

# **MÉTODO PARA LA PRODUCCIÓN DE UN REACTIVO PARA LA** **REDUCCIÓN DE LA RESISTENCIA HIDRODINÁMICA DE UN** **FLUJO TURBULENTO DE UN HIDROCARBURO LÍQUIDO QUE** **FLUYE A TRAVÉS DE TUBERÍAS**

## **Campo de la invención**

La invención se refiere a reactivos inorgánicos y poliméricos y, particularmente, al transporte en tuberías de petróleo y derivados del petróleo.

## **Actividad inventiva**

Debido a la actividad inventiva previa, se conoce ampliamente que la adición de materiales poliméricos a un flujo turbulento de aceite o un hidrocarburo líquido que fluye a través de tuberías, por ejemplo, aceite o combustible diesel, crea una capa temporal sumamente viscosa próxima a la pared sobre la superficie interna de la tubería, que puede reducir las alteraciones del flujo en una zona dada de la tubería y resulta en un incremento en la capacidad de la tubería y una reducción en los costos energéticos del transporte. Debido a la capacidad de tener estas propiedades en un líquido hidrocarbonado a volúmenes muy reducidos (de 10-50 ml<sup>n-1</sup>), las poliolefinas de peso molecular ultra alto son las más eficaces y las más usadas en la industria. El polímero se introduce en las líneas de transporte en la forma de una suspensión sumamente concentrada (de 20 a 50 % p/p) con un tamaño de partícula dispersa en el intervalo de 50-500 µm en un disolvente que no disuelve el polímero como medio de dispersión, lo que hace posible reducir sustancialmente la viscosidad de la solución que se introduce en la tubería y resulta en el ahorro de un alto contenido de un polímero en esta.

La eficacia del reactivo en la reducción de la resistencia hidrodinámica del flujo turbulento se atribuye a las propiedades de las estructuras moleculares que se forman como resultado de la disolución gradual de las polialfaolefinas de peso molecular ultra alto en el líquido bombeado. El polímero se disuelve con la formación de asociaciones de moléculas poliméricas y un líquido hidrocarbonado. Las primeras se orientan en el líquido que se mueve a lo largo de la pared de la tubería debido a su viscosidad y densidad altas y, por consiguiente, tienen el efecto anti-turbulento previsto. El control de la velocidad de formación y degradación de las asociaciones polialfaolefina-disolvente a nivel molecular hace posible seleccionar el reactivo más eficaz según las condiciones y características específicas de la tubería, tal como el líquido hidrocarbonado transportado. Los métodos más ampliamente usados para lograr este objetivo son métodos de síntesis de polialfaolefinas con un peso molecular máximo según las condiciones propuestas del proceso de polimerización, a través de la variación de la longitud de cadena de un monómero inicial (US 4.527.581 A, 07.09.1985), las condiciones de polimerización (US 6.160.036 B2, 12.12.2000; US 6649670 B2, 18.11.2003; RU 2443720 C2, 27.02.2012), el tipo y la relación cuantitativa de un catalizador y los cocatalizadores (US 4.415.714 a, 15.11.1983, US 4845178 a, 04.07.1989), seguidos de selección de métodos y condiciones para la dispersión de polímeros (US 6765053 B2, 20 de julio de 2004; US 6160036 B2, 12.12.2000; RU 2463320 C1, 10.10.2012, RU 2481357 C1, 10.05.2013 g) en un medio de dispersión específico (no disolvente) (US 6.894.088 B2, 17.05.2005; RU 2579583 C1 y RU 2579588C1, 10.04.2016 g) sobre polvos reductores de la adhesión y/o aditivos homogeneizantes (US 5.539.044 a, 23.07.1996; EP 2757142 A1, 23.07.2014 g.; US 2002/0173569 A1, 11.12.2002) con la producción de partículas poliméricas con un tamaño y morfología diferentes (US 2006/0276566 A1, 07.12.2006; US 2006/0293196 A1, 28 de diciembre de 2006; US 2007/0021531 A1, 25 de enero de 2007).

Por consiguiente, es un problema más importante producir un polímero polialfaolefínico eficaz, que pueda procesarse en una forma básica de un aditivo turbulento reductor de la

viscosidad que resulte en un ahorro en el costo del reactivo final. Este problema puede solucionarse por medio de la creación de un método eficaz para la producción de un polímero con las propiedades necesarias a valores altos de conversión de la materia prima monomérica sin procesar. Sin embargo, el polímero resultante debe tener un peso molecular alto y óptimo, mayor que  $10^7$  unidades de masa atómica, una determinada estructura espacial, una velocidad de disolución suficiente en el líquido transportado a la temperatura adecuada en la tubería y debe ser fácil de procesar en una forma básica, que es una suspensión con un tamaño de partícula de 50-500  $\mu\text{m}$  y que sea estable en el intervalo amplio de temperaturas de las diferentes zonas climáticas, de  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Desde nuestro punto de vista, el método más conveniente es el método propuesto de polimerización en bloque de alfa-olefinas por medio del uso de tricloruro de titanio como catalizador, con la adición al medio de reacción de modificadores de la estructura espacial en la forma de alcanos cíclicos superiores, que pueden formar un enlace pseudo-mecánico con las moléculas poliméricas en las etapas finales de la polimerización, así como conferirle propiedades específicas al polímero producido de este modo. Se sabe que, en el supuesto que la conversión exceda de 20-25 % p/p en las etapas finales de la polimerización catiónica de alfa-olefinas en el proceso de polimerización en bloque, se forman fracciones de un polímero con un peso molecular menor en comparación con las etapas iniciales de la reacción (véanse las patentes de los EE. UU. núms. 4.415.714, 15/11/1983, US 4433123, 21/02/1984, US 5449732, 12/09/1995).

Los nuevos componentes propuestos en la forma de compuestos carbocíclicos superiores hacen posible formar asociaciones intermoleculares en las etapas finales de la polimerización catiónica de alfa-olefinas y, por consiguiente, incrementar el contenido de fracciones poliméricas, lo que garantiza que se produzca el efecto anti-turbulento previsto. Existe un método conocido para la producción de un polímero que reduce la resistencia hidrodinámica de un flujo de un líquido hidrocarbonado que se describe en la patente de los EE. UU. núm. 7.015.290 B2, 21/03/2006. En caso que se aplique este método, se

produce un polímero por polimerización en un peso de un monómero por medio del uso de catalizadores de Ziegler-Natta en un reactor heterogéneo desmontable con un área superficial ampliada para retirar el calor liberado. Este método comprende la polimerización de alfa-olefinas, particularmente, hexeno-1, octeno-1, deceno-1, dodeceno-1, tetradeceno-1, hexadeceno-1 y combinaciones de estos, por medio del uso de compuestos de cloruros de trialquilaluminio o dialquilaluminio, particularmente, trietilaluminio, triisobutilaluminio, cloruro de diisobutilaluminio y combinaciones de estos como cocatalizador, si el área superficial para el retiro de calor es al menos 75 % de la masa total de reacción. Una desventaja considerable de este método es llevar a cabo un proceso a una velocidad de polimerización alta que resulta en cantidades considerables de un catalizador, el uso de reactores desmontables con una estructura compleja que precisan una preparación cuidadosa y que implican dificultades considerables de recolección y adición de monómeros, y valores de conversión bajos de un monómero en comparación con el presente método.

Existe un método conocido para la producción de un polímero que reduce la resistencia hidrodinámica de un flujo de un líquido hidrocarbonado. En caso que se aplique este método, se producen polialfaolefinas por polimerización en solución por medio del uso de catalizadores de Ziegler-Natta en un reactor encamisado (véase la patente de los EE. UU. 4289679 A, 15.09.1981).

Este método tiene las siguientes desventajas: concentración baja del polímero producido en la solución, separación con consumo de energía del polímero de la solución, cantidad considerable de desechos.

Existe un método conocido para la producción de polialfaolefinas de peso molecular ultra alto que incluye la polimerización de alfa-olefinas C<sub>6</sub>-C<sub>30</sub> sobre el producto de la recuperación de tetracloruro de titanio-aluminio con un compuesto orgánico como catalizador y un complejo a base de 3-tia-1,5-diazabicyclo[3.2.1]octano-cloruro de dimetilaluminio como cocatalizador. Una relación molar de los reactivos es  $\alpha$ -olefina,

catalizador 0,002-0,004, cocatalizador 0,02-0,04. La reacción de polimerización se lleva a cabo en el intervalo de temperaturas de -20 °C a +20 °C durante de 8-12 horas (véase la patente RU 2487138 C1, 10.07.2013).

Una desventaja de este método es el uso de cantidades mayores de organoaluminios, que resulta en una disminución considerable en la solubilidad del polímero producido en líquidos hidrocarbonados, especialmente a temperaturas bajas. Las alfa-olefinas superiores C30 en la materia prima monomérica C6 (70 %) / C30 (30 %) son sólidas y, prácticamente, no participan en la polimerización como resultado de los valores indicados de la temperatura de polimerización (-20 °C). El polímero producido de acuerdo con este método no puede procesarse en una suspensión diluida con una concentración del polímero mayor que 25 p/p.

Existe un método conocido para la producción de un polímero que incluye la preparación de un polímero finamente dividido soluble en líquidos hidrocarbonados. El polímero se sintetiza por medio de la (co)polimerización de alfa-olefinas superiores bajo la acción de un catalizador de Ziegler-Natta. El producto de la polimerización en bloque se usa como (co)polímero de alfa-olefinas superiores. La dispersión diluida del polímero se produce mediante la reprecipitación térmica del polímero en un líquido, que es un no disolvente del polímero a temperatura ambiente y puede disolverlo a una temperatura elevada (véase RU 2481357 C1, 10 de mayo de 2013).

Las desventajas de este método para la producción de polímeros son una preparación baja de una forma básica, un consumo considerable de energía, una pérdida de la estructura espacial del polímero en caso de transición en una solución a temperaturas elevadas y un incremento necesario de las dosis de los aditivos producidos de este modo para conservar una eficacia adecuada.

Existe un método conocido para la producción de polialfaolefinas de peso molecular ultra alto que incluye la producción de polímeros que reducen la resistencia hidrodinámica de un flujo de un líquido hidrocarbonado mediante la polimerización de monómeros C6-C16

en masa por medio del uso de catalizadores de Ziegler-Natta y cocatalizadores que son cloruro de triisobutilaluminio y cloruro de dialquilaluminio en bolsas poliméricas (véase la patente de los EE. UU. Núm. 6.576.732 B1, 10.06.2003).

Este método tiene las siguientes desventajas: el uso de cantidades considerables de catalizadores y cocatalizadores, una distribución amplia del peso molecular, una conversión moderada de los monómeros, la presencia de fracciones poliméricas con un peso molecular inferior de  $1-5 \times 10^6$  unidades de masa atómica, lo que resulta en el uso de, preferentemente, molienda criogénica en la presencia de cantidades considerables de polvos reductores de la adhesión y cantidades mayores de no disolventes sumamente polares (agua y metanol) como medio de dispersión.

El método que se asemeja más en términos de la esencia y el resultado técnico alcanzado es un método para la producción de un reactivo para la reducción de la resistencia hidrodinámica de un hidrocarburo líquido que fluye a través de tuberías que incluye la polimerización de alfa-olefinas C6-C14 sobre un catalizador y un activador del catalizador; la polimerización de las alfa-olefinas C6-C14 se lleva a cabo en un medio monomérico con la adición de un hidrocarburo alifático saturado de composición C6-C18 que se somete a conversión de los monómeros de 96,0 a 99,5 p/p por medio del uso de tricloruro de titanio microesférico como catalizador y una mezcla con una relación en peso de cloruro de dietilaluminio y triisobutilaluminio de 1:10 a 10:1 como activador del catalizador, cuyo resultado es la producción de un polímero con un peso molecular mayor que  $10^7$  unidades de masa atómica con una distribución estrecha del peso molecular de no más de 1,5. Después, el polímero se muele y, por consiguiente, se obtiene una forma básica del reactivo para la reducción de la resistencia hidrodinámica de un hidrocarburo líquido que fluye a través de tuberías (véase RU 2599245 C1, 10.10.2016).

Una diferencia considerable entre el presente método y el prototipo es el uso de hidrocarburos cíclicos saturados de composición C8-C32 que facilitan la formación de asociaciones intermoleculares en las etapas finales de la polimerización siempre que las

velocidades de reacción sean bajas. El resultado es un incremento en la eficacia de las dosis inferiores del polímero que se añaden al líquido hidrocarbonado que se transporta.

### **Descripción de la invención**

El objeto de la invención consiste en proporcionar un método para la producción de un reactivo para la reducción de la resistencia hidrodinámica de un hidrocarburo líquido que fluye a través de tuberías con las propiedades necesarias de valores altos de conversión de la materia prima monomérica inicial y un contenido alto de fracciones poliméricas, con un efecto anti-turbulento previsto en el producto final.

Este objeto se logra debido al hecho que, en el método para la producción de un reactivo para la reducción de la resistencia hidrodinámica de un hidrocarburo líquido que fluye a través de tuberías que incluye la polimerización de alfa-olefinas C6-C14 sobre un catalizador y un activador del catalizador, se lleva a cabo la polimerización de las alfa-olefinas C6-C14 en el medio monomérico con la adición de 0,1 a 5 p/p de un hidrocarburo alicíclico saturado de composición C8-C32 y un hidrocarburo alifático saturado de composición C6-C18 que se somete a conversión de los monómeros de 96,0 a 99,5 p/p por medio del uso de tricloruro de titanio microesférico como catalizador y una mezcla de cloruro de dietilaluminio y triisobutilaluminio con una relación en peso de 1:10 a 10:1 como activador del catalizador, lo que resulta en la producción de un polímero con un peso molecular mayor que  $10^7$  unidades de masa atómica con una distribución estrecha del peso molecular no mayor que 1,5 con las siguientes proporciones de componentes, en p/p:

|                                                        |             |
|--------------------------------------------------------|-------------|
| alfa-olefina C6-C14                                    | 75-97       |
| tricloruro de titanio                                  | 0,001-0,015 |
| cloruro de dietilaluminio                              | 0,007-0,07  |
| triisobutilaluminio                                    | 0,007-0,07  |
| hidrocarburo alicíclico saturado de composición C8-C32 | 0,1-5,0     |
| hidrocarburo alifático saturado de composición C6-C18  | otra;       |

después, se muele el polímero y, como resultado, se obtiene una forma básica del reactivo para la reducción de la resistencia hidrodinámica de un flujo turbulento de un hidrocarburo líquido que fluye a través de tuberías.

En una modalidad particular, la polimerización de las alfa-olefinas C6-C14 se lleva a cabo a una temperatura de -10 °C a + 20 °C durante de 15 a 30 días.

En otra modalidad particular, la polimerización de las alfa-olefinas C6-C14 se lleva a cabo en el medio monomérico con un espesor de capa no mayor que 250 mm.

En otra modalidad, la polimerización de las alfa-olefinas C6-C14 se lleva a cabo en recipientes sellados con camisas de polietileno.

Resulta conveniente que el polímero se muele en la forma de partículas de 0,1 a 1,5 mm con dispositivos de corte mecanizado en el disolvente que no disuelve el polímero en la presencia de un polvo reductor de la adhesión en una cantidad no mayor que 5 % p/p y en la forma de partículas de 0,05 a 1,0 mm por medio del uso de molinos criogénicos en la presencia de un polvo reductor de la adhesión en una cantidad no mayor que 10 % p/p y que, después, se mezcle con el disolvente que no disuelve el polímero.

El resultado técnico que se logra en la modalidad particular de esta invención representa un reactivo que reduce la resistencia hidrodinámica de un flujo turbulento de un hidrocarburo líquido que fluye a través de tuberías y, como resultado, un incremento en la capacidad de las tuberías y una reducción de los costos de transporte del líquido hidrocarbonado.

### **Modalidad de la invención**

Esta sección describe la modalidad de la invención que goza de mayor preferencia; sin embargo, no excluye otras modalidades posibles claramente definidas en el material de la solicitud y que serán evidentes para un especialista.

El método para la producción de un reactivo para la reducción de la resistencia hidrodinámica de un flujo turbulento de un hidrocarburo líquido que fluye a través de tuberías se pone en práctica del modo que sigue que es el que goza de mayor preferencia.

La polimerización de las alfa-olefinas C6-C14 se lleva a cabo en el medio monomérico bajo la acción de un catalizador de Ziegler-Natta, que se usa en la forma de tricloruro de titanio microesférico y una mezcla de cloruro de triisobutilaluminio y de dietilaluminio con una relación en peso de 1:10 a 10:1 como activador del catalizador, con la adición de un hidrocarburo alifático saturado que facilita la migración del monómero residual en las etapas finales de la reacción y un hidrocarburo alicíclico saturado que facilita la formación de una estructura espacial específica en los tanques, en los cuales se mantiene una temperatura en el intervalo de -10 °C a más de 20 °C e impiden el ingreso de aire durante de 15 a 30 días a un grosor de capa de la mezcla de reacción no mayor que 250 mm.

Este método incluye la producción de un polímero de polialfaolefinas de peso molecular ultra alto con un peso molecular de  $1 \cdot 10^7$ - $2 \cdot 10^7$  unidades de masa atómica con una distribución del peso molecular menor que 1,5, una conversión mayor que 96 % p/p, que hace posible reducir el consumo de energía de la molienda durante la producción de las dispersiones del polímero a una concentración mayor que 25 % p/p en el no disolvente de los aditivos turbulentos reductores de la viscosidad, para proteger al polímero de daños mecánicos en el proceso de molienda mecánica o criogénica, reducir el contenido de polímero de las dispersiones y mantener su eficacia alta, reducir considerablemente el precio de coste de los reactivos a base del polímero de polialfaolefinas de peso molecular ultra alto producido, así como también un reactivo para la reducción de la resistencia hidrodinámica del aceite y los derivados del petróleo transportados en tuberías a base de este polímero.

De acuerdo con el método descrito, la polimerización se lleva a cabo en cualquier aparato diseñado para mezclar corrientes de alimentación líquidas, que permita disipar calor a  $6 \times 10^4$  kJ/(toneladas-hora) y aislar la masa de reacción del aire, por ejemplo, en un reactor encamisado con un mezclador, un reactor de flujo, provisto de un sistema de purga de gas nitrógeno con una pureza no menor que 99,9 % p/p. Después de llevar a cabo la polimerización durante al menos 1 hora desde el inicio de la combinación de todos los

componentes en caso que se lleve a cabo el proceso en el reactor encamisado con un mezclador o circulación en el reactor de flujo, la masa de reacción se transfiere a tanques para concluir la polimerización bajo condiciones con una temperatura controlada no mayor que + 20 °C, impidiendo, además, el ingreso de aire durante al menos 15 días. Los bloques de polímero producidos de este modo se muelen al tamaño necesario por medio del uso de equipos de molienda mecánica o criogénica adecuados.

Las alfa-olefinas C6-C14, preferentemente, hex-1-eno, oct-1-eno, dec-1-eno, dodec-1-eno, tetradec-1-eno y sus combinaciones, con mayor preferencia, hex-1-eno, dec-1-eno, dodec-1-eno y sus combinaciones que contienen una alfa-olefina básica en una cantidad de al menos 70 % p/p, se usan como monómeros.

Se usa el tricloruro de titanio microesférico producido a partir de tetracloruro de titanio y trietilaluminio como catalizador, por ejemplo, en la producción de catalizadores en la planta de polipropileno de OOO Tomskneftekhim, ciudad de Tomsk (Federación Rusa), W. R. Grace (EE. UU.) o un catalizador similar disponible a nivel comercial.

Las mezclas de cloruro de dietilaluminio y triisobutilaluminio con una relación en peso de 1:10 a 10:1 se usan como activador del catalizador. Estos reactivos se encuentran disponibles a nivel comercial, por ejemplo, de AkzoNobel N.V. (Países Bajos) o la planta piloto de OAO Redkinsky (Federación Rusa) y otros.

El hidrocarburo alicíclico saturado de composición C8-C32 puede ser alcanos cíclicos o una mezcla de alcanos cíclicos producida mediante ciclización de las cicloolefinas pertinentes, por ejemplo, en la reacción de ciclización por metátesis y/o condensación molecular y altamente purificada por destilación (no menos de 99,9 % p/p de cicloalcanos totales), por ejemplo: ciclooctano, ciclooctiloctano, ciclotetradecano, ciclohexadecano, ciclooctadecano, ciclohexadecil ciclohexadecano, etc.

Se usa un alcano o una mezcla de alcanos con un peso molecular de 86 unidades de masa atómica a 254 unidades de masa atómica producido mediante destilación de aceite y purificado a 99,9 % p/p como un hidrocarburo alifático saturado de composición C6-C18.

Los recipientes de la etapa final de polimerización pueden elaborarse a partir de organoaluminio-materiales inertes, por ejemplo, en la forma de recipientes de vidrio y esmaltados, recipientes o cajas metálicos herméticos, recipientes poliméricos, bolsas poliméricas multicapa. Con la máxima preferencia, se usan recipientes metálicos herméticos con camisas de polietileno. Las camisas de polietileno deben elaborarse con varias capas, con mayor preferencia, con cinco capas de película de polietileno, con al menos una capa como una barrera contra el oxígeno. Se puede usar una película elaborada a partir de acetato de polivinilo, alcohol polivinílico, polietileno metálico como capa de barrera.

Se usan mezclas de alcoholes monohídricos y polihídricos, sus éteres y agua como disolvente que no disuelve el polímero. La mezcla de componentes se selecciona de modo tal que su densidad sea igual a la densidad de las polialfaolefinas de peso molecular ultra alto que se producen por polimerización.

Se usan estearato de calcio, diestearamida de etileno, alcohol láurico, agua, aceite vegetal como polvo reductor de la adhesión.

Se puede usar el aparato para moler bloques de caucho de Pallmann Maschinenfabrik GmbH & Co. KG (Alemania), OOO Sibprommash (Federación Rusa, Novosibirsk) o un aparato similar en la molienda mecánica y los homogeneizadores de Kinematica AG (Suiza), IKA-WERKE GmbH & Co. KG (Alemania), las extrusoras de Krauss Maffei Berstorff AG (Alemania) o un aparato similar en la molienda fina.

Se puede usar el aparato de Hosokawa Alpine AG (Alemania), Cimma Inc. (Italia), Pallmann Maschinenfabrik GmbH&Co. KG (Alemania) o un aparato similar en la molienda criogénica.

El método para la producción de un reactivo para la reducción de la resistencia hidrodinámica de un hidrocarburo líquido que fluye a través de tuberías se explica en los ejemplos que siguen.

Ejemplo 1 (similar a RU 2599245)

Se llena un reactor encamisado con un mezclador, un termopar, un manómetro y una alimentación de gas nitrógeno de 99,9 % p/p, con hexano-1 en una cantidad de 90 % p/p, tetradeceno-1 en una cantidad de 5 % p/p y dodecano con una pureza no menor que 99,8 % p/p en una cantidad de 4,91 % p/p. La mezcla en el reactor se enfría a  $+10 \pm 2$  °C mediante agitación con un mezclador y con la adición de un refrigerante a la camisa del reactor. Después, se añade un activador del catalizador al reactor en la forma de una mezcla de cloruro de dietilaluminio y triisobutilaluminio con una relación en peso de 1:1 en una cantidad de 0,077 % p/p (0,0338 % p/p de cada uno) y se añade un catalizador que es tricloruro de titanio en una cantidad de 0,013 % p/p en la forma de una suspensión con una concentración de 40 % p/p en heptano. Se agita el contenido del reactor manteniendo la temperatura en el intervalo de  $+8$  °C a  $+12$  °C durante 1 hora. Después, se descarga la masa de reacción en el flujo de nitrógeno en recipientes estancos a los gases con camisas de polietileno de modo que la altura de la capa de masa no exceda 250 mm o en recipientes para polímeros de dimensiones similares, cerrados herméticamente y mantenidos a una temperatura de  $15 \pm 5$  °C durante al menos 15 días, sin ingreso de aire. Los bloques de polímero producidos se muelen después con una serie de molinos de cuchillas en la forma de partículas de  $50 \pm 40$  mm,  $3 \pm 2$  mm y  $0,8 \pm 0,7$  mm. La molienda final se lleva a cabo en un medio disolvente que consiste en una mezcla de isopropanol, etilenglicol y estearamida en una proporción de 8:1,95:0,05 p/p para obtener un reactivo para la reducción de la resistencia hidrodinámica del flujo de aceite y derivados del petróleo que fluye a través de tuberías, en la forma de una dispersión fina estable con un contenido de polímero de  $30 \pm 20$  %.

## Ejemplo 2

Se llena un reactor encamisado con un mezclador, un termopar, un manómetro y una alimentación de gas nitrógeno de 99,9 % p/p con hexano-1 en una cantidad de 75 % p/p, deceno-1 en una cantidad de 10 % p/p, decalina con una pureza no menor que 99,8 % p/p en una cantidad de 11,91 % p/p y ciclooctadecano con una pureza no menor que 99,8 %

p/p en una cantidad de 3,00 % p/p. La mezcla en el reactor se enfría en el flujo de nitrógeno a  $+10 \pm 2$  °C mediante agitación con un mezclador y con la adición de un refrigerante a la camisa del reactor. Después, se añade un activador del catalizador al reactor en la forma de una mezcla de cloruro de dietilaluminio y triisobutilaluminio con una relación en peso de 1:1 en una cantidad de 0,077 % p/p (0,0338 % p/p de cada uno) y se añade un catalizador que es tricloruro de titanio en una cantidad de 0,013 % p/p en la forma de una suspensión con una concentración de 40 % p/p en heptano. Se agita el contenido del reactor manteniendo la temperatura en el intervalo de  $+8$  °C a  $+12$  °C durante 1 hora. Después, se descarga la masa de reacción en el flujo de nitrógeno en recipientes estancos a los gases con camisas de polietileno de modo que la altura de la capa de masa no exceda 250 mm o en recipientes para polímeros de dimensiones similares, cerrados herméticamente y mantenidos a una temperatura de  $15 \pm 5$  °C durante al menos 15 días, sin ingreso de aire. Los bloques de polímero producidos se muelen después con una serie de molinos de cuchillas en la forma de partículas de  $50 \pm 40$  mm,  $3 \pm 2$  mm y  $0,8 \pm 0,7$  mm. La molienda final se lleva a cabo en un medio disolvente que consiste en una mezcla de isopropanol, etilenglicol y estearato de calcio en una proporción de 8:1,95:0,05 p/p para obtener un reactivo para la reducción de la resistencia hidrodinámica del flujo de aceite y derivados del petróleo que fluye a través de tuberías, en la forma de una dispersión fina estable con un contenido de polímero de  $30 \pm 20$  %.

### Ejemplo 3

Se llena un reactor encamisado con un mezclador, un termopar, un manómetro y una alimentación de gas nitrógeno de 99,9 % p/p con hexano-1 en una cantidad de 84 % p/p, tetradeceno-1 en una cantidad de 5 % p/p, dodecano con una pureza no menor que 99,8 % p/p en una cantidad de 5,91 % p/p y ciclooctano con una pureza no menor que 99,8 % p/p en una cantidad de 5,00 % p/p. La mezcla en el reactor se enfría a  $+10 \pm 2$  °C mediante agitación con un mezclador y con la adición de un refrigerante a la camisa del reactor. Después, se añade un activador del catalizador al reactor en la forma de una

mezcla de cloruro de dietilaluminio y triisobutilaluminio con una relación en peso de 1:1 en una cantidad de 0,077 % p/p (0,0338 % p/p de cada uno) y se añade un catalizador que es tricloruro de titanio en una cantidad de 0,013 % p/p en la forma de una suspensión con una concentración de 40 % p/p en heptano. Se agita el contenido del reactor manteniendo la temperatura en el intervalo de + 8 °C a + 12 °C durante 1 hora. Después, se descarga la masa de reacción en el flujo de nitrógeno en recipientes estancos a los gases con camisas de polietileno de modo que la altura de la capa de masa no exceda 250 mm o en recipientes para polímeros de dimensiones similares, cerrados herméticamente y mantenidos a una temperatura de  $15 \pm 5$  °C durante al menos 15 días, sin ingreso de aire. Los bloques de polímero producidos se muelen después con una serie de molinos de cuchillas en la forma de partículas de  $50 \pm 40$  mm,  $3 \pm 2$  mm y  $0,8 \pm 0,7$  mm. La molienda final se lleva a cabo en un medio disolvente que consiste en una mezcla de isopropanol, etilenglicol y estearamida de etileno en una proporción de 8:1,45:0,05 p/p para obtener un reactivo para la reducción de la resistencia hidrodinámica del flujo de aceite y derivados del petróleo que fluye a través de tuberías, en la forma de una dispersión fina estable con un contenido de polímero de  $30 \pm 20$  %.

#### Ejemplo 4

Se llena un reactor encamisado con un mezclador, un termopar, un manómetro y una alimentación de gas nitrógeno de 99,9 % p/p con hexano-1 en una cantidad de 80 % p/p, deceno-1 en una cantidad de 5 % p/p, decalina con una pureza no menor que 99,8 % p/p en una cantidad de 14.81 % p/p y ciclooctadecilciclooctadecano con una pureza no menor que 99,8 % p/p en una cantidad de 0,1 % p/p. La mezcla en el reactor se enfría a  $+10 \pm 2$  °C mediante agitación con un mezclador y con la adición de un refrigerante a la camisa del reactor. Después, se añade un activador del catalizador al reactor en la forma de una mezcla de cloruro de dietilaluminio y triisobutilaluminio con una relación en peso de 10:1 en una cantidad de 0,077 % p/p (0,07 % p/p y 0,007 % p/p *pro tanto*) y se añade un catalizador que es tricloruro de titanio en una cantidad de 0,013 % p/p en la forma de una

suspensión con una concentración de 40 % p/p en heptano. Se agita el contenido del reactor manteniendo la temperatura en el intervalo de + 8 °C a + 12 °C durante 1 hora. Después, se descarga la masa de reacción en el flujo de nitrógeno en recipientes estancos a los gases con camisas de polietileno de modo que la altura de la capa de masa no exceda 250 mm o en recipientes para polímeros de dimensiones similares, cerrados herméticamente y mantenidos a una temperatura de  $15 \pm 5$  °C durante al menos 15 días, sin ingreso de aire. Los bloques de polímero producidos se muelen después con una serie de molinos de cuchillas en la forma de partículas de  $50 \pm 40$  mm,  $3 \pm 2$  mm y  $0,8 \pm 0,7$  mm. La molienda final se lleva a cabo en un medio disolvente que consiste en una mezcla de isopropanol, etilenglicol y estearato de calcio en una proporción de 8:1,95:0,05 p/p para obtener un reactivo para la reducción de la resistencia hidrodinámica del flujo de aceite y derivados del petróleo que fluye a través de tuberías, en la forma de una dispersión fina estable con un contenido de polímero de  $30 \pm 20$  %.

#### Ejemplo 5

Se llena un reactor encamisado con un mezclador, un termopar, un manómetro y una alimentación de gas nitrógeno de 99,9 % p/p con hexano-1 en una cantidad de 80 % p/p, deceno-1 en una cantidad de 5 % p/p, decano con una pureza no menor que 99,8 % p/p en una cantidad de 12,91 % p/p y ciclohexadecano con una pureza no menor que 99,7 % p/p en una cantidad de 2,00 % p/p. La mezcla en el reactor se enfría a  $+10 \pm 2$  °C mediante agitación con un mezclador y con la adición de un refrigerante a la camisa del reactor. Después, se añade un activador del catalizador al reactor en la forma de una mezcla de cloruro de dietilaluminio y triisobutilaluminio con una relación en peso de 1:10 en una cantidad de 0,077 % p/p (0,007 % p/p y 0,07 % p/p *pro tanto*) y se añade un catalizador que es tricloruro de titanio en una cantidad de 0,013 % p/p en la forma de una suspensión con una concentración de 40 % p/p en heptano. Se agita el contenido del reactor manteniendo la temperatura en el intervalo de + 8 °C a + 12 °C durante 1 hora. Después, se descarga la masa de reacción en el flujo de nitrógeno en recipientes estancos

a los gases con camisas de polietileno de modo que la altura de la capa de masa no exceda 250 mm o en recipientes para polímeros de dimensiones similares, cerrados herméticamente y mantenidos a una temperatura de  $15 \pm 5$  °C durante al menos 15 días, sin ingreso de aire. Los bloques de polímero producidos se muelen después con una serie de molinos de cuchillas en la forma de partículas de  $50 \pm 40$  mm,  $3 \pm 2$  mm y  $0,8 \pm 0,7$  mm. La molienda final se lleva a cabo en un medio disolvente que consiste en una mezcla de isopropanol, etilenglicol y estearato de calcio en una proporción de 8:1,95:0,05 p/p para obtener un reactivo para la reducción de la resistencia hidrodinámica del flujo de aceite y derivados del petróleo que fluye a través de tuberías, en la forma de una dispersión fina estable con un contenido de polímero de  $30 \pm 20$  %.

#### Ejemplo 6

Se llena un reactor encamisado con un mezclador, un termopar, un manómetro y una alimentación de gas nitrógeno de 99,9 % p/p con octeno-1 en una cantidad de 80 % p/p, hexeno-1 en una cantidad de 15 % p/p, decano con una pureza no menor que 99,8 % p/p en una cantidad de 2,91 % p/p y ciclotetradecilciclohexadecano con una pureza no menor que 99,8 % p/p en una cantidad de 2,00 % p/p. La mezcla en el reactor se enfría a  $+10 \pm 2$  °C mediante agitación con un mezclador y con la adición de un refrigerante a la camisa del reactor. Después, se añade un activador del catalizador al reactor en la forma de una mezcla de cloruro de dietilaluminio y triisobutilaluminio con una relación en peso de 1:1 en una cantidad de 0,077 % p/p (0,0385 % p/p de cada uno) y se añade un catalizador que es tricloruro de titanio en una cantidad de 0,013 % p/p en la forma de una suspensión con una concentración de 40 % p/p en heptano. Se agita el contenido del reactor manteniendo la temperatura en el intervalo de  $+8$  °C a  $+12$  °C durante 1 hora. Después, se descarga la masa de reacción en el flujo de nitrógeno en recipientes estancos a los gases con camisas de polietileno de modo que la altura de la capa de masa no exceda 250 mm o en recipientes para polímeros de dimensiones similares, cerrados herméticamente y mantenidos a una temperatura de  $15 \pm 5$  °C durante al menos 15 días, sin ingreso de aire.

Los bloques de polímero producidos se muelen después con una serie de molinos de cuchillas en la forma de partículas de  $50 \pm 40$  mm,  $3 \pm 2$  mm y  $0,8 \pm 0,7$  mm. La molienda final se lleva a cabo en un medio disolvente que consiste en una mezcla de n-butanol, etilenglicol, agua y diestearamida de etileno en una proporción de 8:0,95:1:0,05 p/p para obtener un reactivo para la reducción de la resistencia hidrodinámica del flujo de aceite y derivados del petróleo que fluye a través de tuberías, en la forma de una dispersión fina estable con un contenido de polímero de  $30 \pm 20$  %.

#### Ejemplo 7

Se llena un reactor encamisado con un mezclador, un termopar, un manómetro y una alimentación de gas nitrógeno de 99,9 % p/p con hexeno-1 en una cantidad de 70 % p/p, dodeceno-1 en una cantidad de 5 % p/p, hexadecano con una pureza no menor que 99,8 % p/p en una cantidad de 19,908 % p/p y ciclooctano con una pureza no menor que 99,8 % p/p en una cantidad de 5,00 % p/p. La mezcla en el reactor se enfría a  $+10 \pm 2$  °C mediante agitación con un mezclador y con la adición de un refrigerante a la camisa del reactor. Después, se añade un activador del catalizador al reactor en la forma de una mezcla de cloruro de dietilaluminio y triisobutilaluminio con una relación en peso de 1:1 en una cantidad de 0,077 % p/p (0,0385 % p/p de cada uno) y se añade un catalizador que es tricloruro de titanio en una cantidad de 0,015 % p/p en la forma de una suspensión con una concentración de 40 % p/p en heptano. Se agita el contenido del reactor manteniendo la temperatura en el intervalo de  $+8$  °C a  $+12$  °C durante 1 hora. Después, se descarga la masa de reacción en el flujo de nitrógeno en recipientes estancos a los gases con camisas de polietileno de modo que la altura de la capa de masa no exceda 250 mm o en recipientes para polímeros de dimensiones similares, cerrados herméticamente y mantenidos a una temperatura de  $15 \pm 5$  °C durante al menos 15 días, sin ingreso de aire. Los bloques de polímero producidos se muelen después con una serie de molinos de cuchillas en la forma de partículas de  $50 \pm 40$  mm,  $3 \pm 2$  mm y  $0,8 \pm 0,7$  mm. La molienda final se lleva a cabo en un medio disolvente que consiste en una mezcla de n-butanol,

etilenglicol y estearato de calcio en una proporción de 9,0:0,97:0,03 p/p para obtener un reactivo para la reducción de la resistencia hidrodinámica del flujo de aceite y derivados del petróleo que fluye a través de tuberías, en la forma de una dispersión fina estable con un contenido de polímero de  $30 \pm 20$  %.

#### Ejemplo 8

Se llena un reactor encamisado con un mezclador, un termopar, un manómetro y una alimentación de gas nitrógeno de 99,9 % p/p con dodeceno-1 en una cantidad de 90 % p/p, deceno-1 en una cantidad de 5 % p/p, decano con una pureza no menor que 99,8 % p/p en una cantidad de 2,92 % p/p y ciclohexadecano con una pureza no menor que 99,8 % p/p en una cantidad de 2,00 % p/p. La mezcla en el reactor se enfría a  $+10 \pm 2$  °C mediante agitación con un mezclador y con la adición de un refrigerante a la camisa del reactor. Después, se añade un activador del catalizador al reactor en la forma de una mezcla de cloruro de dietilaluminio y triisobutilaluminio con una relación en peso de 1:1 en una cantidad de 0,077 % p/p (0,0385 % p/p de cada uno) y se añade un catalizador que es tricloruro de titanio en una cantidad de 0,003 % p/p en la forma de una suspensión con una concentración de 40 % p/p en heptano. Se agita el contenido del reactor manteniendo la temperatura en el intervalo de + 8 °C a + 12 °C durante 1 hora. Después, se descarga la masa de reacción en el flujo de nitrógeno en recipientes estancos a los gases con camisas de polietileno de modo que la altura de la capa de masa no exceda 250 mm o en recipientes para polímeros de dimensiones similares, cerrados herméticamente y mantenidos a una temperatura de  $15 \pm 5$  °C durante al menos 15 días, sin ingreso de aire. Los bloques de polímero producidos se muelen después con una serie de molinos de cuchillas en la forma de partículas de  $50 \pm 40$  mm,  $3 \pm 2$  mm y  $0,8 \pm 0,7$  mm. La molienda final se lleva a cabo en un medio disolvente que consiste en una mezcla de isopropanol, etilenglicol y estearato de calcio en una proporción de 8:1,97:0,03 p/p para obtener un reactivo para la reducción de la resistencia hidrodinámica del flujo de aceite y derivados

del petróleo que fluye a través de tuberías, en la forma de una dispersión fina estable con un contenido de polímero de  $30 \pm 20 \%$ .

La eficacia de los productos elaborados se evaluó por medio del uso de un medidor de flujo turbulento de laboratorio (véase la Tabla). Se calculó la disminución de la resistencia hidrodinámica (DR) al movimiento del disolvente de aceite en el capilar en la presencia del reactivo de acuerdo con la fórmula que sigue:

$$DR = \frac{\lambda_0 - \lambda_1}{\lambda_0} = \frac{t_0^2 - t_1^2}{t_0^2}, \text{ en donde}$$

$\lambda$  es un coeficiente de resistencia a los líquidos;

$t$  es el tiempo de flujo de  $330 \text{ cm}^3$  del disolvente de aceite a través del capilar;

$o$  y  $p$  son índices relativos al disolvente puro y la solución del reactivo *pro tanto*.

Se considera que el producto pasa la prueba si el valor de DR no es menor que  $30 \%$  siempre que la concentración del reactivo en el disolvente sea de  $2,5 \text{ ml}^{-1}$ .

Tabla

| Ejemplo<br>núm.       | Conversión,<br>p/p | Concentración<br>del polímero en<br>el reactivo, p/p | Valor de DR, %, siempre que la<br>concentración del<br>reactivo en el<br>disolvente sea de<br>$2,5 \text{ ml}^{-1}$ | Punto de<br>congelación del<br>reactivo, °C<br>(GOST 20287) |
|-----------------------|--------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| Ejemplo 1,<br>análogo | 98,0               | 30                                                   | 42,0                                                                                                                | -60                                                         |
| Ejemplo 2             | 98,5               | 18                                                   | 41,0                                                                                                                | -65                                                         |
| Ejemplo 3             | 98,0               | 18                                                   | 40,0                                                                                                                | -65                                                         |
| Ejemplo 4             | 97,0               | 18                                                   | 44,0                                                                                                                | -65                                                         |
| Ejemplo 5             | 98,5               | 18                                                   | 41,0                                                                                                                | -65                                                         |
| Ejemplo 6             | 98,0               | 18                                                   | 44,0                                                                                                                | -65                                                         |

| Ejemplo   | Conversión, | Concentración | Valor de DR, %, | Punto de |
|-----------|-------------|---------------|-----------------|----------|
| Ejemplo 7 | 99,0        | 18            | 43,0            | -65      |
| Ejemplo 8 | 98,5        | 18            | 42,0            | -65      |

Como puede apreciarse a partir del texto que antecede y de conformidad con los ejemplos dados y la Tabla, se debe deducir que, en comparación con métodos similares, incluido el método más similar, el presente método hace posible producir un reactivo que reduce en el mayor grado posible la resistencia hidrodinámica de un flujo turbulento de un hidrocarburo líquido que fluye a través de tuberías y que, además, incrementa la capacidad de las tuberías y reduce los costos energéticos de transporte del líquido hidrocarbonado.