.89{,}6 = 94{,}1\ ata$$

C–علاقات الضغوط:

$$\text{المرحلة الأولى} - \quad \sigma_1 = \frac{4{,}51}{0{,}95} = 4{,}76$$
$$\text{المرحلة الثانية} - \quad \sigma_2 = \frac{21{,}7}{4{,}22} = 5{,}16$$
$$\text{المرحلة الثالثة} - \quad \sigma_3 = \frac{94{,}1}{20{,}45} = 4{,}59$$
$$\text{المرحلة الرابعة} - \quad \sigma_4 = \frac{351}{89{,}6} = 3{,}92$$

إن قيم σ تطابق وتوافق قيم σ المحسوبة أعلاه بشكل تام، والانحراف أو الاختلاف يُقدر بـ $(0{,}3 \div 0{,}2)\%$.

الاستنتاجات والتوصيات:

إن الطريقة المقترحة تبسط العمل الحسابي، وتعطي نتائج ذات دقة كافية من أجل التصميم العملي، والحلول التي يتم الحصول عليها تعطي انحراف بسيط جداً عن الحل التام والأكيد لنظام المعادلات الأسية مع دلائل كسرية تتراوح بين $(1 \div 0{,}5)\%$.

References:

[1] Френкель М.И. Поршневые компрессоры. Теория, конструкции и основы проектирования / Ленинград.: Машиностроение, 1969.-744с.+3 вкладки, табл. 78.: ил.

[2] Пластинин П.И. Поршневые компрессоры. Том 1. Теория и расчет / 2-е изд., перераб. и доп.-М.: Колос, 2000.-456с.: ил.

[3] Поспелов Г.А., Биктанова Р.Г., Галиев Р.М. Руководство по курсовому и дипломному проектированию по холодильным н компрессорным машинам: Учеб. Пособие для студентов втузов / М.: Машиностроение, 1986.-264с., ил.

[4] Термодиамический расчет поршневого компрессора.: Метод. Указание / Казан. Гос. Технол. Ун-т; сост.; Р.М. Галиев, И.А. Шитиков. Казань, 1995.-32с.

[5] Динамиеский расчет поршневого компрессора на ЭВМ.: Метод. Указание / Казан. Гос. Технол. Ун-т; сост.; доп. Р.М. Галиев, ассист. И.А. Шитиков, ассист. А.Г. Егоров. Казань, 1995.-28с.
[6] Дунаев. П. Ф., Леднков. О.П. Конструироваиие узлов и деталей машин.: Учеб. Пособие.
[7] Анурьев В. И., Справочник конструктора-машиностроителя. В трех томх / М.: Машиностроение, 2001.
[8] Vijaykumar E. Pipalia, Diepesh D. Shukla and Nirag C. Mehta. Investigation on reciprocating air compressors. A Review International Journal of Recent Scientific Research, Vol. 6, Issue, December, 2015.
[9] Yonus AC, Michael A B, Thermodynamics: an Engineering approach. New York: McGraw-Hill; 2006.
[10] Introduction to multi stage compression mechanical engineering lecture 2017. https;//m,youtube.com.