في العلاقة (624) أخذنا بعين الاعتبار أن تسرب الغازات في كتلة السائل لا تعتمد على طبيعة السائل (البترول).

الكثافة الوسطية للمزيج في شروط الطبقة يمكن الحصول عليها من العلاقة التالية:

$$\bar{\gamma} = \gamma_e \frac{q\ell}{qt} + \gamma_g \frac{qg}{qt} \qquad (65-4)$$

حيث: γ_g, γ_L: الوزن النوعي للسائل وللغاز gf/cm^3

$qt, q\ell, qg$: معدل الإنتاج الكلي (للمزيج) وللسائل وللغازات.

وبفرض أن السائل غير انضغاطي وأن:

$$\frac{Po.To}{Z.T} \approx 1$$

نستنتج أن:

$$\bar{\gamma} = \frac{\gamma_L}{1 + \frac{(G_o - r_s)}{P}} + \gamma_{go} \frac{(G_o - r_s)}{1 + \frac{(G_o - r_s)}{P}} \qquad (66-4)$$

حيث r_s : نسبة الانحلالية للغازات في السائل Nm^3/m^3

γ_{go}: الوزن النوعي للغازات في الشروط المثالية (Po,To) . gf/Cm^3.

وبشكل عام فإن:

$$q = \frac{Q}{86400.\gamma} \qquad (67-4)$$

بذلك نستطيع حساب الوزن النوعي الوسطي للمزيج المؤلف من البترول والغازات.

وهناك طريقة تحدد الوزن النوعي للخليط النفطي المائي بواسطة المعادلة التالية:

$$\gamma_m = \gamma_w .i + \gamma_p (1-i)$$

حيث γ_m: الوزن النوعي الوسطي للخليط.

γ_w: الوزن النوعي للمياه ا لمرافقة.

i: نسبة الماء في النفط (نسبة العكارة).

γ_o: الوزن النوعي للبترول.

الفصل الخامس

الإنتاج الذاتي

(Natural Flow)

1-5 مقدمة

تعتبر طريقة الإنتاج الذاتي إحدى طرق إنتاج النفط الرئيسة، وتطبق في المرحلة الأولى لاستثمار المكمن النفطي ويتم إنتاج البئر ذاتياً بتأثير الطاقة الكامنة الموجودة في الطبقة ومنتجات البئر، حيث أنه في بداية الإنتاج من البئر تكون الطاقة الطبقية الناتجة عن دفع المياه أو عن دفع الغازات (تمددها) كافية لرفع منتجات البئر حتى السطح.

2-5 مبدأ الإنتاج الذاتي وأنواعه:

يحدث الإنتاج الذاتي في الحقول الجديدة عندما يكون احتياطي الطاقة الطبقية كبيراً، هذا يعني أن الضغط عند قاع البئر كبيرٌ جداً بشكل كاف للتغلب على الضغط الهيدروستاتيكي لعمود السائل (P) في البئر وضغط الفوهة (PY) والضغط الضائع الناجم عن قوى الاحتكاك (Pfr) رياضياً يمكن التعبير عن الكلام السابق بالشكل التالي:

$$P_C = P_\ell + P_{fr} + P_y \qquad (1\text{-}5)$$

تعبر العلاقة السابقة (1-5) عن الشرط الضروري كي تنتج البئر ذاتياً.

أنواع الإنتاج الذاتي : يوجد عادة نوعين من الإنتاج الذاتي هما :

3-5 الإنتاج الذاتي الارتوازي :

في هذا النوع لا يحوي السائل غازاً إطلاقاً أي هنا لا يوجد في السائل المرتشح إلى قاع البئر أي نسبة من الغاز. وهذا النوع من الإنتاج الذاتي نادر الحدوث في المكامن النفطية .

في حال الإنتاج الذاتي الارتوازي يكون:

$$P_\ell = \overline{\rho}.g.H \qquad (2\text{-}5)$$

حيث:

P_ℓ : الضغط الهيدروستاتيكي لعمود السائل.

$\overline{\rho}$: الكثافة الوسطية للسائل في البئر.

نرط الانتاج الذاتي $P_c = P_p + P_f + P_y$

H : المسافة الشاقولية بين القاع وفوهة البئر بالنسبة للآبار المائلة تحسب بالعلاقة التالية:

$$H = L.\cos\alpha$$

حيث:

α : زاوية ميلان محور البئر عن الشاقول.

L : عمق البئر.

تحسب الكثافة الوسطية لسائل البئر بالعلاقة التالية :

$$\overline{\rho} = \frac{\rho_c + \rho_y}{2} \qquad (3\text{-}5)$$

حيث :

ρ_c : كثافة السائل بالشروط الترموديناميكية للقاع (P.T).

ρ_y : كثافة السائل بالشروط السطحية (شروط الفوهة)

أما إذا كانت البئر مماهة فإن الكثافة تحسب كالتالي:

أ- بشروط القاع :

$$\rho_c = (\rho_o)_c(1-n) + (\rho_w)_c.n \qquad (4\text{-}5)$$

ب- بشروط الفوهة :

$$\rho_y = (\rho_o)_y(1-n) + (\rho_w)_y.n \qquad (5\text{-}5)$$

حيث :

n : نسبة الماء في المزيج (نفط - ماء)

أما ضياع الضغط بالاحتكاك p_{fr} فيعطى بالعلاقة التالية :

$$p_{fr} = \lambda.\frac{L}{d}.\frac{w^2}{2.g}.p \qquad (5\text{-}6)$$

حيث :

L : طول مواسير الإنتاج.

d : القطر الداخلي لمواسير الإنتاج .

w : سرعة جريان السائل ضمن مواسير الإنتاج والتي تعطى بالعلاقة التالية:

$$w = \left(\frac{Q_o b_o}{\rho_o} + \frac{Q_w.b_w}{\rho_w}\right).\frac{1}{F} \qquad (5\text{-}7)$$

$K_p = \frac{Q}{P_F - P_c} \Rightarrow q_F = K_p(P_F - P_c)$

معامل الإنتاجية

حيث :

F مساحة المقطع العرضي لمواسير الإنتاج .

$Q_w;Q_o$ الإنتاجية لكل من النفط والماء بالشروط السطحية القياسية.

$\rho_w;\rho_o$ كثافة النفط والماء بالشروط القياسية.

$b_w;b_o$ معامل حجم النفط والماء بالشروط الوسطية (السائدة) في مواسير الإنتاج.

لحساب λ معامل الممانعة الهيدروليكية يجب حساب عدد رنيولدس Re .

وفي حال وجود مستحلب (نفط – ماء) فإنه يجب الأخذ بعين الاعتبار اللزوجة الديناميكية للمستحلب والتي يمكن تحديدها بالعلاقة التالية:

$$\mu_E = \frac{\mu_F}{1 - \sqrt[3]{\varphi}} \qquad (5\text{-}8)$$

حيث :

μ_F اللزوجة الديناميكية للوسط أو الطور الظاهري المبعثر، فمثلاً إذا كان المستحلب من النوع ماء في النفط (W:O) فإن اللزوجة μ_F تؤخذ مساوية للزوجة النفط والعكس صحيح.

φ نسبة حجم الطور الداخلي (المتبعثر) إلى الطور الخارجي (المبعثر) .

فإذا كان : $R_e \langle 1200$ فإن : الجريان منتظم .

أما إذا كان: $R_e \rangle 2500$ فإن : الجريان مضطرب.

وإذا كان: $1200 \rangle R_e \langle 2500$ فإن : الجريان ما بين المنتظم والمضطرب أي جريان تحوي أو عابر أو انتقالي.

في حالة الجريان المنتظم فإن :

$$\lambda = \frac{64}{R_e} \qquad (5\text{-}9)$$

أما في حالة الجريان المضطرب فإن :

$$\lambda = \frac{0.3164}{R_e^{0.25}} \qquad (5\text{-}10)$$

وفي حالة الجريان الانتقالي أو التحولي فإن :

$$\lambda = \frac{0.342}{R_e^{0.21}} \qquad (5\text{-}11)$$

من المعلوم بأن إنتاجية الطبقة تعطى بالعلاقة العامة التالية:

$$Q = K(p_F - p_c)^n \qquad (5\text{-}12)$$

بحل هذه العلاقة بالنسبة لـ P_c نجد أن :

$$P_c = P_F - \sqrt[n]{\frac{Q}{K}} \qquad (5\text{-}13)$$

أثناء العمل المشترك للطبقة ومواسير الإنتاج (في حالة الإنتاج الذاتي) يستقر أو يثبت ضغط قاع البئر (P_c) الذي يتم حسابه وفقاً للعلاقة (5-1) عند هذا الضغط P_c فإن مواسير الإنتاج ستمرر كمية من السائل يمكن تحديدها من خلال المساواة بين العلاقتين (5-1) و (5-13) وتبديل P_c بقيمتها أي :

$$P_\ell + P_{Fr} + P_y = P_F - \sqrt[n]{\frac{Q}{K}} \qquad (5\text{-}14)$$

من خلال هذه العلاقة نلاحظ أن P_y و p_{Fr} تتعلقان بالإنتاجية فمثلاً بزيادة الإنتاجية نلاحظ ازدياد قيم p_y و p_{Fr} ونلاحظ أيضاً أن قيمة P_ℓ لا تتعلق بقيمة الإنتاجية Q مما تقدم فإنه يمكن كتابة العلاقة السابقة كتابع للإنتاجية على الشكل التالي:

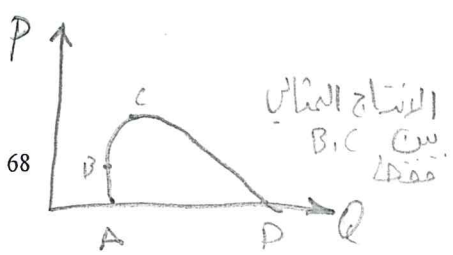
$$P_\ell + f(Q) = P_F - \sqrt[n]{\frac{Q}{K}} \qquad (5\text{-}15)$$

من هذه العلاقة (5-15) يجب الحصول على Q لذلك يجب إعطاء قيم مختلفة مفروضة للإنتاجية (Q) وحساب القسم الأيمن والأيسر من العلاقة (5-15).

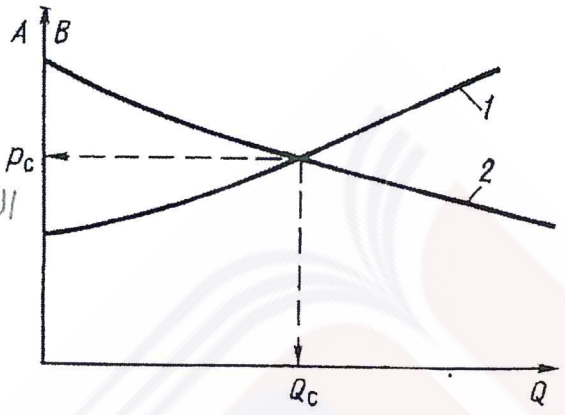
نفرض أن :

$$A = P_\ell + F(Q) \qquad (5\text{-}16)$$

$$B = P_f - \sqrt[n]{\frac{Q}{K}} \qquad (5\text{-}17)$$



ثم نمثل بيانياً العلاقة $A(Q)$ و $B(Q)$ كما هو واضح بالشكل البياني (1-5)



شكل (1-5) – يوضح الحل المشترك لمعادلة عمل المصعد (مواسير الإنتاج) $A(Q)$ ومعادلة إنتاجية الطبقة $B(Q)$.

من الشكل البياني السابق (1-5) يلاحظ أنه بزيادة الإنتاجية Q يجب أن تزداد قيمة A أما قيمة B فسوف تنقص. نقطة تقاطع المنحني الممثل للعلاقة A(Q) مع المنحني B(Q) هي النقطة التي تحدد نظام العمل المشترك للطبقة ومواسير الإنتاج الذاتي أي أنها تعطي قيمة الإنتاجية عند قاع البئر Qc وضغط القاع المقابل لهذه الإنتاجية Pc .

ملاحظة : يمكن أن تجرى حسابات مشابهة من أجل أقطار مختلفة لمواسير الإنتاج وأيضاً من أجل ظروف الإنتاج الذاتي من الفراغ الحلقي. ومن الحلول الناتجة يمكن اختيار الحل الأفضل والأمثل والذي يلبي الشروط التكنولوجية لاستثمار واستغلال الحقل النفطي.

4-5 الإنتاج الذاتي غير الارتوازي (على حساب طاقة الغاز المنحل في النفط):

في هذا النوع يلاحظ وجود الغاز المنحل في السائل المرتشح باتجاه قاع البئر. هذا الغاز المنحل (الفقاعات الغازية المنحلة) يساهم في عملية رفع السائل إلى السطح وهذا النوع هو الأكثر شيوعاً في الحقول النفطية.

في هذه الحالة تكون كثافة المزيج (سائل – غاز) ضمن مواسير الإنتاج أقل منها في الحالة الأولى (سائل فقط) لذلك فإن الضغط الهيدروستاتيكي لعمود المزيج (سائل – غاز) أقل منه في الحالة الأولى وبالنتيجة فإنه من أجل حدوث الإنتاج الذاتي

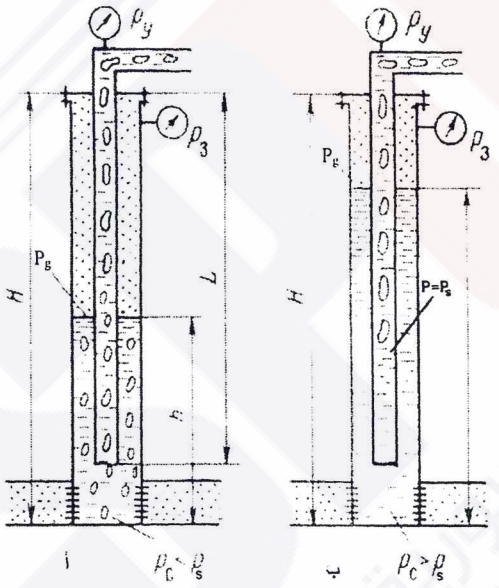
في هذه الحالة فإن ضغط القاع الأصغري الذي يحقق عملية الإنتاج الذاتي هو أصغر بكثير من الحالة السابقة (للإنتاج الذاتي الارتوازي).

في حالة الإنتاج الذاتي غير الارتوازي أي الإنتاج على حساب طاقة الغاز المنحل في السائل يمكن أن يكون:

أ- ضغط القاع أكبر من ضغط الإشباع أي : $P_c \rangle P_S$

ب- ضغط القاع أصغر من ضغط الإشباع أي : $P_c \langle P_S$

الرسم التوضيحي للحالتين (أ) و (ب) موضع بالشكل التالي:



شكل رقم (2-5) - يوضح أنظمة الآبار المنتجة ذاتياً على حساب طاقة الغاز (الإنتاج الذاتي اللاارتوازي)

من المعلوم بأن ضغط قاع البئر المنتجة ذاتياً يعطى بالعلاقة التالية:

$$P_c = P_{cl} + P \qquad (5\text{-}18)$$

حيث:

P_{cl} : الضغط عند حذاء (نهاية) مواسير الإنتاج.

P : الضغط الهيدروستاتيكي لعمود السائل ما بين نهاية مواسير الإنتاج وقاع البئر (عمود البئر).

ويعطى بالعلاقة التالية:

$$P = (H - L)\rho.g \qquad (5\text{-}19)$$

حيث:

H : عمق البئر.

L : طول مواسير الإنتاج .

ρ : الكثافة الوسطية لمنتجات البئر.

g تسارع الجاذبية الأرضية.

ولكن الضغط عند قاع البئر يمكن أن يعطى أيضاً بالعلاقة التالية:

$$P_c = P_1 + P_2 \qquad (5\text{-}20)$$

حيث :

P_1 الضغط الهيدروستاتيكي لعمود السائل في الفراغ الحلقي انظر الشكل رقم (5-2) ويعطى بالعلاقة التالية:

$$P_1 = \rho.g.h \qquad (5\text{-}21)$$

حيث :

h ارتفاع عمود السائل في الفراغ الحلقي .

ρ الكثافة الوسطية للسائل في الفراغ الحلقي.

P_2 ضغط الغاز الواقع ضمن الفراغ الحلقي (انظر الشكل رقم (5-2) وتعطى قيمته بالعلاقة التالية:

$$P_2 = P_z + \Delta P \qquad (5\text{-}22)$$

حيث:

P_z ضغط الغاز الموجود ضمن الفراغ الحلقي وذلك عند فوهة البئر .

ΔP الضغط الهيدروستاتيكي لعمود الغاز من مستوى الغاز وحتى الفوهة ويعطى بالعلاقة التالية:

$$\Delta P = (H - h)\rho_g.g \qquad (5\text{-}23)$$

بتعويض قيم P و P_{cl} في العلاقة (5-20) نحصل على :

$$P_c = \rho.g.h + (H - h)\rho_g.g + P_z \qquad (5\text{-}24)$$

في الحالة التي يكون فيها : $P_c \langle P_s$ فإنه من الملاحظ توفر ظروف مناسبة لتجمع الغاز في الفراغ الحلقي وهذا ما يؤدي إلى زيادة قيمة الضغط P_z في الفراغ الحلقي الأمر الذي يقود إلى انخفاض قيمة h حتى قيمة محددة بحيث يصبح ضغط القاع محدد بالعلاقة التالية ثابتاً:

$$P_{cl} = P_z + (H-h)\rho_g.g \qquad (5\text{-}25)$$

هذه العملية ستستمر حتى اللحظة التي ينخفض فيها مستوى السائل إلى حذاء المواسير الإنتاجية، وبعد ذلك يتم الاستقرار ويصبح النظام مستقراً.

أما كثافة الغاز ρ_g في العلاقة (5-24) فتعطى بالعلاقة التالية:

$$\rho_g = \rho_o \cdot \frac{P_z.T_o}{P_o.T_m.Z} \qquad (5\text{-}26)$$

حيث :

ρ_o كثافة الغاز بالشروط القياسية السطحية.

$P_z - P_o$ الضغط الجوي القياسي والضغط في الفراغ الحلقي.

Z معامل الانضغاطية للغاز.

$T_o.T_M$ درجة الحرارة القياسية ودرجة الحرارة الوسطية للغاز في الفراغ الحلقي.

أما كمية الغاز التي تتجمع في الفراغ الحلقي فهي تتعلق بما يلي:

1 – سرعة جريان المزيج (سائل – غاز) أي بإنتاجية البئر.

2 – قطر الفراغ الحلقي ما بين المواسير الإنتاجية ومواسير التغليف.

3 – بكمية الفقاعات الغازية ومقاييسها.

4 – بلزوجة السائل.

أما في الحالة التي يكون فيها: $P_c \rangle P_s$ فإن الغاز الحر في هذه الحالة لا يتجمع في الفراغ الحلقي طالما أن الظروف المناسبة لتجمعه غير محققة.

أما ضمن مواسير الإنتاج فإن الغاز سينفصل على ارتفاع معين من حذاء المواسير حيث أن الضغط يكون أقل من ضغط الإشباع.

وطالما أنه عند عمل البئر لا يحدث تجديد للسائل في الفراغ الحلقي، وبذلك لا تظهر الظروف المناسبة لوصول السائل إلى الفراغ الحلقي، بينما يتم انفصال جزء من الغاز المنحل في النفط الموجود في الفراغ الحلقي بعد ذلك يتم تعادل أو توازن النظام بشكل

$$L_{H\varphi} = L - \frac{P_c - P_g}{\rho.g}$$

عام. مستوى السائل في هذه الحالة سيقع على ارتفاع ما قدره (h) ووفقاً للعلاقة (5-25) السابقة فإن القيم المختلفة لمستوى السائل (h) سوف تتطابق أو تتوافق مع قيم مختلفة للضغط P_z. في هذه الحالة لا يمكن تحديد ضغط القاع P_c بدلالة P_z نتيجة عدم إمكانية تحديد قيمة الارتفاع (h) (كونها غير محددة).

5-5 شرط حدوث الإنتاج الذاتي :

الإنتاج الذاتي يمكن فقط في حالة تساوي أو زيادة الطاقة التي يملكها السائل في القاع مع الطاقة اللازمة والضرورية لرفع السائل من القاع إلى السطح بشرط أن تعمل مواسير الإنتاج الذاتي بالنظام المثالي أي معامل مردود عملها أعظمي.

يمكن للسائل أن يرتفع إلى مسافة محددة وذلك على حساب ضغط القاع، هذه المسافة تكون موافقة لقيمة ضغط قاع البئر.

العمل المفيد الذي ينفذ أو ينجز عند رفع متر مكعب واحد من السائل هو عبارة عن جداء وزن السائل وارتفاع الرفع رياضياً يمكن التعبير عن ذلك بالعلاقة التالية:

$$W_1 = 1.m^3.\rho.g\left(\frac{P_c - P_o}{\rho g}\right)$$

$$W_1 = 1.m^3.(P_c - P_o) \qquad (5\text{-}27)$$

حيث :

W_1 العمل المفيد الذي يتحقق عند رفع متر مكعب واحد من السائل، يعطى هذا العمل بالعلاقة التالية:

$$W_1 = 1.m^3.\rho.g.\left(\frac{P_c - P_o}{\rho.g}\right) = 1.m^3(P_c - P_o) \qquad (5\text{-}28)$$

حيث :

$1.m^3.\rho.g$ تمثل وزن السائل.

$\left(\frac{P_c - P_o}{\rho.g}\right)$ يمثل الارتفاع الذي يرفع إليه السائل.

لكن يوجد مع النفط غاز حر، أيضاً هناك الغاز الذي ينفصل عن النفط عند انخفاض الضغط تحت ضغط الإشباع، لذا فإن الحجم الكلي للغاز (الحر والمنفصل) محولاً إلى

الشروط القياسية والخاص (العائد) لمتر مكعب واحد من النفط يسمى بالمعامل الغازي G_o.

عندما يتمدد الغاز فإنه يحقق عمل لكن كمية الغاز الحر على أعماق مختلفة ستكون مختلفة أيضاً كما أن العمل الناتج عن تمدد الغاز يتحقق فقط بواسطة الغاز الحر، لذلك وأثناء حساب العمل المذكور من الضروري الأخذ بعين الاعتبار ليس المعامل الغازي الكلي G_o بل المعامل الغازي الفعال G_{EF}.

إن قيمة العمل الممكن إنجازه لهذا الغاز الحر أثناء تمدده وبالشروط الترموديناميكية الحرارية المتساوية أي (T=const) سوف تكون مساوية:

$$W_2 = G_o.P_o \ln\frac{P_c}{P_o} \quad (5\text{-}29)$$ ، (جول) ،

وهكذا فإن الطاقة الكلية القادمة إلى القاع مع كل متر مكعب نفط ستكون مساوية:

$$W_1 = W_1 + W_2 = P_c - P_o + G_o.P_o.\ln\frac{P_c}{P_o} \quad (5\text{-}30)$$

لكن من المعلوم أنه يوجد دائماً ضغط معاكس عند فوهة البئر مقداره (P_y)، لذلك فإن التيار (السائل والغاز) سوف يحمل معه كمية من الطاقة، هذه الكمية من الطاقة يمكن أن تحدد بالعلاقة التالية :

$$W_2 = P_y - P_o + G_o.P_o \ln\frac{P_y}{P_o} \quad (5\text{-}31)$$

وهكذا فان كمية الطاقة القادمة من الطبقة والطاقة المصروفة في البئر ذاتها أثناء عملية رفع السائل من القاع حتى الفوهة (W_L) سوف تكون مساوية :

$$W_L = W_1 - W_2 \quad (5\text{-}32)$$

بتعويض قيم W_1 و W_2 من العلاقتين (5-30) و (5-31) في العلاقة (5-32) نحصل على :

$$W_L = P_c - P_y + G_o.P_o \ln\frac{P_c}{P_o} - G_o.P_o \ln\frac{P_y}{P_o} \quad (5\text{-}33)$$

يمكن كتابة العلاقة (5-33) بالشكل التالي:

$$W_L = P_c - P_y + G_o.P_o \ln\frac{P_c}{P_y} \quad (5\text{-}34)$$

إذا كانت مواسير الإنتاج الذاتي تعمل بالنظام المثالي، هذا يعني أنه سيعمل بالنظام ذي المردود الأعظمي، فإن الاستهلاك النوعي للغاز (R) واللازم لرفع متر مكعب واحد $(1m^3)$ من السائل سيصل إلى القيمة الصغرى أي (R_{opt})، في هذه الحالة فإن كمية الطاقة الصغرى الضرورية للإنتاج الذاتي ستكون طبقاً للعلاقة (5-34) مساوية:

$$W_{\min} = P_c - P_y + R_{opt}.P_o \ln \frac{P_c}{P_y} \qquad (5\text{-}35)$$

وبالنتيجة فإن الإنتاج الذاتي سيتحقق أو يكون ممكناً إذا تحقق الشرط التالي:

$$W_L \geq W_{\min} \qquad (5\text{-}36)$$

$$G_o.P_o.\ln \frac{P_c}{P_y} \geq R_{opt}.P_o.\ln \frac{P_c}{P_y} \qquad (5\text{-}37)$$

أو

$$G_o \geq R_{opt} \qquad (5\text{-}38)$$

لتحديد قيمة الاستهلاك النوعي للغاز (R_{opt}) عند عمل المصعد (سائل – غاز) بنظام الإنتاجية العظمى $Q_{\max}$ نستخدم العلاقة التالية التي حصل عليها الباحث الروسي كريلوف نتيجة الأبحاث التجريبية التي قام بها ونتيجة معالجة المعطيات النظرية هذه العلاقة هي :

$$R_{\max} = \frac{2{,}769 \cdot 10^{-4}.\rho^2.L^2}{d^{0.5}\left(P_c - P_y\right)\ln \frac{P_c}{P_y}} \qquad (5\text{-}39)$$

هذا وقد وجد كريلوف أنه عند عمل مواسير الإنتاج بنظام الإنتاجية المثالية (Q_{opt}) فإن الاستهلاك النوعي للغاز (R_{opt}) مرتبط بقيمة الاستهلاك النوعي الأعظمي $(R_{\max})$ رياضياً عبر ذلك بالعلاقة التالية:

$$R_{opt} = R_{\max}(1-\varepsilon) \qquad (5\text{-}40)$$

حيث :

ε هي الغمر النسبي وتعطى بالعلاقة التالية:

$$\varepsilon = \frac{P_c - P_y}{\rho.g.L} \qquad (5\text{-}41)$$

حيث : L طول مواسير الإنتاج .

اكتب شرط الانتاج الذاتي مع شرح الرموز؟

بتعويض قيم R_{max} و ε في العلاقة (5-40) نحصل على :

$$R_{opt} = \frac{2,769 .10^{-4}.\rho^2.L^2}{d^{0.5}\left(P_c - P_y\right)\ln\frac{P_c}{P_y}}\left(1 - \frac{P_c - P_y}{\rho.g.L}\right) \qquad (5\text{-}42)$$

كما تعطى قيمة الضغط الوسطي بالعلاقة التالية:

$$P_m = \frac{P_c + P_y}{2} \qquad (5\text{-}43)$$

هذا وتعطى كمية الغاز الحر الوسطية أو الفعالة G_m بالعلاقة التالية:

$$G_m = G_{EF} = G_o - \alpha\left(\frac{P_c + P_y}{2} - P_o\right) \qquad (5\text{-}44)$$

$G_m = G_{EF}$ = كمية الغاز المنحل في النفط – المعامل الغازي الكلي (G_o)

من شرط الإنتاج الذاتي نجد أن :

$$G_{EF} \geq R_{opt} \qquad (5\text{-}45)$$

بتعويض كل من G_{EF} و (R_{opt}) بقيمتها نجد أن:

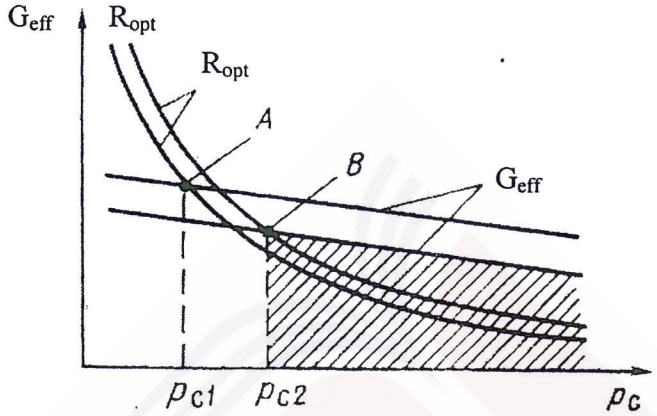
$$\left[G_o - \alpha\left(\frac{P_c + P_y}{2} - P_o\right)\right](1-n) \geq \frac{2,77.10^{-4}.\rho^2.L^2}{d^{0,5}\left(P_c - P_y\right)\ln\frac{P_c}{P_y}}\left(1 - \frac{P_c - P_y}{\rho.g.L}\right) \qquad (5\text{-}46)$$

أو

$$\left[G_o - \alpha\left(\frac{P_c + P_y}{2} - P_o\right)\right](1-n) \geq \frac{2,77.10^{-4}.\gamma^2.L^2}{g^2.d^{0,5}\left(P_c - P_y\right)\ln\frac{P_c}{P_y}}\left(1 - \frac{P_c - P_y}{\gamma.L}\right) \qquad (5\text{-}47)$$

يمكن من العلاقة (5-46) تحديد قيمة ضغط القاع الأصغري الذي يؤدي إلى حدوث الإنتاج الذاتي وذلك عند معرفة قيم ρ و P_y و L و d و G_o .

من أجل تحديد ضغط القاع الأصغري P_c لعملية الإنتاج الذاتي يجب حل المعادلة (5-46) بالنسبة لضغط القاع P_c لكن ذلك مستحيل لأن العلاقة (5-46) متساوية بالنسبة لـــ P_c (أي أن الحد P_c موجود في طرفي العلاقة)، لذلك فإن حل العلاقة (5-46) يتم بانتقاء قيمة محددة لـــ P_c والتي تحول المتراجحة السابقة (5-46) إلى متطابقة و إما بالطريقة البيانية التالية والموضحة بالشكل البياني التالي:



شكل (3-5) – يمثل الحل البياني للعلاقة (46-5)عند ضغط القاع الأصغري للإنتاج المثالي ولقيم أماهة مختلفة لمنتجات البئر.

الشكل (3-5) يوضح المنحنيات البيانية لكل من G_{EF} و R_{opt} بالعلاقة مع ضغط القاع P_c. النقطة A والتي هي نقطة تقاطع المنحني (1) R_{opt} مع المنحني (2) G_{EF} واللذين يوافقان القسم الأيمن والأيسر من العلاقة (46-5) هذه النقطة A تعطي القيم التي يكون عندها الطرف الأيسر والأيمن للعلاقة (46-5) متساويين. الضغط المقابل لهذه النقطة يكون هو ضغط القاع الأصغري الذي يحقق عملية الإنتاج الذاتي الذي يتم البحث عنه وبالشروط المعلومة.

عند زيادة نسبة الأماهة n فإن المعامل الغازي الفعال G_{EF} يتناقص بشكل تناسبي، أما الاستهلاك النوعي المثالي للغاز R_{opt} فيزداد على حساب زيادة كثافة المزيج (نفط – ماء)، لهذا السبب فإن نقطة تقاطع المنحني $G_{EF}(P_c)$ والمنحني $R_{opt}(P_c)$ ومن أجل القيمة الجديدة الأكبر للأماهة n تنزاح نحو اليمين (النقطة B). وهكذا فعند تزايد الأماهة فإن قيمة ضغط القاع الأصغري اللازم كي يتم الإنتاج الذاتي ستزداد وهكذا يمكن حساب ضغط القاع الأصغري للإنتاج الذاتي من أجل قيم مختلفة للإماهة n والحصول على العلاقة $P_c(n)$ من أجل إمكانية التنبؤ بحدوث الإنتاج الذاتي.