الجمهورية العربية السورية
الجامعة السورية الخاصة
كلية هندسة البترول

الجامعة السورية الخاصة
SYRIAN PRIVATE UNIVERSITY

تصميم وحدة حفر لحفر بئر استكشافي بعمق 4000 متر

دراسة أعدت لنيل درجة الإجازة في هندسة البترول

إشراف الدكتور

محمود مصطفى حديد

إعداد الطلاب

وائل عبد الرحمن الحسن سعد محسن سعيد

علي محمد ياسر الأحمد

العام الدراسي 2024/2023

بِسْمِ ٱللَّهِ ٱلرَّحْمَٰنِ ٱلرَّحِيمِ

قَالَ تَعَالَىٰ:

﴿ نَرْفَعُ دَرَجَٰتٍ مَّن نَّشَآءُ ۗ وَفَوْقَ كُلِّ ذِى عِلْمٍ عَلِيمٌ ﴿٧٦﴾ ﴾

صدق الله العظيم **سُورَةُ يُوسُفَ**

الإهداء.....

إلى منارات الهدى في مسيرتي العلمية

إلى من زرعوا فينا بذور الفضول و رووها بالصبر و المثابرة

إلى العميد الفاضل الذي بحكمته و قيادته الرشيدة قاد سفينة العلم في رحلة معرفية مثمرة

الدكتور أيمن شقوف

بكل الحب و الإحترام أهدي هذا الإنجاز الى مشرفي الفاضل

شكراً لك على صبرك و حكمتك و مساندتك المستمرة لقد كنت المرشد و المعلم الحقيقي في هذه المسيرة و أتطلع إلى أن يكون هذا المشروع خطوة نحو مستقبل مشرق في خدمة المجتمع و العلم

الدكتور محمود مصطفى حديد

إلى المرشد الفكري و العلمي الذي لا يضاهى إلى الجيولوجي الفذ الذي أرشدنا في متاهات الأرض و أسرارها بعلمه الغزير صاحب القلم الرصين و الفكر الثاقب الذي علمنا كيف نقرأ أسرار الطبيعة و نستلهم من الأرض دروس الحياة لقد كنت لنا بمثابة البوصلة في رحلة البحث العلمي تنقل بين طيات الصخور قصص الزمان و تفسر لنا بلغة العلم معاني الأمكنة بفضلك تعلمنا كيف نستخرج العبر من الحجر و نرى في الرمل ما لا يراه الآخرون أهدي اليك هذا العمل معبراً عن بالغ امتناني و عرفاني لكل لحظة قضيتها معنا

جزاك الله خيراً على كل ما قدمت و اسأله تعالى أن يجعله في ميزان حسناتك

الدكتور يوسف رضوان

وإلى أساتذتي الأجلاء الذين كانوا لي بمثابة النبراس

الدكتور جان سعد و الدكتور رياض الغزي و الدكتور مفيد العفيف و الدكتور عدنان البارودي و الدكتور رياض طيفور و الدكتور عبد الناصر هلال و الدكتور جليل ضمد و الدكتور حسين احمد و المهندس راتب جمول و المهندس حسن عايد و المهندسة هناء حلواني و المهندسة منى العسكري

الذين أثروا عقولنا بالعلم و الفكر النير

أهدي هذا العمل بكل فخر و اعتزاز تقديراً لجهودكم الجلية و عطائكم الذي لا ينضب جزاكم الله خيراً و بارك في عملكم و علمكم

و اسأله تعالى أن يجعل هذا العمل خالصاً لوجهه الكريم

* * *

بِسْمِ ٱللَّهِ ٱلرَّحْمَٰنِ ٱلرَّحِيمِ

قَالَ تَعَالَى:

﴿ وَإِنَّكَ لَعَلَىٰ خُلُقٍ عَظِيمٍ ۝٤ ﴾

صدق الله العظيم **سُورَةُ القَلَمِ**

أهدي ثمرة جهدي المتواضع إلى من وهبني الحياة و الأمل و النشأة على شغف المحبة و العلم براً و احساناً و وفاءاً لهما

والدي العزيز و والدتي العزيزة

إلى من وهبني الله نعمة وجودهم في حياتي إلى العقد المتين من كانوا عوناً في رحلتي

إخواني و أخواتي

إلى من كاتفني و نحن نشق الطريق معاً نحو النجاح في مسيرتي العلمية

إلى زملائي الذين ساروا معي في هذه الرحلة العلمية التي كانت مليئة بالتحديات و الإنجازات و كل خطوة قطعناها كانت تعزز من عزيمتنا و تقوي من أواصر صداقتنا

و أخيراً إلى كل من ساعدني من أقاربي و أصدقائي و زملائي و كان له دور من قريب أو بعيد في إتمام هذه الدراسة

سائل المولى أن يجزي الجميع خير الجزاء في الدنيا و الآخرة

ثم إلى كل طالب علم سعى بعلمه ليفيد الإسلام و المسلمين بكل ما أعطاه الله من علم و معرفة.

* * *

فهرس البحث

مقدمة **1**

الفصل الأول: المخطط العام لوحدة الحفر ومكوناتها **3**

1-1- آلية عمل الحفر الدوراني 4

1-2- مكونات وحدة الحفر الدوراني 5

1-2-1- مجموعة القوى المحركة 5

1-2-2- مجموعة الحفر الميكانيكية 8

1-2-3- مجموعة الحفر الهيدروليكية 11

1-2-4- مجموعة الرفع والإنزال (Hoisting System) 14

1-2-5- أجهزة التحكم والسيطرة (Control System) 18

1-2-6- مجموعة المعدات المساعدة (Auxiliary Equipment) 19

1-2-7- أجهزة القياس (Instruments) 20

الفصل الثاني: أسس اختيار وتصنيف وحدات الحفر **22**

2-1- متطلبات الاستخدام والمتطلبات التكنولوجية 23

2-2- العوامل المؤثرة في إنتاجية وحدة الحفر 24

2-2-1- العوامل التقنية (التصميمية) 24

2-2-2- العوامل الجيولوجية 25

2-2-3- العوامل التكنولوجية 25

2-2-4- العوامل الإدارية 25

2-3- الجدوى الاقتصادية لاختيار وحدة الحفر وأجزائها 26

2-3-1- المردود المفيد لوحدة الحفر 26

2-3-2- المبادئ العامة لاختيار مواصفات وحدة الحفر وأجزائها 27

المرحلة الأولى: إنزال الدقاق الجديد إلى قعر البئر 27

المرحلة الثانية: عملية الحفر والعمليات المرافقة لها 28

المرحلة الثالثة: إخراج الدقاق المستهلك من البئر 29

2-4- طبيعة التحميل 29

2-4-1- تحميل مجموعة الرفع..... 29
2-4-2- تحميل المنضدة الرحوية 30
2-4-3- تحميل مضخات الحفر 31
2-5- مؤشرات وحدة الحفر 31
2-5-1- الحمولة (Load)..... 31
2-5-2- عمق الحفر (Well Depth) 32
2-5-3- غزارة مضخات الحفر (Discharge of Pumps)..... 32
2-5-4- الضغط على مخرج المضخات (Outline Pump Pressure) 32
2-5-5- سرع الرفع (Hoisting velocity)..... 33
2-5-6- سرعة المنضدة الرحوية (Rotary speed)..... 33
2-5-7- استطاعة وحدة الحفر (Drilling Rig Capacity)..... 33
2-5-8- طول مقطع المواسير ووزنه (Stand)..... 34
2-5-9- قياسات برج الحفر (Derrick Dimensions)..... 34
2-6- تصنيف وحدات الحفر الدوراني 35
2-6-1- الحمولات والأعماق المصممة لها 35
2-6-2- طبيعة حركتها الانتقالية بين مواقع الآبار 36
2-6-3- طبيعة موقع عملها 37
الفصل الثالث: القسم العملي 38
3-1- معطيات البئر المدروس (صدد-11)..... 39
3-2- اختيار الجهاز الرافع (Drawworks)..... 43
3-2-1- حساب استطاعة الجهاز الرافع..... 43
3-3- اختيار المنضدة الرحوية (Rotary table)..... 47
3-3-1- حساب استطاعة المنضدة الرحوية..... 47
3-3-2- حساب قطر فتحة المنضدة الرحوية 52
3-3-3- حساب الحمولة المستقرة المسموح بها..... 52
3-3-4- عدد دورات المنضدة الرحوية..... 54
3-4- اختيار المنضدة الرحوية 55
3-4-1- حساب استطاعة مضخات سائل الحفر 55

3-5- اختيار الرأس الهيدروليكي (Swivel)..... 58
3-5-1- اختيار وحدة الحفر المناسبة لحفر البئر (Drilling Rig)..... 60
النتائج والمقترحات 62
الجداول الملحقة..... 65
المراجع العلمية 70
أ- المراجع العربية 70
ب- المراجع الأجنبية 70

مقدمـــــة

لـم يعد الـنفط مصـدرًا هامًّـا للطاقـة فقط بـل أصـبح يُستخدَم للحصـول علـى المركّبـات والمواد الكيميائية الضرورية، ولهذا الغرض ظهرت الصناعة النفطية في منتصف القرن التاسع عشر ثم تطورت بشكل كبير لتصبح إحدى الدعائم الأساسية التي ترتكز عليها الحضـارة الإنسـانية، وسـاعد علـى تطورهـا اسـتخدام الآلات الحديثـة وتطـور الإمكانـات البشرية، وتؤمن الصناعة النفطية الاحتياجات الأساسية للشعوب في الكثير من مجالات الحياة كالطب والزراعة وصناعة اللدائن والبلاستيك.

ولإجراء عمليات الحفر والإنتاج نحتاج إلى الأجهزة والمعدات التي تساعدنا على إنجاز هذه العملية بنجاح، ومن الأجهزة الرئيسية التي تم تناولها بالدراسة في هذا البحث نذكر الأجهزة الرافعة والمنضدة الرحوية ومضخات سائل الحفر وكذلك الرأس الهيدروليكي، حيث تم دراسة الحسابات التصميمية لهذه الأجزاء والتي من خلالها يتم اختيار نموذج كل جهاز ليتم فيما بعد اختيار وحدة الحفر المناسبة لحفر الآبار النفطية والغازية، وذلك وفقًا لهذه الأجهزة الرئيسية.

تضمنت دراستنا في هذا البحث على ثلاثة فصول:

أهم ما تناولـه الفصـل الأول هو التعرف علـى أجزاء وحدة الحفر الدوراني من خـلال دراسة كل من الأجهزة الرئيسية والمساعدة في وحدة الحفر.

أمـا فـي الفصـل الثـاني فقد تـم دراسـة الأسـس التـي يـتم بنـاءً عليهـا اختيـار وتصـنيف وحدات الحفر.

وفي القسم العملي تم توضيح الأسس الحسابية التصميمية التي يتم بناءً عليها اختيار الأجهزة المنفذة الرئيسية في وحدة الحفر، وفي هذا القسم قمنا باختيار وحدة الحفر المناسبة لحفر بئر صدد-11.

وأخيرًا تم توضيح أهم النتائج التي تم الحصول عليها في القسم العملي ووضع المقترحات للحصول على اختيار دقيق لوحدات الحفر المناسبة لحفر الآبار النفطية والغازية.

الفصل الأول

المخطط العام لوحدة الحفر ومكوناتها

الفصل الأول

المخطط العام لوحدة الحفر ومكوناتها

1-1- آلية عملية الحفر الدوراني:

تتكون عملية الحفر الدوراني للبئر من عمليات دورية تتابع وفق نسق ثابت ومحدد تتكرر حتى الانتهاء من عملية حفر البئر بكامله، وتشمل:

1. إنزال عمود المواسير المثبت بأسفله الدقاق إلى قعر البئر.
2. تدوير الدقاق لتفتيت التربة وتغلغله في جوف الأرض مع عملية دوران السائل لرفع الفتات المحفور.
3. زيادة طول عمود المواسير عند التغلغل في الحفر بإضافة قطع جديدة له.
4. رفع عمود المواسير عند استهلاك الدقاق لاستبداله مع عمليات غسيل البئر.
5. إنزال مواسير التغليف عند الانتهاء من حفر كل مرحلة من هيكلة البئر والقيام بعمليات السمنتة لتثبيتها مع جدران البئر.

ترافق هذه العمليات الدورية عمليات مساعدة أو طارئة منها:

- تنظيف وتحضير سائل الحفر ومعالجة خواصه حسب متطلبات الحفر.
- معالجة المشاكل والمضاعفات الحاصلة خلال عملية الحفر، سواءً على سطح الأرض أم في جوف البئر والتخلص منها.

في ضوء ذلك، يتضح لنا أن عملية حفر البئر تمثل مجموعة من العمليات المتشعبة والمتباينة في طبيعتها ومواصفاتها وطرق تنفيذها، لكننا وعلى الرغم من ذلك يمكن أن نحصرها بثلاثة محاور أساسية:

1. عملية حفر التربة والتغلغل في جوف الأرض حتى العمق المحدد.
2. عملية تنظيف قعر البئر وجوفها من فتات التربة المحفورة ورفعه وإخراجه إلى سطح الأرض.
3. عمليات الرفع والإنزال المرافقة لعمليات حفر التربة والضرورية لاستمرارية عمليات الحفر حتى العمق المطلوب.

تنفذ هذه العمليات، والعمليات المساعدة الأخرى المرافقة لها، بواسطة مجموعة كبيرة من الأجهزة والمعدات والمنشآت المختلفة التي تضمها وحدة الحفر.

1-2- مكونات وحدة الحفر الدوراني:

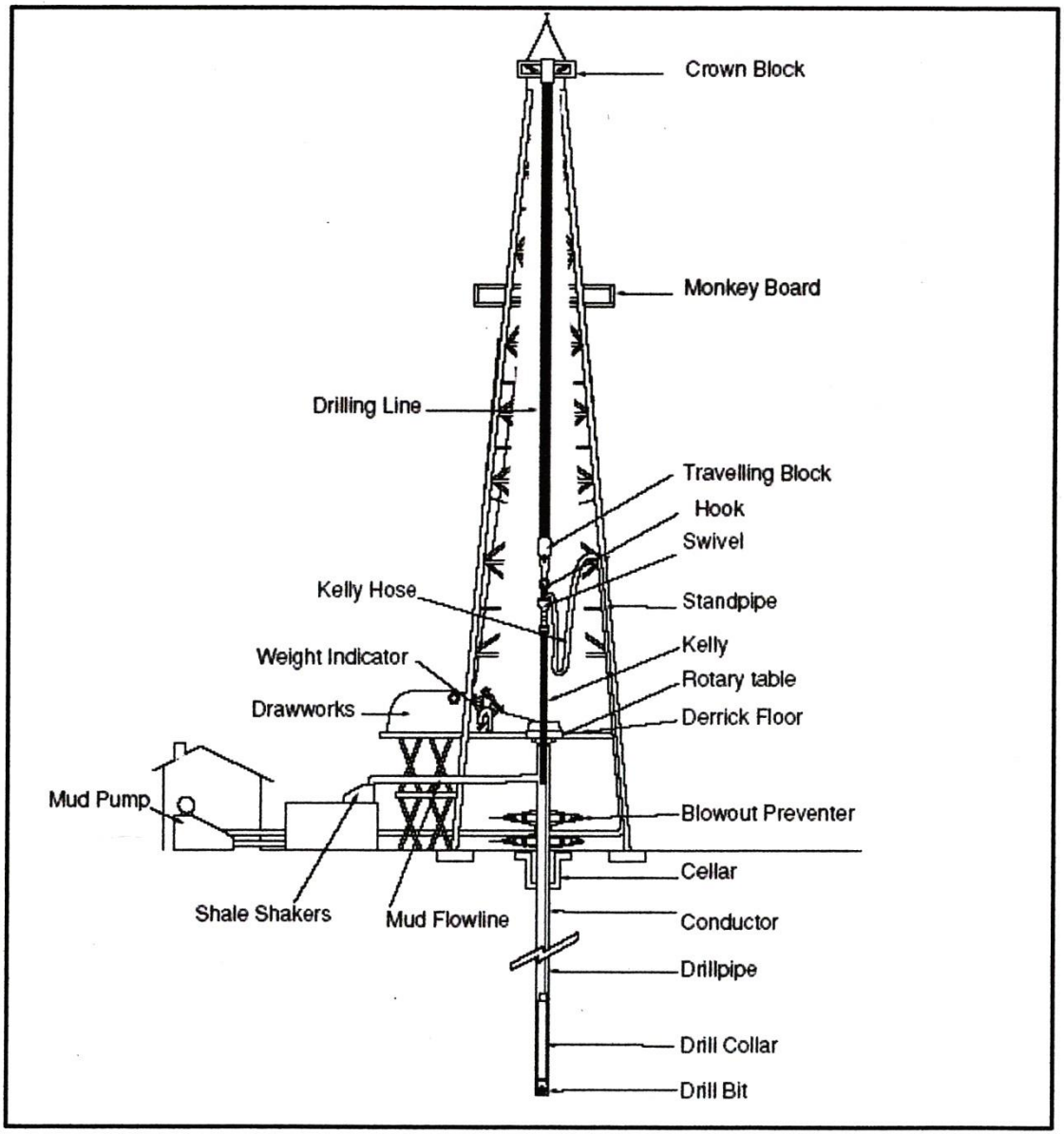
يمكن تقسيم وحدة الحفر الدوراني الموضحة في الشكل (1-1) إلى المجموعات التالية:

1-2-1- مجموعة القوى المحركة:

تتكون هذه المجموعة من أجهزة القوى المحركة، الشكل (1-2)، المتمثلة في المحركات التي تزود الأجهزة المنفذة بالاستطاعات والسرع والمطلوبة والأجهزة الناقلة للحركة والمنظمة للسرع الدورانية المطلوبة.

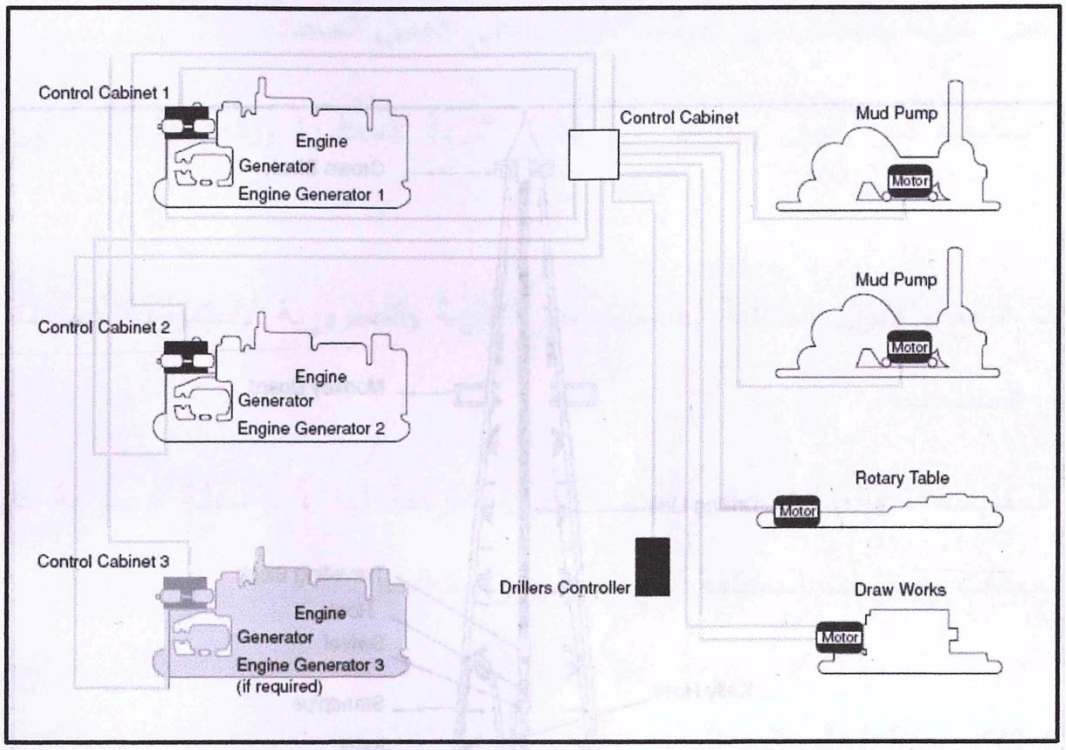
يستخدم في وحدات الحفر المحركات التالية:

1. المحركات البخارية (Steam Engine).
2. محركات الاحتراق الداخلي (الديزل) (Diesel Engine).
3. المحركات الكهربائية (Electric Engine).
4. المحركات العنفية (Turbine Engine).



الشكل (1-1) يبين أجزاء وحدة الحفر الدوراني

تعتبر المحركات البخارية من أوائل المحركات المستخدمة في وحدات الحفر، ونظرًا لحاجتها لأجهزة توليد البخار كالمراجل البخارية وخزانات المياه وأجهزة أخرى ذات كلفة عالية ومردود قليل نسبيًا، إضافةً إلى أن تحتل مع أجهزتها المساعدة مساحات كبيرة من موقع العمل لذلك فقد تم الاستغناء عن هذه المحركات كلِّيًا.



الشكل (1-2) يبين مجموعة القوى المحركة في وحدة الحفر

عند توفر الطاقة الكهربائية ورخص ثمنها، تستخدم المحركات الكهربائية كمصدر للقوى المحركة وتشغيل الأجهزة المنفذة. كما تستخدم بشكل واسع أيضًا وبشكل خاص في وحدات الحفر الثقيلة، محركات الاحتراق الداخلي (ديزل) لتوفر وقودها ورخصه ولمواصفاتها ومميزاتها الواسعة.

أما أجهزة نقل الحركة فهي:

1. قارنات الحركة المختلفة.
2. محولات العزوم.
3. علب السرع بأنواعها المختلفة.

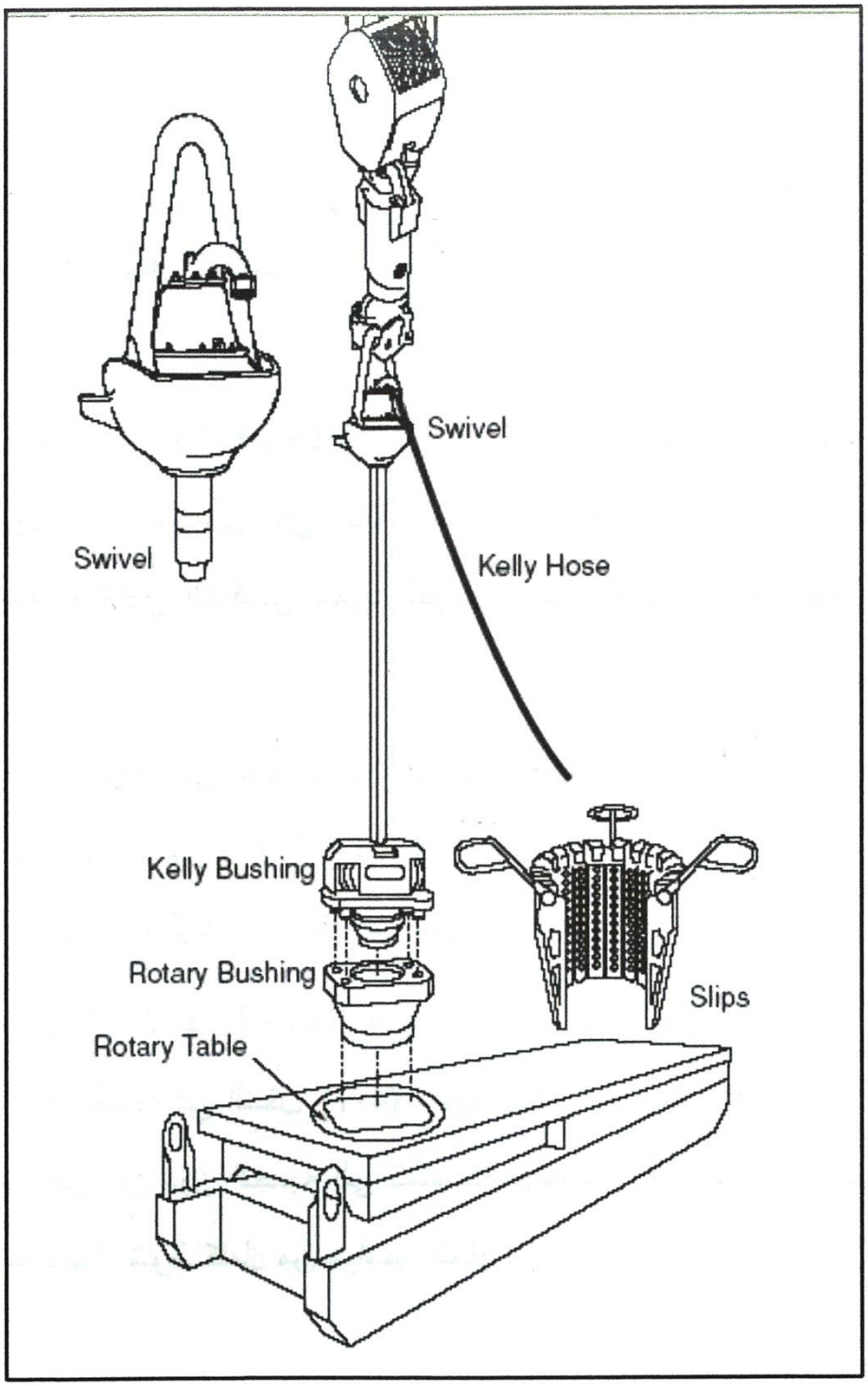
1-2-2- مجموعة الحفر الميكانيكية:

تشمل هذه المجموعة.

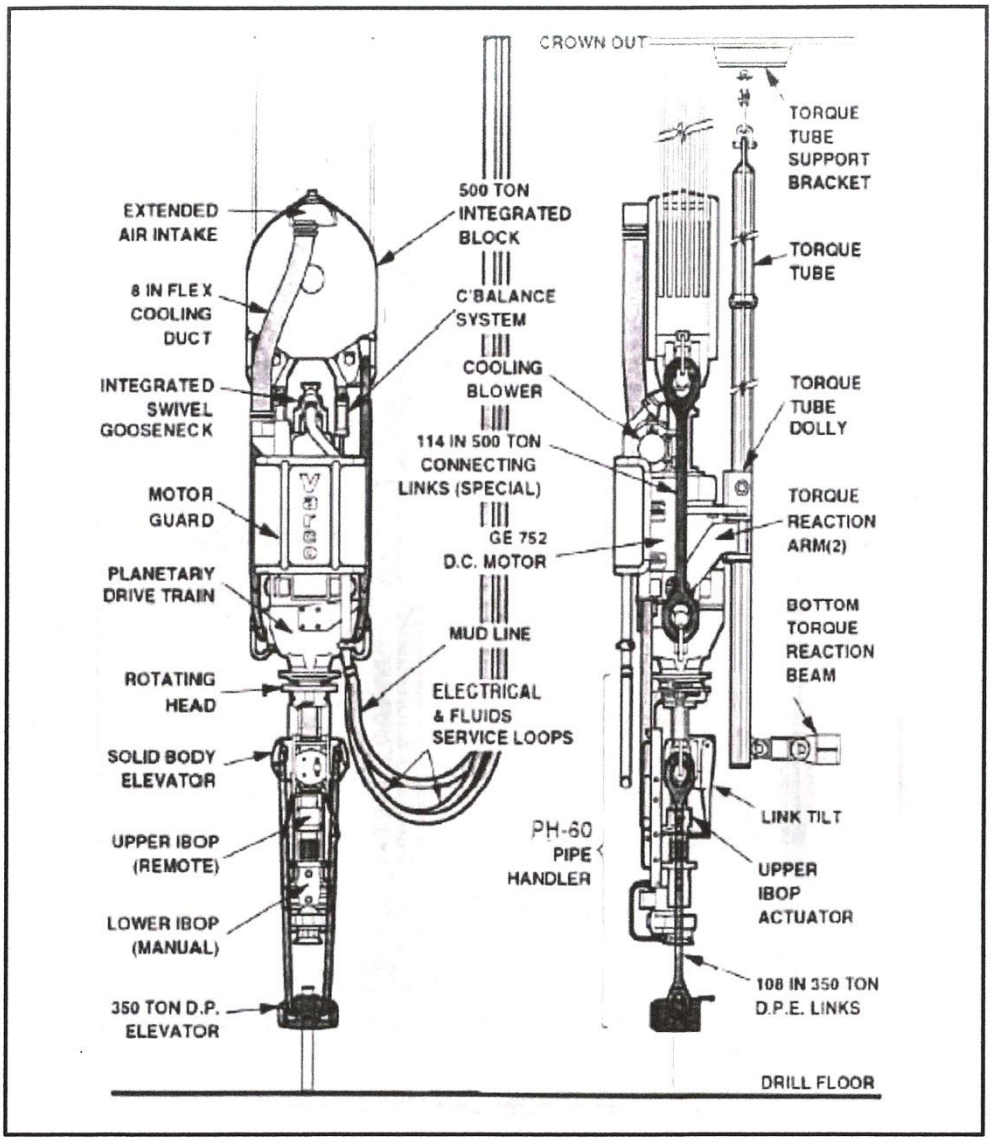
1. المنضدة الرحوية (Rotary Table): الموضحة في الشكل (1-3) التي تقوم بتدوير الدقاق من خلال تدوير عمود المواسير (في حالة الحفر الرحوي)، يجب أن تؤمن في وقت واحد الحركة الدورانية والانزلاق الشاقولي لعمود المواسير خلال عملية الحفر والتغلغل في جوف الأرض.

   تستخدم المنضدة الرحوية في عمليات الرفع والإنزال وعند زيادة طول عمود المواسير خلال عملية الحفر، وأيضًا كجهاز إسناد لعمود المواسير الموجود في جوف البئر وجهاز تدوير لفك أو ربط قطع المواسير المرفوعة من البئر أو المنزلة فيه.

2. الرأس الهيدروليكي القائد (Power Swivel): وهو من التقنيات الحديثة المستخدمة في وحدات الحفر والموضحة في الشكل (1-4)، وهو يمثل مجموعة متكاملة تقوم بعملية تدوير عمود مواسير الحفر من دون الحاجة إلى المنضدة الرحوية وقلم الحفر مع إمكانية تقليل فترة عملية الحفر باستخدام شوط كامل من مواسير الحفر.

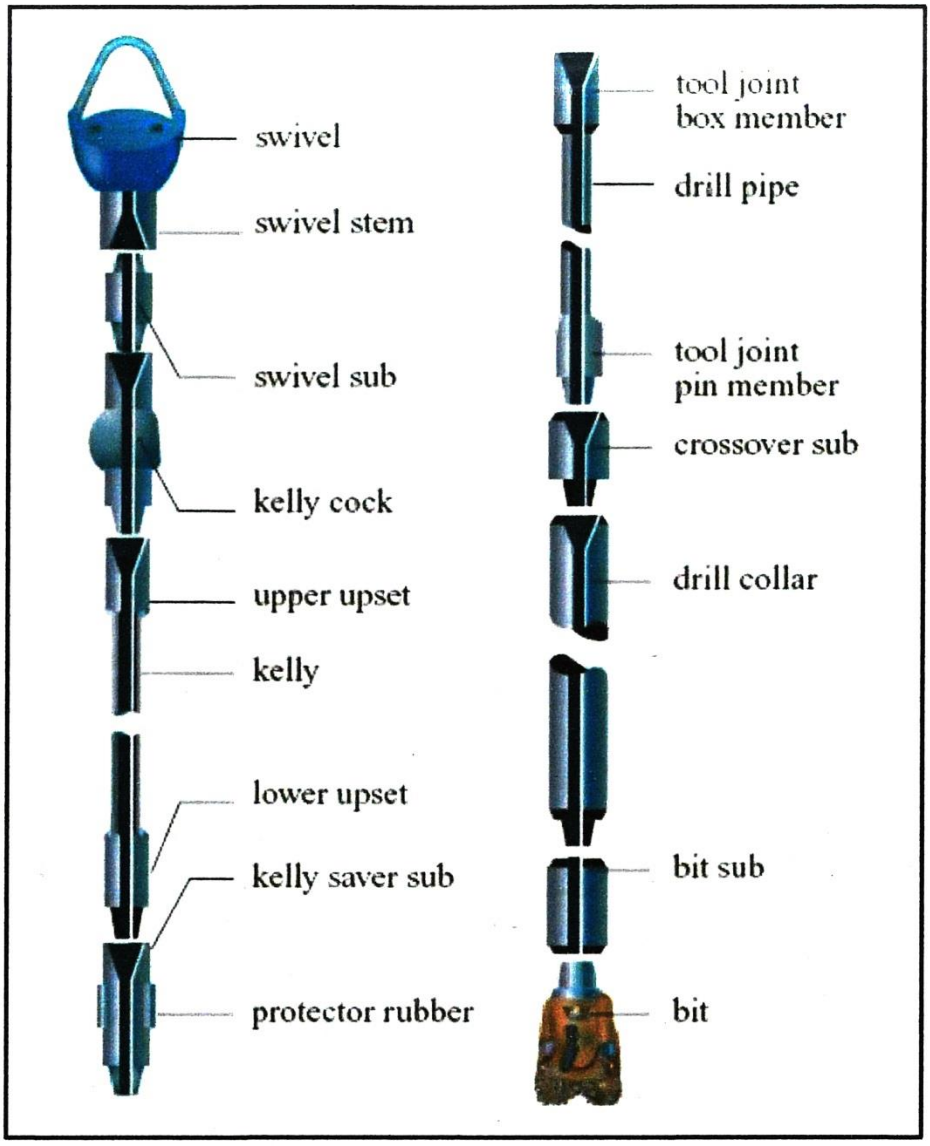


الشكل (1-3) يبين المنضدة الرحوية



الشكل (1–4) يبين أجزاء الرأس الهيدروليكي القائد

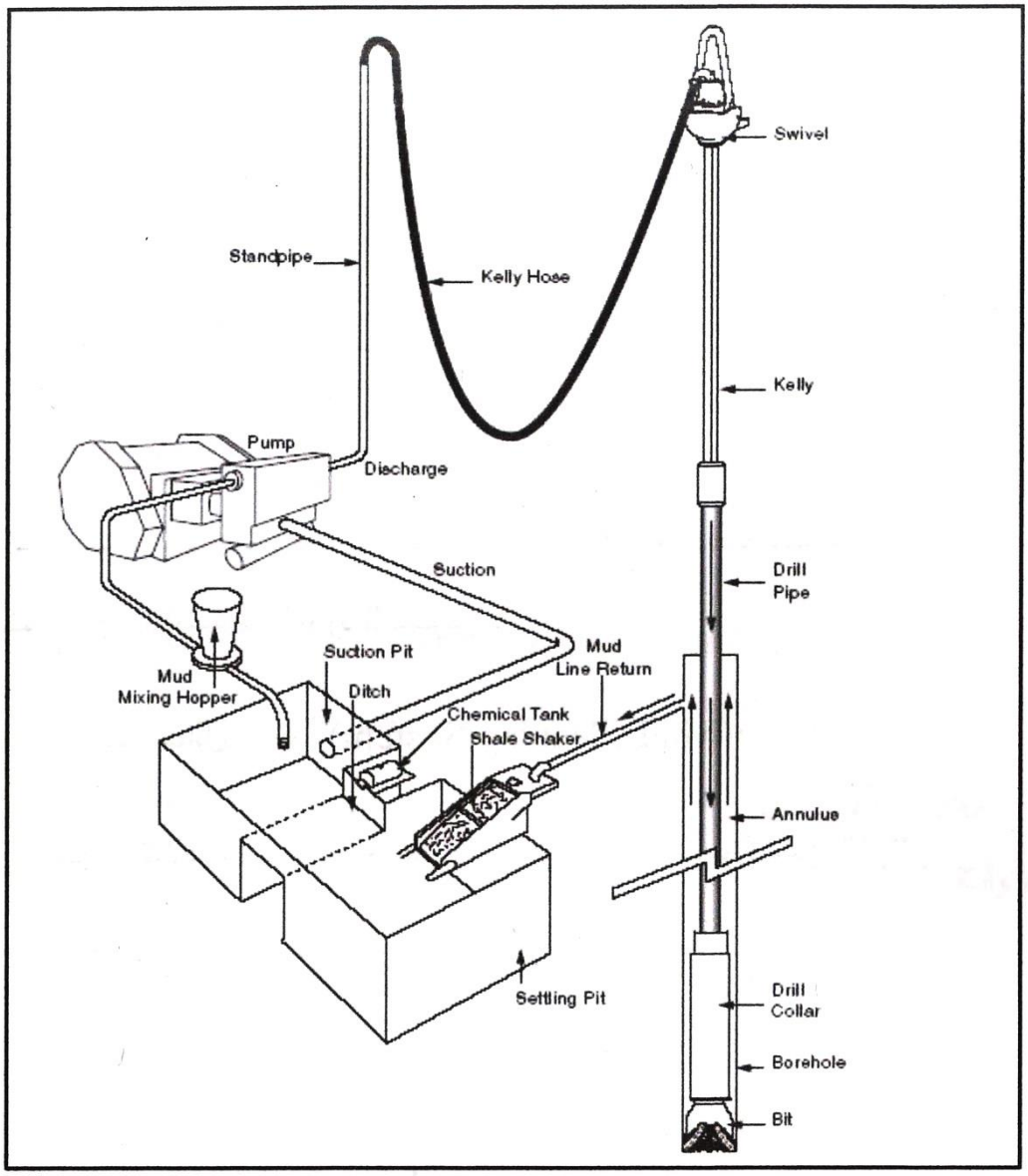
3. رؤوس الحفر وتشكيلة الحفر المستخدمة والتي تشمل أعمدة الحفر ومواسير الحفر العادية والمثقلة وقلم الحفر والكواشط والممركزات، ويوضح الشكل (1–5) أجزاء تشكيلة الحفر.



الشكل (1-5) يبين أجزاء تشكيلة الحفر

1-2-3- مجموعة الحفر الهيدروليكية:

تضم هذه المجموعة، الشكل (1-6)، الأجهزة والمعدات والمنشآت المخصصة لتنفيذ عمليات إعداد وتحضير وضخ وتنظيف سائل الحفر المستخدم لنقل الفتات المحفور إلى سطح الأرض ومعادلة الضغوط الجوفية وكذلك تبريد وتزييت تشكيلة الحفر، وهذه الأجهزة هي:



الشكل (1–6) يبين أجزاء مجموعة الحفر الهيدروليكية

1. معدات تحضير سائل الحفر:

تتكون من الخلاطات والمصفيات (الفلاتر) وخزانات السائل الاعتيادية والطارئة التي تؤمن له الكمية والنوعية المطلوبتين خلال عملية الحفر في ظرفيها الطارئ والاعتيادي ومستودعات مكوناته الصلبة ومواد المعالجة الكيميائية والفيزيائية له.

2. مضخات الحفر المكبسية (Slush Pump):

تقوم بمهمة ضخ سائل الحفر وتأمين عملية دورانه (سطح الأرض، داخل مواسير الحفر، قعر البئر، الفراغ الحلقي، سطح الأرض) بالغزارات والضغوط المطلوبة وفق نظام الحفر المعني.

تتكون مضخة الحفر المكبسية من قسمين:

- قسم ميكانيكي ينقل الحركة من مجموعة التشغيل إلى مكبس المضخة.
- قسم هيدروليكي يقوم بعملية سحب سائر الحفر من الخزانات وضخه في خط الضخ نحو البئر بالضغط والغزارة المطلوبين.

3. منظومة تنظيف سائل الحفر (Mud Cleaning System):

تقوم هذه الأجهزة بتنظيف سائل الحفر من فتات الصخور المحفورة ومن الشوائب.

تشمل منظومة تنظيف سائل الحفر على:

- ✓ المناخل الهزازة (Shale shaker).
- ✓ خزانات الترسيب (Setting tank).
- ✓ أجهزة فصل الرمل (Desander).
- ✓ فواصل الطمي (Desilter).
- ✓ فواصل الغاز (Degasser).

4. الرأس الهيدروليكي (Swivel):

يعد جزءًا رئيسيًّا مشتركًا بين مجموعتي الحفر الميكانيكية والهيدروليكية حيث:

- يشكل حلقة وصل بين الأجزاء المتحركة (في المجموعة الميكانيكية) والأجزاء الثابتة (خط الضخ في المجموعة الهيدروليكية).
- يحافظ على ضغط سائل الحفر المندفع إلى جوف عمود المواسير.
- يوفق بين الحركة الشاقولية لمجموعة الرفع والحركة الدورانية لعمود المواسير خلال عملية الحفر.

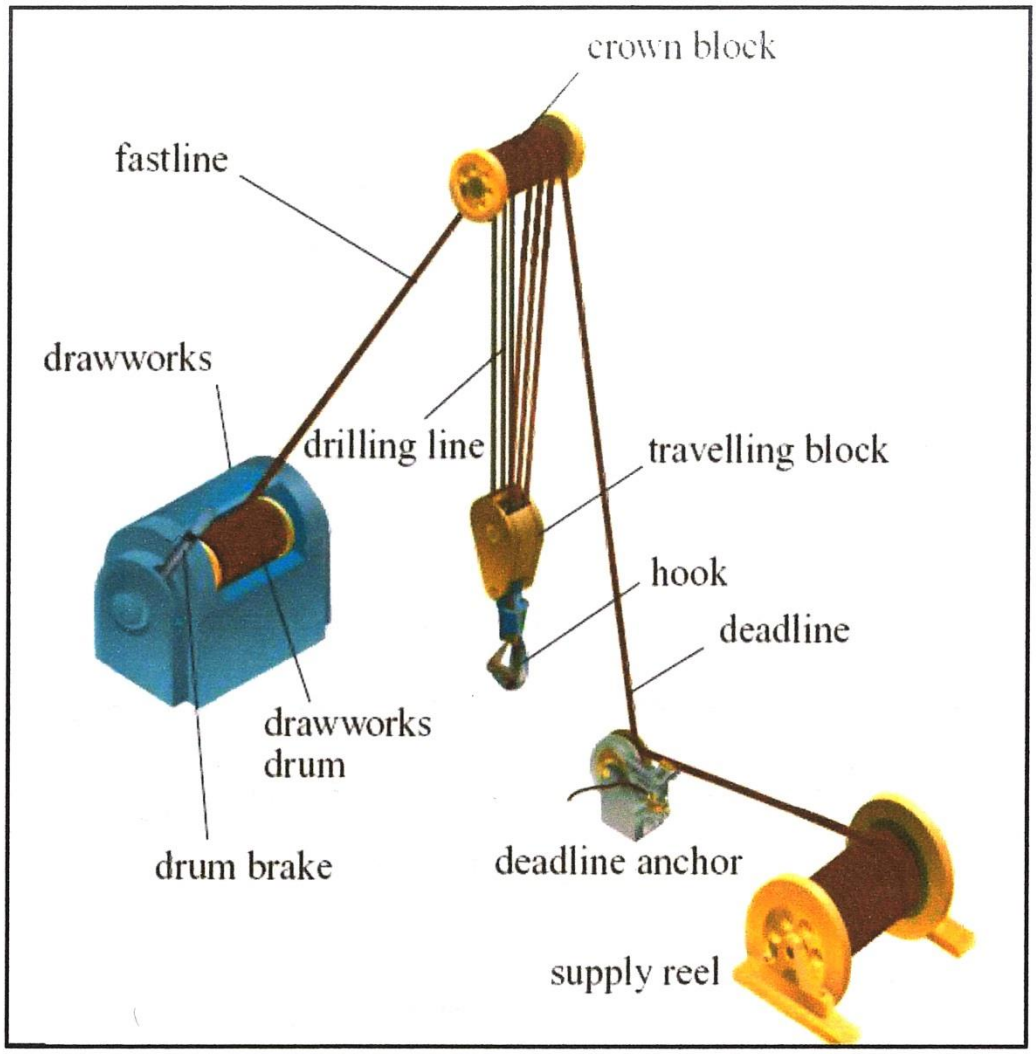
كان الرأس الهيدروليكي، حتى وقت قريب، رغم أهميته، جهازًا خاملًا يقوم بمهمة الوسيط فقط.

إلا أنه ضمن التطور التقني الحديث أصبح يقوم بالدور الأساسي في الوحدات الحديثة وذلك بتدويره لمجموعة المواسير مباشرة من خلال مواسير الحفر ذاتها، مما أدى إلى تراجع دور المنضدة الرحوية إلى جهاز احتياطي مساعد يقوم بالأعمال الثانوية خلال عمليات الرفع والإنزال، وانتفى دور قلم الحفر في هذه الوحدات وسمي لذلك بالرأس الهيدروليكي القائد.

1-2-4- مجموعة الرفع والإنزال (Hoisting System):

تشمل هذه المجموعة الموضحة في الشكل (1-7) الأجهزة والمعدات المنفذة للعمليات التالية:

- رفع وإنزال عمود مواسير الحفر والدقاق خلال عمليات استبدال الدقاق المستهلك بآخر جديد.
- إطالة عمود مواسير الحفر خلال عمليات الحفر.
- الرفع النهائي لعمود المواسير عند الانتهاء من حفر البئر.
- عمليات إنزال مواسير التغليف خلال عمليات تغليف المراحل المنجزة من عملية حفر البئر.



الشكل (1-7) يبين أجزاء مجموعة الرفع والإنزال

تشمل هذه المجموعة الأجهزة التالية:

1. الأجهزة الرافعة (Drawwork):

وهو الجهاز الرئيسي في المجموعة، يختلف تصميمها حسب نوع الوحدة ومهامها حيث يمكن أن تكون بمحور واحد أو محورين أو ثلاثة، وبأسطوانة رئيسية واحدة أو بأسطوانتين رئيسية ومساعدة.

الاتجاه الشائع في التصاميم الحديثة هو اختصار عدد محاورها والاقتصار على المحور الرافع أو محورين مع تزويدها بعلبة تغيير سرع خاصة بها.

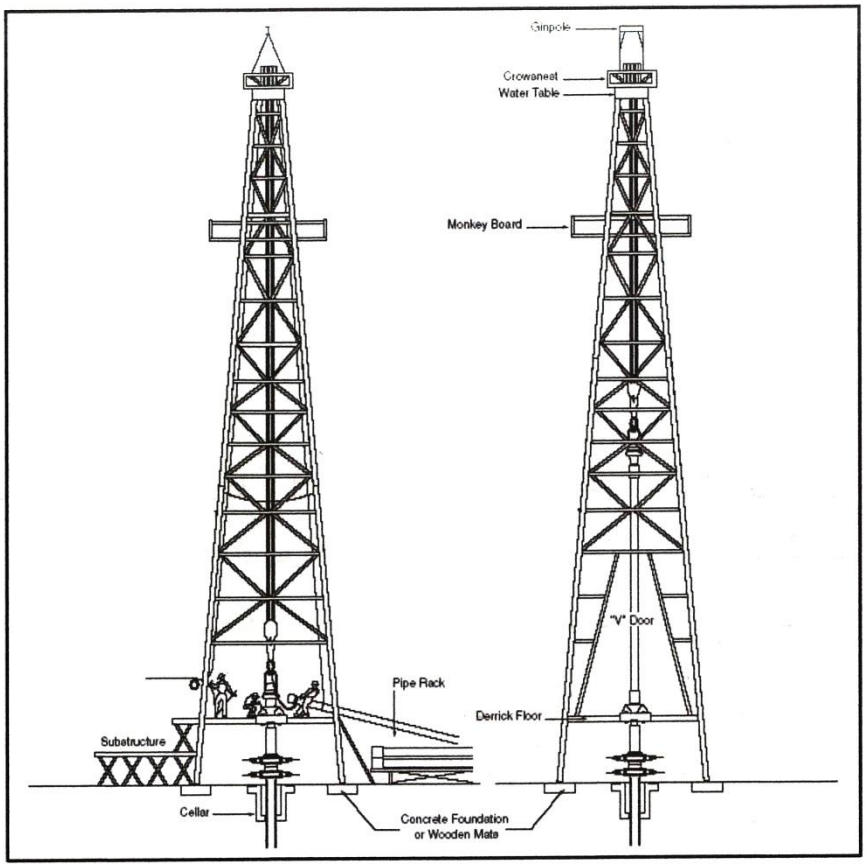
2. منظومة الكبال المعدنية (Travelling System):

تشمل هذه المنظومة الأجزاء التالية:

- البكرات التاجية (الثابتة) (Crown Block): وهي مجموعة من البكرات تثبت على القاعدة العليا للبرج.
- مجموعة البكرات المتحركة (Travelling Block): وهي مجموعة من البكرات أحادية المحور معلقة بواسطة خطوط حبل الحفر العاملة، تتحمل هذه البكرات الحمولة الناجمة عن وزن عمود المواسير أو التغليف المعلقة على الخطاف وتوزعها على الخطوط العاملة لحبل الحفر.
- حبل الحفر (Drilling Line): حبل معدني يتكون من مجموعة من الضفائر المتكونة من مجموعة مضفورة من الأسلاك المعدنية.

يكون حبل الحفر حلقة وصل بين أجزاء منظومة الحبال الأخرى وبينها وبين الأجهزة الرافعة (الملفاف) وفي الوقت نفسه وسيلة التحريك في مجموعة الرفع ووسيلة تقليل الحمولة على الأجهزة الرافعة.

- الخطاف (Hook): يكون إما جهازًا مستقلًّا أو جزءًا من وحدة متكاملة مع مجموعة البكرات المتحركة، مهمته تعليق الرأس الهيدروليكي خلال عملية الحفر وتعليق لاقطة المواسير خلال عمليات الرفع والإنزال.
- برج الحفر (Derrick): الموضح في الشكل (1-8)، ويتكون من هيكل معدني ذي أربعة قوائم أو ثنائي القوائم يسمى صارية الحفر مهمته:



الشكل (1-8) يبين أبراج الحفر

- تحمل حمولة عمود مواسير الحفر والتغليف، وإسناد مجموعة الرفع من خلال تثبيت مجموعة البكرات التاجية الثابتة على قاعدته العليا.
- تخزين مواسير الحفر المرفوعة خلال عمليات الرفع والإنزال على مخزن المواسير وذلك خلال فترة حفر البئر.

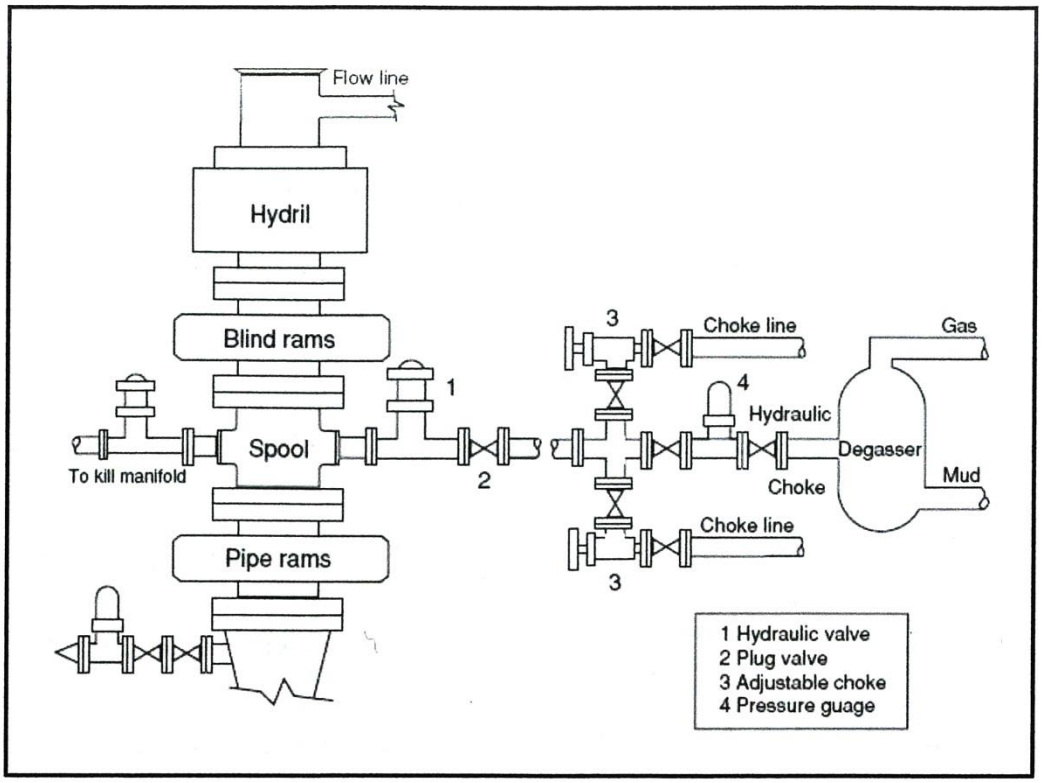
- بكرة التزويد بكبل الحفر (Supply reel)، وجهاز تثبيت الطرف الثابت من كبل الحفر (Dead line anchor).

1-2-5- أجهزة التحكم والسيطرة (Control System):

تشمل هذه الأجهزة المنظومات الهوائية والهيدروليكية وأجهزة التحكم عن بُعد بتشغيل وإيقاف ومراقبة سير عملية الحفر وعمليات الرفع والإنزال وبقية العمليات الجارية في موقع العمل، والمحافظة على سلامة العاملين في الموقع واستباق الأعطال والمشاكل وتلافيها من هذه الأجهزة:

1. أجهزة التحكم والسيطرة عن بُعد بعمل أجهزة ومعدات وحدة الحفر المختلفة.
2. أجهزة تنظيم دفع الدقاق.
3. أجهزة ومعدات إحكام فوهة البئر.
4. أجهزة قياس وتسجيل الحمولات المؤثرة في البرج والدقاق وقياس ضغوط المضخات.

ويبين الشكل (1-9) موانع الاندفاع المستخدمة في أجهزة التحكم والسيطرة على فوهة البئر.



الشكل (1-9) يبين مجموعة منع الاندفاع مع خطوط التوصيل على رأس البئر

1-2-6- مجموعة المعدات المساعدة (Auxiliary Equipment):

تشمل هذه المجموعة أجهزة ومعدات متباينة، تقوم بالأعمال المساعدة وبعض الأعمال الجانبية والعرضية خلال عملية الحفر وعمليات الرفع والإنزال وتركيب وتفكيك وحدة الحفر وإعداد الموقع وتهيئته لعمليات الحفر مثل:

- مفاتيح المواسير اليدوية والميكانيكية والهيدروليكية (Tong).
- رافعات المواسير وماسكاتها في المنضدة الرحوية (Elevator – Slips).
- ضاغطات الهواء (Air Compressor).

1-2-7- أجهزة القياس (Instruments):

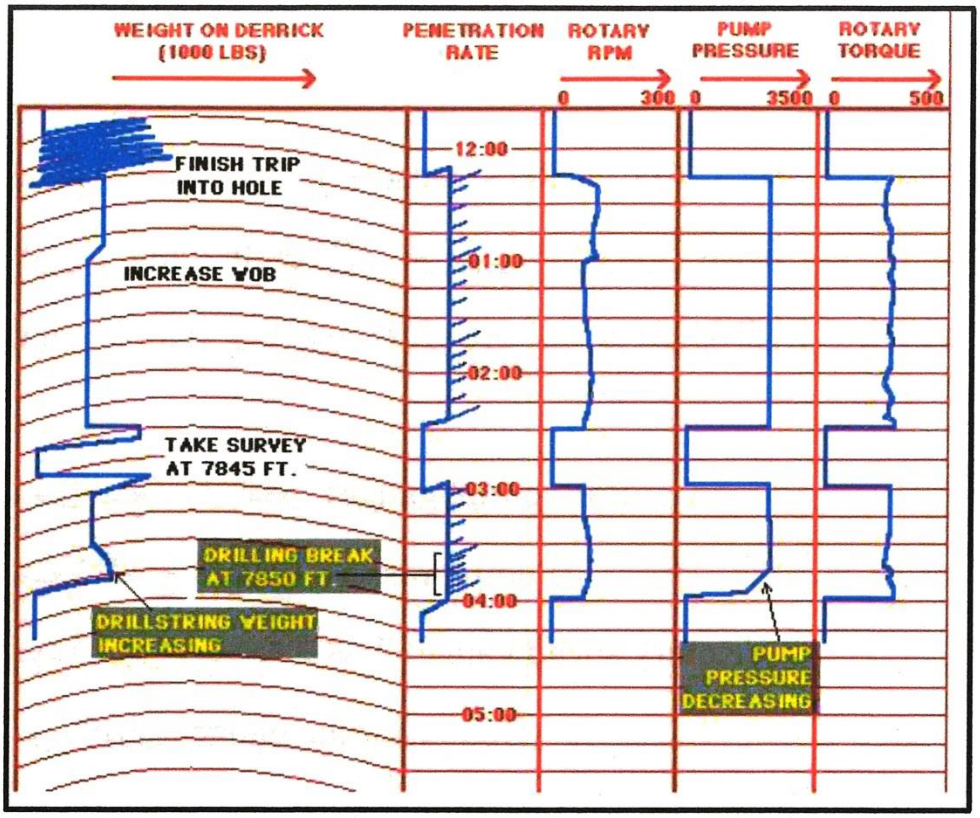
وهي عبارة عن أجهزة قياس وتسجيل للمؤشرات المتعلقة بعملية الحفر وعمليات الرفع والإنزال، وهذه المقاييس هي:

1. لوحة التحكم الخاصة بالحفارة (Driller's console) وتضم المقاييس التالية:

- مقياس الوزن (Weight gauge) وهو عبارة عن مؤشرين أحدهما يشير إلى الحمولة على الخطاف (Hook load) بينما يشير الآخر إلى الحمولة على الدقاق (Weight on Bit – W.O.B).
- مقياس معدل ضخ سائل الحفر (Pump rate gauge).
- مقياس ضغط الضخ (Pump pressure gauge).
- مقياس سرعة دوران المنضدة الرحوية (Rotary speed gauge).
- مقياس عزم الدوران (Rotary torque gauge).
- مقياس عزم شد المفاتيح الميكانيكية (Tong line torque gauge).
- مقياس معدل تدفق سائل الحفر (Mud return flow rate gauge).
- مقياس مستوى السائل في الخزان (Mud tank level gauge).
- مقياس السائل المزاح بواسطة المواسير (Trip tank level gauge).

2. مسجل الحفر (Drilling recorder)، الشكل (1-10)، ويسجل مخطط ورقي لما يلي:

- الحمولة على الخطاف (Hook load).
- الحمولة على الدقاق (W.O.B).
- معدل الاختراق أو معدل تقدم الدقاق (Rate of penetration).
- سرعة دوران المنضدة الرحوية (Rotary speed R.P.M).
- عزم الدوران (Rotary torque).
- ضغط المضخات (Pump pressure).



3. كواشف لغاز (H_2S) توضع بالقرب من خزانات الطفلة ومكان إقامة العمال وحول الحفارة.

الفصل الثاني

أسس اختيار وتصنيف وحدات الحفر

الفصل الثاني

أسس اختيار وتصنيف وحدات الحفر

إن تأمين أقصى فعالية لتنفيذ المهمات التكنولوجية خلال فترة حفر البئر تعد أهم مسألة تواجه المعنيين بالصناعة النفطية الحقلية عند اختيار وحدة الحفر أو بعض معداتها.

ويتطلب تحقيق ذلك ما يلي:

1. تأمين متطلبات الاستخدام والمتطلبات التكنولوجية لوحدة الحفر.
2. تحديد العوامل المؤثرة في إنتاجية الوحدة.
3. تحديد الجدوى الاقتصادية لاختيار وحدة الحفر وأجزائها.

2-1- متطلبات الاستخدام والمتطلبات التكنولوجية:

يستند اختيار وحدة حفر معينة إلى إمكانيتها في تنفيذ المهام التالية:

1. الإنتاجية العالية لعمليات الحفر مع تأمين الفعالية الاقتصادية.
2. إمكانية استخدام طرق الحفر المتطورة والأنظمة التكنولوجية الملائمة.
3. سهولة الاستخدام والخدمات خلال عمليات الحفر والعمليات المساعدة.
4. مكننة العمليات الكبيرة.
5. تأمين أقصى معامل مردود مفيد لأجهزة الوحدة وللوحدة بكاملها.
6. سهولة النقل والتركيب والتفكيك.
7. المتانة والوثوق التقني لقطع وأجزاء وحدة الحفر.
8. سهولة إصلاح الأجزاء سريعة الاستهلاك واستبدالها مع أدنى ما يمكن من استهلاك المعدني.

9. التوفيق بين متطلبات التنظيم التكنولوجي وتسهيل ظروف العمل وبين متطلبات الأمن الصناعي.
10. ضرورة توفر مستلزمات إمكانية التطوير اللاحق لمواصفات وتصميم الوحدة عند ظهور مجموعات تصميمية جديدة (أجزاء القوى المحركة الأجهزة المنفذة، وسائل المكننة، أجهزة التحكم والسيطرة...وغيرها) بما يؤمن استخدام هذه المجموعات بدلًا من المجموعات القديمة.

2-2- العوامل المؤثرة في إنتاجية وحدة الحفر:

تؤثر في إنتاجية وحدة الحفر وفعاليتها عوامل عديدة، منها:

2-2-1- العوامل التقنية (التصميمية):

تشمل هذه العوامل مواصفات تصميم معدات وأجهزة وحدة الحفر وصلابتها ومتانتها، وطرق تنفيذ عمليات الرفع والإنزال وأجهزتها المنفذة.

من هذه العوامل:

1. ملائمة دفع مضخات الحفر وضغطها لمتطلبات تكنولوجيا الحفر.
2. ملائمة مواصفات مواسير الحفر وأعمدتها لأنظمة الحفر المستخدمة.
3. إمكانية تحقيق سرع الدوران الضرورية لمجموعة عمود المواسير والحمولة المطلوبة على الدقاق.
4. استخدام الأتمتة لوسائل التحكم بتكنولوجيا الحفر وتنظيم أعمال الحفر.
5. ملائمة مواصفات مجموعة الرفع وسرعها لتحقيق متطلبات إنزال ورفع مجموعة عمود المواسير وإنزال مواسير التغليف بأقل وقت ممكن.

2-2-2- العوامل الجيولوجية:

تشمل طبيعة الصخور في المقطع الجيولوجي لمنطقة الحفر، وخواصها الميكانيكية وصلابتها ومطاوعتها للحفر وما يترتب عليها من استقرارية جدران البئر واحتمالات تغير اتجاه البئر.

2-2-3- العوامل التكنولوجية:

تشمل:

- عمق البئر التصميمي.
- طرق الحفر (رحوي أو عنفي أو كهربائي).
- نوع الدقاق المستخدم لتفتيت التربة.
- مواصفات سائل الحفر وطريقة تنظيف البئر.

2-2-4- العوامل الإدارية:

وتشمل:

- تأمين طرق ووسائل عمليات النقل والتركيب والتفكيك.
- تأمين مصادر الطاقة ومواد العمل والمياه.
- تنظيم الخدمات وإصلاح المعدات وتأمين الورشات لذلك.

2-3- الجدوى الاقتصادية لاختيار وحدة الحفر وأجزائها:

تحتل الفعالية الاقتصادية (المردود الاقتصادي) المرتبة الأولى من الأهمية عند اختيار وحدة الحفر ومعداتها، لذلك يجب ضمان الجدوى الاقتصادية التي تحدد بما يلي:

1. المردود المفيد لوحدة الحفر.
2. الوثوق التقني لوحدة الحفر وأجزائها، أي المبادئ العامة لاختيار المواصفات (المؤشرات) المطلوبة لوحدة الحفر ومعداتها.

2-3-1- المردود المفيد لوحدة الحفر:

يعبر عن المردود المفيد أو مجموع الفعالية المفيدة من استغلال وحدة الحفر خلال مدة عملها بكلفة حجم عمليات الحفر في واحدة الزمن، أو كلفة حفر جميع الآبار المحفورة خلال فترة استخدام وحدة الحفر.

مقدار المردود المفيد يعتمد على إنتاجية وحدة الحفر، أي يعتمد على عدد الأمتار المحفورة في واحدة لزمن، أو كلفة المتر الواحد المحفور من البئر.

تحدد الكلفة الكاملة لحفر بئر أو الكلفة الفعلية لمتر واحد من الحفر والمردود المفيد لوحدة الحفر بعوامل كثيرة منها:

1. تكنولوجيا الحفر.
2. الاستخدام الصحيح للأجهزة والمعدات.
3. الإمكانيات الفنية والتقنية.
4. مستوى مهارة فرق الحفر والتركيب والتفكيك ونقل المعدات وتنظيم العمل.

2-3-2- المبادئ العامة لاختيار مواصفات وحدة الحفر وأجزائها:

بدرجة أساسية يعتمد الحصول على أقصى سرعة فعالة للتغلغل في حفر البئر على التوفيق الجيد بين متطلبات عملية الحفر ومواصفات وحدة الحفر ومتطلبات نظام الحفر المرتبطة بالخواص الفيزيامیكانيكية للتربة المحفورة التي تتباين بدورها في حدود واسعة.

من أجل تحديد المواصفات المطلوبة لوحدة الحفر ودراستها، ومن ثم تحديد المؤشرات التصميمية لوحدة الحفر وأجزائها وحساباتها، لا بد من دراسة طبيعة عمل الوحدة خلال عملية الحفر التي تتكون من مجموعة عمليات متكررة، تمثل كل منها دورة عمل دقاق واحد لذلك تكفي دراسة دورة نموذجية واحدة لعمل دقاق في موضع متقدم من عملية الحفر.

يمكن تقسيم دورة عمل دقاق واحد إلى ثلاث مراحل رئيسية:

المرحلة الأولى: إنزال الدقاق الجديد إلى قعر البئر:

تتم في هذه المرحلة العمليات التالية:

1. إنزال الدقاق الجديد مع عمود الحفر الأول المتصل به.
2. إسناد النهاية العليا لعمود الحفر المنزل إلى المنضدة الرحوية.
3. ربط عمود الحفر الثاني بالأول وتحرير نهاية العمود الأول من ماسكات المواسير وإنزال العمود الثاني وإسناد نهايته العليا إلى المنضدة الرحوية بواسطة ماسكات المواسير (Slips).
4. تكرار هذه العمليات حتى إنزال آخر مقطع من مواسير الحفر، ومن ثم ربط قلم الحفر والرأس الهيدروليكي بهذا المقطع.

المرحلة الثانية: عملية الحفر والعمليات المرافقة لها:

تبدأ هذه المرحلة بـ :

1. تشغيل مضخات الحفر وإعادة دورة سائل الحفر لرفع الفتات المترسب على قعر البئر خلال عمليات رفع وإنزال المواسير في المراحل السابقة.
2. دفع الدقاق ببطء وحذر نحو قعر البئر.
3. تشغيل المنضدة الرحوية بسرعة صغيرة لتدوير عمود المواسير ومعاملة جدران البئر لتلافي حشر الدقاق الجديد في قعر البئر نتيجة تضيق قطر البئر في المرحلة الأخيرة من عمل الدقاق القديم.
4. زيادة الحمولة المطبقة على الدقاق بصورة تدريجية حتى تصل إلى القيمة المحددة وفق نظام الحفر.
5. تستمر عملية الحفر حتى يتغلغل قلم الحفر مسافةً مساوية لطول قطعة المواسير المستخدمة في وحدة الحفر، عند ذلك يتم إيقاف عملية الحفر وعملية ضخ سائل الحفر ويرفع قلم الحفر ويفصل عن عمود المواسير الذي يسند على المنضدة الرحوية بواسطة ماسكة المواسير (Slips).
6. يتم إضافة قطعة مواسير جديدة ويتم توصيلها مع عمود المواسير المستند على المنضدة الرحوية.
7. يتم تحرير العمود من ماسكة المواسير وإنزاله حتى نقطة الحفر السابقة وربط قلم الحفر به وإعادة ضخ سائل الحفر والاستمرار بعملية الحفر.

تتكرر هذه العمليات حتى استهلاك الدقاق واتخاذ قرار باستبداله، حينئذ:

1. تتوقف عملية الحفر بإيقاف المنضدة الرحوية.

2. يستمر عمل المضخات ودوران سائل الحفر لإجراء عملية غسيل البئر لفترة من الزمن يرفع خلالها عمود المواسير والدقاق بعيدًا عن قعر البئر بعض الشيء.
3. يتم إيقاف المضخات ويبدأ تنفيذ المرحلة الثالثة.

المرحلة الثالثة: إخراج الدقاق المستهلك من البئر:

تتم هذه المرحلة بترتيب وتسلسل معاكسين تمامًا لعمليات المرحلة الأولى.

توضح لنا دورة الحفر (دورة عمل دقاق واحد) طبيعة التحميل على وحدة الحفر عمومًا، وعلى أجهزتها المنفذة خصوصًا.

2-4- طبيعة التحميل:

يمكن تحليل طبيعة التحميل على الأجهزة المنفذة الرئيسية (مجموعة الرفع والمنضدة الرحوية ومضخات الحفر) من الدراسة السابقة كالآتي:

2-4-1- تحميل مجموعة الرفع:

- تخضع مجموعة الرفع والبرج لـ :

1. حمولات متغيرة خلال عمليات إنزال مواسير الحفر تتغير بصورة مستمرة من أقل قيمة متمثلة بوزن الأجزاء المتحركة من منظومة الحبال إلى أقصى قيمة متمثلة بوزن عمود المواسير الذي يبلغ طوله عمق المرحلة المعنية أو عمق البئر النهائي عند الانتهاء من الحفر.
2. حمولة شبه ثابتة على الخطاف خلال عملية الحفر، بقيمة تقل عن القيمة القصوى بمقدار الحمولة المطبقة على الدقاق.
3. التذبذب الأقصى في مجرى عملية الحفر خلال عملية زيادة طول عمود المواسير.

4. حمولة متناقصة بعد الانتهاء من عملية الحفر تبدأ من القيمة القصوى حتى أقل قيمة لها خلال عمليات رفع عمود المواسير.

- مقدار الحمولة على الخطاف ومقدار التغير فيها أكبر بكثير خلال عمليات التغليف، سواء في كل مرحلة من مراحل البئر التصميمية أو عند الانتهاء منه.
- يسمى نظام عمل مجموعة الرفع والبرج، وفق طبيعة التحميل المذكور أعلاه بنظام العمل أو التحميل المتكرر.

2-4-2- تحميل المنضدة الرحوية:

في المرحلتين الأولى والثالثة خلال عمليات الرفع والإنزال تخضع المنضدة الرحوية لحمولات مستقرة تتغير بقيم متساوية:

- متصاعدة دوريًّا (في المرحلة الأولى).
- متناقصة دوريًّا (في المرحلة الثالثة).

يتخللها تحميل جزئي لعمليات شد المقاطع المنزلة (المرحلة الأولى) وفك المقاطع المستخرجة (المرحلة الثالثة).

في المرحلة الثانية من الدورة تعمل المنضدة الرحوية تحت التحميل المستمر خلال كل عملية حفر من عمليات المرحلة الثانية (الحفر لمسافة ماسورة حفر واحدة)، لذلك يتم عمل (تحميل) المنضدة الرحوية وفق نظامين:

- الأول: نظام العمل المتكرر (في المرحلتين الأولى والثالثة).
- الثاني: نظام العمل المستمر (في المرحلة الثانية).

2-4-3- تحميل مضخات الحفر:

- خلال دورة عمل دقاق واحد ينحصر عمل مضخات الحفر ضمن عمليات المرحلة الثانية.

- تعمل المضخات تحت التحميل في عمليات غسل البئر وخلال عمليات الحفر ذاتها.

تختلف القدرة في استمرارية عمل المضخات حسب طبيعة وظروف نظام الحفر والعمليات المنفذة لذلك يكون عمل المضخات وفق نظام العمل المستمر فقط.

2-5- مؤشرات وحدة الحفر:

يتطلب تصميم أو اختيار وحدة الحفر معرفة العوامل والمؤشرات التي تحقق الغاية المطلوبة من عمل هذه الوحدة أو تلك، وتحدد هذه المؤشرات المواصفات المميزة لوحدة الحفر وطبيعة عملها.

يمكن تحديد المؤشرات الأساسية لوحدة الحفر بما يلي:

2-5-1- الحمولة (Load):

تتحدد الحمولة بوزن عمود المواسير الي تستطيع الوحدة رفعه أو تحمله وتحدد لها، عند التصميم، فيمتان:

1. الحمولة النظامية (Nominal Load): تحدد على أساس أقصى وزن لعمود مواسير الحفر أو التغليف تتحمله الوحدة لفترات عمل طويلة.
2. الحمولة الحدية أو الحرجة (Critical Load): وهي الحمولة التي تستطيع الوحدة تحملها لفترات زمنية قصيرة، في الحالات الاعتيادية تزيد هذه الحمولة عن الحمولة النظامية بنسبة (20-30%) من النظامية تستخدم هذه الحمولة في الحالات الطارئة كالاستعصاء وفي بعض حالات إنزال مواسير التغليف.

2-5-2- عمق الحفر (Well Depth):

يتم تحديد عمق الحفر وفق حمولة الوحدة وقياسات ووزن مواسير الحفر ومواسير التغليف.

يجب أن تؤمن مؤشرات (مواصفات) وحدة الحفر فعالية جيدة لعمل الوحدة باستخدام مواسير حفر مختلفة الأقطار (3-4) قياسات، مثلًا: مواسير حفر ذات أقطار (89) و(114) و(127) و(141)مم، ومن الواضح أن لكل نوع من هذه المواسير عمقه الحدي المرتبط بحمولة الوحدة ومتانة المواسير.

2-5-3- غزارة مضخات الحفر (Discharge of Pumps):

يجب تأمين غزارة كافية لإتمام عمليات الحفر في الظروف المختلفة بالفعالية المطلوبة وتمثل هذه الغزارة كمية السائل التي يجب أن تضخها وحدة الضخ والتي تعتمد على: طريقة الحفر وعمق البئر وتصميمه وأقطار مواسير الحفر وطبيعة المقطع الجيولوجي لموقع الحفر وغيرها من مؤشرات تكنولوجيا الحفر.

2-5-4- الضغط على مخرج المضخات (Outline Pump Pressure):

يحدد الضغط على مخرج المضخات الفعالية الممكنة لعملية الحفر ويحدد بقيمتين:

1. الضغط العامل الحدي: ويمثل الضغط الذي يؤمن لوحدة لحفر العمل المستمر الطويل الأمد خلال عملية التغلغل في حفر البئر.

2. الضغط الحدي المسموح به: ويمثل الضغط الحدي الذي يمكن تأمينه لفترات زمنية قصيرة في هذه الحالة يجب تأمين عمل صمامات الأمان وسلامتها، في الحالة العامة يحدد الضغط الحدي العامل بنسبة (70-80)% من الضغط الحدي المسموح به.

لتأمين التنسيق الذاتي المتكامل لوحدة الضخ في وحدة الحفر، يحدد مجال تغير الضغط للوحدة الذي يمثل النسبة بين أقصى وأصغر قيمة للضغط في الحفر العنفي بحدود (2-2.5) وفي الحفر الدوراني الرحوي (6-10).

2-5-5- سرع الرفع (Hoisting velocity):

تؤمن هذه السرع رفع مواسير الحفر بأقل ما يمكن من الوقت وبأقل إهدار للاستطاعات المستغلة وتحافظ على سلامة العمل وضوابط الأمن الصناعي.

2-5-6- سرع المنضدة الرحوية (Rotary speed):

تؤمن هذه السرع عدد الدورات الضرورية لتدوير عمود مواسير الحفر لتنفيذ متطلبات تكنولوجيا الحفر، ومن الضروري تأمين مجال تغيير السرع الملائم لذلك حسب طبيعة التربة المحفورة.

2-5-7- استطاعة وحدة الحفر (Drilling Rig Capacity):

تؤمن هذه الاستطاعة إمكانية الحصول على :

1. السرع الضرورية لرفع عمود المواسير.
2. الغزارة المطلوبة لسائل الحفر.
3. السرع المحددة لتدوير عمود المواسير عند الحفر.

من منطلق تكنولوجيا الحفر فإن زيادة سرع عمليات الرفع أو زيادة غزارة سائل الحفر تتم وفق الاستطاعات المحددة لمثل هذه الحالات.

عند تحديد الاستطاعات المطلوبة لا بد من الأخذ بالحسبان:

- متانة وطول عمر خدمة بعض أجزاء وحدة الحفر مثل: المحولات – المضاجع – قارنات الحركة – مواسير الحفر – حبل الحفر.
- عدد المحركات وأوزانها.

2-5-8- طول مقطع المواسير ووزنه (Stand):

يتكون مقطع (شوط) مواسير الحفر من قطعة واحدة أو قطع عدة منها.

يؤثر طول المقطع ووزنه تأثيرًا كبيرًا في الوقت المصروف في عمليات الرفع والإنزال، فكلما زاد طول المقطع كلما قل عدد المقاطع في عمود المواسير والوقت المصروف على عمليات فصل المقاطع أو توصيلها خلال عمليات الرفع أو الإنزال والعمليات الآلية لرفع المقطع، إلا أن طول المقطع يؤثر ويتأثر بنوعية معدنه ووزنه وبقياسات برج الحفر وتكاليفه ومستوى تعقيد تصميمه.

الأطوال القياسية لشوط المواسير المستخدمة حاليًّا في وحدات الحفر المختلفة هي: (12) و(18) و(25) و(36) متر.

2-5-9- قياسات برج الحفر (Derrick Dimensions):

تعتمد هذه القياسات بالدرجة الأولى على: حمولة الوحدة وطول مقطع المواسير وقياسات الأجهزة الموجودة على أرضية البرج، وكذلك ضرورة تأمين العمل المريح لفرق العمل ومتطلبات السلامة الصناعية.

2-6- تصنيف وحدات الحفر الدوراني:

تتباين أعماق المكامن النفطية والغازية ومواقع تواجدها وهذا يعني أن وسائل الوصول إليها تكون متباينة أيضًا.

فبعضها يقع على أعماق قليلة نسبيًّا وبالتالي لا تحتاج الوحدات المستخدمة للوصول إليها إلى حمولات واستطاعات كبيرة جدًّا، بينما يقع البعض الآخر منها على أعماق كبيرة لا يمكن الوصول إليها إلا باستخدام وحدات عملاقة ذات حمولات واستطاعات كبيرة جدًّا.

إضافةً إلى ذلك، فإن اختلاف الهدف من حفر الآبار يتبعه اختلاف في نوعية وحدات الحفر المستخدمة، فالآبار الاستكشافية تحفر في مواقع مجهولة نوعًا ما، ويتطلب ذلك أخذ احتياطات إضافية كافية لمواجهة المشاكل والمضاعفات المحتملة وزيادة مراحل تصميم البئر، التي يمكن في ضوء معطيات هذه الآبار الاستغناء عن بعضها عند الحفر الإنتاجي في هذا الموقع، لهذا تكون الحمولات والاستطاعات المطلوبة لوحدات الحفر الاستكشافي أكبر مما هي عليه لوحدات الحفر الإنتاجي للأعماق المتساوية.

2-6-1- الحمولات والأعماق المصممة لها:

في إطار التطور الصناعي والتقني الحالي تصنف وحدات حفر الآبار إلى خمسة أصناف رئيسية:

1. الوحدات الخفيفة جدًّا: يمكن استخدام هذه الوحدات لحفر آبار لا يتجاوز عمقها (1500) مترًا ولا تزيد حمولتها على (100) طن.
2. الوحدات الخفيفة: وهي وحدات تستخدم لحفر آبار تتراوح أعماقها بين (1000-2500) مترًا وتصل حمولتها حتى (160) طن.

3. الوحدات المتوسطة: هذه الوحدات يمكن استخدامها لحفر آبار تتراوح أعماقها بين (1600–4000) متر وتصل حمولتها حتى (250) طن.
4. الوحدات الثقيلة: يتراوح عمق الآبار الممكن حفرها بواسطة هذا الصنف بين (2800–6500) متر وتصل حمولتها إلى (400) طن.
5. الوحدات الثقيلة جدًّا: تستخدم هذه الوحدات لحفر آبار تتراوح أعماقها بين (4000–12500) متر وتصل حمولتها لأكثر من (800) طن.

تشمل كل مجموعة من هذه الوحدات أنواعًا عديدةً من الحفارات التي تؤمن أكثر ما يمكن من الفعالية لحفر الآبار وفق التصاميم والأعماق المحددة لها حيث أن كل وحدة حفر تحفر آبارًا ذات أعماق وتصاميم مختلفة ضمن حدود استطاعات محركاتها وحمولتها القصوى المسموح بها.

2-6-2- طبيعة حركتها الانتقالية بين مواقع الآبار:

يؤدي التباين في أعماق الآبار المحفورة وما يترتب عليه من اختلاف في الحمولات والاستطاعات إلى تباين تجهيزات وحدات الحفر المستخدمة لحفر هذه الآبار وبالتالي إلى تباين ضخامة هذه الوحدات وأوزانها ويترتب على ذلك اختلاف طريقة نقلها وتركيبها، لذلك تصنف وحدات الحفر في هذا المجال إلى:

1. وحدات ذاتية الحركة: تكون جميع أجهزة الوحدة مركبة على شاحنة متخصصة وتستمد حركتها من محركاتها.

يؤمن استخدام مثل هذه الوحدات اختزال الوقت المصروف على عمليات التركيب والإعداد إلى الحد الأدنى وهذا له أهميته الخاصة في حالات عمليات الحفر القصيرة (لأعماق قليلة) نسبيًّا.

تستخدم هذه الوحدات بصورة واسعة في عمليات إصلاح الآبار وعمليات الإنتاج الأخرى.

2. وحدات متنقلة مقطورة: تكون أجهزة الوحدة مركبة على مقطورة واحدة أو أكثر مع محركاتها الخاصة بها وتنقل من مكان لآخر بسحبها بواسطة الشاحنات.
3. وحدات ثابتة: تشمل هذه الوحدات جميع الوحدات الثقيلة والثقيلة جدًّا حيث تركب أجهزتها على قواعد مثبتة على أساسات ثابتة.

يمكن أن تنقل هذه الوحدات مجمعة أو على شكل مجموعات وأجهزة مفككة بواسطة شاحنات متخصصة لهذه الحمولات.

2-6-3- طبيعة موقع عملها:

من حيث موقع عملها، تصنف وحدات الحفر إلى:

1. وحدات حفر برية.
2. وحدات حفر بحرية.

الفصل الثالث

القسم العملي

الفصل الثالث

القسم العملي

سيتم في هذا القسم اختيار وحدة الحفر المناسبة لحفر بئر صدد-11 في منطقة صدد الواقعة في لجنوب الشرقي لمحافظة حمص في الجمهورية العربية السورية، بعمق (3820) متر حيث إن الهدف من حفر البئر هو خزانات تشكيلة الكوارشينا دولوميت (K.DOL) عند هذا العمق، وقد تم أخذ المعطيات اللازمة للحساب من البرنامج الموضوع من قبل الشركة السورية للنفط – مديرية الاستكشاف – دائرة الجيولوجيا الإقليمية.

3-1- معطيات البئر المدروس (صدد-11):

وفقًا للبرنامج فإن البئر سينجز على أربعة مراحل (سطحية – وسطية أولى – وسطية ثانية – إنتاجية)، تشكيلة الحفر المستخدمة في حفر كل مرحلة وبرنامج التغليف المقرر وخواص سائل الحفر لكل مرحلة من مراحل إنجاز البئر موضحة بالبرنامج (Forecast) المرفق ضمن المشروع.

وفقًا لبرنامج البئر فإن تشكيلة الحفر المستخدمة لإنجاز البئر المدروس موضحة بالجدول (3-1).

أما برنامج تغليف البئر (casing program) فهو موضح بالجدول (3-2).

مواصفات كلٍّ من تشكيلة الحفر المستخدمة (مواسير الحفر، مواسير الحفر المثقلة أعمدة الحفر) ومواسير التغليف موضحة بالجداول (3-3) و(3-4) و(3-5) و(3-6).

المرحلة		رأس الحفر (Bit)	أعمدة الحفر (DC)	مواسير الحفر المثقلة (HWDP)	مواسير الحفر (DP)	كثافة سائل الحفر g/cm^3
السطحية		26"	18m DC 10" St 26" 54m DC 10" 27m DC 9"	108m HWDP 5"	43m DP 5"	1.08
الوسطية الأولى		$17\frac{1}{2}$"	18m DC 10" St $17\frac{1}{2}$" 54m DC 10" 27m DC 9"	54m HWDP 5"	1437m DP 5"	1.1
الوسطية الثانية		$12\frac{1}{4}$"	18m DC 9" St $12\frac{1}{4}$" 81m DC 9"	108m HWDP 5"	2708m DP 5"	1.1
الإنتاجية	1	$8\frac{1}{2}$"	18m DC $6\frac{1}{2}$" St $8\frac{1}{2}$" 170m DC $6\frac{1}{2}$"	108m HWDP 5"	3174m DP 5"	2.3
	2	$5\frac{1}{2}$"	18m DC $4\frac{3}{4}$" St $5\frac{1}{2}$" 108m DC $4\frac{3}{4}$"	54m HWDP 5" $3\frac{1}{2}$"	3640m DP $3\frac{1}{2}$"	1.18

الجدول (3-1) يبين تشكيلة الحفر وكثافة سائل الحفر المستخدمة لكل مرحلة لبئر صدد-11

المرحلة		عمق المرحلة (m)	مواسير التغليف(casing)
السطحية		0 – 250	20", k–55
الوسطية الأولى		0 – 1590	$13\frac{3}{8}$", L–80
الوسطية الثانية		0 – 2915	$9\frac{5}{8}$", L–80
الإنتاجية	1	0 – 3470	7", L–80
		3236 – 3470	7", V–150
	2	3470 – 3800	Liner 5", L–80

الجدول (3–2) يبين برنامج التغليف لكل مرحلة من مراحل بئر صدد–11

القطر الخارجي (inch/mm)	القطر الداخلي (mm)	وزن واحدة الطول	
		lb/ft	kgf/m
5"/127	101.60	25.60	38.09
$3\frac{1}{2}$"/88.9	70.20	13.30	19.80

الجدول (3–3) يبين وزن واحدة الطول والقطر الداخلي لمواسير الحفر المستخدمة

القطر الخارجي (inch/mm)	القطر الداخلي (mm)	وزن واحدة الطول	
		lb/ft	kgf/m
5"/127	76.2	–	73.4
$3\frac{1}{2}$"/88.9	52.4	–	37.7

الجدول (3–4) يبين وزن واحدة الطول والقطر الداخلي للمواسير المثقلة المستخدمة

القطر الخارجي (inch/mm)	القطر الداخلي (mm)	وزن واحدة الطول (kg_f/m)
10"/254	76.2	362
9"/228.6	76.2	286.4
$6\frac{1}{2}$"/165.1	76.2	132.3
$4\frac{3}{4}$"/120.7	50.8	73.8

الجدول (3-5) يبين وزن واحدة الطول والقطر الداخلي لأعمدة الحفر المستخدمة

القطر الخارجي		نوعية المعدن	وزن واحدة الطول (Lb/ft)
عند الرأس	عند الجسم		
Mm	inch/mm		
533.4	20"/508.0	K-55	133
365	$13\frac{3}{8}$"/339.7	L-80	68
269.9	$9\frac{5}{8}$"/244.5	L-80	47
194.5	7"/177.8	L-80	29
		V-150	35
Liner	5"/127	L-80	18

الجدول (3-6) يبين وزن واحدة الطول ونوعية المعدن لمواسير التغليف المستخدمة

سوف يتم اختيار وحدة الحفر المناسبة من خلال اختيار الأجهزة المنفذة الرئيسية (الأجهزة الرافعة – المنضدة الرحوية – مضخات سائل الحفر – الرأس الهيدروليكي) وذلك اعتمادًا على معطيات البئر السابقة الذكر في البرنامج السابق (forecast)، حيث سيتم اختيار الأجهزة المنفذة من الجداول الخاصة بكل جهاز ومن ثم سيتم اختيار وحدة الحفر المناسبة من جداول الحفارات الروسية (URALMASH) المتوفرة لدينا والتي سيتم إرفاقها بالملحق في نهاية الدراسة.

3-2- اختيار الجهاز الرافع (Drawworks):

سيتم اختيار الجهاز الرافع بتحديد الحمولة الأعظمية المرفوعة ($P_{h\,max}$) وذلك من خلال حساب وزن تشكيلة الحفر المستخدمة لحفر مراحل البئر (مواسير عادية – مواسير مثقلة – أعمدة حفر)، وتحديد الحمولة الأعظمية من بينها التي سوف تصادف أثناء إنجاز البئر، وسيتم اعتماد السرعة الصغرى للخطاب والتي تؤخذ في الحسابات ($V_{h\,min} = 0.5m/sec$) ووزن الأجزاء المتحركة من منظومة الكبال ($G_t = 0.04P_{h\,max}$)، بعد تحديد الحمولة الأعظمية يتم حساب استطاعة الجهاز الرافع بناءً على هذه الحمولة ويتم اختيار الجهاز الرافع من الجداول بحيث يكون الجهاز المختار يعطي استطاعة أكبر مباشرةً من الاستطاعة المحسوبة، ثم تؤخذ قياسات الأسطوانة الرافعة (الملفاف) والمواصفات الأخرى من الجداول.

3-2-1- حساب استطاعة الجهاز الرافع:

تعطى استطاعة مجموعة الرفع بالعلاقة التالية:

$$N_D = \frac{(P_{h\,max} + G_t) \times V_{h\,min}}{\eta_{t.s}}$$

حيث أن:

N_D: الاستطاعة المطلوبة للجهاز الرافع.

$P_{h\,max}$: الحمولة الأعظمية على الخطاف.

G_t: وزن الأجزاء المتحركة من منظومة الحبال.

$V_{h\,min}$: السرعة الصغرى للخطاف.

$\eta_{t.s}$: المردود المفيد لمنظومة الكبال المعدنية وسوف نأخذ قيمته في الحسابات (0.8).

وتعطى الحمولة على الخطاف بالعلاقة التالية:

$$P_h = K(L_p.q_p + L_{HW}.q_{HW} + L_c.q_c)$$

حيث أن:

P_h: الحمولة على الخطاف.

$L_c,\ L_p,\ L_{HW}$: طول كل من أعمدة الحفر والمواسير العادية والمواسير المثقلة على التوالي.

$q_c,\ q_p,\ q_{HW}$: وزن واحدة الطول لكل من الأعمدة والمواسير العادية والمواسير المثقلة على التوالي.

K: معامل الاستعصاء يؤخذ مساوياً إلى (1.25).

1- حساب الحمولة على الخطاف في المرحلة السطحية:

بالتعويض العددي بالعلاقة السابقة لحساب الحمولة على الخطاف بحسب معطيات تشكيلة الحفر من جدول تشكيلة الحفر المستخدمة لحفر كل مرحلة نجد أن:

$$P_{h1} = 1.25(43 \times 38.09 + 72 \times 362 + 27 \times 286.4 + 108 \times 73.4)$$

$$P_{h1} = 54202.3375\ Kg_f = 54.202\ tonf$$

2- حساب الحمولة على الخطاف في المرحلة الوسطية الأولى:

$$P_{h2} = 1.25(1437 \times 38.09 + 72 \times 362 + 27 \times 286.4 + 54 \times 73.4)$$

$$P_{h1} = 115619.6625\ Kg_f = 115.6\ tonf$$

3- حساب الحمولة على الخطاف في المرحلة الوسطية الثانية:

$$P_{h3} = 1.25(2708 \times 38.09 + 99 \times 286.4 + 108 \times 73.4)$$

$$P_{h1} = 174285.65\ Kg_f = 174.285\ tonf$$

4- حساب الحمولة على الخطاف في المرحلة الإنتاجية:

1- المرحلة الإنتاجية الأولى:

$$P_{h4} = 1.25(3174 \times 38.09 + 188 \times 132.3 + 108 \times 73.4)$$

$$P_{h4} = 192121.575\ Kg_f = 192.1\ tonf$$

2- المرحلة الإنتاجية الثانية:

$$P_{h5} = 1.25(3640 \times 19.8 + 126 \times 73.8 + 54 \times 37.7)$$

$$P_{h5} = 104258.25\ Kg_f = 104.258\ tonf$$

نلاحظ من الحمولات المحسوبة السابقة أن الحمولة العظمى على الخطاف تصادف في المرحلة الإنتاجية الأولى من مراحل البئر أي أن:

$$P_{hmax} = P_{h_4} = 192121.575\ Kg_f = 192.1\ tonf$$

وبالتالي نعوض في علاقة حساب استطاعة مجموعة الرفع فنحصل على الاستطاعة العظمى اللازمة للجهاز الرافع أي أن:

$$N_D = \frac{1.04 Ph_{max} \times V_{h\,min}}{\eta_{ts}}$$

$$N_D = \frac{1.04 \times 192121.575 \times 0.5 \times 10}{0.8}$$

$$N_D = 1248790.238 watt = 1248.790 KW$$

ومن جداول الأجهزة الرافعة لدينا نختار الجهاز الرافع المناسب ذو الاستطاعة الأكبر مباشرةً من الاستطاعة الأعظمية المحسوبة فنجد أن الجهاز الرافع المناسب هو من النوع LBU 1500 ET-3 ومواصفاته موضحة بالجدول أدناه:

Parameters/Model		**LBU 1500 ET-3**
Maximum load capacity, ton		400, 500
Input power, HP (KW)		2040, (1500)
Wire line size, in (mm)		$1\frac{1}{2}$", (38)
Number of lines		10(5*6), 12(6*7)
Number of drum rotation speed		2
Drum shaft dimensions (Dia/length), in (mm)		30"/58", (760/1466)
Brake disk diameter, in (mm)		$28\frac{3}{4}$", (730)
Brake system	main	Disk-shoe pneumatic brake
	auxiliary	DC drive
Auxiliary drive		rig up and rig down of derrick emergency pipes hoisting, DC electric motor drive, DC electric motor drive with functions of bit feed controller.
Overall dimensions, in (mm)		
Length		308", (7816)
Width		140", (3558)
Height		95", (2422)
Weight, lbs (Kg)		89550, (40620)

3-3- اختيار المنضدة الرحوية (Rotary table):

3-3-1- احساب استطاعة المنضدة الرحوية:

تستهلك المنضدة الرحوية الاستطاعة المقدمة إليها بثلاثة وجوه:

- استطاعة لازمة للتدوير الحر لمجموعة المواسير (N_a).
- استطاعة لازمة لتدوير الدقاق وتهشيم التربة (N_b).
- استطاعة لازمة للتغلب على المقاومات الميكانيكية في السلسلة الحركية ما بين المحرك والمنضدة الرحوية ويعبر عنها عادةً بالمردود المفيد (η_R).

وسيتم حساب الاستطاعة الكلية للمنضدة الرحوية والمساوية إلى مجموع كلٍّ من الاستطاعة اللازمة للتدوير الحر لمجموعة المواسير والاستطاعة اللازمة لتدوير الدقاق وتهشيم التربة، وذلك لكل مرحلة من مراحل البئر.

تعطى الاستطاعة الكلية للمنضدة الرحوية بالعلاقة التالية:

$$N_R = N_a + N_b$$

حيث أن:

N_a: الاستطاعة اللازمة للتدوير الحر لمجموعة المواسير.

N_b: الاستطاعة اللازمة لتدوير الدقاق وتهشيم التربة.

تعطى الاستطاعة اللازمة للتدوير الحر لمجموعة لمواسير بالعلاقة التالية:

$$N_a = c.\rho_f.g\left(L_p.d_p^2 + L_c.d_c^2 + L_{HW}.d_{HW}^2\right)n^{1.7}$$

حيث أن:

C : معامل احتساب انحراف البئر وسوف نأخذ قيمته (32×10^{-9}).

ρ_f: كثافة سائل الحفر (kg/m^3).

g: تسارع الجاذبية الأرضية بال(m/sec^2).

$L_p,\ L_c,\ L_{HW}$: طول المواسير والأعمدة والمواسير المثقلة على التوالي (m).

$d_p,\ d_c,\ d_{HW}$: القطر الخارجي للمواسير والأعمدة والمواسير المثقلة (m).

n: عدد دورات المنضدة الرحوية $(r.p.m)$.

بينما تعطى الاستطاعة اللازمة لتدوير الدقاق وتهشيم التربة بالعلاقة التالية:

$$N_b = 34.2 \times 10^{-4}.K.G.D_B.n$$

حيث أن:

K: معامل حالة الدقاق وسوف نأخذ قيمته (0.2).

G: الحمل على الدقاق (ton_f).

D_B: قطر رأس الحفر بال(cm).

n: عدد دورات المنضدة الرحوية بال$(r.p.m)$.

1- حساب استطاعة المنضدة الرحوية في المرحلة السطحية:

الاستطاعة اللازمة للتدوير الحر لمجموعة المواسير (N_a):

$$N_{a1} = 32 \times 10^{-9} \times 1080 \times 10(43 \times 0.127^2 + 72 \times 0.245^2 + 27 \times 0.2286^2 + 108 \times 0.127^2) \times 100^{1.7}$$

$$N_{a1} = 7.371\ KW$$

الاستطاعة اللازمة لتدوير الدقاق وتهشيم التربة (N_b):

$$N_{b1} = 34.2 \times 10^{-4} \times 0.2 \times 20 \times 66.04 \times 100$$

$$N_{b1} = 90.342\ KW$$

ومنه فإن الاستطاعة الكلية للمنضدة الرحوية في المرحلة السطحية:

$$N_{R1} = 7.371 + 90.342$$

$$N_{R1} = 97.713\ KW$$

2- حساب استطاعة المنضدة الرحوية في المرحلة الوسطية الأولى:

الاستطاعة اللازمة للتدوير الحر لمجموعة المواسير (N_a):

$$N_{a2} = 32 \times 10^{-9} \times 1080 \times 10(1437 \times 0.127^2 + 72 \times 0.254^2 + 27 \times 0.2286^2 + 54 \times 0.127^2) \times 100^{1.7}$$

$$Na_2 = 26.89\ KW$$

الاستطاعة اللازمة لتدوير الدقاق وتهشيم التربة (N_b):

$$N_{b2} = 34.2 \times 10^{-4} \times 0.2 \times 44.45 \times 18 \times 100$$

$$N_{b2} = 54.7268\ KW$$

ومنه فإن الاستطاعة الكلية للمنضدة الرحوية في المرحلة الوسطية الأولى:

$$N_{R2} = 26.89 + 54.7268$$

$$N_{R2} = 81.6168\ KW$$

3- حساب استطاعة المنضدة الرحوية في المرحلة الوسطية الثانية:

الاستطاعة اللازمة للتدوير الحر لمجموعة المواسير (N_a):

$$N_{a3} = 32 \times 10^{-9} \times 1100 \times 10(2708 \times 0.127^2 + 99 \times 0.2286^2 + 108 \times 0.127^2) \times 100^{1.7}$$

$$Na_3 = 44.733\ KW$$

الاستطاعة اللازمة لتدوير الدقاق وتهشيم التربة (N_b):

$$N_{b3} = 34.2 \times 10^{-4} \times 0.2 \times 16 \times 31.115 \times 100$$

$$N_{b3} = 34.052KW$$

ومنه فإن الاستطاعة الكلية للمنضدة الرحوية في المرحلة الوسطية الثانية:

$$N_{R3} = 44.73 + 34.052$$

$$N_{R3} = 78.785\ KW$$

4- حساب استطاعة المنضدة الرحوية في المرحلة الإنتاجية:

القسم الأول:

الاستطاعة اللازمة للتدوير الحر لمجموعة المواسير (N_a):

$$N_{a4} = 32 \times 10^{-9} \times 2300 \times 10(3174 \times 0.127^2 + 188 \times 0.1651^2 + 108 \times 0.127^2) \times 100^{1.7}$$

$$N_{a4} = 107.338\ KW$$

الاستطاعة اللازمة لتدوير الدقاق وتهشيم التربة (N_b):

$$N_{b4} = 34.2 \times 10^{-4} \times 0.2 \times 12 \times 21.59 \times 100$$

$$N_{b4} = 17.721\ KW$$

ومنه فإن الاستطاعة الكلية للمنضدة الرحوية في المرحلة الإنتاجية (1):

$$N_{R4} = 107.338 + 17.721$$

$$N_{R4} = 125.059\ KW$$

القسم الثاني:

الاستطاعة اللازمة للتدوير الحر لمجموعة المواسير (N_a):

$$N_{a5} = 32 \times 10^{-9} \times 1030 \times 10(3640 \times 0.0889^2 + 126 \times 0.1207^2 + 54 \times 0.0889^2) \times 100^{1.7}$$

$$N_{a5} = 25.690\ KW$$

الاستطاعة اللازمة لتدوير الدقاق وتهشيم التربة (N_b):

$$N_{b5} = 34.2 \times 10^{-4} \times 0.2 \times 6 \times 13.97 \times 100$$

$$N_{b5} = 5.7332\ KW$$

ومنه فإن الاستطاعة الكلية للمنضدة الرحوية في المرحلة الإنتاجية (2):

$$N_{R5} = 25.690 + 5.7332$$

$$N_{R5} = 31.4232\ KW$$

نلاحظ مما سبق أن الاستطاعة الأعظمية للمنضدة الرحوية تصادف في المرحلة الإنتاجية (1) حيث أن:

$$N_{Rmax} = N_{R4} = 125.059\ KW$$

3-3-2- حساب قطر فتحة المنضدة الرحوية:

يتم حساب قطر فتحة المنضدة الرحوية وذلك حسب قطر رأس الحفر للمرحلة السطحية بحيث يؤمن إنزال رؤوس الحفر ومواسير التغليف المستخدمة في عمليات حفر وتدعيم البئر.

لذلك يجب أن يكون قطر فتحة المنضدة الرحوية أكبر من قطر رأس الحفر للمرحلة السطحية، وبالتالي يعطى قطر الفتحة الوسطية للمنضدة الرحوية بالعلاقة التالية:

$$D = D_B + \delta$$

حيث أن:

D: قطر الفتحة الوسطية للمنضدة الرحوية.

D_B: قطر رأس الحفر المستخدم لحفر المرحلة السطحية.

δ: قطر الفراغ الضروري لمرور رأس الحفر بحرية من خلال الفتحة ويتراوح هذا القطر بين $(30 - 50mm)$.

وبتعويض المعطيات الموجودة لدينا بالعلاقة السابقة نجد أن:

$$D = 660.4 + 50$$

$$D = 710.4mm.$$

3-3-3- حساب الحمولة المستقرة المسموح بها:

يجب أن تكون الحمولة المستقرة المسموح بها للمنضدة الرحوية كافية لإسناد أثقل وزن تشكيلة لمواسير التغليف التي يتم استخدامها أثناء حفر البئر.

ويتم اختيار المنضدة الرحوية التي تحقق المتراجحة التالية:

$$G_{max} \leq P \leq C_o$$

حيث أن:

G_{max}: وزن تشكيلة مواسير التغليف الأكبر المستخدمة.

P: الحمولة المستقرة المسموح بها لرحى المنضدة الرحوية.

C_o: الحمولة المستقرة لمضاجع السند الرئيسي لرحى المنضدة.

سوف نحسب وزن مواسير التغليف التي سوف تستخدم لكل مرحلة من مراحل البئر على التوالي:

1- حسب وزن مواسير التغليف في المرحلة السطحية:

يعطى وزن مواسير التغليف المنزلة حتى العمق المعين بالعلاقة التالية:

$$G = L_c \times q_c$$

وبتعويض المعطيات بالعلاقة السابقة نجد أن:

$$G_1 = 250 \times 197.874 = 49416.75Kg_f = 49.41675ton_f$$

2- حساب وزن مواسير التغليف في المرحلة الوسطية الأولى:

$$G_2 = 1590 \times 101.168 = 160857.12Kg_f = 160.85712ton_f$$

3- حساب وزن مواسير التغليف في المرحلة الوسطية الثانية:

$$G_3 = 2915 \times 69.925 = 203539.875Kg_f = 203.539875ton_f$$

4- حساب وزن مواسير التغليف في المرحلة الإنتاجية:

القسم الأول:

$$G_4 = 3470 \times 43.145 + 234 \times 52.072 = 161897.998K_{gf}$$
$$= 161.897\ ton_f$$

القسم الثاني:

$$G_5 = 350 \times 26.797 = 9372.65K_{gf} = 9.37265ton_f$$

نلاحظ من الحسابات السابقة أن الوزن الأعظمي لمواسير التغليف لمراحل البئر يصادف في المرحلة الوسطية الثانية ويساوي إلى:

$$G_{max} = G_2 = 203.539875\ ton_f$$

3-3-4- عدد دورات المنضدة الرحوية:

يتم أخذ عدد الدورات الأعظمي الذي يصادف أثناء إنجاز مراحل البئر حيث نجد بالعودة إلى البرنامج (forecast) لدينا أن عدد الدورات الأعظمي يصادف في المرحلة الإنتاجية (1) من مراحل البئر ويساوي إلى:

$$n_{max} = 90 - 100rpm.$$

يتم اختيار المنضدة الرحوية ذات قطر الفتحة الأكبر مباشرةً من قطر الفتحة الوسطية المحسوب سابقاً وبحيث تتحمل مضاجعها حمولة أكبر من الحمولة المستقرة العظمى (G_{max}) وعدد دوراتها يحقق عدد الدورات الأعظمي المصادف أثناء حفر البئر وأيضاً تحقق الاستطاعة المطلوبة.

مما سبق ومن الجداول الخاصة نجد أن المنضدة الرحوية المناسبة هي من النوع (R-950) ومواصفاتها موضحة بالجدول التالي:

3-4- اختيار للمنضدة الرحوية:

Parameters/Model	R-950
Rotary table opening, in(mm)	$37\frac{1}{2}$", (950)
Admissible static load, tn (t)	695, (630)
Static torque, ft.lb (N.m)	88500, (120000)
Rotational speed (max), rpm	350
Drive shaft-to-rotary table gear ratio	3.81
Weight (without master bushing), lbs (kg)	17094, (7000)

3-4-1- حساب استطاعة مضخات سائل الحفر:

تعطى استطاعة مضخات سائل الحفر بالعلاقة التالية:

$$N_P = \frac{Q.P}{\eta_p}$$

حيث أن:

N_P: استطاعة مضخة سائل الحفر.

Q: غزارة المضخة.

P: ضغط المضخة.

η_p: المردود المفيد الكلي للمضخة ويعطى بالعلاقة التالية:

$$\eta_P = \eta_H.\eta_V.\eta_M$$

حيث أن:

η_H: المردود المفيد الهيدروليكي، ويمثل بالنسبة بين الاستطاعة المفيدة والاستطاعات المصروفة على المقاومات الهيدروليكية في المضخة ويساوي (0.97).

η_V: المردود المفيد الحجمي، ويمثل بالنسبة بين الاستطاعة المفيدة والاستطاعة المصروفة نتيجة تسرب السائل في أجزاء المضخة، ويساوي (0.97).

η_M: المردود المفيد الميكانيكي للمضخة الذي يأخذ بعين الاعتبار فقدان الاستطاعة نتيجة الاحتكاك في أجزاء المضخة الميكانيكية والهيدروليكية، ويساوي (0.85).

وبالتعويض في علاقة المردود المفيد للمضخة نجد أن:

$$\eta_P = 0.97 \times 0.97 \times 0.85 = 0.8$$

سوف نحسب استطاعة مضخات سائل الحفر في كل مرحلة من مراحل البئر:

1- حساب استطاعة المضخات في المرحلة السطحية:

من البرنامج (forecast) نأخذ قيمة كل من الضغط الأعظمي والغزارة لسائل الحفر في هذه المرحلة.

حيث نجد أن: $(P = 75\ atm,\ Q = 70L/sec)$ ومنه فإن استطاعة المضخة في هذه المرحلة تساوي إلى:

$$N_{P1} = \frac{70 \times 10^{-3} \times 75 \times 10^{5}}{0.8} = 656250\ Watt = 656.250\ KW$$

2- حساب استطاعة المضخات في المرحلة الوسطية الأولى:

بنفس الطريقة السابقة نجد أن الضغط والغزارة في المرحلة الوسطية الأولى هي $(P = 125\ atm,\ Q = 60L/sec)$.

وبالتالي فإن استطاعة المضخة:

$$N_{P2} = \frac{60 \times 10^{-3} \times 125 \times 10^{5}}{0.8} = 937500\ Watt = 937.5\ KW$$

3- حساب استطاعة المضخات في المرحلة الوسطية الثانية:

في هذه المرحلة إن قيمة كلٍّ من الضغط والغزارة هي:

$$(P = 130atm, Q = 42\ L/sec)$$

وبالتالي فإن استطاعة المضخة:

$$N_{P3} = \frac{50 \times 10^{-3} \times 180 \times 10^{5}}{0.8} = 682500\ Watt = 682.5\ KW$$

4- حساب استطاعة المضخات في المرحلة الإنتاجية:

1- القسم الأول: حيث أن قيم الضغط والغزارة في هذا القسم كانت كما يلي:

$$(P = 200atm, Q = 25L/sec)$$

ومنه فإن استطاعة المضخة:

$$N_{P4} = \frac{25 \times 10^{-3} \times 200 \times 10^{5}}{0.8} = 625000Watt = 625KW$$

2- القسم الثاني: حيث أن:$(P = 160atm, Q = 12L/sec)$ ومنه فإن استطاعة المضخة:

$$N_{P5} = \frac{12 \times 10^{-3} \times 160 \times 10^{5}}{0.8} = 240000Watt = 240KW$$

مما سبق نجد أن الاستطاعة الأعظمية لمضخات سائل الحفر تصادف في المرحلتين الوسطيتين الأولى والثانية وتساوي إلى:

$$N_{P\,max} = N_{P2} = N_{P3} = 1125\ KW$$

بناءً على هذه الاستطاعة الأعظمية يتم اختيار مضخات سائل الحفر، ومن الجداول الخاصة لدينا نجد أن النوع المناسب لمضخات سائل الحفر هو (UNBT-1180L) ومواصفات هذه المضخة موضحة بالجدول التالي:

Parameters/Model	UNBT-1180L
Pump power, HP (KW)	1604, (1180)
No. of cylinders	3
Nominal piston stroke per minute	125
Pump displacement (max), gal/s (L/s)	13.6, (51.4)
Output pressure (max), psi (MPa)	5075, (35)
Hydraulic part	L-shaped
Air chamber	RK70-350
Irregularity of pressure at pump output, %, max	5
Pump weight w/o sheave air chamber and crane, lbs (kg)	49500, (22432)
Weight include sheave air chamber and crane, lbs (kg)	54300, (24632)

3-5- اختيار الرأس الهيدروليكي (Swivel):

يتم اختيار الرأس الهيدروليكي اعتماداً على الحمولة المكافئة (P_e) المؤثرة على المضاجع من النوع الإسنادية أحادية الصفوف.

تعطى الحمولة المكافئة بالعلاقة:

$$P_e = F_c \times f_d$$

حيث أن:

F_c: الحمولة المحورية الثابتة من حيث القيمة والاتجاه (أي أقصى حمولة مواسير وأعمدة على الخطاف).

F_d: معامل التحميل الحركي الذي يأخذ بعين الاعتبار سلامة الرأس الهيدروليكي ويعطى بالعلاقة:

$$f_d = k_t . k_s . k_k . k_e$$

حيث أن:

k_t: المعامل الحراري، قيمته تساوي الواحد عند الحرارة (t = 100 c).

k_s: معامل الأمان، وسوف نأخذ قيمته (1.8).

k_k: المعامل الحركي، قيمته تساوي الواحد للمضاجع الإسنادية المتعرضة لحمولات محورية.

k_e: معامل الحمولة المكافئة،، وسوف نأخذ قيمته (0.7).

مما سبق نجد أن الحمولة المحورية الثابتة العظمى من حيث القيمة والاتجاه تصادف في المرحلة الإنتاجية (1) من مراحل البئر والتالي:

$$F_C = P_{h\,max} = P_{h4} = 192121.575\ kg_f$$

أما معامل التحميل الحركي:

$$f_d = 1 \times 1.8 \times 1 \times 0.7 = 1.26$$

ومنه فإن الحمولة المكافئة:

$$P_e = 132121.575 \times 1.26 = 242073.1845\ kg_f = 242.073 ton_f$$

من الجداول الخاصة واعتماداً على الحمولة المكافئة المحسوبة أعلاه نجد أن الرأس الهيدروليكي المناسب هو (UV-450MA) ومواصفاته موضحة بالجدول أدناه:

Parameters/Model	UV-450MA
Dead load capacity, tn(t)	496, (450)
A.P.I bearing capacity, tn(t)	287, (260)
Maximum mud pressure in stem, psi(MPa)	5800, (40)
Stem fluid passage bore, in(mm)	3", (75)
Sub-to-Kelly thread Left	3-152L
Stem thread Left	3-177L
Height without sub, in(mm)	118", (2990)
Width at link pins, in(mm)	554", (1375)
Weight, lbs(kg)	9040, (4100)

3-5- اختيار وحدة الحفر المناسبة لحفر البئر (Drilling Rig):

يتم اختيار وحدة الحفر المناسبة بالرجوع إلى جداول الحفارات الروسية (URALMASH) المتوفرة لدينا والتي سيتم إرفاقها في الملحق في نهاية الدراسة وذلك اعتماداً على مواصفات ونوع الأجهزة المنفذة الرئيسية ونوع ومواصفات الرأس الهيدروليكي المختارة سابقاً، ومن الجداول نجد أن وحدة الحفر المقترحة والمناسبة لحفر البئر هي من النوع (8000/500 DER) ومواصفاتها موضحة بالجدول التالي:

Parameters/Model	8000/500 DER
General parameters	
Hoisting capacity, t	500
Drilling depth with 4 1/2" DP, ft(m)	26300, (8000)
DP stands length, ft(m)	82...89m (25...27)
Drive	diesel-electric
Mast	UM4 45-500A
type	A-mast
mast height, ft(m)	149, (45.3)
Substructure	
type	box-on-box
Elevation (drill floor level), ft(m)	32.8, (10.0)
Travelling system	
wire line size, in(mm)	$1\frac{1}{2}$", (38)
number of lines	12(6*7)
Drawworks	LBU-1500 ET3
input power, HP(KW)	2000, (1500)
Swivel	**UV-450 MA**
dead load capacity, t	450
A.P.I bearing capacity, t	260
Rotary table	**R-950**
rotary table drive power, HP(KW)	598, (440)
rotary table opening, in(mm)	$37\frac{1}{2}$", (950)
maximum static load, t	630
Mud pump	**UNBT-1180 A1**
max power, HP(KW)	1604, (1180)
Maximum output pressure, psi(MPa)	5070, (35)
rated pump speed, spm	125
total volume, gal(m^3)	3765, (600)

النتائج والمقترحات

النتائج:

- تم اختيار وحدة الحفر المناسبة لحفر البئر المدروس اعتمادًا على تأمين الاستطاعة اللازمة لتشغيل الأجهزة الأساسية في وحدة الحفر (الجهاز الرافع – المنضدة الرحوية – مضخات سائل الحفر – الرأس الهيدروليكي) وبحيث تتحمل هذه الأجهزة الحمولات الأعظمية التي يمكن أن تتعرض لها خلال عملية حفر البئر بالكامل.
- تم اختيار بئر صدد–11 لإجراء الدراسة، حيث وفقاً لبرنامج البئر فإنه يتألف من أربع مراحل (سطحية – وسطية أولى – وسطية ثانية – إنتاجية)، والعمق النهائي للبئر هو (3820m).
- تم حساب الحمولة التي يتعرض لها الخطاف خلال حفر كافة المراحل، وتم اختيار الحمولة الأكبر من أجل عمليات التصميم ووجدنا أن الحمولة العظمى على الخطاف تصادف في المرحلة الإنتاجية الأولى من مراحل البئر بقيمة (192 tonf)، كما تم حساب الاستطاعة الأعظمية المطلوبة لتشغيل الجهاز الرافع فكانت (1248 KW)، ومن الجداول الملحقة تم اختيار الجهاز الرافع ذو النموذج (LBU 1500 ET–3) والمناسب للعمل بحيث يتحمل هذه الحمولة وكذلك له استطاعة أكبر مباشرة من الاستطاعة المحسوبة.
- تم حساب الاستطاعة المطلوبة لتشغيل المنضدة الرحوية لكل مرحلة من مراحل البئر، كما تم حساب وزن تشكيلة مواسير التغليف لكافة المراحل، وقد كانت الاستطاعة الأعظمية للمنضدة الرحوية في المرحلة الإنتاجية (1) بقيمة (125 KW)، بينما كان الوزن الأعظمي لمواسير التغليف لمراحل البئر يصادف في المرحلة الوسطية الثانية ويساوي إلى(203 tonf)، ولدى حساب قطر فتحة المنضدة الرحوية تبين أن القطر

الأعظمي الحسابي يبلغ (710 mm)، ومن برنامج البئر تم أخذ أكبر عدد لدورات المنضدة الرحوية ذو القيمة (100 r.p.m) في المرحلة الإنتاجية (1)، وفي النتيجة تم اختيار نموذج المنضدة الرحوية (R–950) من الجداول الملحقة والذي يحقق المؤشرات التصميمية المحسوبة.

- تم حساب الاستطاعة اللازمة لتشغيل مضخات سائل الحفر لكل مرحلة من مراحل البئر، وقد كانت الاستطاعة الأعظمية في المرحلتين الوسطية الأولى والثانية بقيمة (937 KW) ، وقد تم اختيار نموذج المضخات (UNBT–1180L) من جداول مضخات سائل الحفر المرفقة، حيث أن هذا النموذج مناسب للعمل بما يحققه من استطاعة أكبر مباشرةً من الاستطاعة الأعظمية المحسوبة.
- تم اختيار الرأس الهيدروليكي ذو النموذج (UV–450MA) من الجداول المرفقة والتي تبين مواصفات أنواع الرأس الهيدروليكي المستخدم في الحفارات الروسية (Ural Mash)، حيث يتحمل هذا النموذج الحمولة المكافئة (P_e) المحسوبة والمؤثرة على المضاجع من النوع الإسنادية أحادية الصفوف.
- أخيراً تم اختيار وحدة الحفر المناسبة لحفر بئر صدد–11 من جداول الحفارات الروسية (Ural Mash) المرفقة في نهاية البحث، وكان النموذج المناسب هو (8000/500 DER) حيث يضم جميع الأجهزة الأساسية المختارة سابقاً وفق الحسابات التصميمية المتعلقة بكل جهاز.

4–2– المقترحات:

- نلاحظ أنه تم استخدام وحدة حفر تحفر لعمق أكبر من (4000 m) ويعود السبب إلى أن حسابات وحدة الحفر ذات النموذج (8000/500 DER) هي محسوبة عند قطر مواسير حفر $\left(4\frac{1}{2}\right)$ إنش، بينما الحسابات التصميمية التي قمنا بها كانت على المواسير المتوفرة لدينا في الحقول ذات القطر (5) إنش، وبالتالي الحمولة ستكون

أكبر.

- نقترح إجراء تناسب ما بين الحمولات الأعظمية المأخوذة عند تصميم وحدة الحفر (8000/500 DER) والحمولات التي قمنا بحسابها وإيجاد العمق الحدي الذي يمكن أن نصل إليه باستخدام هذا النموذج لوحدة الحفر وذلك عند استخدام مواسير الحفر ذات القطر (5) إنش.

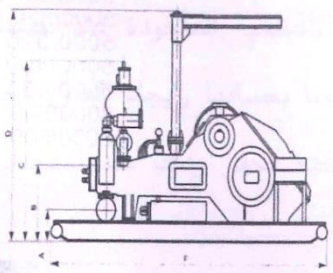
الجداول الملحقة

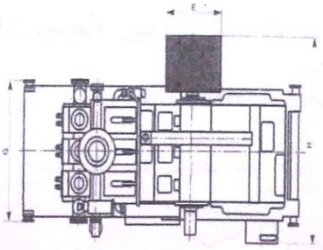
LAND RIGS

3200/200 DGU
5000/320 DGU
5000/320 ER
5000/400 ER
6500/450 DG
8000/500 DER
8000/600 DER



Parameters / Model	3200/200 DGU-1	5000/320 DGU-1	6500/450 DG	8000/500 DER	8000/600 DER
General parameters					
Hoisting capacity, tn (t)	220 (200)	352 (320)	496 (450)	550 (500)	550 (500)
A.P.I. maximum static hook load, tn (t)	265 (240)	425 (385)	595 (540)	660 (600)	660 (600)
Drilling depth with 4½" DP, ft (m)	10,500 (3200)	16,400 (5000)	21,300 (6500)	26,300 (8000)	26,300 (8000)
DP stands length, ft (m)	82 (25)	82..89 (25...27)	82..89 (25...27)	82..89 (25...27)	89 (27)
Drive	diesel-hydraulic	diesel-hydraulic	diesel-hydraulic	diesel-electric	diesel-electric
Mast	UM 45-225R	VMA 45-320	UM4 45-450AR	UM4 45-500A	UM 46-600 OG-R
type	A-mast	A-mast	A-mast	A-mast	swing up with open fac
mast height, ft (m)	147 (44.8)	147 (44.8)	149 (45.3)	149 (45.3)	151 (46.0)
Substructure					
type	box-on-box	box-on-box	box-on-box	box-on-box	self-elevation
elevation (drill floor level), ft (m)	19.7 (6.0)	26.3 (8.0)	26.3 (8.0)	32.8 (10.0)	30 (9.2)
Traveling system					
wireline size, in (mm)	1¼" (28)	1⅜" (35)	1⅜" (35)	1½" (38)	1½" (38)
number of lines	10 (5x6)	10 (5x6)	12 (6x7)	12 (6x7)	12 (6x7)
Drawworks	LBU 1200K	LBU 37-1100D	LBU 37-1100D-1	LBU-1500 ET3	LBU-1500 ET3
input power, HP (kW)	880 (645)	1500 (1100)	1700 (1250)	2000 (1500)	2000 (1500)
Swivel	UV-250 MA	UV-320 MA	UV-450 MA	UV-450 MA	UV-500 MA
dead load capacity, tn (t)	275 (250)	353 (320)	496 (450)	496 (450)	550 (500)
A.P.I. bearing capacity, tn (t)	160 (145)	221 (200)	287 (260)	287 (260)	330 (300)
Rotary table	R-700	R-700	R-700	R-950	R-950
rotary table drive power, HP (kW)	380 (280)	503 (370)	598 (440)	598 (440)	882 (800)
rotary table opening, in (mm)	27½" (700)	27½" (700)	27½" (700)	37½" (950)	37½" (950)
maximum static load, tn (t)	551 (500)	551 (500)	551 (500)	695 (630)	695 (630)
Mud pump	UNBT-950	UNBT-950 A	UNBT-950 A	UNBT-1180 A1	UNBT-1600
max. horsepower (kW)	1292 (950)	1292 (950)	1292 (950)	1604 (1180)	2176 (1600)
max. output pressure, psi (MPa)	4640 (32)	4640 (32)	4640 (32)	5070 (35)	7685 (53)
rated pump speed, spm	125	125	125	125	100
Mud system					
total volume, gal (m^3)	1010 (160)	1700 (270)	2640 (420)	3765 (600)	2510 (400)





MUD PUMPS

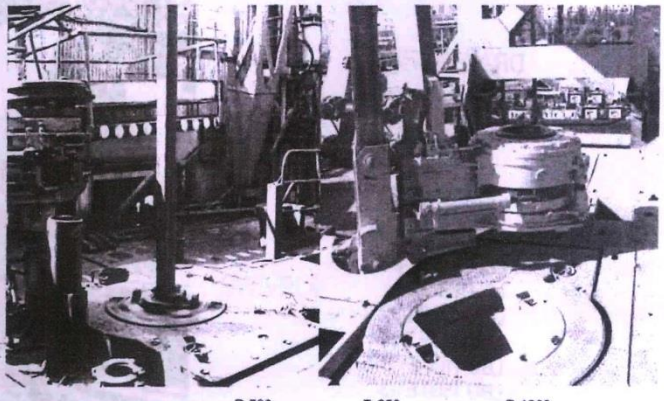
UNB-600
UNBT-600
UNBT-950
UNBT-1180L
UNBT-1600



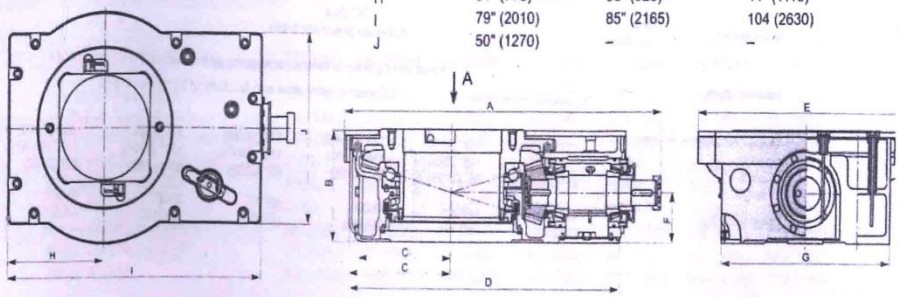
Parameters / Model		UNB-600	UNBT-600	UNBT-950	UNBT-1180L	UNBT-1600
Pump power, HP (kW)		816 (600)	816 (600)	1292 (950)	1604 (1180)	2176 (1600)
No. of cylinders		2	3	3	3	3
Nominal piston stroke per minute		65	160	125	125	100
Pump displacement (max), gal/s (L/s)		13.7 (51.9)	13.5 (50.9)	12.2 (46)	13.6 (51.4)	15.8 (59.7)
Output pressure (max), psi (MPa)		3625 (25)	5075 (35)	4640 (32)	5075 (35)	7685 (53)
Hydraulic part		—	L-shaped	Direct-flow	L-shaped	L-shaped
Air chamber		PK70-250	PK40-350	PK70-320	PK70-350	PK70-530
Irregularity of pressure at pump output, %, max.		12	5	5	5	5
Pump weight w/o sheave, air chamber and crane, lbs (kg)		50,900 (23,070)	30,100 (13,670)	48,700 (22,070)	49,500 (22,432)	78,900 (35,800)
Weight, incl. sheave, air chamber and crane, lbs (kg)		56,500 (25,610)	34,100 (15,450)	53,500 (24,261)	54,300 (24,632)	—
Dimensions, in (mm)	A		21" (526)	20" (496)	20" (496)	21" (530)
	B		45" (1140)	51" (1286)	51" (1286)	54" (1367)
	C		102" (2578)	113" (2860)	113" (2860)	123" (3116)
	D		146" (3705)	148" (3761)	148" (3761)	160" (4060)
	E		44" (1120)	28" (710)	28" (710)	—
	F		156" (3955)	212" (5390)	212" (5390)	236" (6000)
	G		66" (1680)	86" (2186)	86" (2186)	87" (2210)
	H		98" (2478)	132" (3359)	132" (3359)	—
	I		23" (592)	36" (904)	36" (904)	—

ROTARY TABLES

R-700
R-950
R-1260

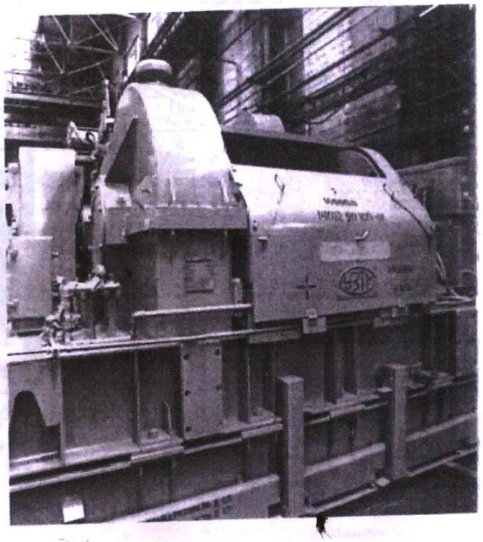


Parameters / Model		R-700	R-950	R-1260
Rotary table opening, in (mm)		27 1/2" (700)	37 1/2" (950)	49 1/2" (1260)
Admissible static load, tn (t)		551 (500)	695 (630)	882 (800)
Static torque, ft*lb (Nm)		59,000 (80,000)	88,500 (120,000)	132,750 (180,000)
Rotational speed (max), rpm		350	350	350
Drive shaft-to-rotary table gear ratio		3.61	3.81	3.96
Weight (without master bushing), lbs (kg)		11,697 (4790)	17,094 (7000)	23,100 (9460)
Dimensions, in (mm)	A	89" (2270)	95" (2425)	115" (2910)
	B	27" (680)	30" (750)	32" (800)
	C	29" (740)	35" (875)	42" (1070)
	C1	26" (665)	30" (765)	39" (1000)
	D	77" (1945)	81" (2065)	100" (2535)
	E	61" (1545)	73" (1850)	88" (2230)
	F	12" (305)	13" (330)	14" (360)
	G	47" (1200)	61" (1550)	76" (1930)
	H	31" (775)	36" (925)	44" (1115)
	I	79" (2010)	85" (2165)	104 (2630)
	J	50" (1270)	–	–



DRAWWORKS

LBU 600 ET-3P
LBU 600 ET-3
LBU 670 ET-3
LBU 900 ET-3
LBU 1100 ET-3
LBU 1500 ET-3



Parameters / Model	LBU 600 ET-3P	LBU 600 ET-3	LBU 670 ET-3	LBU 900 ET-3	LBU 1100 ET-3	LBU 1500 ET-3
Maximum load capacity, tn (t)	176 (160)	193 (175)	220 (200) 248 (225)	275 (250) 298 (270)	353 (320)	440 (400)
Input power, HP (kW)	816 (600)	816 (600)	911 (670)	1224 (900)	1496 (1100)	2040 (1500)
Wireline size, in (mm)	1 1/8" (28)	1 1/8" (28)	1 1/8" (28)	1 1/4" (32)	1 3/8" (35)	1 1/2" (38)
Number of lines	8 (4X5)	8 (4X5)	10 (5X6)12 (6X7)	10 (5X6)12 (6X7)	10 (5X6)12 (6X7)	10 (5X6)12 (6X7)
Number of drum shaft rotation speeds	2	2	2	2	2	2
Drum shaft dimensions (dia./length), in (mm)	20"/47" (500/1190)	20"/47" (500/1190)	20"/47" (500/1190)	24"/49" (600/1243)	27"/54" (685/1373)	30"/58" (760/1466)
Brake disk diameter, in (mm)	28 3/4" & 45" (730&1150)	28 3/4" (730)	28 3/4" (730)	28 3/4" (730)	28 3/4" (730)	28 3/4" (730)
Brake system main	DC drive					
Brake system auxiliary	disk-shoe pneumatic brake					
Auxiliary drive	rig-up and rig down of derrick, emergency pipes hoisting					
	DC electric motor drive		DC electric motor drive with functions of bit feed controller			
Overall dimensions, in (mm)						
length	131" (3320)	164" (4160)	171" (4348)	172" (4365)	173" (4397)	308" (7816)
width	116" (2935)	115" (2930)	115" (2930)	118" (3000)	127" (3216)	140" (3558)
height	85" (2155)	85" (2155)	85" (2155)	85" (2155)	89" (2265)	95" (2422)
Weight, lbs (kg)	42328 (19200)	44466 (20170)	46296 (21000)	50705 (23000)	58003 (26310)	89550 (40620)

SYSTEMS AND COMPONENTS

The swivel bears the maximum load during the drilling process. Trouble-free operation of the whole rig depends upon swivel reliability.



SWIVELS

The swivel is the connecting link between the drilling line system and the drilling string, and is designed to supply mud to the rotating string of drill pipes and to maintain tool rotation during drilling.

The following design components guarantee high swivel reliability

- a thrust bearing with taper rollers, used as the main bearing, increases the swivel overhaul period;
- a branch pipe made of high alloy steel has high resistance to high pressure mud attack
- design of the swivel body bottom guarantees reliable tightness of the oil bath
- a quick-release packing incorporates a pipe, the working surface of which has been strengthened by plasma spraying at the point of its contact with the cup packing
- cup-packing life has been increased by rotating them in turn or simultaneously at a rotational speed half as great as the swivel stem speed.

Parameters / Model	UV-160MA	UV-175MA	UV-250MA	UV-270MA	UV-320MA	UV-450MA	UV-500MA
Dead load capacity, tn (t)	176 (160)	193(175)	276 (250)	298 (270)	353 (320)	496 (450)	551 (500)
A.P.I. bearing capacity, tn (t)	110 (100)	73 (66)	160 (145)	160 (145)	221 (200)	287 (260)	331 (300)
Maximum mud pressure in stem, psi (MPa)	5075 (35)	5075 (35)	3625 (25)	3625 (25)	4640 (32)	5800 (40)	5800 (40)
Stem fluid passage bore, in (mm)	3" (75)	3" (75)	3" (75)	3" (75)	3" (75)	3" (75)	3" (75)
Sub-to-Kelly thread LEFT	3-152L	3-152L	3-152L	3-152L	3-152L	3-152L	3-152L
Stem thread LEFT	3-152L	3-152L	3-152L	3-152L	3-177L	3-177L	3-177L
Height without sub, in (mm)	88" (2228)	88" (2228)	95" (2411)	95" (2411)	104" (2627)	118" (2990)	127" (3230)
Width at link pins, in (mm)	37" (950)	37" (950)	43" (1090)	43" (1090)	48" (1212)	54" (1375)	54" (1380)
Weight, lbs (kg)	3570 (1620)	3500(1590)	4850 (2200)	4850 (2200)	6570 (2980)	9040 (4100)	12500 (5670)

المراجع العلمية

أ- المراجع العربية:

1-أ. د. حديد، محمود – ميكانيك آلات الحفر والإنتاج (1) – القسم النظري، كلية الهندسة الكيميائية والبترولية، منشورات جامعة البعث، 2007-2008.

2-أ. د. حديد، محمود – ميكانيك آلات الحفر والإنتاج (2) – القسم النظري، كلية الهندسة الكيميائية والبترولية، منشورات جامعة البعث، 2010-2011.

3-أ. د. حديد، محمود – ميكانيك آلات الحفر والإنتاج (1) – القسم العملي، كلية الهندسة الكيميائية والبترولية، منشورات جامعة البعث، 2008-2009.

4-أ. د. حديد، محمود – م. الكحيل، عبد الستار – ميكانيك آلات الحفر والإنتاج (2) – القسم العملي، كلية الهندسة الكيميائية والبترولية، منشورات جامعة البعث، 2010-2011.

ب- المراجع الأجنبية:

5- Kate. V.d, (1995), The drawworks and the compound, International association of drilling contractor, Houston, Texas 120 page.

6- Heriot Watt University, Drilling Engineering.

7- Shell International Exploration & Production – Well Engineering Distance Learning Package, 8th Edition, SIEP-97-5089.

* * *