

المحاضرة 4

الفصل الرابع

تجهيزات ومعدات الآبار الغازية

يطلق تعبير تجهيزات الآبار الغازية على مجمل المعدات التي تدخل في بناء هيكل البئر لإنجاز عمليات الحفر إضافة للمعدات السطحية والجوفية اللازمة أثناء عمليات الإنتاج. هذه التجهيزات يجب أن تضمن ظروف آمنة طويلة فترة حياة البئر بما يتخللها من عمليات تكنولوجية (إحياء . إصلاح... إلخ)، خصوصاً وأنها على تماس دائم مع بعض المواد المخرشة التي يحتويها الغاز الطبيعي. يتم وضع مخطط تصميم هيكل البئر بناءً على دراسة مجموعة من المعطيات المتعلقة بالمقطع الجيولوجي للطبقات التي يخترقها البئر ومن أهمها:

- الصفات الجيولوجية للطبقات التي يخترقها البئر.
- وجود الطبقات الحاملة للمياه.
- وجود مياه قاعدية.
- احتواء الغاز على مركبات مخرشة مثل CO_2 , H_2S , Hg ... وغيرها.
- قيم الضغط والحرارة الطبقيّة.
- إنتاجية الطبقات الخازنة ووجود نطاقات ذات نفوذية عالية وأخرى ذات نفوذية ضعيفة والاتصال الهيدروديناميكي فيما بينها.

وحيث تتطلب عمليات الاستثمار حفر آبار أفقية، فإنه إضافة لما ذكر أعلاه يجب دراسة الأمور التالية:

- نصف قطر انحناء البئر عند الانتقال من القسم الشاقولي إلى القسم الأفقي.
- طول القسم الأفقي من البئر.
- إمكانية إزاحة الشوائب (السائلة والصلبة) من الفراغ الحلقي حتى حذاء مواسير الإنتاج في القسم الأفقي.

بكافة الأحوال يجب أن يحقق هيكل البئر ما يلي:

- أن تكون المواسير المستخدمة ذات مقاومة عالية وتتصل مع بعضها البعض بشكل محكم وكثيم.
- تحقيق الإنتاجية المخططة وبأقل قيم لضغوطات الضغط في جوف البئر إضافة إلى إزاحة الشوائب التي تأتي من الطبقة.

عند تصميم هيكل البئر، فإن الأمور المتعلقة بمقاومة ومثانة وعازلية مواسير التغليف تقع في مجال عمل هندسة الحفر. أما الأمور الأخرى التي تتعلق بتحديد قطر مواسير التغليف وعمق إنزالها ووضع المنطقة القاعدية (مفتوحة أم معزولة بمواسير تغليف) إضافة إلى عمليات التنقيب فإنها تدرس من قبل مهندس الإنتاج.

4-1- اختراق الطبقة المنتجة:

يتوقف نظام الاستثمار الطبيعي للمكامن الغازية على درجة الاتصال الهيدروديناميكي بين الطبقة المنتجة والآبار التي تخترقها. لذلك تعتبر الدراسة الدقيقة لشروط اختراق الطبقة أثناء عمليات الحفر ولدرجة تمام فتح الطبقة في غاية الأهمية، بحيث يتم تحقيق أفضل ما يمكن من الاتصال الهيدروديناميكي مع البئر وهذا الأمر يتعلق بتجهيزات قاع البئر.

من المعلوم أن إنتاجية البئر تتعلق بشكل كبير بطريقة اختراق الطبقة المنتجة والتي بدورها تعتمد على الأمور التالية:

- تكنولوجيا عملية الحفر المستخدمة أثناء اختراق الطبقة المنتجة (خواص سائل الحفر).
- الاختراق الجزئي أو الكامل للمجال المنتج.
- تجهيزات قاع البئر الإنتاجية.

إن أحد أهم شروط اختراق الطبقة المنتجة هو استخدام نظام الحفر المناسب أو بمعنى آخر اختيار سائل الحفر الملائم، بحيث يضمن اختراق الطبقة بشكل آمن أثناء الحفر من جهة، ولا يؤثر على الخواص الارتشاحية للمنطقة المجاورة لقعر البئر من جهة أخرى. فمثلاً عندما تتغير قيمة نفوذية المنطقة المجاورة لقعر البئر لتصبح أقل من النفوذية الأولية للطبقة، فإن إنتاجية البئر تنخفض بمعدل مرتين وأكثر، وعندما تقترب النفوذية من الصفر فإن الإنتاجية تنعدم تقريباً وذلك بغض النظر عن أبعاد المنطقة الملوثة بسائل الحفر والتي قد يصل قطرها أحياناً إلى حوالي خمسة أمتار.

انطلاقاً مما ذكر أعلاه تستوجب عمليات اختراق الطبقة المنتجة وعمليات إصلاح الآبار لاحقاً استخدام سوائل حفر بمواصفات مناسبة بحيث يكون الضغط الهيدروستاتيكي الناتج متعادلاً قدر الإمكان مع الضغط الطبقي وبأقل قيمة ممكنة من فاقد الرشح.

4-2- اختيار قطر مواسير التغليف الإنتاجية:

يعتبر تحديد قطر مواسير التغليف، الخطوة الأولى أثناء وضع تصميم هيكل بناء البئر، حيث أن قطر المواسير المختار يجب أن يسمح بإنزال مواسير الإنتاج ذات القطر الذي يحقق الإنتاجية المطلوبة وبأقل ما يمكن من ضياعات الضغط أثناء جريان الغاز ضمنها إضافة إلى تأمين إزاحة الشوائب الصلبة والسائلة من قاع البئر وحتى السطح.

نتيجة الدراسات الحقلية، تبيّن أن سرعة جريان الغاز في أي مقطع من البئر يجب أن تكون أكبر من 5 M/S. وقد تم التوصل إلى حساب هذه السرعة رياضياً بالعلاقة التالية:

$$v \geq 0.52 q z_w \cdot T_w / d_i^2 P_w \quad (4-1)$$

حيث أن:

q - إنتاجية البئر (ألف متر مكعب باليوم).

z_w - معامل انضغاط الغاز بشروط قاع البئر من ضغط وحرارة.

T_w - درجة حرارة قاع البئر K .

P_w - ضغط قاع البئر Pa .

d_i - القطر الداخلي لمواسير التغليف CM .

من أجل السرعة الدنيا المشار إليها أعلاه $v_{min} = 5 M/S$ فإن قطر المواسير الذي يؤمن عدم

تشكل السدادات الرملية وعدم تجمع السوائل في قعر البئر يحدد بالعلاقة التالية:

$$d_i = [0.102 q z_w \cdot T_w / P_w]^{0.5} \quad (4-2)$$

تحدد قيمة الإنتاجية q الموافقة لدرجة الحرارة T_w والضغط P_w من خلال بحث الآبار.

4-3- تجهيزات الآبار الغازية:

تقسم تجهيزات الآبار الغازية إلى:

- تجهيزات فوهة البئر.
- التجهيزات الجوفية.
- معدات المنطقة القاعية.

4-3-1- تجهيزات فوهة البئر:

تقسم المعدات التي تتركب على رأس البئر إلى ثلاثة أجزاء رئيسية هي:

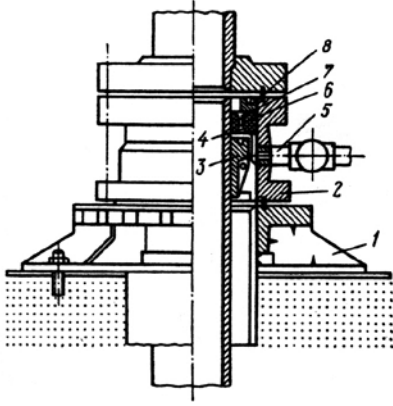
- رأس مواسير التغليف.
- رأس مواسير الإنتاج.
- شجرة الميلاد.

تقوم هذه الأجزاء الثلاثة بتثبيت مواسير التغليف ومواسير الإنتاج وتعزل الفراغ الحلقي بينهما على السطح إضافة إلى أنه من خلالها يمكن ضبط وتغيير النظام التكنولوجي لعمل البئر.

رأس مواسير التغليف:

يقوم بربط النهاية العليا لمواسير التغليف الإنتاجية مع مواسير تغليف المرحلة التي تسبقها ويؤمن عزل الفراغ الحلقي بينهما، كما أنه يشكل قاعدة ارتكاز لرأس مواسير الإنتاج وشجرة الميلاد. الشكل (4-1) يبين الأجزاء الرئيسية لرأس مواسير التغليف، حيث يتكون من مرتكز معدني عريض 1 مرتبطة بشكل جيد مع الشرار الخارجي لمواسير التغليف ومثبت على قاعدة بيتونية بواسطة مسامير قلاووظ، في الأعلى يرتبط به مسند 2 ذو حواف داخلية مخروطية، وتوضع على هذه الحواف كليسات من أجل

تعليق وتثبيت مواسير التغليف الإنتاجية. من أجل تحقيق العزل الجيد للفراغ الحلقي، فإنه يوضع أعلى الكليسات جزء عازل 6 وهذا الجزء مضغوط من الأعلى والأسفل بواسطة حلقات معدنية 7,4 وعزق 8.

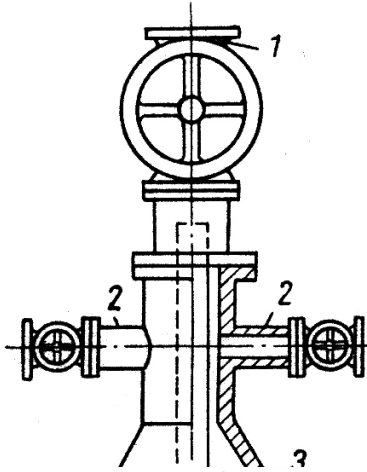


- 1- مرتكز عريض.
- 2- مرتكز لتعليق مواسير التغليف.
- 3- شريحة مخروطية.
- 4- حلقة سفلية.
- 5- أنبوب تصريف.
- 6- عنصر إحكام وعزل.
- 7- حلقة سفلية.
- 8- عزقة.

الشكل (4-1) رأس مواسير التغليف

رأس مواسير الإنتاج:

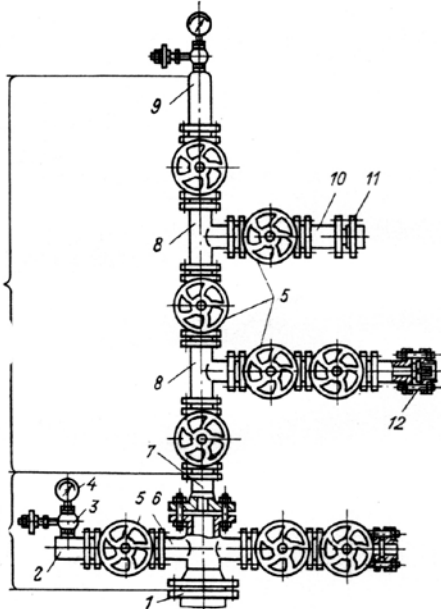
وظيفة هي تعليق مواسير الإنتاج وعزل الفراغ الحلقي بينها وبين مواسير التغليف الإنتاجية، ويشكل قاعدة لتثبيت شجرة الميلاد. الشكل (4-2) يوضح الأقسام الرئيسية لرأس مواسير الإنتاج المستخدم في الآبار الغازية. يتم من خلال المخرج الجانبي (2) مراقبة الضغط في الفراغ الحلقي كما يستخدم هذا المخرج أثناء إجراء بعض العمليات في البئر عن طريق الفراغ الحلقي.



- الشكل (4-2) رأس مواسير الإنتاج
- 1- صمام منزلق رئيسي.
 - 2- مخرج جانبي.
 - 3- جذع مخروطي.

شجرة الميلاد:

تركب شجرة الميلاد على الفلنجة العلوية لرأس المواسير. الشكل (4-3), (4-4).



11,1- فلنجة

9,2- مصدر أو مخفف صدمة

3- صمام

4- مقياس ضغط

5- صمام منزلق

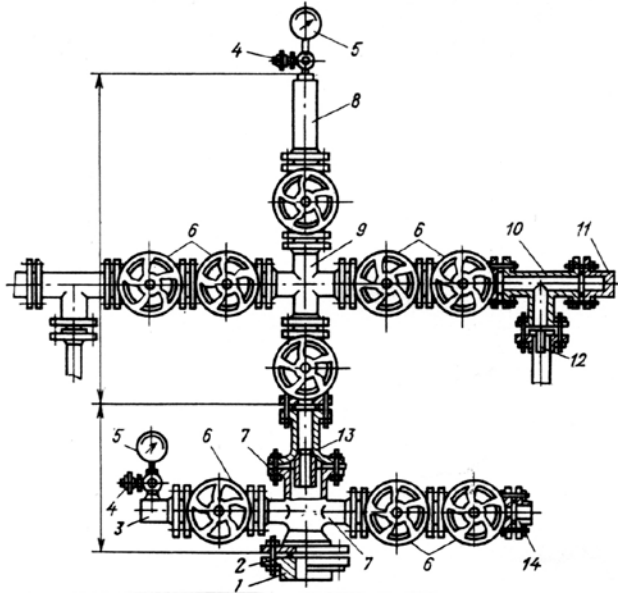
6- وصلة تصالبية

10,7- بكرة

8- تفرعة ثلاثية

12- فالة

الشكل (3-4) شجرة ميلاد ثلاثية التفرعات



1- فلنجة

2- عنصر عزل وإحكام

11,8,3- مصدر أو مخفف صدمة

4- صمام

5- مقياس ضغط

6- صمام منزلق

9,7- تفرعة تصالبية

10- تفرعة ثلاثية

12- فالة

الشكل (4-4) شجرة ميلاد شكل الصليب

كما هو واضح من الأشكال (3-4)، (4-4)، أن لشجرات الميلاد نموذجين: إما على شكل صليب أو على شكل ثلاثي الأفرع. وكلا النوعين يتألف من وصلات ثلاثية وقطع تصالبية وصمامات بوابية ومقاييس ضغط يتصل بعضها مع بعض بواسطة فلنجات، بحيث يسمح توصيل هذه الأجزاء مع بعضها إجراء كافة العمليات التكنولوجية على البئر ومراقبة وتنسيق نظام عمل الآبار وإغلاق البئر حين اللزوم. تُزود شجرة الميلاد بفالات من أجل التحكم بكمية الإنتاج وضغط رأس البئر، وبصمام عدم رجوع وصمام يغلق البئر أتماتيكياً في حال حدوث عطل في خطوط الطرد أو ما شابه ذلك.

إن الوضعية العاملة للصمامات البوابية، هي الفتح الكامل أو الإغلاق التام. وذلك لتلافي تآكل الإسفينات بواسطة الرمال التي قد يحملها معه التيار الغازي.

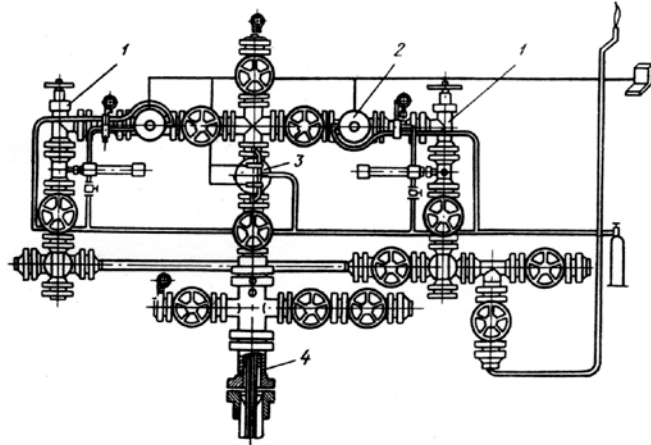
عند البدء بتشغيل البئر، يجري أولاً فتح الصمام الرئيسي، ومن ثم الصمامات الواقعة على خط الطرد، علماً بأنه يجري في بادئ الأمر فتح الصمام الأقرب إلى الصليب أو الوصلة الثلاثية على شجرة الميلاد وبعد ذلك يجري فتح الصمامات الأخرى الواقعة على خط الطرد.

يوجد على شجرة الميلاذ لكلا النموذجين الصليبي والثلاثي الأفرع خطي طرد، أحدهما عامل والثاني احتياط. عموماً، تستخدم شجرة الميلاذ الصليبية إذا لم يحتو تيار الغاز شوائب صلبة أو سوائل تساعد على عملية التآكل، حيث أن تواجد مثل هذه الظروف يؤدي إلى تآكل في التفراعات التصالبية وبالتالي التوقف الاضطراري للبئر.

أما شجرة الميلاذ الثلاثية الأفرع فهي تستخدم في استثمار الآبار الغازية، حيث يحتوي الغاز على شوائب صلبة ومركبات تسبب التآكل مثل CO_2 ، H_2S والحموض الدسمة وغيرها. ويبلغ ارتفاع هذه الشجرة حوالي خمسة أمتار عن سطح الأرض مما يسبب صعوبة خدمتها وموازنتها. تصنع شجرات الميلاذ لضغوط تشغيل مختلفة

(4,7.5,12.5,20,35,70,100) Mpa

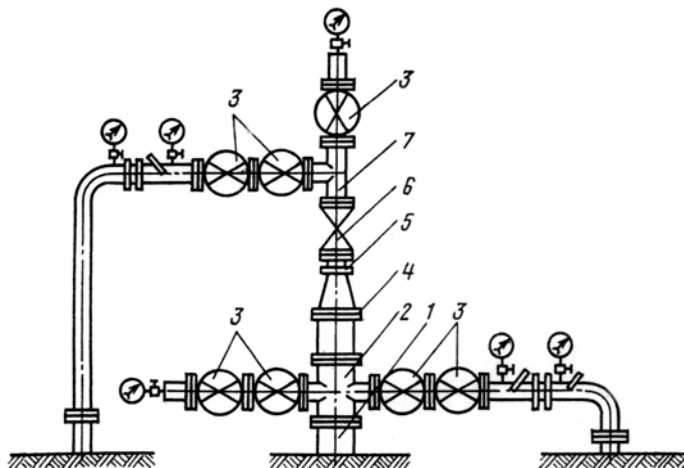
القطر الداخلي للساق الرئيسية 63mm أو 100mm، ويتم اختياره حسب إنتاجية البئر والضغط. عملياً يمكن أن تضاف إلى شجرة الميلاذ تجهيزات إضافية تبعاً لظروف الإنتاج. فعندما تكون الآبار ذات إنتاجية عالية، يُركب على شجرة الميلاذ خطا تصريف وفالتان كما في الشكل (4-5).



- 1- فالة
- 2- صمام أوتوماتيكي
- 3- صمام منزلق
- 4- رأس المواسير

الشكل (4-5) تجهيز فوهة الآبار الغازية عالية الإنتاجية

وعندما تخترق البئر طبقتين منتجتين للغاز معزولتين عن بعضهما بنطاق غير نفوذ فإن استثمارهما من خلال بئر واحدة عبر مواسير الإنتاج والفراغ الحلقي يعتبر مجدياً من الناحية الاقتصادية وفي هذه الحالة تستخدم التجهيزات السطحية الموضحة بالشكل (4-6).

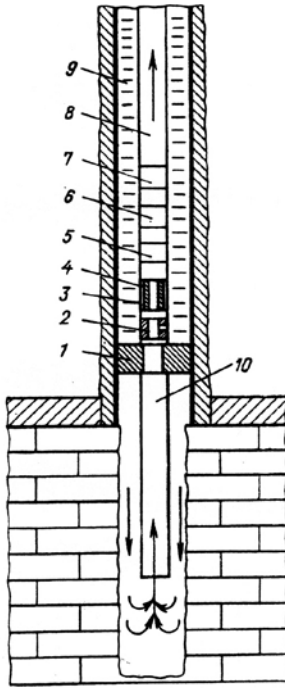


- 1- مواسير
- 2- تفرعة تصالبية
- 3- صمام منزلق
- 4- بكرة تحويل
- 5- جهاز تعليق مواسير الإنتاج
- 6- صمام عدم رجوع
- 7- تفرعة ثلاثية

الشكل (4-6) تجهيزات فوهة البئر للإنتاج المنفصل من طبقتين بآن واحد

4-4- التجهيزات الجوفية للآبار الغازية:

- تلعب التجهيزات الجوفية على طول محور البئر دوراً مهماً في استمرارية وسلامة عمل البئر الغازية، حيث يمكن عن طريق هذه التجهيزات تحقيق الأمور التالية:
- تنظيم عمل البئر الغازية ومنع التدفق الحر.
 - القيام بأعمال الإصلاح وإجراءات بحث الآبار دون الاضطرار لقتل البئر.
 - معالجة المنطقة القاعية بهدف زيادة معدل الجريان من الطبقة إلى البئر.
 - استثمار البئر حسب النظام التكنولوجي المخطط.
 - تبديل مواسير الإنتاج بدون إجراء عملية قتل البئر حيث يتم منع الجريان عن طريق الصمام الجوفي أسفل مواسير الإنتاج.
- من أجل تحقيق درجة أمان عالية خلال استثمار البئر الغازية، فإنه يتم استخدام مجموعة من التجهيزات الجوفية الموضحة في الشكل (4-7).



- 1- باكر مواسير
- 2- صمام دوران
- 3- مقعد (وصلة ملولبة الطرفين)
- 4- صمام جوفي
- 5- غالق المواسير
- 6- صمام حقن الكيماويات
- 7- صمام الأمان الجوفي
- 8- مواسير الإنتاج
- 9- سائل مانع التآكل أو مانع تشكل الهيدرات
- 10- ذيل المواسير

الشكل (4-7) التجهيزات الجوفية للبئر الغازية

الباكر:

الهدف منه هو تحقيق عزل الفراغ الحلقى بين مواسير الإنتاج ومواسير التغليف الإنتاجية عند المجال المنتج بهدف حماية مواسير التغليف من تأثير الضغوط ودرجات الحرارة العالية ومن تأثير المواد المخترشة مثل H_2S , CO_2 والحموض الموجودة في الغاز.

مواسير الإنتاج:

تشكل مواسير الإنتاج قناة لجريان الغاز من القاع إلى السطح، وبذلك يتم تحاشي تأثير الضغط على مواسير التغليف وحمايتها من التآكل (الميكانيكي والكيميائي)، كما توفر مواسير الإنتاج إمكانية استنزاف الطبقة المنتجة من الأسفل إلى الأعلى، إضافة إلى أنه من خلال قيمة قطر مواسير الإنتاج يمكن التحكم بسرعة التيار الغازي.

صمام الدوران:

يُنزل صمام الدوران مع تشكيلة مواسير الإنتاج ويرفع إلى السطح عند إخراجها من البئر، ويتم بواسطته تحقيق اتصال مؤقت بين الفراغ الحلقي ومواسير الإنتاج وذلك بهدف إجراء بعض العمليات التي تتطلب إجراء دوران داخل البئر مثل: إحياء البئر، معالجة البئر ببعض المواد الكيميائية، قتل البئر...إلخ.

صمام حقن المواد الكيميائية:

كما هو الحال في صمام الدوران فإن صمام حقن المواد الكيميائية ينزل في البئر ويرفع منها بواسطة مواسير الإنتاج، ويتم عن طريقه تحقيق اتصال بين الفراغ الحلقي ومواسير الإنتاج بهدف حقن موانع التآكل أو حقن موانع تشكل الهيدرات إلى داخل مواسير الإنتاج.

جهاز الإغلاق الاتوماتيكي:

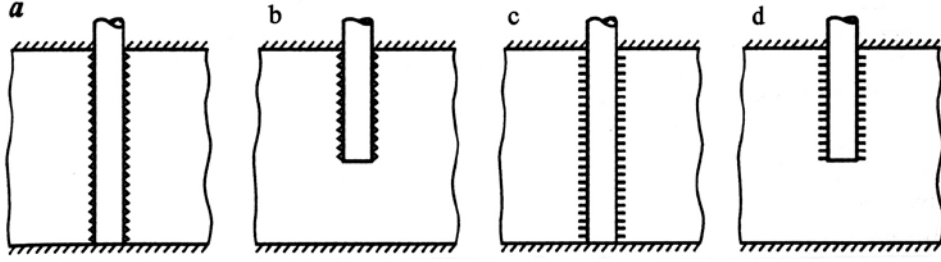
يقوم هذا الجهاز بالإغلاق المؤقت للبئر في الحالات الطارئة أو عندما تتطلب تجهيزات فوهة البئر بعض إجراءات الصيانة ويمكن أن يثبت هذا الصمام على أعماق مختلفة ضمن تشكيلة مواسير الإنتاج.

صمام الأمان الجوفي:

يتم عن طريق هذا الصمام إغلاق البئر المزودة بياكر في حالة حدوث طارئ مفاجئ، حيث لا يسمح الوقت بإجراء دوران من أجل قتل البئر عن طريق صمام الدوران. يُنزل صمام الأمان في البئر ضمن تشكيلة مواسير الإنتاج ويتم التحكم بإغلاقه من السطح بالتأثير الهيدروليكي عن طريق تحقيق ضغط في أنابيب مقاومة تصله مع شجرة الميلاد على السطح عبر الفراغ الحلقي.

4-5- تجهيز قاع البئر:

إن الهدف من تجهيز قاع البئر هو تدعيم جدران المنطقة القاعية ومنعها من التهدم إضافة إلى تأمين شروط طبيعية للجريان من الطبقة إلى البئر. يتم اختيار بنية قاع البئر اعتماداً على مجموعة من المعلومات المتعلقة بالخواص الليتولوجية والفيزيوميكانيكية لصخور الطبقات المنتجة (مقاومتها ومدى تأثرها عند تشكيل فارق ضغط بين الطبقة وقاع البئر) إضافة إلى وجود مياه قاعدية ووجود طبقات ذات نفوذية مختلفة في المجال المنتج ومدى الاتصال الهيدروديناميكي فيما بينها...إلخ. الشكل (4-8) يوضح النماذج المختلفة للمنطقة القاعية.



الشكل (4-8) نماذج تجهيز قاع البئر الغازية

عندما تكون الطبقة المنتجة مكونة من صخور مقاومة للتهدم، وتشير الدراسات الجيولوجية إلى عدم وجود مياه قاعدية فإنه ينصح باعتماد النموذج a، حيث يكون الاتصال الهيدروديناميكي بين الطبقة والبئر على كامل مقطع الطبقة. وفي هذه الحالة تُنزل مواسير التغليف حتى أعلى الطبقة المنتجة، حيث تثبت نهايتها ويحقن الإسمنت خلفها ويبقى قاع البئر مفتوحاً.

في حال وجود مياه قاعدية نشطة، وبغية الحد من الإماهة المبكرة فيتم اعتماد النموذج b. أما عندما تكون جدران الطبقة المنتجة قليلة المقاومة نسبياً فيتم اعتماد النماذج c,d، حيث يتم عزل الطبقة المنتجة بمواسير التغليف ويحقن الإسمنت خلفها ومن ثم يتم تنقيتها لتأمين الاتصال الهيدروديناميكي بين الطبقة والبئر.

بهدف التقليل من ضياع الضغط في المنطقة القاعدية، يتم التنقيب بحيث تكون مساحة فتحات الثقوب مساوية لمساحة المقطع الداخلي للمواسير الإنتاجية.

4-6- تحديد قطر مواسير الإنتاج:

تعتمد طريقة تحديد قطر مواسير الإنتاج على نظرية حركة المزيج (غاز . سائل) في الأنابيب العمودية، مع الأخذ بالاعتبار أنه أثناء الإنتاج من المكامن الغازية فإنه سوف يتم جرف حبيبات صلبة من الطبقة إلى قاع البئر إضافة لذلك، فإن تغير الظروف الترموديناميكية من قاع البئر وحتى السطح سيؤدي إلى انفصال كمية من المواد السائلة وبالتالي يتشكل جريان ثنائي الطور. إذا كانت سرعة جريان المزيج ليست كبيرة فإن السائل المنفصل والحبيبات الصلبة سوف تتجمع في قاع البئر مسببة مقاومة إضافية للجريان وبالتالي انخفاض الإنتاجية.

أثناء حساب قطر مواسير الإنتاج يؤخذ بعين الاعتبار أمرين أساسيين:

- أن يحقق قطر مواسير الإنتاج سرعة جريان للغاز يؤمن رفع الشوائب الصلبة والسائلة من قاع البئر حتى السطح.

- تأمين الإنتاجية المبرمجة مع حد أدنى لضياعات الضغط بالاحتكاك على طول محور البئر.

تتم إزاحة ورفع الحبيبات الصلبة والسائلة من قاع البئر حتى السطح، إذا كانت سرعة جريان الغاز في المواسير أكبر من قيمة معينة تسمى السرعة الحرجة (السرعة المقابلة لوجود الحبيبات الصلبة بحالة معلقة) أي:

$$v = 1.2 \cdot v_{cr} \quad (4-3)$$

v_{cr} - السرعة الحرجة، والتي من أجلها تكون قطرات السوائل والحبيبات الصلبة بحالة معلقة
Cm/S وتحدد من العلاقة:

$$v_{cr} = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot d (\rho_s - \rho_g)}{3 \cdot \phi \rho_g}} \quad (4-4)$$

حيث أن:

g - تسارع الجاذبية الأرضية Cm/S^2 .

d - قطر الحبيبات الصلبة Cm .

ϕ - معامل الانزلاق، وتتعلق قيمته بالشكل الهندسي للحبيبات الصلبة، فمن أجل الحبيبات الكروية $\phi = 0.25$ ومن أجل الحبيبات الموشورية $\phi = 0.73$ ولجزئيات الماء $\phi = 0.45$.

ρ_s - كثافة الحبيبات الصلبة.

ρ_g - كثافة الغاز بشروط قاع البئر من الضغط والحرارة.

إن أصغر قيمة لسرعة جريان الغاز سوف تكون عند أسفل مواسير الإنتاج وتحسب على الشكل الآتي:

$$v = \frac{q \cdot P_{at} \cdot T_w \cdot z_w}{F \cdot T_{st} \cdot P_w} = 0.51 \cdot \frac{q \cdot T_w \cdot z_w}{D^2 \cdot P_w} \cdot 10^{-5} \quad (4-5)$$

حيث أن:

q - إنتاجية البئر (ألف متر مكعب باليوم).

P_w - ضغط قاع البئر Mpa .

F - المقطع الداخلي لمواسير الإنتاج.

D - القطر الداخلي لمواسير الإنتاج M .

T_w - درجة حرارة قاع البئر K .

z_w - معامل انضغاط الغاز بشروط القاع.

بالمساواة بين (4-1) و(4-5) نجد:

$$0.51 \cdot \frac{q \cdot T_w \cdot z_w \cdot 10^{-5}}{D^2 \cdot P_w} = 1.2 v_{cr}$$

ومنه ينتج:

$$D_{max} = \sqrt{\frac{0.51 \cdot q \cdot T_w \cdot z_w \cdot 10^{-5}}{1.2 v_{cr} \cdot P_w}} \quad (4-6)$$

بالنسبة لقطر مواسير الإنتاج الذي يحقق أقل ضياع ممكن للضغط، يتم تحديده على الشكل التالي:
بنتيجة اختبار الآبار الغازية، تُقدر الإنتاجية الأعظمية q_M المسموح بها وذلك انطلاقاً من شروط تدهم المنطقة القاعية وعملية الإمهاء المتوقعة. إن قيمة ضغط قاع البئر الموافقة لهذه الإنتاجية تحسب بالعلاقة:

$$P_{wf} = \sqrt{P_{tf} \cdot e + \frac{1.377 \cdot \lambda \cdot z^{-2} \cdot \bar{T}^2}{D^5} \left(e - 1 \right) q_M^2} \quad (4-7)$$

وبالتالي فإن قيمة قطر المواسير:

$$D = \sqrt[5]{\frac{1.377 \cdot q_M^2 \cdot z^{-2} \cdot \bar{T}^2 \left(e - 1 \right)}{P_{wf}^2 - P_{tf}^2 \cdot e}} \quad (4-8)$$

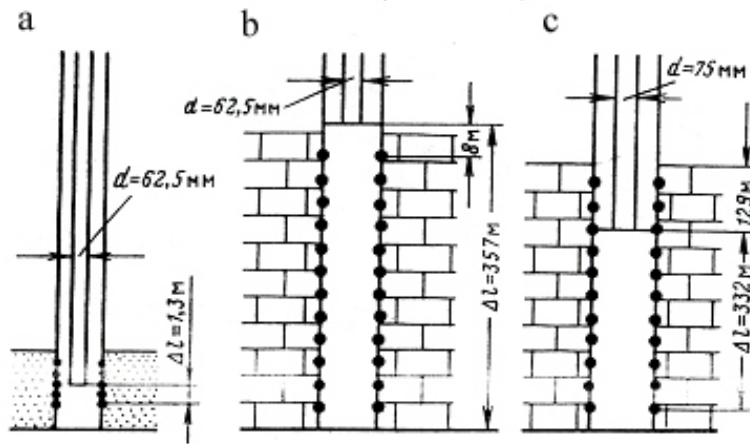
سوف نبين لاحقاً كيف يتم التوصل إلى العلاقة (4-7).

إذا كان القطر المحسوب بالعلاقة (4-8) أكبر من القطر D_{max} الذي يحقق رفع الحبيبات الصلبة إلى السطح فإننا نعتمد قيمة D_{max} . أما إذا كان D أصغر من D_{max} فمن الممكن زيادته حتى D_{max} . سيما وإن هذه الزيادة سوف تسهم في تقليل الضياعات على طول محور البئر.

4-7- تعيين عمق إنزال مواسير الإنتاج في البئر:

يوضح الشكل (4-9) عمق نهاية مواسير الإنتاج بالنسبة للطبقة المنتجة، حيث أن نهاية المواسير إما أن تكون أعلى المجال المثقب أو أمام المجال المثقب. يعتبر عمق إنزال مواسير الإنتاج أمام المجال المثقب أمراً مهماً وذو تأثير على:

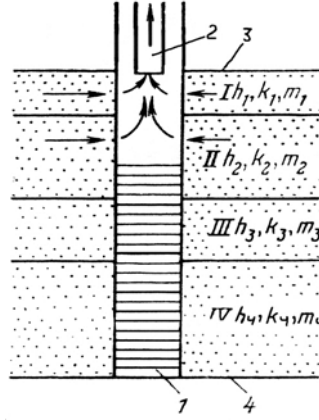
- استثمار المجالات المنتجة في الطبقات المتعددة النطاقات غير المتجانسة.
- ارتفاع السدادة الرملية المتشكلة أثناء عمليات الإنتاج.
- ارتفاع عمود السائل (ماء + كوندسات) في مواسير الإنتاج والفراغ الحلقي.
- إماهة المجالات المنتجة في الطبقات المتعددة النطاقات.
- مقاومة جريان الغاز من الأسفل ومن الأعلى باتجاه نهاية مواسير الإنتاج.



الشكل (4-9) وضع نهاية مواسير الإنتاج بالنسبة للمجال المثقب

عندما تكون الطبقة المنتجة مشكولة من عدة نطاقات مختلفة فيما بينها من حيث خواصها (السماكة . النفوذية . المسامية) كما في الشكل (4-10)، فإنه جريان الغاز سيتم من النطاق الأول بشكل أساسي

وجزئياً من الثاني أما في الجزء الثالث والرابع عملياً لا يحدث جريان وذلك بالعلاقة مع ارتفاع عمود السائل أو السدادة الرملية المتوضعة لتلك النطاقات.



الشكل (4-10) يوضح قاع البئر الذي يخترق عدة نطاقات منتجة غير متجانسة

- 1- عمود من السائل أو الرمل. 2- حذاء مواسير الإنتاج.
- 3- سقف الطبقة المنتجة. 4- أسفل الطبقة المنتجة.

في النطاق (I) و (II) سوف يحدث هبوط واضح للضغط وتقدم المياه المحيطة وبالمقابل في النطاقات (III) و (IV) فإن الاحتياطي يحافظ على قيمته الأولية تقريباً. في مثل هذه الحالة تتم مخالفة دورية الاستنزاف والإماهة من الأسفل نحو الأعلى. يُعين عمق حذاء مواسير الإنتاج في البئر من خلال اعتبار سرعة تيار الغاز القادم باتجاه نهاية مواسير الإنتاج من الأسفل إلى الأعلى في مواسير التغليف ومن الأعلى إلى الأسفل في الفراغ الحلقي متساوية أي $(v_B = v_H)$.

إذا افترضنا أن إنتاجية كل 1 متر من المجال المتقرب جزئياً العلوي والسفلي هي q_B, q_H . وإن طول الجزء العلوي هو L_B فيكون طول الجزء السفلي $(H - L_B)$ وبذلك نستطيع أن نكتب:

$$\frac{q_B \cdot L_B}{F_z} = \frac{(H - L_B) q_H}{F_c} \quad (4-9)$$

حيث أن:

$$F_z = \pi (D_k^2 - D_T^2) / 4 \text{ - مساحة مقطع الفراغ الحلقي}$$

$$F_c = \frac{\pi D_k^2}{4} \text{ - مساحة مقطع مواسير التغليف}$$

$$\frac{q_B}{q_H} = \frac{K_B}{K_H} = \bar{K} \quad (4-10)$$

وبذلك يكون:

$$\frac{H}{L_B} = 1 + \bar{K} \frac{D_k^2}{(D_k^2 - D_T^2)} \quad (4-11)$$

لتحليل العلاقة السابقة نفترض أن:

$$\bar{K} = 1 \quad , \quad D_T / D_k = \frac{1}{2}$$

من أجل هذه القيم يكون طول الجزء العلوي من الطبقة:

$$L_B = \frac{3H}{4\left(2 - \frac{1}{4}\right)} = 0.429H$$

وبالمقابل فإنه من أجل قيم أخرى:

$$\bar{K} = 2 \quad , \quad \frac{D_T}{D_k} = \frac{1}{2} \Rightarrow L_B = 0.2725H$$

فإن:

$$\bar{K} = \frac{1}{2} \quad , \quad \frac{D_T}{D_k} = \frac{1}{2} \Rightarrow L_B = 0.6H$$

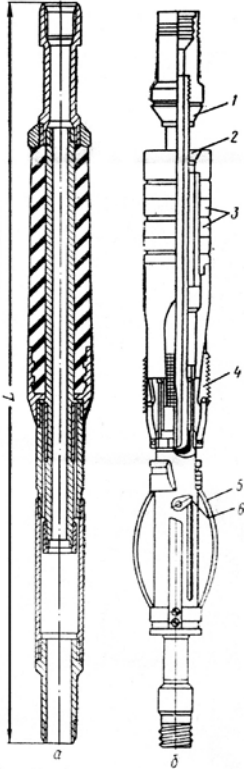
مما ذكر أعلاه يمكننا أن نستنتج:

إذا كانت الطبقة المنتجة متجانسة بالخواص البتروفيزيائية وذات سماكة قليلة $H < 10m$ فإن حذاء مواسير الإنتاج يمكن أن ينزل إلى منتصف المجال المثقب. أما إذا كانت الطبقة المنتجة متجانسة وذات سماكة كبير $H > 100$ فإن حذاء مواسير الإنتاج ينزل حتى العمق $\frac{1}{3}H$ اعتباراً من أول المجال المثقب من جهة الأعلى.

4-8- البواكر:

من أجل حماية مواسير التغليف الإنتاجية من تأثير الغاز والذي غالباً ما يحتوي على مواد ذات تأثير تآكلي (ميكانيكي وكيميائي) ومن تأثير الضغط العالي، يجب عزلها باستخدام باكر، حيث يثبت بينها وبين مواسير الإنتاج. كما تستخدم البواكر أثناء الإنتاج من عدة طبقات بآن واحد ومن أجل عزل جزأي الفراغ الحلقي أعلى وأسفل الباكر.

تختلف البواكر من حيث تركيبها وعدد عناصر العزل ومن حيث إمكانية رفعها من البئر بعد استخدامها، وبشكل عام فإنها تتكون من نفس الأجزاء: قسم العزل، صمام دوران، كلييس، لولب احتكاك، قسم التحرير. الشكل (4-11).



الشكل (4-11) يوضح أجزاء الباكر

a- باكر مع مرتكز على قاع البئر b- باكر معلق

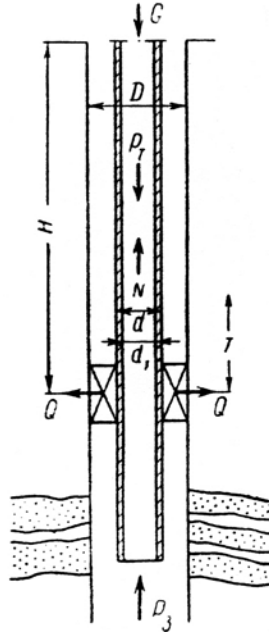
1- صمام دوران 2- رجل 3- المطاط العازل 4- كلييس (لقم تثبيت) 5- لولب احتكاك

4-8-1- الحمولات على البواكر:

تؤثر على البواكر المثبت في البئر الغازية مجموعة من القوى الموضحة

بالشكل (4-12):

- وزن مواسير الإنتاج G .
- القوى الناتجة عن ضغط القاع أسفل الباكر F'_z, F''_z .
- وزن الموائع داخل مواسير والفراغ الحلقي $P_T \cdot P_K$.
- N - قوة الاحتكاك الناتجة عن حركة الموائع داخل مواسير الإنتاج.
- T - قوة الاحتكاك بين الباكر ومواسير التغليف عند تثبيته.



الشكل (4-12) يوضح الحمولات التي يتعرض لها الباكر

لكي يحافظ الباكر على مكان تثبيته عند الإنتاج من البئر فإنه يجب أن يحقق:

$$F'_z + N - G - P_K \leq XT \quad (4-12)$$

وعندما تكون البئر مغلقة فإن:

$$F''_z - G - P_K - P_T \leq XT \quad (4-13)$$

$$F'_z = \frac{\pi(D^2 - d_1^2)}{4} P'_z \quad (4-14)$$

$$F''_z = \frac{\pi D^2}{4} P''_z \quad (4-15)$$

P'_z - الضغط في البئر عند مستوى تثبيت الباكر.

من أجل البئر العاملة تكون قيمة P'_z :

$$P'_z = P'_t + \frac{H \cdot \rho \cdot g}{10} + \Delta H_f \quad (4-16)$$

ومن أجل البئر المغلقة:

$$P''_z = P''_t + \frac{H \cdot \rho \cdot g}{10} \quad (4-17)$$

حيث أن:

P'_t - ضغط فوهة البئر العاملة.

ΔH_f - ضياع الضغط عند الجريان داخل مواسير الإنتاج.

P''_t - ضغط الفوهة الساكن.

$$P''_t = P'_t + \Delta H_f \quad (4-18)$$

قوى الاحتكاك عند جريان الغاز:

$$N = \Delta H_f \cdot F \quad (4-19)$$

F - المقطع الداخلي للمواسير.

تعطى قيمة ΔH_f حسب علاقة دارسي - مينباخ:

$$\Delta H_f = \lambda \cdot \frac{H}{d_1} \cdot \frac{\rho v^2}{2} \quad (4-20)$$

λ - معامل مقاومة الاحتكاك.

v - سرعة الجريان.

عندئذ فإن قوة الاحتكاك N تحسب بالعلاقة:

$$N = \lambda \cdot \frac{H}{d_1} \cdot \frac{\rho v^2}{2} \cdot F \quad (4-21)$$

وزن عمود المائع الموجود داخل مواسير الإنتاج P_T وفي الفراغ الحلقي P_k يحسب كما يلي:

$$P_T = \frac{\pi d_1^2}{4} \cdot \rho \cdot g H \quad (4-22)$$

$$P_k = \frac{\pi (D^2 - d^2)}{4} \cdot \rho \cdot g H \quad (4-23)$$

قيمة قوة الاحتكاك بين الباكر ومواسير التغليف، يُعبر عنها بالعلاقة:

$$T = T_1 \cdot f \quad (4-24)$$

حيث أن:

T_1 - قوة ضغط الجزء العازل ولقم التثبيت على جدار مواسير التغليف.

f - معامل الاحتكاك.

إذا أدخلنا مفهوم معامل ثباتية الباكر K الذي يبين نسبة قوة الاحتكاك بين الباكر ومواسير التغليف

إلى القوة التي تستطيع تحريكه من مكانه إضافة إلى تعويض قيم الحدود المشكلة للعلاقات (4-15)

و (4-16) نحصل:

$$\frac{k}{f} \left[\frac{\pi (D^2 - d_1^2)}{4} P'_z + \lambda \frac{H}{d_1} \cdot \frac{\rho v^2}{2} \cdot F - G - \frac{\pi (D^2 - d^2)}{4} H \rho g \right] \leq T_1 \quad (4-25)$$

$$\frac{k}{f} \left[\frac{\pi D^2}{4} P''_z - G - \frac{\pi (D^2 - d^2)}{4} H \rho g - \frac{\pi d_1^2}{4} H \rho g \right] \leq T_1 \quad (4-26)$$

