(19) OFICIUL DE STAT
PENTRU INVENŢII ŞI MĂRCI
Bucureşti

ROMANIA

(11) Nr. brevet: 115905 B1
(51) Int.Cl.[7] E 21 B 47/022;

(12) BREVET DE INVENŢIE

Hotărârea de acordare a brevetului de invenţie poate fi revocată în termen de 6 luni de la data publicării

(21) Nr. cerere: **95-01296**

(22) Data de depozit: **12.01.1994**

(30) Prioritate: **13.01.1993 GB 93200082.1;**

(41) Data publicării cererii:
BOPI nr.

(42) Data publicării hotărârii de acordare a brevetului:
28.07.2000 BOPI nr. **7/2000**

(45) Data eliberării şi publicării brevetului:
BOPI nr.

(61) Perfecţionare la brevet:
Nr.

(62) Divizată din cererea:
Nr.

(86) Cerere internaţională PCT:
Nr. **EP 94 / 00094 12.01.1994**

(87) Publicare internaţională:
Nr. **WO 94/16196 21.07.1994**

(56) Documente din stadiul tehnicii:
US 4682421

(71) Solicitant: **SHELL INTERNATIONALE RESEARCH MAATSCHAPPIJ B.V., HAGA, NL;**

(73) Titular: **SHELL INTERNATIONALE RESEARCH MAATSCHAPPIJ B.V., HAGA, NL;**

(72) Inventatori: **NICHOLSON JAMES, WILLIAM, RIJSWIJK, NL;**

(74) Mandatar: **ROMINVENT S.A. (AGENŢIE PENTRU BREVETE, DESENE, MĂRCI ŞI TRANSFER TEHNOLOGIE), BUCUREŞTI, RO**

(54) METODĂ DE DETERMINARE A DIRECŢIEI UNUI FORAJ

(57) Rezumat: Invenţia se referă la o metodă de determinare a direcţiei unui foraj, în timpul procesului de forare. Metoda de determinare a direcţiei unui foraj, conform invenţiei, asigură măsurarea unghiului de înclinare θ, a unghiului de rotire a sapei ϕ şi a unghiului azimut ψ prin măsurarea vectorului accelerației gravitaționale $\bar{g}$ şi a vectorului câmp magnetic total B. Astfel, $\bar{g}$ şi $\bar{B}$ sunt măsurate la cel puţin două adâncimi ale forajului astfel încât $\phi_i \neq \phi_{i+1}$, ψ_i şi ψ_{i+1} fiind determinate din relaţia $B_i = [\phi_i]^T [\theta_i]^T \{[\psi_i]^T \bar{B}_e\} + \bar{B}_p$ şi $\sin^2\psi_i + \cos^2\psi_i = \sin^2\psi_{i+1} + \cos^2\psi_{i+1}$ unde i este numărul de măsurători, $\bar{B}_e$ câmpul magnetic terestru local, iar $\bar{B}_p$ câmpul magnetic perturbator.

Revendicări: 5
Figuri: 4

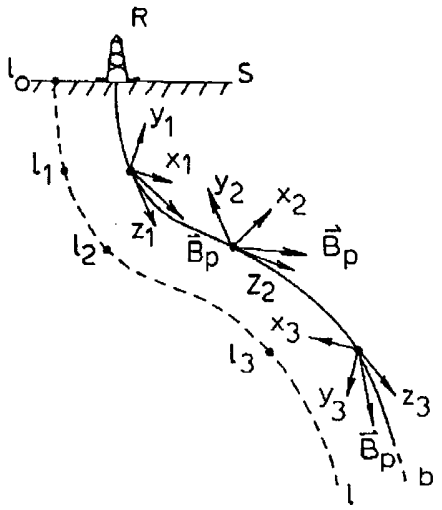

Fig. 4

RO 115905 B1

Invenția se referă la o metodă de determinare a direcției unui foraj, în timpul procesului de forare.

Este cunoscută o metodă de determinare a direcției unui foraj, în brevetul **US 4163324**, în care este prezentată folosirea unei garnituri de prăjini de forare, alcătuită dintr-o sapă de foraj cuplată pe una din părți cu o prăjină grea, executată din material nemagnetic, iar la cealaltă parte cu un set de prăjini grele, executate din material magnetic. Prăjinile din material magnetic sunt cuplate la o prăjină de foraj. Prăjina grea, nemagnetică, conține un instrument de supraveghere, de exemplu, un sistem alcătuit dintr-un accelerometru/magnetometru triaxial. În timpul măsurării câmpului magnetic total B, în plus față de câmpul magnetic al pământului $\bar{B}_e$ se adaugă un câmp magnetic perturbator $\bar{B}_p$, de exemplu, provenind de la sapa de foraj, menționată, sau de la prăjinile grele din material magnetic. În brevetul amintit, se consideră că pentru determinarea efectului garniturii de prăjini de foraj, magnetice, este suficientă numai aproximarea vectorului $\bar{B}_p$ de-a lungul axei forajului Z.

Ipoteza considerată permite calculul, într-o primă etapă, a unghiului de azimut fără corecții, iar într-o fază ulterioară, aplicarea unei proceduri iterative de determinare a cel puțin unui prim ordin de corecție. În multe situații, totuși, ipoteza unui singur $\bar{B}_{p,z}$ și aproximarea lui $\bar{B}_{p,z}$ sunt departe de situația reală.

De exemplu, este binecunoscut faptul că, în timpul forării, o prăjină grea, nemagnetică, se poate magnetiza, conducând la așa-numitele zone fierbinți, incluzând vectori ai unui câmp magnetic perturbator, cu direcții ce nu pot fi determinate.

Este cunoscută, de asemenea, în brevetul **US 4682421**, o metodă de determinare a valorii corecte a unghiului de azimut, prin calculul valorii câmpului magnetic perturbator cu eroare, M, în locul de așezare a instrumentului de măsură.

În particular, este prezentată o abordare, în două etape, a problemei menționate mai sus. După determinarea vectorului accelerației gravitaționale $\bar{g}$ și după măsurarea câmpului magnetic total $\bar{B}_m$, care este egal cu $(\bar{B}_e + \bar{M})$ este determinată într-o primă etapă componenta transversală $\bar{M}_{xy}$ a vectorului M. Pentru desfășurarea acestei prime etape, sunt necesare cel puțin trei măsurători X-Y, deoarece $\bar{M}_{xy}$ rezultă grafic dintr-un cerc construit pe baza măsurătorilor amintite. Ca o consecință, măsurătorile sunt efectuate prin rotirea garniturii de prăjini de foraj, aflate într-o anumită poziție de-a lungul axei forajului, adică a axei Z în sistemul de coordonate al măsurătorii. Rotirea amintită a garniturii de prăjini de foraj, într-o anumită poziție, constituie o întârziere a procesului de forare a sondei.

Pentru efectuarea celei de a doua etape, în brevetul amintit, este prezentată o determinare geometrică a vectorului $\bar{M}_z$. Aplicarea regulii cosinusului pentru obținerea unei valori minime a erorii trebuie restrânsă matematic la un plan care conține toți parametrii relevanți, inclusiv ϕ și θ, determinarea putând fi considerată doar o aproximație. Ca o consecință, posibilele erori în determinarea lui $\bar{M}_z$ și Ψ sunt dependente de erorile în determinarea parametrilor deja utilizați în aplicarea regulii cosinusului.

Metoda de determinare a direcției unui foraj, conform invenției, asigură determinarea unghiurilor ce definesc direcția unui foraj, prin aceea că $\bar{g}$ și B sunt măsurate la cel puțin două adâncimi ale forajului l_i și l_{i+1}, astfel încât $\phi_i \neq \phi_{i+1}$, prin aceea că Ψ_i și Ψ_{i+1} sunt calculate conform formulei $\bar{B}_i = [\varphi_i]^T [\theta_i]^T ([\Psi_i]^T \bar{B}_e) + \bar{B}_p$ și $\sin^2 \Psi_i + \cos^2 \Psi_i = \sin^2 \Psi_{i+1} + \cos^2 \Psi_{i+1}$ sau una dintre ecuațiile echivalente acesteia,

în care i = 1, 2, 3...., $\bar{B}_e$, fiind câmpul magnetic pământesc local, $\bar{B}_p$ fiind câmpul magnetic perturbator al lui $\bar{B}_e$, iar [ ]^T indicând matricile transpuse pentru transformările în coordonate din sistemul NEV în XYZ cu unghiurile Euler θ, ϕ și Ψ.

Se verifică dacă expresia $(\sin^2\Psi_i + \cos^2\Psi_i) = 1$, se măsoară vectorii $\bar{g}$ și B la cel puțin o altă adâncime a forajului l_{i+2}, și dacă expresia $(\sin^2\Psi_i + \cos^2\Psi_i) \neq 1$ unde $\varphi_i \neq \varphi_{i+1} \neq \varphi_{i+2}$ se calculează Ψ_{i+2} și se efectuează următoarea etapă de verificare.

Componentele vectorilor $\bar{g}$ și B sunt măsurate la cel puțin trei adâncimi ale forajului l_i, l_{i+1}, l_{i+2}, astfel $\varphi_i \neq \varphi_{i+1} \neq \varphi_{i+2}$, în care Ψ_i, Ψ_{i+1} și Ψ_{i+2} sunt calculate conform formulei: $\bar{B}_i = [\varphi_i]^T [\theta_i]^T \{[\Psi_i]^T \bar{B}_e\} + \bar{B}_p$ cu i = 1, 2, 3...., $\bar{B}_e$ fiind câmpul magnetic terestru local, $\bar{B}_p$ fiind câmpul magnetic perturbator al lui $\bar{B}_e$, iar { }^{T} indicând matricile transpuse pentru transformările în coordonate din sistemul NEV în sistemul XYZ cu unghiurile Euler ϕ, θ și Ψ.

Se verifică dacă $(\sin^2\Psi_i + (\cos^2\Psi_i) = 1$, pentru cel puțin un i sau pentru una din formulele echivalente, se măsoară vectorii $\bar{g}$ și B la cel puțin o altă adâncime a forajului l_{i+3}, dacă expresia $(\sin^2\Psi_i + (\cos^2\Psi_i) \neq 1$, unde $\varphi_i \neq \varphi_{i+1} \neq \varphi_{i+2} \neq \varphi_{i+3}$, se calculează Ψ_{i+3} și se efectuează următoarea etapă de verificare.

Se determină câmpul magnetic perturbator $\bar{B}_p$ direct din calcul.

Prin aplicarea invenției, se obțin următoarele avantaje:

- obținerea unor valori ale măsurătorilor din foraj, în timpul procesului de forare în mod continuu;
- eliminarea erorilor din procesul de măsurare, datorate unor condiții neprevăzute, de sol sau a unor deficiențe ale aparaturii;
- siguranță și precizie în aplicare;
- obținerea prin calcul direct a valorii $\bar{B}_p$ a vectorului câmp magnetic perturbator, evitându-se astfel aproximările.

Se dă, în continuare, un exemplu de realizare a invenției, în legătură și cu fig.1...4, care reprezintă:

- fig.1, reprezentarea dispunerii convenționale a unui sistem accelerometru/magnetometru, în interiorul unui foraj pentru determinarea vectorilor $\bar{g}$ și B , în funcție de același sistem de coordonate cartezian;
- fig.2A, sistemul de referință NEV al pământului;
- fig.2B, schema unui dispozitiv fixat în sistemul de coordonate **XYZ** cuplat la sistemul de măsurare;
- fig.3, orientarea vectorilor definitorii pentru direcția unui foraj și ale sistemului de coordonate;
- fig.4, schema vectorilor definitorii pentru direcția unui foraj, conform prezentei invenții.

Metoda de determinare a direcției unui foraj, conform invenției, constă în măsurarea vectorilor $\bar{g}$ și B la cel puțin două adâncimi ale forajului l_i și l_{i+1}, astfel încât $\varphi_i \neq \theta_{i+1}$, iar Ψ_i și Ψ_{i+1} se calculează conform relației: $\bar{B}_i = [\varphi_i]^T [\theta_i]^T \{[\Psi_i]^T \bar{B}_e\} + \bar{B}_p$ și $\sin^2\Psi_i + \cos^2\Psi_i = \sin^2\Psi_{i+1} + \cos^2\Psi_{i+1}$ sau una dintre ecuațiile echivalente acesteia, în care i = 1,2,...., $\bar{B}_e$, este câmpul magnetic terestru local, $\bar{B}_p$ este câmpul magnetic perturbator al câmpului $\bar{B}_e$, iar [ ]^T indică așa-numita matrice transpusă pentru transformările de coordonate din sistemele NEV și XYZ prin rotirile cu unghiurile Euler θ, ϕ și Ψ.

În continuare, vectorii $\bar{g}$ și B sunt măsurați la cel puțin trei lungimi ale forajului l_i, l_{i+1} și l_{i+2}, astfel încât $\varphi_i \neq \varphi_{i+1} \neq \varphi_{i+2}$, iar Ψ_i Ψ_{i+1} și Ψ_{i+2} sunt calculate conform relației $\bar{B}_i = [\varphi_i]^T [\theta_i]^T \{[\Psi_i]^T \bar{B}_e\} + \bar{B}_p$ unde i = 1,2,3,.....

Se verifică apoi valoarea rezultată a unghiului de azimut obținut, prin verificarea și compararea ecuației $(\sin^2 \Psi + \cos^2 \Psi) = 1$ pentru fiecare valoare a unghiului Ψ.

În interiorul unui foraj, se dispune un instrument de supraveghere. Instrumentul amintit, cuprinde un sistem accelerometru-magnetometru, în sine cunoscut, cum se poate observa în fig.1, pentru determinarea componentelor vectoriale ale accelerației gravitaționale g_x, g_y, g_z și a componentelor vectoriale ale câmpului magnetic B_x, B_y, B_z. Instrumentul este dispus într-un asemenea mod, încât axa sa Z este paralelă cu axa Z a forajului. În consecință, axele X și Y ale instrumentului cuprinzând accelerometrul și magnetometrul sunt reciproc aliniate, după cum rezultă din fig.1.

În fig.2A și 2B, sunt reprezentate sistemele de coordonate așa cum sunt acestea folosite, în fig.2A este reprezentat sistemul de referință al pământului NEV, N dând respectiv direcția nordului magnetic local, V direcția verticală sau, în particular, fiind direcția vectorului accelerație gravitațională locală, iar E direcția est, perpendiculară pe planul descris de direcțiile N și V. În fig.2B, este reprezentat sistemul cartezian de axe XYZ, axa Z fiind paralelă cu axa forajului.

După cum se poate vedea în fig.3, ambele sisteme XYZ și NEV sunt reprezentate în raport cu un foraj **1** schematic, prezentat și cu punerea în evidență a poziției reciproce a acestora, luându-se în considerație o succesiune de trei rotații, și anume:

$NEV \rightarrow \Psi \rightarrow N, E, V \rightarrow \theta \rightarrow N_2 E_1 Z \rightarrow \varphi \rightarrow XYZ$, ce cuplează vectorii în fiecare din cele două sisteme de coordonate și anume: un unghi de azimut Ψ, un unghi de înclinare θ și un unghi de rotație a sapei ϕ, numite unghiuri Euler.

Rotațiile menționate sunt transformări de coordonate convenționale, reprezentate prin matrici, dând pentru un vector P_{XYZ} și P_{NEV} o formulă după cum urmează:

$P_{NEV} = (\Psi)\ (\theta)\ (\varphi)\ P_{XYZ}$, sau echivalent

$P_{XYZ} = (\varphi)^T\ (\theta)^T\ (\Psi)^T\ P_{NEV}$, cu

$$(\Psi) = \begin{vmatrix} \cos\Psi & -\sin\Psi & 0 \\ \sin\Psi & \cos\Psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (1)$$

$$(\theta) = \begin{vmatrix} \cos\theta & 0 & \sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\theta & 0 & \cos\theta \end{vmatrix} \quad (2), \text{ și}$$

$$(\varphi) = \begin{vmatrix} \cos\varphi & -\sin\varphi & 0 \\ \sin\varphi & \cos\varphi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (3), \text{ în care}$$

$[\Psi]^T$, $[\theta]^T$, și $[\phi]^T$ sunt matricile transpuse, corespunzătoare. După cum s-a arătat mai sus, pentru fiecare cuplu de vectori P_{XYZ} - P_{NEV}, poate fi aplicat același raționament, pentru vectorul accelerație gravitațională $\bar{g}$, obținându-se (0, 0, $\bar{g}$), și pentru vectorul B obținându-se (B_N, 0, B_V), ambii în sistemul de coordonate NEV.

Astfel,

$$\begin{bmatrix} g_x \\ g_y \\ g_z \end{bmatrix} = (\varphi)^T (\theta)^T (\Psi)^T \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ g \end{bmatrix} \quad (4), \text{ și}$$

$$\begin{bmatrix} B_x \\ B_y \\ B_z \end{bmatrix} = (\varphi)^T (\theta^T (\Psi)^T \begin{bmatrix} B_N \\ 0 \\ B_V \end{bmatrix} \quad (5).$$

Pentru exemplul concret, privind vectorul accelerației gravitaționale, este de remarcat faptul că unghiul de înclinare θ și unghiul de rotație a sapei ϕ pot fi determinate, cu ușurință, pentru fiecare poziție a măsurătorii.

În fig.4, sunt reprezentați, în mod schematic, vectorii definitorii pentru determinarea direcției unui foraj, în timpul procesului de forare. Forajul este efectuat, pornind de la un amplasament **R** situat la suprafața pământului **S**. Din motive de claritate, s-a trasat o curbă paralelă **I** cu linie întreruptă, pentru indicarea adâncimilor forajului, (sau lungimii forajului sau pozițiilor acestuia), $\mathbf{l_0}$ la suprafața terestră **S**, la care sunt determinate valorile vectorilor $\bar{g}$ și B .

Sunt reprezentate valorile x_i, y_i, z_i demonstrând poziționarea variabilă a instrumentului de supraveghere în interiorul forajului. În plus, este reprezentat și câmpul magnetic perturbator $\bar{B}_p$. Acest câmp $\bar{B}_p$ este considerat dependent de particularitățile constructive ale garniturii de prăjini de foraj, conducând, prin aceasta, la o rotație și o translație a vectorului amintit, în funcție de rotația și translația sistemului de coordonate XYZ, împreună cu instrumentul din interiorul garniturii de prăjini de foraj.

Se poate observa că la fiecare adâncime a forajului sau poziționare $\mathbf{l_i}$ câmpul magnetic total $\bar{B}_i$ poate fi scris ca $\bar{B}_i = \bar{B}_e + \bar{B}_p$. În orice caz, pentru calculul acestei sume vectoriale, trebuie aleasă o bază comună sau un sistem de coordonate comun. Se folosesc, în mod convențional, sistemele de coordonate XYZ și NEV.

Pentru a se obține direcția forajului, în afară de unghiurile θ_i și ϕ_i, trebuie determinat și unghiul de azimut Ψ_i. În acest scop, suma vectorială indicată mai sus, poate fi exprimată ca:

$$\begin{bmatrix} B_x \\ B_y \\ B_z \end{bmatrix}_i = (\varphi)_i^T (\theta)_i^T \left\{ (\Psi)_i^T \begin{bmatrix} B_N \\ B_O \\ B_V \end{bmatrix} \right\} + \begin{bmatrix} B_{px} \\ B_{py} \\ B_{pz} \end{bmatrix} \quad (6)$$

pentru fiecare adâncime de foraj $\mathbf{l_i}$ sau număr de măsurătoare i. Pornind de la această ecuație, poate fi observat ,cu ușurință, că componentele B_x, B_y, B_z sunt cunoscute, deoarece acestea sunt măsurate, că matricile ϕ și θ sunt cunoscute, deoarece ϕ și θ sunt determinate în modul arătat mai înainte, că B_N și B_V sunt cunoscute din bazele de date geomagnetice și deci , în consecință, unghiul azimut Ψ și componentele vectoriale ale câmpului magnetic perturbator B_{px}, B_{py} și B_{pz} sunt cele care mai trebuie determinate.

Conform invenției, pentru cel puțin două adâncimi ale forajului l_i și l_{i+1} care pot fi scrise ca l_1 și l_2, sunt măsurate componentele vectorilor $\vec{g}$ și B. Apoi, prin rescrierea ecuației de mai sus (6), se obțin ecuațiile următoare, corespunzând celor două măsurători:

$$\begin{bmatrix} B_{x1} \\ B_{y1} \\ B_{z1} \end{bmatrix} = (\varphi_1)^T (\theta_1)^T \begin{Bmatrix} B_N \cos\Psi_1 \\ -B_N \sin\Psi_1 \\ B_V \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} B_{px} \\ B_{pz} \\ B_{py} \end{bmatrix} \quad (7), \text{ și}$$

$$\begin{bmatrix} B_{x2} \\ B_{y2} \\ B_{z2} \end{bmatrix} = (\varphi_2)^T (\theta_2)^T \begin{Bmatrix} B_N \cos\Psi_2 \\ -B_N \sin\Psi_2 \\ B_V \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} B_{px} \\ B_{py} \\ B_{pz} \end{bmatrix} \quad (8).$$

Prin calculul direct, în ecuațiile (7) și (8) se poate observa că ecuațiile scalare rezultate, șase pentru fiecare dintre componentele vectoriale y, x și z, pot fi considerate ca cuprinzând un număr de șapte parametri necunoscuți, și anume $\cos\Psi_1$, $\sin\Psi_1$, $\cos\Psi_2$, $\sin\Psi_2$, B_{px}, B_{py} și B_{pz}.

Pentru a ajunge în mod unic la Ψ_1 și Ψ_2, se consideră ca o a șaptea ecuație scalară $\sin^2\Psi_1 + \cos^2\Psi_1 = \sin^2\Psi_2 + \cos^2\Psi_2$. Pentru persoanele de specialitate este evident că pot fi utilizate, de asemenea, și ecuațiile echivalente $\sin\Psi_1^2 + \cos\Psi_1^2 = 1$, sau $\sin\Psi_2^2 + \cos\Psi_2^2 = 1$. Este evident matematic faptul că $\varphi_1 \neq \varphi_2$, și astfel, garnitura de prăjini de foraj trebuie să se fi rotită. Acest criteriu este întotdeauna satisfăcut, deoarece garnitura de prăjini de foraj este totdeauna rotită între pozițiile de supraveghere, în timpul procesului de forare. Astfel, rotația garniturii de prăjini de foraj, care apare în timpul operației de forare, este utilizată în mod avantajos decât să se oprească procesul de forare și, ulterior, să se producă rotația așa cum s-a arătat mai sus. După calculul celor șapte parametri, valorile pentru Ψ_i sunt obținute conform ecuației:

$$\Psi_1 = arctg\left(\frac{\sin\Psi_i}{\cos\Psi_i}\right) \quad (9).$$

Bazat pe același raționament, pentru trei măsurători corespunzând unor trei poziții ale instrumentelor de măsurare, de exemplu l_1, l_2 și l_3, se obțin următoarele ecuații, dintre care două sunt identice cu ecuațiile (7) și (8) de mai sus:

$$\begin{bmatrix} B_{x1} \\ B_{y1} \\ B_{z1} \end{bmatrix} = (\varphi_1)^T (\theta_1)^T \begin{Bmatrix} B_N \cos\Psi_1 \\ -B_N \sin\Psi_1 \\ B_V \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} B_{px} \\ B_{pz} \\ B_{py} \end{bmatrix} \quad (7), \text{ și}$$

$$\begin{bmatrix} B_{x2} \\ B_{y2} \\ B_{z2} \end{bmatrix} = (\varphi_2)^T (\theta_2)^T \begin{Bmatrix} B_N \cos\Psi_2 \\ -B_N \sin\Psi_2 \\ B_V \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} B_{px} \\ B_{py} \\ B_{pz} \end{bmatrix} \quad (8).$$

$$\begin{bmatrix} B_{x3} \\ B_{y3} \\ B_{z3} \end{bmatrix} = (\varphi_3)^T (\theta_3)^T \begin{Bmatrix} B_N \cos\Psi_3 \\ -B_N \sin\Psi_3 \\ B_V \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} B_{px} \\ B_{py} \\ B_{pz} \end{bmatrix} \quad (10).$$

Pornind de la ecuațiile scalare, care au rezultat prin rescrierea ecuațiilor (7), (8) și (10) de mai sus, se poate observa, în același mod ca mai înainte, că pentru cei nouă parametri necunoscuți, sistemul de ecuații este determinat unic și nu mai este necesară nici o altă ecuație pentru ca acesta să admită o soluție unică. Pentru acest sistem de ecuații $\cos\Psi_1$, $\sin\Psi_1$, $\cos\Psi_2$, $\sin\Psi_2$, $\cos\Psi_3$, $\sin\Psi_3$, B_{px}, B_{py}, B_{pz} pot fi considerate din nou ca variabile independente. Valorile Ψ_i sunt obținute din ecuațiile (9) de mai sus.

Analog cazului a două măsurători,se poate nota că $\phi_1 \neq \phi_2 \neq \phi_3$ și nu sunt necesare alte operații de rotire.

În cazul efectuării a două măsurători, în două poziții diferite $\mathbf{I_1}$, $\mathbf{I_2}$, ecuațiile $\sin^2\Psi_1 + \cos^2\Psi_1 = \sin^2\Psi_2 + \cos^2\Psi_2$ putând fi scrise ca: $\sin^2\Psi_1 + \cos^2\Psi_1 = 1$ sau $\sin^2\Psi_2 + \cos^2\Psi_2 = 1$ pot fi utilizate pentru verificare. În cazul în care apar deviații importante față de **I**, la adâncimea următoare de măsurare a forajului, se efectuează un nou set de măsurători ale vectorilor B și $\overline{g}$, iar procedura de verificare poate fi reluată. Ca un avantaj al invenției, nici pentru verificare nu este necesară o operație de rotire suplimentară. Nu este necesară decât măsurătoarea unghiurilor diferite de rotație a sapei.

În cazul în care au fost efectuate măsurători în trei poziții diferite și, în consecință, folosindu-se nouă ecuații pentru determinarea unghiului de azimut Ψ_1, Ψ_2, și Ψ_3 egalitățile $\sin^2\Psi_i + \cos^2\Psi_i = 1$, sau una dintre ecuațiile echivalente acestora, $\sin^2\Psi_i + \cos^2\Psi_i = \sin^2\Psi_{i+1} + \cos^2\Psi_{i+1}$, respectiv diferitele valori ale lui **i**, sunt aplicate pentru prima oară. Aceleași observații sunt făcute și în ceea ce privește utilizarea și aplicarea procedurii de verificare amintite.

Într-o etapă ulterioară, vectorul $\overline{B}_p$ poate fi determinat precis și sigur, în cele mai multe cazuri, vectorul $\overline{B}_p$ este dependent de caracteristicile garniturii de prăjini de foraj. În afara determinării vectorului $\overline{B}_p$, pot fi construite grafice privind modificările bruște ale acestui vector ca, de exemplu, datorate deteriorării sculei, furtunilor magnetice, câmpurilor magnetice exterioare etc.

După cum s-a explicat anterior, sunt necesare numai două sau trei seturi de măsurători. Este evident - condițiile normale de lucru acoperă mai multe mii de picioare sau câțiva kilometri de foraj și sunt obținute mai multe seturi de măsurători. În consecință, direcțiile forajului pot fi determinate și urmărite rapid și sigur, fără eforturi deosebite de aplicare a metodei.

Revendicări

1. Metodă de determinare a direcției unui foraj, în timpul procesului de forare a acestuia, prin utilizarea unui sistem triaxial de măsurare, cuprinzând un accelerometru/magnetometru, sistem dispus în garnitura de prăjini de foraj folosită, metoda cuprinzând măsurarea componentelor accelerației gravitaționale g_x, g_y, g_z ale vectorului accelerație gravitațională, locală, cunoscut g, pentru determinarea unghiului de înclinare θ și a unghiului de rotire a sapei ϕ, măsurarea componentelor vectorului câmp magnetic B_x, B_y, B_z din câmpul magnetic total B, pentru determinarea unghiului azimut Ψ, x, y și z indicând componentele vectoriale, într-un sistem de coordonate cartezian **XYZ**, fixat de sistemul de măsurare, în timpul procesului de forare, iar Ψ, θ și ϕ indicând unghiurile care definesc rotațiile între sistemul **XYZ** și un sistem de coordonate cartezian **NEV** și în care **N** este direcția nordului magnetic, **V** direcția

verticală, iar **E**, direcția est, **caracterizată prin aceea că** $\bar{g}$ și B sunt măsurate la cel puțin două adâncimi ale forajului $\mathbf{l_i}$ și $\mathbf{l_{i+1}}$, astfel încât $\phi_i = \phi_{i+1}$, prin aceea că Ψ_i și Ψ_{i+1} sunt calculate conform formulei $\bar{B}_i = [\varphi_i]^T [\theta_i]^T \{[\Psi_i]^T \bar{B}_e\} + \bar{B}_p$ și $\sin^2 \Psi_i + \cos^2 \Psi_i = \sin^2 \Psi_{i+1} + \cos^2 \Psi_{i+1}$ sau una dintre ecuațiile echivalente acesteia, în care i = 1, 2, 3...., $\bar{B}_e$ fiind câmpul magnetic terestru local, $\bar{B}_p$ fiind câmpul magnetic perturbator al lui $\bar{B}_e$, iar [ ]^T indicând matricile transpuse pentru transformările în coordonate din sistemul NEV în **XYZ** cu unghiurile Euler θ, ϕ și Ψ.

2. Metodă de determinare a direcției unui foraj, în timpul procesului de forare a acestuia, conform revendicării 1, **caracterizată prin aceea că** se verifică dacă expresia $(\sin^2\Psi_i + \cos^2\Psi_i) = 1$, se măsoară vectorii $\bar{g}$ și B la cel puțin o altă adâncime a forajului $\mathbf{l_{i+2}}$, și dacă expresia $(\sin^2\Psi_i + \cos^2\Psi_i) \neq 1$ unde $\varphi_i \neq \varphi_{i+1} \neq \varphi_{i+2}$, se calculează Ψ_{i+2} și se efectuează următoarea etapă de verificare.

3. Metodă de determinare a direcției unui foraj, conform revendicării 1, **caracterizată prin aceea că** $\bar{g}$ și B sunt măsurate la cel puțin trei adâncimi ale forajului $\mathbf{l_i}$, $\mathbf{l_{i+1}}$, $\mathbf{l_{i+2}}$, astfel $\varphi_i \neq \varphi_{i+1} \neq \varphi_{i+2}$, în care Ψ_i, Ψ_{i+1} și Ψ_{i+2} sunt calculate conform formulei: $\bar{B}_i = [\varphi_i]^T [\theta_i]^T \{[\Psi_i]^T \bar{B}_e\} + \bar{B}_p$ cu i = 1, 2, 3...., $\bar{B}_e$ fiind câmpul magnetic terestru local, $\bar{B}_p$ fiind câmpul magnetic perturbator al lui $\bar{B}_e$, iar [ ]^T indicând matricile transpuse pentru transformările în coordonate din sistemul **NEV** în sistemul **XYZ** cu unghiurile Euler ϕ, θ și Ψ.

4. Metodă de determinare a direcției unui foraj, conform revendicării 3, **caracterizată prin aceea că** se verifică dacă $(\sin^2\Psi_i + (\cos^2\Psi_i) = 1$, pentru cel puțin un **i** sau pentru una din formulele echivalente, se măsoară vectorii $\bar{g}$ și B la cel puțin o altă adâncime a forajului l_{i+3}, dacă expresia $(\sin^2\Psi_i + (\cos^2\Psi_i) \neq 1$, unde $\varphi_i \neq \varphi_{i+1} \neq \varphi_{i+2} \neq \varphi_{i+3}$, se calculează Ψ_{i+3} și se efectuează următoarea etapă de verificare.

5. Metodă de determinare a direcției unui foraj, conform revendicărilor 1 și 4, **caracterizată prin aceea că** câmpul magnetic perturbator $\bar{B}_p$ se determină direct din calcul.

Președintele comisiei de examinare: **ing. Cârstea Constantin**

Examinator: **ing. Comănescu Romița**

(51) Int.Cl.[7] E 21 B 47/022;

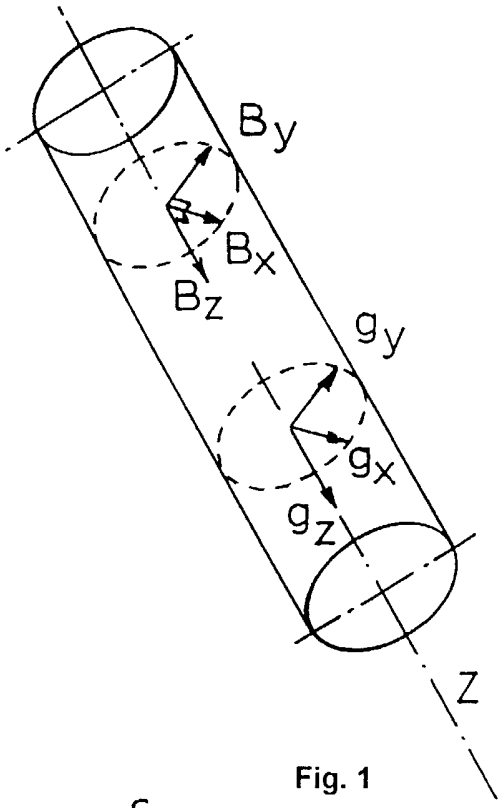

Fig. 1

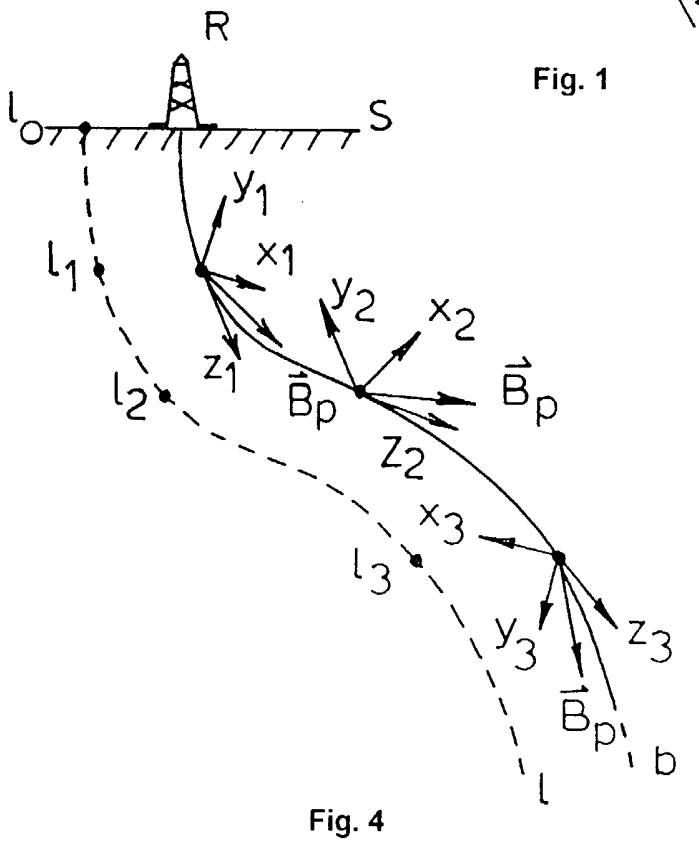

Fig. 4

(51) Int.Cl.[7] E 21 B 47/022;

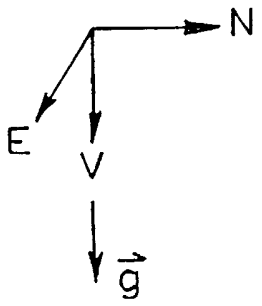

Fig. 2A

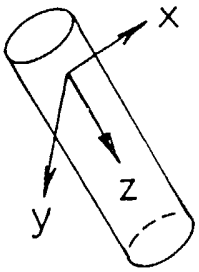

Fig. 2B

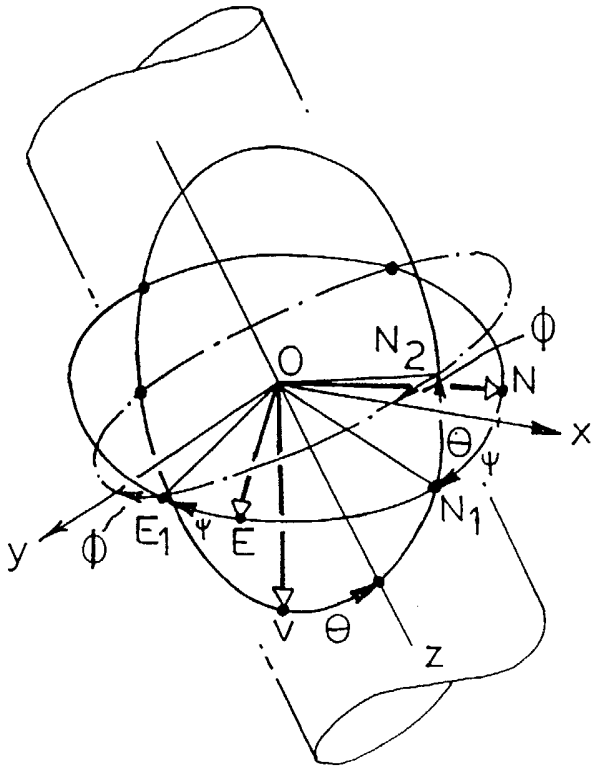

Fig. 3

Editare și tehnoredactare computerizată - OSIM
Tipărit la: Oficiul de Stat pentru Invenții și Mărci