الفصل الحادي عشر

وحدة الإنتاج الميكانيكي المعلق بقضبان الضخ

XI-1 : تشكيلة وحدة الإنتاج الميكانيكي المعلق

تتكون الوحدة من مجموعة التشغيل ، الشكل رقم (XI-1) ، **التي تضم** :

- مصدر القوى المحركة (المحرك الكهربائي) .
- مجموعة نقل الحركة (محولة العزوم الحزامية ومخفض السرعة) .
- الوحدة السطحية المزودة بقاعدة فولاذية (2) مثبتة على قاعدة إسمنتية (1) .
- معدات فوهة البئر .
- عمود قضبان الضخ .
- عمود مواسير الإنتاج .
- المضخة الجوفية المعلقة .
- إضافة إلى معدات مساعدة (فاصل الغاز وفاصل الرمل) توضع تحت المضخة الجوفية في حال وجود هذه المواد في السائل الطبقي .

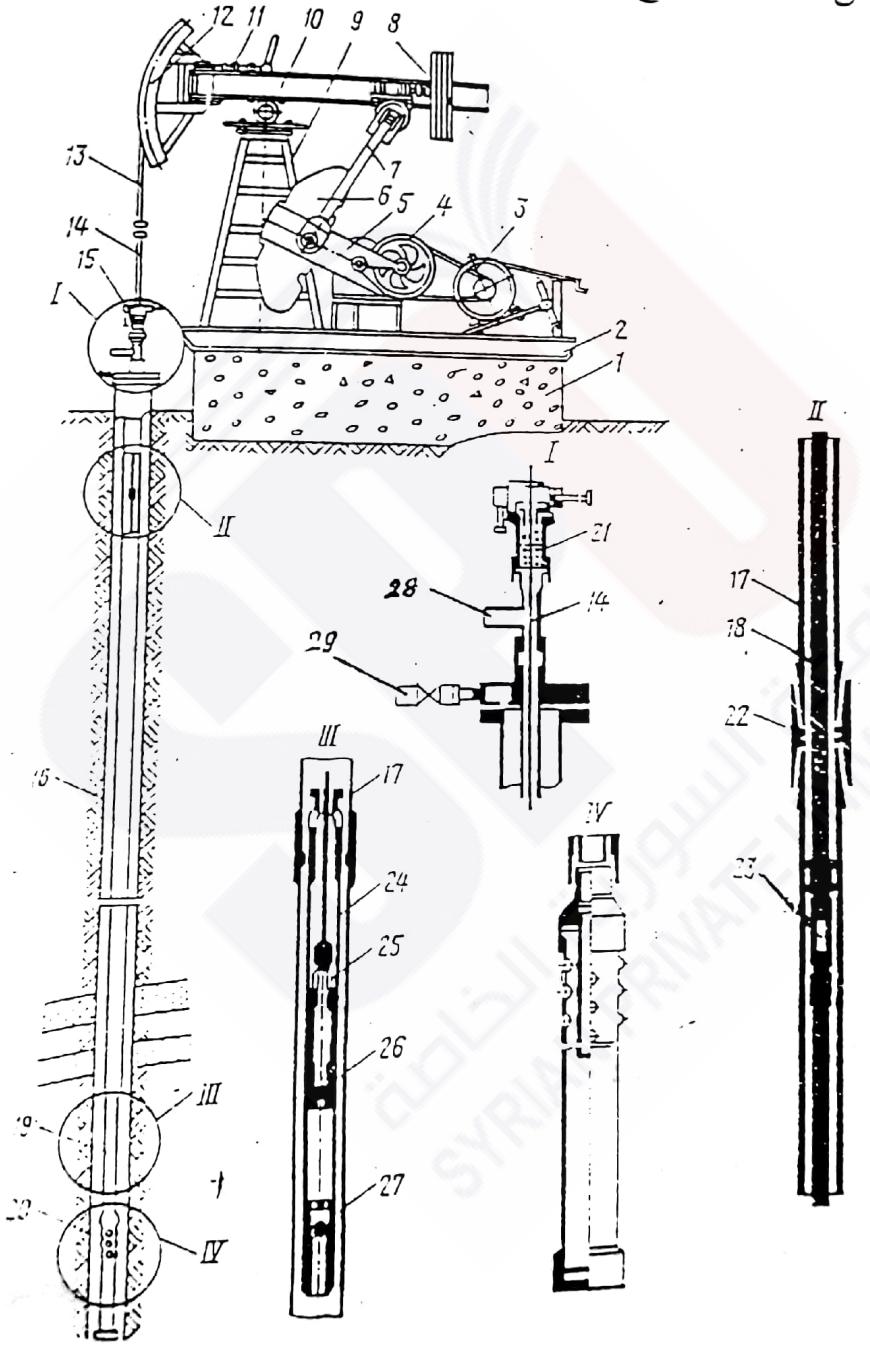
المحركات **الكهربائية** (3) هي الغالبية العظمى للمحركات المستخدمة في هذه الوحدات يتم نقل استطاعتها والحركة الدورانية لمحورها من خلال **محولة عزوم** إلى **مخفض السرعة** (4) الذي يكون عادةً علبة سرع بمحولة عزوم مسننة أو محولتين .

من المحور **المقاد** لمخفض السرعة تنقل الحركة والاستطاعة إلى المحور **أحادي الساعد** (5) الذي يمكن أن يتوضع عليه أثقال التوازن أو الموازنة (6) . **ومن هذا المحور** (الساعد)

Scanned by CamScanner

يتم نقل الحركة إلى **الذراع** وتحويلها فيه إلى حركة مستقيمة ترددية .

يتصل الذراع بالميزان يركب على **الدفة الأمامية للميـــزان رأس الحصـــان** رأسية تثبيت كبل تعليق القضيب الأملس التي تسمى "**رأس الحصان**" (12) بواسـطة منظومة تنظيم وضعيته (11) وعلى الدفة الخلفية أثقال التوازن (8) ، ويرتكز ميـــزان على السلم من خلال مضجع التحميل المركزي الكبلية المركزية) على **هيكل الاستناد** (9) .



الشكل رقم (XI-1) : وحدة الإنتاج الميكانيكي المعلق

22: وصلات توصيل مواسير الإنتاج . **23**: **وصلات توصيل قضبان الضخ** . **24**: قميص المضخة الجوفية .
25: مكبس المضخة الجوفية . **26**: صمام الضخ . **27**: صمام السحب .

Scanned by CamScanner

تربط بنهاية كبل التعليق (13) عتلة تعليق القضيب الأملس الذي يثبت على هذه العتلة بواسطة مثبتتات .

يمر القضيب الأملس (14) من خلال **مجموعة إحكام الفوهة** (15) التي **تضم** :

- مجموعة حلقات مانعات التهريب (21) تمنع تسرب السائل من حوله .
- مجموعة الصمامات المزودة بصمامين جانبيين **أحدهما** يتصل بالتجويف الداخلي لمواسير الإنتاج (28)لخروج السائل الطبقي المرفوع لمحطات التجميع الحقلية **والآخر** يتصل بتجويف الفراغ الحلقي للبئر (29) .

بعد مرور القضيب الأملس من تجويف رأسية مواسير الإنتاج (17) ورأسية مواسير التغليف المثبت بها مواسير عمود مواسير التغليف (16) للمرحلة الإنتاجية ، يتصل القضيب بواسطة وصلة توصيل بعمود قضبان الضخ (18) الذي يربط بنهايته السفلى بذراع مكبس المضخة الجوفية (19) المغمورة تحت مستوى السائل المنتج في البئر . **وفي حالة احتواء السائل على** :

- **كميات من الغاز** يثبت تحت المضخة فاصل الغاز (20) لفصله عن السائل قبل دخول السائل إلى المضخة .
- **مواد رملية** تزود الوحدة بفاصل رمل يتصل بأسفل المضخة أو فاصل الغاز .

عند تحليل آلية عمل وحدة الإنتاج الميكانيكي المعلق ومكوناتها نجد أنها **متطابقة** في آلية عملها مع آلية عمل وحدة مضخة الحفر ، حيث نجد أن :

- الوحدة السطحية متطابقة في آلية عملها ومهمتها مع آلية عمل القسم الميكانيكي لمضخة الحفر ومهمته .
- مجموعة القضيب الأملس وقضبان الضخ والمضخة الجوفية ومواسير الإنتاج تتطابق في آلية عملها مع آلية عمل القسم الهيدروليكي لمضخة حفر مكبسية أحادية الشوط أحادية المكبس .

والفارق الوحيد بينهما هو أن عملية السحب **والضخ تتم في وحدة الحفر باتجاه**

Scanned by CamScanner

أفقي وفي وحدة الإنتاج الميكانيكي باتجاه **شاقولي** نحو الأعلى .

2-XI : تصنيف وحدات الإنتاج الميكانيكي المعلق

تصنف وحدات الإنتاج الميكانيكي المعلق حسب :

أولاً : الحمولة القصوى (P_{max}) في نقطة تعليق القضيب الأملس :

- خفيفة : $P_{max} \leq 30$ K.N
- متوسطة : $30 \leq P_{max} \leq 100$ K.N
- ثقيلة : $P_{max} > 100$ K.N

ثانياً : طول شوط نقطة تعليق القضيب الأملس (S_{max})

- قصيرة الشوط : $S_{max} \leq 1m$
- متوسطة الشوط : $1 < S_{max} \leq 3m$
- طويلة الشوط : $3 < S_{max} \leq 6m$
- طويلة الشوط جداً : $S_{max} > 6m$

ثالثاً : عدد الحركات المزدوجة الأعظمي (n_{max}) لنقطة تعليق القضيب الأملس

- بطيئة : $n_{max} \leq 6$
- متوسطة : $6 < n_{max} \leq 15$
- سريعة : $n_{max} > 15$

من الضروري ملاحظة أن عدد الأشواط **وحده لا يحدد** فعالية مجموعة التشغيل وإنما **قيمة متوسط سرعة الانتقال** لنقطة تعليق القضيب الأملس ، أي **وفق قيمة الجداء (S.N)** يمكن تصنيف الوحدات إلى بطيئة ومتوسطة وسريعة .

Scanned by CamScanner

رابعاً : الاستطاعـــة المستهلكة (N)

- قليـــلة الاســـتطاعة : $N \leq 5$ Kw
- متوسطة الاستطاعة : $5 < N \leq 25$ Kw
- عاليـــة الاســـتطاعة : $25 < N \leq 100$ Kw
- عالية الاستطاعة جداً : $N > 100$ Kw

في هذا المجال ، كما هو الحال في عدد الحركات المزدوجة ، يكون هذا التصنيف اعتبارياً فقط ، حيث إن الاستطاعة يمكن أن تميز العمل المنفذ من قبل الوحدة في وحدة الزمن فقط بتأثير غير مباشر .

3-XI : مكونات وحدة الإنتاج الميكانيكي المعلق

من خلال التوضيح السابق ، الشكل رقم (1-XI) ، يمكن تحديد مكونات وحدة الإنتاج الميكانيكي المعلق الرئيسية :

- مصدر القوى المحركة – المحرك الكهربائي .
- علبة تغيير السرعة – مخفض السرعة .
- الوحدة السطحية – سيتم دراستها في فصل لاحق .
- المضخة الجوفية – سيتم دراستها في فصل لاحق .
- عمود قضبان الضخ – سيتم دراستها في فصل لاحق .

1-3-XI- مصدر القوى المحركة (المحرك الكهربائي)

في الفصل الرابع ، من الباب الأول ، من هذا الكتاب ، تم التطرق إلى خصائص ومواصفات المحركات الكهربائية المستخدمة في وحدات حفر الآبار النفطية والغازيـــة والوحدات الإنتاجية ووحدات إصلاح الآبار . لذلك سنقتصر هنـــا علـــى حســـاب الاستطاعة الضرورية لمحرك الوحدة السطحية في وحدة الإنتاج الميكانيكي المعلق لتنفيذ

Scanned by CamScanner

مهمات الوحدة ورفع النفط إلى سطح الأرض وإيصاله إلى محطات التجميع الفرعية .

- **حساب اســـتطاعة المحرك**

تحدد استطاعة المحرك اللازمة لرفع عمـــود من النفط من قاع البئر إلى سطح الأرض والتغلب على قوى الاحتكاك اعتماداً على : كمية الإنتاج (Q) مقـــدرة بـــ (م^3/يوم)، والوزن النوعي للنفط المرفوع ، وعمق تثبيت المضخة ، **بالعلاقة التالية** :

$$N_i = \frac{Q \cdot \gamma \cdot T}{86400 \times 75 \times 1.36} \quad (KW) \qquad \text{(XI-1)}$$

$$N_f = \frac{Q \cdot \gamma \cdot T}{8812800} \quad (KW) \qquad \text{(XI-2)}$$

تحدد الاستطاعة في العلاقات السابقة **بفرض أن** : المضخة مثبتة على عمق (T) وشجرة الضخ مفتوحة على الهواء .

في حال وصل البئر مع المحطة فإن ضغط السائل في مواسير الإنتاج علـــى رأس البئر يكون معاكساً لعمل المضخة ،كذلك يجب ملاحظـــة عمـــق مســـتوى الســـائل الديناميكي في البئر المساعد لعمل المضخة . لهذا يتوجب استبدال عمق تثبيت أو إنزال المضخة (T) في العلاقة رقم (XI-2) بالعمق الصافي (T_n) .

فإذا فرضنا بأن ضغط رأس البئر يساوي (P_{II}) فإن ارتفاع السائل المقابل لضغط رأس البئر يكون (h_p) :

$$h_p = \frac{P_{II} \cdot 10^4}{\gamma} \quad (m) \qquad \text{(XI-3)}$$

ويجب عندها جمع القيمة (h_p) إلى عمق تثبيت المضخة (T) **ثم نطرح منـــه** ارتفاع مستوى النفط الجرياني (D) **فيكون عمق المضخة الصافي** يساوي :

$$T_n = D - + \frac{P_{II} \cdot 10^4}{\gamma}$$

Scanned by CamScanner

$$T_n = D + \frac{P_{II}.10^4}{\gamma} \qquad (m) \qquad \text{(XI-4)}$$

حيث تقدر P_{II} بـــ at .

وبتعويض قيمة (T_n) في العلاقة (XI-2) نحصل على :

$$N_f = \frac{Q(\gamma\ D + 10^4\ P_{II}}{8812800} \qquad (KW) \qquad \text{(XI-5)}$$

وهي العلاقة التي تحدد الاستطاعة اللازمة للمحرك لرفع عمود السائل من البئر .

تبين تجريبياً أن قوى الاحتكاك الواجب التغلب عليها ، والتي تكون في المسافة بين المضخة والقضيب الأملس ، تساوي عند كل شوط ($1/4\ P_P.S$) ، وبما أن سرعة الضخ (n) فتكون **الاستطاعة اللازمة من قبل المحرك للتغلب على قوى الاحتكاك** مساوية إلى :

$$N_R = \frac{1/4\ P_P\ S\ n}{60 \times 75 \times 1.36} = \frac{S\ n\ P_P}{24480} \qquad \text{(XI-6)}$$

وبالتالي فإن **الاستطاعة على القضيب الأملس** (N_S) **يجب أن تساوي مجموع استطاعتي رفع عمود السائل وقوة الاحتكاك** وتعطى بالعلاقة :

$$N_S = N_f + N_R \qquad \text{(XI-7)}$$

أما **استطاعة المحرك فيجب أن تكون أكبر من الاستطاعة على القضيب الأملس بمعامل أمان بين (2-1.5)** حسب تعليمات (API) أي :

$$\mathbf{N_e} = 1.5\ N_S \qquad (Kw) \qquad \text{(XI-8)}$$

استطاعة المحرك الكهربائي يجب أن تساوي **هذه الاستطاعة إلا أن الاستطاعة** المذكورة على لوحة المحرك يجب **تخفيضها** بعض الشيء **وذلك نتيجة** التحميل الدوري المتناوب للمحرك والذي يقلل من الاستطاعة الفعلية للمحرك بنسبة (75%) بحيث يجب انتقاء استطاعة المحرك بما يساوي :

Scanned by CamScanner

$$N_M = \frac{N_e}{0.75} = \frac{1.5N_S}{0.75} = 2\,(N_I + N_R)$$

وبالتالي :

$$N_M = \frac{Q(\gamma\, D + 10^{-4} P_H)}{4406400} + \frac{S.n.P_P}{12240} \qquad \text{(XI-9)}$$

حيث إن :

N_M : استطاعة المحرك (Kw) .

S : طول الشوط (m) .

n : سرعة الضخ $(min)^{-1}$.

P_p : وزن عمود الضخ الساكن Kg .

Q : كمية الإنتاج اليومي (m^3/day) .

P_H : ضغط راس البئر (at) .

γ : الوزن النوعي للسائل المنتج Kg/m^3 .

D : عمق المستوى الديناميكي للسائل في البئر (m) .

من خلال مخطط الديناموميتر تحدد **قيمة الطاقة المستهلكة على القضيب الأملس** وفقاً للعلاقة التالية :

$$N_P = \frac{nK_1K_2\Omega}{60 \times 75 \times 1.36} \quad (Kw) \qquad \text{(XI-10)}$$

حيث إن :

N_P : الطاقة المستهلكة على القضيب الأملس (Kw) .

n : سرعة الضخ (دورة/دقيقة) .

k_1 : سلم المحور الأفقي (كل 1cm من هذا المحور يعادل 1m من طول شوط القضيب)

k_2 : سلم المحور العمودي (كل 1cm يعادل 1كغ من القوة التي يتعرض لها القضيب)

Ω : المساحة المحصورة بين الشوطين الصاعد والنازل من مخطط الديناموميتر (سم^2) .

Scanned by CamScanner

ويمكن حساب الإستطاعة المفيدة للمحرك الكهربائي باستخدام العلاقة :

$$N_u = Q\,(P_{out} - P_i) \qquad \text{(XI-11)}$$

حيث إن :

Q : كمية إنتاج السائل مقدرة بـــ (م^3/ثا) .

$P_{out} = (P_h + \rho_k \cdot L_P)$: الضغط عند مخرج المضخة ، باسكال .

$P_i = (0.2\text{-}0.3)\,P_c$: الضغط عند مدخل المضخة ، باسكال .

P_c : ضغط الإشباع للنفط .

P_h : ضغط رأس البئر

أما استطاعة المحرك المطلوبة فتحدد بالعلاقة :

$$N_c = \frac{N_u}{\eta} \qquad \text{(XI-12)}$$

وتحدد قيمة **المردود المفيد الكلي** بالعلاقة :

$$\eta = \eta_S \cdot \eta_c \cdot \eta_U \qquad \text{(XI-13)}$$

حيث إن :

$\eta_S = (0.85 - 2.1) \times 10^{-4}\ S \cdot n^2$: المردود المفيد للأقسام الجوفية من المضخة .

$\eta_c = 0.77$: المردود المفيد للمحرك الكهربائي .

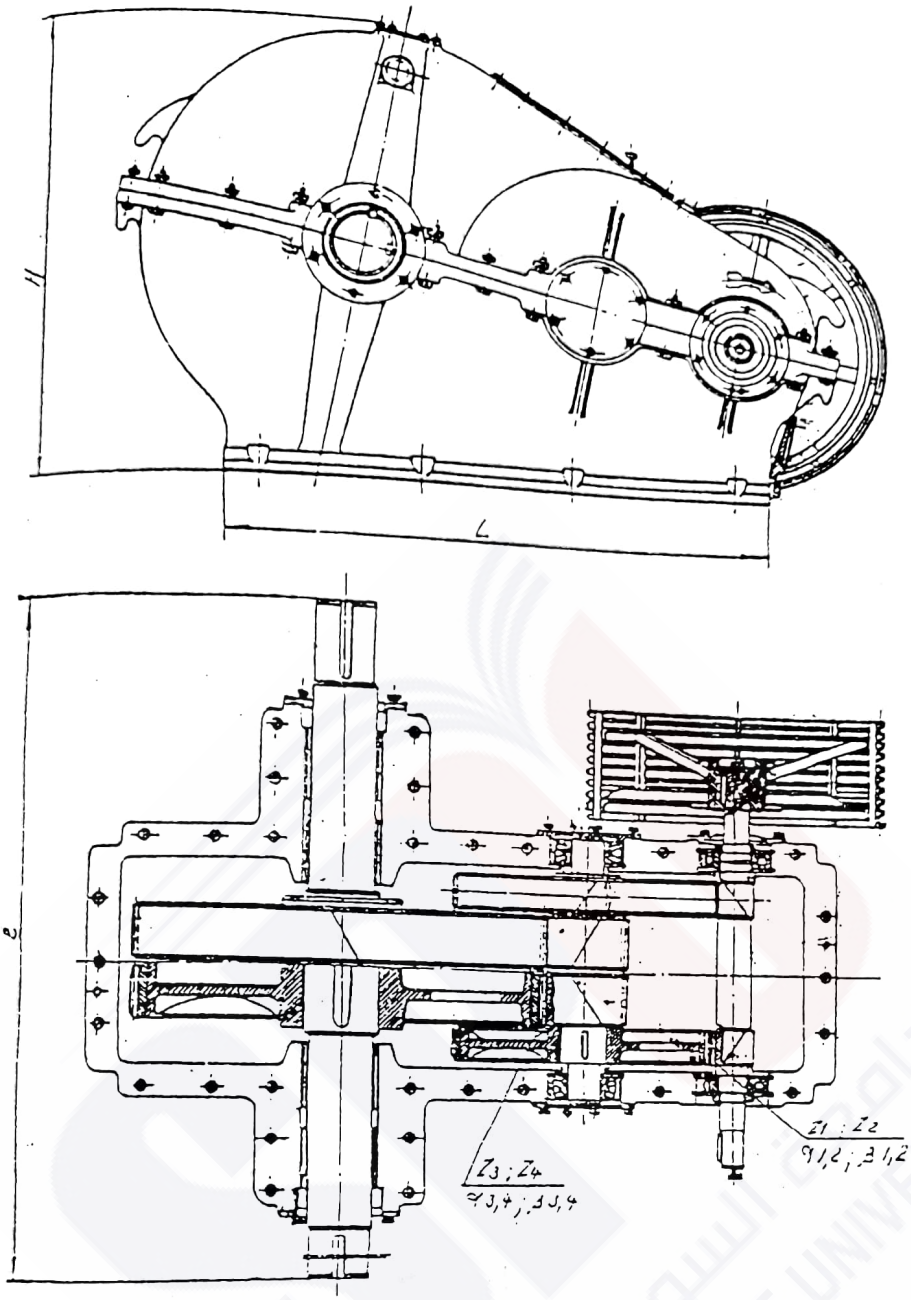
$\eta_U = 0.75 - 0.80$: المردود المفيد للوحدة السطحية .

2-3-XI : علبة سرع الوحدة السطحية

توجد تصاميم عدة لعلبة سرع الوحدات السطحية بمبدأ عمل وهدف واحـــد وهـــو **تخفيض عدد دورات المحور المقاد إلى العدد الضروري لعمل الوحدة السطحية** لذلك سندرس أحد هذه التصاميم كنموذج لها .

تتكون علبة السرعة ، الشكلان رقم (2-XI) و (3-XI) ، **من :**

Scanned by CamScanner



الشكل رقم (**2-XI**) : شكل إسقاطي لعلبة (مخفض) السرع

1. **المحور القائد** (الداخل) : تركب على إحدى نهايتيه الخارجيتين الحرتين بكرة المحولة الحزامية التي تنقل الحركة من المحرك الكهربائي إلى علبة السرع (يسمح تصميم العلبة بتركيب المحولة الحزامية من اليمين أو اليسار على السواء) يركب داخل هيكل العلبة مسننان قائدان صغيران مائلا الأسنان يتعشق معهما مسننان مقادان كبيران مائلا الأسنان مركبان على المحور الوسيط .

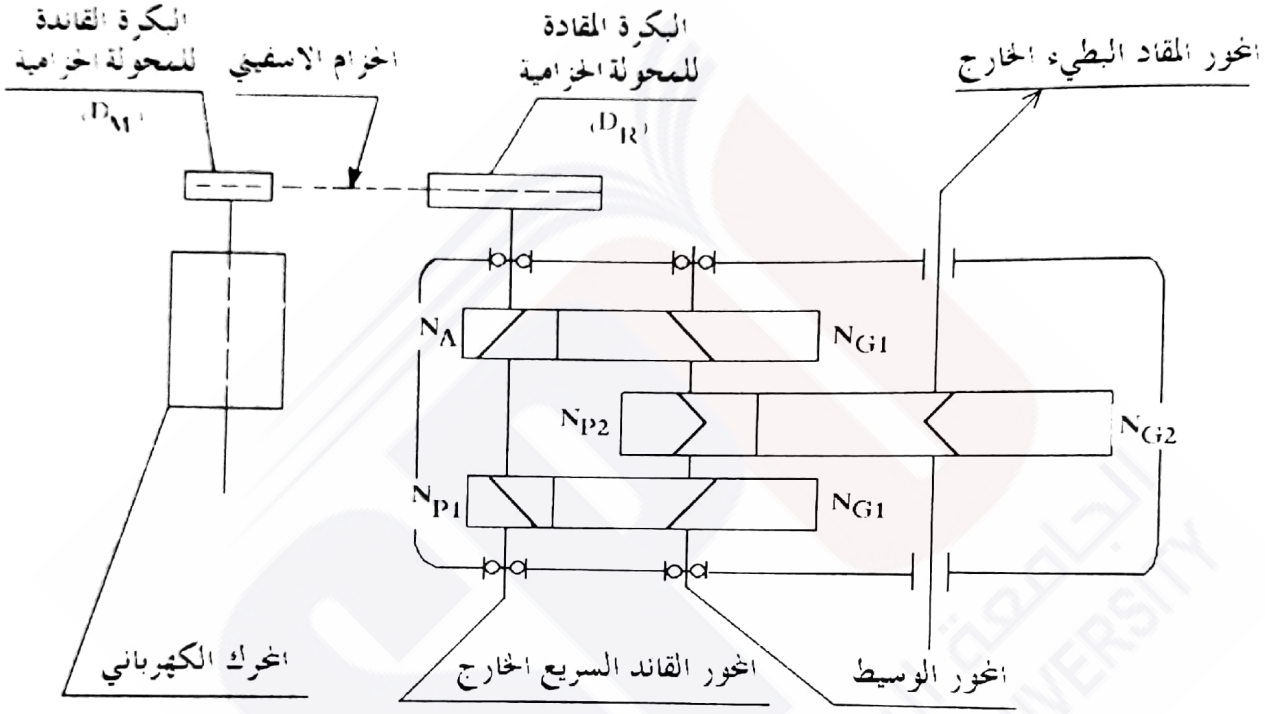
2. **المحور الوسيط** : يركب عليه إضافة إلى المسنين الكبيرين المقادين مسنن صغير قائد

Scanned by CamScanner

مزدوج مائل الأسنان باتجاهين متعاكسين .

3. المحور المقاد : يركب عليه المسنن المقاد الكبير المزدوج مائل الأسنان باتجاهين متعاكسين .

يستند المحوران **القائد والوسيط** على هيكل العلبة بواسطة مضاجع **إهتزازية** أما المحور **المقاد** (الخارج) فيستند بواسطة مضاجع **إنزلاقية** .



الشكل رقم (**3-XI**) : المخطط الحركي لمجموعة (المحرك – مخفض السرعة)

3-3-XI : حساب المحاور

يتم تحديد قطر المحور في مواقع استناده (أي في موقع المضاجع) وفق جهد الفتل الذي يتعرض له في هذه المواقع .

حساب المحور على عزم الفتل في المقطع الخطير يجب أن يحقق العلاقة :

$$t_i < [t]_i \qquad (XI\text{-}14)$$

حيث إن :

Scanned by CamScanner

$[\tau]_t$ ، τ_t : جهد الفتل في المقطع الخطر للمحور و عزم الفتل المسموح به .

وفق ذلك يتم تحديد **قطر المحور في المقطع الخطير** :

$$d = \sqrt[3]{\frac{M_t}{0.2\ [\tau]}} \qquad \text{(XI-15)}$$

يتم التأكد من القطر المحسوب وفق العلاقة :

$$\tau_t = \frac{M_t}{0.2d^3} \le [\tau]_t \qquad \text{(XI-16)}$$

أما أجزاء المحور في مواقع المسننات فتحسب على أساس التأثير المركب للفتل والإنعطاف وفق العزم المكافئ (M_ε) :

$$M_\varepsilon = \sqrt{M_b^2 + M_t^2} \qquad \text{(XI-17)}$$

حيث إن :

M_b ، M_t : عزم الفتل وعزم الإنحناء على التوالي .

وفق ذلك يتم تحديد **قطر المحور** :

(XI-18)

$d = \sqrt[3]{\frac{M_\varepsilon}{0.1[\delta]_u}}$ وعلاقة التحقق :

$$\delta_\varepsilon = \frac{M_\varepsilon}{0.1 \cdot d^3} \le [\delta]_u \qquad \text{(XI-19)}$$

حيث إن :

δ_ε : الإجهاد المكافئ للمقطع المحسوب .

d : قطر المقطع الحسابي .

$[\delta]_u$: عزم الانعطاف المسموح به .

تؤثر في المحور في حال المحولات المسننة قوى فراغية تحلل إلى قوى **أفقية** و**شاقولية** وبالتالي تولد هذه القوى **عزوم إلانعطاف في المستوى الأفقي والشاقولي** .

Scanned by CamScanner

ولهذا يكون عزم الانعطاف الكلي :

$$M_{\Sigma} = \sqrt{M_{hv}^2 + M_{hh}^2} \qquad \text{(XI-20)}$$

أما **عزم الفتل** فيحدد وفق العلاقة :

$$M_t = \frac{N}{\omega} \qquad \text{(XI-21)}$$

حيث إن :

N : الإستطاعة المنقولة .

ω : السرعة الزاوية راديان / ثا

ولهذا يكون العزم المكافئ المؤثر في المحور مساوياً إلى :

$$M_{\xi} = \sqrt{M_{\Sigma}^2 + M_t^2} \qquad \text{(XI-22)}$$

ولحساب المحور على الإجهاد الإرهاقي لابد وأن يحقق العلاقة :

$$n > [n] \qquad \text{(XI-23)}$$

حيث إن :

[n] : معامل إحتياطي المتانة للمقطع الخطر ويتراوح لمحاور المحولات في حدود(3-1.7)

n : معامل احتياطي المتانة الفعلي أو الحسابي ويحدد من العلاقة :

$$n = \frac{n_\delta n_t}{\sqrt{n_\delta^2 + n_t^2}} \qquad \text{(XI-24)}$$

n_δ : معامل احتياطي المتانة عند حساب الإنحناء (أو الإجهاد القطري)

n_t : معامل إحتياطي المتانة عند حساب الفتل (أو الإجهاد المماسي) .

علبة مخفض السرعة يجب أن تؤمن عزم دوراني أعظمي على محورها المقـــاد (الخـــارج) يساوي العزم الأعظمي في ذراع المرفق :

$$M_{max} = (W - C)\frac{S}{2}\sin\theta \qquad \text{(XI-25)}$$

Scanned by CamScanner

حيث إن :

W : الحمولة على القضيب الأملس عند النقطة المدروسة لزاوية θ .

C : قوة الموازنة المثالية (وزن انتقال التوازن) .

S : طول الشوط .

θ : الزاوية التي يصنعها الساعد مع الشاقول خلال دورانه .

ومن الواضح من العلاقة أعلاه أن القيمة الأعظمية للعزم الدوراني يمكن الحصول عليها عندما يصنع الساعد زاوية (90°) أو (270°) مع الشاقول ، حيث يصبح لدينا : $\sin\theta$ = 1 وبالتالي فإن قيمة :

العزم الأعظمي :

$$M_{max} = (W - C)\frac{S}{2} \qquad \text{(XI-26)}$$

وفق ذلك فإن :

العزم الدوراني المطلوب على المحور الوسيط :

$$M_2 = \frac{M_{max}}{\eta_2} \qquad \text{(XI-27)}$$

حيث إن :

η_2 : المردود المفيد للمحولة المسننة الناقلة للعزوم بين المحور الوسيط والمقاد .

العزم الدوراني المطلوب على المحور القائد :

$$M_1 = \frac{M_2}{\eta_1} = \frac{M_{max}}{\eta_1 \eta_2} \qquad \text{(XI-28)}$$

حيث إن :

η_1 : المردود المفيد لمحولة العزوم المسننة من المحور القائد للمحور الوسيط .

Scanned by CamScanner