

المحاضرة 5

الفصل الخامس

أنظمة عمل الجملة (طبقة - بئر)

عند انتقال الغاز من المكمن إلى النقطة الأخيرة للاستهلاك، فإنه يمر خلال الصخور المكمنية أو الوسط المسامي، ويتطلب ذلك كمية معينة من الطاقة للتغلب على المقاومة الظاهرة أثناء الجريان باتجاه البئر. بالطبع إن ذلك يؤدي إلى هبوط الضغط بقيمة تعتمد على معدل الجريان وخصائص الموائع الطبقيّة وخصائص الصخور أيضاً.

إن المهندس المعني في عمليات إنتاج الغاز يجب أن يكون قادراً على تخمين، ليس فقط إنتاجية البئر أو الحقل بل أيضاً كمية الغاز المتواجدة في المكمن، وكم من هذا الغاز يمكن إنتاجه اقتصادياً. وهذا يتطلب القدرة على إيجاد العلاقة بين حجم الغاز المتواجد في الطبقة والضغط الطبقي.

إن خصائص الموائع، تم بحثها في فصل سابق وخصائص الصخور تشكل مواضيع فيزياء الطبقة، أما بحث جريان الغاز سيتم في هذا الفصل.

5-1- جريان الغاز في الوسط المسامي:

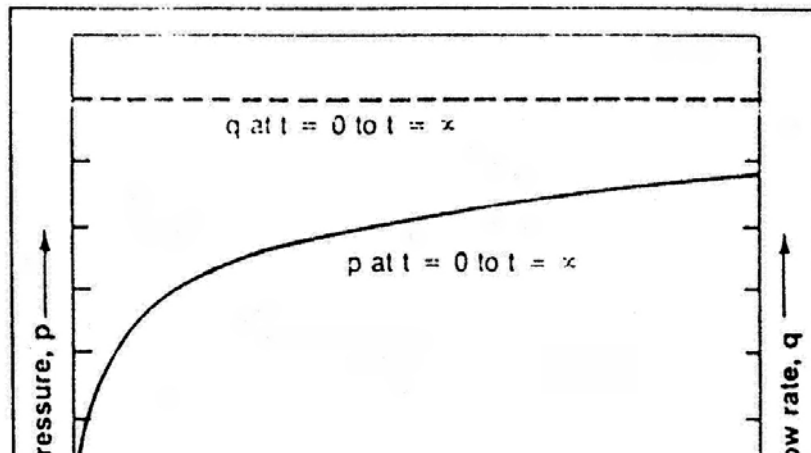
إن تحديد معدل الجريان من الطبقة إلى البئر الغازي يتطلب إيجاد علاقة بين معدل الجريان وضغط قاع البئر. يمكن إيجاد مثل هذه العلاقة بحل مناسب لقانون دارسي الذي يربط بين هبوط الضغط وسرعة جريان الموائع في الوسط المسامي.

وهنا يجب أن نميز بين أنظمة الجريان:

عندما لا يعتمد نظام الجريان على الزمن نسميه النظام المستقر، وإذا كانت الظروف متغيرة مع الزمن عند موضع معين فسيكون النظام انتقالي أو غير مستقر. وهناك حالة معينة للجريان الانتقالي حيث تتغير الظروف بمعدل ثابت عند أي موقع في الطبقة تدعى بالحالة المستقرة. الزائفة.

5-2- النظام المستقر لجريان الغاز:

يوضح الشكل (5-1) توزيع الضغط ومعدل الجريان خلال الجريان الشعاعي للحالة المستقرة من الطبقة إلى البئر.



الشكل (5-1) الجريان الشعاعي للحالة المستقرة

إن توزيع الضغط سيبقى ثابتاً طالما بقي نصف قطر تأثير البئر ثابتاً. ومن أجل صحة هذه الحالة يجب أن يكون معدل الجريان عند نهاية نصف قطر تأثير البئر مساوياً لقيمته عند جدران البئر وهذه الحالة غير ممكنة في الواقع إلا عند الإزاحة الشديدة بالماء بواسطة الحقن في أسفل التكوين أو حقن الغاز في أعلى التكوين، بحيث يتساوى معدل الحقن مع معدل الإنتاج.

إن معادلات نظام الجريان المستقر مفيدة من أجل تحليل الظروف بالقرب من تجويف البئر، لأنه حتى في ظروف النظام غير المستقر يمكن اعتبار معدل الجريان ثابتاً بالقرب من جدران البئر. لذلك فإن معادلات النظام المستقر يمكن تطبيقها على هذا الجزء من الطبقة دون خطأ ملحوظ.

يُعبّر عن قانون دارسي للارتشاح في الوسط المسامي بالعلاقة:

$$v = -\frac{k}{\mu} \frac{dp}{dx} \quad (5-1)$$
$$q = v \cdot A = -\frac{kA}{\mu} \frac{dp}{dx}$$

حيث أن:

v - سرعة الارتشاح

q - معدل الجريان الحجمي

k - النفوذية

μ - لزوجة المائع

$\frac{dp}{dx}$ - تدرج انخفاض الضغط باتجاه الجريان.

وبالنسبة للجريان الشعاعي نأخذ معادلة دارسي الشكل:

$$q = \frac{k(2\pi r h)}{\mu} \frac{dp}{dr} \quad (5-2)$$

يجب أن تُدمج العلاقة (5-2) قبل مكاملتها بمعادلتى الحالة والاستمرارية. إن معادلة الاستمرارية هي:

$$\rho_1 q_1 = \rho_2 \cdot q_2 = \text{const..} \quad (5-3)$$

ومعادلة الحالة للغاز الحقيقي:

$$\rho = \frac{P \cdot M}{ZRT} \quad (5-4)$$

عادة ما يقدر معدل الجريان عند ظروف قياسية معينة من الضغط ودرجة الحرارة P_{sc} و T_{sc} . من خلال ما ذكر أعلاه يمكن أن نكتب:

$$\rho \cdot q = \rho_{sc} \cdot q_{sc}$$

$$q \frac{p \cdot M}{zRT} = q_{sc} \frac{p_{sc} \cdot M}{z_{sc} RT_{sc}} \quad \text{أو}$$

بإيجاد قيمة q_{sc} والتعويض عن q بالمعادلة (5-2) نحصل على:

$$q_{sc} = \frac{PT_{sc}}{P_{sc} zT} \cdot \frac{2\pi r h k}{\mu} \cdot \frac{dp}{dr}$$

$$\int_{p_w}^{p_F} p \cdot dp = \frac{q_{sc} \cdot P_{sc} T \bar{\mu} \cdot \bar{z}}{T_{sc} \cdot 2\pi k h} \int_{r_w}^{r_e} \frac{dr}{r}$$

$$\frac{p_F^2 - p_w^2}{2} = \frac{q_{sc} \cdot P_{sc} T \bar{\mu} \cdot \bar{z}}{T_{sc} \cdot 2\pi k h} \cdot \ln \frac{r_e}{r_w}$$

$$q_{sc} = \frac{\pi k h T_{sc} \cdot (p_F^2 - p_w^2)}{p_{sc} T \bar{\mu} \cdot \bar{z} \ln \frac{r_e}{r_w}} \quad (5-5)$$

في التكامل السابق، عادة ما يُفترض أن z, μ لا يعتمدان على الضغط وتقدر قيمتهما عند درجة حرارة الطبقة ومتوسط الضغط \bar{P} :

$$\bar{P} = \frac{p_f + p_w}{2}$$

إن المعادلة (5-5) تطبق من أجل أي مجموعة متجانسة من الوحدات. فمثلاً من أجل:

$$q_{sc} = \text{ألف قدم مكعب قياسي/يوم}$$

$$K = \text{النفوذية بالميليدارسي.}$$

$$h = \text{سماكة الطبقة المنتجة بالقدم.}$$

$$p_f = \text{الضغط عند نصف القطر } r_e \text{ رطل/بوصة مربعة.}$$

$$p_w = \text{ضغط قاع البئر رطل/بوصة مربعة.}$$

$\bar{\mu}$ = لزوجة الغاز سنتي بواز.

نأخذ المعادلة بشكل:

$$q_{sc} = \frac{703 \times 10^{-6} \cdot kh (p_f^2 - p_w^2)}{T \bar{\mu} \cdot \bar{z} \ln \frac{r_e}{r_w}} \quad (5-6)$$

إن هذه المعادلة تضم القيم التالية للضغط ودرجة الحرارة القاسيين:

$$q_{sc} = 14.7 \text{ psia}$$

$$T_{sc} = 60 F^\circ$$

مثال:

بالمعطيات التالية، أحسب ضغط قاع البئر اللازم لتحقيق معدل تدفق 3900 ألف قدم مكعب قياسي في اليوم بافتراض النظام المستقر للجريان إذا كانت لدينا المعطيات التالية:

$$k = 1.5 \text{ mD} \quad , \quad p_f = 4625 \text{ psia} \quad , \quad T = 252 F^\circ \quad , \quad r_e = 550 \text{ f t}$$

$$h = 30 \text{ f t} \quad , \quad \bar{\mu} = 0.027 \text{ c.p} \quad , \quad \gamma_g = 0.76 \quad , \quad r_w = 0.333 \text{ f t}$$

خلال استعراض حالة الجريان المستقر، ثم افتراض عدم وجود جريان مضطرب وعدم وجود تأثير للظاهرة الجلدية حول تجويف البئر. لذلك إذا أُدخل تأثير الاضطراب على معادلة الجريان تأخذ الشكل التالي:

$$p_f^2 - p_w^2 = \frac{1422 T \bar{\mu} \cdot \bar{z} q_{sc} \ln \frac{r_e}{r_w}}{kh} + \frac{3.161 \times 10^{-12} \beta \gamma_g \bar{z} q_{sc}^2 T}{h^2} \left(\frac{1}{r_w} - \frac{1}{r_e} \right) \quad (5-7)$$

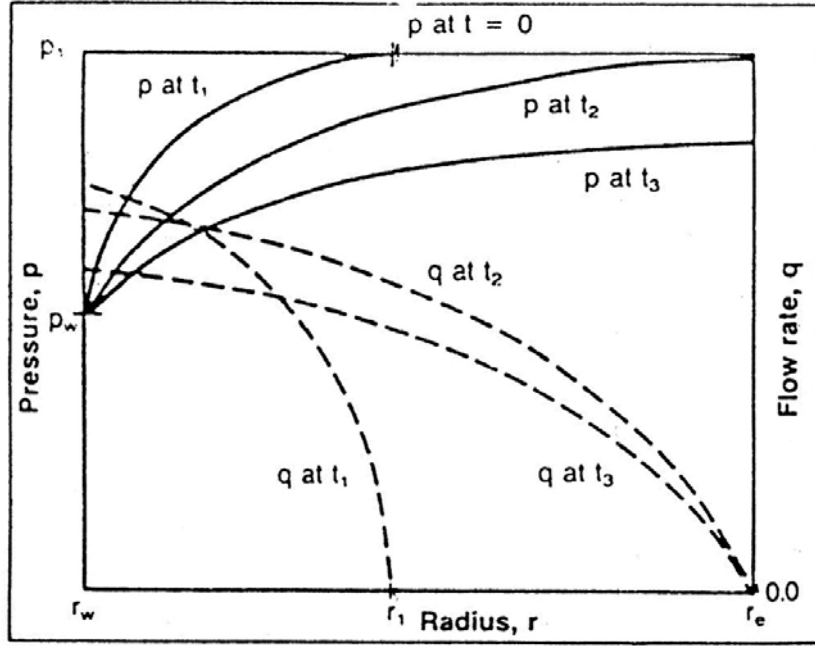
إن الحد الأول يمثل هبوط الضغط الناتج عن جريان دارسي، بينما يعطي الحد الثاني الانخفاض الإضافي للضغط بسبب الاضطراب. إن قيم معامل السرعة β يمكن الحصول عليها لقيم مختلفة من النفوذية من المعادلة:

$$\beta = \frac{2.33 \times 10^{10}}{k^{1.2}} \quad (5-8)$$

حيث أن قيمة k بالميلي دارسي.

5-3- النظام غير المستقر لجريان الغاز:

يوضح الشكل (5-2) توزيع الضغط ومعدل الجريان الشعاعي في أوقات مختلفة لمكمن مغلق، حيث أنه لا يوجد جريان عبر r_e . في هذه الحالة سيكون الإنتاج فقط بسبب تمدد المائع في المكمن، أي أن معدل الجريان عند r_e مساوياً للصفر وقيمة أعظمية عند r_w ، على خلاف النظام المستقر حيث أن القيمتين متساويتين.



الشكل (5-2) الجريان الشعاعي للحالة غير المستقرة بثبات ضغط قاع البئر

في البداية يكون الضغط متجانساً في جميع أجزاء المكمن ويساوي (P_i) وهذا يمثل الزمن صفر للإنتاج. بعد فترة زمنية (t_1) من إنتاج البئر، بحيث يبقى ضغط قاع البئر ثابت، يتأثر جزء من الطبقة ويحدث فيه هبوط للضغط وهذا الجزء يزداد مع الزمن حتى الوصول إلى النقطة (r_e) كما هو موضح عند الزمن (t_2) .

من الملاحظ، بأن معدل الجريان q عند البئر قد انخفض بمقدار معين من (t_1) إلى (t_2) لأنه بنفس الانخفاض بالضغط $(p_i - p_w)$ تأثر حجماً أكبر من الممكن وازداد نصف قطر مساحة التصريف. مع استمرار الإنتاج من البئر فإن الضغط سينخفض في جميع أجزاء الطبقة بحيث يأخذ منحى توزع الضغط الشكل p عند t_3 . بالطبع سيرافق ذلك انخفاض معدل الجريان خلال الفترة الزمنية t_2 إلى t_3 بسبب انخفاض الهبوط الكلي للضغط من r_e إلى r_w أي $(p_e - p_w)$.

إن العلاقة التي تمثل الحالة غير المستقرة يمكن كتابتها بالشكل التالي:

$$\frac{\partial^2 p^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial p^2}{\partial r} = \frac{\phi \cdot \mu c}{k} \frac{\partial p}{\partial t} \quad (5-9)$$

من أجل تسهيل حل هذه المعادلة تم اعتماد متغيرات عديمة الأبعاد (Dimension Less) وهي التالية:

$$\text{الزمن} \quad t_D = \frac{2.64 \times 10^{-4} k \cdot t}{\phi \cdot \mu c r^2} \quad (5-10)$$

$$\text{نصف القطر} \quad r_D = \frac{r}{r_w} \quad (5-11)$$

$$\text{معدل الجريان} \quad q_D = \frac{1422 T q_{sc} z \cdot \mu}{k h \cdot p_i} \quad (5-12)$$

$$\text{الضغط} \quad p_D = \frac{p^2}{p_i^2 q_D} \quad (5-13)$$

$$\text{هبوط الضغط} \quad \Delta p_D = \frac{p_i^2 - p^2}{p_i^2 q_D} \quad (5-14)$$

$-k$ ميليدارسي	$-C$ (رطل/بوصة مربعة) ¹⁻
$-t$ ساعات	$-r$ قدم
$-\mu$ سنتيواز	$-T$ درجة رانكين
$-q_{sc}$ ألف قدم مكعب قياسي	$-h$ قدم
	p رطل/بوصة مربعة

بإدخال القيم اللابعدية في المعادلة في المعادلة (5-9) تصبح على الشكل التالي:

$$\frac{\partial^2 \Delta p_D}{\partial r_D^2} + \frac{1}{r_D} \frac{\partial \Delta p_D}{\partial r_D} = \frac{\partial \Delta p_D}{\partial t_D} \quad (5-15)$$

عملياً، يمكن حساب Δp_D من العلاقة:

$$\Delta p_D = 0.5 (\ln t_D + 0.809) \quad (5-16)$$

بعد الحصول على قيمة Δp_D يمكن حساب قيمة الضغط المطلوبة من المعادلة (5-14).

مثال:

أحسب ضغط قاع البئر بعد مرور (1.5) يوم إذا كانت لدينا المعطيات التالية:

$re = 2000$ قدم	$H = 36$ قدم
$T = 580$ رانكين	$\phi = 0.15$
$q_{sc} = 7000$ ألف قدم ³ مكعب قياسي/يوم	$k = 20$ ميليدارسي
$z = 0.85$	$p_i = 2000$ رطل/بوصة مربعة
$\mu = 0.0152$ سنتيواز	$r_w = 0.4$ قدم

4-5- الأنظمة التكنولوجية لاستثمار الآبار الغازية:

يُفصد بنظام استثمار البئر الغازي: الشروط التي تتم فيها حركة الغاز من الطبقة إلى قاع البئر ومن ثم حتى السطح. تعكس هذه الشروط قيم الإنتاجية وضغط قاع البئر التي تحددها في أغلب الأحيان خواص الطبقة (إمكانية حصول تدهم الصخور في المنطقة القاعية عند تطبيق فروق كبيرة بين ضغط الطبقة وضغط قاع البئر).

من أجل وضع النظام الصحيح لاستثمار البئر الغازية، لابد من دراسة وتحليل كافة العوامل المؤثرة على عملها. ويمكن الحصول على المعطيات اللازمة لدراسة هذه العوامل من بيانات الاستثمار السابقة إضافة إلى الاختبارات المختلفة والحسابات المتعلقة بها، وبعد ذلك واعتماداً على النتائج، يتم وضع نظام الاستثمار الأمثل للبئر الغازية.

من المعلوم أن جريان الغاز من الطبقة للبئر، يحصل نتيجة فرق الضغط بين الطبقة وقاع البئر، وإن قيمة الإنتاجية تتناسب طردياً وفرق الضغط هذا. عدا عن ذلك فإن الإنتاجية تتعلق بدرجة فتح الطبقة وخواصها الخزنية وبالتجهيزات الجوفية والسطحية، إضافة لما ذكر فإنه عند الاستثمار بمعدلات عالية، فقد يحصل تدهم في الطبقة وتقدم سريع للمياه القاعدية والمحيطية باتجاه الآبار، انطلاقاً من ذلك، فإن تحديد الشروط المثلى لعمل الآبار الغازية، يتطلب دراسة عملية لإزاحة الحبيبات الصخرية والسوائل وتأثير العوامل التكنولوجية والتقنية الاقتصادية في أثناء إنتاج البئر بمعدلات مختلفة.

بشكل عام، يمكن تقسيم العوامل التي تحدد معدل الإنتاج من الآبار الغازية إلى جيولوجية، تكنولوجية، تقنية واقتصادية.

1-4-5- العوامل الجيولوجية:

تتضمن هذه المجموعة من العوامل عدداً من الأمور المتعلقة بطبيعة صخور الطبقة المنتجة ومدى مقاومتها للتهدم أمام فرق الضغط بين الطبقة وقاع البئر. فعندما تكون صخور الطبقة المنتجة من النوع الهش، فإنه وعند معدلات إنتاج معينة سوف يحصل تدهم في المنطقة القاعية، مما يؤدي إلى تآكل

المعدات الجوفية والجوفية بواسطة الرمال التي يحملها تيار الغاز وقد تتشكل السدادات الرملية في قاع البئر... إلخ.

تحدد معدلات الإنتاج التي من أجلها لا يحمل تيار الغاز الحبيبات الصلبة بكميات كبيرة وخطرة من خلال نتائج بحث الآبار ومن شكل وكميات المواد الصلبة المتجمعة في الفواصل، ومراقبة تأثيرها على المعدات المعدنية. لذلك ينصح في مثل هذه الحالات بعدم تشكيل فرق ضغط بين الطبقة والبئر بقيم تزيد عن قيمها المحددة من نتائج بحث الآبار. ومن أجل إمكانية زيادة فرق الضغط في الطبقات المتماصة يُعمل على تقوية وتدعيم المنطقة القاعية.

في المكامن التي يكون فيها مستوى النقاء الغاز . ماء قريباً من المجال المثقب، فإن تقدم المياه وتشكيل الألسنة والمخاريط الماء والذي يعتمد بشكل أساسي على فارق الضغط، يعتبر العامل الرئيسي في تحديد معدل الإنتاج. ومن جهة أخرى، فإن المياه المنتجة مع الغاز تؤدي إلى تآكل المعدات وتؤمّن وسطاً مناسباً لتشكل الهيدرات الغازية. لذلك، في مثل هذه الآبار، يجب معرفة معدل الإنتاج الأقصى وبالتالي فرق الضغط الأعظمي الذي لا يقابله حدوث إمامة للآبار.

2-4-5- العوامل التكنولوجية:

يمكن تلخيص العوامل التكنولوجية التي تلعب دوراً في اختيار نظام عمل البئر بالأمور التالية:

- تشكل الهيدرات في البئر الغازية.
- تآكل مواسير الإنتاج.
- تشكل الهيدرات في المنطقة المجاورة لقعر البئر.
- تأمين الشروط المثلى أثناء معالجة الغازات المنتجة.
- تأمين تنظيف قاع البئر من السوائل والمواد الصلبة.
- تحقيق الحد الأدنى من ضياعات الضغط بالعلاقة مع توزيع الآبار وتنظيم معدل الإنتاج من كل بئر بهدف الوصول معامل مردود أعظمي.

3-4-5- العوامل التقنية: وتشمل ما يلي:

- عدم عازلية الإسمنت خلف مواسير التغليف بشكل جيد، الأمر الذي يسمح بتسرب المياه من المجالات أعلى وأسفل الطبقة المنتجة. تتطلب هذه المشكلة إجراء عمليات إصلاح وذلك بحقن السائل الأسمنت من ثم التثقيب والإحياء من جديد.
- عدم إحكام ربط مواسير التغليف مع بعضها البعض وبالتالي هناك إمكانية تسرب الغاز أو الماء وهذا يتطلب إجراء عمليات الإصلاح اللازمة.

- تعرض تجهيزات البئر السطحية للاهتزاز في أثناء الإنتاج بمعدلات عالية الأمر الذي يتطلب تخفيض معدل الإنتاج.

- خطر انفجار مواسير التغليف عند ازدياد الضغط في الآبار عن القيم الحسابية، وهذا ما يحصل عند استخدام مواسير تغليف مصممة للعمل في شروط يكون فيها الضغط أقل من قيمة الضغط الفعلي الذي تتعرض له في أثناء عملية الاستثمار. في مثل هذه الآبار لا يسمح بتخفيض الإنتاجية وبإغلاق البئر من أجل قياس الضغط الطبقي إلا بعد مرور فترة من الزمن بحيث تنخفض قيمته إلى ما دون الحد الذي تتحمله مواسير التغليف، إضافة لذلك يجب عزل الفراغ الحلقي بين مواسير الإنتاج والتغليف وملء الفراغ الحلقي أعلى الباكر بسائل.

- إمكانية زيادة عمق إنزال مواسير الإنتاج بهدف تحسين شروط إزاحة السوائل والمواد الصلبة من قاع البئر.

4-4-5- العوامل الاقتصادية:

تتعلق هذه العوامل باختيار المؤشرات التقنية الاقتصادية التي تحقق توزيع منطقي علمي للضغط في الجملة (طبقة . بئر . أنابيب النقل) بشكل كامل، بحيث تكون ضياعات الضغط والنفقات المصروفة أقل ما يمكن. إضافة لذلك يجب الأخذ بالاعتبار بأن اختيار معدل إنتاج الغاز هذا أو ذاك يتبع حاجة السوق لهذه المادة. ففي بعض الأحيان، حيث تنخفض متطلبات الاستهلاك (في فصل الصيف مثلاً) فقط نضطر إلى خفض معدل الإنتاج من الآبار لا بل إلى إغلاق بعضها.

5-5- حسابات الأنظمة التكنولوجية المختلفة لاستثمار الآبار الغازية:

يفهم من حسابات الأنظمة التكنولوجية لعمل الآبار، تحديد تغيرات الإنتاجية q والضغط الطبقي وضغط القاع وضغط الفوهة مع مرور الزمن وذلك بالعلاقة مع الكمية الكلية المنتجة من الممكن بشكل كامل. إن هذه الحسابات تسمح بتحديد عدد الآبار اللازمة n وفترة الإنتاج الممكنة بدون استخدام الضواغط وفترة تزايد كمية الإنتاج وثباتها ومن ثم فترة تناقصها. من خلال معرفة $q(t)$ و $p_w(t)$ يمكن تحديد $p_t(t)$ ومن ثم $p_i(t)$ و $p_E(t)$ ، حيث أن:

p_w - ضغط القاع، p_t - ضغط الفوهة، p_i - الضغط عند مدخل محطة المعالجة، p_E - الضغط عند مدخل أنابيب النقل.

عملياً، يستخدم مفهوم البئر الوسطية التي تتميز بالقيم الوسطية للمؤشرات التالية: العمق . الإنتاجية وفرق الضغط بين الطبقة وقاع البئر . معاملات مقاومة الارتشاح a , b أي أن:

$$\overline{\Delta p^2} = \overline{a} \overline{q} + \overline{b} \overline{q^2} \quad (5-17)$$

حيث أن:

$$\overline{\Delta q^2} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta p_i^2 \quad , \quad \bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i$$

$$\bar{a} = \frac{1}{nq} \sum_{i=1}^n a_i q_i \quad , \quad \bar{b} = \frac{1}{nq^2} \sum_{i=1}^n b_i q_i^2$$

تتميز الآبار الاستكشافية، بشكل عام، بعدم التمام من حيث درجة فتح الطبقة، لذلك يمكن افتراض أن الطبقة المنتجة مؤلفة من عدد من النطاقات قليلة السماكة وتحسب المعاملات a ، b لكل بئر باعتبار أن البئر تام من حيث درجة فتح الطبقة:

$$a_1 = a \bar{h} \quad , \quad b_1 = b (\bar{h})^2$$

حيث أن: $\bar{h} = \frac{h_1}{h}$ ، h_1 - سماكة الطبقة المفتوحة ، h - السماكة الفعالة للطبقة.

5-5-1- نظام فرق الضغط الثابت: $\Delta p = p_f - p_w = \text{const}$

يُفضل استثمار البئر الغازية وفق نظام فرق الضغط الثابت، عندما تكون صخور الطبقة المنتجة غير متماسكة، بحيث أنها تتعرض للتهدم عند معدلات الإنتاج العالية والتي تقابل فروق ضغط كبيرة، أو عندما يوجد احتمال تقدم المياه القاعدية.

إذا كانت علاقة كمية الإنتاج q_g مع الزمن t معلومة فإن الحساب يتم وفق ما يلي:

- بمعرفة العلاقة $q_g = f(t)$ ، فإنه يمكن رسم الخط البياني لكمية الإنتاج q_d عند أي فترات زمنية t .

- تحدد فترات زمنية مختلفة t ومن المخطط الذي يمثل q_d مع الزمن يتم تحديد q_d عند أي زمن t كما يمكن حساب الإنتاجية المقابلة للزمن t من العلاقة التالية:

$$q = -\frac{a}{2b} + \sqrt{\frac{a^2}{4b^2} - \frac{1}{b} \left[(\Delta p)^2 - 2p_{f0} \Delta p + \frac{q_d}{\alpha} \cdot 2\Delta p \right]} \quad (5-18)$$

- يتم حساب تغير الضغط الطبقي مع الزمن بالعلاقة:

$$p_f = \frac{a \cdot q}{2\Delta p} + \frac{b q^2}{2\Delta p} + \frac{\Delta p}{2} \quad (5-19)$$

- أما تغير ضغط القاع فيحسب:

$$p_w = p_f - \Delta p \quad (5-20)$$

$$\alpha = \frac{\Omega T_{st}}{T_f \cdot p_0} = \frac{\Omega \cdot 293}{T_f \cdot 1.033}$$

حيث أن:

a - b معاملات مقاومة الارتشاح.

q_d - الكمية المنتجة من الغاز والمقابلة للزمن t .

Ω - حجم الفراغات المسامية.

P_{f0} - الضغط الطبقي الأولي.

T_f - درجة حرارة الطبقة.

من أجل $q_g = \text{const}$ فإن الإنتاجية تحدد من العلاقة (5-18) بعد استبدال q_d بالقيمة $q_g(t)$ خلال فترة انخفاض الإنتاج، وحيث عدد الآبار ثابت $n = \text{const}$ ، فإنه يمكننا اعتبار أن إنتاجية جميع الآبار هي واحدة، ويهدف حساب الزمن t المقابل لقيمة إنتاجية q ، فإنه يمكن استخدام العلاقة:

$$t = \frac{\alpha b}{n \Delta p} (q_0 - q) + \frac{\alpha \cdot a}{2 n \Delta p} \ln \frac{q_0}{q} \quad (5-21)$$

حيث أن:

q_0 - الإنتاجية الأولية قبل ظهور أي انخفاض في معدلها.

بعد ذلك تُحسب قيمة الضغط الطبقي بالعلاقة (5-19).

5-5-2 - نظام تدرج الضغط الثابت في المنطقة القاعية:

يطبق هذا النظام في نفس الشروط التي يطبق فيها نظام فرق الضغط الثابت تقريباً، بحيث ألا يتجاوز تدرج الضغط قيمة معينة في المنطقة القاعية، لكي لا يحصل تدهم فيها.

يحدد تدرج الضغط في قاع البئر الغازية بالعلاقة:

$$\Psi = A_0 \frac{q}{p_w} + B_0 \frac{q^2}{p_w} = \text{const} \quad (5-22)$$

تُحسب المعاملات A_0 ، B_0 اعتماداً على قيم المعاملات a ، b التي يتم الحصول عليها من نتائج بحث الآبار.

بالنسبة للآبار التامة من ناحية درجة فتح الطبقة ومن حيث اختراق الطبقة فإن A_0 ، B_0 تعطى بالعلاقات:

$$A_0 = \frac{a}{2 R_w \ln \frac{R_c}{R_w}} \quad (5-23)$$

$$B_0 = \frac{b}{2 R_w^2 \left(\frac{1}{R_w} - \frac{1}{R_c} \right)} \quad (5-24)$$

في الآبار غير التامة من ناحية فتح الطبقة فإن:

$$A_0 = \frac{a}{2R_c \delta \left(\ln \frac{R_c}{R_w} + C_1 \right)} \quad (5-25)$$

$$B_0 = \frac{b}{2R_w^2 \left(\frac{1}{R_w} - \frac{1}{R_c} \right)} \left[\frac{\ln \frac{R_c}{R_w}}{\ln \frac{R_c}{R_w} + C_1} \right]^2 \quad (5-26)$$

حيث أن:

C_1 - معامل عدم التمام من ناحية فتح الطبقة.

$$\delta = \frac{2p_{f0}^2 \cdot p_0 z \cdot T_f}{\Omega \cdot T_{st}} \quad (5-27)$$

هناك عدد من المعطيات التي يجب أن تكون معلومة:

$$n = \text{const} \quad , \quad q_g = \text{const} \quad , \quad q_g = q_g(t)$$

من خلال العلاقة $q_g = q_g(t)$ يمكن رسم المنحني البياني الذي يمثل $q_d(t)$.

$$q_d(t) = \int_0^t q_g(t) dt \quad (5-28)$$

بافتراض عدة قيم للإنتاجية q ، بحيث تكون أقل من الإنتاجية الأولية، فإنه يمكن تحديد قيم q_d :

$$q_d = \alpha \left[p_{f0} - \sqrt{p_w^2 + aq + pq^2} \right] \quad (5-29)$$

ومن خلال العلاقة البيانية $q_d = q_d(t)$ يمكن الزمن t .

أما ضغط القاع فيحسب من العلاقة:

$$p_w = \frac{A_0}{\Psi} q + \frac{B_0}{\Psi} q^2 \quad (5-30)$$

ويحسب ضغط الطبقة p_f من العلاقة:

$$p_f = \sqrt{p_w^2 + aq + pq^2}$$

وعدد الآبار n اللازم لإنتاج كمية الغاز المفترضة يمكن تحديدها من النسبة:

$$n = \frac{q_g(t)}{q(t)} \quad (5-31)$$

في حالة معدل الإنتاج الثابت $q_g = \text{const}$ و $q_d = q_g(t)$ ، فإنه يمكننا حساب الزمن t بعد التعويض في العلاقة (5-29) التي تأخذ الشكل التالي:

$$t = \frac{\alpha}{q_g} \left[p_{f0} - \sqrt{\left(A_0 \frac{q}{\Psi} + B_0 \frac{q^2}{\Psi} \right)^2 + aq + bq^2} \right] \quad (5-32)$$

5-5-3- نظام ضغط القاع الثابت:

يُطبق هذا النظام في الحالات التي يسبب فيها انخفاض ضغط القاع عن قيمة معينة بعض مشاكل الإنتاج (مثلاً انخفاض الضغط عن القيمة التي يحدث عندها انفصال الكوندسات). ويتميز هذا النظام بانخفاض حاد للإنتاجية مع الزمن، لذلك يُعمل على زيادة عدد الآبار من أجل المحافظة على معدل الإنتاج المبرمج من الممكن.

إذا كانت العلاقة $q_g = q_g(t)$ معلومة فإنه يمكن رسم منحنى q_d مع الزمن t . وبذلك فإنه من خلال افتراض قيم مختلفة لـ t يمكن إيجاد قيمة q المقابلة بالعلاقة:

$$q = -\frac{a}{2b} + \sqrt{\frac{a^2}{4b^2} - \left[p_w^2 - \left(p_{f0} - \frac{q_d}{\alpha} \right)^2 \right] \frac{1}{b}} \quad (5-33)$$

والضغط الطبقي المقابل:

$$p_f = p_{f0} - \frac{q_d}{\alpha} \quad (5-34)$$

عندما تكون قيمة $q_g = \text{const}$ فإن $q_d = q_g t$.

ويتم حساب بقية المؤشرات كما في النظام السابق، حيث تفترض قيم مختلفة لـ t ومن ثم إيجاد إنتاجية الآبار المقابلة.

5-5-4- نظام إنتاجية البئر الثابتة $q = \text{const}$:

بشكل عام، يعتبر نظام الإنتاجية الثابتة ($q = \text{const}$) أكثر استخداماً من بقية الأنظمة وذلك لسهولة تطبيقه عملياً. يُطبق هذا النظام في الآبار التي تنتج من طبقات متماسكة حتى اللحظة التي يبلغ فيها تدرج الضغط في المنطقة القاعية قيمة حرجة، حيث أن تجاوزها سوف يسبب تعقيدات في عملية الإنتاج.

بشكل مشابه لما عرض سابقاً، فإنه من العلاقة المعلومة لـ q_g مع الزمن t يمكن إيجاد منحنى q_d مع الزمن. ومن خلال افتراض قيم معينة لـ t يمكن الحصول على q_d ، وتحسب قيم الضغط الطبقي وضغط القاع المقابلة كما يلي:

$$p_f = p_{f0} - \frac{q_d}{\alpha} \quad (5-35)$$

$$p_w = \sqrt{p_f^2 - aq - pq^2} \quad (5-36)$$