الجمهورية العربية السورية
الجامعة السورية الخاصة
كلية هندسة البترول

الجامعة السورية الخاصة
SYRIAN PRIVATE UNIVERSITY

دراسة تصاميم أبراج الحفر وحسابات استقراريتها

دراسة أعدت لنيل درجة الإجازة في هندسة البترول

إشراف الدكتور

أ.د.محمود مصطفى حديد

إعداد الطلاب

فادي فداء الغاوي محمد يزن المرعي

العام الدراسي 2025

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: أبراج الحفر (DERRICK – MAST) 22

2-1- برج الحفر (Derrick) 23

2-2- تصنيف أبراج الحفر 24

2-2-1- الأبراج رباعية القوائم 26

2-2-2- الأبراج ثنائية القوائم 27

2-2-3- الأبراج أحادية القوائم 30

2-3- قياسات برج الحفر 31

2-4- الكتلة النوعية للبرج 33

2-5- الحمولات المؤثرة في البرج 33

2-6- الحمولات المؤثرة في أرضية (منصة) برج الحفر 40

2-7- استقرارية برج الحفر و منصته 41

الفصل الثالث: القسم العملي 46

3-1- معطيات البئر المدروس (صدد-11) 48

3-2-حساب الحمولات المطبقة على مجموعة الرفع و الإنزال 52

3-3-حساب معامل الاستقرار من أجل الأبراج الصارية.....55
النتائج والمقترحات 66
المراجع العلمية 74

مقدمـــــة

لـم يعد الـنفط مصـدرًا هامًّـا للطاقـة فقط بـل أصـبح يُسـتخدَم 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:

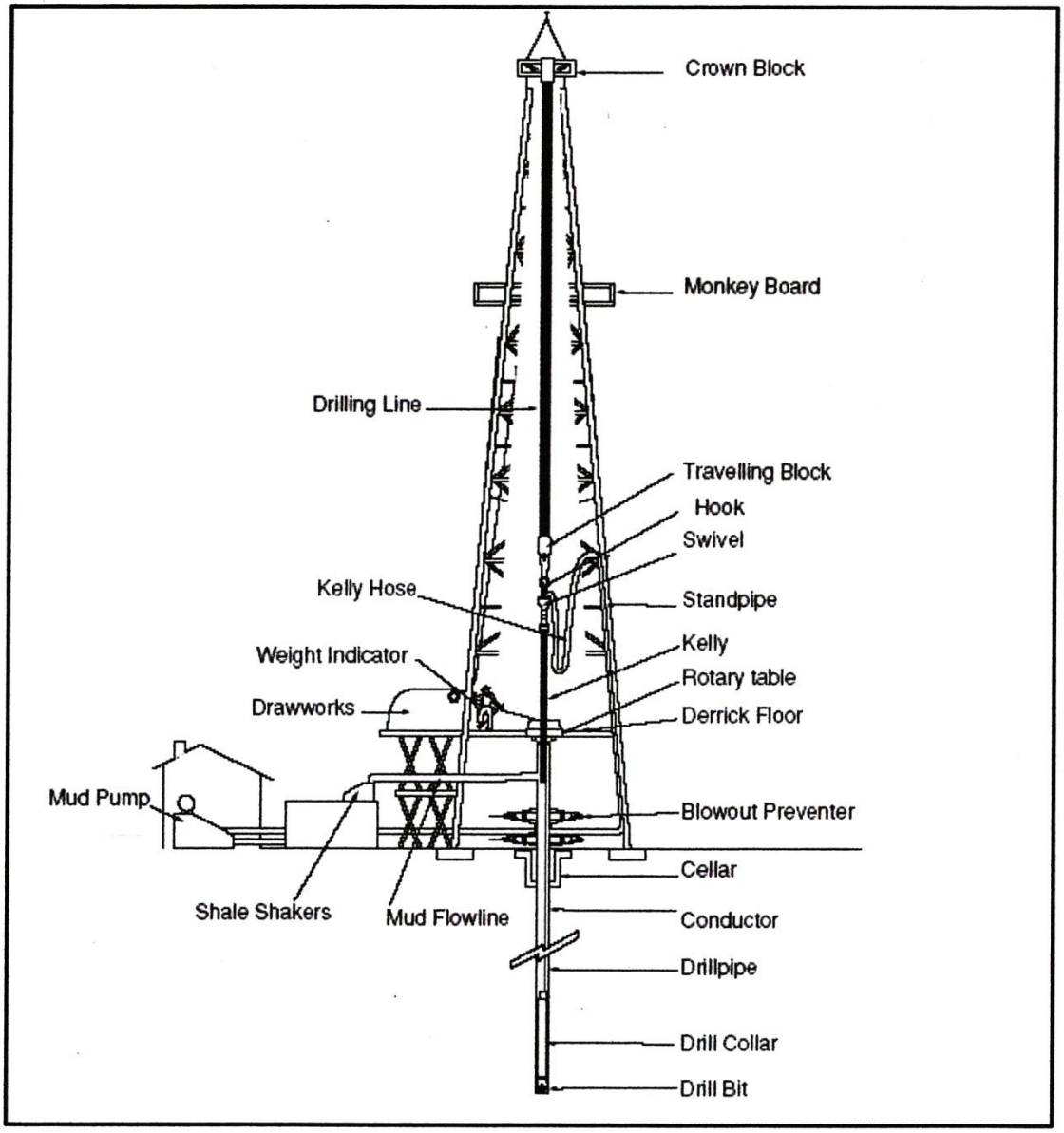
يمكن تقسيم وحدة الحفر الدوراني الموضحة في الشكل (1-1) إلى المجموعات التالية:

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.

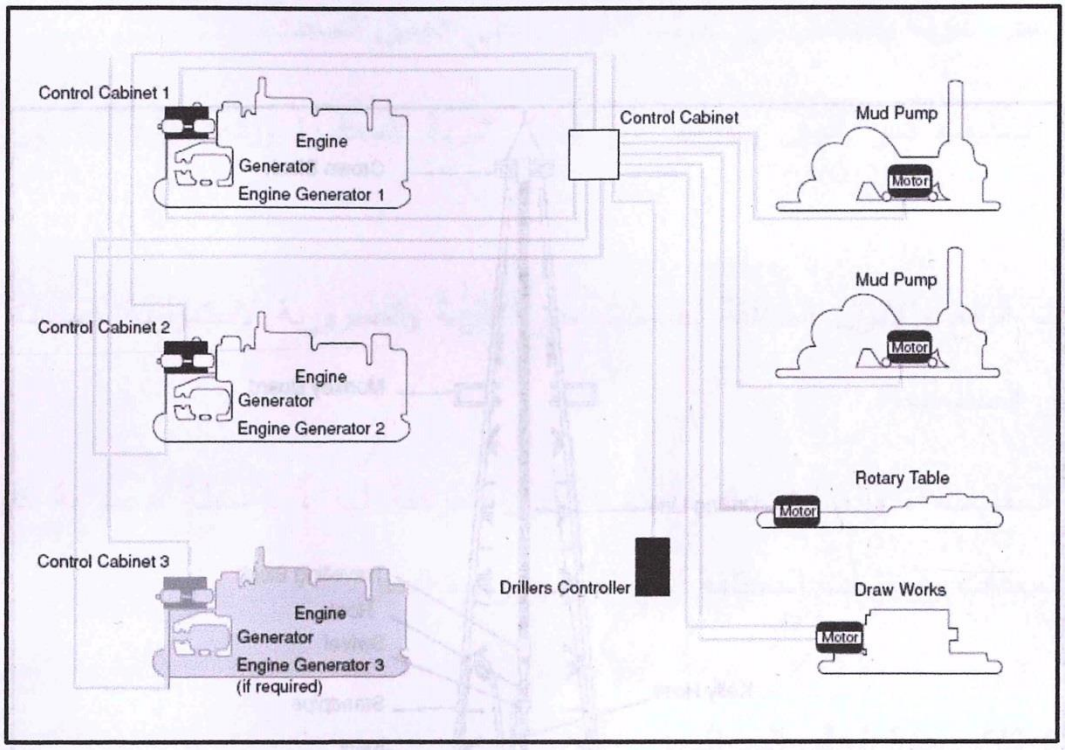
يستخدم في وحدات الحفر المحركات التالية:

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 نسبيًّا، إضافةً إلى أن تحتل مع أجهزتها المساعدة مساحات كبيرة من موقع العمل لذلك فقد تم الاستغناء عن هذه المحركات كلِّيًّا.



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.

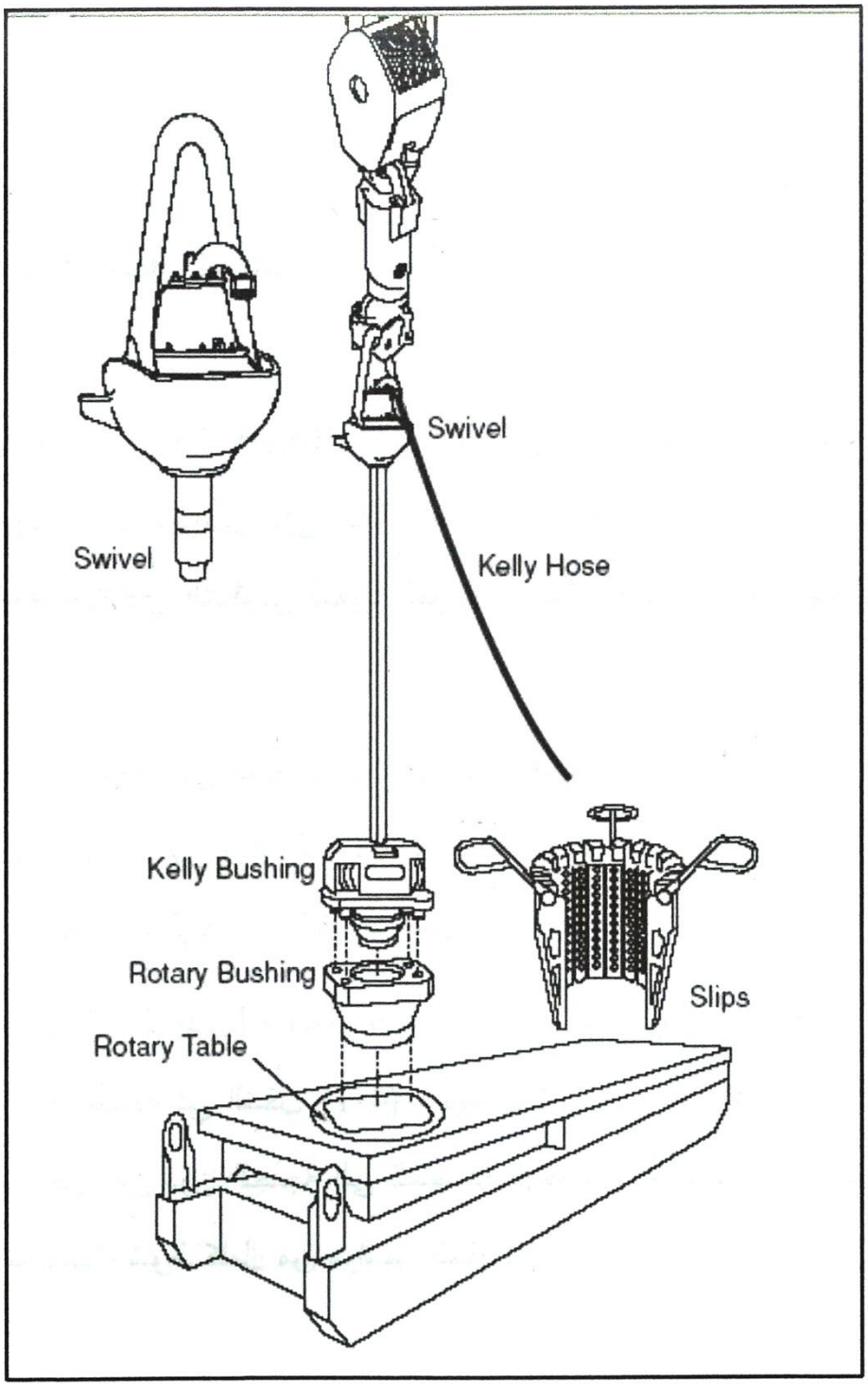
1-2-2- مجموعة الحفر الميكانيكية:

تشمل هذه المجموعة.

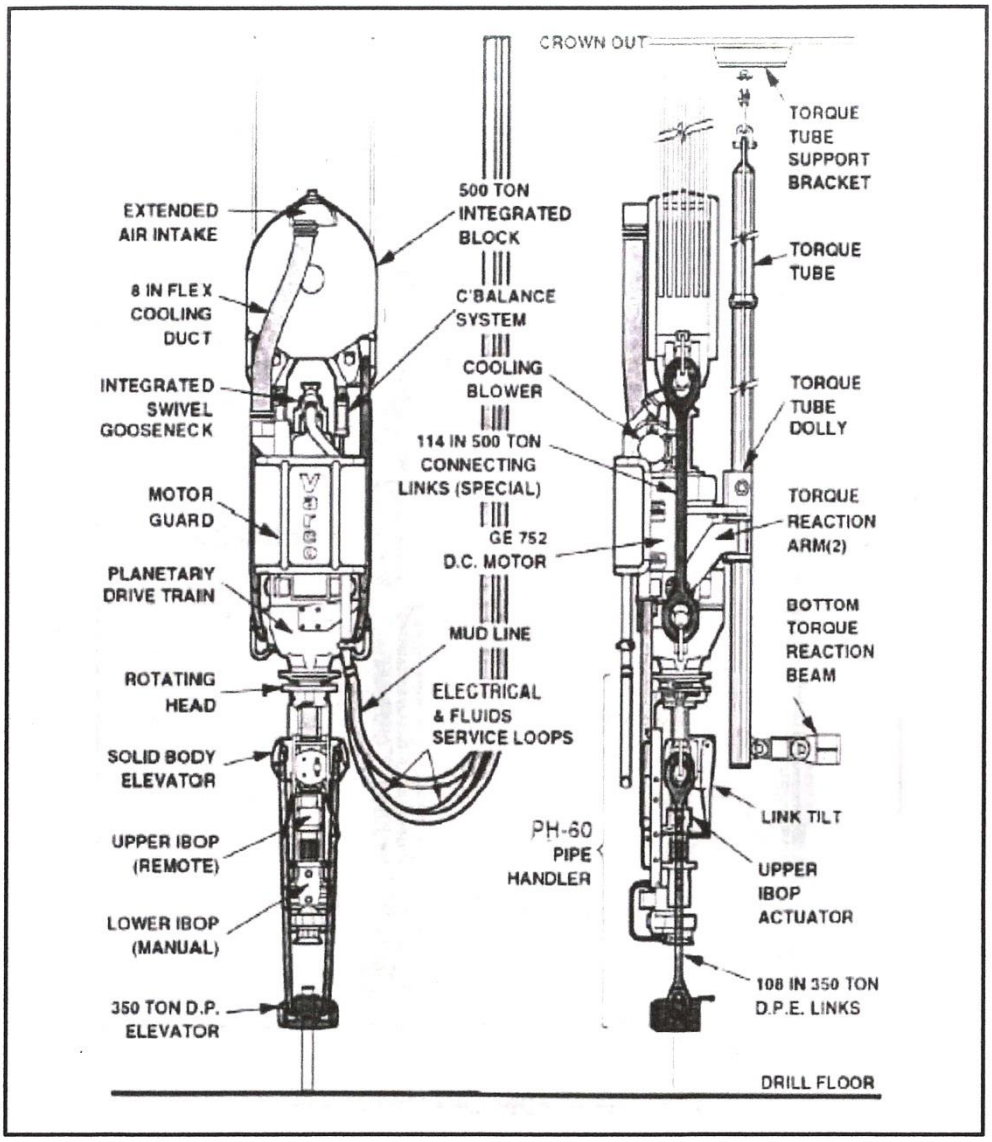
1. المنضدة الرحوية (Rotary Table): الموضحة في الشكل (1-3) التي تقوم بتدوير الدقاق من خلال تدوير عمود المواسير (في حالة الحفر الرحوي)، يجب أن تؤمن في وقت واحد الحركة الدورانية والانزلاق الشاقولي لعمود المواسير خلال عملية الحفر والتغلغل في جوف الأرض.

   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.

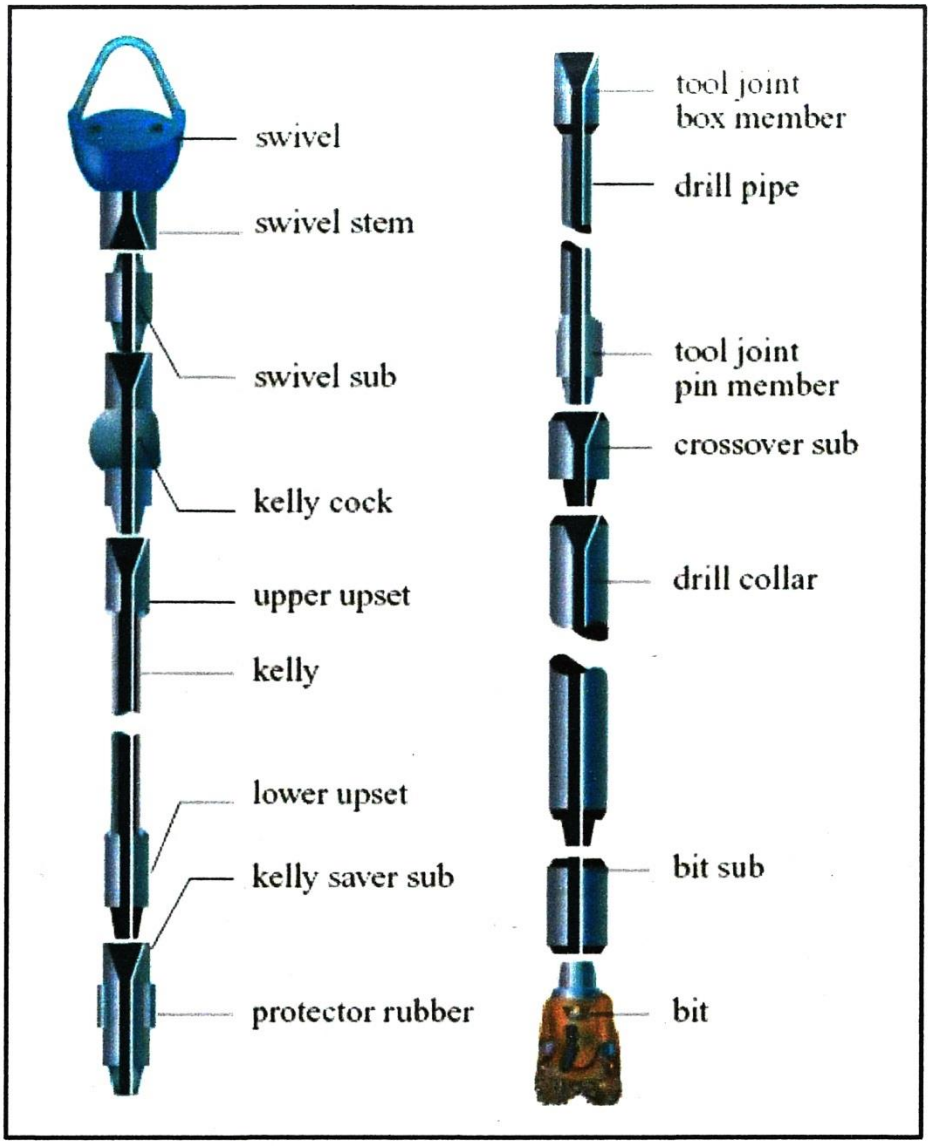


الشكل (1-3) يبين المنضدة الرحوية



الشكل (1–4) يبين أجزاء الرأس الهيدروليكي القائد

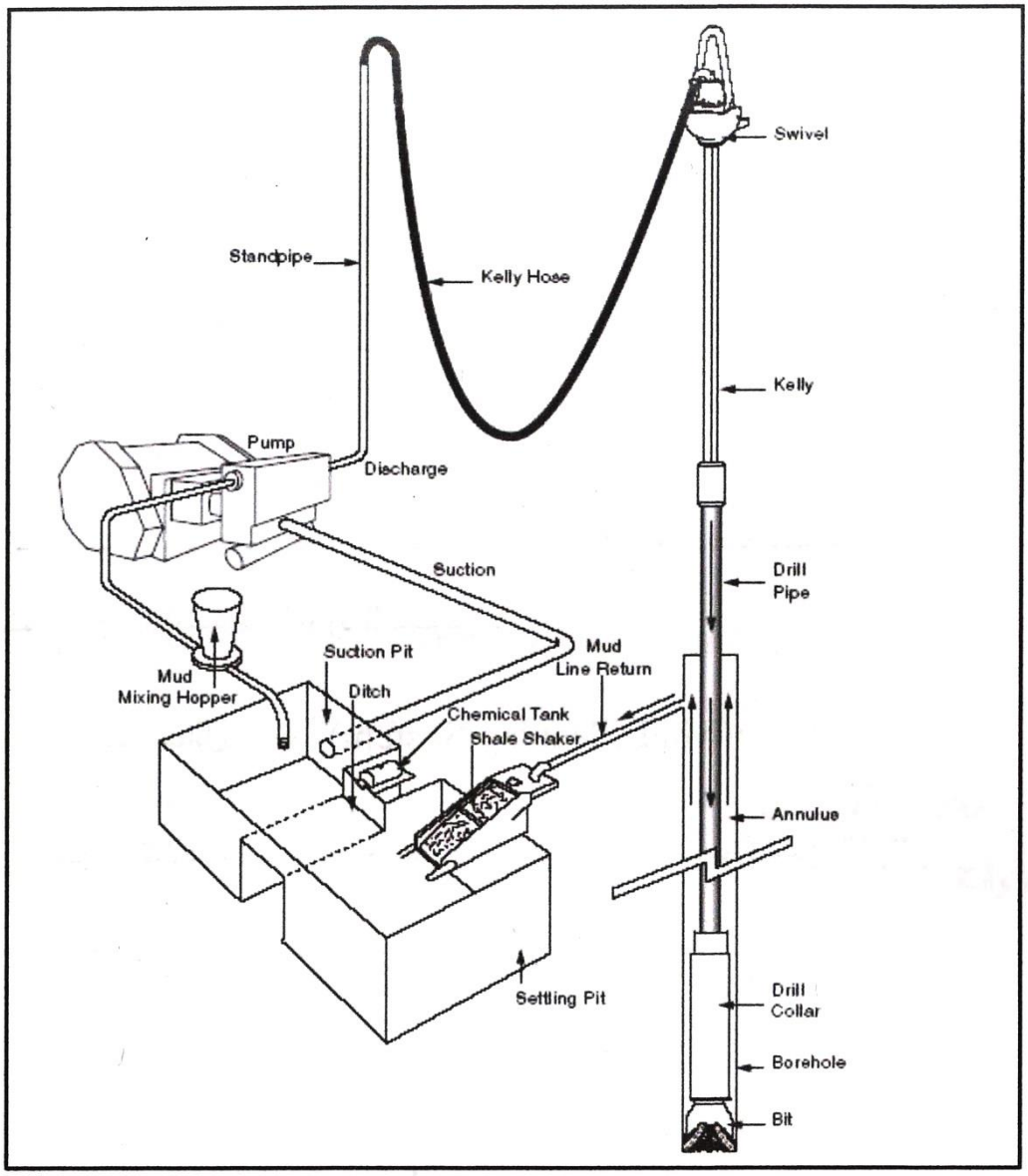
3. رؤوس الحفر وتشكيلة الحفر المستخدمة والتي تشمل أعمدة الحفر ومواسير الحفر العادية والمثقلة وقلم الحفر والكواشط والممركزات، ويوضح الشكل (1–5) أجزاء تشكيلة الحفر.



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.

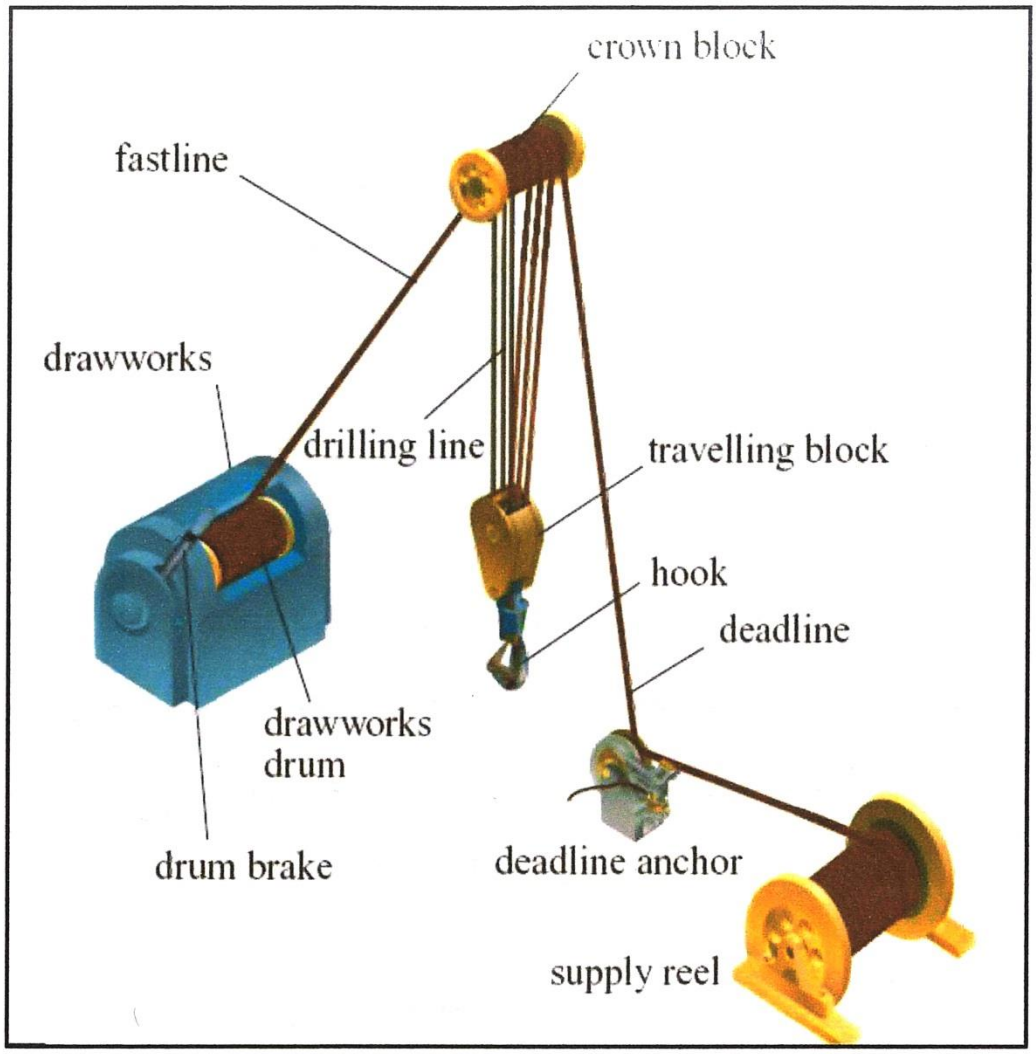
كان الرأس الهيدروليكي، حتى وقت قريب، رغم أهميته، جهازًا خاملًا يقوم بمهمة الوسيط فق.

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.

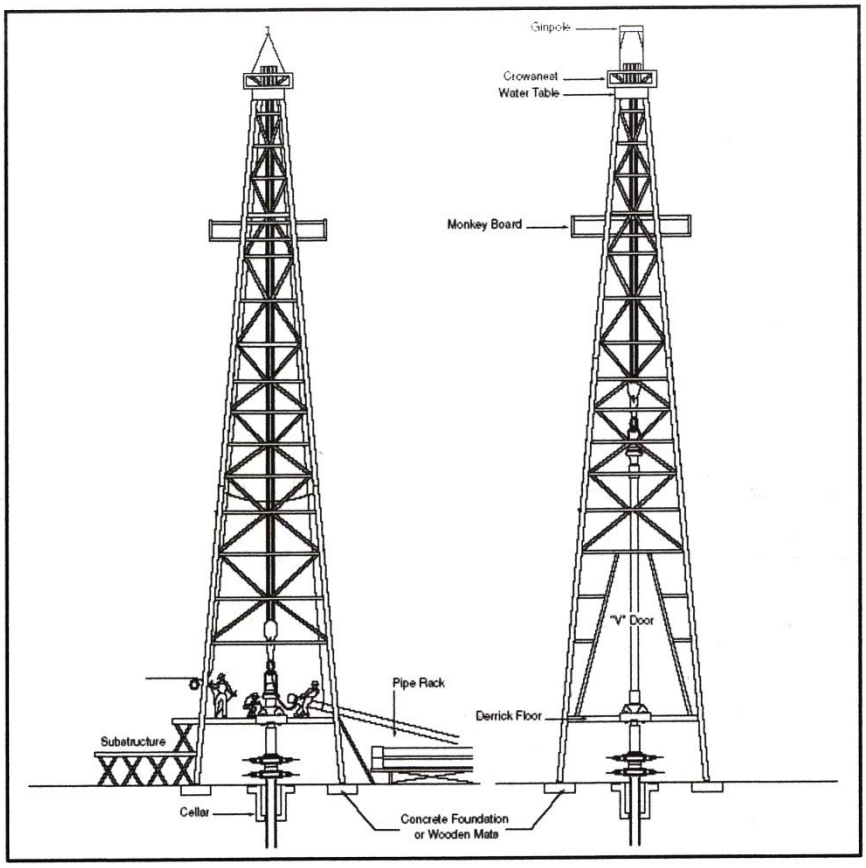
2. منظومة الكبال المعدنية (Travelling System):

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.

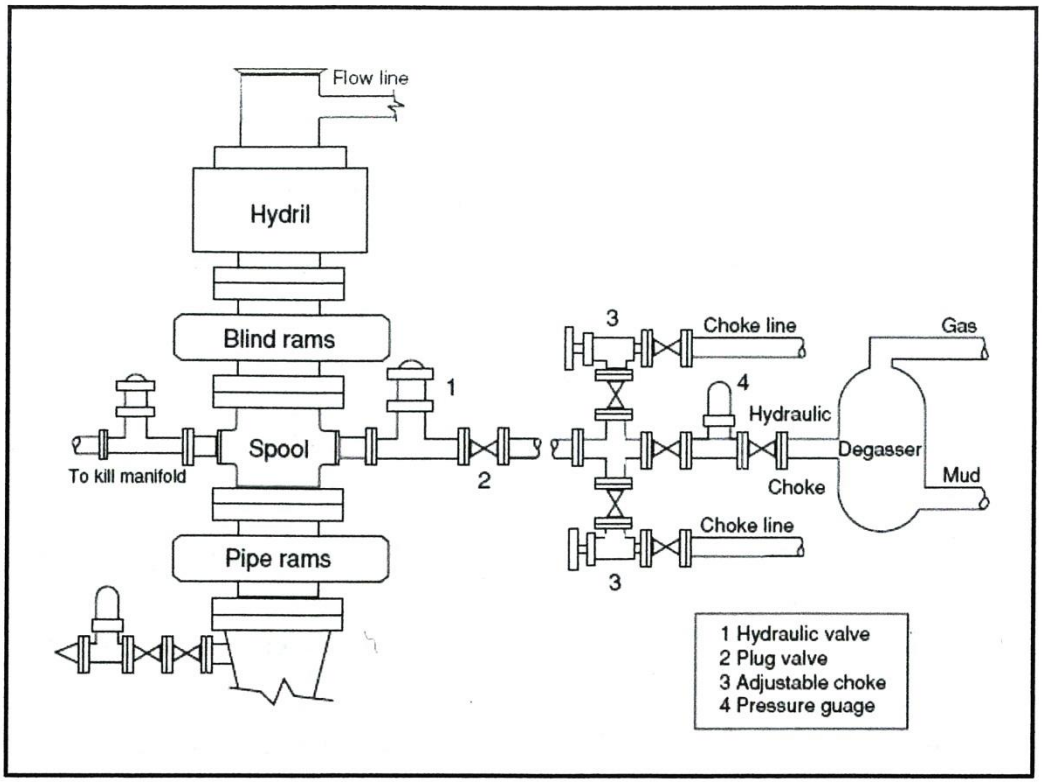
- بكرة التزويد بكبل الحفر (Supply reel)، وجهاز تثبيت الطرف الثابت من كبل الحفر (Dead line anchor).

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):

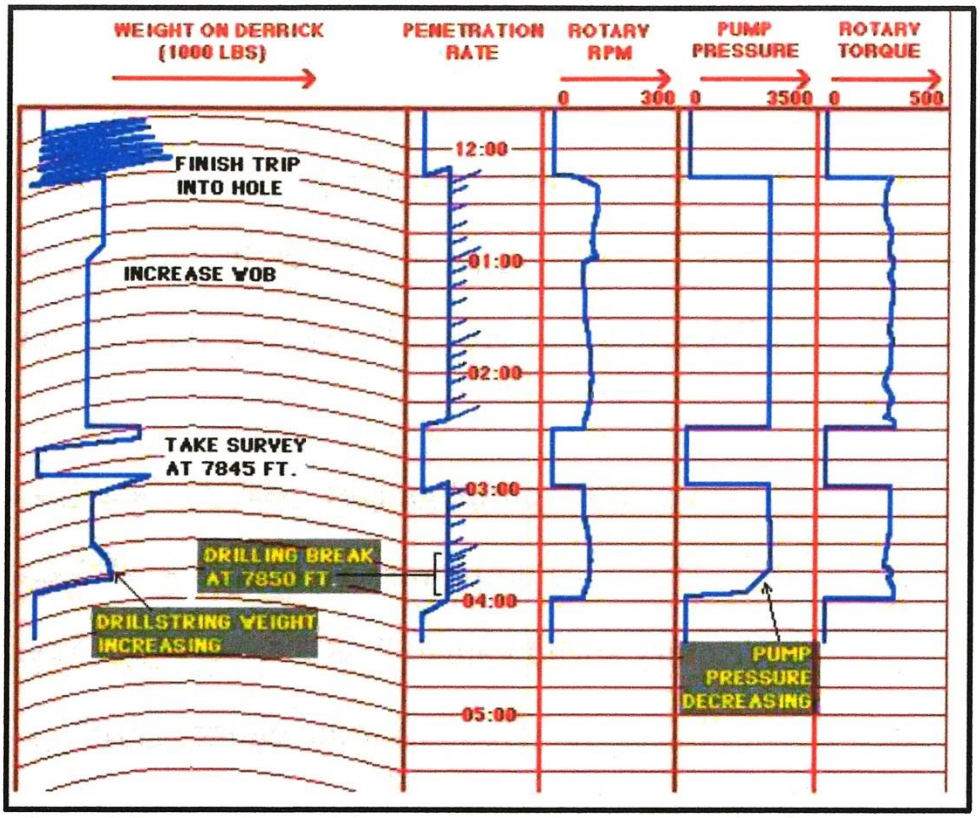
تشمل هذه المجموعة أجهزة ومعدات متباينة، تقوم بالأعمال المساعدة وبعض الأعمال الجانبية والعرضية خلال عملية الحفر وعمليات الرفع والإنزال وتركيب وتفكيك وحدة الحفر وإعداد الموقع وتهيئته لعمليات الحفر مثل:

- 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

أبراج الحفر

DERRICK – MAST

الفصل الثاني

أبراج الحفر

DERRICK – MAST

2-1- برج الحفر (Derrick):

هو عبارة عن إنشاءات شبكية معدنية مؤلفة من عوارض زاوية أو من مواسير تركب على فوهة البئر، يتوضع البرج فوق منصة بحيث ينطبق محوره مع مركز المنضدة الرحوية، و تصنع الأبراج مجزأة بمقاطع مستقلة لتكون سريعة التجميع و التفكيك أو تصنع من قطاعات (قوائم) كاملة.

يجب أن يؤمن البرج معامل أمان عالي أثناء الاستثمار لأنه يتعرض لحمولات كبيرة، كما يجب أن يتمتع بقلة الوزن للاقتصاد بالمواد الإنشائية و اختزال عمليات الفك و النقل و التركيب.

يتم تدعيم أبراج الحفر بواسطة تركيب معدني سفلي (Substructures) من الفولاذ، يقوم برج الحفر بنقل كل الحمولات الشاقولية إلى أربع نقاط عند النهايات السفلية لأرجل البرج و بالتالي فإن الهدف من هذا التركيب السفلي هو تحمل هذه الحمولات و نقلها إلى الأرض عن طريق المساحة الكبيرة نسبياً لفلنجات القاعدة الأساسية.

يتم رفع المواسير سواء مواسير الحفر أو مواسير التغليف إلى برج الحفر من خلال ممر يسمى ممشى القطط (Cat walk) و منه إلى منصة الحفر بواسطة ممر المواسير المنحدر(Pipe ramp) و من ثم يتم إدخال الماسورة إلى أعلى أرضية برج الحفر من خلال بوابة المواسير المخروطية (V – door).

يستخدم برج الحفر لتثبيت مجموعة البكرات التاجية و تعليق بقية أجزاء منظومة الكبال

المعدنية و ما يتصل بها من معدات سواء خلال عملية الحفر أم خلال عمليات الرفع و الإنزال كما توزع على أرضية البرج (منصة الحفر) بعض الأجهزة الأساسية مثل المنضدة الرحوية و الأجهزة الرافعة و غيرها، و المساعدة مثل المفتاح الآلي و الميكانيكي و ماسكات المواسير و الدقاقات المستخدمة في الحفر.... الخ، يبين الشكل (2-1) أجزاء برج الحفر.

2-2- تصنيف أبراج الحفر:

تصنف أبراج وحدات الحفر إلى ثلاث أنواع:

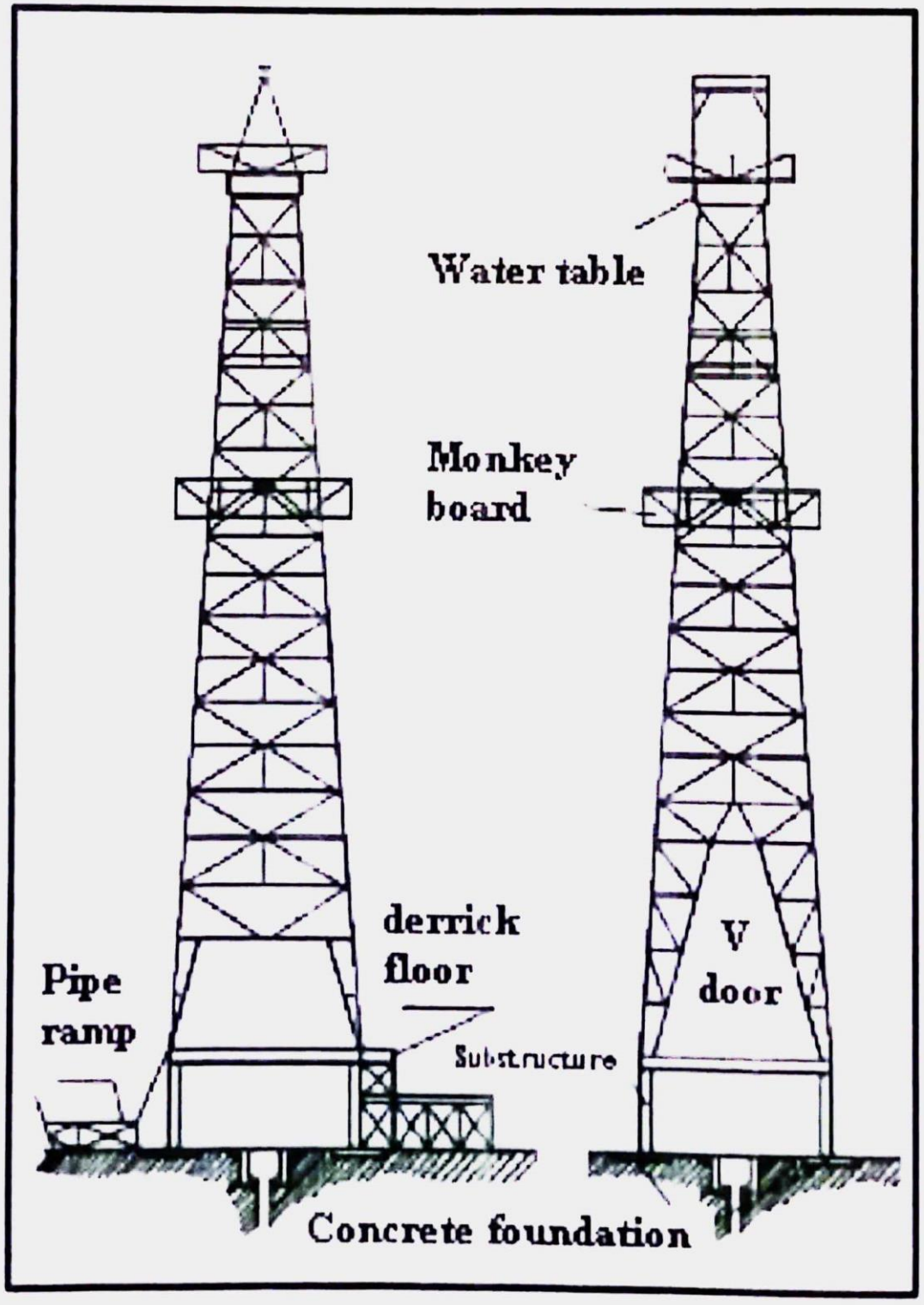
- الأبراج رباعية القوائم و تسمى بالنوع البرجي(Derrick).
- الأبراج ثنائية القوائم أو الأبراج الصارية (Mast).
- الأبراج أحادية القوائم.

في النوعين الأول و الثاني ينطبق المحل الهندسي لحركة الخطاف على محور البرج الشاقولي أما في النوع الثالث فإن المحل الهندسي لحركة الخطاف يميل بزاوية معينة عن محور البرج.

تحتوي جميع الأبراج من الصنفين الأول و الثاني بغض النظر عن نوعها أو تصميمها على ثلاث قواعد أفقية على الأقل، و هي :

- قاعدة المجموعة التاجية أو القاعدة العليا (Crown board) حيث تثبت عليها مجموعة البكرات التاجية.
- قاعدة عامل البرج أو القاعدة الوسطية (Monkey board) التي يعمل عليها عامل البرج لتثبيت نهاية مقطع المواسير المنزل في البئر داخل لاقطة المواسير أو تحرير هذه النهاية من لاقطة المواسير عند الرفع و دفع المقطع إلى مخزن المواسير.
- منصة(أرضية) البرج أو القاعدة السفلى (Rig floor) التي تمثل الموقع الرئيسي

في الوحدة



الشكل (2-1) يبين أجزاء برج الحفر

هناك منصة أخرى شبيهة بالمنصة الوسطية، ارتفاعها فوق أرضية البرج (9 – 12) متر تسمى منصة التوصيل (Stabbing board)، حيث يقوم العامل في هذه المنصة بتوجيه قمة مواسير التغليف أو ماسورة الحفر نحو مركز البئر خلال عمليات توصيل هذه المواسير يختلف ارتفاع منصة التوصيل حسب طول ماسورة التغليف أو الحفر التي يتم إدخالها في البئر حيث يتم تعيير ارتفاع هذه المنصة بواسطة محرك هيدروليكي أو كهربائي أو هوائي.

2-2-1- الأبراج رباعية القوائم:

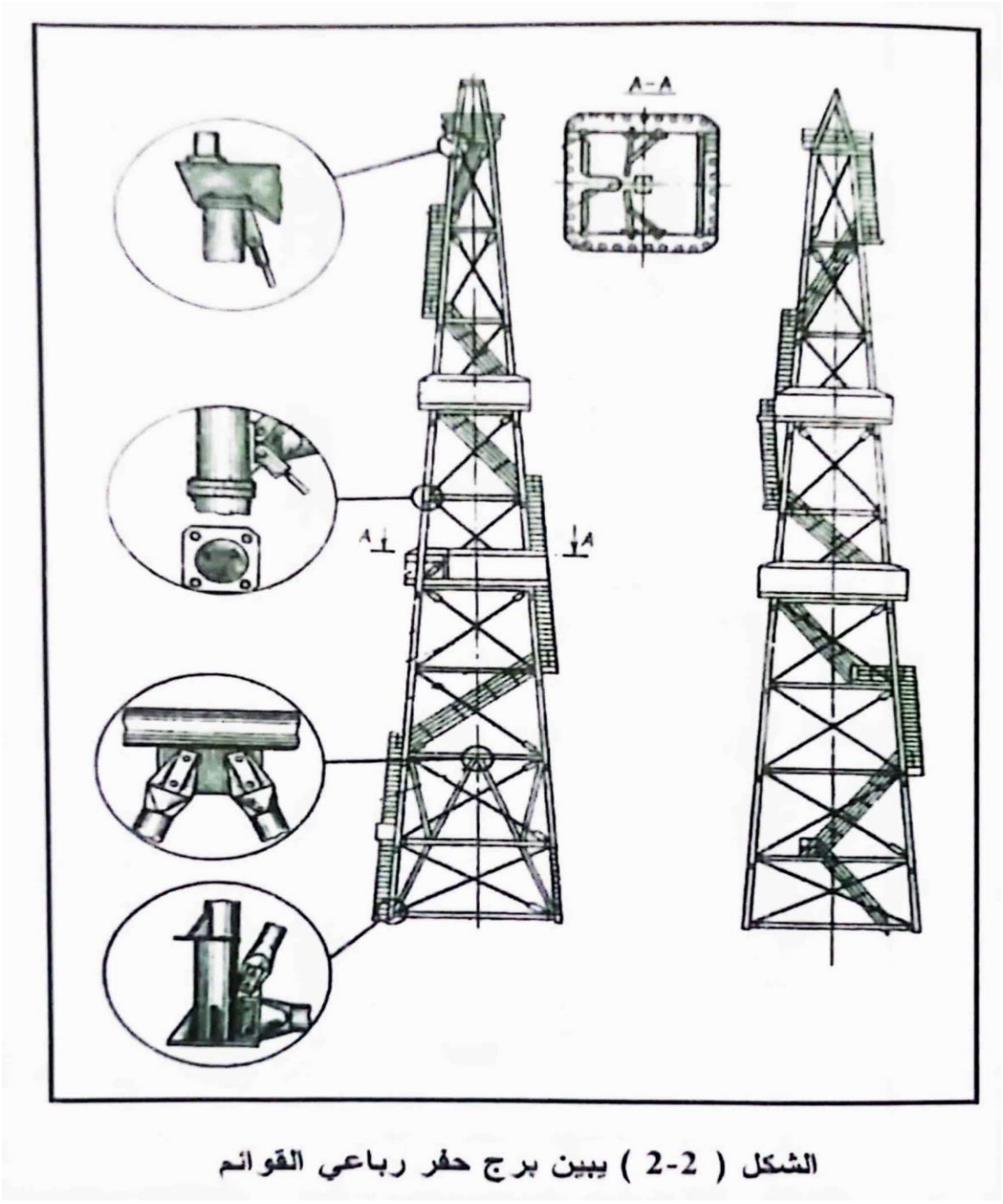
تصنع قوائم البرج و هي الجزء الرئيسي منه من أنابيب معدنية فولاذية عالية المتانة تتحمل الحمولات الكبيرة التي يتعرض لها البرج.

يمتاز هذا النوع من الأبراج، الشكل (2-2) بالمتانة و طول عمر الاستخدام و بتحمل الحمولات الكبيرة، و لكن من سلبياتها تعقيد عمليات الفك و التركيب و استغراقها وقتاً طويلاً للبناء لأنها تصنع على شكل مقاطع تركب شاقولياً في موقع الحفر.

يتراوح ارتفاع هذه الأبراج بين (18 – 57) متر و ذلك حسب:

- استطاعة وحدة الحفر.
- الحمولات المؤثرة على البرج.
- طول الستاند الواحد من مواسير الحفر.
- قياسات المعدات المستخدمة في عمليات الرفع و الإنزال.

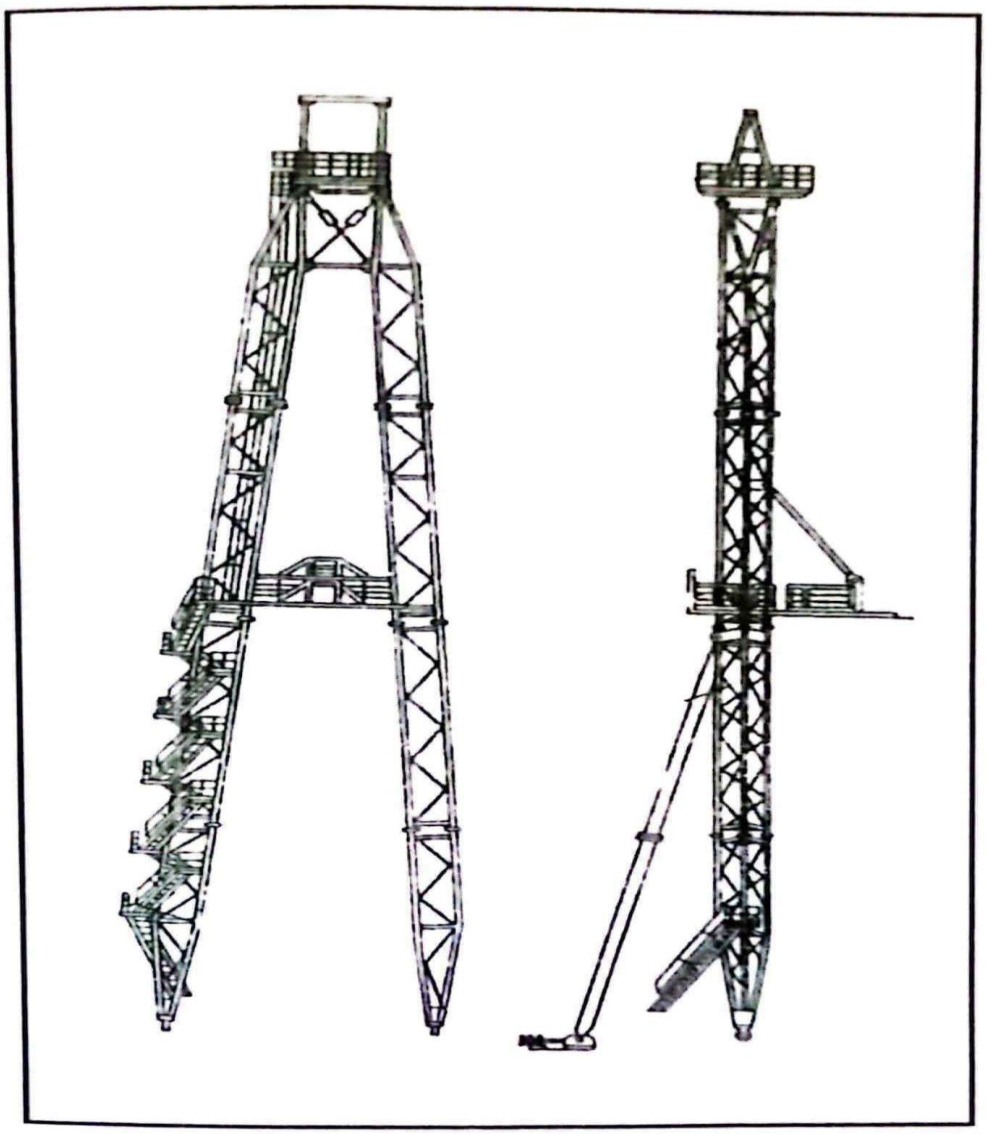
تستخدم هذه الأبراج بشكل واسع في المنصات البحرية كون هذه الأبراج لا تفكك أثناء النقل وهي أكثر استقرارية.



الشكل (2-2) يبين برج حفر رباعي القوائم

2-2-2 الأبراج ثنائية القوائم:

تسمى هذه الأبراج أيضاً بالأبراج الصارية، الشكل (2-3) من نوع حرف (**A**)، تتكون من قائمين متشابهين يصنعان من الفولاذ (بشكل زوايا) أو من أنابيب فولاذية تلتقي ببعضها مكونة القاعدة العليا للبرج، و يصل ارتفاع هذه الأبراج (47) متر.



الشكل (2-3) يبين برج حفر صاري ثنائي القوائم

تنقل هذه الأبراج في أحيان كثيرة مجمعة مع قواعدها و تكون مجهزة بروافع هيدروليكية تقوم برفعها عند وضع الوحدة في موقع الحفر الجديد حتى تأخذ وضعها الشاقولي فوق فوهة البئر و إنزالها إلى الوضع الأفقي عند الانتهاء من حفر البئر، مما يميزها عن الأبراج رباعية القوائم من حيث سهولة الفك والنقل و التركيب.

تشغل قوائم هذه الأبراج حيزاً أقل من الأبراج رباعية القوائم و بذلك تفسح مجالاً واسعاً لحرية عمل طاقم الحفر و توزيع الأجهزة و المعدات على منصة البرج.

أبراج الحفر الصارية (Mast) يمكن أن تكون:

- قطعة واحدة أساسية (Cantilever mast)
- بشكل انطوائي(Folding mast)

أدخل التطور الصناعي تصميم جديد لأبراج الحفر يسمى التصميم بالأبراج التلسكوبية (Telescoping mast) حيث تصمم مقاطع البرج مترابطة و متداخلة مع بعضها و يتم دفع أجزاء البرج بواسطة ضواغط هيدروليكية ليتخذ طوله العامل، و هذا ما أدى إلى التغلب على تعقيد عمليات الفك و النقل و التركيب.

تصنع قوائم البرج:

- ✓ رباعية القوائم بمقاطع عرضية ذات شكل هندسي رباعي أو دائري.
- ✓ الصارية بشكل مثلث أو رباعي الأضلاع أو دائري.

في حالة القياس الواحد و مساحة المقطع العرضي الواحدة يكون البرج ذو القوائم ذات المقطع العرضي رباعي الأضلاع أكثر مقاومة للانحناء و الفتل إلا أن هذا النوع من الأبراج يتطلب كتلاً معدنية أكبر من الأنواع الأخرى.

الأبراج ذات القوائم دائرية المقطع العرضي تصنع من الأنابيب الفولاذية المجوفة ذات الأقطار الكبيرة مما يؤدي إلى زيادة وزنها بشكل ملحوظ.

تزود الأبراج رباعية و ثنائية القوائم بما يلي:

- سلالم من الجهة الخارجية لصعود عامل البرج إلى موقعه على شرفة البرج (القاعدة الوسطية).
- سلالم مغطاة بسقف واقٍ للوصول إلى القاعدة العليا للبرج (قاعدة مجموعة البكرات التاجية).
- أوتاد خارجية أحياناً لزيادة استقرارية البرج خلال العواصف و الرياح الشديدة.

2-2-3- الأبراج أحادية القوائم:

تستخدم هذه الأبراج في الوحدات الخفيفة ذاتية الحركة المستخدمة لحفر الآبار المائية و الآبار الضحلة.

2-3- قياسات برج الحفر:

أولاً: ارتفاع البرج:

يجب أن يؤمن ارتفاع البرج الأمان في العمل خلال رفع مجموعة البكرات المتحركة بأعلى سرعة رفع ممكنة، و أن يؤمن إخراج ستاند كامل من المواسير أثناء الرفع.

و نميز مفهومين لارتفاع البرج:

- الارتفاع التصميمي: يمثل المسافة من قواعد أرجل البرج و حتى المستوى العلوي للقاعدة العليا.
- الارتفاع المفيد: يمثل المسافة من أرضية (منصة) البرج حتى المستوى العلوي للقاعدة العليا.

يحدد الارتفاع المفيد بالعلاقة:

$$H = h_1 + l_s + h_2 + h_3$$

حيث أن :

h_1: المسافة من أرضية البرج حتى النهاية السفلى لستاند المواسير المعلق فوق المنضدة الرحوية خلال عمليات الرفع و الإنزال، و تشمل هذه المسافة ارتفاع المنضدة الرحوية و ماسكة المواسير و قفل ماسورة الحفر المستندة على المنضدة الرحوية، و تتراوح قيمة هذه المسافة (h_1) بين (1,2 – 1,5) متر.

l_s: طول ستاند المواسير

h_2: طول قضبان تعليق لاقطة المواسير و الخطاف و مجموعة البكرات المتحركة و

يتراوح بين (7 – 8) متر.

h_3: مسافة الأمان بين مجموعتي البكرات التاجية و المتحركة و ذلك عندما تكون البكرات المتحركة في أعلى وضع لها ، هذه المسافة ضرورية لتأمين الكبح اللازم للأجهزة الرافعة لإيقاف حركة مجموعة البكرات المتحركة و تلافي اصطدامها بالقاعدة العليا للبرج و مجموعة البكرات التاجية (حوالي 7 متر).

ثانياً: ارتفاع شرفة البرج (قاعدة عامل البرج):

يحدد بالعلاقة التالية:

$$h_B = l_S \cdot \cos\alpha + h_0 - \Delta h$$

حيث أن :

α: زاوية مقطع المواسير المخزن عن المحور لشاقولي عند استناده على محور الاستناد العلوي في مخزن المواسير (2 – 4) درجة.

h_0: ارتفاع قاعدة مخزن المواسير عن أرضية البرج.

Δh: المسافة بين نهاية ستاند المواسير العليا و أرضية الشرفة

ثالثاً: قياسات أرضية البرج (منصة الحفر):

يجب أن تؤمن قياسات المنصة:

- موقع الرأس الهيدروليكي و قلم الحفر خلال عمليات الرفع و الإنزال أو ما يسمى ثقب الفأر (Mouse hole).
- إمكانية توضع الأجهزة الرافعة و مركز السيطرة و التحكم و مخزن ستاندات المواسير المرفوعة و المنزلة في البئر خلال عملية حفره و بقية المعدات المساعدة.
- المكان الكافي و المريح لعمل فرقة الحفر لتنفيذ العمليات المطلوبة و لصيانة هذه الأجهزة و القيام بالإصلاحات الموقعية لها عند الحاجة.

وفق المواصفات القياسية تكون المسافة بين الحواف الداخلية لأرجل البرج رباعي القوائم ذات الارتفاع في حدود: (40 – 42) متر = (8 X 8) متر

(53 – 54) متر = (10 X 10) متر

للأبراج ثنائية القوائم تكون قياسات المنصة مرتبطة بشكل مباشر بالارتفاع و الحمولة و تصنع بالقياسات التالية : (5,5 X 5,5) ، (7 X 7) ، (9 X 9) (11 X 11) متر .

خامساً: مساحة مخزن المواسير على منصة البرج:

مساحة مخزن المواسير على منصة البرج يجب أن تكون كافية لاحتواء ستاندات مواسير الحفر المرفوعة من البئر مع قطع المواسير الاحتياطية المخصصة لاستبدال القطع المتضررة أو المستهلكة خلال المشاكل الحاصلة عند الحفر :

$$F_s = K \cdot F_t \ , \ F_t = \frac{L}{ls} . f \Longrightarrow F_s = \frac{K . L}{ls} . f$$

حيث أن :

K: معامل احتياطي المساحة و يؤخذ في حدود (1,2 – 1,25).

F_t: المساحة النظرية لمخزن المواسير.

L: طول مجموعة مواسير الحفر.

l_s: طول الستاند الواحد من المواسير.

f: مساحة المقطع العرضي لقفل المواسير.

سادساً: ارتفاع أرضية (منصة) البرج:

يتم تحديد هذا الارتفاع وفق احتياجات تركيب معدات إحكام فوهة البئر و تجهيزاتها و صيانتها من العلاقة:

$$H_P = h_1 + h_2 + h_3 + \delta$$

حيث أن:

h_1: ارتفاع فلنجة فوهة البئر عن الأرض (0,5) متر.

h_2: ارتفاع معدات إحكام البئر

h_3: المسافة من أرضية (منصة) البرج حتى الحافة السفلى للمنضدة الرحوية.

δ: المسافة (الفراغ) بين الحافة العليا لمانع الاندفاع و الحافة السفلى للمنضدة الرحوية و تبلغ هذه المسافة حوالي (0,5 – 0,7) متر.

2– 4 – الكتلة النوعية للبرج:

تعد كتلة البرج إحدى مؤشرات تطورها التقني من حيث حجم المواد المستخدمة في صنعها و يحدد هذا الحجم بالكتلة النوعية (m_o) للبرج التي تحدد وفق العلاقة :

$$m_o = \frac{M_d}{P_d . h}$$

حيث أن:

M_d: كتلة البرج.

P_d: حمولة البرج

h: ارتفاع البرج

2–5– الحمولات المؤثرة في البرج:

تعد حمولة البرج من المؤشرات المهمة التي تحدد الحمولة المسموح بها على الخطاف باستخدام منظومة كبال معدنية معينة.

تحدد الحمولة المسموح بها للبرج بأعظم حمولة متوقعة في المجال المحدد للحفر و يجب أن تتطابق قيمة هذه الحمولة مع الحمولة المسموح بها على الخطاف، و بهذا تؤخذ بعين الاعتبار قوى الشد في الطرفين المتحرك و الثابت لحبل الحفر.

تقسم الحمولات المؤثرة في برج الحفر حسب:

أولاً: طبيعة تأثيرها إلى :

- الحمولة الدائمة: تمتاز هذه الحمولات أنها تحافظ على قيمتها خلال فترة عملية الاستثمار، من هذه الحمولات وزن برج الحفر نفسه و وزن التجهيزات المنصوبة عليه.

تحدد المواصفات الوزنية لأبراج الحفر و بدقة كافية بالعلاقات التجريبية التالية:

وزن البرج:

$$G_D = 0,15\ P_{hmax}$$

وزن البكرات التاجية :

$$G_{cr} = 0,015\ P_{hmax}$$

وزن الأجزاء المتحركة من منظومة الكبال:

$$G_t = 0,04\ P_{hmax}$$

وزن المنصات و الإنشاءات على البرج:

$$G_o = 0,03 P_{hmax}$$

حيث أن :

P_{hmax}: الحمولة الحدية المسموح بها على الخطاف.

- الحمولات الاستثمارية: تمتاز هذه الحمولات أنها ليست دائمة و تتغير في أثناء عملية استثمار البرج، و منها الحمولة المعلقة على الخطاف و توتر الطرفين الثابت و المتحرك للحبل المعدني.
- الحمولات الناتجة عن قوى الرياح: تعتمد على الشروط المناخية و البيئية لمكان

استثمار البرج.

ثانياً: اتجاه تأثيرها إلى:

- الحمولات الشاقولية: تكون كبيرة على الأرجل و المساند.
- الحمولات الأفقية: تؤثر في الأحزمة المعدنية لهيكل البرج و عوارضه الزاوية.

تتوزع الحمولات الشاقولية على أرجل البرج ، و تحدد القوة الحسابية المؤثرة في رجل أو مسند لبرج رباعي القوائم بالعلاقة :

$$P_{leg} = \frac{(G_d + G_{tr})n1 \cdot K_s + (P_h + P_d + P_1)n_2 \cdot K_s}{3.6 \times \cos\alpha}$$

حيث أن:

G_D: وزن البرج.

G_{tr}: وزن أجزاء منظومة الكبال (الخطاف – مجموعتي البكرات التاجية و المتحركة – كبل الحفر).

n_1, n_2: معاملي التحميل و تؤخذ قيمة كل منها (1,1).

P_h: الحمولة المسموح بها على الخطاف.

P_1, P_d: المركبة العمودية لشد الطرفين الثابت و المتحرك لكبل الحفر.

K_s: معامل تداخل القوى، و تؤخذ قيمته (0,9).

α: زاوية ميلان محور أرجل البرج عن الشاقول.

3,6: معامل يأخذ بعين الاعتبار عدم التساوي في توزع الحمولات بين الأرجل الأربعة للأبراج الصارية تؤخذ قيمته (2).

تمثل الحمولات الشاقولية الضاغطة على البرج:

- الحمولة على الخطاف.
- وزن البرج و المعدات المنصوبة عليه.
- المركبة الشاقولية من شد الطرفين الثابت و المتحرك لكبل الحفر.

تمثل الحمولات الأفقية المؤثرة في البرج:

- المركبة الأفقية من شد الطرفين الثابت و المتحرك لكبل الحفر.
- المركبة الأفقية لوزن ستاندات المواسير المخزنة بصورة مائلة على مخزن المواسير.
- المركبة الأفقية لضغط الرياح.

تحسب الحمولة الشاقولية على قاعدة مجموعة البكرات التاجية في حالتين:

- حالة السكون:

$$P_{ds} = P_h + G_{tr} + \frac{2.P_h}{m}$$

حيث أن :

P_h: الحمولة المعلقة على الخطاف.

G_{tr}: وزن أجزاء منظومة الكبال المعدنية.

m: عدد الخطوط العاملة لكبل الحفر (ضعف عدد البكرات المتحركة).

يمثل الحد الأخير من العلاقة السابقة الشاقولية لشد النهايتين الثابتة و المتحركة لكبل الحفر.

- حالة الحركة:

$$P_{dd} = P_h + G_{tr} + \frac{2.\ P_h}{m\ .\eta_{t.r}}$$

حيث أن:

$\eta_{t.r}$: المردود المفيد لمنظومة الكبال المعدنية

ملاحظة: في حال تأثير الحمولة الشاقولية على مجموعة البكرات التاجية فإنه يجب استثناء وزن البكرات التاجية من وزن أجزاء منظومة الكبال المعدنية .

تحدد المركبة الأفقية من شد الطرفين الثابت و المتحرك لكبل الحفر في حالتين:

- حالة السكون:

$$P_{ehs} = \frac{P_h}{m}(\tan\beta \pm \tan\gamma)$$

- حالة الحركة:

$$P_{ehd} = \frac{P_h}{m.\mu tr}\tan\beta - \frac{P_h.\mu tr}{m}\tan\gamma$$

حيث أن :

β و γ: زاويتا ميل الطرفين المتحرك و الثابت على التوالي لحبل الحفر عن المحور الشاقولي للبرج.

يستخدم في العلاقة:

إشارة (−) عند تثبيت الطرفين على جهتين متقابلتين من أرضية البرج.

إشارة (+) عند تثبيت الطرفين من جهة واحدة عند الأجهزة الرافعة.

تحدد المركبة الأفقية من وزن المواسير المستندة على محور مخزن المواسير بالعلاقة:

$$P_{sh} = K.G_s.\tan\alpha$$

حيث أن :

K: معامل احتساب العلاقة بين طول ستاند المواسير (L_S) و المسافة من قاعدة مخزن المواسير و حتى محور الستاند.

G_S: وزن ستاندات المواسير المستندة على المحور.

α: زاوي ميل ستاند المواسير عن الشاقول ، اعتيادياً ($\alpha = 2 - 4$) درجات.

الحمولة الأفقية الناتجة عن ضغط الرياح تحدد بالعلاقة:

$$P = q_o.C_i.P.S_i.K_d$$

حيث أن:

q_o: الضغط الرياحي أو الضغط السرعي.

$$q_o = \frac{p.v^2}{2}$$

حيث أن:

v: سرعة الرياح

p: كثافة الهواء ($p= 1{,}225\ kg/m^3$).

تستخدم لحساب أبراج الحفر قيم قياسية محددة للضغط الرياحي (q_0) لا تعتمد على موقع استخدام البرج بل تعتمد على الوضع الإنتاجي للبرج:

- عندما يكون العمل على الوحدة متوقف: $q_o= 700\ Pa$

- خلال العمل : q_o= 250 Pa
- خلال عمليات التركيب و النقل: q_o= 150 Pa

P: معامل ديناميكي يأخذ بالحسبان فترة الذبذبات الذاتية للبرج.

K_d: معامل ديناميكية الهواء الذي يعتمد نوعية التصميم المواجه للرياح:

- ✓ للتصاميم ذات المعدن الصفائحي: Kd= 1.4
- ✓ للمواسير : Kd= 1

S_i: مسقط سطح مقطع البرج على المستوى الشاقولي المار من محور البرج:

$$S_i = F_i . \varphi$$

حيث أن :

F_i: مساحة سطح مقطع البرج المعني.

φ: معامل امتلاء المقطع $(\varphi = 0,15 - 0,2)$، للأجزاء المغطاة من البرج $(\varphi = 1)$.

Ci: معامل احتساب زيادة ضغط الرياح حسب الارتفاع

و تحدد قيمته من الجدول التالي:

الارتفاع عن سطح الأرض (متر)	>10	20	40	100
قيمة المعامل Ci	1.00	1.25	1.55	2.10

ملاحظة:

الحمولات الأفقية المتولدة من شد طرفي كبل الحفر المتحرك و الثابت و المؤثرة في

مجموعة البكرات التاجية يجب ألا تزيد عن (15) كيلو نيوتن، و يعتبر تأثيرها متطابقاً

مع اتجاه تأثير كل من :

- المركبة الأفقية من وزن ستاندات المواسير.
- المركبة الأفقية من ضغط الرياح.

لا يكون تأثير هذه القوى (الشاقولية و الأفقية) متساوياً في برج الحفر و الظروف التي يخضع لها خلال الأوضاع المختلفة لعمل وحدة الحفر، لأن التحميل يكون متبايناً على البرج في ظروف الاستثمار المختلفة.

2-6- الحمولات المؤثرة في أرضية (منصة) برج الحفر:

خلال عمليات الحفر تتغير طبيعة تحميل أرضية (منصة) برج الحفر حسب العمليات الجارية عليها، و يلاحظ وجود بعض الحالات الخطيرة لتحميلها يمكن أن تؤثر في متانة الأرضية ، و تتطلب تحديد الحمولة المسموح بها و حسابها، و من هذه الحالات:

- عند حصول استعصاء في نهاية عملية رفع مجموعة المواسير أو عند نهاية تنفيذ عملية إنزال مواسير التغليف، تكون المنصة بكامل الستاندات عدا الستاندات المستعصية (Gds) الموضوعة في مخزن المواسير على المنصة و الخطاف محملة بالحمولة القصوى (Phmax) نتيجة الشد لتخليص الجزء المستعصي أو نتيجة تحميله بعمود مواسير التغليف المنزل في البئر.

في هذه الحالة تكون الحمولة الشاقولية المؤثرة على أرضية البرج مساوية إلى:

$$G_{pl} = G_D + P_{hmax} + G_{ds} + G_{eq}$$

حيث أن :

G_D، G_{eq}: وزن البرج و وزن المعدات الموجودة عليه على التوالي.

- قبيل انتهاء عملية إنزال مواسير التغليف أو عند ربط المقطع الأخير من هذه المواسير تكون أرضية (منصة) برج الحفر محملة بكامل مجموعة مواسير و أعمدة الحفر المتوضعة في مخزن المواسير (G_{ds}) و يستند عمود مواسير التغليف بوزنه الأعظمي (G_c) على المنضدة الرحوية، في هذه الحالة تكون الحمولة الشاقولية المؤثرة في أرضية البرج تساوي:

$$G_{PL} = G_D + G_{eq} + G_{ds} + G_c$$

- عند نقل أرضية البرج المحملة بالمعدات الموجودة عليها مع البرج أو بدونه (حسب نوع التصميم) في ظروف النقل و الطرق السيئة حيث تؤدي الانحناءات و التعرجات إلى إزاحة مركز ثقل منصة البرج .

في هذه الحالة يجب أن يؤمن تصميم المنصة حساباتها عدم تأثير ظروف النقل هذه في متانة و صلابة منصة البرج و هيئتها.

2-7- استقرارية برج الحفر و منصته:

يوضع برج الحفر على منصته و تثبت قوائمه عليها بإحكام و خصوصاً النوع الصاري من الأبراج الذي يتعرض و بشكل خاص عندما يكون ارتفاع أرضيته (منصته) كبيراً إلى خطر الانقلاب مع المنصة.

أما الأبراج رباعية القوائم الموضوعة على منصات قليلة الارتفاع و بدون تثبيت محكم بقوائمها مع المنصة فيجب تدقيق حسابها على المتانة الاستقرارية و لا يؤخذ شد أوتاد التثبيت بالحسبان، لأن الغاية من استخدامها هي تأمين استقرارية البرج خلال العواصف الشديدة.

يحدد عزم انقلاب برج (صارية) الحفر في مستوى أرضيته (منصته) حول نقطة ارتكاز روافعه الهيدروليكية من العلاقة:

$$M_{tB} = P_{eh} . h + P_w . (h_w - H) + P_{sh} . h_b$$

حيث أن :

P_{eh}: المركبة الأفقية لقوتي الشد في الطرفين المتحرك و الثابت لكبل الحفر.

h: الارتفاع المفيد للبرج.

P_w: محصلة ضغط الهواء على البرج.

$(h_w - H)$: ارتفاع نقطة تأثير محصلة ضغط الهواء عن سطح نقطة ارتكاز البرج.

P_{sh}: المركبة الأفقية لوزن ستاندات المواسير في مخزن المواسير.

h_b: ارتفاع محور الإسناد العلوي لمخزن المواسير عن سطح نقطة ارتكاز البرج.

من جهة ثانية يحدد عزم استقرار (ثبات) البرج من العلاقة:

حيث أن:

$$M_{SB} = G_O . L$$

G_o: قوة جذب البرج غير المحمل.

L: المسافة بين محور مركز البئر (O – O) و نقطة ارتكاز البرج.

لتأمين استقرارية البرج يجب أن تتحقق العلاقة:

$$M_{SB} = M_{tB} \cdot K$$

و لذلك يكون شرط الاستقرارية :

$$K = \frac{M_{sb}}{M_{tb}}$$

حيث أن :

K: معامل احتياطي الاستقرار(K=1.2 – 1.5)

عند وضع الأجهزة الرافعة و جهاز تثبيت الطرف الثابت لكبل الحفر تحت منصة البرج يكون العزم الانقلابي للبرج (الصارية) مع المنصة بالنسبة لنقطة الارتكاز الجديدة مساوياً:

$$M_{tA} = P_{eh} \cdot (h + H) + P_w \cdot h_w + P_{sh} \cdot (h_b + H)$$

حيث أن :

H: ارتفاع أرضية البرج عن الأرض.

يحدد عزم استقرار (ثبات) مجموعة البرج و المنصة من العلاقة:

$$M_{SA} = (G_O + G_{PL}) \cdot b$$

حيث أن :

b: بعد محور البئر (O – O) عن نقطة الارتكاز الجديدة.

يجب زيادة قيمة عزم الثبات و استقرار المجموعة في حالة العواصف و الرياح الشديدة التي تتجاوز الحدود المسموح بها، و يتم ذلك بتحميل منظومة الكبال و المنضدة الرحوية (إبقائها في البئر و إسنادها على المنضدة الرحوية بواسطة الماسكات (Slips).

تحدد قوة توتر شد كبل تثبيت البرج بالعلاقة:

$$N = \frac{M_s}{C} = \frac{M_o}{(a+b).\sin\gamma}$$

a: المسافة من مركز البرج حتى نقطة تثبيت الوتد .

γ: الزاوية بين كبل الشد و سطح الأرض.

اعتماداً على قيمة قوة الشد في كبل التثبيت يتم اختيار قطر كبل التثبيت مع الأخذ بعين الاعتبار معامل أمان المتانة للكبل (2−3).

أما في حالة اختيار كبلين للتثبيت فإن معامل الأمان يحدد بالقيمة (1.5−2).

و يبين الجدول التالي المواصفات التقنية لبعض أنواع الحفر :

مؤشرات أبراج الحفر	BM-40-100	BM-42-140	BB-42-200	BMA-41-170	BMA-45-200	UB-45-400A	UB-45-500A
نوع برج الحفر	ثنائي القوائم		رباعي القوائم	ثنائي القوائم		رباعي القوائم	
الحمولة الحدية KN	1000	1400	2000	1700	2000	4000	5000
تركيبة منظومة الحبال	4X5	4X5	5X6	5X6	5X6	6X7	7X8
ارتفاع البرج متر	40	42	42	41	45	45	45
قياسات القاعدة السفلية متر	6.2X6.2	7.2X7.2	8X8	9.2X9.2	10X10	8X11	8X11
ارتفاع المنصة متر	4	6	8	7	9	12	12

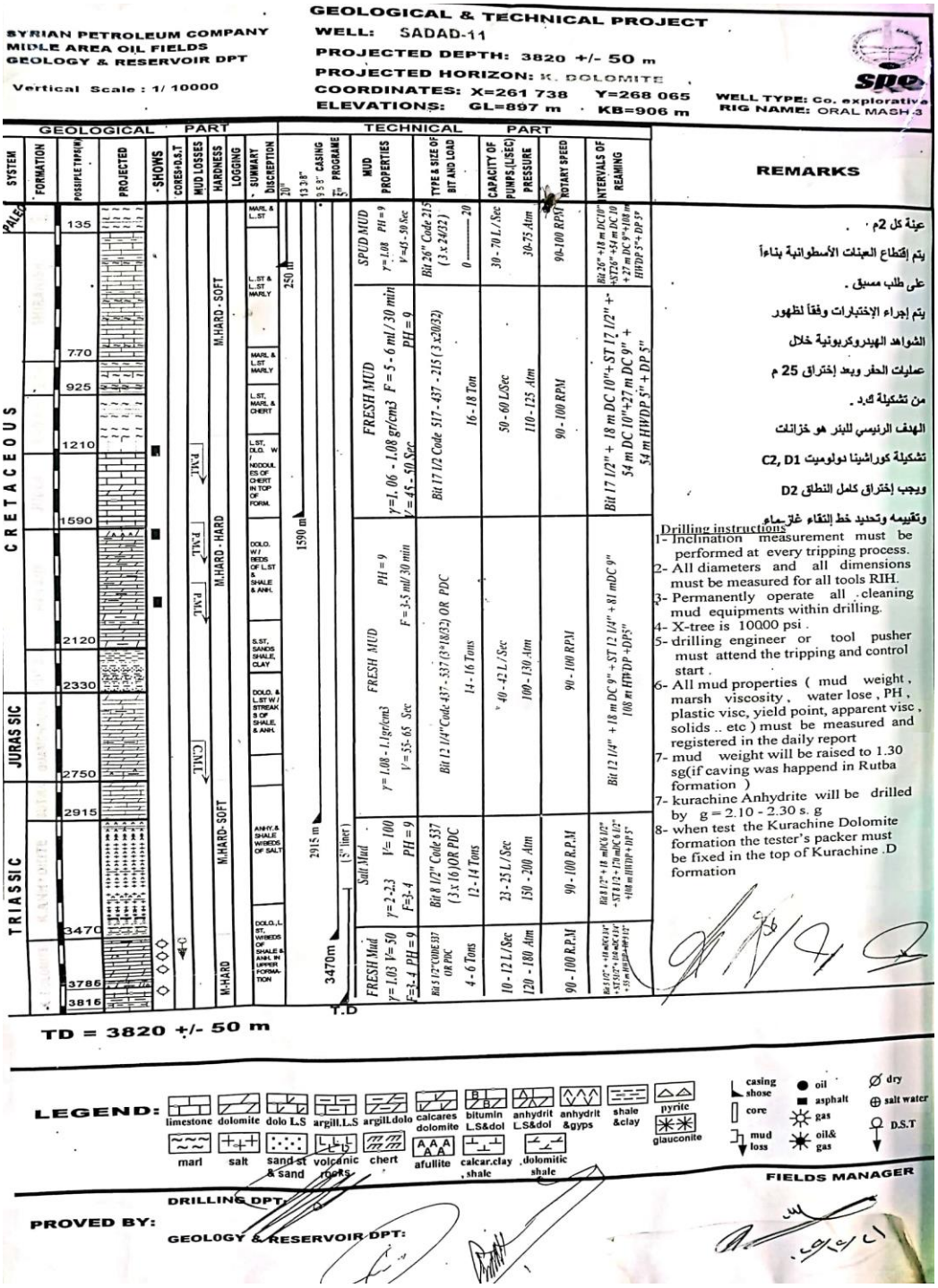
الفصل الثالث

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 (3815m) 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−6

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 – 3820	Liner 5", L–80

الجدول (3–2) يبين برنامج التغليف لكل مرحلة من مراحل بئر صدد–6

القطر الخارجي (inch/mm)	القطر الداخلي (mm)	وزن واحدة الطول	
		Lb/ft	N/m
5"/127	101.60	25.60	380.9
$3\frac{1}{2}$"/88.9	70.20	13.30	1980

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

القطر الخارجي (inch/mm)	القطر الداخلي (mm)	وزن واحدة الطول	
		Lb/ft	N/m
5"/127	76.2	–	734
$3\frac{1}{2}$"/88.9	52.4	–	377

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

القطر الخارجي (inch/mm)	القطر الداخلي (mm)	وزن واحدة الطول (N/m)
10"/254	76.2	362
9"/228.6	76.2	2864
$6\frac{1}{2}$"/165.1	76.2	1323
$4\frac{3}{4}$"/120.7	50.8	738

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

3-2- حساب الحمولات المطبقة على مجموعة الرفع و الإنزال:

وتعطى الحمولة 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 حمولة تشكيلة الحفر في المرحلة السطحية:

- $\mathbf{b = 1 - \frac{1.08}{7.85} = 0.86}$

b: عامل الطفو.

- بالتعويض العددي بالعلاقة السابقة لحساب الحمولة على مجموعة الرفع و الإنزال بحسب معطيات تشكيلة الحفر من جدول تشكيلة الحفر المستخدمة لحفر كل مرحلة نجد أن:

$$P_{h1} = 1.25(537 \times 380.9 + 72 \times 3620 + 27 \times 2864 + 108 \times 73.4)$$

$$P_{h1} = 780809.1\ N = 780.81KN$$

2- حساب حمولة تشكيلة الحفر في المرحلة الوسطية:

- **المرحلة الوسطية الأولى:**

$$P_{h2} = 1.25(2181 \times 380.9 + 72 \times 3620 + 27 \times 2864 + 54 \times 73.4)$$

$$P_{h2} = 1514013.62N = 1514.013\ KN$$

- **المرحلة الوسطية الثانية:**

$$P_{h3} = 1.25(2737 \times 380.9 + 54 \times 2864 + 54 \times 73.4)$$

$$P_{h3} = 1546019.12N = 1546.019KN$$

3- حساب حمولة تشكيلة الحفر في المرحلة الإنتاجية:

1- المرحلة الإنتاجية الأولى:

$$P_{h4} = 1.25(3130 \times 380.9 + 176 \times 1323 + 54 \times 734)$$

$$P_{h4} = 1830876.25\ N = 1830.876\ KN$$

2- المرحلة الإنتاجية الثانية:

$$P_{h5} = 1.25(3547 \times 198 + 199 \times 738 + 54 \times 377)$$

$$P_{h5} = 1086907.5\ N = 1086.9075\ KN$$

4- حساب حمولة مواسير التغليف للمرحلة السطحية:

$$\mathbf{P_h = L \times q \times b}$$

$$\mathbf{P_{h6} = 250 \times 1530.16 \times 0.86 = 328950\ N}$$

5 – حساب حمولة مواسير التغليف للمرحلة الوسطية الأولى:

$$\mathbf{P_{h7} = 1590 \times 782.34 \times 0.86 = 1069771.8\ N}$$

$$\mathbf{= 1069.8\ KN}$$

6- حساب حمولة مواسير التغليف للمرحلة الوسطية الثانية:

$$\mathbf{P_{h8} = 2915 \times 574.19 \times 0.85 \times = 1439436.9\ N}$$

$$\mathbf{= 1439.4\ KN}$$

7 – حساب حمولة مواسير التغليف للمرحلة الإنتاجية:

$$\mathbf{P_{h9} = 3470 \times 207.09 \times 0.86 = 617997.9\ N}$$

$$\mathbf{= 617.9\ KN}$$

نلاحظ أن الحمل الأعظمي المعلق على الخطاف هو حمولة المرحلة الإنتاجية الأولى

(P_{h4}= 1830876.25 N)

3-3- حساب معامل الاستقرار من أجل الأبراج الصارية (ثنائية القوائم) :

أولاً: حساب استقرارية البرج الأول (BM-40-100):

نحسب عزم الانقلاب وفق القانون التالي:

$$M_{tb}= P_{eh} \cdot h + P_w \cdot (h_w - H) + P_{hs} \cdot h_b$$

نبدأ بحساب الحد الأول:

h: ارتفاع البرج.

P_{ehd}: المركبة الأفقية لقوتي شد الطرفين الثابت و المتحرك لكبل الحفر في حالة الحركة و تعطى بالعلاقة:

$$P_{ehd}= \left(\frac{Phmax}{m.\eta_{t.r}} . \tan(\beta)\right) - \left(\frac{Phmax .\eta_{t.r}}{m} . \tan(\gamma)\right)$$

$Phmax$: الحمولة العظمى على الخطاف و هي وزن مواسير تغليف المرحلة الوسطية و تساوي **(P_{h4})**.

m : تركيبة منظومة الكبال المعدنية (عدد الخطوط العاملة) و يساوي (10).

$\eta_{t.r}$: المردود المفيد لمنظومة الكبال المعدنية و يحسب بالعلاقة:

$$\eta_{t.r} = 1 - 0.02m = 1 - 0.02(10) = 0.8$$

β و γ: زاويتا ميل الطرفين الثابت والمتحرك على التوالي لحبل الحفر عن المحور الشاقولي للبرج و تؤخذ وسطياً القيم التالية **($\gamma = 5$. β=10)**

نطبق العلاقة:

$$* P_{ehd} = \left(\frac{1830876.25}{10 \times 0.8} . \tan(10)\right) - \left(\frac{1830876.25 \times 0,8}{10} . \tan(5)\right) \times 40$$

$$P_{ehd} = 1101585.4\ N.m$$

نحسب الحد الثاني:

P_w: الحمولة الأفقية الناتجة عن ضغط الرياح و تحدد بالعلاقة.

$$P_w = q_0 . C_i . S_i . K_d . P$$

حيث:

q_0: الضغط الرياحي أو الضغط السرعي قيمته 700 Pa

C_i: معامل احتساب زيادة ضغط الرياح حسب الارتفاع قيمته 1.55

K_d: معامل ديناميكية الهواء يعتمد على نوعية التصميم المواجهة للرياح قيمته 1.4

S_i: مسقط سطح مقطع البرج على المستوى الشاقولي المار من محور البرج و يعطى بالعلاقة:

$$S_l = F_i . \varphi$$

φ : معامل امتلاء المقطع قيمته 0.2

F_i : مساحة سطح مقطع البرج المعدني (سطح المقطع هو شبه منحرف)

$$F_i = \frac{4+2}{2} \times 40 = 120\ m^2$$

$S_l = 120 \times 0.2 = 24\ m^2$

P: معامل ديناميكي يأخذ بالحسبان فترة الذبذبات الذاتية للبرج قيمته 1.2

$h_w - H$: ارتفاع نقطة تأثير محصلة ضغط الهواء عن سطح نقطة ارتكاز البرج.

H: ارتفاع منصة البرج.

$$h_w = \frac{2}{3}(h + H) = \frac{2}{3}(40 + 4) = 29.33m$$

$$h_w - H = 29.33 - 4 = 25.33m$$

$$P_w = 700 \times 1.55 \times 24 \times 1.2 \times 1.4 = 43747.2\ N$$

$$P_w\ (h_w - H) = 43747.2 \times 25.33 = 1108116.578\ N.M$$

نحسب الحد الثالث:

h_b: ارتفاع محور الإسناد العلوي لمخزن المواسير عن سطح نقطة ارتكاز البرج:

$$h_b = h - 14 = 40 - 14 = 26m$$

P_{hs}: المركبة الأفقية لوزن ستاندات المواسير في مخزن المواسير و تعطى بالعلاقة:

$$P_{hs} = K.G_S.\tan\alpha$$

حيث:

K: معامل احتساب العلاقة بين طول ستاند المواسير و المسافة من قاعدة مخزن المواسير و حتى محور الستاند:

$$K = \frac{ls}{hb} = \frac{27}{26} = 1.03$$

G_S: وزن ستاندات المواسير المستندة على المحور و هي مواسير حفر و أعمدة حفر

المرحلة الإنتاجية و تساوي (G_S= 1830876.2 N)

α: زاوية ميل ستاند المواسير عن الشاقول و تؤخذ أربع درجات.

$$P_{hs}.\ h_b = 1.08x\ 1830876.2\ x\ \tan 4x26 = 3428572\ N.m$$

$$M_{tb} = 1101585.4 + 1108116.5 + 3428572$$

$$= 5638273.9\ N.m$$

نحسب عزم الاستقرار وفق القانون التالي:

$$M_{tb} = G_O.l$$

l: المسافة بين محور مركز البئر و نقطة ارتكاز البرج و هي 8m لهذا البرج.

G_O: قوة جذب البرج غير المحمل و يعطى بالعلاقة:

$$G_O = G_d + G_{cr} + G_t + G_b$$

حيث:

G_d: وزن البرج	$G_d = 0.15\ P_{hmax}$
G_{cr}: وزن البكرات التاجية	$G_{cr} = 0.01\ P_{hmax}$
G_t:وزن الأجزاء المتحركة من منظومة الكبال	$G_t = 0.04\ P_{hmax}$
G_b: وزن المنصات و الإنشاءات على البرج	$G_b: 0.03\ P_{hmax}$

P_{hmax}: الحمولة الحدية و تؤخذ من جدول أبراج الحفر بقيمة 10^6 N لهذا النموذج

$G_O=(0.15 + 0.015 + 0.04 + 0.03)x\ 10^6= 235x10^3$ N

$M_{sb}= 235x10^3x8= 188x10^4$ N.m

نحسب ثابت الاستقرارية:

$$K=\frac{188\times10000}{56382739}=0.33$$



ثانياً: حساب استقرارية البرج ثنائي القوائم(BM−42−140):

$P_{eh}.h= 27539.63x42=593597.76$ N.m

$= 1156664.7$ N.m

$F_i= \frac{4+2}{2} \times 42 = 126m^2$

$S_i= 126 \text{ x } 0.2 = 25.2\ m^2$

$h_w= \frac{2}{3}(h+H)=\frac{2}{3}(42+6)=32m$

$h_w - H = 32 - 6 = 26m$

$P_w = 700 \times 1.55 \times 25.2 \times 1.2 \times 1.4 = 45934.56\ N$

$P_w\ (h_w - H) = 45934.56 \times 26 = 1194298.56\ N.m$

$h_b = h - 16 = 42 - 16 = 26m$

$P_{hs} = k.\ G_s.\ \tan\alpha$

$K = \frac{ls}{hb} = \frac{27}{26} = 1.03$

$P_{hs}.\ h_b = 1.03 \times 1830876.2 \times \tan 4 \times 24$

$= 64659.24 \times 26$

$= 3428572\ N.m$

$M_{tb} = 1156664.7 + 1194298.56 + 3428572$

$= 5779535.3\ N.m$

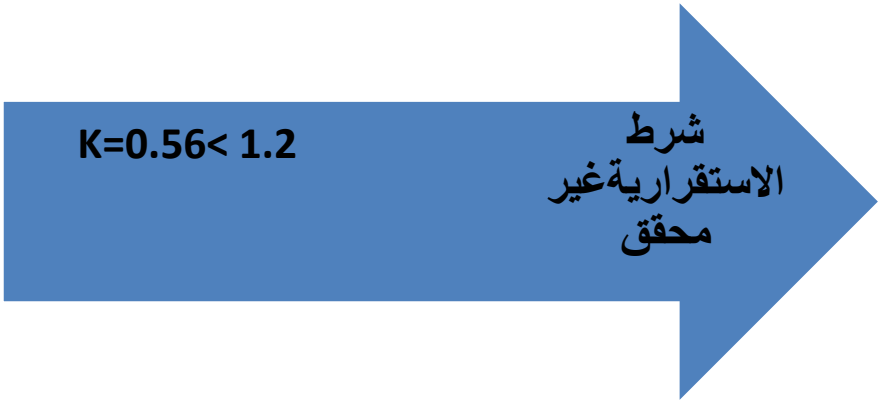
$G_O = (\ 0.15 + 0.015 + 0.04 + 0.03\ ) \times 10^6 \times 1.4$

$= 329 \times 10^3\ N$

$M_{sb} = 329 \times 10^3 \times 10 = 329 \times 10^4\ N.m$

نحسب ثابت الاستقرارية:

$$K = \frac{329x10^4}{5779535,3} = 0,56$$



ثالثاً: حساب استقرارية البرج ثنائي القوائم(BM−41−170):

$$\eta_{t.r} = 1-0.02\ x12 = 0.76$$

$$P_{eh}.h = \left(\frac{1830876.25}{12 \times 0.76}\tan 10 - \frac{1830876.25 \times 0.76}{12}\tan 5\right) \times 41$$

$$= 962828.9\ N.m$$

$$S_i = 123\ x\ 0.2 = 24.6\ m^2$$

$$h_w = = \frac{2}{3}(h+H) = \frac{2}{3}(41+7) = 32m$$

$$h_w - H = 32-7 = 25m$$

$$P_w = 700x1.55x24.6x1.2x1.4 = 44840.88\ N$$

$$P_w\ (h_w - H) = 44840.88\ X\ 25 = 1121022\ N.m$$

$h_b = h - 15 = 41 - 15 = 26m$

$P_{hs} = k.\ G_s.\ \tan\alpha$

$K = \frac{ls}{hb} = \frac{27}{26} = 1.03$

$P_{hs}.\ h_b = 1.03 \times 1830876.2 \times \tan 4 \times 26$

$= 64659.24 \times 26$

$= 3428572.14\ N.m$

$M_{tb} = 962828.9 + 1121022 + 3428572.14$

$= 5512422.9\ N.m$

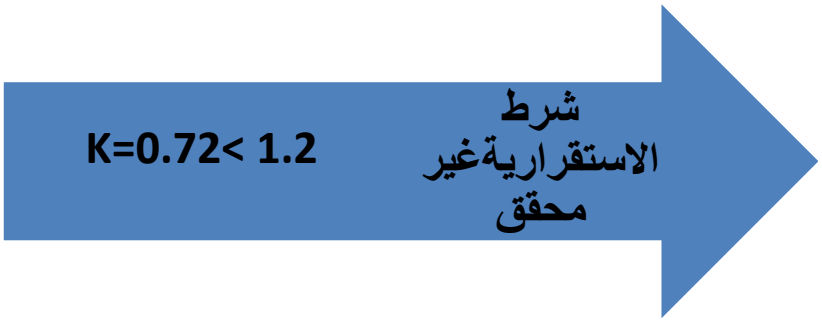
$G_O = (0.15 + 0.015 + 0.04 + 0.03) \times 10^6 \times 1.7$

$= 400 \times 10^3 N$

$M_{sb} = 400 \times 10^3 X 10 = 400 \times 10^4\ N.m$

نحسب ثابت الاستقرارية:

$K = \frac{400 \times 10^4}{5512422,9} = 0.72$



رابعاً: حساب استقرارية البرج ثنائي القوائم(BMA-45-200):

$\eta_{t.r}$= 1−0.02 x12= 0.76

$P_{eh}.h = \left(\frac{1830876.25}{12 \times 0.76} \tan 10 - \frac{1830876.25 \times 0.76}{12} \tan 5\right) \times 45$

= 1056763.5 N.m

S_i= 135 x 0.2 = 27 m^2

$h_w = \frac{2}{3}(h+H) = \frac{2}{3}(45+9)$= 36m

$h_w - H$= 36−9=27m

P_w= 700 x1.55 x 27 x1.2 x1.4

= 49215.6 N

$P_w(h_w - H)$= 49215.6X 27 = 1328821.2 N.m

$h_b = h - 15 = 45 - 19 = 26m$

$P_{hs} = k.\ G_s.\ \tan\alpha$

$K = \frac{ls}{hb} = \frac{27}{26} = 1.03$

$P_{hs}.\ h_b = 1.03 \times 1830876.2 \times \tan 4 \times 26$

$= 64659.24 \times 26$

$= 3428572.14\ N.m$

$M_{tb} = 1056763.5 + 1328821.2 + 3428572.14$

$= 5814156.7\ N.m$

$G_O = (0.15 + 0.015 + 0.04 + 0.03) \times 10^6 \times 2{,}9$

$= 682X10^3\ N$

$M_{sb} = 682x10^3X10 = 750x10^4\ N.m$

نحسب ثابت الاستقرارية:

$K = \frac{750x10^4}{5814156{,}7} = 1.29$



إذاً هذا النموذج لبرج حفر البترول.

النتائج والمقترحات

النتائج:

- برج الحفر عبارة عن إنشاءات شبكية معدنية مؤلفة من عوارض زاوية أو من مواسير تركب على فوهة البئر، و يستخدم برج الحفر لتثبيت مجموعة البكرات التاجية و تعليق بقية أجزاء منظومة الكبال المعدنية و ما يتصل بها من معدات، كما توزع على أرضية البرج بعض الأجهزة الأساسية مثل المنضدة الرحوية و الأجهزة الرافعة و غيرها، و المساعدة مثل: المفتاح الآلي و الميكانيكي و ماسكات المواسير و الدقاقات المستخدمة في الحفر إلخ.....
- 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 (3800 m).
- يجب المحافظة على توضع البرج فوق منصة الحفر بحيث ينطبق محوره مع مركز المنضدة الرحوية، و لا يسمح بميلان البرج عن المحور الشاقولي للأبراج الثنائية و الرباعية.
- تصنع الأبراج مجزأة بمقاطع مستقلة لتكون سريعة التجميع و التفكيك أو تصنع من قطاعات (قوائم) كاملة، كما تصنع قوائم البرج و هي الجزء الرئيسي منه من أنابيب معدنية فولاذية عالية المتانة تتحمل الحمولات الكبيرة التي يتعرض لها البرج.
- تستخدم الأبراج رباعية القوائم بشكل واسع في المنصات البحرية كون هذه الأبراج لا تفكك أثناء النقل و هي أكثر استقرارية.
- يجب أن يؤمن ارتفاع البرج الأمان في العمل خلال رفع مجموعة البكرات المتحركة بأعلى سرعة رفع ممكنة، و أن يؤمن إخراج ستاند كامل من المواسير أثناء الرفع.

- تحدد قياسات القاعدة العليا للبرج وفق قياسات مجموعة البكرات التاجية مع تأمين المجال الكافي لحركة و عمل فرق الصيانة و التركيب عليها.
- يجب أن تؤمن منصة الحفر المكان الكافي و المريح لعمل فرقة الحفر لتنفيذ العمليات المطلوبة و لصيانة هذه الأجهزة و القيام بالإصلاحات الموقعية لها عند الحاجة.
- يتم تحديد ارتفاع منصة الحفر وفق احتياجات تركيب معدات إحكام فوهة البئر و تجهيزاتها و صيانتها.
- تبين من خلال حسابات استقرار البرج المنفذة على البئر صدد-11 أن البرج من نموذج (BMA-45-200) ذي الارتفاع (45m) و الحمولة الحدية (2000KN) هو المناسب للاستخدام لأنه يحقق معامل استقرار مقبول أكثر من (1,2)، و على الرغم من أن الحمولة الحدية التي يتحملها البرج أكبر من الحمولة الأعظمية المحسوبة لبئر صدد-11 إلا أنه كان هو الأنسب بسبب معاملات الأمان الكبيرة التي تؤخذ في حسابات الاستقرارية.
- ينصح غالباً بزيادة قيمة عزم الثبات و استقرار المجموعة في حالة العواصف و الرياح الشديدة التي تتجاوز الحدود المسموح بها، و يتم ذلك بتحميل منظومة الكبال و المنضدة الرحوية بإسناد جزء من عمود مجموعة المواسير على المنضدة الرحوية (إبقائها في البئر و إسنادها على المنضدة الرحوية بواسطة الماسكات Slips).
- الأبراج رباعية القوائم، و التي تستخدم في الحفر البحري نعتمد فيها فقط على معامل المساحة لتأمين معامل استقرار جيد.

و أما بالنسبة للأبراج الصارية ثنائية القوائم و عند الرياح القوية و العوامل الجوية القاسية فيجب إضافة أوتاد شد لتأمين معامل استقرارية مقبول و يجب أن تكون

$$\frac{M_{sb}}{M_{tb}} > 1,2 .$$

الجداول الملحقة

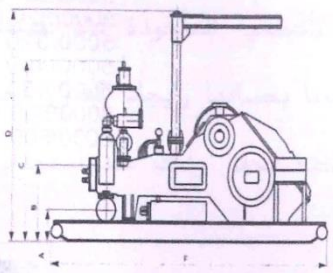
LAND RIGS

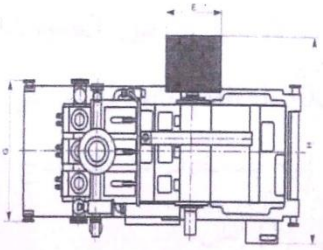
3200/200 DGU
5000/320 DGU
5000/320 ER
5000/400 ER
6500/450 DG
8000/500 DER
8000/600 DER





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

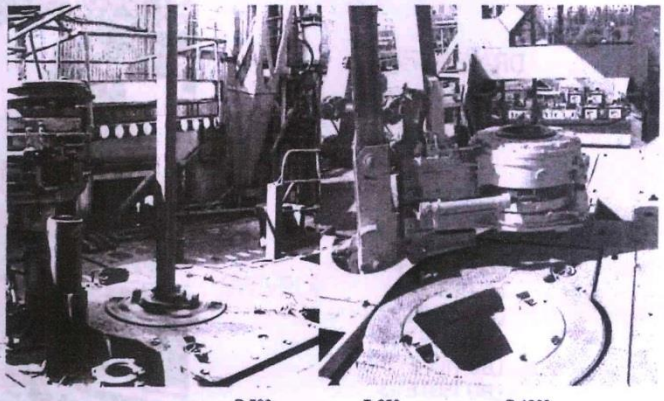
UNB-600
UNBT-600
UNBT-950
UNBT-1180L
UNBT-1600



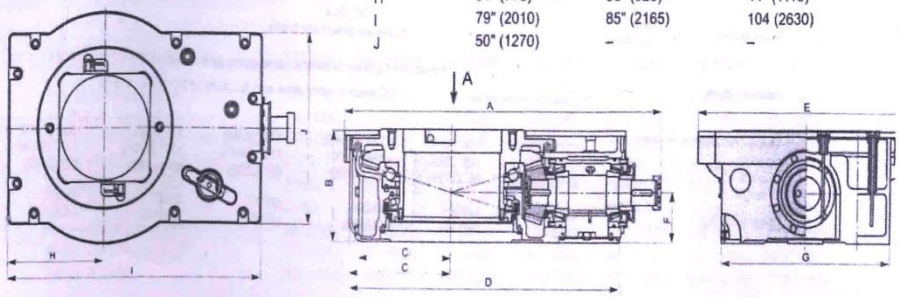
Parameters / Model		UNB-600	UNBT-600	UNBT-950	UNBT-1180L	UNBT-1600
Pump power, HP (kW)		816 (600)	816 (600)	1292 (950)	1604 (1180)	2176 (1600)
No. of cylinders		2	3	3	3	3
Nominal piston stroke per minute		65	160	125	125	100
Pump displacement (max), gal/s (L/s)		13.7 (51.9)	13.5 (50.9)	12.2 (46)	13.6 (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

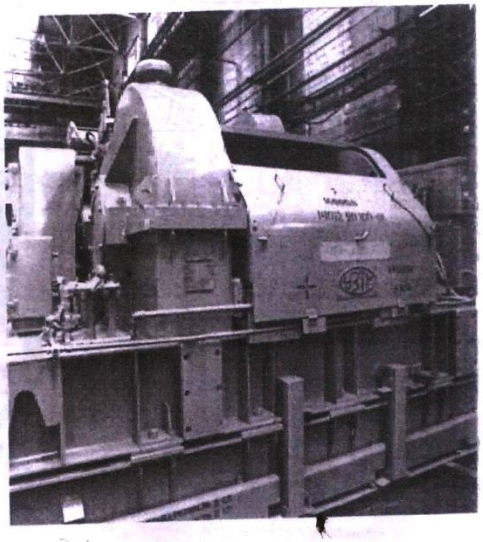


Parameters / Model		R-700	R-950	R-1260
Rotary table opening, in (mm)		27 1/2" (700)	37 1/2" (950)	49 1/2" (1260)
Admissible static load, tn (t)		551 (500)	695 (630)	882 (800)
Static torque, ft*lb (Nm)		59,000 (80,000)	88,500 (120,000)	132,750 (180,000)
Rotational speed (max), rpm		350	350	350
Drive shaft-to-rotary 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 1/16" (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 (5673)

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.

* * *