الفصل الرابع عشر

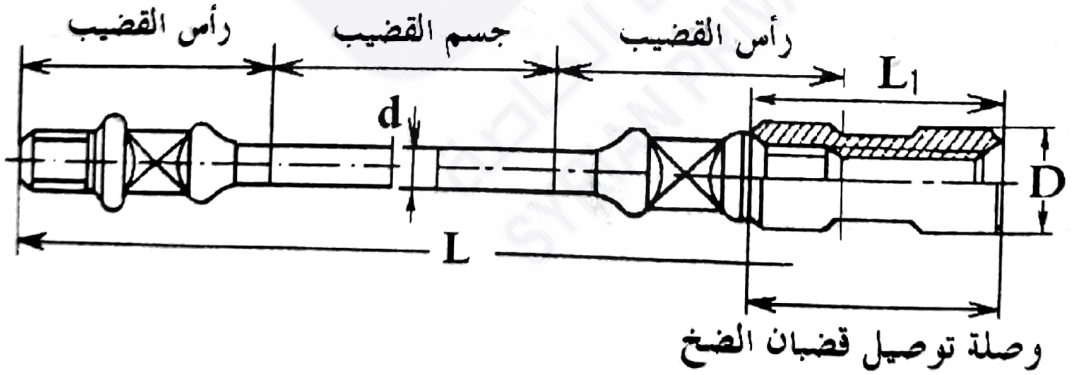
قضبان الضخ

يتألف **عمود الضخ** ، الذي يقوم بنقل الحركة الخطية المتناوبة من القسم السطحي إلى المضخة الجوفية ، من مجموعة من **قضبان الضخ** التي **تؤمن الارتباط الحركي بين مجموعة المعدات الأرضية ومكبس المضخة الجوفية المعلقة** . وبالتالي يشكل **عمود الضخ** جزءاً مهماً من أجزاء وحدة الضخ .

إن الإختيار **غير الصحيح** لأبعاد عمود الضخ ونوعية الخليطة التي تصنع منها قضبان الضخ يقود إلى مخاطر وانكسار عمود الضخ أثناء عمل المضخة الجوفية وإلى مشاكل وأعطال في هذه المضخات .

1-XIV : مواصفات قضبان الضخ

يكون قضيب الضخ منتفخ النهايات ويجهز بشرار خارجي من أجل وصل القضبان مع بعضها البعض بواسطة وصلات خاصة ، الشكل رقم (1-XIV) .



الشكل رقم (1-XIV) : مخطط تصميمي لقضيب الضخ ووصلته

Scanned by CamScanner

تصنع قضبان الضخ من خلائط من الفولاذ العالي المقاومة وبخمسة قياسات عالمية مبينة في الجدول رقم (XIV-1) .

الجدول رقم (**XIV-1**)

تصنيف	STAS – 329 -59					GOST				A.P.I				
إنش	1 1/8	1	7/8	3/4	5/8	1	7/8	3/4	5/8	1 1/8	1	7/8	3/4	5/8
قطر عمود الضخ ، مم	28	25	22	19	16	25	22	19	16	26.6	25.4	22.2	19.05	15.9
قطر الوصلة ، مم	60.5	55.5	46	41.5	38	55	46	42	38	60.3	58.75	46.05	41.3	38.5
مساحة مقطع عمود الضخ ، سم^2	6.15	4.91	3.38	2.82	2	4.91	3.78	2.82	2	6.4	5.06	3.86	2.84	1.98
وزن واحدة الطول ، كغ / م	5.25	4.16	3.22	2.42	1.75	4.37	3.17	2.48	1.711	5.46	4.29	3.28	2.43	1.37

تصنع قضبان الضخ إما **بأطوال اعتيادية** (8m) ، أو قضبان **قصيرة** بأطوال (1)، (1.2)،(1.5)، (2)،(3) متر ، **لتنظيم طول عمود قضبان الضخ** بالاعتماد على عمق تثبيت المضخة الجوفية ، أي **تنظيم وضع مكبس المضخة بالتوافق مع موقع قميصها** .

يعمل عمود قضبان الضخ في ظروف صعبة جداً ، حيث يتعرض لتأثير حمولات متغيرة دورياً تتباين في قيمة وطبيعة تأثيرها على الأجزاء المختلفة من العمود في مساره الشاقولي .

إضافة لذلك تتعرض قضبان الضخ لتأثيرات **مواصفات السوائل الجوفية المغمورة** فيها ، خصوصاً تأثيرها التآكلي **على معدن القضبان** ، وتتعرض هذه القضبان أيضاً إلى **قوى الاحتكاك بجدران السطح الداخلي لمواسير الإنتاج** .

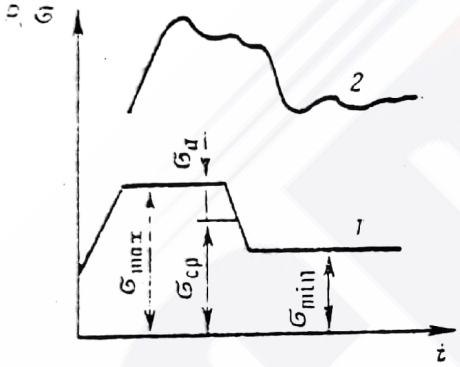
Scanned by CamScanner

هذه العوامل تؤثر سلباً في طول عمر خدمة القضبان وتقلل إمكانياتها التحميلية مما يجعلها أضعف حلقة في وحدة الإنتاج الميكانيكي المعلق .

القوة المؤثرة في نقطة تعليق القضيب الأملس عند :

- **الشوط الصاعد** تمثل الوزن الذاتي لعمود قضبان الضخ ووزن السائل المرفوع الواقع فوق صمام الضخ أو الخروج ، إضافة لقوى الاحتكاك وقوى العطالة والقوى الحركية .
- **الشوط النازل** لن يكون لوزن السائل تأثير وينعكس اتجاه القوى الاحتكاكية.

خلال حركة عمود قضبان الضخ ، يمكن أن تتولد حمولات إضافية نتيجة استعصاء مكبس المضخة في قميصها ونتيجة تأثيرات أخرى تعتمد على العلاقة المتبادلة بين عمود قضبان الضخ وعمود مواسير الإنتاج .



الشكل رقم (2-XIV) يبين :
تغير القوى في المقطع العلوي
1: الإجهادات 2: القوى

لذلك نجد أن التأثير في قضبان العمود سيكون متبايناً في جزئيه العلوي والسفلي ، حيث يتعرض **الجزء العلوي** من العمود لتأثير إجهادات متغيرة تتغير وفق نظام غير متناظر يؤدي إلى ظهور الإجهادات الأعظمية ، الشكل رقم (2-XIV) ، في حديها الأدنى والأقصى ، أي (δ_{min}) و (δ_{max}) نتيجة تأثير الحمولات الدنيا والعظمى . وبالتالي يكون :

مجال تغيير الإجهادات وفق العلاقة :

$$\delta_u = \frac{\delta_{max} - \delta_{min}}{2} \qquad \text{(XIV-1)}$$

القيمة الوسطية للإجهادات وفق العلاقة :

$$\delta_m = \frac{\delta_{max} + \delta_{min}}{2} \qquad \text{(XIV-2)}$$

Scanned by CamScanner

معامل عدم تناظر دورات التحميل وفق العلاقة :

$$K_s = \frac{\delta_{min}}{\delta_{max}} \qquad (XIV-3)$$

أما **الجزء السفلي** من عمود قضبان الضخ فيتعرض لحمولات مختلفة ، حيث إن وزن العمود نفسه يقل كلما ابتعدنا عن نقطة تعليق القضيب الأملس نحو الأسفل حتى يصبح في نقطة توصيل القضيب الأخير من العمود بذراع مكبس المضخة الجوفية مساوياً للصفر .

من جهة أخرى تؤدي قوى الاحتكاك بين المكبس وقميص المضخة وقوى مقاومة الصمامات الهيدروليكية إلى ظهور قوى ضاغطة على عمود قضبان الضخ لذلك تكون الاجهادات المؤثرة في الجزء السفلي من العمود ذات إشارات متغيرة .

وفق ذلك يمكن **تحديد الإجهادات التي يتعرض لها عمود قضبان الضخ** بمايلي:

1- **الجهد الحدي** : (النسبة بين الحمولة المحورية ومقطع القضيب) .

2- **الجهد الإرهاقي** : الذي يعبر عن تعب المعدن الناتج عن الحمولات المتناوبة (حمولة عظمى وحمولة صغرى أثناء دورة الضخ الكاملة) حيث إن عمود الضخ يتحمل أثناء المشوار الصاعد قوة الشد الناتجة عن ثقل عمود الضخ نفسه بالإضافة إلى ثقل عمود السائل فوق المكبس بالإضافة إلى مجموعة القوى الديناميكية (قوى العطالة والإهتزاز والإحتكاك) .

3- تأثير تآكل القضبان نتيجة الإحتكاك وتأثير الغازات وخاصة غاز كبريت الهيدروجين الموجود في السائل إضافة إلى تأثير الرمال والأجزاء الصلبة الأخرى والتي تؤثر مجتمعة في انخفاض مقاومة القضبان للإجهادات التي تتعرض لها .

يجب أخذ هذه الإجهادات بعين الإعتبار أثناء تصميم عمود الضخ وإلا فإنه سيتعرض في أي لحظة أثناء فترة الانتاج لمشاكل (تشقق أو انكسار وسقوط في البئر) .

Scanned by CamScanner

2-XIV : تصميم عمود الضخ

يتم تصميم عمود الضخ بمجموعتين من الطرق :

1. تعتمد على حساب تأثير القوى السكونية التي يتعرض لها عمود الضخ ،هـذه الطريقة غير صالحة للإستخدام **إلا** في الآبار **قليلة العمق** .
2. تعتمد على حساب القوى الديناميكية التي يتعرض لها عمود الضخ وذلك تبعا لزاوية دوران الساعد وتاخذ هذه القوى قيمتين موجبتين عظمى وصغرى وتبعا لذلك فإن كل مقطع من عمود الضخ سـوف يتعـرض وبشـكل متنـاوب لإجهادات مختلفة .

3-XIV : العوامل المؤثرة في مقاومة قضبان الضخ

درس الباحث فيرونفسكي مشكلة انكسارات عمود الضخ المتكررة أثناء الإنتاج ، وبعد إجراء العديد من الأبحاث توصل إلى العلاقـة المحـددة للإنكسارات الحاصلة لعمود الضخ ضمن فترة زمنية معينة :

$$M = b.n(\frac{D}{d})^3 \ H^{2.75} \qquad \text{(XIV-4)}$$

حيث إن :

b : عامل يعتمد على نوعية الخليطة التي تصنع منها قضبان الضخ .

n : عدد أشواط الميزان المضاعفة في الدقيقة .

D : قطر مكبس المضخة .

d : قطر قضبان الضخ .

H : عمق تثبيت المضخة في البئر .

نستنتج من هذه العلاقة أن تلافي الإنكسارات المتكررة لعمود الضخ يتطلب إنقاص قطر المكبس الذي يرافقه انخفاض في كميـة الإنتـاج اليومية ، لهذا يلجأ إلى

Scanned by CamScanner

زيادة طول المشوار مع الانتباه إلى عزم علبة السرعة .

4-XIV : الطرق السكونية لتصميم عمود الضخ

إن اختيار عمود ضخ مؤلف من قضبان بقطر واحد يعتمد على شرط أن **يكون الجهد الأعظمي في المقطع العلوي للقضبان (جهد الشد) أقل من الجهد الذي يتحمله العمود** . وقيمة الجهد الذي يمكن أن يتحمله عمود الضخ تعتمد على **نوعية الخليطة التي تصنع منها هذه الأعمدة وعلى صفات الوسط الذي تعمل به** وتعطى هذه القيمة من قبل الشركات الصانعة لهذه الأعمدة .

من أجل التوفير في وزن القضبان والتقليل من حمولة القضيب الأملس وبالتالي التقليل من تكاليف الإنتاج ، يصمم عمود الضخ **بقضبان مختلفة الأقطار** بشكل تكون فيه القضبان ذات القطر **الكبير** في الجزء **العلوي** أما القضبان ذات القطر **الأقل** فتكون في الجزء **السفلي** من عمود الضخ .

وحسب الطرق السكونية يمكن تصميمه بطريقتين :

1. جهد الشد في الجزء العلوي لكل قسم يساوي الجهد الأعظمي الذي يمكن أن يتحمله عمود الضخ بوزن أصغري .
2. جهد الشد في أعلى نقطة من نهاية الأقسام جميعها متساوية فيما بينها (أقسام عمود الضخ ذات مقاومة متساوية) .

أولاً : طريقة الإجهادات العظمى المقبولة

تعتمد هذه الطريقة على تعيين النقطة التي يتساوى عندها **الجهد الأعظمي** الذي يتعرض له عمود الضخ مع الجهد الحدي الذي يمكن أن **تتحمله هذه القضبان** بحيث تنطلق من الأسفل نحو الأعلى .

فوق هذه النقطة تؤخذ **قضبان الضخ** بقطر **نظامي** أكبر من قطر قضبان الضخ

Scanned by CamScanner

السابقة ثم يتم تعيين **نقطة جديدة يتساوى** فيها الجهدان ونتابع الحساب حتى نصل إلى **نقطة معينة** يكون فيها مجموع أطوال الأقسام المعنية قد تجاوز الطول الكلي لعمود الضخ المطلوب .

إذا فرضنا أن طول عمود الضخ (L) يتألف من (n) قسم ، طول كل منها ($l_1 , l_2 , ... l_n$) بدءا من الأسفل وبإهمال قوى الإحتكاك يمكن كتابة المعادلات التالية:

$$\delta . s_1 = p_1 + (b_0 \times m) l_1 q_1 \qquad \textbf{(XIV-5)}$$

$$\delta . s_{i-1} = p_i + (b_0 \times m) \sum_{1}^{i-1} Liqi \qquad \textbf{(XIV-6)}$$

$$\delta . s_n = p_i + (b_0 \times m) \sum_{1}^{n} L_i q_i \qquad \textbf{(XIV-7)}$$

حيث إن :

δ : جهد الشد الذي تتحمله القضبان Kgf/cm^2

S_i : مقطع قضبان القسم ذات القطر الواحد cm^2

q_i : وزن واحدة الطول لقضبان القسم Kgf/m

b_0 : دافعة أرخميدس

P_i : ثقل عمود السائل الذي يرفعه مكبس المضخة .

m : العامل الديناميكي لوحدة الضخ ويكون هذا العامل ذا قيمة متغيرة على طول عمود الضخ لأن تسارع نقطة تعليق القضيب الأملس مع عمود الضخ تختلف عن تسارع بقية نقاط الأقسام . لهذا و أثناء تصميم عمود الضخ يؤخذ عامل ديناميكي ثابت لكل الأقسام ويساوي إلى العامل الديناميكي المقابل لنقطة تعليق القضيب الأملس .

من العلاقة (XIV-5) نحسب طول القسم الأول ذي القطر الصغير والذي يكون فوق المكبس مباشرة :

Scanned by CamScanner

$$l_1 = \frac{\delta . s_1 - p_1}{(b_0 \times m).q_1} \qquad \text{(XIV-8)}$$

العلاقة (XIV-5) يمكن كتابتها على الشكل التالي :

$$\delta\, s_i = p_i + (b_0 m)\sum_1^i (l_i q_i) \qquad \text{(XIV-9)}$$

وبطرح العلاقة (XIV-9) من العلاقة (XIV-6) نحصل :

$$\delta\, s_{i-1} = \delta\, s_i - L_i q_i (b_0 \times m) \qquad \text{(XIV-10)}$$

من العلاقة(XIV-10) يمكن حساب طول أي قسم كما يلي :

$$L_{i+2}^{i=n} = \frac{\delta(s_i - s_{i-1})}{(b_0 \times m) q_i} \qquad \text{(XIV-11)}$$

فمثلا من أجل عمود ضخ مؤلف من قسمين :

$$l_2 = \frac{\delta(s_2 - s_1)}{(b_0 \times m) q_2}$$

عند تصميم عمود الضخ نختار القضبان ذات القطر **الصغير** والتي تشكل القسم **الأول** لعمود الضخ من الأسفل ويتم حساب طول هذا القسم باستخدام العلاقة (XIV-8) بعدذلك نختار القطر **الأكبر مباشرة** لقضبان القسم التالي ويتم تعيين طوله باستخدام العلاقة (XIV-11) وهكذا نتابع الحساب **حتى الوصول إلى نقطة يكون فيها مجموع أطوال أقسام عمود الضخ تساوي طول عمود الضخ .**

تصميم عمود الضخ بهذه الطريقة يؤمن :

- اقتصاداً في وزن عمود الضخ وبالتالي تقل الكلفة الإقتصادية للإنتاج .
- نقص الحمولة على القضيب الأملس .
- قلة طول الشوط الحقيقي لمكبس المضخة الجوفية **نتيجة التمدد والتقلص** أثناء دورة الضخ الكاملة .

Scanned by CamScanner

ثانياً : طريقة الإجهادات المتساوية عند الأجزاء العلوية لكل قسم

تعتمد هذه الطريقة في اختيار قضبان الضخ للأقسام بحيث يكون الجهد الأعظمي في القضيب العلوي من كل قسم مساوياً إلى الجهد الأعظمي في الأجزاء العلوية الأخرى .

يعطى **العامل الديناميكي** (m) بالعلاقة التالية :

$$m = (1 + \frac{r}{l}) \sin \beta \qquad \text{(XIV-12)}$$

حيث إن :

β : هي الزاوية التي يصنعها الذراع مع الميزان في أعلى وضعية للميزان .

ويجب ألا تتجاوز قيمة العامل الديناميكي m عن (1.25-1.30)

عامل الطفو (b_0) يعطى بالعلاقة :

$$b_0 = 1 - (\gamma / \gamma_0) \qquad \text{(XIV-13)}$$

إذا فرضنا عدم وجود أي تسارع وأن المضخة مثبتة على نفس ارتفاع مستوى النفط الجريابي في البئر وأن الوزن النوعي للسائل يساوي الواحد فإن العلاقات السابقة لحساب طول كل قسم من عمود الضخ مع الأخذ بعين الاعتبار نظرية الإجهادات المتساوية تصبح كما يلي :

$$\frac{l_1}{L} = R_1 \quad , \quad \frac{l_2}{L} = R_2 \qquad \text{(XIV-14)}$$

حيث أن :

R_1 : نسبة طول القسم الأول من عمود الضخ إلى كامل طول عمود الضخ الذي يقع فوق المضخة .

R_2 : نسبة طول القسم التاني من عمود الضخ إلى كامل طول عمود الضخ الذي يقع فوق المضخة .

$$R_1 + R_2 = 1 \qquad \text{(XIV-15)}$$

Scanned by CamScanner

جهد الشد في أعلى نقطة من القسم الأول يحدد وفق العلاقة :

$$\delta_1 = \frac{P_1 + l_1 q_1}{s_1} = \frac{(L.F.\gamma + l_1 q_1).b_0.m}{s_1} \qquad \text{(XIV-16)}$$

حيث إن :

F : مساحة مقطع المكبس .

S_1 : مساحة مقطع قضبان القسم الأول .

q_1 : الوزن المتري لقضبان القسم الأول .

$b_0.m$: جداء معامل الطفو في العامل الديناميكي ويساوي تقريباً (1) .

وفقاً للعلاقة المحددة لقيم (R_1 ، R_2) وباعتبار أن الوزن النوعي للسائل في البئر = (1 غ / سم^3) يمكن كتابة العلاقة (XIV-16) على الشكل التالي :

$$\delta_1 = \frac{L.F + LR_1 q_1}{s_1} \qquad \text{(XIV-17)}$$

ويكون **جهد الشد في القسم الثاني** :

$$\delta_2 = \frac{L.F + L.R_1 q_1 + LR_2 q_2}{s_2} \qquad \text{(XIV-18)}$$

وحسب نظرية تساوي الإجهادات في نهاية كل الأقسام يكون : $\delta_1 = \delta_2$

بالتعويض وباعتبار أن : $R_1 = 1 - R_2$ ، $R_2 = 1 - R_1$ يمكن أن نكتب العلاقة التالية :

$$R_1 = \frac{S_1 q_2 - F(S_2 - S_1)}{S_2 q_1 + S_1 (q_2 - q_1)} \qquad \text{(XIV-19)}$$

بعد حساب نسبة طول القسم الأول يمكن حساب طول القسم الأول من عمود الضخ باستخدام العلاقة (XIV-14) .

نسبة أطوال أقسام عمود الضخ تبعاً لمساحة مكبس المضخة الجوفية وطول العمق الحدي لإنزال عمود الضخ المركب وفقا لنسبته المئوية وجهد الشد الحدي لمعدنه

Scanned by CamScanner

$[\delta] = 1800\ kgf/cm2$ مبينة في الجدول (2-XIV) .

ملاحظة :

R_1 : هي النسبة المئوية لطول عمود الضخ الأول الذي يلي مكبس المضخة الجوفية

F : مساحة مكبس المضخة الجوفية ، م^2

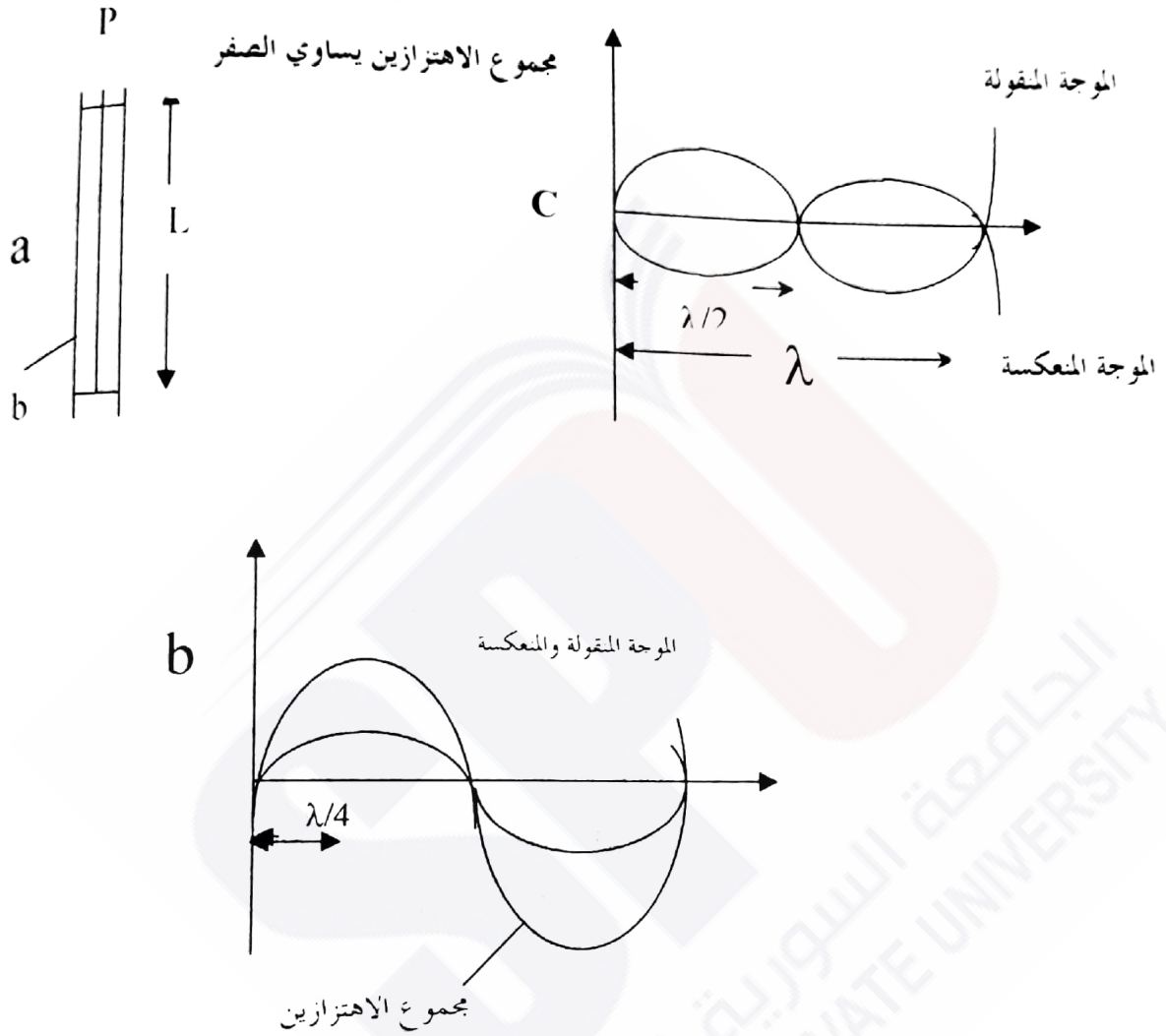
الجدول رقم (2-XIV)

العلاقات المحددة لنسب أطوال الأقسام	طول العمق الحدي لإنزال عمود الضخ المركب ، L	أقطار أعمدة الضخ ونسبها المئوية وفقا لقطر المضخة الجوفية					
		قطر المضخة الجوفية	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5
$R_1 = 0.760 - 1.3949 .10^2F$	1775 m	DP	5/8	¾			
$R_2 = 0.240 + 1.3949 .10^2 F$	1295 m 792 m	1 1/2 2 2 1/2	60 48 32	40 52 68			
$R_1 = 0.627 - 2.1690 .10^2 F$			5/8	¾	7/8		
$R_2 = 0.199 + 1.474 .10^2 F$	2064 m	1 ½	34	37	29		
$R_3 = 0.175 + 1.0197 .10^2 F$	1544 m 1204 m	2 2 ½	12 -	49 50	39 50		
$R_2 = 0.786 - 0.8660 . 10^2 F$	1856 m	1 ½		¾	7/8		
$R_3 = 0.214 + 0.8660 .10^2 F$	1502 m 1206 m	2 2 ½		69 61 51	31 39 49		
$R_2 = 0.664 - 1.3920 .10^2 F$				¾	7/8	1	
$R_3 = 0.181 + 0.7440 .10^2F$	2202 m	1 ½		50	27	23	
$R_4 = 0.155 + 0.6480 .10^2 F$	1781 m 1429 m	2 2 ½		38 22	33 42	29 36	
$R_2 = 0.582 - 1.7280 .10^2 F$				¾	7/8	1	1
$R_3 = 0.158 + 0.6554 .10^2 F$	2498 m	1 ½		38	23	21	1/8
$R_4 = 0.137 + 0.5667 .10^2 F$	2020 m	2		23	29	25	18
$R_5 = 0.123 + 0.5060 .10^2 F$	1622 m	2 1/2		63	37	32	23 28
$R_3 = 0.814 - 0.5840 .10^2 F$					7/8	1	
$R_4 = 0.186 + 0.5840 .10^2 F$	1988 m	1 ½			75	25	
	1672 m	2			70	30	
	1288 m	2 1/2			63	37	

Scanned by CamScanner

5-XIV : تأثير السرعة الطنينية في عمود الضخ

تؤثر السرعة الطنينية في تعريض عمود الضخ للمشاكل ، وتعرف بأنها عبارة عن توافق سرعة الضخ مع اهتزازات عمود الضخ الطبيعية .



الشكل رقم (a-3-XIV)

ليكن لدينا عمود ضخ طوله (L) مثبت من الأعلى في النقطة (P) ، تمثل النقطة (b) نقطة تعليـــق مكبس المضخة بعمود الضخ ، الشكل رقم (a-3-XIV) .

إذا بدأت موجة الاهتزاز في النقطة (P) فإن هذه الموجة ســـتنتقل في عمـــود الضخ بسرعة الصوت في الفولاذ وتنعكس هذه الموجة في النقطة (b) .

إذا كانت النقطة (b) :

Scanned by CamScanner

- **في بطن الموجة** فإن الموجة المنعكسة ستكون **موافقة وموازية** للموجة المنقولة وسوف تضاعفها وتضخمها ، الشكل رقم (b-3-XIV) .
- **في عقدة الموجة** فإن الموجة المنعكسة ستكون **موازية** للموجة المنقولة ولكن **غير متوافقة** معها بل تختلف عنها بقدر (180°) ، ويكون مجموع الموجتين في أي نقطة مساويا للصفر ، الشكل رقم (C-3-XIV) .

وأسهل الحالات في مضاعفة الاهتزازات ، عندما يكون ظهور الموجة المنعكسة في **بطن** الموجة المنقولة أي :

$$L = \frac{\lambda}{4} \Rightarrow \lambda = 4L \qquad \text{(XIV-20)}$$

حيث إن : λ : هي طول الموجة المنقولة أو المنعكسة .

ويتعلق طول الموجة (λ) بسرعة نقل الاهتزازات (V) وذبذبة حركة الموجة(f) كما يلي : $f = V/4L$ $\lambda = V/f = 4L$ $V = f.\lambda$

سرعة الصوت في الفولاذ : $V = 5170\ m/sec = 310200\ m/min$

ومنها يعطى **الاهتزاز الأساسي لعمود الضخ بالعلاقة :**

$$f = \frac{310200}{4L} = \frac{77550}{L} \qquad \text{(XIV-21)}$$

إذا كانت سرعة الضخ مساوية لذبذبة عمود الضخ أي (f = n) ، يؤدي ذلك إلى **توافق الاهتزازات الطبيعية مع اهتزازات سرعة الضخ** و يشكل ما يسمى بحادثة **الطنين** . وإن سرعات الضخ التي تولد حادثة الطنين هي **تلك السرعات التي تجعل من (N) في العلاقة أدناه عددا مزدوجاً** وهذه السرعات غير مرغوب فيها :

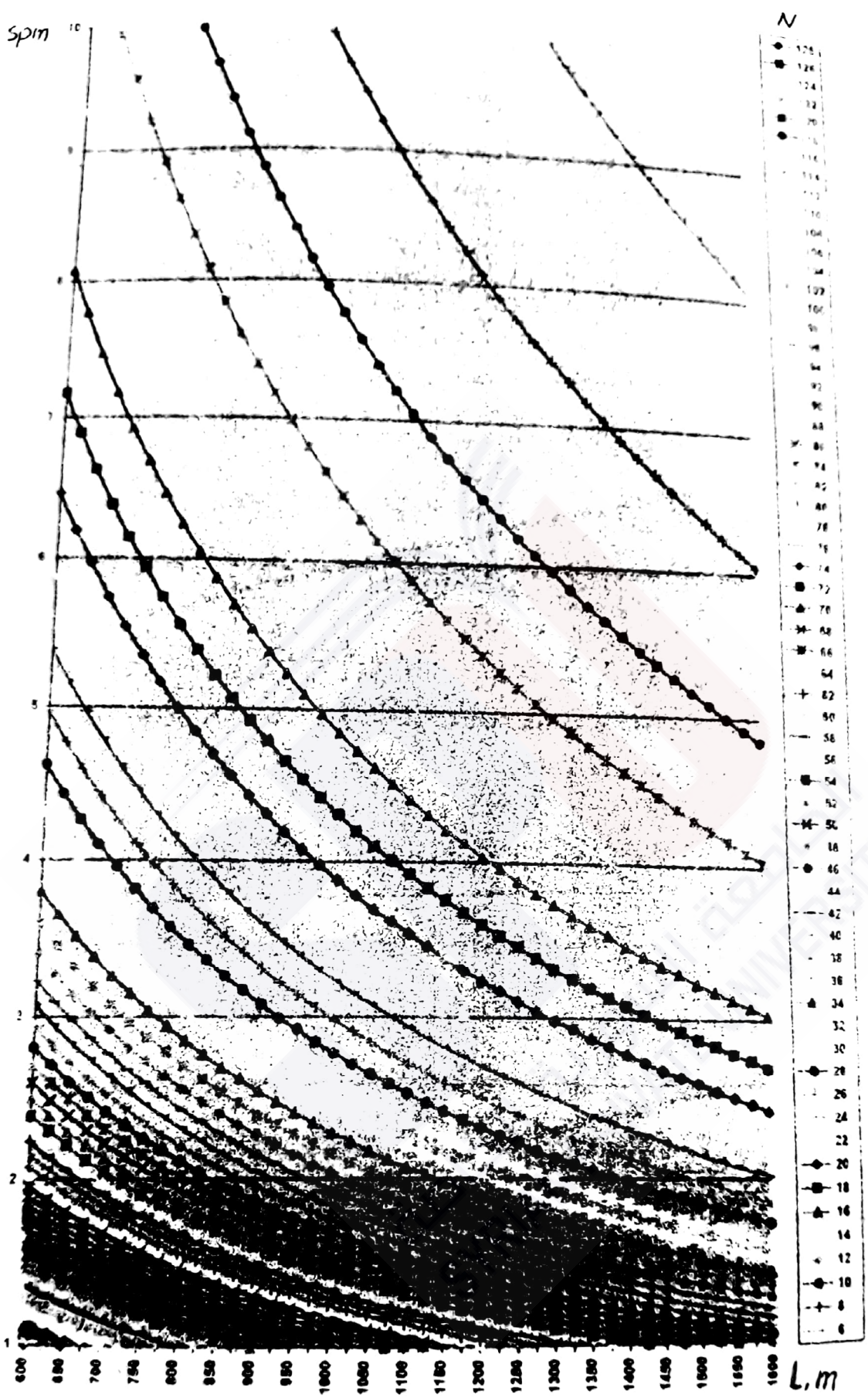
$$N = \frac{77550}{n.L} \qquad \text{(XIV-22)}$$

وكل سرعة (n) لا تجعل من (N) عددا مزدوجاً لا تكون سرعة طنينية .

Scanned by CamScanner

لهذا يجب الابتعاد عن قيم عدد الدورات المحققة للقيم الطنينية المبينة في الشكل رقم(4-XIV) عند اختيار مؤشرات مجموعة الضخ الميكانيكي ويسمح لنا تغيير طول الشوط على القضيب الأملس الابتعاد عن مثل هذه القيم وبالتالي إلغاء الدور التخريبي لاهتزازات عمود الضخ وتشكل ظاهرة الطنين .

Scanned by CamScanner



الشكل رقم (14-4)

القيم الطينية لعمود الضخ

Scanned by CamScanner