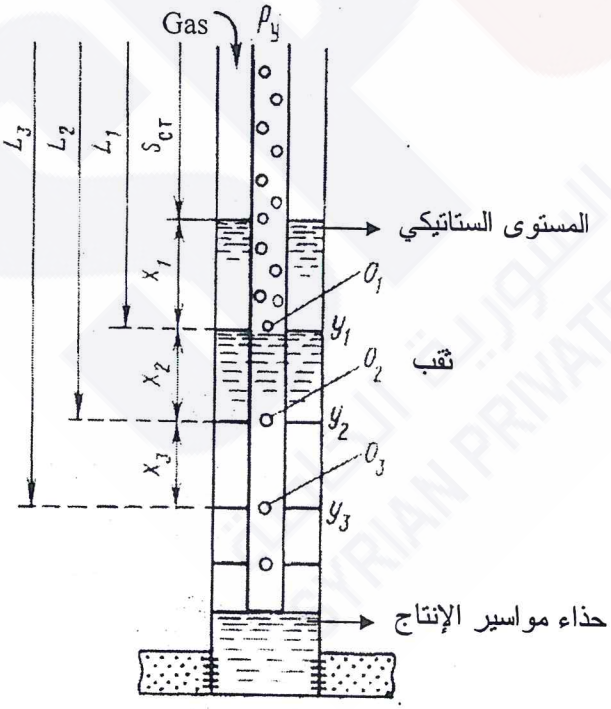
من أجل إعادة التوازن أو التعادل في الضغط فإنه يتم تخفيض مستوى السائل من جديد في الفراغ الحلقي إلى قيمة معينة جديدة تتعلق بضغط الضاغط وكثافة المزيج (سائل – غاز) في مواسير الإنتاج، وهكذا يتم تباعاً أو بالتتالي إنقاص مستوي السائل في الفراغ الحلقي عن طريق حقن الغاز ومروره عبر ثقوب التشغيل حتى يصل مستوى السائل 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 :



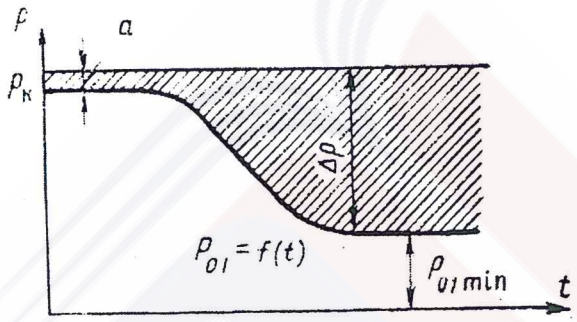
شكل رقم (5-6)– يوضح الرسم التخطيطي لنظام البئر المجهزة بثقوب تشغيل.

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.

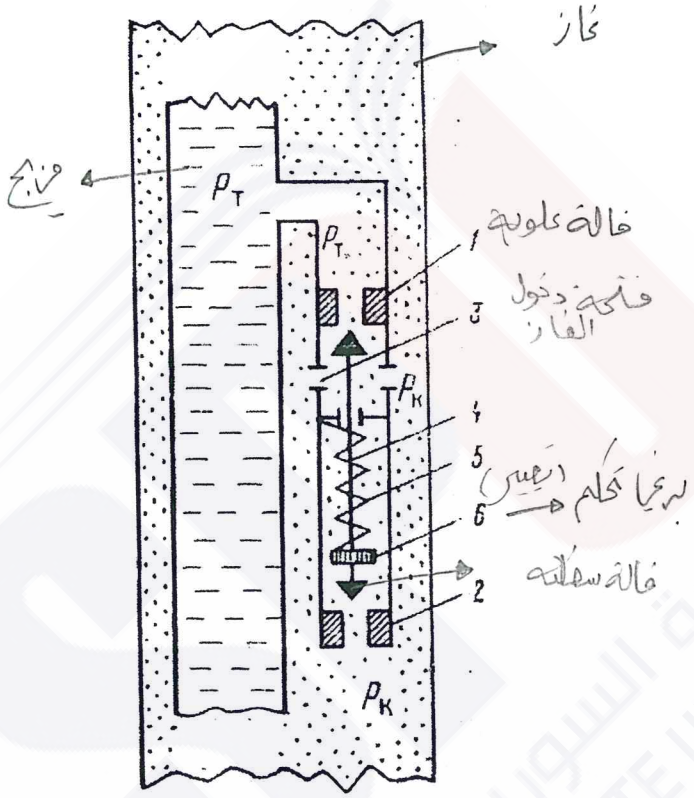
3- **الصمامات النهائية أو صمامات نهاية العمل أو نهاية التشغيل:** يستخدم هذا النوع من الصمامات من أجل المحافظة على مستوى السائل في الفراغ الحلقي أخفض من الصمام لمسافة ما، وهذا ما يساعد على دخول متوازن ومنظم للغاز عبر الصمام في مواسير الإنتاج ويمنع الاهتزازات أو التذبذبات، وتركب هذه الصمامات قريبة من نهاية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

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

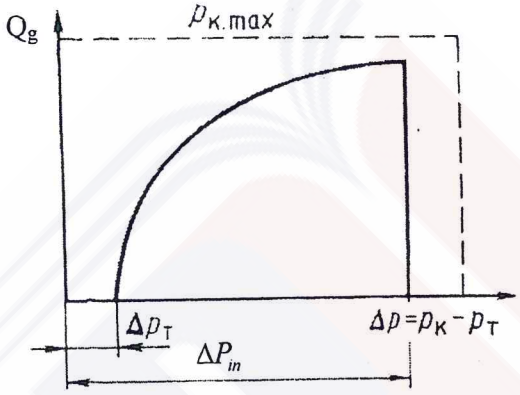
ولدى مقارنة العلاقتين (6-44) و (6-47) نجد أن :

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

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 :

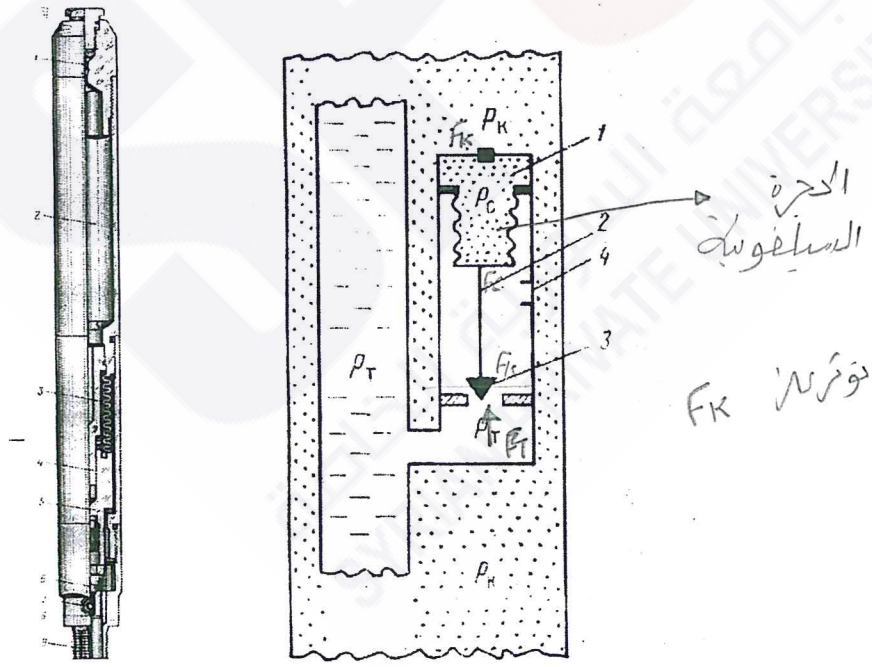
$$\Delta P = \left[(P_k)_{op}.(1-R) + P_t.(R-1)\right].\frac{R}{1-R} \qquad (6\text{-}59)$$

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

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.