$$P_{4I}=\frac{2\pi k h}{b u.\ln\frac{Rc}{rs}} \qquad Cm^2/s.at$$

$$P_I=\frac{23{,}6\, k h.\gamma}{b\mu\log\frac{Rc}{rs}} \qquad (\tau/24h.at)$$

يمكن تعيين معامل الإنتاجية بواسطة منحنيات خاصة يتم الحصول عليها من بحث الآبار أما سماكة الطبقة فتعين بواسطة القياسات الجيوفيزيائية البئرية وبقية العوامل يتم الحصول عليها من معطيات التحاليل بواسطة جهاز P . V . T أو من العلاقات التحليلية.

ولا بد من التأكيد أن الهدف الرئيسي من بحث الآبار هو تعيين معادلة الجريان للموائع من الطبقة إلى البئر حيث يعتبر هذا الجريان هو جريان مستوٍ نصف قطري لسائل متجانس وغير انضغاطي ومن خلال تفسير منحنيات ارتفاع ضغط قعر البئر يمكننا معرفة ما يلي:

1- تقدير نفوذية المنطقة المجاورة للبئر

2- تقدير ضغط الطبقة الحاملة للبترول والغاز

3- تعيين مدى تأثير المنطقة المجاورة للبئر / تلوث هذه المنطقة /

4- اختيار طريقة إنتاج مناسبة وكذلك اختيار طريقة من طرق زيادة نفوذية الطبقة الحاملة.

الفصل الثاني
تحضير البئر للانتاج

نقصد بتحضير البئر للإنتاج مجموعة العمليات التي تنجز منذ لحظة وصول رأس الحفر إلى الطبقة الحاملة وحتى وضع البئر في الإنتاج حسب طريقة الإنتاج المختارة بكل دقة وعلمية.

2-1- اختراق الطبقة الحاملة:

إن الاختراق الصحيح للطبقة الحاملة يجب أن يحقق الشروط التالية:

1- أن تكون كمية المياه الحرة (فاقد الرشح) التي تدخل الطبقة الحاملة قليلة

2- أن تكون سماكة كعكة الحفر صغيرة

3- أن يكون الوزن النوعي لسائل الحفر ذو قيمة معينة بحيث يكون ضغط عمود الطفله أكبر بقليل من ضغط الطبقة

4- أن تكون الأملاح المنحلة في طفله الحفر قليلة كي لا تؤثر في القياسات الجيوفيزيائية مستقبلاً.

حجم فاقد الرشح يعطى بالعلاقة:

$$V = \sqrt{\frac{t}{m}}$$

t : الفرق الكلي للرشح بالثانية

m: عامل يعتمد على الخواص الفيزيائية للكعكة على جدران البئر وشروط الرشح .

V: حجم فاقد الرشح خلال الزمن t

لذا يعالج سائل الحفر من خلال إضافات معينة للتقليل من حجم فاقد الرشح مثل C . Mc مع انقاص فرق الضغط بين الطبقة وقاع البئر

2-2 إنزال مواسير التغليف الإنتاجية:

تعتبر عمليات الحفر منتهية عند الوصول إلى العمق النهائي للبئر حيث تبدأ عمليات الإنهاء للبئر وأولها إنزال مواسير التغليف وذلك بهدف:

1- إحداث قناة دائمة لنقل السوائل الطبقية إلى السطح.

2- عزل الطبقات المخترقة.

3- إغلاق المجالات التي يمكن أن تسبب بعض المشاكل، تهدّم – تهريب

4- تأمين تنفيذ عمليات الإصلاح اللاحقة للبئر.

الجزء المثقب من هذه المواسير تسمى مصفاة البئر كما أن مواسير التغليف في البئر المنتج يتم على عدة مراحل وأهمها عملية انزال مواسير التغليف الانتاجية. مواسير التغليف السطحية تنزل إلى اعماق ما بين 200- 400 متر ويتحدد العمق حسب خصائص العمود البتولوجي المخترق والهدف عزل المياه السطحية والصخور الهشة حيث يتم حفر هذا المجال بسرعة وعزلها مباشرة.

أما مواسير التغليف الوسطية فيتم إنزالها حسب الخصائص الجيولوجية والخزنية لعمود البئر بهدف المحافظة على بعض الطبقات الحاملة للبترول، أما مواسير التغليف الانتاجية فيتم إنزالها بعد إنهاء عملية الحفر ويتم التغليف بمواسير تغليف ذات مقاومة وقياسات معروفة بما يؤمن أهداف عملية التغليف إضافة إلى الأخذ بعين الاعتبار الاجهادات التي تتعرض لها هذه المواسير من جهد شد والضغط الخارجي والداخلي ومقاومة هذه المواسير الحدية لهذه الاجهادات حيث يتم حسابها عن طريق علاقات خاصة بها.

وحسب وضع مواسير التغليف ضمن البئر فإننا نميز ثلاث طرق:

1- الانهاء المغلق: Cased hole: حيث يتم إنزال مواسير التغليف حتى عمق البئر النهائي. الشكل (2-1) وله عدة أنماط:

أ- مواسير التغليف تثبت حتى نهاية الطبقة المنتجة دون سمنتة ولمنع سقوط الاسمنت مقابل الطبقة المنتجة يتم تثبيت باكر مواسير.

من محاسن هذه الطريقة أن زمن الإنهاء أقل ذلك لأن مصفاة البئر تنزل مع مواسير التغليف التي يتم تثقيبها مقابل المجال المنتج.

ولكن سيئاتها : 1- الطبقة المنتجة تبقى على تماس مع سائل الحفر .

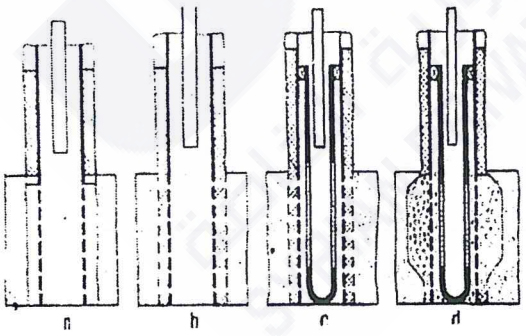
2- لا يمكن إجراء المعالجة المنفصلة للطبقات الحاملة ذات الخواص البتروغرافية المختلفة

3- إن عزل المياه الطبقية أو الغازات من القبعة الغازية عملية صعبة .

ب- مواسير التغليف تنزل حتى نهاية المجال الحامل وكذلك السمنتة لكامل عمود مواسير التغليف وهي الأكثر شيوعاً واستخداماً في تغليف الطبقة الحاملة ومن حسنات هذا النمط أنه يمكننا من الإنتاج المنفصل وعزل المياه الطبقية وأهم سيئاتها عدم الحصول على سطح رشوحة نظيف وتلوث المنطقة المجاورة للبئر بسبب فاقد الرشح من الاسمنت.

جـ - وهو نمط مماثل للحالة (ب) مضافاً إليها ماسورة مثقبة مصنوعة على السطح مثبتة بباكر حيث يتم استخدام هذا النمط في الطبقات الحاملة غير القاسية الرخوة وخاصة الرملية منها.

د- النمط الأخير مماثل للحالة جـ مضافاً إليها مصفاة ثانوية لمنع دخول الرمال والأوساخ إلى قاع البئر.

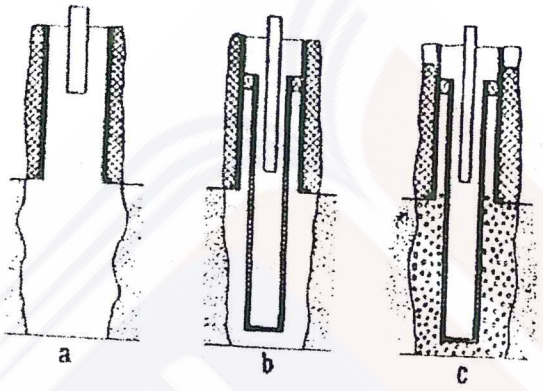


الشكل (2-1)

تغليف الآبار الإنتاجية حتى قاعدة الطبقة الحاملة

2- الإنهاء المفتوح: Open hole

حيث يتم حفر البئر إلى أعلى الطبقة المنتجة ومن ثم إنزال مواسير التغليف الإنتاجية إلى أعلى الطبقة المنتجة ثم متابعة الحفر في الطبقة المنتجة إلى العمق النهائي المطلوب وترك هذا المجال مفتوحاً دون تغليف. الشكل (2-2)



الشكل (2-2)

الإنتاجية فوق الطبقة الحاملة للبترول والغاز

محاسن هذه الطريقة:

1- سطح رشوحة كبير ومعامل إنتاجية جيد.

2- إمكانية توسيع قطر البئر مقابل الطبقة الحاملة.

3- إمكانية استخدام مصافي حصوية.

4- تخفيض تكاليف الإنتاج لعدم الحاجة إلى التغليف والتثقيب أمام المجال الحامل .

ومن مساوئ هذه الطريقة:

1- زيادة زمن الحفر حيث يتم انتظار تصلب الإسمنت فوق المجال الحامل .

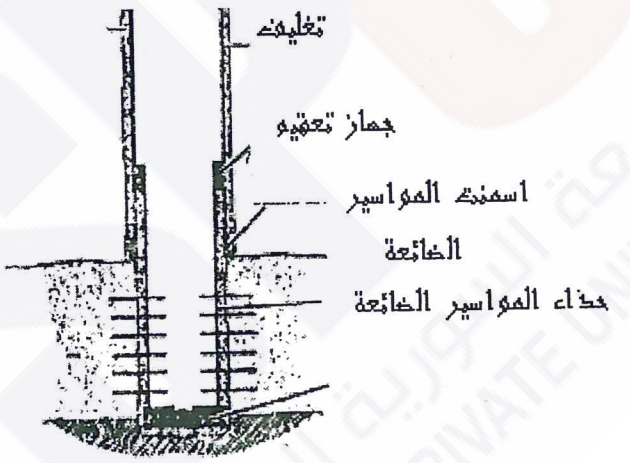
2- زيادة عمليات تنظيف قاع البئر من الأوساخ.

3- عدم إمكانية إجراء المعالجة المنفصلة في حال وجود أكثر من مجال حامل للنفط .

4- عدم إمكانية عزل المياه الطبقية في حال ظهورها أو الغازات من القبعة الغازية.

3- الإنهاء باستخدام مواسير الانتاج الضائعة Liner

حيث يتم إنزال مواسير التغليف إلى عمق محدد حيث تثبت هذه المواسير ثم يتابع إنزال مواسير التغليف بقطر أصغر بواسطة مواسير الحفر إلى العمق النهائي المطلوب. بحيث يوجد تداخل مع مواسير التغليف الإنتاجية بطول محدد ويتم تعليق هذه المواسير مع مواسير التغليف الإنتاجية . شكل (2-3).



الشكل (2-3)

في الآبار الأفقية يتم تثقيب المواسير الضائعة على السطح ثم إنزالها في كامل الجزء الأفقي وقسم من الجذع المائل حتى أعلى الطبقة المنتجة ثم تتبع هذه المواسير بمواسير غير مثقبة حتى ارتفاع محدد في الجذع العمودي.

3-2 مصافي الآبار الإنتاجية:

هي جزء من مواسير التغليف المثقبة والغاية منها المحافظة على جدران الطبقة الحاملة والسماح بعبور السوائل من الطبقة إلى البئر وتقسم من حيث طريقة صنعها إلى قسمين:

1- مصافٍ تصنع مباشرة في البئر من خلال تثقيب مواسير التغليف مقابل الطبقة المنتجة ولها المحاسن التالية:

1- تحقيق عزل الطبقات المائية المتداخلة مع الطبقة الحاملة وذلك بتثقيب المجال الحامل للنفط.

2- تمكننا من الإنتاج المنفصل.

3- الإسراع في وضع البئر في الإنتاج مع كلف قليلة.

2- مصافٍ تصنع على السطح:

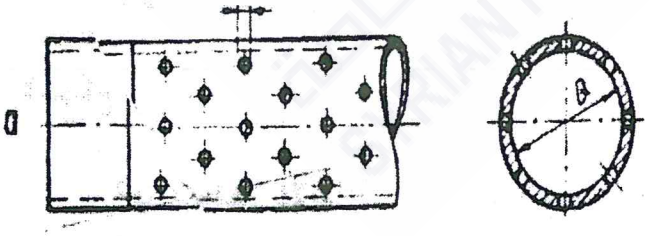
هي عبارة عن ماسورة حفر أو إنتاج تثقب على السطح وتنزل في البئر مقابل المجال الحامل للنفط ولها عدة أنواع:

1- مصافٍ ذات ثقوب دائرية وقطر الثقب 1.5- 20 مم .

2- مصافٍ ذات ثقوب أسطوانية وعرض الشق 0.4- 2 مم.

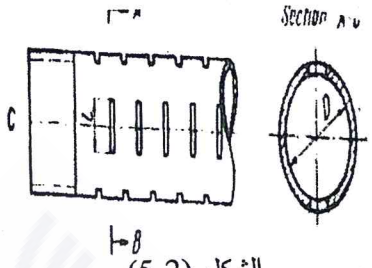
3- مصافٍ حلقية حيث يكون قطر الثقب 25 مم وحول هذه الثقوب حلقات متوضعة على محيط الماسورة.

4- مصافٍ من الرانتجانات. وهي عبارة عن أنبوبة إنتاج مثقبة حولها توجد طبقة من الرمل مثبتة بصموغ خاصة.



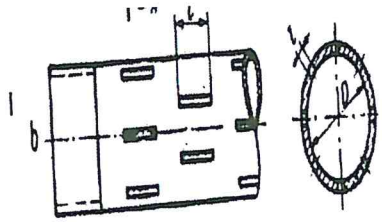
الشكل (2-4)

المصافي ذات الثقوب الدائرية



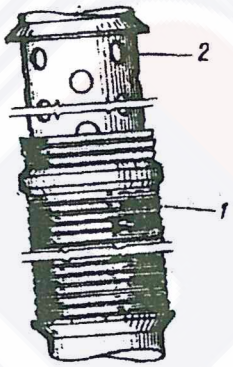
الشكل (2-5)

سلاسل عرضية من الثقوب الأسطوانية



الشكل (2-6)

سلاسل عمودية من الثقوب الأسطوانية



الشكل (2-7)

المصافي الحلقية

4-2 طرق تلافي دخول الرمال من الطبقة إلى قاع البئر:

إن دخول الرمال إلى قاع البئر من الطبقة الحاملة يؤدي إلى:

1- الإقلال من معدل الإنتاج.

2- الفعل الحتي للرمال داخل الطبقة وداخل مواسير الإنتاج.

3- تشكل الظاهرة الجلدية.

ولتلافي ذلك هناك عدة طرق وهي:

1- إنقاص معدل الإنتاج لإنقاص سرعة جريان السائل وبالتالي منع تحرك الرمال وهي طريقة غير متبعة.

2- تغيير نظام الإنتاج.

3- استخدام مصاف خاصة.

4- إدخال الرمال أو الحصى في المنطقة المجاورة للبئر.

5- تثبيت الرمال في الطبقة بواسطة الصموغ وهي الأفضل.

وهذه الصموغ هي من نوع فينول فورمالدهيد – صموغ الكيدية – بوليسترينات ويجب أن يتحقق في هذه الخليطة الصمغية الشروط التالية:

1- ذات لزوجة صغيرة.

2- أن تنفصل في الطبقة إلى جزئيها الماء والصمغ .

3- أن تبلل بشكل جيد الحبيبات الرملية داخل الطبقة وبالتالي تحقيق تماسك الحبيبات الرملية بشكل جيد.

5-2 الباكـــر Packer

هو جهاز يمنع مرور السائل ما بين مواسير الإنتاج أو الحفر ومواسير التغليف أو ما بين مواسير الحفر أو الإنتاج وجدران الطبقة الحاملة وله نوعان:

1- باكر المواسير: وهو الذي يمنع جريان السوائل في الفراغ الحلقي ما بين مواسير الحفر أو الإنتاج ومواسير التغليف.

2- باكر الطبقة: وهو الذي يمنع الجريان في الفراغ ما بين مواسير الحفر أو الإنتاج وجدران الطبقة وحسب طريقة الاستعمال إما أن يكون باكر دائم أو باكر مؤقت.

يتم تثبيت الباكر من خلال:

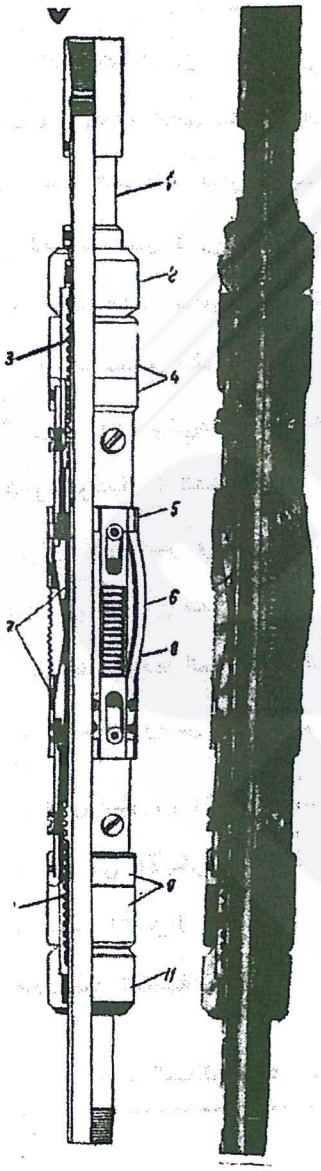
1- القوى الضاغطة الناتجة عن ترك جزء من مواسير إنزال الباكر على الباكر نفسه.

2- تحت تأثير فرق الضغط في الفراغ الحلقي فوق وتحت الباكر.

3- تحت تأثير القوى الهيدروديناميكية أو القوى الميكانيكية .

وهناك علاقات رياضية تحدد قيمة القوة ذ اللازم تركها على الباكر ليتم انتفـاخ كاوتشوك الباكر وتحقيق الالتصاق والعزل الجيد وكذلك علاقات تحدد قيمة تحريره.

ونذكر هنا لمحة عن الباكر الذي يثبت ميكانيكياً.



يتم تثبيت هذا النوع من البـواكير بفتـل مواسير الانزال . البـاكر يحـوي علـى القفص 5 الذي يبقى مثبتاً على مواسـير التغليف بسبب ضغط القطع البلاستيكية 6 والماسورة (1) تصل ما بين الباكر وبين مواسير الانزال. وهـذه الماسـورة (1) مجهـزة بشـرارين: الأول علـوي (1) والثاني سفلي (3) بجهتـين متعاكسـتين مقابل كل شرار توجد وصلات مجهزة في نهايتها بمخاريط عازلة (2).

(11) وفي الجهة المقابلة للوصلات توجد القطعة (7) (عتلة) التي تؤثر على القطع الكاوتشوكية (8) . من خلال فتل مواسير الانزال من على السطح ونحـو اليسـار سوف يتم فتل الماسـورة (1) وبالتـالي الشكل (2-8) البـاكر الـذي يتسـبب ميكانيكيا (tip Brown)

المخروط (2) يتحـرك نحـو الأسـفل والمخروط (11) نحو الأعلى وذلك نتيجة وجود شرارين متعاكسين.

إن نظام العتلة (7) التي تتحرك على سطح مخروطي تحت القطع الكاوتشوكية (8) سوف يدفع هذه القطع الكاوتشوكية
نحو مواسير التغليف وبالتالي تعمل على تثبيت الباكر. وبنفس الوقت فإن مخاريط العزل (11.2) تدخل ضمن القطع (4.9) وتعملان على انتفاخهما وبالتالي عزل الفراغ الحلقي.
من خلال فتل مواسير الإنزال نحو اليمين فإن الوصلتين سوف تتحركان باتجاهين متعاكسين وبالتالي يتم تحرير الباكر.
لإجراء عملية فتح الباكر المنزل في البئر يجب اتباع الخطوات التالية:
1- إجراء دوران للبئر وطرح سائل القتل وتبديله بسائل ذي وزن نوعي أقل لخلق فرق ضغط يسمح بتدفق السوائل من الطبقة وضخ سائل حفظ بحجم الفراغ الحلقي في فراغ مواسير التغليف.
2- إنزال صمام الإغلاق إلى مقعده المخصص تحت الباكر بواسطة وحدة الرفع والإنزال وتثبيته في مكانه (صمام عدم رجوع أو صمام مرحلتين) ورفع أجهزة الإنزال.
3- توصيل خط آلية الضخ إلى مواسير الإنتاج واختبارها بضغوط تساوي 1,5 مرة من ضغوط العمل وتشكيل ضغط ضمن مواسير الإنتاج ويتعلق هذا الضغط بعدد المسامير الموجودة في الباكر والتي يلزم كسرها حيث يتم كسر هذه المواسير وتحرير لقم تثبيت الباكر وانضغاط الكاوتشوك العازل وانتفاخه ليتم عزل فراغ مواسير التغليف.
4- تنفيس الضغط من مواسير الإنتاج.
5- ربط خطوط آلية الضخ [الأكريكات] على مواسير التغليف واختبار عازلية الباكر بحدود 50 ضغط جوي وفي حال ثبات الضغط يكون قد تم تثبيت الباكر بشكل جيد.

6- إنزال أجهزة اصطياد صمام الإغلاق بواسطة وحدة الرفع والإنزال واصطياد ورفع صمام الإغلاق وفي هذه الحالة يمكن أن يبدأ البئر بالتدفق.

7- في حال حصول تدفق وإنتاج البئر يتم إنزال صمام الأمان إلى مقعده الخاص بوضعية الفتح.

8- ربط خط مضخة الهيدروليك مع صمام أبري "$\frac{1}{2}$ موجود على فلنجة الشجرة والمتصل بدوره مع خط "$\frac{1}{4}$ الواصل إلى مقعد صمام الأمان .

9- تشكيل ضغط بواسطة المضخة اليدوية على صمام الأمان يزيد عن ضغط رأس البئر بحدود 2000-1500 PSI مما يؤدي إلى إبقاء صمام الأمان مفتوحاً.

10- إغلاق الصمام الإبري "$\frac{1}{2}$ على فلنجة الشجرة لمنع تنفيس الضغط من خط الـ"$\frac{1}{4}$ الموصول مع تفقد مقعد صمام الأمان .

11- رفع جهاز إنزال صمام الأمان.

12- تشغيل البئر ومراقبته.

والجدير بالذكر أن هناك بعض البواكير التي يتم فتحها بواسطة صمام عدم الرجوع الذي يثبت على مقعد خاص به.

وهناك بعض البواكير غير القابلة للإرجاع لها مجموعة واحدة من اللقم المتوضعة في القسم السفلي للباكر حيث يتم فتح هذا الباكر هيدروليكياً عن طريق تطبيق ضغط ضمن مواسير الإنتاج حيث يغلق الصمام الذي يتم إنزاله بواسطة وحدة الرفع والإنزال وتثبيته في مقعده وتتعلق قيمة الضغط المطلوبة بعدد المسامير الموجودة في الباكر والتي يتم كسرها بواسطة هذا الضغط حتى يتم تحرير اللقم وانتفاخ كاوتشوك العازل ليتم العزل المطلوب وقد يصل عدد المسامير إلى ثمانية وضغط كسر المسمار الواحد بحدود 800 Psi ويستدل على

فتح الباكر بحدوث صدمه هيدروليكية تلاحظ على مؤشر الضغط وحدوث ذبذبة على نفس المؤشر.

وهنا يجب مراعاة مكان توضع كالات مواسير التغليف لتفادي تثبيت الباكر على إحداها واختيار نوع الباكر المناسب لقطر ووزن مواسير التغليف.

6-2 تثقيب البئر المنتج:

وهي إحدى الخطوات الهامة من خطوات وضع البئر في الإنتاج وتتم في الآبار المغلقة لإيجاد الصلة ما بين الطبقة الحاملة وقاع البئر عن طريق ثقوب تخترق مواسير التغليف والغلاف الإسمنتي وتدخل في الطبقة المنتجة 25-40 سم ويتم تحديد عدد الثقوب في المتر الطولي وقدرة اختراق الطلقات حسب سماكة جدران المواسير التغليفية والاسمنت ومواصفات الطبقة الخازنة.

سابقاً كانت تستخدم طلقات تشبه طلقات المسدس الحربي ثم طلقات ذات الحشوة الجوفاء shaped charges ويتم حالياً تنفيذ عملية التثقيب بواسطة جهاز التثقيب gun.

1-6-2 تقنيات عملية تثقيب الآبار:

1-1-6-2 تطبيق الضغط المعاكس والضغط الموجب في عمليات التثقيب:

لقد تم التوصل حالياً إلى أفضل إجراءات التثقيب عبر ما يلي:

1- استخدام جهاز تثقيب كبير مع توزع طوري للطلقات على كامل محيط البئر Molti Face مثل جهاز تثقيب (4 انش) من أجل مواسير تغليف بحدود(7انش) بدلاً من توضع الطلقات على جهة واحدة Zero Face.

2- تطبيق ضغط تفاضلي على المجال المثقب Under balan ce من اجل حصول تدفق فوري من الطبقة إلى البئر مباشرة بعد إجراء عملية التثقيب (تثقيب بالضغط المعاكس حيث ضغط الطبقة أكبر من ضغط قاع البئر) وذلك عن طريق إنقاص مستوى السائل الموجود ضمن مواسير التغليف لحد

معين يتعلق بكمية الضغط المراد إنقاصه عن ضغط الطبقة المتوقع ويتم ذلك باستخدام ضاغط إحياء هوائي لهذا العمل.

- إن تحقيق وجود ضغط تفاضلي على المجال المثقب يتطلب وجود تجهيزات ضغط على رأس البئر ووجود تشكيلة مواسير إنتاج في البئر تنزل إلى أعلى المجال المطلوب تثقيبه بحدود 50 متر لأنه من المحتمل حدوث تدفق من الطبقة المنتجة إلى البئر ومنه إلى السطح بعد عملية التثقيب مباشرة دون الحاجة إلى عمليات تحسين وإحياء.
- في حالة التثقيب بجهاز كبير القطر لا نستطيع تحقيق ضغط تفاضلي على المجال المثقب لأن هذا الأمر يتطلب وجود مواسير إنتاج في البئر. وبالتالي استحالة إنزال جهاز تثقيب كبير القطر وهنا لا يمكن إجراء تدفق من الطبقة إلى داخل البئر وإنما قد يحدث العكس أي جريان سائل البئر من خلال الثقوب إلى الطبقة.
- في حالة التثقيب بجهاز صغير القطر من خلال مواسير الانتاج واستخدام تجهيزات الضغط بهدف تحقيق التثقيب مع وجود ضغط عكسي نستطيع تحقيق تدفق من الطبقة إلى داخل البئر ولكن يبقى الجهاز بعيداً عن جدران البئر " سطح مواسير الإنتاج الداخلي " .

لقد تم تطوير جهاز تثقيب حديث مجهز بطلقات وبعد أن تنفجر هذه الطلقات فإن الغازات المطلقة في عملية التفجير تقوم بتنظيف الثقوب المحدثة.

في الآبار المائلة يتم إنزال جهاز التثقيب بواسطة مواسير إلى المجال المراد تثقيبه.

2-1-6-2 عملية تثقيب الآبار المائلة:

تتم هذه العملية بعدة طرق:

أ- طريقة التثقيب الميكانيكية: وتتم عن طريق إنزال قضيب معدني ضمن مواسير حيث يسقط بشكل حر حتى يصطدم بالصاعق.