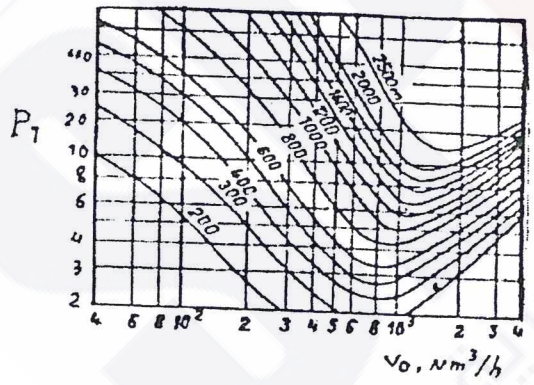
$$P_1 = P_2 + \frac{0.0077\ \gamma.L}{\sqrt[3]{d}} \qquad (32-4)$$

بتعويض قيم التدرج الوسطي للضغط ومعدل الغازات الوسطي في العلاقة (28-4) نحصل على العلاقة التالية:

$$\frac{10(P_1 - P_2)}{\gamma.L} = \frac{a}{PoVo \ln\frac{P_1}{P_2}} + C\left[\frac{PoVo\ Ln\frac{P_1}{P_2}}{P_1 - P_2}\right]^2 \frac{P_2}{P_1 - P_2} + a \qquad (33-4)$$

ولتسهيل حل العلاقة هذه فإننا نستخدم التمثيل البياني $P_1 = f\ (Vo)$ كما في الشكل (4-6) وذلك من أجل قيم مختلفة لطول وقطر مواسير الإنتاج وللوزن النوعي للسائل وحيث $q_{inc} = 0$.



الشكل (4-6)

العلاقة بين ضغط حذاء مواسير الإنتاج

وتصريف الغازات من أجل عدم وجود إنتاج من السائل $q_{in} = 0$

2- نظام العمل المثالي والأعظمي:

لتعيين شروط عمل مواسير الإنتاج الحقيقية المقابلة للنقطتين B , C في الشكل (4-4) تنطلق من المعادلة (4-17) والتي نفرضها تابعاً ضمنياً $F(\Delta H, V, q) = 0$ ، وبعد ذلك نعين النقاط العظمى الموافقة للشرط:

$\frac{dq}{dV} = 0$ والنقاط المثالية الموافقة للشرط $\frac{V}{q} = \min$. إن مثل هذا الحل هو في غاية الصعوبة ولهذا فإن كريلوف مثل بيانياً على سلم لوغاريتمي المنحنيات:

$V_{max} = f(\Delta H), \quad q_{max} = f(\Delta H)$

وذلك من أجل عنصر صغير من مواسير الإنتاج ولاحظ أن هذه النقط تقع على خطوط مستقيمة والتي تعطى بالعلاقات التالية:

$$q_{max} = 55\, d^3\, \Delta H^{1.5} \quad , V_{max} = \frac{15.5\, d^{2.5}}{\Delta H^{0.5}} \quad R_{max} \frac{0.28}{d^{0.5}.\Delta H^2} \qquad (34-4)$$

لاحظ كريلوف أنه بين كمية الإنتاج المثالية وكمية الإنتاج العظمى توجد العلاقات التالية:

$$q_{OPT} = q_{max}(1-\Delta H), V_{OPT} = V_{max}(1-\Delta H)^2,$$
$$R_{OPT} = R_{max}(1-\Delta H) \qquad (35-4)$$

وبالانتقال من عنصر صغير من مواسير الإنتاج بطولها الحقيقي تم التوصل إلى العلاقات الأساسية لصعود الخليط في مواسير الإنتاج العمودية وصالحة من اجل البترول ذي اللزوجة الحركية $\mu = 5C.P$

1- بنظام P1 , P2 , L : يتم حساب الإنتاج المثالي والأعظمي لكميات السائل والغاز آخذين بعين الاعتبار أن:

$$\Delta h = \frac{10(p_1 - p_2)}{\gamma l} \qquad (36-4)$$

والعلاقة 4-35 ، فنحصل على ما يلي:

$$q_{MAX} = \frac{2500d^3 \sqrt{(P_1 - P_2)^3}}{\sqrt{\gamma L^3}} \qquad (37-4)$$

$$V_{max} = \frac{0.8 \sqrt{d^5 (P_1 - P_2) . \gamma . L}}{Lg \frac{P_1}{P_2}} \qquad (38-4)$$

$$R_{max} = \frac{0.0077 . \gamma . L^2}{\sqrt{d}(P_1 - P_2) Lg \frac{P_1}{P_2}} \qquad (39-4)$$

$$Q_{OPT} = \frac{2.5.10^3 . d^3 . \sqrt{(P_1 - P_2)^3} \ [\gamma . L - 10(P_1 - P_2)]}{\sqrt{L^5 . \gamma^3}} \qquad (40-4)$$

$$V_{OPT} = \frac{0.8 d^{2.5} \ [\gamma L - 10(P_1 - P_2)]^2 \ \sqrt[3]{P_1 - P_2}}{\sqrt{L^3 . \gamma^3} \ \ Lg \frac{P_1}{P_2}} \qquad (41-4)$$

$$R_{OPT} = \frac{0.0077 . L \ \ [\gamma L - 10 (P_1 - P_2)]}{\sqrt{d}(P_1 - P_2) Lg \frac{P_1}{P_2}} \qquad (42-4)$$

2- بنظام $\Delta H , L$:

مع الأخذ بعين الاعتبار العلاقة (4-36):

$$Q_{max} = 78 . d^3 \quad \sqrt{\Delta H^3 . \gamma} \qquad (43-4)$$

$$V_{max} = \frac{0.253.\gamma.L\sqrt{d^5.\Delta H}}{Lg\frac{P_1}{P_2}} \qquad (44-4)$$

$$R_{max} = \frac{0.077.L}{\sqrt{d}.\Delta H.Lg\frac{P_1}{P_2}} \qquad (45-4)$$

$$Q_{OPT} = 78d^3\sqrt{\Delta H^3}\quad(1-\Delta H)\gamma \qquad (46-4)$$

$$V_{OPT} = \frac{0.253.\gamma L\sqrt{\Delta H.d^5}\ (1-\Delta H)^2}{Lg\frac{P_1}{P_2}} \qquad (47-4)$$

$$R_{OPT} = \frac{0.077.L\ (1-\Delta H)}{\sqrt{d}.\Delta H\ Lg\frac{P_1}{P_2}} \qquad (48-4)$$

حيث: Q: تصريف السائل – t / 24h

V: تصريف الغاز – Nm^3/h

R: نسبة استهلاك الغاز إلى النفط Nm^3/t

d: قطر مواسير الإنتاج بالبوصة.

L: طول مواسير الإنتاج m.

γ: الوزن النوعي للسائل gr/cm^3

P_1 , P_2 : النفط عند حذاء مواسير الإنتاج والنفط على السطح at.

3-4 ــ تحليل عمل مواسير الإنتاج:

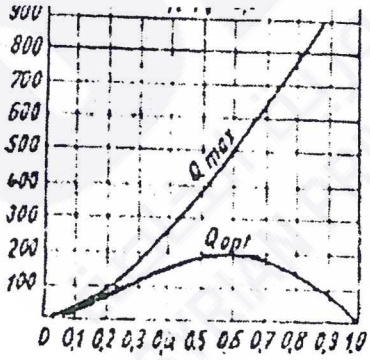
العامل الذي يعين عمل مواسير الإنتاج هو تدرج الضغط ΔH_m والذي يمكن كتابته بالشكل التالي:

$$\Delta H_m = \frac{10(P_1 - P_2)}{\gamma L} = \frac{h}{L} \qquad (49-4)$$

عندما يكون $P_2 = 0$ فإن قيمة h تمثل الانغمار الديناميكي لمواسير الإنتاج في سائل البئر، أما ΔH فيمكن اعتبارها الانغمار النسبي. من العلاقة (4-43) ينتج أن التصريف الأعظمي Q_{max} يزداد مع انغمار المواسير ومع زيادة قطرها في الوقت الذي يكون فيه التصريف المثالي للسائل Q_{OPT} يزداد مع الانغمار النسبي لمواسير في سائل البئر وحتى القيمة العظمى للانغمار ثم تبدأ كمية السائل بالانخفاض (الشكل 4-7). التصريف المثالي للسائل يأخذ قيمة عظمى من أجل قيمة معينة لتدرج الضغط التي هي عبارة عن 0,60 (من العلاقة (4-47).

مما بينا في الفقرة جـ ، ولمعرفة العلاقة بين الاستهلاك النوعي للغازات وانغمار مواسير الإنتاج فإن العلاقات السابقة يجب تغيرها من اجل التعبير عن قيمة (P_1) وذلك حسب انغمار مواسير الإنتاج، من العلاقة (6-23) نحصل على:

$$P_1 = \frac{\gamma . L . \Delta H}{10} + P_2$$



الشكل (4-7)

اختلاف تصريف السائل بنظام Q_{OPT}, q_{max} وذلك حسب الانغمار النسبي لمواسير الإنتاج ذات القطر $2\frac{1}{2}$ انش

إذا رمزنا بـــ: $L - h = ho$

مع الأخذ بعين الاعتبار العلاقة (6-50) نحصل على:

$$L = \frac{ho}{1 - \Delta H} \qquad (51-4)$$

بتعويض قيم كل من L و P_1 في العلاقات (4-45) و (4-48) فإننا نحصل على ما يلي:

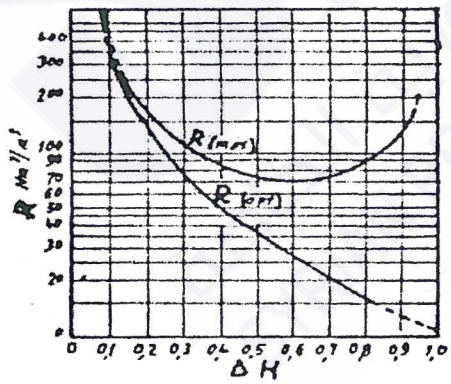
$$R_{max} = \frac{0.077 \cdot ho}{\sqrt{d}\Delta H(1-\Delta H)Lg\ \frac{ho\,\gamma\,\Delta H}{10(1-\Delta H)P_2} + 1} \qquad (52-4)$$

$$R_{OPT} = \frac{0.077 \cdot ho}{\sqrt{d} \cdot \Delta H \cdot Lg\ \frac{ho\,\gamma\,\Delta H}{10(1-\Delta H)P_2} + 1} \qquad (53-4)$$

حيث: ho: المستوي الديناميكي للبئر.

في الشكل (4-8) تم تمثيل العلاقات (4-52) و (4-53) والذي يظهر العلاقـة بين الاستهلاك النوعي للغازات حسب الانغمار النسبي لمواسير الإنتاج في سائل البئر.

من خلال تحليل العلاقات (4-52) و (4-53) ينتج أنه من أجل $r \to \infty$ عندما $\Delta h = 0$



الشكل (4-8)

تغير قيمة الاستهلاك النوعي للغازات بتغير الانغمار

لمواسير الإنتاج في سائل البئر

أما تأثير قطر مواسير الإنتاج على معدل الاستهلاك النوعي للغازات فهو صغير جداً في حال ثبات بقية العوامل، ذلك أن هذا الاستهلاك النوعي للغازات يتناسب عكساً مع الجذر التربيعي لقطر مواسير الإنتاج كما يظهر في العلاقة , (4-42) (4-39) .

وكما يظهر من هذه العلاقات فإن الاستهلاك النوعي للغازات يتناسب طرداً مع زيادة طول مواسير الإنتاج.

4-4 ارتفاع السائل في مواسير الإنتاج:

في بعض الأحيان يكون الضغط ضمن مواسير الإنتاج أكبر من ضغط الإشباع للسائل وبالتالي فإن الغازات تبقى منحلة فيه، كذلك فإن السائل قد لا يحوي غازات منحلة أو يحوي على كميات قليلة مهملة.

في هذه الحالات فإن صعود السائل إلى السطح يتم فقط تحت تأثير الطاقة الكامنة في السائل.

معدل جريان السائل الذي يدخل البئر من الطبقة يعطى بالعلاقة التالية:

$$Q = IP\,(PC - P_f)^n \qquad (54-4)$$

حيث IP : معامل الإنتاجية.

n : معامل يعتمد على نظام الجريان.

إن جريان السائل داخل مواسير الإنتاج هو جريان منتظم أي أن معدل السائل الذي يخرج من الطبقة يساوي معدل السائل الذي يخرج من مواسير الإنتاج على السطح، إذن يمكن كتابة المعادلة التالية:

$$Pf = \frac{H.\gamma}{10} + P_{fr} + P_2 \qquad (55-4)$$

حيث: Pf: الضغط عند قعر البئر مقابل الطبقة المنتجة kgf/cm^2 .

PC: ضغط الطبقة kgf/cm^2

H : عمق المنطقة المثقبة m.

γ : الوزن النوعي للسائل gf/cm^3

P_{fr} : الضغط الضائع نتيجة الاحتكاك kgf/cm^2

P_2 : الضغط عند رأس البئر على السطح kgf/cm^2

Q : معدل إنتاج البئر t/d

وبما أن السائل يجري فقط ضمن مواسير الإنتاج فإن الضغط الضائع نتيجة الاحتكاك يمكن أن يحسب بالعلاقة التالية:

$$P_{fr} = \lambda \frac{H}{d} \frac{W^2}{2g} \frac{\gamma}{10} \qquad (56-4)$$

حيث λ: يمثل معامل المقاومة الهيدروليكية وهو يعتمد على نوعية الجريان بكونه خطياً أو غير مستقر وحيث أن:

$$F = \frac{\pi d^2}{4}$$

فإن السرعة تعطى بالعلاقة:

$$W = \frac{Q}{21600 .\pi.d^2 .\gamma} \qquad (57-4)$$

d: قطر مواسير الإنتاج m.

بتعويض قيمة كل من قيمة السرعة ومساحة المقطع في العلاقة (4-56) نحصل على ما يلي:

$$Pf = \frac{H.\gamma}{10} + \frac{\lambda.H.Q^2}{9.10^{11} d^5}\gamma + P_2 \qquad (58-4)$$

من هذه العلاقة نستطيع تعيين الضغط اللازم وجوده في رأس مواسير الإنتاج كي تنتج البئر بمعدل معين Q وهو :

$$P_2 = PC - \sqrt[n]{\frac{Q}{IP}} - \frac{H.\gamma}{10} - \frac{\lambda.H.Q^2}{g.10^{11} .d^5}\ \gamma \qquad (59-4)$$

من أجل قيم لعدد رينولد $R_e < 2320$ فإن:

$$\lambda = \frac{64}{Re}$$

$$\lambda = \frac{0.3167}{\sqrt[4]{Re}}$$ وعندما يكون $R_e > 232$ فإن

إن مرور المواسير n يعطى بالنسبة ما بين العمل الميكانيكي اللازم لرفع طن واحد من السائل إلى السطح والعمل الميكانيكي المستهلك لرفع هذا الطن من السائل أي:

$$\eta = \frac{\tau}{\tau c} = \frac{1000 \,.\, H.\gamma}{10^4 \,(P_f - P_2)} \qquad (60-4)$$

وإذا أخذنا بالاعتبار العلاقة (4-58) فإننا نحصل على:

$$\eta = \frac{1000}{1000 + \lambda \dfrac{Q^2}{9.10^7 \,.\gamma^2 \,.d^5}} \qquad (61-4)$$

نلاحظ من هذه المعادلة أن مرور المواسير لا يعتمد على عمق البئر بل على معدل الإنتاج وقطر مواسير الإنتاج فقط بحيث أن هذا المعدل يتناقص مع زيادة معدل الإنتاج ويتزايد مع زيادة القطر الداخلي لمواسير الإنتاج.

في العلاقتين (4-55) , (4-56) تم الافتراض بأن الوزن النوعي للسائل ثابت ولكن في الحقيقة فإن الوزن النوعي للسائل يتغير على طول مواسير الإنتاج نتيجة تغير الحرارة والضغط ولكن هذه التغيرات طفيفة نتيجة التأثير المختلف لكل من الحرارة والضغط ولهذا تؤخذ قيمة وسطية ثابتة له.

4-5 الوزن النوعي للسائل الذي يحوي غازات بداخله:

في بعض مسائل الإنتاج فإنه يلزم تعيين الوزن النوعي للسائل الذي يحوي غازات والذي يجري ضمن المواسير العمودية ذات القطر الكبير كما هو الحال عند جريان هذا السائل داخل مواسير التغليف.

وبما أن انحلال الغازات في السائل يكون تابعاً للضغط وطالما أن الغازات يمكنها أن تتسرب في كتلة السائل فإن الوزن النوعي لهذا السائل يعين من

قوانين ارتفاع السوائل في مواسير الإنتاج العمودية ذات القطر الكبير مع بعض التقريب.

في المواسير ذات القطر الكبير فإن الاحتكاكات يمكن إهمالها وبالتالي فإن العلاقة (4-17) يمكن كتابتها بالشكل التالي:

$$\bar{\gamma} = \frac{q + a}{V + q + a}\,\gamma \qquad (62-4)$$

حيث:

$$V = \frac{q[G_0 - \propto (P-1)]}{P}$$

باستخدام الواحدات المستعملة مع إهمال انحلالية الغازات في المياه فإن العلاقة السابقة يمكن كتابتها بالشكل التالي:

$$\bar{\gamma} = \frac{(Q + 43.2d^2.\gamma)\gamma}{\frac{Q_P[G_0 - \propto (P-1)]}{P}\frac{\gamma}{\gamma_P} + Q + 43{,}2.d^2.\gamma} \qquad (63-4)$$

$$\gamma = \frac{n_p\,\gamma_p + n_w\,\gamma_w}{100} \qquad (64-4)$$

أما $a = 0.785.d^2$

حيث: $\bar{\gamma}$: الوزن النوعي الوسطي للمزيج gf/Cm^3

Q: التصريف الكلي للسائل (مياه + بترول) t/d

Q_p: تصريف البترول t/d

d : قطر مواسير الإنتاج بالبوصة.

P: ضغط مواسير الإنتاج.

G_0: نسبة الغازات إلى البترول m^3/m^3

$\propto$: معامل الانحلالية للغازات في البترول $Nm^3/m^3, at.$

γ_w, γ_p : الوزن النوعي للبترول والمياه المنتجة gf/cm^3

n_w, n_p : نسبة البترول ونسبة المياه في السائل المستخرج %.