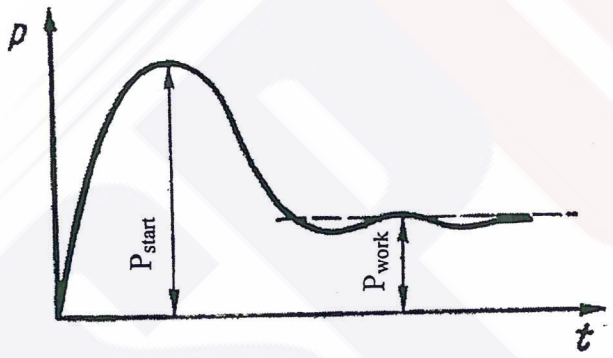
من الواضح من خلال العلاقة السابقة بأن قيمة المعامل (α) غير ثابتة للبئر الواحدة وإنما تتعلق بسرعة وتيرة تشغيل البئر، فكلما كانت سرعة وتيرة تشغيل البئر أكبر كلما اقتربت قيمة المعامل (α) من الواحد الصحيح وبالتالي فالطبقة المنتجة لا تكون قادرة على امتصاص أو ابتلاع السائل، كما أنه يمكن كتابة العلاقة (6-6) بالشكل التالي:

$$\alpha = \frac{V_2}{V_1} \qquad (6\text{-}29)$$

$$\Delta V = V_1 - V_2 = V_1 - \alpha . V_1 = V_1(1-\alpha) \qquad (6\text{-}30)$$

إن ضغط بداية التشغيل يتغير تبعاً لزمن تشغيل البئر، ويمكن التعبير عن هذا التغير بالمخطط البياني التالي:



شكل رقم (6-4) – يوضح تغير ضغط بداية التشغيل بالعلاقة مع زمن تشغيل البئر.

من الشكل السابق نلاحظ أن ضغط بداية التشغيل يبلغ القيمة العظمى عند لحظة بداية تشغيل البئر وفي هذه اللحظة يكون نظام عمل البئر غير مستقر ومن ثم يبدأ الضغط بالانخفاض بشكل حاد ومفاجئ حتى يبلغ قيمة ثابتة محددة، تدعى هذه القيمة الثابتة بضغط العمل وعندها يصبح عمل البئر مستقراً .

يكون بين كل مرحلة 20% من الانزال

4-6 طرق إنقاص ضغط بداية التشغيل :

تستخدم عادة عدة طرق لإنقاص ضغط بداية التشغيل في الآبار المنتجة بالرفع الغازي وأهم هذه الطرق:

1- استخدام ضواغط إطلاق (بداية تشغيل) خاصة قادرة على توليد ضغط معادل لضغط بداية التشغيل واللازم لبدء عملية رفع منتجات البئر المنتجة بالرفع الغازي من القاع إلى السطح .

لهذه الضواغط مواصفات فنية وتقنية معينة تؤخذ عادة من الكاتالوكات الخاصة بهذه الضواغط.

2- الإنزال المتتالي لمواسير الإنتاج أو ما يسمى بزيادة عمق إنزال حذاء مواسير الإنتاج تحت المستوى الستاتيكي، تحدد المسافة (h) التي ستنزل إليها مواسير الإنتاج تحت المستوى الستاتيكي للسائل في البئر بالعلاقة التالية :

$$P_K = P_{st} = h_1.\rho.g\left(1+\alpha\frac{F_g}{F_\ell}\right).\cos\beta \qquad (6\text{-}31)$$

من العلاقة السابقة يمكن الحصول على قيمة انغمار حذاء مواسير الإنتاج تحت المستوى الستاتيكي :

$$h_1 = \frac{P_K}{\rho.g\left(1+\alpha\frac{F_g}{F_\ell}\right).\cos\beta} \qquad (6\text{-}32)$$

حيث :

P_k : الضغط الذي يولده الضاغط (ضغط الحقن).

h_1 : المسافة التي سينزل إليها حذاء مواسير الإنتاج تحت المستوى الستاتيكي للسائل في البئر.

يتم تغيير أعماق إنزال حذاء مواسير الإنتاج عدة مرات وذلك بعد رفع تجهيزات رأس البئر وإنزال حذاء مواسير الإنتاج تحت المستوى الستاتيكي للسائل لمسافة قدرها (h_1) وتكسح البئر بالغاز حتى يتم خروج الغاز النقي من فوهة البئر، وبذلك فإن قسم من سائل البئر سيخرج خارج البئر من الفوهة، تكرر العملية مرات عديدة مع مراعاة أن $h_i \langle h_1$ بمقدار (10-30%) في كل مرة، لكن لوحظ أن هذه العملية مرهقة جداً وذات فعالية محدودة وتستخدم فقط في الآبار ذات معامل الإنتاجية القليل.

3- تبديل نظام عمل مجموعة مواسير الإنتاج من النظام المحيطي إلى النظام المركزي: يؤدي هذا التبديل إلى تخفيض قيمة ضغط بداية التشغيل بحوالي 5 إلى 7 مرات في حالة النظام المنفرد، أما في حالة الرفع المزدوج فإن مثل هذا التبديل يؤدي إلى فعالية جيدة وينقص ضغط بداية التشغيل بمقدار (11%)، فمثلاً في حالة النظام المنفرد يكون مردود هذه الطريقة عالي جداً، ففي البداية يحول نظام عمل البئر إلى النظام المركزي وبعد تشغيل البئر يبدل نظام عملها إلى النظام المحيطي كي تتم عملية الإنتاج منها بشكل طبيعي .

4- حقن السائل المنتج في الطبقة: إذا كانت البئر تبتلع السائل بشكل جيد أثناء عملية الحقن أو الكسح بالغاز، فإن حقن الغاز مع إبقاء البئر مغلقة تحت ضغط معين لفترة زمنية طويلة، يمكن من تجميع السائل في الطبقة، وينخفض مستوى السائل في الفراغ الحلقي حتى يصل إلى حذاء مواسير الإنتاج، وتبدأ البئر أثناء ذلك بالإنتاج بالرفع الغازي أو بمعنى آخر يحين موعد بداية إطلاق أو تشغيل البئر. تتعلق الفترة الزمنية لإبقاء البئر مغلقة تحت ضغط عال أعظمي بقدرة البئر على ابتلاع السائل، فكلما كانت قدرتها على ابتلاع السائل كبيرة كلما كان زمن إبقاء البئر تحت الضغط الأعظمي صغيراً تطبق هذه الطريقة في حالة كون :

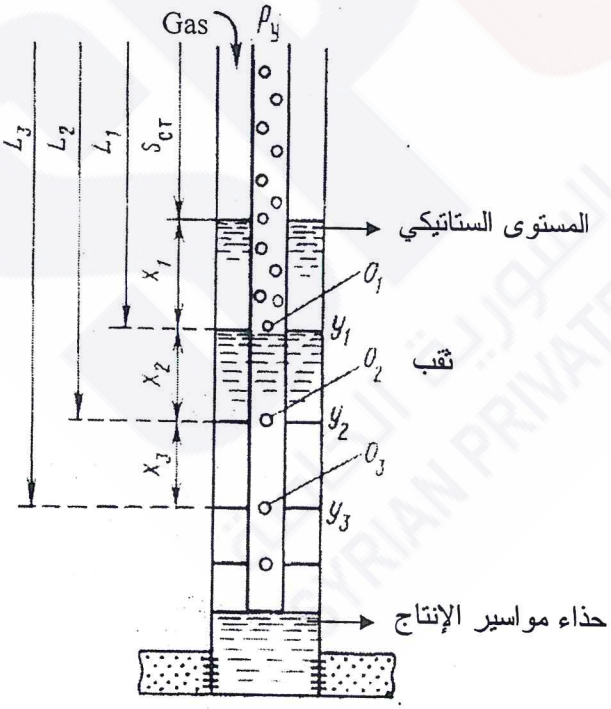
$$P_k \geq h_1.\rho.g \qquad (6\text{-}33)$$

أي تطبق في الحالة التي يكون فيها ضغط الضاغط (P_k) أكبر أو يساوي الضغط الهيدروستاتيكي عند حذاء المواسير الإنتاجية.

5- استخدام ثقوب التشغيل :

عادة تثقب مواسير الإنتاج تحت المستوى الستاتيكي بثقوب تدعى بثقوب التشغيل (ثقوب بداية التشغيل). عند حقن الغاز في الفراغ الحلقي فإن مستوى السائل ينخفض في الفراغ الحلقي تحت الثقب العلوي، ويبدأ بعدها الغاز بالدخول من هذا الثقب إلى مواسير الإنتاج، ونتيجة لذلك يتشكل مزيج (سائل – غاز) يرتفع إلى مسافة معينة ضمن مواسير الإنتاج نتيجة نقصان كثافته، هذه الظاهرة مشابهة لعمل البئر المنتجة بالرفع الغازي والمجهزة بمواسير إنتاج نهايتها أو حذاؤها متوضع أو واقع في مستوى الثقب الأول. بعد إنسكاب السائل أو ارتفاعه لمسافة معينة ضمن مواسير الإنتاج فإن توازن أو تعادل الضغط في الفراغ الحلقي ومواسير الإنتاج عند مستوى الثقب يختل،

من أجل إعادة التوازن أو التعادل في الضغط فإنه يتم تخفيض مستوى السائل من جديد في الفراغ الحلقي إلى قيمة معينة جديدة تتعلق بضغط الضاغط وكثافة المزيج (سائل – غاز) في مواسير الإنتاج، وهكذا يتم تباعاً أو بالتتالي إنقاص مستوي السائل في الفراغ الحلقي عن طريق حقن الغاز ومروره عبر ثقوب التشغيل حتى يصل مستوى السائل في الفراغ الحلقي إلى حذاء مواسير الإنتاج وتبدأ البئر بعدها بالعمل بالنظام العادي المستقر من خلال حذاء مواسير الإنتاج، إلا أنه عند انتقال البئر إلى نظام العمل المستقر فإن هذه الثقوب (ثقوب التشغيل) تبقى مفتوحة وهذا ما يؤدي إلى تهريب أو تسرب الغاز من خلالها، وهذا يؤدي بدوره إلى زيادة الاستهلاك النوعي للغاز المحقون، وبالنتيجة يؤدي هذا إلى انخفاض مردود عملية الرفع الغازي بالمقارنة مع الحالة العامة التي لا يوجد فيها ثقوب تشغيل، لهذا السبب فإنه بعد استقرار عمل البئر وإنتقالها إلى العمل بالنظام المستقر فإنه يجب إغلاق هذه الثقوب ومن أجل ذلك تستخدم على الصعيد العملي صمامات خاصة تسمى بصمامات بداية التشغيل وصمامات التشغيل. الرسم التخطيطي لنظام البئر المجهزة بثقوب تشغيل موضح بالشكل التالي :



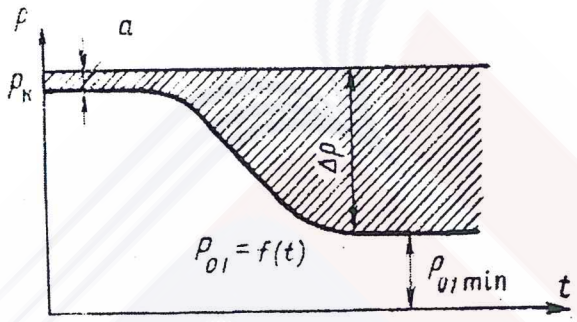
شكل رقم (5-6)– يوضح الرسم التخطيطي لنظام البئر المجهزة بثقوب تشغيل.

حيث:

S_{st} : عمق المستوى الستاتيكي للسائل في البئر.

X_1, X_2, X_3 : مقدار انغمار الثقوب تحت المستوى الستاتيكي.

أما بالنسبة لتغير الضغط ضمن مواسير الإنتاج عند مستو ثقوب التشغيل فهو يتغير بتغير الزمن وطبيعة هذا التغير موضحة بالشكل التالي:



شكل رقم (6-6) – يوضح طبيعة تغير الضغط داخل مواسير الإنتاج عند مستو ثقوب التشغيل بدلالة الزمن.

يمكن تحديد المسافة (X_1) التي يجب أن يتوضع عندها الثقب الأول (انظر الشكل5-6) استناداً إلى العلاقة العامة التي تعطي ضغط بداية التشغيل وذلك بالنسبة لكل ثقب من الثقوب فمثلاً بتطبيق العلاقة المذكورة على الثقب الأول يمكننا أن نكتب :

$$P_K = X_1.\rho.g\left(1+\alpha\frac{F_g}{F_\ell}\right)\cos\beta + P_y \qquad (6\text{-}34)$$

نحسب المسافة (X_1) من العلاقة السابقة نجد أن :

$$X_1 = \frac{P_K - P_y}{\rho.g\left(1+\alpha\frac{F_g}{F_\ell}\right)\cos.\beta} \qquad (6\text{-}35)$$

وهكذا فإن الثقب الأول يجب أن يقع على مسافة L_1 اعتباراً من الفوهة أي :

$$L_1 = S_{st} + X_1 = S_{st} + \frac{P_K - P_y}{\rho.g\left(1+\alpha\frac{F_g}{F_\ell}\right)} \qquad (6\text{-}36)$$

حيث :

S_{st} : عمق المستوي الستاتيكي .

L_1 : عمق توضع الثقب الأول (المسافة اعتباراً من فوهة البئر وحتى مستو الثقب الأول)

أما عمق توضع الثقب الثاني فيمكن أن يعطى بالعلاقة التالية:

$$L_2 = L_1 + X_2 \qquad (6\text{-}37)$$

لحساب المسافة (X_2) (انظر الشكل 5-6) نكرر نفس الخطوات التي نفذت عند حساب المسافة (X_1)، لذا يمكننا أن نكتب :

$$P_k = P_{o.1(\min)} + X_2.\rho.g\cos.\beta \qquad (6\text{-}38)$$

نحسب (X_2) من العلاقة السابقة نجد أن :

$$X_2 = \frac{P_k - P_{o.1(\min)}}{\rho.g.\cos.\beta} \qquad (6\text{-}39)$$

حيث :

$P_{o.1(\min)}$: الضغط في مواسير الإنتاج عند مستو الثقب الأول .

أما المسافة (X_3) مكان توضع الثقب الثالث فتعطى أيضاً كما في حالة (X_1) و(X_2) بالعلاقة التالية:

$$X_3 = \frac{P_k - P_{o.2(\min)}}{\rho.g.\cos.\beta} \qquad (6\text{-}40)$$

$$L_3 = L_2 + X_3 = L_1 + X_2 + X_3 \qquad (6\text{-}41)$$

واضح مما سبق أنه بواسطة ثقوب التشغيل الموزعة على طول مواسير الإنتاج يمكن إزاحة أو دفع مستوى السائل في الفراغ الحلقي حتى نهاية مواسير الإنتاج وبذلك يتحقق إطلاق البئر أو تتحقق بداية تشغيلها بالرفع الغازي.

من الملاحظ أنه بزيادة العمق فإن المسافة بين الثقوب تنقص أي :

$$X_1 \rangle X_2 \rangle X_3 \ldots\ldots \rangle X_i \qquad (6\text{-}42)$$

من أجل ضمان تشغيل البئر فإنه عادة تتم زيادة عدد ثقوب التشغيل عن العدد المحسوب بقيمة (10-15%)، عدا عن ذلك فإن الثقوب تختلط أو تزاح إلى الأعلى بشكل تناسبي.

يحسب قطر الثقب وفقاً للاستهلاك الأعظمي للغاز (أو وفقاً لإنتاجية الضاغط) والذي تبلغ عنده سرعة مرور الغاز من خلال الثقب سرعة قيمتها أقل من السرعة الحرجة (سرعة الصوت)، أما بالنسبة للضغط الأصغري الحدي ضمن مواسير الإنتاج ($P_{o.i.\min}$) فيحسب بالعلاقات التي تبين نظام عمل مواسير الإنتاج عندما تعمل هذه الأخيرة بالإنتاجية الصفرية أو المعدومة أو يمكن أن يؤخذ من منحنيات خاصة.

نتيجة لزيادة الاستهلاك النوعي للغاز بعد انتقال البئر إلى العمل بالنظام المستقر (حالة العمل الطبيعي للبئر) وبقاء ثقوب التشغيل مفتوحة فإن هذه الطريقة لإنقاص ضغط بداية التشغيل لا تستخدم عملياً.

توجد طرق أخرى عديدة لإنقاص ضغط بداية التشغيل مثل الإنقاص المسبق لمستوى السائل في البئر عن طريق استخدام مكابس خاصة، وتسمى في هذه الحالة بالطريقة المكبسية.

تستخدم في الوقت الحاضر صمامات بداية التشغيل وصمامات العمل من أجل إنقاص ضغط بداية التشغيل، وتعتبر هذه الطريقة (استخدام الصمامات) هي الطريقة الأكثر شيوعاً وفعالية في الوقت الحالي، لذا سوف نتطرق لهذه الصمامات بشيء من التفصيل

كل الصمامات تركب داخل المستوى الرسابي وليس قبل

5-6 صمامات الرفع الغازي أنواعها ومبادئ عملها وحساباتها:

تستخدم في الوقت الحاضر صمامات الرفع الغازي في التكنولوجيا الحديثة للإنتاج من الآبار بطريقة الرفع الغازي، ومن المعلوم أن التكنولوجيا المعاصرة للإنتاج من الآبار بطريقة الرفع الغازي مرتبطة ارتباطاً وثيقاً باستخدام الصمامات العميقة التي يتم بواسطتها الاتصال أو عدم الاتصال بين الفراغ الحلقي وداخل مواسير الإنتاج، أيضاً يتم بواسطتها تنظيم دخول الغاز إلى مواسير الإنتاج أو عدم دخوله، هذا وتشتمل نماذج هذه الصمامات على ثلاثة نماذج رئيسة هي التالية:

1- صمامات بداية التشغيل : وتستخدم من أجل إطلاق البئر أو بداية تشغيلها بطريقة الرفع الغازي ويمكن أن تستخدم أيضاً خلال عمليات تحسين الآبار.

2- صمامات العمل أو التشغيل: وتستخدم خلال العمل المستمر أو المتواصل والدوري للآبار المنتجة بالرفع الغازي، كما تستخدم من أجل الحصول على نظام عمل مثالي

لهذه الآبار عند تغير الظروف في البئر وذلك عن طريق التغيير التدريجي لمكان دخول الغاز في مواسير الإنتاج. يتم دخول الغاز في أثناء الإنتاج المتقطع أو الدوري في مواسير الإنتاج من خلال أو عبر هذه الصمامات. في اللحظة التي عندها يتجمع فوق الصمام عمود من السائل ذو ارتفاع معين تمنع هذه الصمامات تدفق الغاز وذلك بعد إزاحة السائل من مواسير الإنتاج إلى السطح.

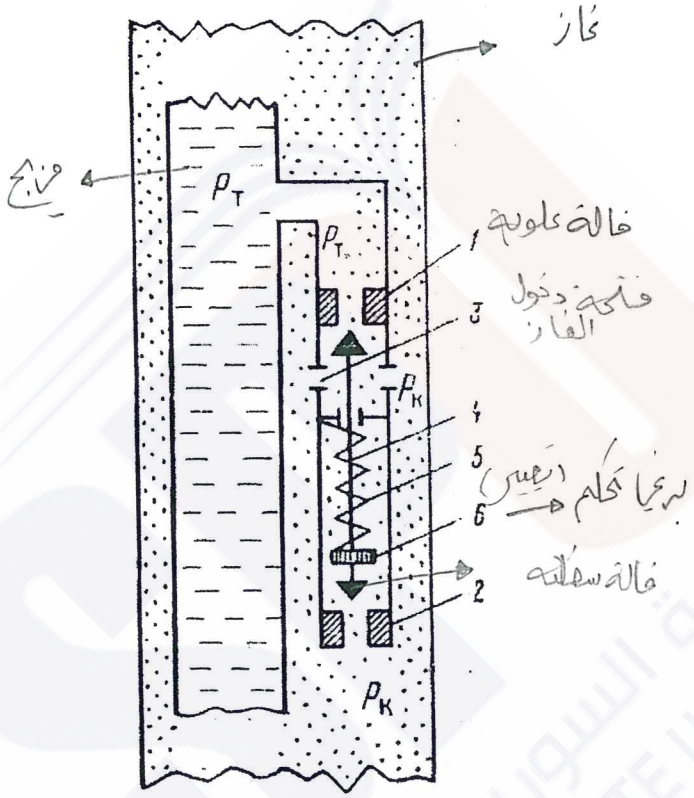
3- **الصمامات النهائية أو صمامات نهاية العمل أو نهاية التشغيل:** يستخدم هذا النوع من الصمامات من أجل المحافظة على مستوى السائل في الفراغ الحلقي أخفض من الصمام لمسافة ما، وهذا ما يساعد على دخول متوازن ومنظم للغاز عبر الصمام في مواسير الإنتاج ويمنع الاهتزازات أو التذبذبات، وتركب هذه الصمامات قريبة من نهاية مواسير الإنتاج.

تصنع صمامات الرفع الغازي وفق تصاميم متعددة، تستخدم النوابض والحجر السيلفونية المرنة كعنصر مرن في الصمامات، تحتوي الحجر السيلفونية على غاز الآزوت المضغوط حتى ضغط معين عندها يسمى الصمام بالصمام السيلفوني، أما في الحالة الأولى فيدعى الصمام بالصمام النابضي، كما أنه توجد هناك صمامات مركبة تضم النوعين السابقين والتي يستخدم فيها النابض المرن والحجرة السيلفونية الحاوية على غاز الآزوت المضغوط.

كما يمكن أن تصنف صمامات الرفع الغازي وفقاً لمبدأ عملها فهي على الأغلب تفاضلية أي أنها تفتح وتغلق بالعلاقة مع هبوط الضغط أو تغير الضغط في الفراغ الحلقي ومواسير الإنتاج عند مستوى الصمام.

-أمين دخول فتحكم الزن داخل مواسير الإنتاج أو إيقاف الدخول

الصمام التفاضلي النابضي: يعتبر هذا النموذج أحد نماذج صمامات الرفع الغازي ويستند مبدأ عمله إلى تغيرات الضغط في الفراغ الحلقي وضمن مواسير الإنتاج والشكل(7-6) يوضح أقسام هذا الصمام وآلية فتحه وإغلاقه.



شكل رقم (7-6) – يوضح الصمام التفاضلي النابضي وآلية عمله.

تتم آلية عمل الصمام التفاضلي النابضي كما هو موضح بالشكل (7-6) على الشكل التالي: يمر الغاز من خلال أو عبر ثقوب دخول الغاز ومن خلال الفالة الأساسية العليا إلى داخل مواسير الإنتاج ويؤدي إلى تشكيل مزيج (سائل – غاز) ضمن مواسير الإنتاج، بالنتيجة فإن الضغط ضمن مواسير الإنتاج ينخفض بينما الضغط في الفراغ الحلقي يبقى ثابتاً ومساوياً لضغط الغاز المحقون (P_k). في هذه الإثناء تظهر قوة تسعى للتغلب على قوة توتر النابض (F_s) وتحاول هذه القوة إغلاق الصمام، فإذا كان: (كما هو واضح من الشكل رقم (7-6)).

F_2 : مساحة المقطع العرضي للفالة السفلى المساعدة .

P_t : الضغط داخل الصمام .

P_k : الضغط المؤثر في الصمام السفلي.

فإن شرط إغلاق الصمام سيكون :

$$F_2.(P_k - P_t) \geq F_s \qquad (6\text{-}43)$$

$$F_2.\Delta P_{sh} \geq F_s \qquad (6\text{-}44)$$

حيث :

ΔP_{sh} : فرق الضغط اللازم لإغلاق الصمام ويعطى بالعلاقة:

$$\Delta P_{sh} = P_k - P_t \qquad (6\text{-}45)$$

بعد إغلاق الصمام فإن الرأس العلوي للصمام المخروطي يلتصق بالفالة العلوية ذات المقطع العرضي (F_1) الأكبر من المقطع العرضي للفالة السفلى (F_2). أثناء الإغلاق فإن الضغط في الصمام أسفل الفالة السفلية يصبح مساوياً للضغط (P_k). هذا الضغط (P_k) سوف يؤثر في مساحة المقطع العرضي للفالة العليا (F_1) وسوف يبقى الصمام مغلقاً بإحكام عند تحقق الشرط التالي:

قوة فتح الصمام ← قوة توتر النابض

$$F_1(P_k - P_t) < F_s \qquad (6\text{-}46)$$

بما أن $F_1 >> F_2$ فإنه وفقاً للعلاقة (6-46) فإن الصمام سيبقى مغلقاً حتى عندما يكون فرق الضغط $(P_k - P_t)$ صغيراً.

عندما يصغر الفرق $(P_k - P_t)$ حتى قيمة صغرى محددة فإن النابض يتغلب على القوة $F_1.(P_k - P_t)$ ويفتح الصمام، يسمى هذا الفرق في الضغط بفرق الضغط اللازم لفتح الصمام، وهكذا فإن الصمام يفتح عندما يتحقق الشرط التالي:

$$F_1.\Delta P_{op} \leq F_s \qquad (6\text{-}47)$$

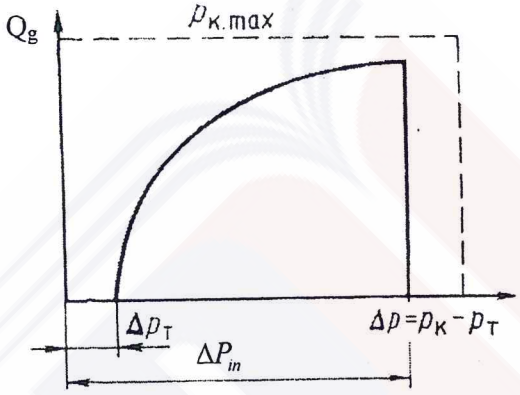
ولدى مقارنة العلاقتين (6-44) و (6-47) نجد أن :

$$\Delta P_{sh} >> \Delta P_{op} \qquad (6\text{-}48)$$

يمكن التحكم بقيم (ΔP_{sh}) و (ΔP_{op}) بتغير توتر النابض بواسطة بزال أو برغي أو صاملة التحكم، أيضاً بتغير سطح المقطع (F_1) و (F_2) للفالات العليا والسفلى .

يتم التحكم بقدرة الصمام على تمرير الغاز من خلاله بتغيير عدد أو قطر ثقوب دخول الغاز. من المميزات الهامة للصمام نذكر ما يلي:

1- قدرته على تمرير الغاز من خلاله وذلك بالعلاقة مع فرق الضغط وهذه الميزة ممثلة بالشكل البياني التالي:



شكل رقم (6-8) – يمثل قدرة تمرير الغاز عبر الصمام بالعلاقة مع فرق الضغط.

الصمامات السيلفونية: تصنف هذه الصمامات وفقاً للنموذجين التاليين :

1- نموذج يعمل بواسطة الضغط في الفراغ الحلقي (P_k).

2- نموذج يعمل بواسطة الضغط داخل مواسير الإنتاج (P_t).

1- **الصمام السيلفوني الذي يعمل بواسطة الضغط في الفراغ الحلقي (P_k) :**

يتألف هذا الصمام كما هو مبين في الشكل (6-9) من حجرة سيلفونية مشحونة بداخلها غاز الآزوت المضغوط حتى الضغط (P_c). مساحة المقطع الفعال لهذه الحجرة السيلفونية هي (F_c). القضيب مزود بصمام مخروطي يستند إلى كرسيه ذي المقطع (F_k). يمر الغاز من الفراغ الحلقي عبر ثقوب دخول الغاز و منها إلى داخل مواسير الإنتاج. عند إغلاق الصمام فان الضغط داخله (P_k) سيؤثر في مساحة مقطع السيلفون (F_c) هذا عندما لا نأخذ بعين الاعتبار مساحة مقطع كرسي الصمام (F_k)، أما من جهة مواسير الإنتاج فسوف يؤثر الضغط داخل المواسير (P_t) في مقطع كرسي الصمام (F_k)، بعد ذلك ستسعى كلتا القوتين (P_t, P_k) لفتح الصمام، أما القوة

التي ستمنع أو ستعيق فتح الصمام فهي قوة ضغط الغاز في السيفلون (P_c) والتي تؤثر في المساحة (F_c) وسيتم فتح الصمام إذا تحقق الشرط التالي:

القوى التي تسعى لإغلاق الصمام < القوى التي تسعى إلى فتح الصمام أي :

$$P_k.(F_c - F_k) + P_t.F_k \rangle P_c.F_c \qquad (6\text{-}49)$$

من هذه العلاقة نلاحظ أن الضغط الذي سيؤدي إلى فتح الصمام سيعطى بالعلاقة التالية:

$$(P_k)_{open} \geq \frac{P_c.F_c - P_t.F_k}{F_c - F_k} \qquad (6\text{-}50)$$

نقسم العلاقة على (F_c) وعند الأخذ بعين الاعتبار أن $R = \frac{F_k}{F_c}$ فإننا نستطيع كتابة العلاقة (6-50) بالشكل التالي:

$$(P_k)_{op} \geq P_c.\frac{1}{1-R} - P_t.\frac{R}{1-R} \qquad (6\text{-}51)$$

هذا الضغط سيكون هو الضغط في الفراغ الحلقي والذي يؤدي إلى فتح الصمام.

أما قيمة الضغط P_c في السيلفون فستكون مساوية :

$$P_c = (P_k)_{op}.(1-R) + P_t.R \qquad (6\text{-}52)$$

بعد فتح الصمام فإن الضغط داخل الصمام سيؤثر في كامل مساحة مقطع السيلفون، لهذا السبب فإن توازن القوى سيكون على الشكل التالي:

$$P_k.F_c = P_c.F_c \qquad (6\text{-}53)$$

مباشرة قبل إغلاق الصمام فإن الضغط بداخله (P_k) تحت السيلفون يجب أن يكون مساوياً لضغط الإغلاق $(P_k)_{sh}$ أي:

$$(P_k)_{sh} = P_c \qquad (6\text{-}54)$$

عندئذ فإن الفرق ما بين الضغط الذي يؤدي إلى فتح الصمام والضغط الذي سيؤدي إلى إغلاقه سيكون:

$$(P_k)_{op} - (P_k)_{sh} = \Delta P \qquad (6\text{-}55)$$

بتعويض قيم $(P_k)_{op}$ و $(P_k)_{sh}$ من العلاقتين (6-51) و (6-54) نحصل على :

$$\Delta P = P_c.\frac{1}{1-R} - P_t.\frac{R}{1-R} - P_c \qquad (6\text{-}56)$$

$$\Delta P = (P_c - P_t).\frac{R}{1-R} \qquad (6\text{-}57)$$

بتعويض P_c بقيمتها من العلاقة (6-52) نحصل على :

$$\Delta P = \left[(P_k)_{op}.(1-R) + P_t.R - P_t\right]\frac{R}{1-R} \qquad (6\text{-}58)$$

وبعد الاختصار والإصلاح نحصل على :

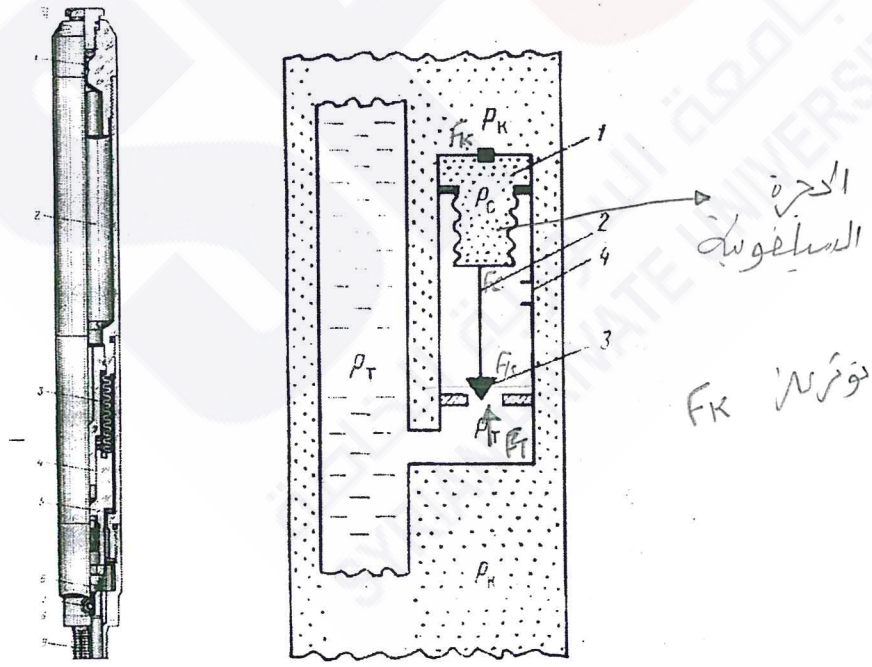
$$\Delta P = \left[(P_k)_{op}.(1-R) + P_t.(R-1)\right].\frac{R}{1-R} \qquad (6\text{-}59)$$

$$\Delta P = \left[(P_k)_{op} - P_t\right].R \qquad (6\text{-}60)$$

واضح من العلاقة (6-60) أن القيمة ($R = \frac{F_k}{F_c}$) هي القيمة الهامة المحددة لهوية الصمام.

2- الصمام السيلفوني الذي يعمل بواسطة تغير الضغط ضمن مواسير الإنتاج:

هذا النوع من الصمامات موضح بالشكل التالي: شكل (6-10)



شكل رقم (6-10) – يوضح الرسم التخطيطي للصمام السيلفوني الذي يعمل على مبدأ تغير الضغط في مواسير الإنتاج.

يؤثر في هذا الصمام دائماً الضغط الموجود في مواسير الإنتاج (P_t). عند تجمع السائل في مواسير الإنتاج وزيادة الضغط الموافقة لتجمع هذا السائل فإنه يتم التغلب على مقاومة أو ممانعة السيلفون وعندها يفتح الصمام ويبدأ الغاز بالمرور من الفراغ الحلقي من خلال المقطع F_k إلى مواسير الإنتاج. بعد فتح الصمام فإن الضغط في المواسير (P_t) سيؤثر في كامل المقطع (F_c) للسيلفون. عند انخفاض قيمة الضغط في مواسير الإنتاج إلى قيمة معينة فإن الصمام ينغلق لأن القوة المؤثرة من جهة السيلفون تصبح أكبر من القوة المؤثرة من جهة حجرة الصمام.

تحتوي الصمامات المركبة بالإضافة إلى الاسطوانة السيلفونية نابضاً يتحمل جزء من الحمولة، وهذا الأمر يسمح بصناعة سيلفون أكثر حساسية لتغيرات الضغط الذي يؤثر في السيلفون في أثناء المرحلة (الشوط) المباشرة والعكسية. يستخدم هذا النوع من الصمامات في حالة الرفع الغازي المتقطع أو الدوري، حيث يغلق الصمام بعد خروج السائل ويفتح من جديد فقط بعد تجميع كمية معينة من السائل في مواسير الإنتاج.

تركب الصمامات على مواسير الإنتاج من الخارج أو من الداخل ضمن حجرات إهليلجية الشكل أو بيضوية وذلك حسب طريقة تصميم الصمام وصناعته.

عند تثبيت الصمام من الخارج على مواسير الإنتاج فإنه لتغيير الصمام عند تعطله أو كسره فإنه يجب رفع مواسير الإنتاج بالكامل إلى السطح، أما عند تثبيت الصمام على السطح الداخلي لمواسير الإنتاج ضمن حجرة خاصة فإنه لا داعي لرفع مواسير الإنتاج بالكامل، لكن يتم رفع الصمام مع حجرته بواسطة تجهيزات خاصة.

تصنع الصمامات وقطع غيارها من مواد مقاومة للتآكل وهي عبارة عن خلائط خاصة من الفولاذ مقاومة للتآكل والتأكسد وذلك من أجل إمكانية القيام بعمليات غسل الآبار المجهزة بصمامات الرفع الغازي، حيث تزود هذه الصمامات بعقدة أخرى إضافية تقوم بدور صمام عكسي. عند تشكيل ضغط في داخل مواسير الإنتاج فإن الصمام العكسي ينغلق وسائل الغسل يمر عبر حذاء مواسير الإنتاج وليس عبر صمام الرفع الغازي.

تبدو صمامات الرفع الغازي لأول وهلة بسيطة لكن عند النظر إلى تصميمها وأقسامها وتركيبها وتجميعها فإنها في الواقع هي عبارة عن أجهزة معقدة لصناعتها يجب توفر تكنولوجيا متقدمة جداً وخبرة عالية ودقة تصنيع عالية جداً.

6-6 مبدأ توزيع الصمامات على طول مواسير الإنتاج أو حساب أعماق تثبيت الصمامات:

يجب أن تتمتع صمامات بداية التشغيل بفرق ضغط إغلاق كبير كي تتمكن من الإغلاق عندما يصل مستوى السائل المزاح إلى الصمام التالي أو الآخر، ويسمح بتمرير الغاز من خلال الصمام الثاني. بهذا التتالي تعمل الصمامات حتى اللحظة التي يصل فيها مستوى السائل ضمن الفراغ الحلقي إلى حذاء المواسير الإنتاجية أو إلى صمام العمل، بعد ذلك تتحول البئر إلى العمل بالنظام المستقر (حالة العمل الطبيعي)، أما ضغط الغاز فيصبح مساوياً لضغط العمل أو التشغيل. عند فروق ضغط الإغلاق الكبيرة فإن عدد صمامات بداية التشغيل المثبتة على طول مواسير الإنتاج سينقص ويصبح أصغرياً.

بعد عمل صمامات بداية التشغيل المتتالي لفترة زمنية معينة يبدأ تدفق السائل من البئر وهذا ما يؤدي إلى تغيير في نظام حساب أعماق توضع الصمامات وتوزعها على طول مواسير الإنتاج .

من الواضح أنه عندما يتحقق الشرط التالي: ضغط الطبقة ≥ ضغط القاع أو: $(P_c \geq P_f)$ فإن تدفق السائل من الطبقة إلى البئر سوف لن يتم وعند حساب أعماق توزع الصمامات لا يؤخذ الشرط السابق بعين الاعتبار. أما عندما يتحقق الشرط: $(P_c < P_f)$ أي عندما يكون ضغط القاع أصغر من ضغط الطبقة فإن السائل يتدفق باتجاه القاع وعند حساب أعماق توزع الصمامات في هذه الحالة فإن الشرط المذكور يؤخذ بعين الاعتبار.

يحدد عمق مستوى السائل في الفراغ الحلقي عند تحقق الشرط الأول $P_c \geq P_f$ كمجموع عمق المستوي الستاتيكي (S_{st}) وضغط الغاز في الفراغ الحلقي والمعبر عنه كارتفاع عمود السائل مقدراً بالمتر. رياضياً يمكن التعبير عن ذلك بالعلاقة التالية:

$$L \leq S_{st} + \frac{P_k}{\rho . g} \qquad (6\text{-}61)$$

حيث :

$\frac{P_k}{\rho . g}$: ضغط الغاز في الفراغ الحلقي معبراً عنه بالمتر.

P_k : ضغط الغاز في الفراغ الحلقي عند مستوى السائل.

أما عند تحقق الشرط الثاني أي : $(P_c < P_f)$ فإن عمق مستوى السائل في الفراغ الحلقي سيعطى بالعلاقة التالية:

$$L \geq S_{st} + \frac{P_k}{\rho . g} \qquad (6\text{-}62)$$

سابقاً تمت الإشارة إلى أن أول ثقب من ثقوب بداية التشغيل يجب أن يتوضع على عمق (L_1) وحدد هذا العمق بعلاقة رياضية محددة العلاقة (7-36)، لكن بالنسبة لصمامات بداية التشغيل فيجب تثبيتها أعلى من المسافة المحسوبة بمسافة قدرها $(15-20, m)$، وهذا ما يؤدي إلى تشكيل فرق ضغط بدائي عند الصمام، فرق الضغط هذا سيكون مساوياً للقيمة التالية: $(a=15-20, m)$ عمود سائل، ويسرع مرور الغاز عبر الصمام وبذلك يسرع زمن مرور الغاز عبر الصمام. عند تثبيت الصمام على عمق (L_1) فإن الضغط على كلتا نهايتيه سيكون متساوياً ولن تكون هناك حركة للغاز عبر الصمام.

عند الأخذ بعين الاعتبار الشرط الثاني وبالتحديد العلاقة (6-62) المستخدمة لتحديد عمق تثبيت الصمام الأول ستكون :

$$L_1 = S_{st} + \frac{P_{k1} - P_y}{\rho g\left(1+\alpha.\frac{F_g}{F_\ell}\right)\cos\beta} - 20 \qquad (6\text{-}63)$$

حيث:

P_{k1} : ضغط الغاز عند مستو الصمام الأول.

إذا حدث تدفق للسائل من فوهة البئر قبل أن يصل الغاز في الفراغ الحلقي إلى مستوى الصمام الأول فإنه من الضروري تثبيت الصمام الأول على عمق (L_1')، يحدد هذا العمق (L_1') من مساواة الضغط في الفراغ الحلقي (P_k) والضغط الهيدروستاتيكي لعمود السائل الذي لا يحوي غاز في مواسير الإنتاج ذو الارتفاع المحدد اعتباراً من مستوى السائل وحتى الفوهة مع الأخذ بعين الاعتبار ضغط الفوهة (P_y) وإزاحة الصمام إلى الأعلى مسافة قدرها عشرون متراً، رياضياً يعبر عن الكلام السابق بالعلاقة التالية:

$$P_{k1} = (L_1' + 20)\rho . g . \cos\beta + P_y \qquad (6\text{-}64)$$

ويمكن كتابة العلاقة السابقة بالشكل التالي:

$$L_1' = \frac{P_{k1} - P_y}{\rho . g . \cos \beta} - 20 \qquad (6\text{-}65)$$

يحدد مكان تثبيت الصمام الثاني من مساواة الضغط في الفراغ الحلقي (P_{k2}) على عمق تثبيت الصمام الثاني مع الضغط في مواسير الإنتاج على نفس العمق السابق مع الأخذ بعين الاعتبار عمود السائل الذي لا يحوي غازاً في مواسير الإنتاج والواقع بين الصمامين الأول والثاني والضغط في مواسير الإنتاج عند مستوى الصمام الأول بعد خروج أو ازاحة السائل (P_{t1})، رياضياً يعبر عن الكلام السابق بالعلاقة التالية:

$$P_{k2} = P_{t1} + (X_2 + 20)\rho . g . \cos . \beta \qquad (6\text{-}66)$$

حيث :

(P_{k2}) : ضغط الغاز في الفراغ الحلقي عند مستوى الصمام الثاني.

(P_{t1}) : الضغط في مواسير الإنتاج عند مستوى الصمام الأول بعد إزاحة السائل .

X_2 : المسافة بين الصمامين الأول والثاني (تقابل ارتفاع عمود السائل غير الحاوي على غاز) .

20 متر: تصحيح على إزاحة الصمام من أجل تشكيل فرق ضغط بدائي .

الضغط (P_{t1}) يضم الضغط المعاكس عند فوهة البئر، ويحدد إما بواسطة منحنيات توزع الضغط في مواسير الإنتاج، وإما بالعلاقات التي تشرح عمل المصعد الغازي عند نظام الإنتاجية المعدومة، وإما بالتدرج الوسطي للضغط في مواسير الإنتاج أثناء عمل المصعد الغازي من خلال الصمام الأول من العلاقة السابقة (6-66) نجد أن :

$$L_2 = L_1 + X_2 \qquad (6\text{-}67)$$

أو

$$L_2 = L_1 + \frac{P_{k2} - P_{t1}}{\rho . g . \cos . \beta} - 20 \qquad (6\text{-}68)$$

بشكل عام يمكن كتابة الصيغة العامة لتحديد عمق تثبيت الصمامات بالشكل التالي:

$$L_i = L_{i-1} + \frac{P_{ki} - P_{t(i-1)}}{\rho . g . \cos \beta} - 20 \qquad (6\text{-}69)$$

$$L_i = L_{i-1} + X_i \qquad (6\text{-}70)$$

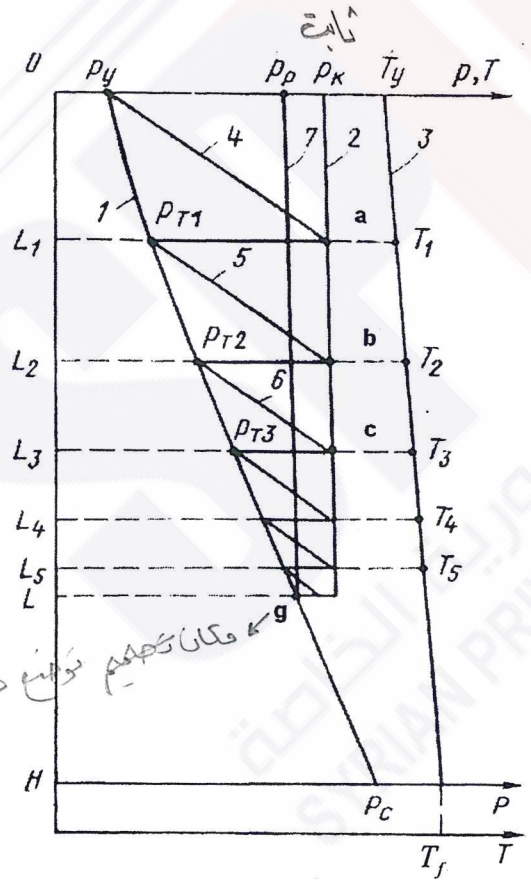
7-6 الطريقة البيانية لتحديد أعماق تثبيت الصمامات :

تعتمد هذه الطريقة على توفر المنحنيات البيانية التالية:

1- منحنيات توزع الضغط في مواسير الإنتاج في أثناء عملها بالنظام الطبيعي، يعبر عن هذه المنحنيات رياضياً بالعلاقة $H = F(P)$. منحني رقم (1) على الشكل الموضح أدناه شكل رقم (6-13) .

2- منحني تغير ضغط الغاز في الفراغ الحلقي منحني رقم (2) على الشكل رقم (6-11).

3- منحني تغير أو تدرج الحرارة على طول مواسير الإنتاج منحني (3) من الشكل (6-11).



شكل رقم (6-11) – يوضح الطريقة البيانية لتحديد أعماق توزع صمامات بداية التشغيل على طول مواسير الإنتاج .

في هذه الطريقة البيانية استخدمت الفرضيات التالية:

أ- الضغط في مواسير الإنتاج عند مستوى الصمامات لا يهبط إلى قيمة أقل من القيمة المطابقة لعمل البئر بالنظام الطبيعي.

ب- تدفق الغاز عبر الصمام مساو لتدفق الغاز في مواسير الإنتاج أثناء عملها بالنظام الطبيعي.

ج- قانون توزع الضغط ضمن مواسير الإنتاج هو قانون خطي.

د- ضغط حذاء مواسير الإنتاج وضغط الفوهة هما قيم معلومة في أثناء العمل الطبيعي لمواسير الإنتاج.

مما سبق يمكن واعتماداً على قانون التوزع الخطي للضغط في مواسير الإنتاج فإن قيمة هذا الضغط على عمق X ستكون :

$$P_{t(x)} = P_y + \frac{x}{L}.\left(P_{cl} - P_y\right) \qquad (6\text{-}71)$$

أما قيمة الضغط على عمق X_i فستكون :

$$P_{t(i-1)} = P_y + \frac{L_{(i-1)}}{L}.\left(P_{cl} - P_y\right) \qquad (6\text{-}72)$$

حيث :

P_{cl} : ضغط حذاء المواسير الإنتاجية.

P_y : ضغط الفوهة

L : عمق إنزال مواسير الإنتاج حتى نقطة دخول الغاز من حذاء مواسير الإنتاج إلى داخل هذه المواسير.

يوقف الحساب السابق عندما يصبح :

$$L_{i-1} \geq L \qquad (6\text{-}73)$$

وهذه النقطة أو هذا العمق يمكن أن يكون هو نقطة أو عمق تثبيت صمام نهاية العمل أو التشغيل .

بهذه الصورة فإنه بواسطة العلاقة السابقة (6-72) يمكن تحديد الضغط داخل مواسير الإنتاج عند مستوى الصمام العلوي (السابق) $\left(P_{t(i-1)}\right)$ وبعد ذلك بواسطة العلاقة التي تحدد $\left(L_i\right)$ يتم حساب عمق تثبيت الصمام التالي. يوقف الحساب عندما يتحقق الشرط التالي: $\left(L_{i+1} > L\right)$.

حيث :

(L): هو طول مواسير الإنتاج المنزلة في البئر أو المسافة من الفوهة حتى نقطة دخول الغاز في مواسير الإنتاج بالشروط الطبيعية لعمل البئر. هذه النقطة يمكن أن تكون نقطة تثبيت صمام نهاية التشغيل أو موضع ثقب التشغيل في النظام المنفرد.

إذا حدث تدفق للسائل أثناء تشغيل البئر فإنه من النقطة (P_y) يتم إنشاء منحني تغير الضغط الهيدروستاتيكي لعمود السائل الذي لا يحوي غازاً في مواسير الإنتاج منحني رقم (4) الشكل (6-11) حتى يتقاطع مع منحني ضغط الغاز منحني رقم (2) شكل (6-11) في النقطة (a)، ميل هذا المنحني أو الخط رقم (4) يتعلق بكثافة النفط الميت ويحدد بالعلاقة التالية:

$$P_x = P_y + X \cdot \rho \cdot g \qquad (6\text{-}74)$$

حيث:

(P_x): الضغط الهيدروستاتيكي لعمود السائل في مواسير الإنتاج على العمق x .

مسقط النقطة (α) على المحور العمودي L_1 يحدد عمق تثبيت الصمام الأول، وهكذا فإنه أثناء ذلك سيكون الضغط الهيدروستاتيكي للسائل في مواسير الإنتاج مساوياً لضغط الغاز في الفراغ الحلقي.

نقطة تقاطع الخط الأفقي المنشأ من النقطة α مع الخط أو المنحني (1) من الشكل (6-11) هي التي تحدد الضغط P_{t1} في مواسير الإنتاج عند مستوى الصمام الأول بعد تغويز وإزاحة السائل من مواسير الإنتاج على طول القسم L_i.

يتم إنشاء المنحني رقم (2) من الشكل (6-11) اعتماداً على العلاقة الرياضية التالية:

$$P_{(x)} = P_k \cdot e^{\frac{\rho_g \cdot g \cdot X \cdot T_o}{P_o \cdot T_m \cdot Z_m}} \qquad (6\text{-}75)$$

حيث :

ρ_g : كثافة الغاز بالشروط القياسية .

Z_m و T_m : درجة الحرارة الوسطية المطلقة في البئر ومعامل الإنضغاطية الوسطي المقابل لهذه الدرجة.

P_k : الضغط في الفراغ الحلقي عند فوهة البئر (ضغط مطلق)

$P_{(x)}$: الضغط عند العمق X (أيضاً ضغط مطلق).

أما توزع الضغط للغاز $P_{(x)}$ فيمكن حسابه بالعلاقة الرياضية المبسطة التالية:

$$P_{(x)} = P_k\left(1 + \frac{\rho_g . g . T_o . X}{P_o . T_m . Z_m}\right) \qquad (6\text{-}76)$$

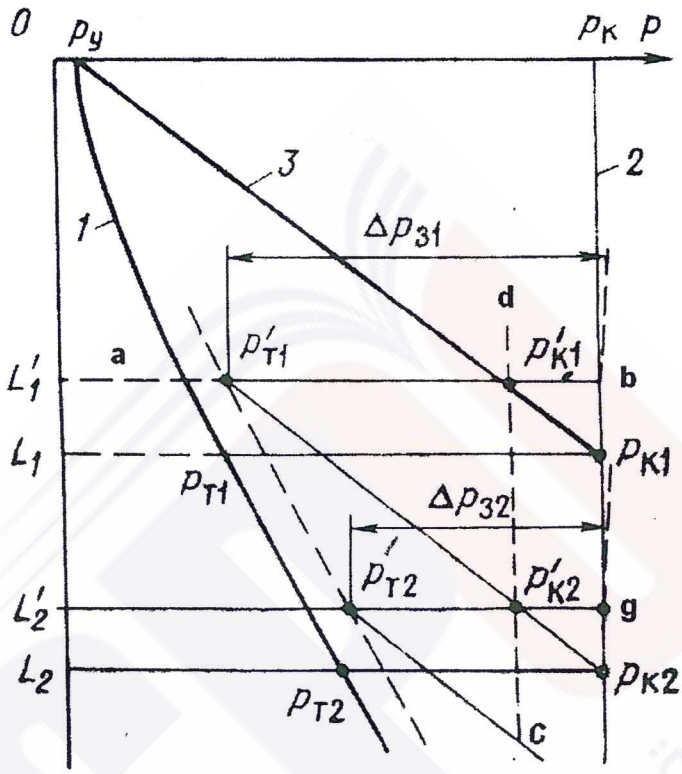
وهكذا فمن الواضح أن العلاقة السابقة هي خطية لذلك يكفي حساب الضغط (P) عند العمق (X) وتنزيل القيمة المحسوبة للضغط على المنحني ووصلها بخط مستقيم مع النقطة الموافقة للضغط عند الفوهة (P_y) .

أما خط أو منحني توزع درجة الحرارة المنحني رقم (3) من الشكل (6-11) فإنه ينشئ بوصل قيمة درجة الحرارة الموافقة لدرجة حرارة الفوهة (T_y) مع القيمة الموافقة لدرجة حرارة الطبقة (T_f) وهذا المنحني هو خطي كما هو مبين بالشكل رقم (6-11) بعد وصول الغاز إلى حذاء المواسير فإن الضغط في الفراغ الحلقي يمكن أن ينخفض حتى ضغط العمل (P_w) والذي يحدد بنظام العمل الطبيعي للبئر المنتجة بالرفع الغازي والمميز أو الممثل بالمنحني المحسوب رقم (1) من الشكل (6-11) وهو يعبر عن توزع الضغط في مواسير الإنتاج.

أثناء نظام العمل الطبيعي للمصعد الغازي فإنه عملياً يتساوى أو يتعادل ضغط حذاء المواسير الإنتاجية مع الضغط في الفراغ الحلقي عند مستوى حذاء المواسير، وهذا ما هو موضح على الشكل (6-11) بالنقطة Z. عندما ننشئ الخط رقم (7) على الشكل (6-11) بشكل موازي للخط (2) حتى التقاطع مع الخط الأفقي عند فوهة البئر فإننا نحصل على ضغط العمل (P_w) عند فوهة البئر.

من مبدأ عمل صمامات بداية التشغيل يتبع أن الصمام الأول ينغلق عندما يبدأ الصمام الثاني بالعمل وينغلق الصمام الثاني عندما يفتح الصمام الثالث وهكذا .

لابد من إجراء بعض التصحيحات على أعماق تثبيت الصمامات وعلى الضغط عند مستوى كل صمام هذه التصحيحات موضحة بالشكل البياني التالي:



الشكل (6-12) – يوضح الطريقة البيانية لتوزع صمامات بداية التشغيل مع الأخذ بعين الاعتبار تصحيحات فرق الضغط الذي يؤدي إلى إغلاق وفتح الصمام.

1- المنحنى (1) يمثل تدرج الضغط في مواسير الإنتاج $H = P_{(x)}$.

2- المنحنى (2) يمثل تغير الضغط في الفراغ الحلقي (ضغط الغاز) .

3- المنحنى (3) يمثل توزع الضغط الهيدروستاتيكي عند خروج السائل من فوهة البئر.

4- المنحنى (4) يمثل توزع الضغط الهيدروستاتيكي في مواسير الإنتاج بين الصمامين الأول والثاني.

من المعلوم أن ضغط بداية التشغيل للبئر المنتجة بالرفع الغازي في الحالة التي لا يحدث فيها تدفق للسائل من فوهة البئر وإنما يبقى السائل ضمن مواسير الإنتاج يعطى بالعلاقة التالية :

$$P_k = P_{st} = h.\rho.g\left(1 + \alpha\,\frac{F_g}{F_\ell}\right)\cos\,\beta + P_y \qquad (6\text{-}77)$$

حيث :

h : انغمار حذاء مواسير الإنتاج تحت المستوى الستاتيكي، ويحدد من العلاقة السابقة بالشكل التالي:

$$h = \frac{P_k - P_y}{\rho.g\left(1 + \alpha.\frac{F_g}{F_\ell}\right)\cos\,\beta} \qquad (6\text{-}78)$$

وهكذا فإن (h) تعني إنخفاض المستوى المأخوذ اعتباراً من المستوى الستاتيكي في الفراغ الحلقي عندما يؤثر فيه ضغط الغاز (P_k)، أما في مواسير الإنتاج فيوجد هناك ضغط معاكس (P_y) يتوازن الضغط في الفراغ الحلقي (P_k) مع ضغط عمود السائل في مواسير الإنتاج ذي الارتفاع (X) والضغط المعاكس عند الفوهة أي :

$$P_k = x.\rho.g.\cos\,\beta + Py \qquad (6\text{-}79)$$

نحسب (X) من العلاقة السابقة فنجد أن:

$$X = \frac{P_k - P_y}{\rho.g.\cos\,\beta} \qquad (6\text{-}80)$$

تؤخذ قيمة (X) هنا اعتباراً من مستوى السائل في الفراغ الحلقي المزاح عن المستوى الستاتيكي بقيمة قدرها (h)، عندئذ المسافة (S) لهذا المستوى الستاتيكي للسائل في مواسير الإنتاج اعتباراً من الفوهة ستكون مساوية :

$$S = S_{st} + h - X \qquad (6\text{-}81)$$

نعوض (h) و (x) بقيمها من العلاقتين (6-78) و (6-80) في العلاقة (6-81) فنحصل على :

$$S = S_{st} + \frac{P_k - P_y}{\rho.g\left(1 + \alpha\,\frac{F_g}{F_\ell}\right)\cos\,\beta} - \frac{P_k - P_y}{\rho.g.\cos\,\beta} \qquad (6\text{-}82)$$

$$S = S_{st} - \frac{P_k - P_y}{\rho . g . \cos \beta} . \left[\frac{\alpha \frac{F_g}{F_t}}{1 + \alpha \frac{F_g}{F_\ell}} \right]$$ أو (6-83)

8-6 مبادئ حساب نظام عمل الآبار المنتجة بالرفع الغازي المستمر :

سيستند تحديد مؤشرات (معاملات) عمل الآبار المنتجة بالرفع الغازي إلى استخدام منحنيات توزع الضغط أثناء حركة المزيج (سائل – غاز) في مواسير الإنتاج.

أهم المعايير أو المؤشرات التي يجب حسابها هي :

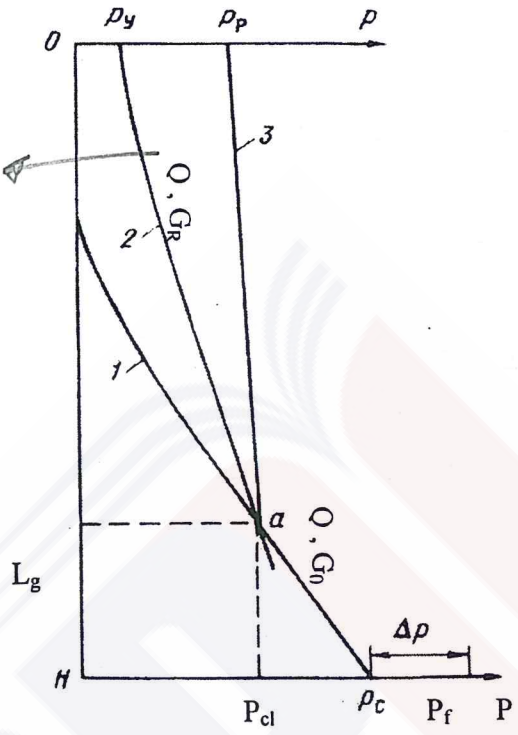
1- الاستهلاك النوعي للغاز المحقون (R) .

2- ضغط الحقن (P_i) .

3- حجم الغازات التي يجب حقنها (V_g).

4- أماكن تثبيت الصمامات .

أحدث الطرق المستخدمة لتحديد العمق الذي يجب عنده حقن الغاز في مواسير الإنتاج هي الطرق البيانية، والتي تعتمد بشكل رئيسي على منحنيات توزع الضغط على طول مواسير الإنتاج والشكل البياني رقم (6-13) يوضح الطريقة البيانية لتحديد العمق الذي يجب عنده حقن الغاز.



الشكل رقم (6-13) – يوضح الطريقة البيانية لتحديد العمق الذي يجب عنده حقن الغاز ضمن مواسير الإنتاج بمساعدة منحنيات توزع الضغط على طول مواسير الإنتاج.

1- منحنى توزع الضغط في مواسير الإنتاج عند الإنتاجية (Q) المعلومة و (G_o) المعلوم أيضاً .

2- منحنى توزع الضغط في مواسير الإنتاج عند الإنتاجية (Q) المعلومة و(G_R) المعامل الغازي بالشروط الطبقية.

3- منحنى تغير ضغط الغاز المحقون في الفراغ الحلقي .

بالنسبة للمعامل الغازي الطبقي (بالشروط الطبقية) (G_R) فإنه يعطى بالعلاقة التالية:

$$G_R = G_o + R_H \qquad (6\text{-}84)$$

حيث :

G_o: المعامل الغازي للنفط بالشروط السطحية.

R_H : الاستهلاك النوعي للغاز المحقون من على السطح.

أما بالنسبة لضغط التشغيل (P_w) للغاز المحقون فسوف يعطى بالعلاقة التالية: