



MINISTERUL EDUCAȚIEI ȘI CERCETĂRII
UNIVERSITATEA PETROL-GAZE DIN PLOIEȘTI

B-dul. București nr. 39, 100680 Ploiești - România
www.upg-ploiesti.ro
Telefon +40 244 573 171 Fax +40 244 575 847



INSTITUȚIA ORGANIZATOARE DE STUDII UNIVERSITARE DE
DOCTORAT UNIVERSITATEA PETROL-GAZE DIN PLOIEȘTI
DOMENIUL FUNDAMENTAL – ȘTIINȚE INGINEREȘTI
DOMENIUL DE DOCTORAT – MINE, PETROL ȘI GAZE

TEZĂ DE DOCTORAT

CONTRIBUȚII PRIVIND OPTIMIZAREA SISTEMULUI ROCI-SONDE

Autor: Drd. Ing. AL GBURI HUSSEIN ALI

Conducător științific: Prof. Dr. Ing. AVRAM LAZĂR

PLOIEȘTI 2023



INSTITUȚIA ORGANIZATOARE DE STUDII UNIVERSITARE DE
DOCTORAT UNIVERSITATEA PETROL-GAZE DIN PLOIEȘTI
DOMENIUL FUNDAMENTAL – ȘTIINȚE INGINEREȘTI
DOMENIUL DE DOCTORAT – MINE, PETROL ȘI GAZE

TEZĂ DE DOCTORAT

CONTRIBUȚII PRIVIND OPTIMIZAREA SISTEMULUI ROCI-SONDE

CONTRIBUTIONS REGARDING THE OPTIMIZATION OF ROCKS-WELLS SYSTEM

Autor: Drd. Ing. AL GBURI HUSSEIN ALI

Conducător științific: Prof. Dr. Ing. AVRAM LAZĂR

Nr. Decizie 430/ 05.07.2023

Comisia de doctorat:

Președinte	Prof.univ.habil.dr.ing. ALBULESCU Mihai Adrian	de la	Universitatea Petrol-Gaze din Ploiești
Conducător științific	Prof.univ.dr.ing. AVRAM Lazăr	de la	Universitatea Petrol-Gaze din Ploiești
Referent oficial	Prof.univ. habil.dr.ing. MORARU Roland Iosif	de la	Universitatea din petroșani
Referent oficial	Prof.univ. habil.dr.ing. LAZĂR Maria	de la	Universitatea din petroșani
Referent oficial	Conf.univ.dr.ing. IONESCU Mihail	de la	Universitatea Petrol-Gaze din Ploiești

PLOIEȘTI 2023

CUPRINS

FISA DE PREZENTARE A DOCTORANDULUI

LISTA FIGURILOR ȘI TABELELOR

REZUMAT

CAPITOL I: INTRODUCERE

1

CAPITOL II: REVIZUIREA LITERATURII DE SPECIALITATE PRIVITOARE LA OPTIMIZAREA SISTEMULUI ROCI-SONDE

4

2.1. Introducere

4

2.2. Revizuirea literaturii de specialitate

5

2.3. Proiectarea și optimizarea sondei prin analiza și evaluarea proprietăților rocii

17

2.4. Analiza dinamică a garniturii de foraj și a ansamblului BHA

20

2.5 Studiu de revizuire a literaturii de specialitate în context

32

CAPITOL III: DESCRIEREA ȘANTIERULUI DE LUCRU ZUBAIR

35

3.1. Descrierea geologică și structurală

35

3.2. Planuri de dezvoltare viitoare

44

CAPITOL IV: ASPECTE PRIVIND TEHNICILE DEZVOLTATE ȘI SOLUȚIILE DE ANALIZĂ A STABILITĂȚII SONDELOR VERTICALE ȘI DIRECȚIONALE DIN ȘANTIERELE IRAKIENE

48

4.1. Îmbunătățirea stabilității sondelor de foraj din șantierul Zubair pe baza studiilor de laborator și a analizei datelor offset

48

4.2. Analiza statistică a timpului de foraj și evaluarea comparativă pentru sondele forate în șantierul Zubair

61

CAPITOL V: EFECTUL VIBRAȚIILOR GARNITURII DE FORAJ ASUPRA STABILITĂȚII LOR ȘI A GĂURII DE SONDĂ; EXPERIMENTE DE LABORATOR PRIVIND VIBRAȚIILE COLOANEI ȘI ALE GARNITURII DE FORAJ

75

5.1. Diagnosticarea vibrațiilor și analiza performanțelor în șantierul Zubair

75

5.2. Descrierea datelor măsurate ale sondelor

75

5.3. Analize și discuții asupra investigării vibrațiilor la sondele din Zubair

76

CAPITOL VI: SIMULAREA CU SOFTWARE-UL LANDMARK	91
6.1. Analiza garniturii de foraj și dinamica ansamblului BHA pentru sondele ZB-290 cu profilul în S; studiu de caz de simulare folosind software-ul landmark	91
6.2. Sinteza rezultatelor: modelul hibrid, schema T&D, analiza garniturilor	98
6.2.1. Model hibrid pentru garnitura de foraj (introducere, extracție, rotire)	98
6.2.2. Scheme de cuplu și tragere	101
6.2.3. Analiza garniturilor	109
6.3. Dinamica ansamblului de fund BHA	112
6.4. Analiza de sensibilitate cu privire la impactul vitezei de rotație asupra vibrațiilor ansamblului de fund (BHA)	117
CAPITOL VII : O NOUĂ ABORDARE DE INTELIGENȚĂ ARTIFICIALĂ PENTRU PROGNOZA VITEZEI DE FORARE	130
7.1. Introducere	130
7.2. Inteligență artificială și operațiuni de foraj	131
7.3. Corelația empirică a modelului ANN și MLR cu normalizarea datelor	131
CAPITOL VIII: CONCLUZII ȘI RECOMANDĂRI	144
BIBLIOGRAFIE	147

REZUMAT

Scopul optimizării în timp real a parametrilor de foraj este de a dezvolta o abordare care să țină cont de cunoștințele anterioare, să prognozeze potențialele probleme geologico-tehnice și, în cea mai mare măsură posibilă, să le evite. Așadar, în această teză sunt dezvoltate noi contribuții privind optimizarea sistemului roci-sonde și modul de detectare a problemelor majore din acest sistem. În plus, sunt prezentate soluții dezvoltate și studii de simulare pentru a aborda aceste probleme, a optimiza parametrii sistemului roci-sonde și a îmbunătăți performanța de foraj pentru activitățile viitoare.

Lucrarea tezei este împărțită în mai multe capitole. În capitolul II se prezintă revizuirea literaturii de specialitate privitoare la optimizarea sistemului roci-sonde, proiectarea și optimizarea sondei prin analiza și evaluarea proprietăților rocii ș.a. În plus, se realizează o analiză dinamică a garniturii de foraj și a ansamblului de fund BHA. În capitolul III s-a descris șantierul de lucru, Zubair, prezentând situația geologică, scopul sondei, expectativa de producție și structura coloanelor. De asemenea, au fost menționate aspectele generale și planurile de dezvoltare viitoare.

Capitolul IV prezintă aspectele privind tehnicile dezvoltate și soluțiile de analiză a stabilității sondelor verticale și direcționale din șantierele irakiene. Mai întâi, îmbunătățirea stabilității sondelor de foraj din șantierul Zubair, a fost realizată pe baza studiilor de laborator și a analizei datelor *offset*. A urmat analiza statistică a timpului de foraj și evaluarea comparativă pentru sondele forate în șantierul Zubair.

Planurile de dezvoltare viitoare sunt stabilite, de multe ori, în timpul producției. Aceste planuri includ repararea sondelor, îmbunătățirea rezervoarelor sau dezvoltare și forarea de noi sonde în vederea creșterii producției. Prin urmare, obiectivul principal al primei secțiunii în acest capitol este de a îmbunătăți stabilitatea sondei și de a propune practici speciale de foraj, bazate pe date *offset*, pentru forarea noilor sonde de dezvoltare a în șantierul Zubair, fără probleme de instabilitate. Se au în vedere, în primul rând, aspectele de ansamblu ale câmpului petrolifer, inclusiv coloana geologică, locațiile sondelor, hărțile de contur, producția sondelor ș.a. Apoi, sunt analizate complet datele sondelor *offset*. S-a constatat că problema majoră pentru sondele *offset* Zubair o reprezintă pierderea circulației în formațiunile Mishrif, Dammam, Hartha și Shuaiba. Materialele de circulație, în vederea combaterii pierderilor, sunt determinate pe baza lucrărilor de laborator și a analizei datelor. Pentru sondele noi sunt propuse profile de presiune adecvate și cele mai bune practici de curățare a găurilor. Apoi, obiectivul de al doilea lucru este acela de a studia sondele recente forate în șantierul Zubair. Operațiunile de foraj și timpii acestora sunt analizate în mod specific (desigur, NPT are un impact major asupra performanțelor în foraj). Apoi, o comparație între sondele din șantierul Zubair a fost făcută și pentru a studia operațiunile de foraj, problemele și comportamentul echipajului executant. În plus, este propusă o abordare de evaluare comparativă bazată pe rata de penetrare (ROP), astfel încât să arate performanța fiecărei sonde în raport cu cea mai bună sondă și cea mai bună performanță. Cu toate acestea, abordarea evaluării comparative, propusă în acest capitol, se concentrează pe aparițiile ROP. Variațiile perioadelor fixe nu sunt luate în considerare. Într-o curbă timp vs. adâncime, o perioadă de timp plat este durata de timp petrecută cu operațiuni în care adâncimea sondei nu crește. Al-3-lea

Capitolul V prezintă efectul vibrațiilor garniturii de foraj asupra stabilității ei și a găurii de sondă. E vorba și de experimente de laborator privind vibrațiile coloanei și ale garniturii de foraj. Au fost apoi dezvoltate diagnosticarea și analiza vibrațiilor de foraj, în șantierul Zubair. Pentru a îmbunătăți performanța de foraj și pentru a preveni deteriorarea garniturii de foraj, este necesar să se reducă vibrațiile din sonde. În consecință, scopul principal al acestui studiu este de a diagnostica și analiza vibrațiile de foraj pentru sondele din șantierul Zubair. Sunt identificate tipurile de moduri de vibrație, cauzele lor relative și acțiunile de atenuare recomandate. Mai mult, aceste vibrații sunt gradate și clasificate pentru a determina gradul de severitate al fiecărei operații respectiv cursă/ traseu din sondele forate. Parametrii de foraj sunt, de asemenea, reprezentați grafic, iar tendințele lor de creștere sau scădere sunt construite astfel încât să se prezică cei mai buni dintre ei, pentru optimizarea activităților viitoare. S-a constatat că majoritatea curselor sondelor au fost supuse unei alunecări severe din cauza vibrațiilor puternice de torsiune și a fost necesară o reducere a apăsării pe sapă WOB, respectiv o creștere a turației RPM pentru diminuarea acestora. În plus, ZB-311 cursa 400, și ZB-349 cursa 600, au fost supuse la lipire-alunecare puternică și la vârtej al ansamblului inferior BHA. În cele din urmă, diagramele parametrilor de foraj au arătat neuniformitățile și neregularitățile dintre ele.

Capitolul VI prezintă simularea cu sistemul Landmark, în care analiza garniturii de foraj și dinamica BHA au fost efectuate pentru sondele ZB-290 cu profilul în S, printr-un semnificativ studiu de caz. În această secțiune a lucrării s-a realizat analiza și dinamica BHA pentru 5 sonde din câmpul Zubair, respective simularea sistemului cu ajutorul *software*-ului Landmark printr-un studiu de caz semnificativ. În același timp, s-a investigat și vibrațiile din foraj. Mai mult, cuplul și rezistențele generate asupra garniturii de foraj sunt calculate și verificate cu limitele admise pentru operațiuni specifice (foraj, manevră, rotire etc.). Modelul hibrid cuplu - tracțiune utilizează o abordare care presupune că poziția garniturii corespunde cu curbura minimă a sondei doar în puncte discrete. Modulul privind dinamica BHA facilitează analiza 3D a ansamblului static aferent tălpii sondei, și configurat în funcție de diverse geometrii ale găurii de sondă, la diferite înclinări și direcții. Modelarea dinamică BHA este un modul evoluat care îmbină analiza BHA anterioară și modelarea analizei vitezelor critice. Acest model ne ajută să prezicem o gamă largă de rotații pe minut (RPM) care poate cauza probleme de vibrație. În plus, ajută la prezicerea performanțelor de ansamblurilor de fund pentru cazul forajelor direcționale. Pentru analiza de sensibilitate cu privire la impactul vitezei de rotație asupra vibrațiilor BHA, obiectivul principal al acestei secțiuni este acela de a extinde activitatea de cercetare a vibrațiilor garniturii de foraj, pe care le-am implementat anterior, pentru a identifica, analiza și controla vibrația rezultată în sondele din șantierul Zubair. Aici, realizăm o analiză de sensibilitate pentru a studia influența vitezelor de rotație asupra vibrațiilor BHA din sonda ZB-290. La această sondă, forată, așa cum am mai menționat, în șantierul Zubair, s-au înregistrat date de vibrații bazate pe timp, iar investigările de vibrații ale acestei sonde ne-au permis să efectuăm această analiză. Forțele, tensiunile, deplasările, cuplul și momentele BHA-urilor au fost identificate și analizate cu succes. Astfel că putem afirma, cu deplin temei, că performanțele forajului și proiectele sondelor viitoare vor fi îmbunătățite pe baza lucrărilor anterioare și a acestei lucrări.

Capitolul VII prezintă un nou model pentru prezicerea vitezei de foraj utilizând rețele neuronale artificiale sau inteligență artificială, operațiuni de foraj și utilizarea rețelelor neuronale artificiale, a urmat corelația empirică a modelului ANN și MLR cu normalizarea datelor.

Obiectivul acestui studiu este de a utiliza ANN pentru a dezvolta un nou model ROP în timp real, utilizând date de șantier, inclusiv parametrii de foraj și schimbarea rezistenței formațiunii din 4 secțiuni ale unei sonde terestre (ZB-290) forate în șantierul Zubair din Irak. După filtrarea și screening-ul datelor, o secțiune a fost folosită pentru a antrena și testa modelul ANN, în timp ce cealaltă a fost folosită pentru a valida modelul dezvoltat. Noi corelații empirice ROP au fost, de asemenea, derivate pentru fiecare secțiune pe baza modelului ANN optimizat și comparate cu patru modele ROP comune. Corelațiile dezvoltate au fost simplificate pentru a prezenta cea mai simplă formă care poate fi utilizată în site-ul platformei fără a fi nevoie de codul ANN sau licența MATLAB.