

DISPOSITIVO Y METODO PARA ESTIMULAR LA EXTRACCIÓN DE PETRÓLEO DE UNA FORMACIÓN QUE CONTIENE PETRÓLEO MEDIANTE LA APLICACIÓN DE ONDAS TRANSVERSALES Y ONDAS SONORAS PERIÓDICAS

CAMPO DE LA INVENCION

La presente invención se relaciona con la estimulación de formaciones que contienen petróleo y en particular con métodos y aparatos para movilizar y recuperar petróleo de formaciones que contienen petróleo durante el curso de su explotación.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

La estimulación sísmica o mediante ondas elásticas es una técnica conocida para mejorar la recuperación de petróleo de un lecho que tiene petróleo. Un método para generar estimulación sísmica se muestra en la Patente de la Federación Rusa No. 2.001.254, en la cual dos masas rotativas desbalanceadas causan vibración en una plataforma en la superficie. El peso, energía y frecuencia de resonancia del generador de vibraciones se calculan de acuerdo con las propiedades físicas y mecánicas del suelo sobre el lecho de petróleo, y se introducen y propagan ondas armónicas al nivel donde se encuentra el petróleo.

Otro método conocido se muestra en la Patente de la Federación Rusa No. 1.710.709, en la cual una placa de yunque se deja caer al fondo del pozo y un peso pesado (tubería llena de agua) se eleva y deja caer repetidamente sobre la placa de yunque, impartiendo vibraciones al lecho de petróleo. Otro método para generar ondas de choque y estimular formaciones productoras de petróleo lo encontramos en la Patente de Estados Unidos número US 5.586.602, la cual divulga un método y un aparato para incrementar la efectividad de la estimulación mediante ondas de

choque de formaciones que contienen petróleo incrementando la intensidad de las oscilaciones elásticas de la acumulación de petróleo. El dispositivo incluye una unidad de bombeo y una serie de tubos que recorre el revestimiento de producción del pozo, colgado en el cabezal del pozo. Un cilindro es instalado en el extremo de la serie de tubos. Un émbolo trabaja en el cilindro en la parte alta del barrido de subida de la unidad de bombeo. El émbolo está conectado a la unidad de bombeo mediante varillas de succión y una varilla de pulido. En el ascenso del émbolo el fluido en la tubería es comprimido. En la parte más alta del barrido de subida de la unidad de bombeo, el fluido en el tubo de producción es descargado dentro del revestimiento de producción generando una onda de choque.

Una técnica similar es divulgada por la patente US 6.015.010, la cual se relaciona con un aparato para producir una onda de choque en un barreno, tal como un pozo, que incluye una unidad de bombeo dispuesta en la cabeza del pozo, una serie de tubos que se extiende hacia abajo dentro del revestimiento de producción del pozo, un ensamblaje de cilindro hueco conectado con el fondo de la serie de tubos, y un par de pistones dispuestos dentro del ensamblaje de cilindros y conectados con la unidad de bombeo mediante varillas de bombeo y una varilla de pulido para comprimir el líquido contenido dentro del ensamblaje de cilindros y descargar el líquido comprimido dentro del revestimiento de producción, generando así una onda de choque. Cuando los cilindros se desplazan hacia arriba en el ensamblaje de cilindros, el cilindro inferior viaja dentro de la cámara de compresión y el cilindro superior viaja fuera de la cámara de compresión. Cuando la unidad de bombeo llega a la parte alta de su viaje, el cilindro inferior permite que el líquido comprimido contenido en la cámara de compresión sea descargado dentro del pozo.

Otro método para estimular formaciones que contienen petróleo la encontramos en la solicitud de patente US 2012/0211225, la cual enseña un aparato y un método para mejorar la remoción de fluido de una fractura en una formación geológica aplicando ondas de choque periódicas/cíclicas a la fractura en una formación que rodea un barreno que ha realizado la fractura. De acuerdo con la invención, el método incluye los pasos de disponer un dispositivo unido al extremo de la tubería dentro del pozo en la vecindad de dicha fractura para generar para generar ondas

de choque, proveer un líquido mediante una turbina dentro del dispositivo para generar ondas de choque donde la amplitud P_a de las ondas de choque se determina mediante la siguiente expresión:

$$0.3 \text{ MPa} \leq P_a \leq 1.4P_p - 0.8\rho gH,$$

En donde P_p es la presión de poro de la formación, ρ es la densidad de la formación, g es la aceleración de la gravedad, H es la profundidad de dicha fractura y P_a es la amplitud de la onda de choque.

Incluso otra aplicación que tiene el uso de ondas de choque en formaciones de petróleo la encontramos en la solicitud de patente US 2015/0308233, la cual enseña un método para remover depósitos de un componente de los medios de transporte de un fluido o gas de formación, dicho método consiste en los pasos de generar (S1) al menos una onda de choque dentro de un líquido que transmite ondas de choque al interior de dichos medios de transporte en cercanías de dicho componente y propagar (S2) dicha al menos una onda de choque hacia el componente para remover los depósitos de dicho componente.

Todos estos sistemas y métodos tienen en común i) el uso de ondas de choque para estimular la formación, y ii) el uso de líquidos para generar las ondas de choque. Las ondas de choque tienen la ventaja de ser ondas de alta energía, que se propagan con rapidez y facilidad dentro de la formación, pero al mismo tiempo, por su alta energía, tienden a generar un efecto de ariete mientras se desplazan por espacios estrechos. Este efecto de ariete puede resultar perjudicial para una formación, ya que desestabiliza la estructura de esta, la cual ya puede estar inestable debido a tratamientos previos tales como, por ejemplo, por la perforación con el barrenado o por el uso de fluidos para quebrar la formación y facilitar el flujo del petróleo.

En vista de lo anterior, existe la necesidad en el estado del arte de suministrar un dispositivo y un método para estimular formaciones que contienen petróleo de manera regular y continua sin afectar la estabilidad de la formación. Por lo tanto, el problema que se busca resolver con la presente invención es ¿Cómo estimular una

formación que contiene petróleo mediante el uso de ondas, sin afectar la estructura de la formación?

RESUMEN DE LA INVENCION

Con el fin de solucionar los problemas causados por los métodos de estimulación de formaciones que tienen petróleo utilizados en el estado del arte, la presente solicitud propone un dispositivo y un método para generar ondas transversales que viajan a través del fluido contenido en la formación sin crear un efecto de ariete.

Es, por lo tanto, un primer objeto de la presente solicitud el de proporcionar un dispositivo para generar ondas transversales al interior de una formación que contiene petróleo.

Es otro objeto de la presente invención el de proporcionar un método para generar ondas transversales al interior de una formación que contiene petróleo.

Es un tercer objeto de la presente invención, el de proporcionar un método para generar ondas transversales al interior de una formación que contiene petróleo, el cual utiliza un fluido presente en la misma formación, en donde dicho fluido puede ser un líquido o un gas.

Es un cuarto objeto de la presente invención, el de proporcionar un método para generar ondas transversales al interior de una formación que contiene petróleo, el cual utiliza un fluido proveniente de una fuente externa a la formación, en donde dicho fluido puede ser un líquido o un gas.

El dispositivo de acuerdo con la presente solicitud comprende válvulas de control de presión y un sensor de presión y un sensor de vibración colocados en el cabezal del pozo. El método de acuerdo con la presente invención consiste en incrementar la presión dentro del espacio anular del pozo hasta un valor predeterminado, en función de las condiciones y características del pozo que se va a estimular, para luego, utilizando una de las válvulas de control de presión, liberar gradualmente la presión en dicho espacio de manera tal que dicha liberación de presión genera

vibraciones dentro del espacio anular que se transmiten al fluido en el fondo del pozo.

De acuerdo con una modalidad de la presente invención, el método utiliza el gas presente en la formación, acumulándolo gradualmente en el espacio anular del pozo hasta alcanzar la presión deseada para luego liberarlo gradualmente de manera tal que la caída de presión genera ondas transversales en la superficie de líquido que se transmiten dentro de la formación.

En otra modalidad de la invención, el dispositivo comprende adicionalmente un reservorio externo de gas y un compresor. El método de acuerdo con esta segunda modalidad de la invención consiste en utilizar el compresor para inyectar el gas desde el reservorio externo al interior del espacio anular del pozo, hasta conseguir la presión deseada, tras lo cual se libera presión para generar las ondas transversales en el fondo del pozo.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Figura 1, es una vista de los elementos que comprenden el aparato para generar ondas transversales de acuerdo con una modalidad de la presente invención.

Figura 2, es una vista de los elementos que comprenden el aparato para generar ondas transversales de acuerdo con una segunda modalidad de la presente invención.

Figura 3, es una vista de los elementos que comprenden el aparato para generar ondas transversales de acuerdo con una tercera modalidad de la presente invención.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

A continuación, se hará una descripción de las modalidades más utilizadas de la invención en referencia a las figuras incluidas. Las modalidades descritas incluyen elementos comunes, los cuales retienen su numeración de referencia a lo largo de todas las figuras y la descripción.

Refiriéndonos a la Figura 1, podemos observar una primera modalidad del dispositivo estimulador 1 para producir ondas transversales en un pozo 2 que no tiene un sello en el fondo y en donde el pozo produce suficiente gas para presurizarlo sin necesidad de una fuente externa. El dispositivo comprende una válvula de control 3, un controlador de presión 4, un controlador de tiempo 5 conectado a un sensor de vibración 6, un interruptor de presión 7 y un regulador de velocidad de cierre 8 de la válvula 3, una o más válvulas de bola (11A, 11B, 11C) y una válvula de chequeo 12 que evita que se devuelva el gas al sistema. El dispositivo es controlado mediante un sistema neumático de control que comprende un regulador de alta presión 9, un tanque para el deshumidificador de gas de instrumentación 13, y un regulador de baja presión 10.

El controlador de presión 4 y el controlador de tiempo 5 pueden ser dispositivos electrónicos programables que miden y almacenan las condiciones del pozo directamente y utilizan esa información para regular la estimulación de la formación, o pueden ser dispositivos neumáticos o mecánicos. La información medida por los controladores electrónicos puede ser alimentada a un ordenador externo para crear una base de datos de diferentes pozos o puede simplemente almacenarse de manera temporal en los controladores correspondientes, para ser utilizada solamente mientras el dispositivo está en funcionamiento en un pozo particular.

Durante la operación del sistema, tan pronto el dispositivo estimulador es conectado al pozo el sensor de vibración 6 mide la frecuencia natural del sistema y la alimenta al controlador de tiempo 5, el cual utiliza dicho parámetro para establecer el tiempo que debe estar abierta la válvula de control de presión 3, y el controlador de presión

4 mide la presión natural del pozo. Este paso corresponde a la calibración del dispositivo de estimulación, para ajustarlo a las condiciones de operación del pozo.

Al iniciar el ciclo de estimulación, las válvulas 11A y 11B se abren en tanto que la válvula 11C se cierra para permitir el paso del gas a través del dispositivo estimulador 1; la válvula de control de presión 3 se cierra y comienza la presurización del espacio anular dentro del pozo. Una vez el controlador de presión 4 determina que se ha alcanzado una presión entre 1,03 MPa y 4,14 MPa la válvula de control de presión 3 se abre, permitiendo la salida del gas por un tiempo predeterminado, hasta lograr una caída de presión entre 69 kPa y 355 kPa, preferiblemente entre 69 kPa y 207 kPa.

El gas para operar la válvula de control de presión 3 se toma también del pozo, ingresa al dispositivo mediante el regulador de alta presión 9, el cual reduce la presión del gas y lo pasa al deshumidificador de gas de instrumentos 13, de donde sale al regulador de baja presión 10 que lo alimenta al controlador de presión 4, el controlador de tiempo 5 y el interruptor de presión 7.

La presurización del espacio anular hace que el fluido en el fondo del pozo se desplace hacia abajo, cuando se abre la válvula de control de presión 3 la reducción de la presión hace que el fluido regrese a su altura inicial, el movimiento ascendente del fluido se detiene repentinamente cuando la válvula de control 3 se cierra nuevamente lo cual causa una perturbación del fluido en el fondo del pozo el cual responde elásticamente generando ondas transversales que se mueven dentro de la formación.

Con el fin de evitar que el cambio de presión ocasionado por un cierre muy rápido de la válvula de control 3 ocasione un efecto de ariete dentro del pozo, se adiciona un regulador de velocidad de cierre 8 el cual tiene un manómetro que verifica que la caída de presión sucede de manera adecuada en el tiempo establecido. En caso de que el regulador 8 establezca que la caída de presión está ocurriendo demasiado rápido, el operador ajusta directamente el regulador 8 para controlar la velocidad de caída de presión y la velocidad de cierre de la válvula 3.

Todo pozo tiene una vibración natural, generada por diferentes efectos internos tales como, por ejemplo, el movimiento del fluido dentro de la formación, variaciones en la presión interna de la formación por la salida del gas, reacomodamiento del suelo por cambios en los niveles de fluido, etc. Esta vibración natural es la que detecta y mide el sensor de vibración 6.

Los inventores de la presente tecnología encontraron de manera sorprendente e inesperada que al liberar la presión del espacio anular del pozo para generar las ondas transversales, también se estaba generando un cambio armónico en la vibración natural del pozo. Por lo tanto, el controlador de tiempo 5 mantiene abierta la válvula de control de presión 3 el tiempo necesario para que el flujo de gas al despresurizar el pozo produzca un sonido con una frecuencia entre 2000 Hz y 8000 Hz que hace vibrar todos los elementos del sistema. Este cambio armónico se transmite a través de las paredes del pozo y la roca de la formación hasta llegar al petróleo, en forma de vibraciones con una frecuencia entre 50 Hz y 1000 Hz, confiriéndole un impulso adicional a las ondas transversales y mejorando el efecto de estimulación del lecho que contiene petróleo.

Por lo tanto, de acuerdo con una primera modalidad de la presente invención, el método para estimular la producción de petróleo en una formación que contiene petróleo comprende los pasos de:

- i. Abrir las válvulas 11A y 11B y cerrar la válvula 11C para permitir el flujo de gas a través del sistema estimulador 1;
- ii. Cerrar la válvula de control de presión 3 para presurizar el espacio anular del pozo hasta alcanzar una presión entre 1,03 MPa y 4,14 MPa;
- iii. Abrir la válvula de control de presión 3 por un tiempo suficiente para lograr una caída de presión de entre 69 kPa y 355 kPa y un sonido con una frecuencia entre 2000 Hz y 8000 Hz;
- iv. Repetir el proceso para garantizar una estimulación periódica de la formación.

Por su parte, la Figura 2 corresponde a una segunda modalidad de la invención en donde el pozo genera demasiado gas, lo cual hace que la presión dentro del pozo suba demasiado rápido para mantener una estimulación constante adecuada de la formación. En este, caso el dispositivo de la presente invención comprende además una válvula de alivio 24 conectada a una válvula de chequeo 22, un tanque acumulador 25 que recoge el exceso de gas y que se conecta al sistema en un punto anterior a la válvula de control de presión 3, y un controlador C1 que solo permite que el gas de instrumentos alimente el interruptor de control de presión 7 cuando ha transcurrido el tiempo del primer ciclo de estimulación.

El proceso es esencialmente el mismo de la modalidad anterior, con la excepción que en casos donde la cantidad de gas dentro de la formación rebasa la capacidad de almacenamiento del tanque 25, el dispositivo de acuerdo con la presente invención comprende adicionalmente una válvula de alivio 24 la cual se abre ligeramente para dejar escapar el exceso de gas almacenado en el tanque 25 de manera muy lenta, en intervalos no mayores a entre 1 kPa y 2 kPa. La válvula de alivio está conectada a una válvula de chequeo 22, la cual evita que el gas se devuelva al sistema y al temporizador 26 que garantiza que la frecuencia de estimulación sea constante.

Debido a que la liberación de presión se hace desde el tanque de almacenamiento y no directamente desde el pozo, estas variaciones de presión no generan cambios en la presión del espacio anular por lo que no hay riesgo de que se cree ondas de estímulo dentro de la formación. El gas que sale por la válvula de alivio 24 es enviado fuera del sistema a través de la válvula de chequeo 22, la cual previene que el gas se devuelva por la tubería.

Por otro lado, para la modalidad mostrada en la Figura 2 en donde la cantidad de gas generada por el pozo hace que el incremento de presión dentro del espacio anular suceda demasiado rápido para garantizar la estimulación periódica adecuada del pozo, el método comprende los pasos intermedios adicionales de:

- ia. Suministrar una primera válvula de alivio 24 y un tanque acumulador de gas de exceso 25 ubicados antes de la válvula de control de presión 3 pero después de la primera válvula de bola 11A;
- iva. Controlar el exceso de presión abriendo la válvula de alivio 24.
- ivb. Controlar con el temporizador 25 la periodicidad de la estimulación

Refiriéndonos a la Figura 3, tenemos otra modalidad del dispositivo de acuerdo con la presente invención, una que se utiliza en casos donde la producción de gas del pozo es insuficiente para presurizarlo o cuando el pozo ha sido sellado en el fondo, separando el espacio anular del fluido presente en la formación.

De acuerdo con lo mostrado en la Figura 3, el equipo de la presente solicitud comprende un dispositivo para la generación de gas de presurización 36, un compresor 37 para comprimir el gas de presurización, un tanque de almacenamiento de gas de presurización 38 y un regulador de alta presión 39 ubicado en el cabezal del pozo. El gas de presurización generado debe ser un gas inerte para evitar explosiones causadas por la combustión de los gases inflamables provenientes de la formación y acumulados en el espacio anular del pozo. El gas de presurización se selecciona del grupo que comprende aire, hidrocarburos gaseosos, gases inertes o nitrógeno. En una modalidad preferida de la presente invención, el gas de presurización es nitrógeno.

Durante la operación, el dispositivo mostrado en la Figura 3 funciona de manera esencialmente igual al de la Figura 1, con la diferencia que el paso de presurizar el pozo se realiza inyectando gas de presurización desde el tanque 38 hacia el espacio anular hasta obtener la presión deseada, la cual es mayor que la presión utilizada cuando el pozo no está sellado en el fondo.

Para poder estimular adecuadamente la formación el dispositivo de la Figura 3 presuriza el espacio anular hasta una presión entre 4 MPa y 17,2 MPa. Un tubo para inyectar el gas de presurización en el espacio anular ingresa una distancia entre 2 y 5 metros, distancia a la que el inventor de la presente tecnología encontró de

manera sorprendente e inesperada que el proceso de presurización del pozo genera una primera fase de vibración acústica en la estructura interna del pozo, la cual se transmite a través de las paredes del mismo hacia la formación y de allí al fluido contenido en la misma. Esta primera fase de vibración acústica de la formación realiza un estímulo inicial del fluido allí contenido.

Cuando se alcanza la presión deseada, se abre la válvula de control de presión 3 y se libera presión hasta lograr una caída de presión entre 69 kPa y 355 kPa, preferiblemente entre 69 kPa y 207 kPa. Esta caída de presión hace que nuevamente vibre la estructura del pozo, vibración que se transmite a través de las paredes del pozo y hacia la formación. Debido a que la presión del anular del pozo es tan alta, la vibración tiene mayor intensidad y mayor amplitud, lo cual garantiza que se estimula la formación adecuadamente. Esto corresponde a una segunda fase de vibración acústica que nuevamente estimula la formación.

El método utilizado con el equipo de la Figura 3 es similar al método básico de la Figura 1, con la particularidad que comprende los pasos adicionales de:

- i. Suministrar un dispositivo para la generación de gas de presurización 36, un compresor 37 para comprimir el gas de presurización, un tanque de almacenamiento de gas de presurización 38 y un regulador de alta presión 39;
- ii. Colocar un tubo para inyección de gas de presurización en el espacio anular a una profundidad de entre 2 y 5 metros;
- iii. Cerrar la válvula de control de presión 3;
- iv. Inyectar gas de presurización para incrementar la presión en el espacio anular hasta alcanzar una presión entre 4 MPa y 17,2 MPa;
- v. Abrir la válvula de control de presión 3 por un tiempo suficiente para lograr una caída de presión de entre 69 kPa y 355 kPa y un sonido con una frecuencia entre 2000 Hz y 8000 Hz;
- vi. Repetir el proceso para garantizar una estimulación periódica de la formación.

En una modalidad de la presente invención, el sistema para estimulación de formaciones que contienen hidrocarburos puede utilizarse para estimular simultáneamente varios pozos que colindan con el pozo que está siendo estimulado. En algunos casos, el pozo que se estimula puede ser un pozo en producción, en otros puede ser un pozo abandonado Sin querer ceñirse a una teoría en particular, el inventor cree que las ondas sonoras y transversales generadas dentro del pozo estimulado se transmiten a través de la formación, llegando a los pozos aledaños. Al tratarse de un pozo abandonado, debemos recordar que éste tiene una cantidad mínima de hidrocarburos y un alto contenido de agua, las ondas viajan más fácil y rápidamente y pierden poca energía, lo cual les permite llegar a los pozos aledaños que colindan con el pozo abandonado. De esta manera, el sistema de la presente invención puede emplearse para estimular simultáneamente varios pozos con un consumo mínimo de energía.

De hecho, esta modalidad establece que se pueden estimular tanto el pozo inicial como los pozos con los que colinda para lograr un efecto potenciador de la estimulación al sumar las ondas provenientes del pozo estimulado con la generadas dentro de cada uno de los pozos colindantes que están siendo estimulados individualmente.

Si bien hasta ahora se ha hecho una descripción de algunas de las modalidades preferidas de la presente invención, el técnico con habilidad ordinaria en la materia podrá apreciar que aún es posible realizar algunas modificaciones y ajustes sin alejarse del espíritu de la invención. La presente descripción tiene, por lo tanto, el objeto de dar una visión no limitante de lo que constituye la invención en diferentes formas. El alcance y los límites de la presente invención solo quedan definidos por el capítulo reivindicatorio que se adjunta.