

(19)



Europäisches Patentamt
European Patent Office
Office européen des brevets



(11)

EP 0 816 630 B1

(12)

FASCICULE DE BREVET EUROPEEN

(45) Date de publication et mention
de la délivrance du brevet:
21.05.2003 Bulletin 2003/21

(51) Int Cl.7: **E21B 44/00, E21B 45/00**

(21) Numéro de dépôt: **97401298.1**

(22) Date de dépôt: **09.06.1997**

(54) **Méthode et système d'estimation en temps réel d'au moins un paramètre lié au comportement d'un outil de fond de puits**

Verfahren und Einrichtung zur Echtzeit-Einschätzung von mindestens eines Parameters, der mit dem Verhalten eines Bohrlochwerkzeuges zusammenhängt

Method and system for real time estimation of at least one parameter connected to the performance of a downhole tool

(84) Etats contractants désignés:
GB IT NL

(30) Priorité: **24.06.1996 FR 9607913**

(43) Date de publication de la demande:
07.01.1998 Bulletin 1998/02

(73) Titulaire: **Institut Francais du Petrole**
92852 Rueil-Malmaison Cedex (FR)

(72) Inventeurs:
• **Fabret, Isabelle**
78000 Versailles (FR)

• **Mabile, Claude**
92140 Clamart (FR)
• **Desplans, Jean-Pierre**
91250 Saint Germain Les Corbeil (FR)

(56) Documents cités:
EP-A- 0 289 068 EP-A- 0 709 546
FR-A- 2 645 205 FR-A- 2 666 845
FR-A- 2 688 026 GB-A- 2 264 562
GB-A- 2 269 457 GB-A- 2 270 385

• **M.R.REZA: "The drilling model evaluation" SPE**
15109, 2 avril 1986, XP002042764

EP 0 816 630 B1

Il est rappelé que: Dans un délai de neuf mois à compter de la date de publication de la mention de la délivrance du brevet européen, toute personne peut faire opposition au brevet européen délivré, auprès de l'Office européen des brevets. L'opposition doit être formée par écrit et motivée. Elle n'est réputée formée qu'après paiement de la taxe d'opposition. (Art. 99(1) Convention sur le brevet européen).

Description

[0001] La présente invention concerne le domaine des mesures en cours de forage, en particulier des mesures concernant le comportement d'un outil de forage fixé à l'extrémité d'un train de tiges de forage. La méthode selon l'invention propose une solution pour estimer notamment l'amplitude des déplacements verticaux de l'outil de forage ou l'effort appliqué à l'outil, lesdites estimations étant obtenues par le moyen d'un programme de calcul prenant en compte des mesures effectuées au sommet du train de tiges, c'est-à-dire sensiblement à la surface du sol, généralement par le moyen de capteurs ou d'un raccord instrumenté situés dans le voisinage des moyens d'entraînement en rotation de la garniture.

[0002] On connaît des techniques de mesure pour l'acquisition d'informations liées au comportement dynamique de la garniture de forage, qui utilisent un ensemble de capteurs de fond reliés à la surface par un conducteur électrique. Dans le document FR-2 688 026, il est utilisé deux ensembles de capteurs de mesure reliés par un câble du type logging, l'un étant situé au fond du puits, l'autre au sommet de la garniture de forage. Cependant, la présence d'un câble le long de la garniture de forage est gênante pour les opérations de forage proprement dites.

[0003] On connaît le document EP-A-709546 qui décrit une méthode prédictive de mesures de fond de puits consécutives à des mesures de surface, à partir d'une équation prédictive obtenue à la suite de collectes de mesures de fond et de surface. Cette méthode impose une collecte de mesures de fond et donc des moyens de collecte de fond de puits.

[0004] On connaît par les documents FR 2645205 ou FR 2666845 des dispositifs de surface placés au sommet de la garniture qui déterminent certains dysfonctionnements de forage en fonction de mesures de surface, mais sans prendre en compte, de manière physique, le comportement dynamique de la garniture et de l'outil de forage dans le puits.

[0005] Entre le fond d'un puits et la surface du sol, il existe un train de tiges le long duquel ont lieu des phénomènes dissipatifs d'énergie (frottement sur la paroi, amortissement de torsion,...), des phénomènes conservatifs de flexibilité, notamment en traction-compression. Il y a ainsi une distorsion entre les mesures des déplacements de fond et de surface qui dépend principalement des caractéristiques intrinsèques de la garniture (longueur, raideur, géométrie), des caractéristiques de frottement à l'interface tiges/paroi et de phénomènes aléatoires.

[0006] C'est pourquoi, les informations contenues dans les mesures de surface ne suffisent pas à elles seules à résoudre le problème posé, c'est-à-dire connaître les déplacements instantanés de l'outil en connaissant les déplacements instantanés de la garniture en surface. Il faut compléter les informations de mesu-

res de surface par des informations indépendantes, d'une autre nature, qui prennent en compte la structure du train de tiges et son comportement entre le fond et la surface: c'est le rôle du modèle de connaissance qui établit les relations théoriques entre le fond et la surface.

[0007] La méthodologie de la présente invention utilise la conjonction d'un tel modèle, défini a priori, et de mesures de surface acquises en temps réel.

[0008] Ainsi, la présente invention concerne une méthode d'estimation du comportement effectif d'un outil de forage fixé à l'extrémité d'une garniture de forage et entraîné en rotation dans un puits par des moyens d'entraînement situés en surface, dans laquelle on utilise un modèle physique non linéaire du processus de forage fondé sur des équations générales de la mécanique. Dans la méthode, on effectue les étapes suivantes:

- on identifie les paramètres dudit modèle en prenant en compte les paramètres dudit puits et de ladite garniture,
- on linéarise ledit modèle autour d'un point de fonctionnement,
- on réduit ledit modèle linéarisé en ne conservant que certains des modes propres de la matrice d'état dudit modèle,
- on calcule, en temps réel, le déplacement de l'outil de forage ou l'effort appliqué sur l'outil, à l'aide du modèle réduit et d'au moins un paramètre mesuré en surface.

[0009] Le modèle peut prendre en compte essentiellement les déplacements et efforts verticaux et ledit modèle réduit peut calculer en temps réel le mouvement ou l'effort vertical de l'outil de forage, ledit paramètre mesuré en surface étant l'accélération verticale de la garniture.

[0010] La vitesse de rotation mesurée à la surface peut être un deuxième paramètre utilisé dans le modèle réduit.

[0011] Le modèle réduit peut être affiné par un filtrage auto adaptatif qui minimise la différence entre une mesure réelle d'un paramètre lié au déplacement de la garniture en surface et la sortie correspondante obtenue par ledit modèle réduit.

[0012] Le filtrage peut prendre en compte la force de tension des tiges.

[0013] L'invention concerne également un système d'estimation du comportement effectif d'un outil de forage fixé à l'extrémité d'une garniture de forage et entraîné en rotation dans un puits par des moyens d'entraînement situés en surface, dans lequel une installation de calcul comporte des moyens de modélisation physique non linéaire du processus de forage fondé sur des équations générales de la mécanique. Les paramètres desdits moyens de modélisation sont identifiés en prenant en compte les paramètres dudit puits et de ladite garniture, et l'installation de calcul comporte des moyens de linéarisation dudit modèle autour d'un point de fonction-

nement, des moyens de réduction dudit modèle linéarisé afin de ne conserver que certains des modes propres de la matrice d'état dudit modèle, des moyens de calcul, en temps réel, du déplacement de l'outil de forage ou de l'effort appliqué sur l'outil, à l'aide des moyens de modélisation une fois linéarisés et réduits et des moyens de mesure d'au moins un paramètre lié au déplacement de la garniture en surface.

[0014] Les moyens de modélisation peuvent ne prendre en compte que la traction-compression, et le paramètre peut être l'un des suivants: la vitesse de rotation, l'accélération verticale et la tension de la garniture.

[0015] La présente invention sera mieux comprise et ses avantages apparaîtront clairement à la lecture de la description d'un exemple, nullement limitatif, illustrés par les figures ci-après annexées, parmi lesquelles:

- la figure 1 représente schématiquement les moyens mis en oeuvre pour une opération de forage,
- la figure 2 représente un exemple de diagramme d'un modèle physique en traction-compression,
- la figure 3 représente un diagramme d'un estimateur en boucle ouverte,
- la figure 4 représente un diagramme d'un estimateur avec recalage,
- la figure 5 représente schématiquement la méthodologie de la constitution de l'estimateur selon l'invention.

[0016] La figure 1 illustre un appareil de forage sur lequel on mettra en oeuvre l'invention. L'installation de surface comprend un appareil de levage 1 comprenant une tour de levage 2, un treuil 3 qui permettent le déplacement d'un crochet de forage 4. Sous le crochet de forage sont suspendus des moyens d'entraînement 5 en rotation de l'ensemble de la garniture de forage 6 placée dans le puits 7. Ces moyens d'entraînement peuvent être du type tige d'entraînement ou kelly accouplée à une table de rotation 8 et les motorisations mécaniques, ou du type tête d'entraînement motorisée ou "power swivel" suspendue directement au crochet et guidée longitudinalement dans la tour.

[0017] La garniture de forage 6 est constituée conventionnellement par des tiges de forage 10, d'une partie 11 appelée couramment BHA pour "Bottom Hole Assembly" comportant principalement des masses-tiges, un outil de forage 12 en contact avec le terrain en cours de forage. Le puits 7 est rempli d'un fluide, dit de forage, qui circule de la surface au fond par le canal intérieur de la garniture de forage et remonte en surface par l'espace annulaire entre les parois du puits et la garniture de forage.

[0018] Pour la mise en oeuvre de l'invention, on intercale un raccord instrumenté 13 entre les moyens d'entraînement et le sommet de la garniture. Ce raccord permet de mesurer la vitesse de rotation, la force de tension et les vibrations longitudinales du sommet de la garniture, et accessoirement le couple. Ces mesures, dites

de surface, sont transmises par câble ou radio vers une installation électronique d'enregistrement, de traitement, d'affichage, non représentée ici. A la place du raccord 13, on pourra utiliser d'autres capteurs tels un tachymètre sur la table de rotation pour mesurer la vitesse de rotation, une mesure de tension sur le brin mort du mouflage et éventuellement un appareil de mesure du couple sur l'appareil de motorisation, si la précision des mesures ainsi obtenues est suffisante.

[0019] La partie 11 de la BHA peut plus précisément comporter, des masses-tiges, des stabilisateurs, et un second raccord instrumenté 14 qui ne sera utilisé que pour contrôler expérimentalement la présente invention en permettant la comparaison entre le déplacement de l'outil de forage 12 effectivement mesuré par le raccord instrumenté 14 et le déplacement estimé grâce à la mise en oeuvre de la présente invention. Il est donc clair que l'application de la présente invention n'utilise pas de raccord instrumenté placé au fond du puits.

[0020] Le foreur qui conduit une opération de forage avec les appareils décrits sur la figure 1 a trois actions possibles, qui sont donc les variables de commande possibles permettant la conduite, le poids sur l'outil qui est réglé par le treuil lequel contrôle la position du crochet, la vitesse de rotation de la table de rotation ou équivalent, le débit de fluide de forage injecté.

[0021] Pour illustrer un exemple de la présente invention, on utilisera un modèle du système mécanique composé des éléments technologiques suivants:

- un appareil de forage comprenant une installation de levage,
- un ensemble d'entraînement: organe de régulation et motorisation,
- un ensemble de tiges,
- un ensemble de masses-tiges,
- un outil,
- un terrain représentant le contact outil/roche.

[0022] Le modèle décrit traitera le train de tiges comme un élément monodimensionnel vertical. Les déplacements en translation verticale seront considérés, les déplacements latéraux étant négligés.

[0023] La figure 2 représente le schéma-bloc du modèle de traction-compression. C'est un modèle classique aux différences finies qui comporte plusieurs mailles représentées par les blocs 20. Chaque maille représente une partie du train de tiges, tiges de forage et masses-tiges. Il s'agit de triplets masse-ressort-amortissement figurés par les schémas référencés 21, 22, 23. Chaque bloc est muni de deux entrées et sorties représentées par les couples de flèches 24 et 25 qui représentent les tensions d'entrées et de sorties et les vitesses de déplacement vertical d'entrées et de sorties. Cette représentation montre la manière de connecter numériquement plusieurs tiges (ou mailles) comme on connecte physiquement les tiges de la garniture.

[0024] Le bloc 26 représente l'appareil de forage.

C'est un ensemble de masses, de ressorts et de frottements.

[0025] Le bloc 27 représente l'outil dans son comportement longitudinal.

[0026] Le bloc 28 représente la loi reliant les déplacements de l'outil de forage à la forme du front de taille et à la résistance à la compression de la roche. En fonction d'une position verticale instantanée de l'outil et de la forme du front de taille, on détermine le poids agissant sur l'outil.

[0027] Ce modèle est validé en utilisant des données enregistrées sur chantier à l'aide des raccords instrumentés de fond et de surface.

[0028] Le fluide de forage et les parois du puits n'interviennent que dans la mesure où ils génèrent un couple résistant de friction. Par expérience, et en utilisant les mesures de fond et de surface, on pourra établir une loi de friction le long des tiges linéaire en fonction de vitesse de rotation et de la vitesse longitudinale.

[0029] Le modèle de traction-compression ainsi obtenu est généralement d'ordre élevé, c'est-à-dire de l'ordre de 50 à 100 pour reproduire la réalité avec une finesse suffisante.

[0030] Pour obtenir un modèle rapidement exécutable et robuste au changement de conditions de forage, par exemple le changement de terrains traversés, on procède aux étapes ci-après décrites.

[0031] On linéarise le modèle généralement non linéaire. Dans l'exemple ci-dessus décrit, on linéarise le modèle en choisissant un point de fonctionnement (une vitesse de rotation et un poids sur l'outil) représentatif des conditions de forage réelles. On peut vérifier que le comportement du modèle de traction-compression de connaissance, une fois linéarisé, est correct dans le voisinage du point de fonctionnement.

[0032] La linéarisation autour d'un point de fonctionnement consiste à calculer le Jacobien du système d'état non-linéaire. Le système d'état linéaire obtenu est alors de la forme:

$$\dot{\underline{x}} = \underline{A}.\underline{x} + \underline{B}.\underline{e}$$

$$\underline{s} = \underline{C}.\underline{x} + \underline{D}.\underline{e}$$

avec:

$\underline{x} = \underline{X} - \underline{X}_0$ $\underline{X}_0$ = valeurs des états au point de fonctionnement

$\underline{e} = \underline{E} - \underline{E}_0$ $\underline{E}_0$ = valeurs des entrées au point de fonctionnement

$\underline{s} = \underline{S} - \underline{S}_0$ $\underline{S}_0$ = valeurs des sorties au point de fonctionnement

[0033] La mise sous forme pseudo-modale se fait d'abord par un changement de base :

$$\underline{z} = \underline{P}.\underline{x} \quad \dot{\underline{z}} = \underline{P}.\dot{\underline{x}}$$

[0034] Après résolution on obtient:

$$\dot{\underline{z}} = \underline{P}^{-1}.\underline{A}.\underline{P}.\underline{z} + \underline{P}^{-1}.\underline{B}.\underline{e} \quad \dot{\underline{z}} = \underline{\Lambda}.\underline{z} + \underline{B}_{\Lambda}.\underline{e}$$

$$\underline{s} = \underline{C}.\underline{P}.\underline{z} + \underline{D}.\underline{e} \quad \underline{s} = \underline{C}_{\Lambda}.\underline{z} + \underline{D}.\underline{e}$$

$\underline{P}$ est la matrice des vecteurs propres

$\underline{A}$ est la matrice diagonale des valeurs propres.

[0035] Après linéarisation, le modèle de traction-compression conserve un ordre élevé. L'analyse des modes propres du modèle de traction-compression permet de quantifier la contribution de chaque mode sur les sorties dignes d'intérêt. On ne conserve alors que les modes pertinents; c'est-à-dire ceux qui ont une influence notable sur le comportement dynamique représenté par les dites sorties.

[0036] Le modèle réduit doit reproduire les phénomènes dans une certaine bande de fréquences. Les critères de sélection des modes sont donc de deux ordres et reposent sur des concepts d'observabilité:

- suppression des modes non ou peu observables sur les sorties mesurées,
- suppression des modes hautes fréquences, n'entrant pas dans la bande de fréquence de la commande ou de l'estimateur.

[0037] La méthode de réduction employée est la méthode des perturbations singulières. Elle consiste à garder de la matrice d'état et de la matrice de commande, les lignes et les colonnes correspondant aux modes à garder. Pour conserver les gains statiques, les modes rapides sont remplacés par leur valeur statique, ce qui a pour conséquence d'introduire une matrice directe.

[0038] La méthode suppose que les modes rapides prennent leur équilibre en un temps négligeable, c'est-à-dire qu'ils s'établissent instantanément (hypothèse quasi-statique).

[0039] La figure 3 montre le bloc diagramme d'un système d'estimation du type boucle ouverte. Le bloc 40 schématise les moyens de mesures de paramètres de surface, ici, la tension T_{ms} et l'accélération verticale Z_{ms} , la vitesse de rotation de la garniture V_{ms} mesurée à la table ou à la tête d'injection motorisée. Le bloc 41 représente le modèle réduit qui simule le modèle physique de tension-compression non linéaire en calculant la fonction de transfert entre les entrées (V_{ms} , Z_{ms}) et les sorties T_{es} , T_{ef} et Z_{ef} représentant respectivement la tension estimée sur la garniture à la surface, la tension estimée et l'accélération verticale estimée à l'extrémité inférieure de la garniture dans le puits.

[0040] Cependant la fonction de transfert est toujours

une approximation de la réalité et toute désadaptation entre le modèle et le processus réel de forage peut créer une divergence entre les valeurs estimées et les valeurs réelles par intégration des écarts. Aussi, dans la plupart des cas, il est avantageux d'effectuer un réajustement, ou recalage, à l'aide d'au moins une comparaison entre la valeur d'une sortie estimée et sa valeur réellement mesurée. Ici, l'estimateur linéaire est recalé de préférence à partir de la tension de surface.

[0041] La technique d'estimation repose sur les principes de filtrage de Luenberger et de Kalman ("Automatique des systèmes linéaires" par P. De Larminat et Y. Thomas-Flammarion Sciences; Paris IV, 1975). Le principe d'un estimateur linéaire peut être illustré par la figure 4 où la mesure de la tension Tms et la valeur estimée Tes et de la tension sont comparées dans les moyens 42, l'écart entre ces deux valeurs étant injecté dans un adaptateur 43 en temps réel. L'objectif est ici de reconstituer le plus fidèlement possible les sorties plutôt que d'avoir un modèle exact. C'est pourquoi on effectue un recalage d'état. Comme les sorties sont reliées directement aux états, le recalage d'état consiste à effectuer une pondération entre les états prédits par le modèle à l'instant t et les états reconstitués à partir des seules sorties mesurées. Cette pondération n'est pas une simple moyenne, mais elle prend en compte le degré de précision des estimations des états obtenus par ses deux voies indépendantes.

[0042] Une fois recalés les états du modèle qui représentent la dynamique du processus de forage, toutes les sorties, qu'elles soient mesurées ou non peuvent être recalculées.

[0043] Cette estimation n'est pas seulement intéressante pour les variables non mesurées comme Tef et Zef elle s'applique également aux variables mesurées (par exemple Tms) qui ont servi au recalage. La valeur estimée Tes est l'équivalent d'une valeur filtrée sur la base d'un modèle: c'est pourquoi on utilise généralement le terme de filtrage (filtrage de Luenberger, filtrage de Kalman...).

[0044] La technique de recalage d'états, telle que décrite précédemment introduit un asservissement de Tms mesuré sur Tes estimé.

[0045] Ce bouclage supprime le risque de divergence mentionné ci-dessus, lorsque le modèle est simulé en boucle ouverte (figure 3).

[0046] Il y a ainsi une désensibilisation des variables estimées vis à vis des imperfections du modèle. Dans ce contexte, on n'a plus besoin d'avoir un modèle parfait : un modèle approché est suffisant.

[0047] En outre, on ne dispose ici que d'une mesure, la tension T, pour effectuer le recalage : il ne paraît pas possible de recalculer un grand nombre d'états à partir de cette mesure. C'est pourquoi, le modèle de traction-compression non linéaire ne convient pas en dépit de sa plus grande précision.

[0048] Il existe donc un compromis à effectuer entre la précision et l'ordre du système. Il faut rechercher le

modèle d'ordre minimum qui respecte les tolérances de précision souhaitables, et qui soit également facile à régler et robuste.

[0049] Le choix de l'ordre du modèle réduit dépend des critères qualitatifs suivants :

- il faut sauvegarder les modes propres de vibration en traction-compression qui sont prépondérants dans les sorties à ré estimer ;
- pour des raisons de cohérence et de stabilité numérique, il faut rejeter les modes de fréquences élevées supérieures à $f_{\max} = f_e/2$ où f_e est la fréquence d'échantillonnage des entrées et des sorties.

[0050] Il est donc superflu de choisir un modèle réduit d'ordre supérieur si on veut intégrer le modèle à la cadence d'échantillonnage.

[0051] De plus, il ne faut pas oublier que le modèle réduit d'estimation doit, de préférence, satisfaire les contraintes technologiques du temps réel.

[0052] L'estimateur est donc construit suivant les étapes suivantes :

- discrétisation du modèle réduit,
- discrétisation des filtres passe-haut,
- agrégation des filtres passe-haut et du modèle réduit, l'ensemble devient le modèle d'estimation,
- calcul des gains de recalage,
- construction de l'estimateur complet.

[0053] La méthodologie pour la construction de l'estimateur selon l'invention peut être illustrée par la figure 5. Le bloc 50 représente un modèle physique représentant un processus de forage rotary, par exemple illustré par la figure 2. Ce modèle prend en compte une situation de fonctionnement déterminée en recevant notamment les caractéristiques mécaniques de la garniture de forage utilisée, symbolisation référencée 51, les conditions de puits et de surface, symbolisation référencée 52, et des lois de friction, symbolisation référencée 53. Le bloc 54 représente le modèle de tension principal une fois linéarisé et réduit selon la description ci-dessus. Toutes ces étapes rassemblées sous l'accolade DF s'exécutent en temps différé par rapport au déroulement du processus de forage rotary, les autres étapes rassemblées sous l'accolade TR sont exécutées en temps réel.

[0054] Le bloc 55 est directement ce que l'on a appelé l'estimateur. Des moyens de mesure 56 placés sur le sommet de la garniture de forage donnent les mesures d'accélération verticale, de tension et de vitesse de rotation au sommet des tiges, c'est-à-dire en surface. Ces mesures de surface sont prises en compte dans l'estimateur, comme décrit plus haut, pour donner une estimation des valeurs de déplacement de l'outil de forage, en particulier l'accélération verticale Zef d'où sera déduite le déplacement vertical de l'outil de forage.

[0055] La présente invention est avantageusement

mis en oeuvre sur un chantier de forage afin d'avoir une estimation aussi précise que possible de l'accélération verticale de l'outil de forage en temps réel, et cela à partir des seules mesures de surface, notamment l'accélération verticale et la vitesse de rotation des moyens conventionnels de mise en rotation de la garniture de forage, et d'une installation de surface équipée de moyens électroniques et informatiques. Il est très intéressant d'avoir une estimation des paramètres de fond de façon à détecter, et même à prévenir des dysfonctionnements connus, par exemple le comportement dit "bit bouncing" caractérisé par un décollement de l'outil du front de taille bien que la tête du train de tiges reste sensiblement fixe et qu'une force de compression importante soit appliquée à l'outil. Cela peut avoir pour conséquences des effets néfastes sur la durée de vie des outils, sur l'augmentation de la fatigue mécanique du train de tiges et la fréquence des ruptures des connexions.

Revendications

1. Méthode d'estimation du comportement effectif d'un outil de forage (12) fixé à l'extrémité d'une garniture de forage (6) et entraîné en rotation dans un puits (7) par des moyens d'entraînement (8) situés en surface, dans laquelle on utilise un modèle physique (50) non linéaire du processus de forage fondé sur des équations générales de la mécanique, **caractérisée en ce que** l'on effectue les étapes suivantes:

- on identifie les paramètres dudit modèle en prenant en compte les paramètres dudit puits et de ladite garniture (51, 52, 53),
- on linéarise ledit modèle autour d'un point de fonctionnement,
- on réduit ledit modèle linéarisé en ne conservant que certains des modes propres de la matrice d'état dudit modèle,
- on calcule, en temps réel, le déplacement de l'outil de forage ou l'effort appliqué sur l'outil, à l'aide du modèle réduit (54) et d'au moins un paramètre mesuré en surface, et **en ce que** ledit modèle prend en compte essentiellement les déplacements et les efforts verticaux et **en ce que** ledit modèle réduit calcule en temps réel le mouvement ou effort vertical de l'outil de forage, ledit paramètre mesuré en surface étant l'accélération verticale de la garniture.

2. Méthode selon la des revendication 1, dans laquelle on calcule, en temps réel, le déplacement de l'outil de forage ou l'effort appliqué sur l'outil, à l'aide du modèle réduit et d'au moins les deux paramètres mesurés en surface : l'accélération verticale et la vitesse de rotation de la garniture.

3. Méthode selon l'une des revendications 1 à 2, dans laquelle le modèle réduit est affiné par un filtrage auto adaptatif qui minimise la différence entre une mesure réelle d'un paramètre lié au déplacement de la garniture en surface et la sortie correspondante obtenue par ledit modèle réduit.

4. Méthode selon la revendication 3, dans laquelle ledit filtrage prend en compte la force de tension mesurée en surface sur la garniture.

5. Système d'estimation du comportement effectif d'un outil de forage (12) fixé à l'extrémité d'une garniture de forage (6) et entraîné en rotation dans un puits (7) par des moyens d'entraînement (8) situés en surface, dans lequel une installation de calcul (9) comporte des moyens de modélisation physique non linéaire du processus de forage fondé sur des équations générales de la mécanique, en ce que des paramètres desdits moyens de modélisation sont identifiés en prenant en compte les paramètres dudit puits et de ladite garniture, en ce que l'installation de calcul comporte des moyens de linéarisation dudit modèle autour d'un point de fonctionnement, des moyens de réduction dudit modèle linéarisé afin de ne conserver que certains des modes propres de la matrice d'état dudit modèle, des moyens de calcul, en temps réel, du déplacement de l'outil de forage ou de l'effort appliqué sur l'outil, à l'aide des moyens de modélisation une fois linéarisés et réduits et des moyens de mesure (13) d'au moins un paramètre lié au déplacement de la garniture en surface : la vitesse de rotation, l'accélération verticale et la tension de la garniture, dans lequel les moyens de modélisation ne prennent en compte que la traction et la compression.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Abschätzung des effektiven Verhaltens eines am Ende einer Bohrstangengarnitur (6) angebrachten Bohrwerkzeuges (12), das mittels an der Bodenoberfläche angebrachten Antriebsmittel (8) in einem Bohrloch (7) in drehende Bewegung gesetzt wird, in welchem ein auf allgemeinen Mechanikgleichungen beruhendes, nichtlinear physisches Modell (50) des Bohrvorganges verwendet wird, **dadurch gekennzeichnet, daß** die folgenden Stufen durchgeführt werden :

- die Parameter des besagten Modells werden durch Berücksichtigung der Parameter des besagten Bohrlochs und der besagten Garnitur (51, 52, 53) identifiziert,
- das besagte Modell wird um einen Betriebspunkt linearisiert,

- das besagte linearisierte Modell wird reduziert, wobei nur einige Eigenmoden der Zustandsmatrix des besagten Modells behalten werden,
 - die Verschiebung des Werkzeuges oder die Bohrwerkzeugbeanspruchung wird mittels des reduzierten Modells (54) und wenigstens eines an der Oberfläche gemessenen Parameters in Echtzeit berechnet, daß das besagte Modell hauptsächlich die Vertikalverschiebungen und Vertikalbeanspruchungen berücksichtigt und das besagte reduzierte Modell die Vertikalbewegung oder Vertikalbeanspruchung des Bohrwerkzeuges in Echtzeit berechnet, wobei der besagte an der Oberfläche gemessene Parameter die Vertikalbeschleunigung der Garnitur ist.
2. Verfahren gemäß Anspruch 1, in welchem die Verschiebung des Werkzeuges oder die Bohrwerkzeugbeanspruchung mittels des reduzierten Modells und mit wenigstens den zwei an der Oberfläche gemessenen Parametern: die Vertikalbeschleunigung und die Drehgeschwindigkeit der Garnitur, in Echtzeit berechnet wird.
 3. Verfahren gemäß Anspruch 1 bis 2, in welchem das reduzierte Modell durch selbsteinstellendes Filtern verfeinert wird, wobei der Unterschied zwischen einer effektiven Messung eines mit der Verschiebung der Garnitur an der Oberfläche verbundenen Parameters und der mittels des reduzierten Modells erhaltenen entsprechenden Ausgabe minimisiert wird.
 4. Verfahren gemäß Anspruch 3, in welchem das besagte Filtern die an der Oberfläche gemessene Spannkraft an der Garnitur berücksichtigt.
 5. System zur Abschätzung des effektiven Verhaltens eines am Ende einer Bohrstangengarnitur (6) angebrachten Bohrwerkzeuges (12), das mittels an der Bodenoberfläche angebrachten Antriebsmittel (8) in einem Bohrloch (7) in drehende Bewegung gesetzt wird, in welchem eine Rechenanlage (9) Mittel zur auf allgemeinen Mechanikgleichungen beruhende, nichtlineare physische Modellierung des Bohrungsvorganges beträgt, **dadurch gekennzeichnet, daß** die Parameter der besagten Modellierungsmittel durch Berücksichtigung der Parameter des besagten Bohrloches und der besagten Garnitur identifiziert werden, daß die Rechenanlage Mittel zur Linearisierung des besagten Modells um einen Betriebspunkt beträgt, Mittel zur Reduzierung des besagten linearisierten Modells um nur einige Eigenmoden der Zustandsmatrix des besagten Modells zu behalten, Mittel zum Echtzeitrechnen der Bohrwerkzeugverschiebung oder der Bohrwerkzeugbeanspruchung mittels den linearisierten

und reduzierten Modellierungsmittel, und Mittel (13) zur Messung von wenigstens einem mit der Verschiebung der Garnitur an der Oberfläche verbundenen Parameter: Drehgeschwindigkeit, Vertikalbeschleunigung und Garniturspannung, in welchem die Modellierungsmittel nur den Zug und die Druckbeanspruchung berücksichtigen.

10 Claims

1. A method designed to estimate the effective behaviour of a drill bit (12) fastened to the end of a drill string (6) and driven into rotation in a well (7) by surface driving means (8), wherein a non-linear physical model (50) of the drilling process based on general mechanics equations is used, **characterized in that** the following stages are carried out :
 - the parameters of said model are identified by taking account of the parameters of said well and of said string (51, 52, 53),
 - said model is linearized about a working point,
 - said linearized model is reduced while keeping only some of the specific modes of the state matrix of said model,
 - the displacement of the drill bit or the stress applied to the bit is computed in real time by means of the reduced model (54) and of at least one parameter measured at the surface, and **in that** said model mainly takes account of the displacements and the vertical stresses, and said reduced model computes in real time the vertical motion or stress of the drill bit, said parameter measured at the surface being the vertical acceleration of the string.
2. A method as claimed in claim 1, wherein the displacement of the drill bit or the stress applied to the bit is computed in real time by means of the reduced model and of at least the two parameters measured at the surface : the vertical acceleration and the rotational speed of the string.
3. A method as claimed in any one of claims 1 to 2, wherein the reduced model is fined down by means of self-adaptive filtering which minimizes the difference between a real measurement of a parameter linked with the displacement of the string at the surface and the corresponding output obtained by said reduced model.
4. A method as claimed in claim 3, wherein said filtering takes account of the tensile stress measured at the surface on the string.

5. A system designed to estimate the effective behaviour of a drill bit (12) fastened to the end of a drill string (6) and driven into rotation in a well (7) by surface driving means (8), wherein a computing unit (9) comprises means intended for non-linear physical modelling of the drilling process based on general mechanics equations, **characterized in that** parameters of said modelling means are identified by taking account of the parameters of said well and of said string, **in that** the computing unit comprises means designed for linearization of said model about a working point, means for reducing said linearized model so as to keep only certain specific modes of the state matrix of said model, means for real-time computation of the displacement of the drill bit or of the stress applied to the bit, by means of the modelling means once linearized and reduced and means (13) for measuring at least one parameter linked with the displacement of the string at the surface : the rotational speed, the vertical acceleration and the tension of the string, wherein the modelling means only take account of the traction and the compression.

25

30

35

40

45

50

55



