مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية – سلسلة العلوم الهندسية المجلد (17) العدد (3) 1995
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research –Engineering Science Series Vol. (17) No (3) 1995

دراسة معدلات أجزاء وحدة الضخ السطحية النفطية

الدكتور نبيل مقدسي*

❐ الملخّص ❐

يهدف البحث إلى تعميق الأسس النظرية لدراسة أجزاء وحدة الضخ السطحية النفطية حيث تم تصنيع الكثير من وحدات الضخ السطحية من مختلف القياسات في مؤسسة الإسكان العسكرية وتم تركيبها وتشغيلها في حقول النفط السورية. وتعد هذه الصناعة من الصناعات الثقيلة لضخامة وثقل الأجزاء وهناك تعليمات وشروط عالية وضعتها الشركات المصنعة لوحدات الضخ السطحية ومعهد البترول الأمريكي A.P.I يجب التقيد بها لضمان عمل وحسن التصنيع ووضع المواصفات الدقيقة على هذه الوحدات.

* أستاذ مساعد في قسم هندسة التصميم والإنتاج – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة دمشق – دمشق – سورية.

مجلة جامعة تشرين للدراسات والبحوث العلمية – سلسلة العلوم الهندسية المجلد (17) العدد (3) 1995
Tishreen University Journal for Studies and Scientific Research –Engineering Science Series Vol. (17) No (3) 1995

Study the Rating of Beam-Type Oil Pumping Unit Components

Dr. Nabil MAKDISSI*

❐ ABSTRACT ❐

This specification covers standardization of specific structure sizes in combination with established reducers, walking beam design, with specific rating formula, others components, including base, samson post, pitman and hanger.

Approved forms are given for rating of cranks counter balance and for recording pumping-unit stroke and torque factor for rear mounted geometry class 1 lever systems with crank counter balance.

* Associate Professor at Mechanical Design and Production Department, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Damascus University, Damascus, Syria.

مقدمة:

تعتبر صناعة وحدات الضخ السطحية النفطية Oil pumping units من الصناعات الجديدة في القطر العربي السوري حيث يتم تصنيع الهيكل المعدني بالكامل بالإضافة إلى تصنيع الكرنكات والمحاور وأثقال التوازن ماعدا الإكسسوارات الكهربائية والميكانيكية وهي تعمل بشكل جيد في حقول النفط السورية. لقد تلازمت فترة التصنيع الأولى بمساعدة خبراء من الشركات الأجنبية بالإضافة إلى خبرة كادرنا الوطني. وبعد أن استقرت صناعة الوحدات السطحية عندنا كان لابد من التقيد بالمواصفات الموضوعة من قبل هيئة المقاييس الدولية لإنتاج المعدات النفطية.

تتضمن هذه المواصفات التصاميم والمعدات لأجزاء الوحدات السطحية التي تستخدم نوع الميزان ويجب التقيد بحساب معدلات عزوم الموازنة ومعامل العزم ومعامل الشوط والتقيد بمجموعة المصطلحات القياسية التالية:

1- الوحدة السطحية Pumping-unit.

2- هيكل الوحدة السطحية Pumping-unit structure.

3- مخفض السرعة المسنني للوحدة السطحية Pumping-unit gear reducer.

4- مخفض السرعة (ذات السلاسل) للوحدة السطحية Pumping-unit chain reducer.

5- موازنة الوحدة السطحية باستخدام أثقال التوازن على الميزان Pumping-unit beam counter balance.

6- موازنة الوحدة السطحية باستخدام أثقال التوازن على الكرنكات Pumping-unit crank counter balance.

1- هيكل الوحدة السطحية Pumping-unit structure.

يغطي هذا الفصل ما يلي:

آ- توحيد المقاييس الخاصة بقياسات هياكل الوحدات السطحية ضمن مجموعة متحدة مع قياسات مخفضات السرعة الخاصة بها.

ب- تصميم الميزان حسب النسب الخاصة بحسابه.

جـ- تصميم بقية أجزاء الوحدة ومن ضمنها القاعدة المعدنية، الهرم أذرع التوصيل، أداة التعليق مع ذكر الشروط العامة، انظر الشكل رقم (1).

1-1: سلسلة وحدات الضخ السطحية النفطية القياسية Standard pumping-unit series:

يوصى بأن تكون وحدات الضخ السطحية المقدمة حسب المواصفات متلازمة مع معدلات مخفضات السرعة الخاصة بها ومع استطاعة الهيكل وطول الشوط كما هو مبين بالجدول رقم (1).

2-1: الميزان Walking beam:

يجب استخدام الصيغة التالية لحساب معدل تحمل الميزان لحمل القضيب الأملس كما يظهر في الشكل رقم (2).

$$W = (fcb \times S)/a$$

حيث:

W: معدل تحمل الميزان لحمل القضيب الأملس [Lbs] walking-beam rating.

fc.b: إجهاد الضغط في منقطة الانحناء compressive stress in bending [Lbs/in^2].

تعطى القيمة المسموح بها للإجهاد والضاغط في الجدول رقم (1).

S: عزم المقاومة Section modulus يمكن استعمال المقطع الإجمالي للميزان المدلفن ماعدا الثقوب أو الوصلات الملحومة التي لا يسمح باستعمالها بشفة أو فلنجة الشد في المنطقة الحرجة (انظر الشكل 1)[in^3].

a: المسافة بين مركز كرسي الاستناد الهرمي ومركز رأس البئر [in].

3-1: تحديد قيم الاجهادات الأعظمية المسموح بها لحساب الموازين في الوحدات السطحية Maximum allowable stresses in pumping-unit walking beams:

تحدد قيمة الإجهاد (fcb) من الجدول رقم (1) للموازين المدلفنة القياسية for standard rolled beams ذات المقاطع المتماثلة بالنسبة للمحور الأفقي الحيادي. تكون قيم الإجهادات الحرجة ضاغطة في الشفة السفلى للميزان وقيمتها الأعظمية (fcb) مطابقة للقيم بالسطرين 2-3 من الجدول رقم (1).

4-1: الهرم Samson post:

على الصانع تحمل مسؤوليته تجاه تصميم الهرم المصنع من حيث ثباته والإجهادات المطبقة عليه حسب معدل تحمل الميزان.

5-1: الأذرع Pitman:

يجب أن يكون تركيب الأذرع مع الميزان متماسكا بشكل جيد ويؤمن حرية الحركة وأن تكون متينة تجاه الأحمال والقوى الواقعة عليها من الميزان.

6-1: الحمالة وكبل التطبيق Hanger:

على الصانع تحمل مسؤوليته تجاه تصميم وتركيب الحمالة وكبل التعليق وتماسكها بقوة مع الميزان.

7-1: حساب معاملي العزم والشوط The torque factors on reducer and stroke:

لكي يكون العزم على علبة السرعة مناسبا ومحددا بدقة حسب مخطط الدينامومتر، يجب تزويد الوحدات السطحية المصنعة بجداول معاملات العزم والشوط Stroke and torque factors لكل (15°) درجة من زوايا الكرنك Crank وتحديد قوة العزم الموازنة Structural unbalance (B).

2- مخفضات السرعة لوحدات الضخ السطحية النفطية Pumping-unit reducers:

1-2: القياسات الأساسية لمخفضات السرعة ومعدلات عزومها Standardization of specific reduces size:

1	2	3	4
	Stress	Symbol	ASTM A36 Structural Steel
1	Tensile stress in extreme fibers in bending, psi.	f_{tb}	11.000
2	Compressive stress in extreme fibers in bending, psi. (May not exceed values on line 3)	f_{eb}	$\frac{*6.000.000}{\frac{ld}{bt}}$
3	Maximum compressive stress in bending, except as limited by equation on line 2, psi.	f_{cb}	11.000
4	Minimum yield strength of material, psi.		36000

* In the quantity $\frac{ld}{bt}$:

l = laterally, unbraced length of beam, Inches.
d = depth of beam section, Inches.
b = width of compression flange Inches.
t = thickness of compression flange, Inches.

جدول (2): الاجهادات الأعظمية المسموح بها لحساب الموازين في الوحدات السطحية[1]

يبين الجدول القياسات الأساسية لمخفضات السرعة للوحدات السطحية والعزوم الأعظمية المناسبة لها. وعند إجراء العمليات الحسابية يجب أن يعادل العزم الأعظمي المدون في الجدول رقم (3) وليس أقل منه.

إن مخفضات السرعة المدرجة ضمن هذه المواصفات والمستعملة والمركبة والمشحمة بشكل مناسب يجب أن تتحمل العزم الأعظمي الموافق لها تحت ظروف التشغيل الاعتيادية في حقول النفط.

إن طرق حساب وقياس أحمال البئر على الوحدة السطحية ليست ضمن مجال المواصفات ومع ذلك يجب الأخذ بعين الاعتبار إمكانية تجاوز الأحمال الفعلية الظاهرية وذلك في الحالات التالية:

آ- الاهتزازات الحرجة Critical vibration الخطيرة في مخفض السرعة ومجموعة المحرك.

ب- التبدل الزائد والمفرط في تيار المحرك Excessive fluctuation in engine power.

جـ- وجود خطأ في عملية التوازن Improper counter balancing.

د- التشغيل السيئ للمضخة الغاطسة Poor bottom-hole pump operation.

هـ- وجود ارتخاء في أجزاء هيكل الوحدة السطحية Looseness in the pumping unit structure.

2-2: نسب المسننات Gear rating:

وضعت نسب المسننات المعطاة من النظام (AGMA STd 422-02) [2] وهو نظام عملي لحساب نسب المسننات الحلزونية Helical والحلزونية Herring bone في مخفضات السرعة الخاصة بوحدات الضخ السطحية النفطية Oil pumping units تتعلق نسب المسننات بالمتانة السطحية Surface durability ويجب أن نتحمل مسؤولية اختيار خطوة كبيرة بشكل كاف لتأمين متانة أسنان مناسبة.

2-3: تصميم المسننات Design gears:

يجب أن تكون المسننات إما حلزونية helical وإما حلزونية مزدوجة herringbone والتخفيض إما بمرحلة واحدة وإما بمرحلتين أو ثلاث مراحل ويجب أن تراعى في تحديد ارتفاع أسنان المسننات Tooth height زاوية الضغط Pressure angle وزاوية الحلزون Helix angle حسب تعليمات اتحاد الشركات الأمريكية لصناعة المسننات (AGMA) وأن أية علاقة للبعد المركزي وعرض الوجه للمسنن يمكن استخدامها بشرط أن لا يكون هناك تركيز غير ملائم لارتفاع الضغط مما يؤدي لانحراف الأسنان تحت الحمل.

تصنع المسننات من الفولاذ Steel أو من الحديد العقدي Nodular iron وتصنع التروس الصغيرة Pinions من الفولاذ Steel أيضا ويمكن استخدام واحدة من المجموعات القاسية Hardness combinations المبينة بالشكل رقم (4).

أما المسننات المصنوعة من الحديد العقدي فيجب أن تطابق نشرة التعليمات الفنية لنظام المسننات (AGMA240-01.[3]) بعدها تجري عليها المعالجات الحرارية بعد إجراء عمليات القطع.

4-2: الصيغ الحسابية للمعدلات Rating formulas:

يجب أن تعتمد نسب المعدلات للمسننات Gear rating على السرعة الاسمية للوحدة السطحية. تؤخذ سرعة الوحدة السطحية (20 شوط/دقيقة) لمخفض السرعة ذي العزم الأعظمي (320.000in-Lbs) ويبين الجدول رقم (4) سرعات الوحدات السطحية ومعدلات عزوم مخفضات السرعة المناسبة لها.

5-2: حساب العزم الأعظمي لمخفض السرعة لمرحلتي التخفيض الأولى والثانية (والمرحلة الثالثة عندما يكون مخفض السرعة ذي ثلاث مراحل تخفيض):

تستخدم العلاقة التالية لحساب معدل العزم الأعظمي:

$$T = \frac{63000}{N} \times Fi \times Kr \times Ds \qquad [in-Lbs)$$

حيث:

N: عدد دورات الوحدة السطحية (شوط/دقيقة) Pumping speed.

T: معدل العزم الأعظمي المطبق على المحور الرئيسي Peak torque rating.

F_i: معامل موحد حسب عرض الوجه للمسنن ومعامل الشكل (تؤخذ قيمته من الشكل 3).

Kr: معامل موحد حسب عرض الوجه للمسنن وشكل الأسنان (تؤخذ قيمته من الشكل 4).

Ds: معامل موحد حسب عدد دورات الترس الصغير (القائد) في مخفض السرعة. ويحسب قطر الخطوة Pitch diameter Dp ومعامل السرعة Cv يحدد بالعلاقة التالية:

$$Ds = \frac{(Dp)^2 \times Cv \times np}{126000}$$

حيث:

Dp: قطر الخطوة Pitch diameter للترس الصغير (القائد) وتقاس بالإنش وفي الترس الكبير تؤخذ قيمته معادلة لأكبر قطر مطروحا منه قطر طرفي سن الترس.

np: عدد دورات الترس الصغير (المحور الغير مخفض السرعة دورة/دقيقة)

Cv: معامل السرعة ويحسب من العلاقة:

$$Cv = \frac{78}{78 + \sqrt{V}}$$

حيث:

V: سرعة خط الخطوة Pitch line velocity in fpm (قدم/دقيقة) للمسنن. (لا تستعمل القيمة المبكرة لـDp).

6-2: حساب العزم الأعظمي لمخفض السرعة ذات السلاسل Chain reducers:

يمكن حساب العزم الأعظمي لمخفض السرعة ذات السلاسل بالعلاقة التالية:[9]

$$T = \frac{S \times R}{12}$$

حيث:

T: معدل العزم الأعظمي لمخفض السرعة Peak-torque rating [in-Lbs].

S: قوة شد السلاسل المطبقة Ultimate tensile strength of chain [Lbs].

R: نصف قطر الخطوة للمسنن الكبير Pitchs radius.

يجب أن تحسب معدلات مخفض السرعة Rating formula ذات السلاسل عند سرعة المضخة 20 شوط/دقيقة.

7-2: إجهادات المحاور Shaft stresses:

بالنسبة للمحاور الفولاذية Steel shafts يجب أن لا تزيد قيمة الإجهاد الأعظمي Maximum الناتجة عن الانحناء Bending وقيمة الإجهاد الأعظمي الناتج عن الفتل Torsion عن قيمة معدل الإجهاد للوحدة السطحية (شكل 4) وتحدد حدود هذا الإجهاد المسموح به بتأثير الإجهاد المركز الناتج عن مجاري الجوابير Key ways المساند الجانبية، مجاري التزييت ...الخ بما لا يتجاوز القيم الموجودة في الشكل رقم (5). وعندما تزداد قيمته عن المحدد في حال الازواجات الضاغطة Press fits أو بسبب الانحرافات غير العادية Unusual deflections يجب تحديده بشكل مفصل.

8-2: انحرافات المحاور Shaft deflections:

يجب تحليل انحرافات المحاور التي تسبب الاختلاف بتماس أسنان المسننات Tooth contact بغض النظر عن مستويات الإجهاد للتأكد من ملامس الأسنان بشكل كاف حسب المطلوب لتحقيق القيم المستعملة لحساب معدل المسننات Km,Cm.

9-2: إجهادات الخوابير Key stresses:

يمكن حساب إجهادات القص Shears والانضغاط Compressive في الخوابير بالعلاقة التالية:

إجهاد القص Ss Shear stress:

$$Ss = \frac{2Tt}{(ds) \times (W) \times (L)} \qquad [psi]$$

إجهاد الانضغاط Cs Compseosiue stress

$$Cs = \frac{2Tt}{(ds)\times(hl)\times(L)} \qquad [psi]$$

حيث:

Tt: عزم الفتل للمحور Transmitted shaft torque [Lb.in].

ds: قطر المحور (للمحاور المتدرجة يستعمل أكبر قطر) [in].

W: عرض الخابور Width of key [in].

L: طول الخابور Length of key [in].

hl: ارتفاع الخابور في المحور Height of key in the shaft (في التصاميم التي تكون فيها أجزاء الخابور غير متساوية تؤخذ قيمة (hl) في أصغر قسم) [in] تؤخذ قيم الإجهادات المسموح بها لمعدن الخوابير من الجدول رقم (5).

10-2: إجهادات العناصر المثبتة :Fastener stresses

يمكن تحديد إجهادات العناصر المثبتة bolts, studs on cap screws (براغي، صواميل..).

من حساب القوى المؤثرة عليها نتيجة العزم المطبق على مخفض السرعة بالإضافة لكافة الأحمال الهيكلية الخارجية.

يجب أن لا تزيد قيمة الإجهاد الأعظمي المسموح به في منطقة الشد للمثبتات ذات الأسنان كالبراغي والصواميل عن القيم المعطاة في الجدول رقم (6).

ويمكن حساب مساحة الشد Tensile (A) area بالعلاقة التالية:

$$A = 0.785\left(Dm - \frac{0.97}{Nt}\right)^2$$

A: مساحة الشد للمثبت Tensile area of fastener.

Dm: القطر الأسمي للمثبت Major diameter [in].

Nt: عدد الأسنان بالإنش للمثبت Threads per inch of fastener.

1-3: حساب معاملات العزوم لوحدات الضخ السطحية The calculation of torque factor on pumping units:

معامل العزم لأية زاوية للكرنك – هو المعامل الذي يعطي عند ضربه بحمل القضيب الأملس العزم على المحور الرئيسي لمخفض السرعة (شكل 6 و7). ويمكن تحديده من المخطط الهندسي للوحدة السطحية حيث يمكن قياس مختلف الزوايا ويمكن تحديده أيضا بالعلاقات الرياضية يتم تقييم قيم معاملات الشرط من الشركة الصانعة حسب زوايا الكرنك لكل (15°) حسب اتجاه دوران الوحدة السطحية.

يمكن تحديد الحمل الصافي الأملس بالعلاقة:

$$Wn = W\text{-}B$$

حيث:

Wn: الحمل الصافي للقضيب الأملس [LbS] Net polished-rod load pounds.

W: حمل القضيب الأملس حسب زاوية الكرنك [LbS] Polished-rod load.

B: قوة التوازن لهيكل الوحدة السطحية [pounds] Structural unbalance وتعادل إلى القوة التي يحتاجها القضيب الأملس لجعل الميزان في الوضعية الأفقية. تكون هذه القوة موجبة عندما يكون تأثير فعلها للأسفل وسالبة عندما يكون تأثير فعلها للأعلى. وتؤخذ قيمتها من مخططات الوحدة السطحية ويساوي العزم Torque due to the net polished-rod loads المطبق على المحور الرئيسي لعلبة السرعة بتأثير الحمل الصافي للقضيب الأملس (Wn) ولزاوية الكرنك إلى:

$$Twn = TF \times Wn$$
$$= TF(W - B) \qquad [in - LbS]$$

TF: معامل العزم حسب زاوية الكرنك المعطاة Torque factor.

أما عزم الموازنة الأعظمي (M) على المحور الرئيسي لمخفض السرعة فيعادل إلى مجموع العزوم الثلاثة:

1- العزم (M1) الناتج عن وزن الكرنكات.

2- العزم (M2) الناتج عن موضع المحاور الجانبية الموصولة بالكرنكات (حسب طول الشوط المفروض).

3- العزم (Ma) الناتج عن أثقال التوازن وذلك عندما تكون الكرنكات في الوضعية الأفقية $\theta = 90^{\circ}$ أو $\theta = 270^{\circ}$

ويساوي عزم الموازنة (Tr) المطبق على المحور الرئيسي لمخفض السرعة والناتج عن تأثير أثقال التوازن والكرنكات والمحاور الجانبية Torque due to the rotary counter weights cranks and crank pins وذلك حسب زاوية الكرنك المعطاة إلى:

$$Tr = M \times \sin\theta \quad [in\text{-}Lb]$$

أما العزم الصافي Net torque at the crank shaft Tn على المحور الرئيسي لمخفض السرعة وحسب زاوية الكرنك فيساوي إلى:

$$Tn = Twn - Tr \qquad [in - Lb]$$

ويتم حساب معامل العزم Torque factor TF بالعلاقة التالية:

$$TF = \frac{A \times R}{C} \times \frac{\sin\alpha}{\sin\beta}$$

حيث:

A: المسافة بين مركز كرسي الاستناد والهرمية ومركز رأس البئر.

R: المسافة بين مركز كرسي الاستناد الجانبي ومركز المحور الرئيسي لعلبة

السرعة حسب طول الشوط المفروض (انظر الشكل 6).

C: المسافة بين كرسي الاستناد الهرمي ومركز الاستناد الخلفي.

α: الزاوية بين P و R بالدرجات (تقاس باتجاه عقارب الساعة من R إلى P) انظر الشكل رقم (6).

β: الزاوية بين الأذرع C و P وتقاس بالدرجات شكل (6).

وتكون قيمة $\sin\alpha$ موجبة عندما تكون قيمة α بين (0°-180°).

وتكون قيمة $\sin\alpha$ سالبة عندما تكون قيمة α بين (180°-360°).

أما قيمة $\sin\beta$ فهي موجبة دائماً كون الزاوية β بين (0°-180°).

وتشير قيمة معامل العزم السالبة فقط إلى التبديل في اتجاه العزم على المحور الرئيسي لمخفض السرعة.

وتساوي الزاوية ϕ (الزاوية المحصورة بين الخط 12 وخط k وتقاس بالدرجات) إلى:

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{1}{H-G}\right)$$

إن الزاوية ϕ ثابتة لأية وحدة سطحية. أما الزاوية β تحددها العلاقة التالية:

$$\beta = \cos^{-1}\frac{C^2 - P^2 - K^2 - R^2 + 2KP\cos(\theta-\phi)}{2CP}$$

حيث:

H: الارتفاع بين مركزي كرسي الاستناد الهرمي وأسفل القاعدة المعدنية.

G: الارتفاع بين مركزي المحور الرئيسي لعلبة السرعة وأسفل القاعدة المعدنية.

P: الطول الفعال للذراع.

K: المسافة بين مركز كرسي الاستناد الهرمي ومركز المحور الرئيسي لمخفض السرعة.

J: المسافة بين مركز كرسي الاستناد الهرمي ومركز المحاور الجانبية حسب طول الشوط.

θ: زاوية دوران الكرنك باتجاه عقارب الساعة.

ϕ: الزاوية بين الذراع C و K [بالدرجات] وتساوي $\phi = X - \rho$.

X: الزاوية بين C و J بالدرجات.

ρ: الزاوية بين K و J بالدرجات.

تكون قيمة $(\theta-\phi)$ cos موجبة عندما تكون هذه الزاوية محصورة بين (90° و 270°) باتجاه دوران عقارب الساعة وسالبة عندما تكون محصورة بين (90° و 270°) باتجاه عكس دوران عقارب الساعة.

وعندما تكون $(\theta-\phi)$ سالبة يجب أن تطرح من (360°).

$$X = \cos^{-1}\frac{C^2 + J^2 - \beta^2}{2CJ}$$

$$\rho = \sin^{-1}\frac{R\sin(\theta-\phi)}{J}$$

وتؤخذ قيمة الزاوية ρ كزاوية موجبة عندما sin ρ موجبة وهذه تحصل عندما تكون وضعيات الكرنك بين 0° = (θ-ϕ) و 180° = (θ-ϕ) وتؤخذ الزاوية ρ كزاوية سالبة عندما يكون sinρ سالبا وهذه تلائم وضعية الكرنك بين 180° = (θ-ϕ) والوضعية 360° = (θ-ϕ) ويساوي معامل الشوط PR إلى Polished rod position

$$PR = \frac{\psi_b - \psi}{\psi_b - \psi_t}$$

حيث:

$$\psi_b = \cos^{-1}\frac{C^2 + K^2 - (P+R)^2}{2CK}$$

$$\psi_t = \cos^{-1}\frac{C^2 + K^2 - (P-R)^2}{2CK}$$

2-3: تطبيق معاملات العزوم Torque factors لحساب عزوم الوحدة السطحية:

3-2-1: حساب العزم الصافي على محور الكرنك Net torque at the Tn crank shaft:

يمكن حساب العزم الصافي من العلاقة التالية:

$$Tn = Twn - Tr = TF(W - B) - M\sin\theta$$

حيث أن:

TF: معامل العزم Torque factor.

W: الحمل على القضيب الأملس Polished-rod load.

B: قوة أثقال التوازن.

M: العزم الأعظمي لموازنة أثقال التوازن والكرنكات ومراكز الاستناد الجانبية.

يتم حساب الحمل W من المخطط الدينموغراف لحمل القضيب الأملس شكل (7) حسب مختلف وضعيات الكرنك.

وتؤخذ قيمة B أثقال التوازن المستخدمة من جداول الوحدة السطحية وتؤخذ قيم عزم الموازنة حسب طول الشوط وبعد أثقال التوازن عن مركز المحور الرئيسي لمخفض السرعة.

يبين الشكل (8) منحنيات العزوم التالية:

1- منحني عزم حمل القضيب الأملس ويساوي إلى:

$$Twn = TF(W-B)$$

الناتج عن الحمل الصافي للقضيب الأملس.

2- منحني عزم الموازنة ويساوي إلى:

$$Tr = M\sin\theta$$

الناتج عن أثقال التوازن والكرنكات ومراكز الاستناد الجانبي حسب زاوية الكرنك المعطاة.

3- منحني العزم الصافي على محور الكرنك حسب زاوية الكرنك المعطاة ويساوي إلى:

$$Tn = Twn-Tr$$

العزم الصافي على المحور الرئيسي لمخفض السرعة.

وتؤخذ قيمة عزم الموازنة الأعظمي M كمجموع للعزوم الثلاثة M1,M2,M3 المتعلقة بالكرنكات ومراكز الاستناد الجانبية وأثقال التوازن حسب موقعها على الكرنك.

ويمكن حساب عزم الموازنة من العلاقة:

$$M = TF(W-B)$$

يبين الشكل (8) منحنيات العزوم Tn, Tr, Twn لوحدة قياس سطحية (160D) الشوط المقترح (64 in).

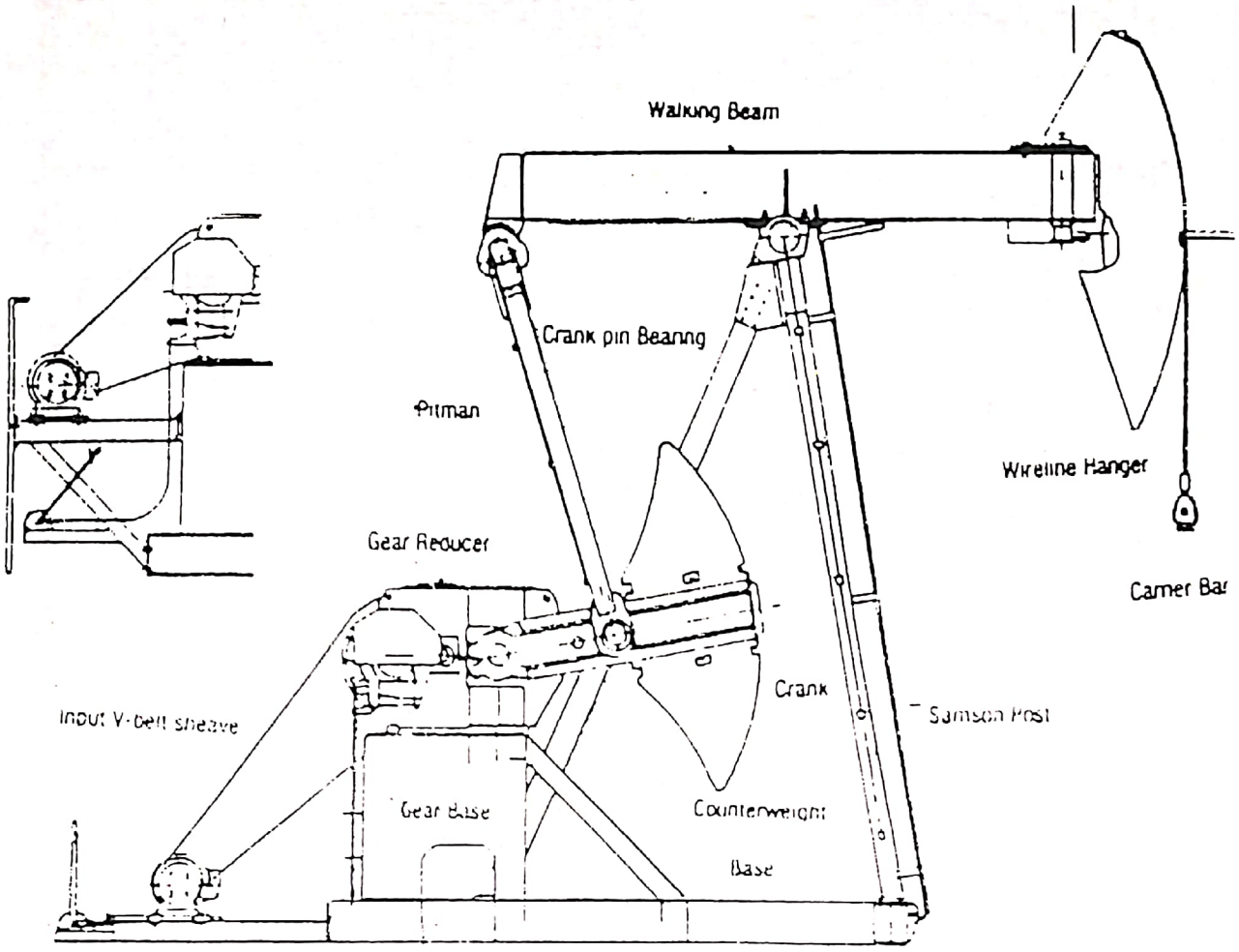
خاتمة:

بما أن قطرنا يصنع وحدات الضخ السطحية النفطية لذلك يجب وضع مواصفات دقيقة لهذه الوحدات والتي تتضمن التصاميم والمعدلات لأجزاء الوحدات السطحية التي تستخدم نوع الميزان ووضع جداول معتمدة لحساب معدلات عزوم الموازنة M ومعامل العزم TF ومعامل الشوط PR.

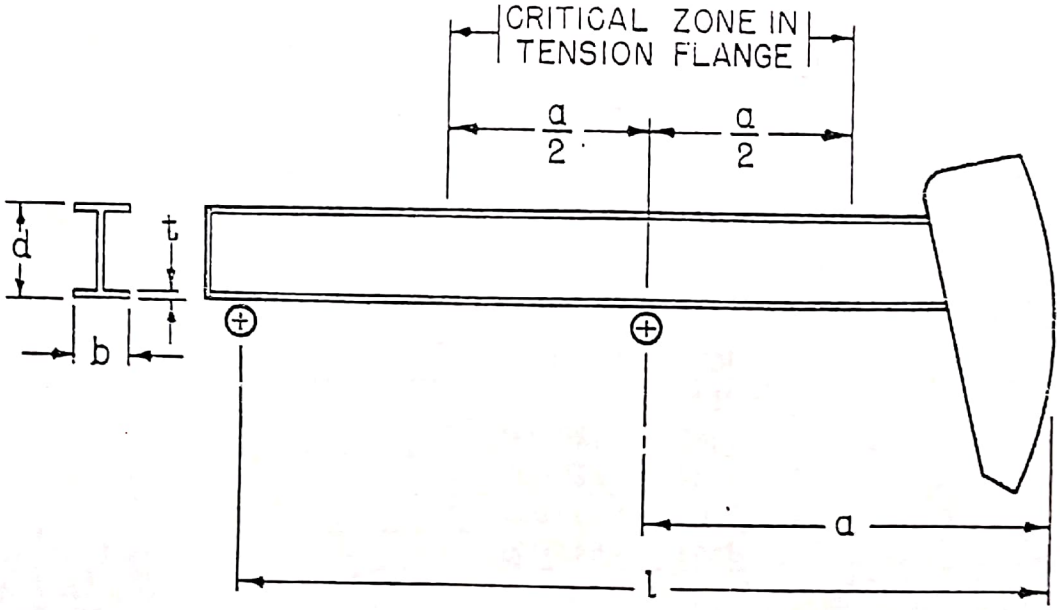
جدول (1) سلسلة وحدات الضخ السطحية ومعدلاتها

1 Pumping unit size	2 Reducer rating In-lb	3 Structure capacity lb	4 Max stroke length in
6.4-32-16	6.400	3.200	16
6.4-21-24	6.400	2.100	24
10-32-24	10.000	3.200	24
10-40-20	10.000	4.000	20
16-27-30	16.000	2.700	30
16-53-30	16.000	5.300	30
25-53-30	25.000	5.300	30
25-56-36	25.000	5.600	36
25-67-36	25.000	6.700	36
40-89-36	40.000	8.900	36
40-76-42	40.000	7.600	42
40-89-42	40.000	8.900	42
40-76-45	40.000	7.600	48
57-76-42	57.000	7.600	42
57-89-42	57.000	8.900	42
57-95-48	57.000	9.500	45
57-109-48	57.000	10.900	45
57-76-54	57.000	7.600	54
80-109-48	80.000	10.900	48
80-133-45	80.000	13.300	45
80-119-54	80.000	11.900	54
80-133-54	80.000	13.300	54
80-119-64	80.000	11.900	64
114-133-54	114.000	13.300	54
114-143-64	114.000	14.300	64
114-173-64	144.000	17.300	64
114-143-74	144.000	14.300	74
114-119-86	144.000	11.900	86
160-173-64	160.000	17.300	64
160-143-74	160.000	14.300	74
160-173-74	160.000	17.300	74
160-200-74	160.000	20.000	74
160-173-86	160.000	17.300	86
225-173-74	225.000	17.300	74
225-200-74	225.000	20.000	74
225-213-86	225.000	21.300	86
225-246-86	225.000	24.600	86
225-173-100	225.000	17.300	100
225-213-120	225.000	21.300	120

1 Pumping unit size	2 Reducer rating in-lb	3 Structure capacity lb	4 Max stroke length in
320-213-86	320.000	21.300	86
320-256-100	320.000	25.600	100
320-305-100	320.000	30.500	100
320-213-120	320.000	21.300	120
320-256-120	320.000	25.600	120
320-256-144	320.000	25.600	144
456-256-120	456.000	25.600	120
456-305-120	456.000	30.500	120
456-365-120	456.000	36.500	120
456-256-144	456.000	25.600	144
456-305-144	456.000	30.500	144
456-305-168	456.000	30.500	168
640-305-120	640.000	30.500	120
640-256-144	640.000	25.600	144
640-305-144	640.000	30.500	144
640-365-144	640.000	36.500	144
640-305-168	640.000	30.500	168
640-305-192	640.000	30.500	192
912-427-144	912.000	42.700	144
912-305-165	912.000	30.500	165
912-365-165	912.000	36.500	168
912-305-192	912.000	30.500	192
912-427-192	912.000	42.700	192
912-470-240	912.000	47.000	240
912-427-216	912.000	42.700	216
1280-427-168	1.280.000	42.700	168
1280-427-192	1.280.000	427.700	192
1280-427-216	1.280.00	42.700	216
1280-470-240	1280.000	47.000	240
1280-470-300	1.280.000	47.000	300
1824-427-162	1.824.000	42.700	192
1824-427-216	1.824.000	42.700	216
1824-470-240	1.824.000	47.000	240
1824-470-300	1.824.000	47.000	300
2560-470-240	2.560.000	47.000	240
2560-470-300	2.560.000	47.000	300
3648-470-240	3.648.000	47.000	240
3648-470-300	3.645.000	47.000	300

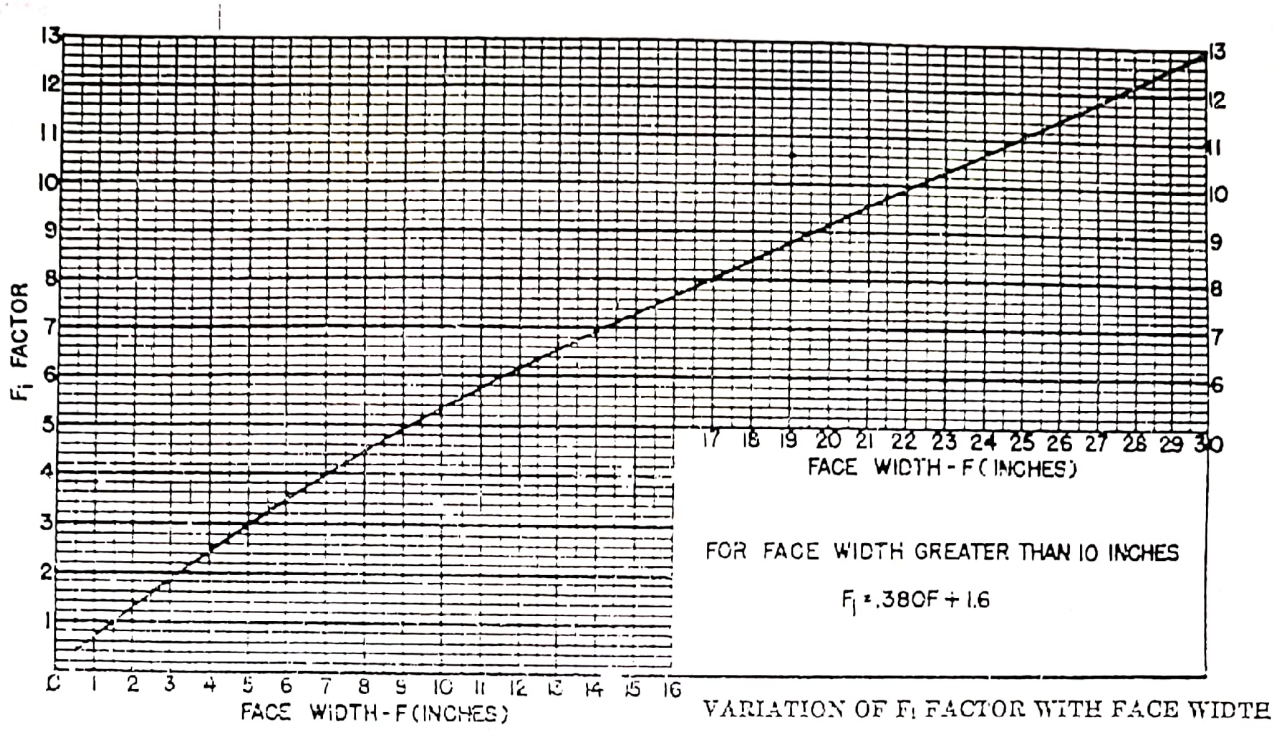


شكل (1): أجزاء وحدة الضخ السطحية النفطية.



WALKING-BEAM ELEMENTS

شكل (2): عناصر ميزان وحدة الضخ السطحية.

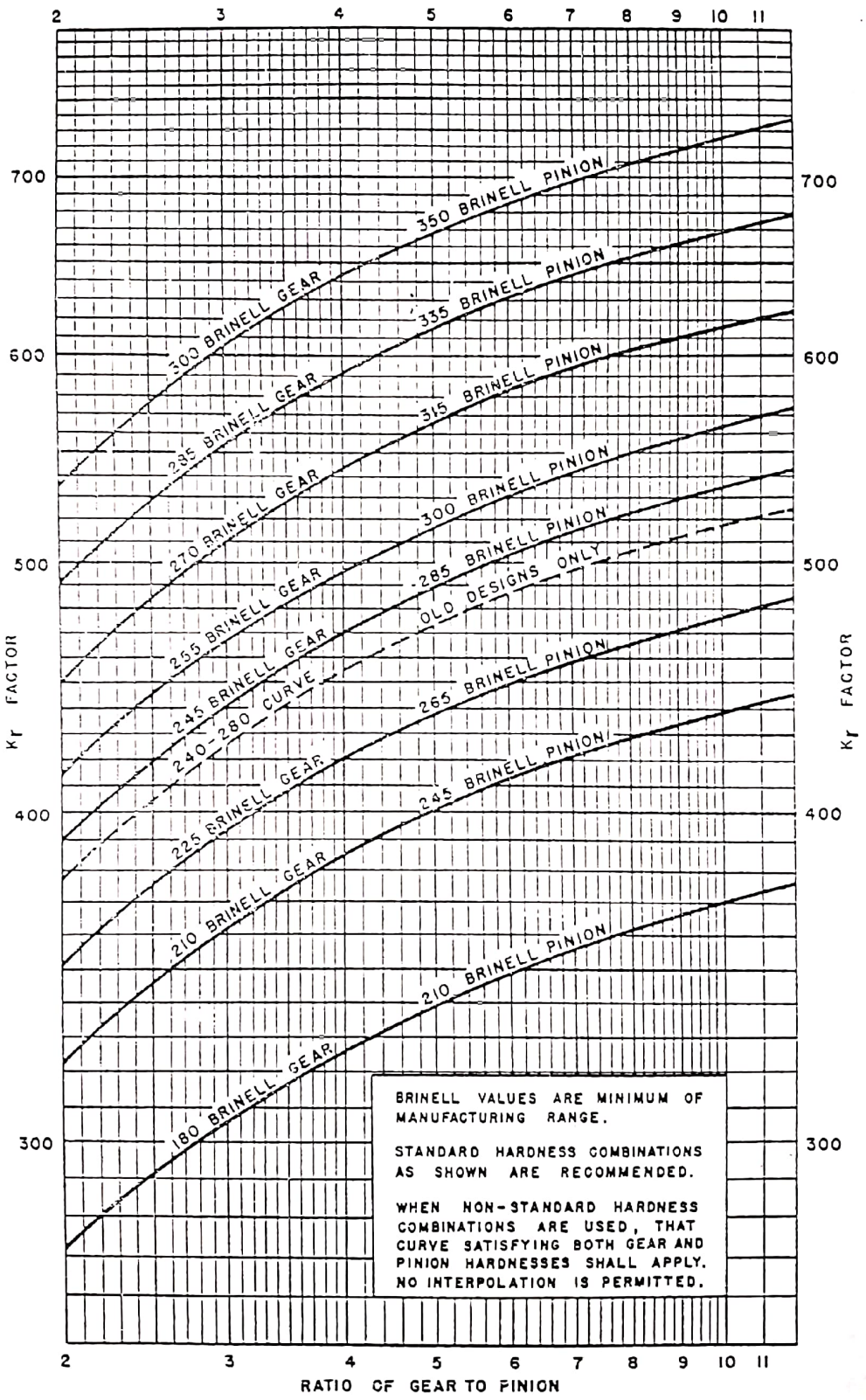


شكل (3): مختلف القيم للمعامل (Fi) حسب عرض الوجه

جدول (3) : القياسات الأساسية لمخفضات السرعة ومعدلاتها

pumping-unit reducer sizes and ratings

1	2
Size	Peak-torque rating in-lb
6.4	6.400
10	10.000
16	16.000
25	25.000
40	40.000
57	57.000
80	80.000
114	114.000
160	160.000
225	225.000
320	320.000
456	456.000
460	460.000
912	912.000
1280	1.280.000
1824	1.824.000
2560	2.560.000
3648	3.648.000

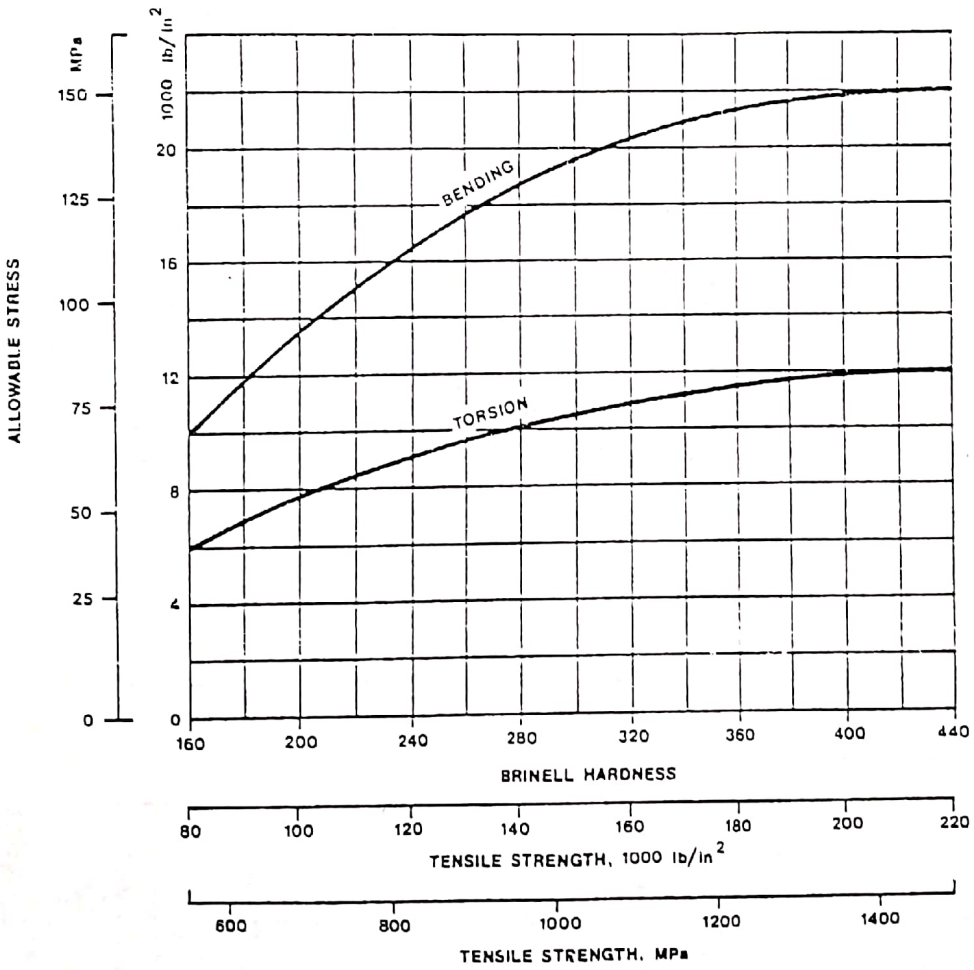


VARIATION OF K, FACTOR WITH GEAR RATIO

شكل (4): مختلف القيم للمعامل (Kr) حسب نسبة المسننات.

جدول (4): السرعات التصميمية للوحدات السطحية ومعدلات عزومها

Strokes per minute	Peak torque rating inch-pounds
16	456.000
16	540.000
15	912.000
14	1.280.000
13	1.824.000
11	2.560.000 and larger



ALLOWABLE STRESS — SHAFTING

شكل (5) اجهادات الانحناء والفتل المسموح بها للمحاور

Allowable key stresses

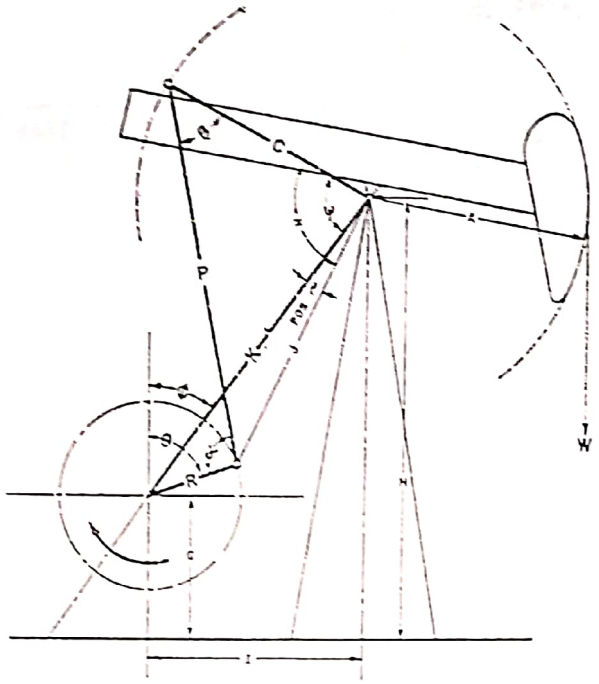
Key material	Hardness BHN	Allowable stress. Psi	
		Shear	Comp.
AISI 1018	None specified	10.000	20.000
AISI 1015	225-265	15.000	30.000
	265-305	20.000	40.000
AISI 4140	310-360	30.000	60.000

جدول (5): الاجهادات المسموح بها للخوابير

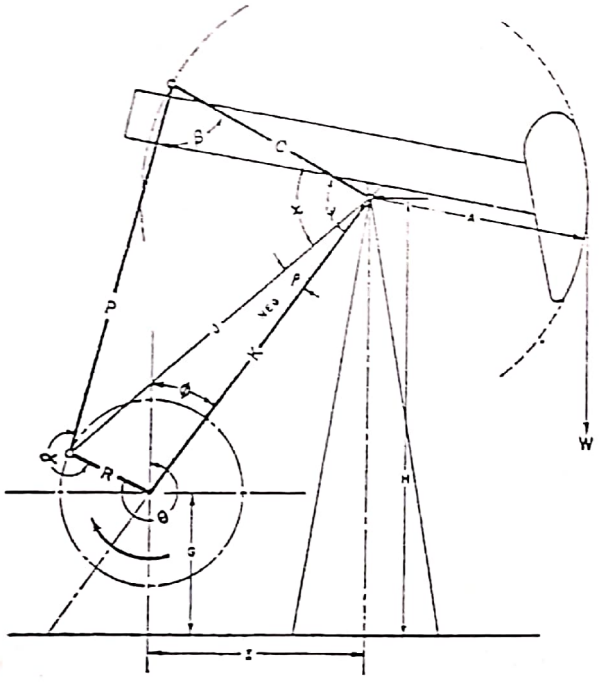
Maximum allowable tensile stress. Fasteners

SAE and/or ASTM Designation	Threaded fastener diameter. Inches	Hardness BHN	Yield strength Psi min.	Ultimate tensile strength Psi min.	Allowable applied tensile stress Psi max.
SAE2	over ¼ to ¾ incl.	149-241	55.000	74.000	11.000
	over ¾ to 1½ incl.	121-241	33.000	60.000	11.000
SAE5	Over ¼ to 1 incl.	241.302	85.000	12.000	20.000
(ASTM A-449)	Over 1 to 1½ incl.	223-285	74.000	105.000	18.000
ASTM A-449	Over 1 ½ to 3 incl.	183-235	55.000	90.000	13.000
ASTM A-354	Over ¼ to 2 ½ incl.	217-285	80.000	105.000	17.000
Grade BB	Over 2 ½ to 4 incl.	217-285	75.000	100.000	17.000
ASTM A-354	Over ¼ to 2 ½ incl.	255-321	109.000	125.000	22.000
Grade BC	Over 2 ½ to 4 incl.	255-321	99.000	115.000	22.000
SAE7	Over ¼ to 1 ½ incl.	277-321	105.000	133.000	24.000
SAE8	Over ¼ to 1 ½ incl.	302-352	120.000	150.000	27.000
(ASTM A-354 Grade BD)					

جدول (6): إجهاد الشد الأعظمي المسموح به للمثبتات.



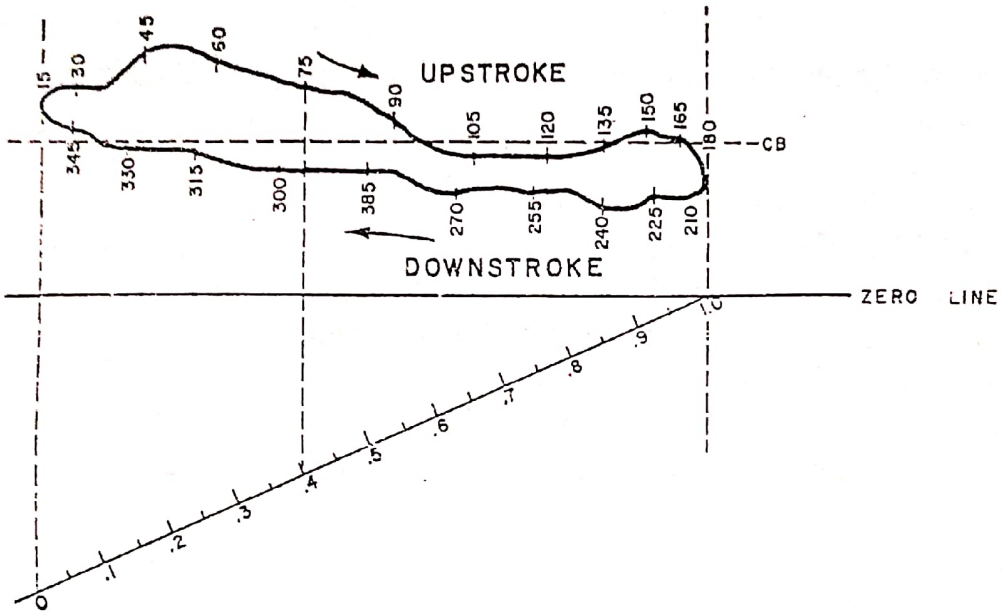
UPSTROKE



DOWNSTROKE

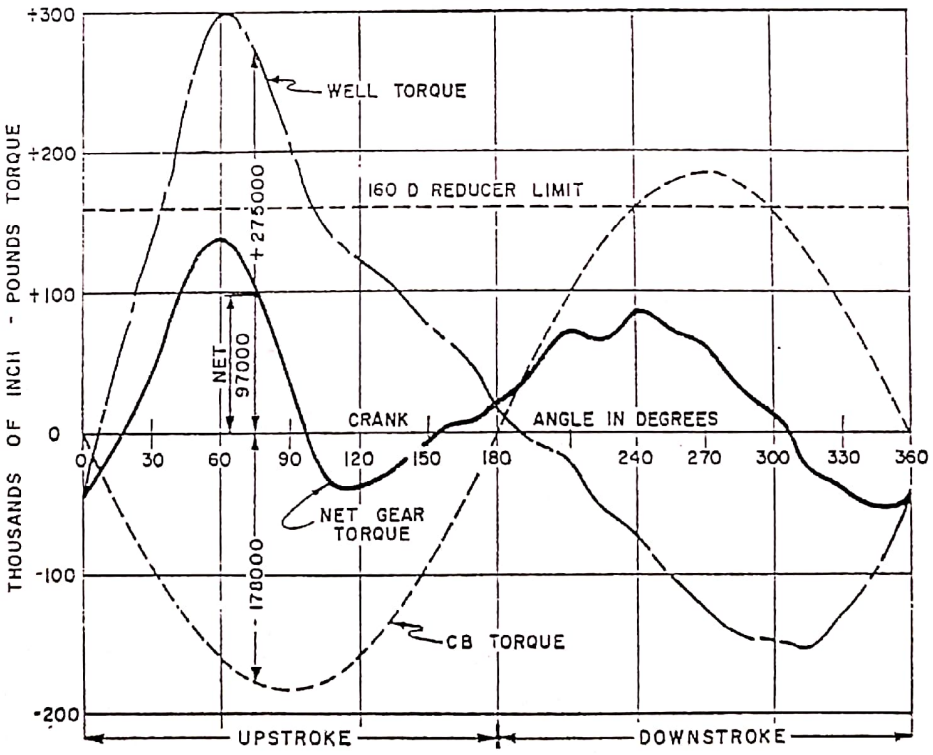
PUMPING UNIT GEOMETRY

شكل (6): هندسية وحدة الضخ السطحية.



DIVISION OF DYNAMOMETER CARD BY CRANK ANGLE USING API POLISHED-ROD POSITION DATA

شكل (7): تقسيم مخطط الدينموغراف حسب زوايا الكرنك.



TORQUE CURVES USING API TORQUE FACTORS

شكل (8): منحنيات العزوم باستخدام معاملات العزوم.

REFERENCES المراجع

[1]- American Petroleum Institute spec 11E oil pumping-units August 1-1984. AGMA-American Gear Manufactures Association.

[2]- AGMA 422-02. Standard practice for helical and herring bone speed reducers for oilfield Pumping units.

[3]- AGMA 240-01 Gear Material Manual.

[4]- AGMA-218 Load Distribution Factor, Analytical Method.

[5]- AGMA-226 Geometry Factor for Bending Strength.

[6]- AGMA 240-01 Gear Material Manual.

[7]- ASTM A-36 American Society for Testing Materials.

[8]- AGMA 112 Gear Nomenclature, Terms, Definition, Symbols and Abbreviation.

[9]- ANSI B29.1 American National Standards Institute Single, or multiple strand roller chain.