(19) Евразийское патентное ведомство

(21) 202191076 (13) A1

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОЙ ЗАЯВКЕ

(43) Дата публикации заявки
2021.08.03

(22) Дата подачи заявки
2019.10.17

(51) Int. Cl. ***C08F 20/56*** (2006.01)
C08F 2/01 (2006.01)
C08F 220/56 (2006.01)
C12P 13/02 (2006.01)
E21B 7/00 (2006.01)

(54) СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДНОГО КОНЦЕНТРАТА ПОЛИАКРИЛАМИДА

(31) **PCT/EP2018/078488**
(32) **2018.10.18**
(33) **EP**
(86) **PCT/EP2019/078218**
(87) **WO 2020/079152 2020.04.23**

(71) Заявитель:
БАСФ СЕ (DE)

(72) Изобретатель:
Эль-Тоуфайли Файссаль-Али, Лёш Деннис, Шмидт Анна-Корина, Циммерманн Тобиас Ёахим, Остермайр Маркус (DE), Тинслей Джек Ф, Бусби Брент (US)

(74) Представитель:
Беляева Е.Н. (BY)

(57) Способ получения водных концентратов полиакриламида путем полимеризации водного раствора, содержащего, по меньшей мере, акриламид, в результате чего получают водный полиакриламидный гель, измельчения указанного водного полиакриламидного геля и смешивания его с водной жидкостью, причем этапы производства осуществляют в двух разных локациях, A и B, и способ включает этап транспортировки водного концентрата полиакриламида, содержащегося в соответствующем транспортном блоке, из локации A в локацию B. Модульная мобильная установка для производства водного полиакриламида, причем блоки установки расположены в двух разных локациях, A и B.

202191076 A1

202191076 A1

Способ получения водного концентрата полиакриламида

Настоящее изобретение относится к способу получения водных концентратов полиакриламида путем полимеризации водного раствора, содержащего, по меньшей мере, акриламид, в результате чего получают водный полиакриламидный гель, измельчения указанного водного полиакриламидного геля и смешивания его с водной жидкостью, причем этапы производства осуществляют в двух разных локациях, A и B, и способ включает этап транспортировки водного концентрата полиакриламида, содержащегося в соответствующем транспортном блоке, из локации A в локацию B. Кроме того, настоящее изобретение относится к модульной мобильной установке для производства водного полиакриламида, причем блоки установки расположены в двух разных локациях, A и B.

Водорастворимые высокомолекулярные гомо- и сополимеры акриламида могут применяться в различных областях, например, в ходе добычи полезных ископаемых, на нефтяных месторождениях, при очистке воды, очистке сточных вод, при производстве бумаги и в сельском хозяйстве. Примеры включают их применение при разведке и добыче нефти, в частности, в качестве загустителя в водных нагнетательных жидкостях для повышения нефтеотдачи или в качестве модификатора реологии для водных буровых растворов. Другие примеры включают их применение в качестве флокулянта для хвостов и шламов в горнодобывающей промышленности.

Общеизвестной технологией полимеризации для производства таких высокомолекулярных полиакриламидов является так называемая «гель-полимеризация». При гель-полимеризации осуществляют полимеризацию водного раствора мономеров с относительно высокой концентрацией мономеров, например, с концентрацией 20 мас.% - 50 мас.%, с помощью подходящих инициаторов полимеризации практически в адиабатических условиях в реакторе без перемешивания, в результате чего получают полимерный гель. Образованные полимерные гели преобразуют в полимерные порошки путем измельчения геля на более мелкие частицы на одном или более этапах измельчения, высушивания таких частиц геля, например, в сушилке с псевдоожиженным слоем с последующим

просеиванием, помолом и упаковкой. Затем полученные полиакриламидные порошки упаковывают и направляют потребителям.

Водный полиакриламидный гель, полученный путем гель-полимеризации, как правило, содержит 65% - 80% воды. Остаточное количество воды в полиакриламидных порошках, как правило, составляет около 4 - 12 мас.%. Таким образом, «высушивание» таких полиакриламидных гелей не означает удаление лишь некоторой остаточной влаги в ходе сушки, скорее, необходимо удалить около 0,55 - 0,75 кг воды на кг полимерного геля, или, другими словами, на кг порошка полимера также получают 1,5 - 2,5 кг воды.

Очевидно, что удаление такого большого количества воды из водных полимерных гелей в ходе сушки требует больших затрат энергии, таким образом, высушивание требует высоких эксплуатационных затрат. Кроме того, для высушивания требуются высокопроизводительные сушилки, а также оборудование для измельчения, просеивания и помола. Следовательно, относительно общих капитальных затрат на всю установку значительными являются капитальные затраты на все оборудование для последующей обработки, включая измельчение, высушивание, просеивание и помол.

Высокомолекулярные полиакриламиды обычно используют в качестве разбавленных водных растворов. Концентрации полиакриламидов, которые обычно используют при нефтяных и горных работах, варьируются в диапазоне 0,05 мас.% - 0,5 мас.%. Следовательно, перед использованием полиакриламидные порошки, изготовленные в соответствии с описанием выше, должны быть растворены в водных жидкостях. Растворение высокомолекулярных полимеров в водных жидкостях требует много времени и трудноосуществимо без разрушения полимеров и без образования комков. На месте выполнения работ необходимо соответствующее оборудование для растворения полиакриламидных порошков.

Для применений на нефтяных месторождениях, например, для повышения нефтеотдачи или для добычи полезных ископаемых, в месте производства, то есть на нефтяном месторождении или в районе добычи, должны быть доступны большие количества полиакриламидов. Например, для заводнения нефтяного месторождения даже среднего размера может быть необходимо закачать в нефтеносный пласт несколько тысяч $м^3$ раствора полимера в сутки, при этом, как

правило, процесс полимерного заводнения продолжается в течение месяцев или даже лет. Таким образом, чтобы обеспечить концентрацию полимера всего 0,2 мас.% при скорости закачки 5000 $м^3$/сутки, необходимо 10 т полимерного порошка в сутки для растворения в водной жидкости.

Предлагается не высушивать водные полиакриламидные гели после производства, а непосредственно растворять указанные полиакриламидные гели в воде, получая при этом разбавленные водные растворы полиакриламидов без высушивания и повторного растворения сухого порошка. Производство работ таким образом позволит сократить капитальные и эксплуатационные расходы на сушку и дальнейшую последующую обработку. Тем не менее, разбавленные водные растворы полиакриламидов доставлять потребителям невозможно, поскольку в этом случае транспортные расходы чрезвычайно возрастают по сравнению с транспортировкой порошков. Поэтому предлагается производить водные растворы полиакриламида в месте выполнения работ.

В документе DE 2 059 241 описан способ получения водорастворимых полимеров, в том числе акриламидсодержащих полимеров, в ходе которого водный раствор, содержащий водорастворимые мономеры и инициаторы полимеризации, помещают в мобильные контейнеры для полимеризации. В мобильных контейнерах происходит полимеризация водного раствора, в результате чего образуется полимерный гель. Гель можно транспортировать конечным пользователям, которые могут извлечь полимерные гели из контейнера и растворить их в воде. Транспортируемые контейнеры могут представлять собой, например, мешки, банки, бидоны или коробки с объемом 2 л - 200 л.

В документе US 4,248,304 описан процесс добычи нефти из подземных пластов, в ходе которого в пласт вводят эмульсию типа «вода-в-масле» акриламидного полимера в присутствии инвертирующего агента. Производство эмульсии типа «вода-в-масле» осуществляют на небольшой химической установке, расположенной вблизи скважин, а процедура производства включает этап образования эмульсии типа «вода-в-масле» акрилонитрила, в ходе которого осуществляют конверсию части акрилонитрила с получением акриламида с использованием соответствующего катализатора, и этап полимеризации эмульсии типа «вода-в-масле» акриламида в присутствии катализатора свободнорадикальной полимеризации. Катализатор может представлять собой катализатор на основе меди.

В документе ZA 8303812 описан способ получения полиакриламидов, который включает полимеризацию акриламида и, при необходимости, соответствующих сомономеров в месте выполнения работ и транспортировку образованного полимера в необходимое место его применения без высушивания или концентрации. Полимеризация может представлять собой эмульсионную полимеризацию, бисерную полимеризацию или полимеризацию в растворе/ дисперсии. Полимер может перекачиваться из реактора полимеризации в место использования.

В документе WO 84/00967 A1 описано устройство и способ непрерывного получения водных растворов полимера, в частности, частично гидролизованного полиакриламида. Это устройство содержит реактор полимеризации, реактор гидролиза и разбавитель. Полимеризация может осуществляться в месте выполнения работ, и растворы могут применяться в ходе добычи нефти вторичными или третичными методами.

В документе US 4,605,689 описан способ получения водных растворов полиакриламида в месте выполнения работ для повышения нефтеотдачи. На первом этапе путем полимеризации акриламида и, предпочтительно, акриловой кислоты в качестве сомономера получают водный полиакриламидный гель. Полученный полиакриламидный гель пропускают вместе с небольшим количеством водного растворителя через, по меньшей мере, одно статическое режущее устройство, в результате чего получают густую суспензию мелких частиц геля в воде, затем частицы геля растворяют в водном растворителе, который образует однородный концентрат раствора, который затем легко разбавляют водным растворителем, в результате чего получают разбавленный водный раствор полиакриламида.

В документе US 4,845,192 описан способ быстрого растворения частиц гелей водорастворимых полимеров, включающий образование суспензии таких частиц геля в воде и подвергание указанной суспензии мгновенной высокой сдвиговой деформации для эффективного тонкого измельчения указанных частиц.

WO 2017/186567 A1 относится к способу получения водного раствора полимера, включающему этапы получения водного полиакриламидного геля, содержащего, по меньшей мере, 10 мас.% активного полимера, резки водного

полиакриламидного геля с помощью водной жидкости под давлением, по меньшей мере, 150 бар для уменьшения водного полиакриламидного геля и растворения водного полиакриламидного геля в водной жидкости.

WO 2017/186697 A1 относится к способу получения водного раствора полиакриламида, включающему гидролиз акрилонитрила в воде в присутствии биокатализатора, в результате чего получают раствор акриламида, прямую полимеризацию раствора акриламида, в результате чего получают полиакриламидный гель, и непосредственного растворения полиакриламидного геля путем добавления воды, в результате чего получают водный раствор полиакриламида, который может иметь концентрацию 0,03 мас.% - 5 мас.%. Указанный способ может осуществляться в месте выполнения работ.

WO 2017/186685 A1 относится к способу получения водного раствора полиакриламида, включающему гидролиз акрилонитрила в воде в присутствии биокатализатора, в результате чего получают раствор акриламида, прямую полимеризацию раствора акриламида в результате чего получают полиакриламидный гель, и непосредственного растворения полиакриламидного геля путем добавления воды с помощью смешивающего устройства, включающего вращающуюся мешалку, в результате чего получают водный раствор полиакриламида, который может иметь концентрацию 0,03 мас.% - 5 мас.%. Указанный способ может осуществляться в месте выполнения работ.

WO 2017/186698 A1 относится к способу получения водного раствора полиакриламида, включающему гидролиз акрилонитрила в воде в присутствии биокатализатора, в результате чего получают раствор акриламида, прямую полимеризацию раствора акриламида в результате чего получают полиакриламидный гель, и непосредственного растворения полиакриламидного геля путем добавления воды с помощью гидроабразивной резки, в результате чего получают водный раствор полиакриламида, который может иметь концентрацию 0,03 мас.% - 5 мас.%. Указанный способ может осуществляться в месте выполнения работ.

В документе WO 2016/006556 A1 описан способ получения соединения с использованием реактора непрерывного действия с резервуаром, который оборудован двумя или более реакционными резервуарами для получения соединения и трубой для подачи реакционной жидкости, через которую

осуществляют подачу реакционной жидкости из реакционного резервуара, расположенного ранее по ходу процесса, в расположенный далее по ходу процесса реакционный резервуар, причем указанный способ отличается тем, что число Рейнольда реакционной жидкости, которая поступает через трубу подачи реакционной жидкости, составляет 1800 - 22000. Резервуарный реактор может быть установлен в мобильном контейнере. Соединение может представлять собой акриламид, полученный путем конверсии из акрилонитрила с использованием биокатализатора.

В документе WO 2017/167803 A1 описан способ получения раствора полиакриламида с повышенной вязкостью путем получения водного раствора акриламида путем конверсии акрилонитрила в акриламид с использованием биокатализатора, отделения биокатализатора от водного раствора акриламида таким образом, что оптическая плотность, измеренная при 600 нм (OD_{600}), водного раствора акриламида составляет 0,6, или менее, и путем полимеризации полученного таким образом водного раствора акриламида в полиакриламид.

В документе WO 97/21827 A1 описан способ получения раствора акрилата аммония путем ферментативного гидролиза акрилонитрила.

В наших более ранних заявках WO 2019/081318 A1, WO 2019/081319 A1, WO 2019/081320 A1, WO 2019/081321 A1, WO 2019/081323 A1, WO 2019/081327 A1, и WO 2019/081330 A1 описано производство водных растворов полиакриламида в модульных установках, в месте выполнения работ. В описанных модульных установках осуществляют адиабатическую гелевую полимеризацию водных растворов, содержащих акриламид и, при необходимости, дополнительные моноэтиленненасыщенные сомономеры, в установке для полимеризации с объемом 20 - 30 $м^3$. Такая полимеризация может осуществляться в локации A, и после этого мобильный блок полимеризации, заполненный водным полиакриламидным гелем, транспортируют в другую локацию B, где осуществляют удаление геля из блока полимеризации, его измельчение и растворение в воде, в результате чего получают водный раствор полиакриламида. Локацией B, как правило, является место использования водных растворов полиакриламида, например, нефтяная скважина или район добычи. Локация A обычно представляет собой центральный узел, где расположены блоки хранения мономеров, разбавления мономеров и полимеризации, из которого водный

полиакриламидный гель подают в несколько различных локаций В. Локации А и В могут быть значительно удалены друг от друга, например, расстояние между ними может составлять до 3000 км, а транспортировка геля из локации А в локацию В может длиться несколько дней.

С одной стороны, производство раствора полиакриламида в месте выполнения работ позволяет снизить затраты на оборудование и эксплуатационные расходы на сушку и повторное растворение полиакриламидов. С другой стороны, для каждой точки потребления необходима отдельная установка, что также требует значительных затрат. Кроме того, сырье для производства необходимо доставлять на большое количество площадок, что приводит к значительным затратам на транспорт и логистику.

Целью настоящего изобретения является создание улучшенного способа получения водных растворов полиакриламидов, в котором бы исключалась необходимость строительства целой установки для каждой точки потребления.

Соответственно, в одном варианте осуществления настоящее изобретение относится к способу получения водного концентрата полиакриламида путем полимеризации водного раствора, содержащего, по меньшей мере, акриламид, в результате чего получают водный полиакриламидный гель, и смешивания указанного водного полиакриламидного геля с водной жидкостью, отличающийся тем, что этот способ включает, по меньшей мере, следующие этапы:

[1] радикальную полимеризацию водного раствора мономеров в присутствии подходящих инициаторов радикальной полимеризации в адиабатических условиях в блоке полимеризации в локации А,

причем водный раствор мономеров содержит, по меньшей мере, воду и 15 - 50 мас.% водорастворимых моноэтиленненасыщенных мономеров, из расчета на общую массу всех компонентов водного раствора мономеров, в локации А, причем указанные водорастворимые моноэтиленненасыщенные мономеры содержат, по меньшей мере, акриламид, в результате чего получают водный полиакриламидный гель, который находится в блоке полимеризации,

[2] удаление водного полиакриламидного геля из блока полимеризации в локации А,

[3] измельчение водного полиакриламидного геля и смешивание его с водной жидкостью в локации А, в результате чего получают водный концентрат полиакриламида с концентрацией полиакриламидов 1,0 - 14,9 мас.%, из расчета на общую массу всех компонентов водного концентрата полиакриламида,

[4] транспортировку водного концентрата полиакриламида в транспортном блоке с объёмом 1 $м^3$ - 40 $м^3$ с помощью транспортного средства, выбранного из группы грузовых автомобилей, железнодорожных вагонов или водных судов, из локации А в другую локацию В, и

[5] удаление водного концентрата полиакриламида из транспортного блока в локации В.

В соответствии с одним из вариантов осуществления изобретения настоящее изобретение включает дополнительный этап [6] разбавления водного концентрата полиакриламида на втором этапе в локации В.

Перечень фигур:

Фигура 1	Схематическое изображение блока хранения мономеров с внутренним блоком регулирования температуры.
Фигура 2	Схематическое изображение блока хранения мономеров с внешним блоком регулирования температуры.
Фигура 3	Схематическое изображение реактора биоакриламида.
Фигура 4	Схематическое изображение мобильного блока разбавления мономеров.
Фигура 5	Схематическое изображение блока полимеризации Р1.
Фигура 6	Схематическое изображение мобильного блока полимеризации Р1, который соединен с блоком измельчения.
Фигура 7	Схематическое изображение блока гидроабразивной резки.
Фигура 8	Схематическое изображение еще одного варианта осуществления блока гидроабразивной резки.

Перечень фигур (продолжение):

Фигура 9	Схематическое изображение еще одного варианта осуществления блока гидроабразивной резки.
Фигура 10	Схематическое изображение еще одного варианта осуществления блока гидроабразивной резки.
Фигура 11	Схематическое изображение блока гидроабразивной резки, включающего дополнительные стационарные блоки резки.
Фигура 12	Схематическое изображение блока гидроабразивной резки в комбинации с перфорированной пластиной (одна форсунка).
Фигура 13	Схематическое изображение блока гидроабразивной резки в комбинации с перфорированной пластиной (несколько форсунок).
Фигура 14	Схематическое изображение блока гидроабразивной резки в комбинации с перфорированной пластиной (одна форсунка).
Фигура 15	Схематическое изображение блока гидроабразивной резки в комбинации с перфорированной пластиной (несколько форсунок).
Фигура 16	Схематическое изображение блока резки, включающего перфорированную пластину и вращающийся нож.
Фигура 17	Результаты исследований трения в контуре

В отношении изобретения, необходимо отдельно указать следующее:

С помощью способа по настоящему изобретению можно получить полиакриламиды.

Полиакриламиды

Термин «полиакриламид» при использовании по тексту настоящего документа означает водорастворимые гомополимеры акриламида или водорастворимые сополимеры, содержащие, по меньшей мере, 10%, предпочтительно, по меньшей мере, 20%, более предпочтительно, по меньшей мере, 30 мас.% акриламида и, по меньшей мере, один дополнительный водорастворимый, моноэтиленненасыщенный мономер, отличный от акриламида, причем указанные количества относятся к общему количеству всех мономеров в полимере. Сополимеры являются предпочтительными.

Термин «водорастворимые мономеры» в контексте настоящего изобретения означает, что мономеры должны быть растворимы в водном растворе мономеров, который используют для полимеризации, в концентрации, необходимой для использования. Таким образом, не является абсолютно необходимым, чтобы используемые мономеры могли смешиваться с водой без каких-либо оговорок; вместо этого достаточно, чтобы они отвечали минимальным указанным требованиям. Следует отметить, что присутствие акриламида в растворе мономеров может повысить растворимость других мономеров по сравнению с ситуацией, когда в растворе присутствует лишь вода. В целом, растворимость водорастворимых мономеров в воде при комнатной температуре должна составлять, по меньшей мере, 50 г/л, предпочтительно, по меньшей мере, 100 г/л.

По существу, помимо акриламида могут использоваться водорастворимые моноэтиленненасыщенные сомономеры любого типа и в любом количестве, при этом тип и количество таких сомономеров зависят от необходимых свойств и целевого использования полученных водных растворов полиакриламидов.

Нейтральные сомономеры

В еще одном варианте осуществления изобретения сомономеры могут быть выбраны из незаряженных водорастворимых моноэтиленненасыщенных мономеров. Примеры включают метакриламид, N-метил(мет)акриламид, N,N'-диметил(мет)акриламид, N-метилол(мет)акриламид или N-винилпирролидон. Другие примеры приведены в WO 2015/158517 A1, стр. 7, строки 9 - 14.

Анионные сомономеры

В еще одном варианте осуществления изобретения сомономеры могут быть выбраны из водорастворимых моноэтиленненасыщенных мономеров, содержащих, по меньшей мере, одну кислотную группу или ее соли. Кислотные группы предпочтительно выбраны из группы –COOH, $-SO_3H$ и $-PO_3H_2$ или их солей. Предпочтительными являются мономеры, содержащие COOH группы и/или $-SO_3H$ группы или их соли. Подходящие противоионы содержат, в частности, ионы щелочных металлов, такие как Li^+, Na^+ или K^+, а также ионы аммония, такие как NH_4^+, или ионы аммония с органическими радикалами. Примеры ионов аммония с органическими радикалами включают $[NH(CH_3)_3]^+$, $[NH_2(CH_3)_2]^+$, $[NH_3(CH_3)]^+$, $[NH(C_2H_5)_3]^+$, $[NH_2(C_2H_5)_2]^+$, $[NH_3(C_2H_5)]^+$, $[NH_3(CH_2CH_2OH)]^+$, $[H_3N\text{-}CH_2CH_2\text{-}$

$NH_3]^{2+}$ или $[H(H_3C)_2N\text{-}CH_2CH_2CH_2NH_3]^{2+}$. Кроме того, могут использоваться ионы Ca^{2+}.

Примеры мономеров, содержащих группы -COOH, включают акриловую кислоту, метакриловую кислоту, кротоновую кислоту, итаконовую кислоту, малеиновую кислоту или фумаровую кислоту или их соли. Предпочтительной является акриловая кислота или ее соли.

Примеры мономеров, содержащих группы $-SO_3H$ или их соли, включают винилсульфоновую кислоту, аллилсульфоновую кислоту, 2-акриламидо-2-метилпропансульфоновую кислоту (ATBS), 2-метакриламидо-2-метилпропан-сульфоновую кислоту, 2-акриламидобутансульфоновую кислоту, 3-акриламидо-3-метилбутансульфоновую кислоту или 2-акриламидо-2,4,4-триметилпентан-сульфоновую кислоту. Предпочтительной является 2-акриламидо-2-метилпропан-сульфоновая кислота (ATBS) или ее соли.

Примеры мономеров, содержащих группы $-PO_3H_2$ или их соли, включают винилфосфоновую кислоту, аллилфосфоновую кислоту, N-(мет)акриламидоалкилфосфоновые кислоты или (мет)акрилоилокси-алкилфосфоновые кислоты, предпочтительно винилфосфоновую кислоту.

Предпочтительные мономеры, содержащие кислотные группы, содержат акриловую кислоту и/или ATBS или их соли.

Катионные сомономеры

В еще одном варианте осуществления изобретения сомономеры могут быть выбраны из водорастворимых моноэтиленненасыщенных мономеров, содержащих катионные группы. Соответствующие катионные мономеры включают, в частности, мономеры с аммониевыми группами, в особенности, аммониевые производные N-(ω-аминоалкил)(мет)акриламидов или ω-аминоалкил(мет)-акрилатов, такие как 2-триметиламмониоэтилакрилатхлорид $H_2C{=}CH\text{-}CO\text{-}CH_2CH_2N^+(CH3)_3\,Cl^-$ (DMA3Q). Другие примеры приведены в WO 2015/158517 A1 стр. 8, строки 15 - 37. Предпочтительно используют DMA3Q.

Ассоциативные сомономеры

В еще одном варианте осуществления изобретения сомономеры могут быть выбраны из ассоциативных мономеров.

Ассоциативные мономеры придают полиакриламидам гидрофобные ассоциирующие свойства. Ассоциативные мономеры, используемые в контексте настоящего изобретения, представляют собой водорастворимые моноэтиленненасыщенные мономеры, имеющие, по меньшей мере, одну гидрофильную группу и, по меньшей мере, одну, предпочтительно концевую, гидрофобную группу. Примеры ассоциативных мономеров описаны, например, в WO 2010/133527, WO 2012/069478, WO 2015/086468 или WO 2015/158517.

Термин «гидрофобно-ассоциированные сополимеры» в указанной области означает водорастворимые сополимеры, которые имеют гидрофобные группы в боковом или концевом положении, помимо гидрофильных групп (в достаточном количестве для обеспечения растворимости в воде). В водном растворе гидрофобные группы могут ассоциировать друг с другом. Из-за этого ассоциативного взаимодействия наблюдается увеличение вязкости водного раствора полимера по сравнению с полимером того же типа, который не содержит каких-либо ассоциативных групп.

Примеры соответствующих ассоциативных мономеров включают мономеры, имеющие общую формулу $H_2C=C(R^1)-R^2-R^3$ (I), где R^1 означает H или метил, R^2 представляет собой связывающую гидрофильную группу, R^3 представляет собой концевую гидрофобную группу. Другие примеры включают мономеры, имеющие общую формулу $H_2C=C(R^1)-R^2-R^3-R^4$ (II), где R^1, R^2 и R^3 имеют значения, указанные выше, а R^4 представляет собой гидрофильную группу.

Связывающая гидрофильная группа R^2 может представлять собой группу, содержащую единицы этиленоксида, например, группу, содержащую 5 - 80 единиц этиленоксида, которая соответствующим образом присоединена к группе $H_2C=C(R^1)-$, например, посредством одинарной связи или соответствующей связывающей группы. В еще одном варианте осуществления изобретения гидрофильная связывающая группа R^2 может представлять собой группу, содержащую четвертичные аммониевые группы.

В соответствии с одним из вариантов осуществления изобретения ассоциативные мономеры представляют собой мономеры общей формулы $H_2C=C(R^1)-O-(CH_2CH_2O)_k-R^{3a}$ (III) или $H_2C=C(R^5)-(C=O)-O-(CH_2CH_2O)_k-R^{3a}$ (IV), где R^1 имеет значение, определенное выше, а k означает число от 10 до 80, например, от 20 до 40. R^{3a} означает алифатический и/или ароматический, разветвленный или неразветвленный гидрокарбильный радикал с 8 - 40 атомами углерода, предпочтительно с 12 - 32 атомами углерода. Примеры таких групп включают группы н-октила, н-децила, н-додецила, н-тетрадецила, н-гексадецила или н-октадецила. В соответствии с еще одним вариантом осуществления изобретения такие группы представляют собой ароматические группы, в особенности, замещенные фенильные радикалы, в частности, группы дистирилфенила и/или тритирилфенила.

В еще одном варианте осуществления изобретения ассоциативные мономеры представляют собой мономеры общей формулы $H_2C=C(R^1)-O-(CH_2)_n-O-(CH_2CH_2O)_x-(CH_2-CH(R^5)O)_y-(CH_2CH_2O)_zH$ (V), при этом R^1 используют в значении, определенном выше, а каждый из R^5 радикалов независимо выбран из гидрокарбильных радикалов, содержащих, по меньшей мере, 2 атома углерода, предпочтительно группы этила ил пропила. В формуле (V) n означает натуральное число от 2 до 6, например, 4, x означает число от 10 до 50, предпочтительно от 12 до 40, и, например, от 20 до 30, а y означает число от 5 до 30, предпочтительно от 8 до 25. В формуле (V) z означает число от 0 до 5, например, 1 - 4, то есть, таким образом, при необходимости, присутствует концевой блок единиц этиленоксида. В соответствии с еще одним вариантом осуществления изобретения можно использовать, по меньшей мере, два мономера (V), где каждый из радикалов R^1 и R^6 и показателей n, x и y является одинаковым, однако, в одном из мономеров $z = 0$, тогда как в другом $z > 0$, предпочтительно 1 - 4.

В еще одном варианте осуществления изобретения ассоциативные мономеры представляют собой катионные мономеры. Примеры катионных ассоциативных мономеров описаны в документе WO 2015/158517 A1, от стр. 11, строка 20 до стр. 12, строки 14 - 42. В соответствии с одним из вариантов осуществления изобретения могут использоваться катионные мономеры общей формулы $H_2C=C(R1)-C(=O)O-(CH2)_k-N^+(CH3)(CH3)(R6)\ X^-$ (VI) или $H_2C=C(R1)-C(=O)N(R1)-(CH2)_k-N^+(CH3)(CH3)(R6)\ X^-$ (VII), при этом R^1 имеет значение,

определенное выше, k означает 2 или 3, R^6 представляет собой гидрокарбильную группу, предпочтительно алифатическую гидрокарбильную группу с 8 - 18 атомами углерода, а X^- представляет собой отрицательно заряженный противоион, предпочтительно Cl^- и/или Br^-.

Другие сомономеры

Помимо водорастворимых моноэтиленненасыщенных мономеров, также могут использоваться водорастворимые этилен-ненасыщенные мономеры, имеющие более одной этиленовой группы. Мономеры такого типа могут использовать в особых случаях для достижения легкой сшивки акриламидных полимеров. Как правило, их количество не должно превышать 2 мас.%, предпочтительно 1 мас.%, особенно предпочтительно - 0,5 мас.%, из расчета на общее количество всех мономеров. Более предпочтительно, мономеры, использующиеся в настоящем изобретении, представляют собой только моноэтиленненасыщенные мономеры.

Композиция полиакриламидов

Конкретная композиция полиакриламидов, производство которых осуществляют способом по настоящему изобретению, может быть подобрана в соответствии с целевым применением таких полиакриламидов.

Помимо, по меньшей мере, 10 мас.% акриламида, предпочтительные полиакриламиды содержат, по меньшей мере, один водорастворимый, моноэтиленненасыщенный сомономер, предпочтительно, по меньшей мере, один сомономер, выбранный из группы акриловой кислоты или ее солей, ATBS или ее солей, ассоциативных мономеров, в частности, мономеров формулы (V) или DMA3Q, более предпочтительно, по меньшей мере, один сомономер, выбранный из акриловой кислоты или ее солей, ATBS или ее солей, ассоциативных мономеров, в частности, мономеров формулы (V).

В одном варианте осуществления полиакриламиды содержат 20 % - 90 мас.% акриламида и 10 % - 80 мас.% акриловой кислоты и/или ее солей, причем количества мономеров относятся к общему количеству мономеров в полимере.

В одном варианте осуществления полиакриламиды содержат 20 % - 40 мас.% акриламида и 60 % - 80 мас.% акриловой кислоты и/или ее солей.

В одном варианте осуществления полиакриламиды содержат 55 % - 75 мас.% акриламида и 25 % - 45 мас.% акриловой кислоты и/или ее солей.

В одном варианте осуществления полиакриламиды содержат 45 % - 75 мас.% акриламида и 25 % - 55 мас.% ATBS и/или ее солей.

В одном варианте осуществления полиакриламиды содержат 30 % - 80 мас.% акриламида, 10 % - 40 мас.% акриловой кислоты и/или ее солей, и 10 % - 40 мас.% ATBS и/или ее солей.

В одном варианте осуществления полиакриламиды содержат 45 % - 75 мас.% акриламида, 0.1 - 5 %, предпочтительно 0.1 - 2 мас.%, по меньшей мере, одного ассоциативного мономера общих формул (I) или (II), упомянутых выше, и 10 - 54.9 мас.% акриловой кислоты и/или ATBS и/или ее солей. Предпочтительно, ассоциативный мономер (мономеры) имеют общую формулу (V), включая предпочтительные варианты осуществления, упомянутые выше.

В одном варианте осуществления полиакриламиды содержат 60 % - 75 мас.% акриламида, 0,1 - 5 %, предпочтительно 0,1 - 2 мас.%, по меньшей мере, одного ассоциативного мономера общей формулы (V), упомянутой выше, включая предпочтительные варианты осуществления, и 20 - 39,9 мас.% акриловой кислоты или ее солей.

В одном варианте осуществления полиакриламиды содержат 45 % - 55 мас.% акриламида, 0,1 - 5 %, предпочтительно 0,1 - 2 мас.%, по меньшей мере, одного ассоциативного мономера общей формулы (V), упомянутой выше, включая предпочтительные варианты осуществления, и 40 - 54,9 мас.% акриловой кислоты или ее солей.

В одном варианте осуществления полиакриламиды содержат 60 % - 99 мас.% акриламида и 1 % - 40 мас.% DMA3Q.

В одном варианте осуществления полиакриламиды содержат 10 % - 50 мас.% акриламида и 50 % - 90 мас.% DMA3Q.

В одном варианте осуществления полиакриламиды содержат 90 – 99,5 мас.% акриламида, 0,5 - 2 мас.%, по меньшей мере, одного ассоциативного мономера, и 0 % - 9,5 мас.% анионного мономера, например, ATBS или катионного мономера, например, DM3AQ. Предпочтительно, ассоциативный мономер (мономеры) имеют

общую формулу (V), включая предпочтительные варианты осуществления, упомянутые выше.

Во всех вышеприведенных вариантах осуществления количества мономеров указаны относительно общего количества всех мономеров в полиакриламиде. Помимо конкретно указанных по тексту мономеров могут присутствовать и другие водорастворимые моноэтиленненасыщенные мономеры, однако все варианты осуществления включают также один вариант осуществления, в соответствии с которым, помимо конкретно указанных мономеров, другие мономеры отсутствуют, то есть в этих вариант осуществления общее количество конкретно указанных мономеров составляет 100 мас.%.

Среднемассовая молекулярная масса M_w производимых полиакриламидов может быть подобрана специалистом в соответствии с целевым назначением полиакриламидов. Во многих случаях для некоторых вариантов применения необходимы высокие молекулярные массы. Высокая молекулярная масса соответствует высокой характеристической вязкости (ХВ) полиакриламидов. В соответствии с одним из вариантов осуществления изобретения характеристическая вязкость может составлять не менее 15 децилитров/грамм (дл/г). В соответствии с одним из вариантов осуществления изобретения характеристическая вязкость составляет 30 - 45 дл/г.

Указанные значения получены путем измерения с помощью автоматического устройства Lauda iVisc® LMV830, оснащенного капиллярной трубкой Уббелоде и автоматической системой впрыска. Для измерений готовили водный раствор анализируемых полимеров с концентрацией 250 ч./млн. Значение pH доводили до 7 с помощью буфера, и раствор дополнительно содержал 1 моль/л NaCl. Следующие четыре разведения были сделаны автоматически. Производили измерения вязкости при пяти различных концентрациях при 25 °C. ХВ [дл/г] определяли обычным способом путем экстраполяции вязкости на бесконечное разбавление. Диапазон погрешности составляет около ± 2 дл/г.

Локации A и B

Способ по настоящему изобретению осуществляется, по меньшей мере, в двух разных локациях A и B и включает транспортировку водного концентрата полиакриламида из локации A в локацию B.

В локации А осуществляют полимеризацию водного раствора мономеров, содержащего акриламид, в установке для полимеризации (этап [1]), в результате чего получают водный полиакриламидный гель, который находится в блоке полимеризации.

Водный раствор мономеров также может быть произведен в локации А, однако производство водного раствора мономеров или более концентрированного водного премикса мономера также может осуществляться в другой локации, после чего может осуществляться его транспортировка в локацию А для дальнейшей обработки. В одном варианте осуществления изобретения способ включает этап производства акриламида гидролизом акрилонитрила с помощью биокатализатора (далее – этап [0]). Указанный этап [0] может также осуществляться в локации А или в другой локации.

После полимеризации водный полиакриламидный гель удаляют из блока полимеризации (этап [2]), осуществляют его измельчение и смешивание с водной жидкостью, в результате чего получают водный концентрат полиакриламида (этап [3]). Эти этапы также осуществляют в локации А.

На этапе [5] осуществляют транспортировку водного концентрата полиакриламида из локации А в другую локацию В с использованием соответствующего транспортного блока.

Локацией В предпочтительно может являться место использования, т.е. локацией, где осуществляют использование водных концентратов полиакриламида, или, по меньшей мере, локацией вблизи такого места использования. В локации В водный концентрат полиакриламида удаляют из транспортного блока. В одном из вариантов осуществления изобретения водный концентрат может использоваться в отдельности. В качестве альтернативы, в локации В концентрат может быть дополнительно разбавлен дополнительным количеством водной жидкости и/или в него могут добавляться дополнительные компоненты.

Подземные нефтеносные пласты, как правило, занимают большую площадь. Длина и ширина подземного нефтеносного пласта может достигать нескольких сотен километров. Для добычи нефти из таких подземных нефтеносных пластов на его площади, как правило, распределены много нефтяных скважин,

нагнетательных скважин, а также добывающих скважин. Аналогичным образом, большую территорию также могут занимать регионы с полезными ископаемыми, такими как руды или нефтеносные пески, и отдельные шахты могут располагаться в различных локациях в районе добычи.

В соответствии с одним из вариантов осуществления изобретения локацией В может являться на нефтяная и/или газовая скважина, на которой используются полиакриламиды, или локация В может располагаться вблизи такой нефтяной и/или газовой скважины. Примеры включают нефтяные скважины, в которые водные растворы полиакриламида закачиваются для повышения нефтеотдачи, эксплуатационные скважины, производительность которых повышается за счет нагнетания жидкостей гидроразрыва, содержащих полиакриламиды в качестве понизителей трения, или скважины, при бурении которых водные растворы полиакриламида используются в качестве буровых растворов.

В горнодобывающей промышленности локацией В может быть хвостохранилище, в котором осуществляют обезвоживание хвостов с использованием водных растворов полиакриламида, или место вблизи от хвостохранилища. В одном варианте осуществления локацией В может быть место обработки красного шлама, побочного продукта производства алюминия процессом Байера.

В других вариантах осуществления локацией В может быть объект производства бумаги, на канализационно-очистных сооружениях, на установках опреснения морской воды или на объектах производства сельскохозяйственных препаратов.

Локация А находится в ином месте, отличном от локации В.

В соответствии с одним из вариантов осуществления локацией А может быть стационарная химическая установка, расположенная в ином месте, отличном от локации В.

В предпочтительном варианте осуществления локация А представляет собой локальный узел, из которого водные концентраты полиакриламида полаются в несколько различных локаций В. В одном из вариантов осуществления такой местный узел расположен в центральной точке с хорошим транспортным сообщением, чтобы обеспечить легкое и экономичное снабжение сырьем.

В соответствии с одним из вариантов осуществления локация А может находиться в центральной точке над подземным нефтеносным пластом или в центральной точке между различными подземными нефтеносными пластами, а из локации А водный концентрат полиакриламида может подаваться на несколько нефтяных скважин для дальнейшей переработки.

В еще одном варианте осуществления локация А находится в центральной точке района добычи, а из локации А водные концентраты полиакриламида подаются на несколько хвостохранилищ для дальнейшей обработки.

Расстояние между локацией А и локацией В специально не ограничивается. Как правило, чтобы ограничить расходы на транспортировку водных концентратов полиакриламида, локация А должна быть расположена близко к локациям В или, по меньшей мере, должно быть не слишком удалено от локаций В. При этом необходимо учитывать размеры района добычи или подземных нефтеносных пластов. Таким образом, даже когда локация А является локальным узлом, как указано выше, локальный узел А и локации В могут быть удалены друг от друга на несколько сотен километров.

Например, расстояние между локацией А и локациями В может находиться в диапазоне 1 - 3000 км, в частности, 10 км - 3000 км, например, 10 - 1500 км или 20 км - 500 км, или 30 - 300 км.

Модульная установка

Несмотря на то, что некоторые этапы способа могут выполняться в стационарных установках, предпочтительно осуществлять весь способ получения водных концентратов полиакриламида в соответствии с настоящим изобретением в модульном режиме с использованием мобильных блоков.

В каждом мобильном блоке могут быть объединены несколько определенных функций в установке. Примеры таких мобильных блоков включают блоки для хранения и, при необходимости, охлаждения мономеров и другого сырья, для гидролиза акрилонитрила, для смешивания мономеров, для полимеризации и растворения геля. Более подробная информация приводится ниже. Для осуществления способа по настоящему изобретению отдельные блоки соединяют друг с другом соответствующим образом, в результате чего образуется производственная линия.

Термин «мобильный блок» означает, что блок может транспортироваться практически без демонтажа, т.е. для транспортировки не нужно разбирать весь блок на отдельные компоненты. Транспортировка может осуществляться грузовым автотранспортом, железнодорожным или морским транспортом.

В соответствии с одним из вариантов осуществления изобретения такие модульные мобильные блоки представляют собой блоки контейнерного типа, которые могут транспортироваться таким же образом, что и закрытые контейнеры для смешанной перевозки, например, грузовым автотранспортом, железнодорожным или морским транспортом. Контейнеры для смешанной перевозки представляют собой большие стандартизированные (в соответствии с ISO 668) транспортные контейнеры, которые, в частности, предназначаются и построены для смешанных грузовых перевозок. Такие контейнеры также известны как ISO-контейнеры. Такие ISO-контейнеры могут иметь следующие внешние габариты: высота: ~ 2,59 м, ширина: ~ 2,44 м, длина: ~ 6,05 м. ISO-контейнеры большего размеры могут иметь следующие внешние габариты: высота: ~ 2,59 м, ширина: ~ 2,44 м, длина: ~ 12,19 м. Конечно, существуют и другие стандарты, например, блоки, имеющие модульные размеры 12 футов (~ 3,66 м) x 12 футов (~ 3,66 м) x 12 футов (~ 3,66 м) или размеры кратные им, например, 12 (~ 3,66 м) x 12 (~ 3,66 м) x 48 (~ 14,63 м).

В еще одном варианте осуществления изобретения мобильные блоки могут закрепляться на тягачах или прицепах. Другими словами, в случае таких мобильных блоков в локации A или в локации B размещают не контейнер или что-то подобное, а весь тягач или прицеп, включая сам блок, который размещен на погрузочном пространстве тягача или прицепа. Тягачи или прицепы предпочтительно могут выступать в качестве платформы для размещения блоков. Кроме того, на тягаче или прицепе могут устанавливаться два разных устройства или несколько разных устройств.

Мобильные блоки объединяют в локациях A и B, в результате чего получают модульные производственные установки для осуществления способа по настоящему изобретению.

С помощью такой модульной конструкции из мобильных блоков обеспечивается то преимущество, что установки в локации A и в локации B могут

быть легко перемещены, если полиакриламиды больше не требуются в одной локации, а нужны в другой локации.

Например, при увеличении нефтеотдачи водные растворы полиакриламида закачивают в подземные нефтеносные пласты через одну или несколько нагнетательных скважин, заглубленных в пласт. Такое закачивание может продолжаться в течение нескольких месяцев или даже нескольких лет. Однако в какой-то момент дальнейшая добыча нефти становится невозможна. После этого модульную установку можно легко переместить в другое место, например, на другое месторождение нефти.

Получение водного раствора мономеров

На этапе [1] осуществляют полимеризацию водного раствора мономеров, содержащего, по меньшей мере, воду, акриламид и, при необходимости, другие водорастворимые моноэтиленненасыщенные мономеры, в локации А.

Для этапа [1] указанный водный раствор мономеров подают в локации А. В одном варианте осуществления в локации А также может осуществляться производство водного раствора мономеров. В еще одном варианте осуществления изобретения производство водного раствора мономеров или более концентрированного водного премикса мономера также может осуществляться в другой локации, после чего может осуществляться его транспортировка в локацию А.

Способ, при необходимости, может включать этап производства акриламида из акрилонитрила с использованием биокатализатора (далее – этап [0]), а также, при необходимости, производство акрилата аммония для использования в качестве сомономера акриламида из акрилонитрила с использованием биокатализатора. Оба этапа могут также осуществляться в локации А или – если водный раствор мономеров производится в другой локаций – в такой другой локации.

Получение акриламида

Синтез акриламида может осуществляться путем частичного гидролиза акрилонитрила с использованием соответствующих катализаторов. Специалистам известны способы использования катализаторов на основе меди или других металлсодержащих катализаторов, а также известны способы использования биокатализаторов конверсии акрилонитрила в акриламид. Чистый акриламид

представляет собой твердое вещество, однако акриламид, полученный в ходе биокатализа или катализа с использованием катализатора на основе меди, как правило, поставляют в виде водного раствора, например, в виде водного раствора, содержащего около 50 мас.% акриламида.

Акриламид, полученный с использованием биокатализаторов (который также зачастую именуют «биоакриламид») можно отличить от акриламида, полученного с использованием катализатора на основе меди или других металлсодержащих катализаторов, поскольку акриламид, полученный с использованием катализатора на основе меди или других металлсодержащих катализаторов, все еще содержит, по меньшей мере, следовые количества меди или других металлов. Акриламид, полученный с использованием биокатализаторов, может все еще содержать следовые количества биокатализатора.

Для способа по настоящему изобретению предпочтительно используют водный раствор акриламида, который был получен путем гидролиза акрилонитрила в воде в присутствии биокатализатора конверсии акрилонитрила в акриламид. Как более подробно описано ниже, для настоящего изобретения использование биокатализаторов для гидролиза акрилонитрила имеет существенные преимущества, в частности, для транспортировки водного полиакриламидного геля.

В одном варианте осуществления изобретения производство водных растворов биоакриламида, используемых в способе по настоящему изобретению, может осуществляться в другой локации, например, в стационарной химической установке, и они могут доставляться в локацию А или другую локацию для производства водного раствора мономеров.

В предпочтительном варианте осуществления настоящего изобретения производство биоакриламида осуществляют в локации А (далее – этап процесса [0]).

Производство биоакриламида в локации А позволяет значительно сократить транспортные расходы. Акрилонитрил является жидкостью и может транспортироваться в локацию А в виде чистого соединения. Молекулярная масса акриламида на ~ 34% выше, чем молекулярная масса акрилонитрила, а акриламид, как правило, предоставляют в виде ~ 50% водного раствора. Так, при транспортировке 50% водного раствора акриламида масса примерно в 2,5 раза

выше, чем при транспортировке чистого акрилонитрила. Транспортировка чистого акриламида в твердом виде означает транспортировку массы всего на ~ 34% больше по сравнению с транспортировкой чистого акрилонитрила, однако в локации A необходимо дополнительное оборудование для обработки и растворения твердого акриламида.

Этап [0] – гидролиз акрилонитрила

Как указано выше, этап [0] не является обязательным для способа по настоящему изобретению, однако в предпочтительном варианте осуществления способ по настоящему изобретению включает этап [0]. На этапе [0] осуществляют гидролиз акрилонитрила в воде в присутствии биокатализатора конверсии акрилонитрила в акриламид, в результате чего получают водный раствор полиакриламида. Этап [0] может осуществляться в локации A.

Получение акрилонитрила

Акрилонитрил для этапа [0] может храниться в одном или более мобильных блоках хранения. Блок хранения содержит емкость для хранения. Объем емкости для хранения специально не ограничен и может находиться в диапазоне 50 $м^3$ - 150 $м^3$, например, объем может составлять около 100 $м^3$. Предпочтительно, емкость для хранения имеет двойные стенки и расположена горизонтально. При использовании такой конструкции обеспечивается возможность исключить установку ямы для сбора утечек, что позволяет более легко и быстро транспортировать блок хранения. Емкости с двойными стенками могут размещаться на любом выдерживающем нагрузку грунте. Кроме того, Блок хранения содержит устройство для загрузки и разгрузки емкости, устройство для контроля давления в емкости, например, клапан для регулирования низкого или избыточного давления, и устройство для регулирования температуры акрилонитрила, которая предпочтительно не должна превышать 25 °C. Кроме того, он может содержать необходимое устройство для измерения и контроля.

Примеры мобильных блоков хранения включают мобильную емкость кубической формы, резервуары для хранения, предпочтительно резервуары с двойными стенками. Кроме того, в контексте настоящего изобретения для хранения и/или подачи акрилонитрила могут использоваться контейнеры любой

формы и любого размера. В частности, для хранения и/или подачи акрилонитрила могут использоваться стандартные ISO-контейнеры.

Другие примеры включают контейнеры-цистерны, имеющие раму кубической формы, предпочтительно раму в соответствии с вышеупомянутым стандартом ISO 668, и один или более резервуаров для хранения, установленных в раме. Такие стандартные контейнеры-цистерны могут складываться и перевозиться грузовым автотранспортом, железнодорожным или морским транспортом таким же образом, как закрытые контейнеры для смешанной перевозки.

По сути, регулирование температуры может осуществляться с использованием блока регулировки температуры любого типа. В зависимости от преобладающих климатических условий в локации А, для регулирования температуры может потребоваться охлаждение или нагрев содержимого блоков хранения. В отношении мономеров регулирование температуры обычно означает охлаждение, потому что следует избегать чрезмерного нагревания мономеров. В соответствии с одним из вариантов осуществления изобретения для охлаждения или нагрева может использоваться внутренний теплообменник, то есть теплообменник, установленный внутри емкости для хранения. В теплообменник подают хладагент с помощью соответствующего блока охлаждения или нагрева, установленного снаружи емкости для хранения.

В еще одном варианте осуществления изобретения для регулирования температуры используют внешний цикл регулирования температуры, например, цикл охлаждения, содержащий насос, который закачивает мономер из емкости для хранения через теплообменник и обратно в емкость для хранения.

Цикл регулирования температуры может представлять собой отдельный мобильный блок регулирования температуры, содержащий насос и теплообменник, который соединен с емкостью для хранения трубами или гибкими трубками.

В еще одном варианте осуществления изобретения, цикл регулирования температуры может быть встроен в мобильный блок для хранения. Например, он может быть расположен на одном конце блока, рядом с емкостью для хранения.

На Фигуре 1 схематически представлен один вариант осуществления блока хранения мономеров, включающего интегрированный цикл регулирования температуры. Указанный блок включает раму (1). В частности, такая рама может

представлять собой кубовидную раму, которая предпочтительно имеет стандартные размеры контейнера для того, чтобы облегчить транспортировку. Мобильный блок для хранения также содержит установленную на раму емкость с двойными стенками, содержащую внешнюю стенку (2) и внутреннюю стенку (3). В соответствии с другими вариантами осуществления такая рама (1) отсутствует, а емкость для хранения является самонесущей. Емкость для хранения заполнена акрилонитрилом. Блок хранения также содержит внешний цикл регулирования температуры, содержащий, по меньшей мере, насос и блок регулировки температуры. Для охлаждения с помощью насоса (4) осуществляют циркуляцию акрилонитрила из емкости для хранения в блок (5) регулирования температуры и обратно в емкость для хранения. Количество акрилонитрила, которое циркулирует в цикле регулирования температуры для регулирования температуры на необходимом уровне, например, ниже 25 °C, зависит, в частности, от температуры вне емкости и предполагаемой температуры внутри емкости. В соответствии с одним из вариантов осуществления изобретения в емкости может осуществляться циркуляция от 10% до 100% объема акрилонитрила в час.

На Фигуре 2 схематически представлен еще один вариант осуществления блока хранения мономеров. Этот блок включает емкость (6) для хранения кубической формы, предпочтительно с двойными стенками. При необходимости, емкость (6) для хранения соединена с внешним мобильным блоком регулирования температуры (7).

Акрилонитрил может доставляться в локацию A с использованием автоцистерн, ISO-контейнеров или железнодорожного транспорта и закачиваться в мобильную емкость для хранения.

Акрилонитрил может удаляться из мобильной емкости для хранения через донный клапан под действием силы тяжести или акрилонитрил может перекачиваться, например, через верх с использованием соответствующего насоса.

Биокатализаторы

В качестве биокатализатора для этапа [0] могут использоваться ферменты, нитрилгидратазы, которые могут выступать в качестве катализатора гидролиза акрилонитрила с получением акриламида. Как правило, нитрилгидратазы могут вырабатываться различными микроорганизмами, например, микроорганизмами

родов Bacillus, Bacteridium, Micrococcus, Brevibacterium, Corynebacterium, Pseudomonas, Acinetobacter, Xanthobacter, Streptomyces, Rhizobium, Klebsiella, Enterobacter, Escherichia Coli, Erwinia, Aeromonas, Citrobacter, Achromobacter, Agrobacterium, Pseudonocardia and Rhodococcus. В документе WO 2005/054456 описан синтез нитрилгидратазы внутри микроорганизмов, в нем описано, что было обнаружено, что различные штаммы видов Rhodococcus rhodochrous эффективно вырабатывают нитрилгидратазу, в частности, штамм Rhodococcus rhodochrous NCIMB 41164. Такие известные специалистам микроорганизмы, которые могут использоваться в качестве биокатализатора для ферментативного превращения акрилонитрила в акриламид, могут применяться в мобильном блоке биоконверсии по настоящему изобретению. Кроме того, специалистам известны конкретные способы культивирования (или выращивания или ферментации) и/или хранения таких микроорганизмов, а также соответствующих последовательностей полинуклеотидов, которые кодируют такой фермент, в частности, нитрилгидратазу, например, WO 2005/054456, WO 2016/050816, и которые могут использоваться контексте настоящего изобретения. В контексте настоящего изобретения могут использоваться микроорганизмы, вырабатывающие нитрилгидратазу и амидазу, для конверсии нитрильного соединения в соответствующее амидное соединение в соответствии с описанием, например, в WO 2016/050816.

Термины «микроорганизм, продуцирующий нитрилгидратазу (NHase)» или «микроорганизм» или «биокатализаторы» или другие подобные термины означают микроорганизмы, способные продуцировать (то есть кодировать и экспрессировать) фермент нитрилгидратазу (которую также именуют, например, NHase) сами по себе (в естественных условиях), или они являются генетически модифицированными, соответственно. Термин «генетически модифицированные» означает в отношении микроорганизмов, что эти микроорганизмы были модифицированы таким образом, что они приобрели способность экспрессировать соответствующий фермент NHase, например, путем включения природного и/или модифицированного гена нитрилгидратазы или кластера генов или других подобных структур. Кроме того, настоящим изобретением предусмотрены также продукты, которые производятся такими микроорганизмами и которые могут быть использоваться в контексте настоящего изобретения, например, суспензии,

полученные путем частичного или полного разрушения клеток микроорганизмов.

Термины «микроорганизм, продуцирующий нитрилгидратазу (NHase)» или «микроорганизм» или «биокатализаторы» или другие подобные термины, включают клетки и/или продукт, полученный в результате обработки клеток, сами по себе и/или суспензии, содержащие такие микроорганизмы и/или продукты, полученные в результате обработки клеток. Также предусматривается, что микроорганизмы и/или продукты, полученные в результате обработки клеток, могут подвергаться дальнейшей обработке перед их использованием в соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения. Термин «дальнейшая обработка», таким образом, включает, например, этапы промывки и/или этапы получения концентратов микроорганизмов и т.д. Также предусматривается, что микроорганизмы, используемые в соответствии с вариантами осуществления настоящего изобретения, могут подвергаться предварительной обработке, например, в ходе этапа высушивания. Также известны способы культивирования микроорганизмов и способы оптимизации условий культивирования, например, путем добавления мочевины или кобальта, описанные в WO 2005/054456, и они включены в варианты осуществления настоящего изобретения. Преимущественно микроорганизмы могут выращиваться в среде, содержащей ацетонитрил или акрилонитрил в качестве индуктора нитрилгидратазы.

Предпочтительно биокатализатор для превращения акрилонитрила в акриламид может быть получен путем культивирования микроорганизма в соответствующей среде для выращивания. Среда для выращивания, которую также именуют ферментационной (культурной) средой, ферментативным бульоном, ферментативной смесью и т.д., может содержать типичные компоненты, такие как сахара, полисахариды, которые описаны, например, в WO 2005/054489, и которые могут использоваться для культивирования микроорганизмов по настоящему изобретению для получения биокатализатора. Для хранения микроорганизмов ферментативный бульон предпочтительно удаляют, чтобы предотвратить гниение, которое может привести к снижению активности нитрилгидратазы. В соответствии с настоящим изобретением могут использоваться способы хранения, описанные в WO 2005/054489, для обеспечения достаточной стабильности биокатализатора в ходе хранения. Предпочтительно хранение не влияет на биокаталитическую

активность или не приводит к снижению биокаталитической активности. Биокатализатор может храниться в присутствии компонентов ферментативного бульона. В контексте настоящего изобретения биокатализатор предпочтительно хранится в виде замороженной суспензии, и перед использованием может осуществляться его оттаивание. Кроме того, биокатализатор может храниться в высушенном виде, при этом высушивание может осуществляться путем лиофилизации, распылительной сушки, термической сушки, вакуумной сушки, сушки в псевдоожиженном слое и/или грануляции распылением, при этом распылительная сушка и сублимационная сушка являются предпочтительными способами.

Добавление биокатализатора

Биокатализаторы, которые используются по настоящему изобретению в мобильной установке, могут, например, культивироваться в любых соответствующих условиях согласно любому известному способу, например, в соответствии с описанием в настоящем документе согласно известному уровню техники. Биокатализатор может использоваться в качестве цельноклеточного катализатора для образования амида из нитрила. Биокатализатор может быть (частично) иммобилизован, например, заключен в гель или может использоваться, например, в виде суспензии свободных клеток. Для иммобилизации могут применяться известные стандартные методы, например, поперечная сшивка, такая как сшивка с использованием глутаральдегид-полиэтиленимина (GA-PEI), сшивка с матрицей и/или с носителем и т.д., включая различные вариации и/или комбинации вышеупомянутых способов. В качестве альтернативы, может осуществляться экстракция нитрилгидратазы, например, и нитрилгидратаза может использоваться непосредственно в процессе получения амида. При использовании инактивированных или частично инактивированных клеток такие клетки могут быть инактивированы термической или химической обработкой.

В предпочтительном варианте осуществления изобретения микроорганизмы представляют собой целые клетки. Целые клетки могут подвергаться предварительной обработке на этапе сушки. Соответствующие способы и/или условия сушки описаны, например, в WO 2016/050816 и WO 2016/050861, и в контексте настоящего изобретения в мобильном блоке биоконверсии могут использоваться способы в соответствии с известным уровнем техники.

Микроорганизмы, которые используются в контексте настоящего изобретения, в предпочтительном варианте осуществления используются в виде водной суспензии, а в более предпочтительном варианте осуществления они представляют собой свободные цельные клетки в водной суспензии. Таким образом, термин «водная суспензия» включает в себя все виды жидкостей, таких как буферы или культурная среда, которые подходят для получения суспензии микроорганизмов. Такие жидкости известны специалистам и включают, например, буферы для хранения при подходящем pH, такие как буферы для хранения, которые используются для осаждения микроорганизмов, буферы на основе TRIS, буферы на основе солевого раствора, вода всех классов качества, например, дистиллированная вода, очищенная вода, водопроводная вода или морская вода, культурную среду, среду для выращивания, питательные растворы или ферментативные бульоны, например, ферментативный бульон, который использовался для культивирования микроорганизмов. Во время хранения, например, водную суспензию замораживают и оттаивают перед использованием, в частности, без потери активности.

Биокатализатор может доставляться в локацию A в виде порошка или в виде водной суспензии. Если биокатализатор доставляют в виде порошка, зачастую перед добавлением катализатора в блок биоконверсии рекомендуется приготовить водную суспензию. В одном из вариантов осуществления изобретения суспензию биокатализатора можно получить путем суспендирования порошка биокатализатора в воде в емкости, включающей, по меньшей мере, перемешивающее устройство, например, мешалку, одно или несколько входных отверстий для подачи воды, биокатализатор и, при необходимости, дополнительные добавки и одно выходное отверстие для отвода суспензии биокатализатора. Объем емкости может составлять, например, 0,1 $м^3$ – 1 $м^3$. Концентрация биокатализатора в водной суспензии биокатализатора может составлять, например, 1% - 30 мас.%, например, 10 - 20 мас.%, из расчета на общее количество всех компонентов водной суспензии.

Суспензия биокатализатора может добавляться непосредственно в блок биоконверсии. В еще одном варианте осуществления изобретения концентрированная суспензия может разбавляться перед добавлением в блок биоконверсии.

Биоконверсия

Гидролиз акрилонитрила с получением акриламида с помощью биокатализатора осуществляют в соответствующем блоке биоконверсии, предпочтительно в соответствующем мобильном блоке биоконверсии.

В частности, биоконверсию осуществляют путем контактирования смеси, содержащей воду и акрилонитрил, с биокатализатором. Термин «контактирование» не является ограничительным и включает в себя, например, соприкосновение, добавление, перемешивание, встряхивание, вливание, протекание или введение смеси с биокатализатором. Таким образом, исключительно важно, чтобы указанные ингредиенты контактировали друг с другом, независимо от способа контактирования.

Таким образом, в соответствии с одним вариантом осуществления настоящего изобретения этап [0] следующие этапы:

(a) добавление следующих компонентов (i) к (iii) в блок биоконверсии для получения композиции для биоконверсии:
   (i) биокатализатор конверсии акрилонитрила в акриламид;
   (ii) акрилонитрил;
   (iii) водная среда; и

(b) осуществление биоконверсии состава, полученного на этапе (a).

Биоконверсия может, например, осуществляться в любых соответствующих условиях согласно любому известному способу, например, в соответствии с известным уровнем техники, таким как, например, WO 2016/050817, WO 2016/050819, WO 2017/055518.

Конверсия акрилонитрила в акриламид может осуществляться с использованием любого процесса серийного производства и непрерывного процесса; также, конверсия может осуществляться путем подбора соответствующей реакционной системы из таких реакционных систем как суспендированный слой, неподвижный слой, псевдоожиженный слой и другие подобные системы или путем комбинирования различных реакционных систем в соответствии с формой катализатора. В частности, способ по настоящему изобретению может осуществляться в ходе полунепрерывного процесса. В частности, при использовании по тексту настоящего документа термин

«полунепрерывный процесс» может включать в себя прерывистый способ получения водного раствора акриламида.

В качестве неограничительного примера такого полунепрерывного процесса в блок биоконверсии помещают воду, определенное количество акрилонитрила и биокатализатор. Затем в ходе биоконверсии добавляют дополнительное количество акрилонитрила до тех пор, пока не будет достигнуто необходимое содержание акриламида в композиции. После достижения такого необходимого содержания акриламида полученную композицию, например, частично или полностью извлекают из реактора до добавления новых реагентов в реактор. В частности, в любом из способов по настоящему изобретению подача акрилонитрила может осуществляться таким образом, чтобы практически постоянно поддерживалось необходимое содержание акрилонитрила на этапе (b). В целом, в любом из способов по настоящему изобретению содержание акрилонитрила и/или содержание акриламида на этапе (b) может контролироваться. Могут использоваться любые способы контроля содержания акрилонитрила, и они включают инфракрасную спектроскопию с Фурье-преобразованием (FTIR). В еще одном варианте осуществления изобретения для контроля процесса может использоваться тепловой баланс реакции. Следовательно, контроль методом теплового баланса осуществляют путем измерения тепловой энергии системы в ходе биоконверсии и путем расчета потерь тепловой энергии в ходе реакции для контроля процесса.

Несмотря на то, что конверсия акрилонитрила в акриламид предпочтительно может осуществляться при атмосферном давлении, она также может осуществляться при повышенном давлении для повышения растворимости акрилонитрила в водной среде. Поскольку биокатализаторы чувствительны к высоким температурам, а гидролиз является экзотермической реакцией, важно контролировать температуру реакции. Температура реакции конкретно не ограничена при условии, что она не ниже температуры замерзания водной среды. Тем не менее, как правило, конверсию предпочтительно осуществляют при температуре 0 - 50 °C, предпочтительно 10 - 40 °C, более предпочтительно 15 - 30 °C. Другие подходящие условия для биоконверсии по настоящему изобретению описаны, например, в WO 2017/055518, и они предпочтительно могут применяться в мобильном блоке биоконверсии для осуществления способа по изобретению.

Несмотря на то, что количество биокатализатора может варьироваться в зависимости от типа используемого биокатализатора, предпочтительно, чтобы активность биокатализатора, который вводится в реактор, предпочтительно — в мобильный блока биоконверсии, находилась в диапазоне примерно 5 - 500 ед\мг высушенных клеток микроорганизма. Способы определения способности определенного биокатализатора (например, микроорганизма или фермента) катализировать конверсию акрилонитрила в акриламид известны специалистам. В контексте настоящего изобретения, например, способность определенного биокатализатора действовать как нитрилгидратаза в значении, предусмотренном настоящим изобретением, может быть определена следующим образом: Сначала осуществляют реакцию 100 мкл клеточной суспензии, лизата клеток, растворенного порошка фермента или любого другого препарата, содержащего предполагаемую нитрилгидратазу, с 875 мкл 50 мМ калий-фосфатного буфера и 25 мкл акрилонитрила при 25 °С на шейкере Эппендорфа со скоростью 1000 об./мин. в течение 10 минут. После реакции в течение 10 мин. может осуществляться отбор и немедленное резкое охлаждение образцов путем добавления того же объема 1,4% соляной кислоты. После смешивания образца клетки могут быть удалены центрифугированием в течение 1 мин. со скоростью 10.000 об./ мин, и определяется количество образованного акриламида путем анализа прозрачного супернатанта путем ВЭЖХ. Для подтверждения того, что фермент является нитрилгидратазой в контексте настоящего изобретения, концентрация акриламида должна, в частности, составлять 0,25 - 1,25 ммоль/ л, при необходимости, образец соответствующим образом разбавляют, и конверсию повторяют. Затем активность фермента можно определить по концентрации акриламида, путем деления концентрацию акриламида, полученную из анализа ВЭЖХ, на время реакции, 10 мин., и умножения этого значения на коэффициент разведения между образцом ВЭЖХ и исходным образцом. Значения активности > 5 ед./мг сухого веса клеток, предпочтительно > 25 ед./мг сухого веса клеток, более предпочтительно > 50 ед./мг сухого веса клеток, наиболее предпочтительно > 100 ед./мг сухого веса клеток указывают на присутствие функционально экспрессированной нитрилгидратазы, и в контексте настоящего изобретения фермент рассматривается как нитрилгидратаза.

Предпочтительно, чтобы концентрация акрилонитрила во время биоконверсии не превышала 6 мас.%, она может, например, находиться в диапазоне 0,1 мас.% - 6 мас.%, предпочтительно 0,2 мас.% - 5 мас.%, более предпочтительно 0,3 мас.% - 4 мас.%, еще более предпочтительно 0,5 мас.% - 3 мас.%, еще более предпочтительно 0,8 мас.% - 2 мас.% и наиболее предпочтительно 1 мас.% - 1,5 мас.%, из расчета на общее количество всех компонентов водной смеси. Возможно, что в ходе реакции биоконверсии концентрация может изменяться во времени. Чтобы получить более концентрированные растворы акриламида, общее количество акрилонитрила не следует добавлять все сразу, а акрилонитрил следует добавлять постепенно или даже непрерывно, с учетом указанных пределы концентрации. В документе WO 2016/050818 описан способ, когда осуществляют дозированное добавление дополнительных количеств акрилонитрила, который подходит для использования и применения в настоящем изобретении.

Концентрация акриламида в полученном растворе находится в диапазоне 10% - 80%, предпочтительно в диапазоне 20% - 70%, более предпочтительно в диапазоне 30% - 65%, еще более предпочтительно в диапазоне 40% - 60%, наиболее предпочтительно в диапазоне 45% - 55 мас.% мономеров акриламида. Реакция должна осуществляться таким образом, чтобы конечная концентрация акрилонитрила в полученном конечном растворе акриламида не превышала 0,1 мас.%, из расчета на общее количество всех компонентов водного раствора. Типичное время реакции может составлять 2 - 20 ч., в частности, 4 - 12 ч., например, 6 - 10 ч. После завершения добавления акрилонитрила содержимое реактора циркулирует далее в течение некоторого времени для завершения реакции, например, 1 - 3 ч. Остаточное содержание акрилонитрила предпочтительно должно составлять менее 100 ч./млн. ACN.

Соответствующие реакторы для биоконверсии известны специалистам. Примеры включают емкости любой формы, например, цилиндрические или сферические емкости, или трубчатые реакторы. В соответствии с одним из вариантов осуществления изобретения для биоконверсии может использоваться реактора непрерывного действия с резервуаром в соответствии с описанием WO 2016/006556 A1. Другие подходящие реакторы для биоконверсии по настоящему изобретению описаны, например, в документах US20040175809, EP2336346, EP2518154, JP2014176344, JP2015057968, и такие реакторы предпочтительно

применимы для способа по настоящему изобретению. Такие реакторы включают, в частности, насосный контур, теплообменник и/или перемешивающий элемент.

В предпочтительном варианте осуществления изобретения блок биоконверсии представляет собой мобильный блок биоконверсии. В соответствии с одним из вариантов осуществления мобильный блок биоконверсиии представляет собой блок, схожий с мобильным блоком хранения акрилонитрила в соответствии с описанием выше. Использование практически одного и того же оборудования для хранения акрилонитрила или других мономеров и для этапа биоконверсии обеспечивает экономичность способа получения водных растворов акриламида.

Блок биоконверсии содержит реакционную емкость. Объем реакционной емкости специально не ограничен и может находиться в диапазоне 10 $м^3$ - 150 $м^3$, например, объем может составлять около 20 $м^3$ - 50 $м^3$. Предпочтительно, реакционная емкость имеет двойные стенки и расположена горизонтально. При использовании такой конструкции обеспечивается возможность исключить установку ямы для сбора утечек, что позволяет более легко и быстро транспортировать реакционный блок.

Блок биоконверсии также содержит устройство для смешивания реакционной смеси и устройство для регулирования температуры содержимого емкости. Гидролиз акрилонитрила в акриламид является экзотермической реакцией, следовательно, тепло, выделяемое в ходе реакции, следует отводить, чтобы поддерживать оптимальную температуру для биоконверсии. Блок биоконверсии, как правило, также содержит устройство для измерения и контроля, например, устройство для регулирования температуры или для регулирования давления в емкости.

Для регулирования температуры предпочтительный блок биоконверсии содержит внешний цикл регулирования температуры, содержащий насос, который закачивает содержимое водного реактора из емкости для хранения через теплообменник и обратно в емкость для хранения, предпочтительно через впрыскивающую форсунку.

В соответствии с одним из вариантов осуществления изобретения используют мобильный блок регулирования температуры, содержащий насос и теплообменник, который соединен с блоком биоконверсии трубами или гибкими

трубками. В предпочтительном варианте осуществления изобретения цикл регулирования температуры встроен в мобильный блок биоконверсии. Например, он может быть расположен на одном конце блока, рядом с реакционной емкостью.

Реакционная емкость может также содержать устройства для смешивания водной реакционной смеси, например, мешалку.

Неожиданно было обнаружено, что описанный выше внешний цикл регулирования температуры также может использоваться в качестве устройства для перемешивания. Поток водной реакционной смеси, который проходит через цикл регулирования температуры и впрыскивается обратно в реакционную емкость, вызывает циркуляцию водной реакционной смеси внутри реакционного сосуда, что достаточно для смешивания водной реакционной смеси.

Предпочтительно в мобильном блоке биоконверсии мешалку не используют. Мешалка является дополнительным механическим устройством, которое увеличивает техническую сложность блока. При использовании внешнего цикла регулирования температуры для перемешивания вместо мешалки техническая сложность может быть уменьшена, при этом можно обеспечить достаточное перемешивание в ходе биоконверсии. Преимущественно, без мешалки этап транспортировки осуществляют просто, так как нет необходимости должна демонтировать мешалку перед транспортировкой, в качестве дополнительного технического компонента. Кроме того, если блок биоконверсии не включает мешалку, этим обеспечивается большая универсальность в отношении формы, требований к механической стабильности и размера блока биоконверсии. В частности, если мобильный блок биоконверсии не включает мешалку и перемешивание осуществляют посредством внешнего цикла регулирования температуры, проще установить мобильный блок биоконверсии горизонтально.

Добавление акрилонитрила к содержимому блока биоконверсии может осуществляться различными способами. Акрилонитрил может добавляться в реакционный сосуд или может быть добавлен в цикл регулирования температуры, например, после насоса и перед теплообменником или после теплообменника. Введение акрилонитрила в цикл регулирования температуры обеспечивает хорошее смешивание реакционной смеси со свежедобавленным акрилонитрилом. Предпочтительно, между насосом и теплообменником осуществляют добавление акрилонитрила.

На Фигуре 3 схематически представлен вариант осуществления мобильного блока биоконверсии с интегрированным циклом регулирования температуры. Блок биоконверсии содержит раму (10), установленную на раму реакционную емкость с двойными стенками, содержащую внешнюю стенку (11) и внутреннюю стенку (12). Предпочтительные объемы реакционной емкости уже указывались. В соответствии с другими вариантами осуществления реакционная емкость является самонесущей, а рама (10) отсутствует. Реакционную емкость заполняют реакционной смесью. Блок биоконверсии также содержит внешний цикл регулирования температуры, содержащий, по меньшей мере, насос (13) и блок (14) регулирования температуры. С помощью насоса (13) осуществляют циркуляцию реакционной смеси из реакционной емкости в блок (14) регулирования температуры и обратно в емкость для хранения, предпочтительно через впрыскивающую форсунку (16). В изображенном варианте осуществления изобретения акрилонитрил вводят в цикл регулирования температуры, в результате чего обеспечивается эффективное перемешивание (15). Акрилонитрил может добавляться до или после блока регулирования температуры. На Фигуре 3 показан вариант осуществления, в котором акрилонитрил добавляют в цикл регулирования температуры между насосом и теплообменником. Поток реакционной смеси, впрыскиваемый обратно в реакционную емкость, вызывает циркуляцию реакционной смеси в реакционной емкости, в результате чего обеспечивается достаточное перемешивание компонентов реакционной смеси.

Количество реакционной смеси, которое рециркулируется в час в цикле регулирования температуры, подбирают таким образом, чтобы достигалось достаточное перемешивание с содержимым реактора, а также достаточное регулирование температуры. В соответствии с одним из вариантов осуществления изобретения количество реакционной смеси, которое рециркулируется в час в цикле регулирования температуры, может составлять 100% - 1000% от общего объема реакционной смеси в блоке биоконверсии, в частности, 200% - 1000% и, например, 500% - 800%.

Отходящие газы блока биоконверсии могут содержать акрилонитрил, акриловую кислоту и акриламид. При необходимости, в соответствии с применимыми правилами такие отходящие газы могут подвергаться обработке способами, известными специалистам. Например, отходящие газы могут сжигаться.

В соответствии с одним из вариантов осуществления изобретения может осуществляться промывка всех отходящих газов, содержащих акрилонитрил, акриловую кислоту и акриламид, в скруббере. Объем емкости скруббера 1 $м^3$ - 100 $м^3$, предпочтительно 5 $м^3$ - 100 $м^3$, более предпочтительно 10 $м^3$ - 100 $м^3$. Она может представлять собой, например, ISO-контейнер или мобильную емкость для хранения, предпочтительно емкость с двойными стенками. Вода для скруббера предпочтительно может собираться в резервуаре и может повторно использоваться при биоконверсии следующей партии материала.

Удаление биомассы

После биоконверсии реакционная емкость содержит водный раствор акриламида, который все еще содержит суспендированный в нем биокатализатор.

Биокатализатор предпочтительно перед полимеризацией удаляют полностью, практически полностью или частично, однако в каждом случае удаление биокатализатора может не быть необходимым. Необходимость удаления биокатализатора существенно зависит от двух факторов: влияет ли отрицательно оставшийся биокатализатор на полимеризацию и/или свойства полученного полиакриламида, и/или влияет ли отрицательно биокатализатор на применение полученного раствора полиакриламида. В соответствии с одним из вариантов осуществления изобретения осуществляют удаление, по меньшей мере, 75%, предпочтительно, по меньшей мере, 90 мас.% биомассы из расчета на общее количество присутствующей биомассы.

Может использоваться любой способ удаления биокатализатора. Сепарация биокатализатора может осуществляться, например, путем фильтрации или центрифугирования. В соответствии с другими вариантами осуществления для сепарации может использоваться активный углерод.

С точки зрения процесса, в отношении удаления биокатализатора существует несколько вариантов.

В еще одном варианте осуществления изобретения водный раствор акриламида, содержащий биокатализатор, удаляют из блока биоконверсии, подают через блок для удаления биокатализатора, и после этого водный раствор акриламида подают соответствующий блок для хранения акриламида, предпочтительно, мобильный блок хранения акриламида в соответствии с описанием выше.

В еще одном варианте осуществления изобретения водный раствор акриламида, содержащий биокатализатор, удаляют из блока биоконверсии, подают через блок для удаления биокатализатора, и после этого водный раствор акриламида подают непосредственно в блок разбавления мономеров, т.е. без промежуточного хранения в блоке хранения акриламида.

В еще одном варианте осуществления изобретения водный раствор акриламида, содержащий биокатализатор, удаляют из блока биоконверсии и подают непосредственно в блок разбавления мономеров, т.е. без удаления биокатализатора. В указанном варианте осуществления биокатализатор присутствует в растворе в ходе разбавления мономеров и удаляется лишь после получения водного раствора мономеров в соответствии с описанием ниже.

В еще одном варианте осуществления изобретения водный раствор акриламида, содержащий биокатализатор, удаляют из блока биоконверсии, подают через блок для удаления биокатализатора, и после этого водный раствор акриламида подают обратно в блок биоконверсии. Чтобы обеспечить полное удаление раствора из блока биоконверсии перед повторным заполнением раствором акриламида, блок для удаления биокатализатора должен содержать буферную емкость с объемом, достаточным для абсорбции содержимого блока биоконверсии.

Для частичного и/или полного удаления биокатализатора могут применяться, например, вышеуказанные способы удаления биокатализатора. Кроме того, предпочтительно, чтобы полностью или частично удаленный биокатализатор можно было повторно использовать в ходе последующей реакции биоконверсии.

Получение акриловой кислоты или ее солей

В контексте настоящего изобретения в качестве сомономеров, помимо акриламида, может использоваться акриловая кислота или ее соли. По существу, для способа согласно настоящему изобретению может использоваться любой тип акриловой кислоты, например, акриловая кислота, полученная каталитическим окислением пропена.

Акриловая кислота может быть представлена в анионной форме. В других вариантах осуществления могут использоваться водные растворы солей акриловой кислоты, например, водные растворы акрилата натрия.

В соответствии с одним из вариантов осуществления изобретения аммонийакрилат, который может быть получен посредством ферментативного гидролиза акрилонитрила, может быть использован для осуществления способа по настоящему изобретению (далее также - «биоакрилат»).

В предпочтительном варианте осуществления настоящего изобретения производство акрилата аммония путем ферментативного гидролиза акрилонитрила также осуществляют в модульном блоке в локации А. Соответствующие ферменты описаны в документе WO 97/21827 A1 и в приведенных там ссылочных документах, кроме того, в указанной публикации описаны также соответствующие условия для проведения реакции. Производство биоакрилата может осуществляться с использованием реакторов с мешалкой или петлевых реакторов, в частности, также может использоваться мобильное устройство биоконверсии в соответствии с описанием выше.

Производство биоакрилата в локации А также позволяет сократить транспортные расходы. Несмотря на то, что акриловая кислота может подаваться в локацию А в виде чистого соединения, ее молекулярная масса примерно на ~ 36% выше, чем у акрилонитрила.

Хранение мономеров

По существу, этап [1] может осуществляться как процесс с оперативной поставкой материалов по мере надобности (система управления запасами «точно в срок»), то есть поставку мономеров в локацию А осуществляют, когда в мономерах появляется потребность, и мономеры отводят непосредственно из емкостей, в которых осуществляют их транспортировку. Однако для обеспечения бесперебойной работы предпочтительно иметь в наличии, по меньшей мере, некоторые емкости для хранения мономеров в локации А.

В зависимости от химической природы любые используемые водорастворимые моноэтиленненасыщенные мономеры могут поставляться в локацию А в виде чистых мономеров или в виде водных растворов. Как уже указывалось выше, в локацию А также можно подавать премикс мономера.

В мобильных блоках хранения предпочтительно может осуществляться хранение акриламида и других водорастворимых моноэтиленненасыщенных мономеров, таких как акриловая кислота, ATBS или DMA3Q, или их смесей. За

более подробной информаций о таких мобильных блоках хранения для мономеров мы ссылаемся на описание выше для акрилонитрила.

Мономеры могут доставляться в локацию А с использованием автоцистерн, ISO-контейнеров или железнодорожного транспорта и закачиваться в мобильные блоки для хранения.

Мобильные блоки хранения, в целом, могут иметь любую форму и ориентацию. Они могут быть, например, цилиндрическими или прямоугольными, кроме того, блоки хранения могут быть расположены горизонтально или вертикально. Единственным ограничительным условием для объема и размеров блоков хранения является то, что они должным быть мобильными. Объем может составлять, например, до 200 $м^3$, например, блоки хранения могут иметь объем 60 $м^3$ - 80 $м^3$ или 120 $м^3$ - 180 $м^3$.

В соответствии с одним из вариантов осуществления изобретения для хранения мономеров может использоваться мобильный блок хранения со встроенным циклом регулирования температуры, показанный на Фигуре 1 выше.

В соответствии с еще одним из вариантов осуществления изобретения для хранения мономеров может использоваться отдельный внешний блок хранения со встроенным циклом регулирования температуры, показанный на Фигуре 2 выше.

В еще одном варианте осуществления мобильный блок хранения представляет собой вертикальный цилиндр с конической секцией в нижней части и клапан в нижней части для удаления жидкостей. Преимуществом такой конструкции является то, что на опорожнение может осуществляться просто за счет силы тяжести. Блок хранения также может включать цикл охлаждения.

Если существует необходимость в хранении больших объемов, можно использовать несколько блоков хранения для одного и того же мономера. Преимущественно блоки хранения могут быть соединены друг с другом, например, трубами, так что они могут заполняться и опорожняться вместе, и, кроме того, предпочтительно, для охлаждения всех блоков хранения вместе может использоваться только один блок охлаждения.

Как правило, температура моноэтиленненасыщенных мономеров, таких как акриламид, акриловая кислота, ATBS или DMA3Q, не должна превышать 25 °C - 30 °C.

Чистые ассоциативные мономеры в соответствии с описанием выше могут представлять собой воскообразные твердые вещества, а их хранение может осуществляться при комнатной температуре. Их хранение также может осуществляться в виде водных растворов, например, в виде водных растворов, содержащих около 85 мас.% ассоциативного мономера. Поскольку количества ассоциативных мономеров значительно меньше, чем количества других моноэтиленненасыщенных мономеров, можно использовать более блоки для хранения меньшего размера по сравнению с описанными выше.

Для полимеризации кислотные мономеры, такие как акриловая кислота или ATBS, зачастую частично или полностью нейтрализуются с использованием соответствующих оснований.

Хранение оснований, например, водных растворов NaOH, также может осуществляться в емкостях для хранения в соответствии с описанием выше. Цикл охлаждения не является обязательным. Напротив, в зависимости от климатических условий может потребоваться нагрев емкости, например, нагрев с помощью нагревательного элемента, поскольку концентрированный NaOH замерзает при около +15°C.

Добавление мономеров

Водный раствор мономеров для полимеризации содержит воду и 15 мас.% - 50 мас.%, в частности, 15 мас.% - 35 мас.% водорастворимых моноэтиленненасыщенных мономеров (из расчета на общее количество всех компонентов водного раствора мономеров). Растворимые в воде моноэтиленненасыщенные мономеры содержат, по меньшей мере, акриламид, предпочтительно биоакриламид.

Концентрация мономеров может быть подобрана специалистом в соответствии с необходимостью. Более подробная информация о соответствующем подборе концентрации мономеров приводится ниже.

В соответствии с одним из вариантов осуществления изобретения концентрация мономеров составляет 15 мас.% - 24,9 мас.%, например, 20 - 24,9 мас.%, из расчета на общее количество всех компонентов водного раствора мономеров.

Для приготовления водного раствора мономеров используемые водорастворимые моноэтиленненасыщенные мономеры смешивают друг с другом. Все мономеры и, при необходимости, добавки могут смешиваться друг с другом на одном этапе, однако также можно смешивать некоторые мономеры на одном этапе, а дополнительные мономеры добавлять на втором этапе. Кроме того, для регулирования концентрации мономеров может добавляться вода. В качестве воды, которую используют для регулирования концентрации мономеров, можно использовать воду, которую в некоторых случаях используют для промывки линий в ходе переноса раствора мономеров в установку полимеризации.

К водному раствору мономеров могут добавляться дополнительные добавки и вспомогательные вещества.

Примеры таких дополнительных добавок и вспомогательных веществ включают основания или кислоты для регулирования значения pH. В определенных вариантах осуществления изобретения значение pH водного раствора регулируют до значений в диапазоне pH 4 - pH 7, например, pH 6 - pH 7.

Примеры других добавок и вспомогательных веществ включают комплексообразующие агенты, пеногасители, поверхностно-активные вещества, агенты переноса заряда или стабилизаторы.

В соответствии с одним из вариантов осуществления изобретения, водный раствор мономеров содержит, по меньшей мере, один стабилизатор для предотвращения разложения полимера. Стабилизаторы для предотвращения разложения полимера представляют собой так называемые «ловушки свободных радикалов», то есть соединения, которые могут реагировать со свободными радикалами (например, свободными радикалами, образующимися при нагревании, воздействии света, окислительно-восстановительных процессах), таким образом предотвращается агрессивное воздействие указанных радикалов, и, следовательно, разложение полимера не происходит. Специалистам известны способы применения стабилизаторов такого типа для стабилизации водных растворов полиакриламидов, как описано, например, в WO 2015/158517 A1, WO 2016/131940 A1 или WO 2016/131941 A1.

Стабилизаторы могут быть выбраны из группы неполимеризуемых стабилизаторов и полимеризуемых стабилизаторов. Полимеризуемые

стабилизаторы содержат моноэтиленненасыщенную группу и встраиваются в полимерную цепь в процессе полимеризации. Неполимеризуемые стабилизаторы не содержат моноэтиленненасыщенных групп и не встраиваются в полимерную цепь.

В одном из вариантов осуществления изобретения стабилизаторы представляют собой неполимеризуемые стабилизаторы, выбранные из группы соединений серы, стерически затрудненных аминов, N-оксидов, нитрозосоединений, ароматических гидроксильных соединений или кетонов.

Примеры соединений серы включают тиомочевину, замещенные тиомочевины, такие как N,N'-диметилтиомочевина, N,N'-диэтилтиомочевина, N,N'-дифенилтиомочевина, тиоцианаты, например, тиоцианат аммония или тиоцианат калия, тетраметилтиурам дисульфид, и меркаптаны, такие как 2-меркаптобензотиазол или 2-меркаптобензимидазол или его соли, например, соли натрия, диметилдитиокарбамат натрия, 2,2'-дитиобис(бензотиазол), 4,4'-тиобис(6-трет-бутил-м-крезол).

Дополнительные примеры включают дициандиамид, гуанидин, цианамид, параметоксифенол, 2,6-ди-трет-бутил-4 -метилфенол, бутилгидроксианизол, 8-гидроксихинолин, 2,5-ди(трет-амил)гидрохинон, 5-гидрокси-1,4-нафтохинон, 2,5-ди(трет-амил)гидрохинон, димедон, пропил 3,4,5-тригидроксибензоат, N-нитрозофенилгидроксиламин аммония, 4-гидрокси-2,2,6,6-тетраметилоксипиперидин, (N-(1,3-диметилбутил)-N'-фенил-п-фенилендиамин и 1,2,2,6,6-пентаметил-4-пиперидинол.

Предпочтительными являются пространственно стесненные амины, такие как 1,2,2,6,6-пентаметил-4-пиперидинол и соединения серы, предпочтительно меркапто-соединения, в частности, 2-меркаптобензотиазол или 2-меркаптобензимидазол или их соответствующие соли, например, соли натрия, и особенно предпочтительными являются 2-меркаптобензотиазол или его соли, например, соли натрия.

Количество таких неполимеризуемых стабилизаторов (если они присутствуют) может составлять 0,1 % - 2,0 мас.%, из расчета на общее количество всех мономеров в водном растворе мономеров, предпочтительно 0,15 % - 1,0 мас.%, более предпочтительно 0,2 мас.% - 0,75 мас.%.

В еще одном варианте осуществления изобретения стабилизаторы представляют собой полимеризуемые стабилизаторы с замещением моноэтиленненасыщенной группой. Примеры стабилизаторов, содержащих моноэтиленненасыщенные группы, включают сложные эфиры (мет)акриловой кислоты с 1,2,2,6-пентаметил-4-пиперидинолом или другие моноэтилен-ненасыщенные группы, содержащие группы 1,2,2,6,6-пентаметилпиперидин-4-ила. Частные примеры соответствующих полимеризуемых стабилизаторов описаны в WO 2015/024865 A1, стр. 22, строки 9 - 19. В соответствии с одним из вариантов осуществления изобретения стабилизатор представляет собой сложный эфир (мет)акриловой кислоты с 1,2,2,6,6-пентаметил-4-пиперидинолом.

Количество полимеризуемых стабилизаторов (если они присутствуют) может составлять 0,01 % - 2 мас.%, из расчета на общее количество всех мономеров в водном растворе мономеров, предпочтительно 0,02 % - 1 мас.%, более предпочтительно 0,05 % - 0,5 мас.%.

В соответствии с одним из вариантов осуществления изобретения, водный раствор мономеров содержит, по меньшей мере, одно неполимеризуемое поверхностно-активное вещество. Добавление таких поверхностно-активных веществ целесообразно, в частности, при использовании ассоциативных мономеров. Для такого рода полиакриламидов использование поверхностно-активных веществ приводит к заметному улучшению свойств продукта. Примеры соответствующих поверхностно-активных веществ, включая их предпочтительные количества, описаны в WO 2015/158517 A1, стр. 19, строка 23 – стр. 20, строка 27. Количество таких неполимеризуемых ПАВ (если они присутствуют) может составлять 0,1 % - 5 мас.%, например, 0,5 - 3 мас.%, из расчета на общее количество всех используемых мономеров. Также, при использовании ассоциативных мономеров может быть целесообразно добавление противовспенивателя.

В целом, для приготовления водного раствора мономеров может использоваться любое оборудование, пригодное для смешивания мономеров, например, емкость с мешалкой.

Предпочтительно, получение водного раствора мономеров осуществляют в мобильном блоке разбавления мономеров.

В соответствии с одним из вариантов осуществления изобретения мобильный блок разбавления мономеров представляет собой блок схожий с мобильным блоком биоконверсии в соответствии с описанием выше. Использование практически одного и того же оборудования для хранения акрилонитрила или других мономеров, для этапа биоконверсии и для разбавления мономеров обеспечивает экономичность способа получения водных растворов акриламида.

Блок разбавления мономеров включает емкость для разбавления мономеров, в которой осуществляют смешивание мономеров, воды и, при необходимости, других компонентов.

Объем емкости для разбавления мономеров специально не ограничен и может находиться в диапазоне 10 $м^3$ - 150 $м^3$, например, объем может составлять около 20 $м^3$ - 90 $м^3$. Мобильный блок разбавления мономеров может иметь одинарные или двойные стенки и может быть расположен горизонтально или вертикально.

Блок разбавления мономеров также содержит устройство для регулирования температуры водного раствора мономеров. Как правило, температура водного раствора мономеров должна составлять не более 30 °С, предпочтительно не более 25°С, например, -5°С – +5°С. Блок разбавления мономеров также содержит устройство для измерения и регулирования температуры.

Для регулирования температуры блок разбавления мономеров включает внешний цикл регулирования температуры, содержащий насос, который закачивает содержимое водного реактора из емкости для хранения через теплообменник и обратно в емкость для хранения, предпочтительно через впрыскивающую форсунку.

Цикл регулирования температуры может представлять собой отдельный мобильный блок регулирования температуры, содержащий насос и теплообменник, который соединен с емкостью для разбавления мономеров трубами или гибкими трубками. В еще одном варианте осуществления изобретения, цикл регулирования температуры может быть встроен в мобильный блок для хранения. Например, он может быть расположен на одном конце блока, рядом с емкостью для разбавления мономеров.

Емкость для разбавления мономеров может быть снабжена перемешивающим устройством для смешивания компонентов водного раствора мономеров.

Тем не менее, как и в случае с биореактором, в качестве устройства для перемешивания может использоваться внешний цикл регулирования температуры. Поток водной смеси мономеров, который проходит через цикл регулирования температуры и впрыскивается обратно в емкость для разбавления мономеров, вызывает циркуляцию водной реакционной смеси внутри реакционного сосуда, что достаточно для смешивания водной реакционной смеси.

На Фигуре 4 схематически представлен один вариант осуществления мобильного блока разбавления мономеров. Блок разбавления мономеров включает раму (20), установленную на раму емкость для разбавления мономеров с двойными стенками, содержащую внешнюю стенку (21) и внутреннюю стенку (22). В еще одном варианте осуществления изобретения емкость для разбавления мономеров является самонесущей, и рама не требуется. Емкость для разбавления мономеров заполняют смесью мономеров. Блок разбавления мономеров также содержит внешний цикл регулирования температуры, содержащий, по меньшей мере, насос (23) и блок (24) регулирования температуры. С помощью насоса (23) осуществляют циркуляцию смеси мономеров из емкости для хранения в блок (24) регулирования температуры и обратно в емкость для хранения, предпочтительно через впрыскивающую форсунку (25). Добавление мономеров может осуществляться непосредственно в емкость для хранения или в цикл (26) регулирования температуры, как показано на Фигуре 4. Поток смеси мономеров, впрыскиваемый обратно в емкость для разбавления мономеров, вызывает циркуляцию смеси мономеров в емкости для хранения, в результате чего обеспечивается достаточное перемешивание компонентов смеси мономеров.

В еще одном варианте осуществления изобретения может использоваться отдельный цикл регулирования температуры.

Смешивание мономеров, которые должны смешиваться друг с другом и с водой, предпочтительно осуществляют в емкости для разбавления мономеров, тем не менее, в соответствии с еще одним вариантом осуществления можно добавлять мономеры в цикл регулирования температуры. Зачастую целесообразно добавлять

в емкость для разбавления мономеров сначала воду, а затем один или несколько других мономеров и/или кислот или оснований и/или других добавок. При использовании кислотных мономеров, таких как акриловая кислота, их необходимо нейтрализовать перед добавлением акриламида. В случае сополимеров, содержащих акриловую кислоту и акриламид, вначале в емкость может добавляться необходимое количество воды, затем NaOH, затем акриловая кислота и затем акриламид.

Другие, при необходимости, присутствующие добавки, такие как комплексообразующие агенты, пеногасители, поверхностно-активные вещества, агенты переноса заряда или стабилизаторы, как указано выше, могут растворяться в водных растворителях, предпочтительно в воде, с использованием соответствующих блоков для растворения, а также в растворах, которые также добавляются в емкость для разбавления мономеров.

В еще одном варианте осуществления изобретения для разбавления мономеров может также использоваться блок биоконверсии.

В предпочтительном варианте осуществления изобретения водный раствор акриламида более не содержит биокатализатор. Тем не менее, в другом варианте осуществления раствор акриламида все еще содержит биомассу. В указанном варианте осуществления биокатализатор может удаляться после получения водного раствора мономеров таким же образом, как описано выше, или может не удаляться. Критерии того, в каких случаях удаление биокатализатора может не осуществляться, уже упоминались выше.

После смешивания водный раствор мономеров подают из емкости для разбавления мономеров (или из любой другой емкости, выступающей в качестве емкости для разбавления мономеров, такого как блок биоконверсии), в блок полимеризации. Такое соединение для переноса водного раствора мономеров в дальнейшем также называется «линией подачи мономеров».

В соответствии с одним из вариантов осуществления изобретения, в емкость для разбавления мономеров могут также добавляться ассоциативные мономеры. Тем не менее, в предпочтительном варианте осуществления водные растворы ассоциативных мономеров могут дозированно добавляться в линию подачи мономеров.

В соответствии с еще одним из вариантов осуществления изобретения для разбавления мономеров может также использоваться сам блок полимеризации. Как будет подробно описано ниже, блок полимеризации может быть соединен с блоком регулирования температуры перед полимеризацией, таким образом, чтобы непосредственно перед началом полимеризации осуществлялось регулирование и регулирование температуры раствора мономеров. Как будет подробно описано ниже, блок полимеризации может включать впрыскивающие форсунки для азота или других инертных газов, чтобы инертировать содержимое блока полимеризации, и в результате такого впрыскивания инертных газов также происходит эффективное смешивание содержимого блока полимеризации. Кроме того, возможны различные комбинации, например, в отдельном блоке разбавления мономеров может быть получен концентрат мономеров, а разбавление водного раствора мономеров может осуществляться в блоке полимеризации с использованием дополнительных количеств воды. В еще одном примере, в отдельный мобильный блок разбавления мономеров кислоты или основания могут, при необходимости, не добавляться, а могут добавляться непосредственно в блок полимеризации.

Этап [1] – Полимеризация водного раствора мономеров

На этапе [1] осуществляют полимеризацию водного раствора мономеров, полученного в соответствии с описанием выше, в присутствии подходящих инициаторов радикальной полимеризации в адиабатических условиях, в результате чего получают водный полиакриламидый гель. Этап [1] осуществляют в локации А.

Такой метод полимеризации также кратко именуется специалистами «адиабатическая гель-полимеризация». Перемешивание в реакторах для адиабатической гель-полимеризации не осуществляют. Из-за относительно высокой концентрации мономеров используемый водный раствор мономеров в процессе полимеризации затвердевает, в результате чего получают водный полимерный гель. Определение термина «полимерный гель» приведено, например, L. Z. Rogovina et al., Polymer Science, Ser. C, 2008, том 50, № 1, стр. 85–92.

Термин «адиабатический» известен специалистам и означает процесс, при котором система не обменивается теплотой с окружающим пространством. Очевидно, что такие идеальные условия трудно осуществимы на практике в химическом производстве. Следовательно, в контексте настоящего изобретения

термин «адиабатический» означает «практически адиабатический», т.е. означает, что реактор в ходе полимеризации не получает какого-либо тепла извне в ходе полимеризации, то есть не нагревается, и реактор не охлаждается. Тем не менее, специалисту понятно, что в соответствии с внутренней температурой реактора и температурой окружающей среды через стенку реактора определенные количества тепла могут выделяться или поглощаться из-за температурных градиентов, однако этот эффект естественно играет все меньшую роль с увеличением размера реактора.

При полимеризации водного раствора мономеров выделяется тепло полимеризации. Из-за адиабатических условий реакции в ходе полимеризации температура смеси полимеризации поднимается.

Тип блока полимеризации для осуществления настоящего изобретения специально не ограничивается. Предпочтительно, блок полимеризации представляет собой мобильный блок полимеризации. Его транспортировка может осуществляться, например, с использованием грузовых автомобилей или железнодорожных вагонов

Объем мобильного блока полимеризации предпочтительно составляет более 1 $м^3$, например, объем может составлять 1 $м^3$ - 200 $м^3$. В соответствии с одним из вариантов осуществления объем блока для полимеризации составляет 5 $м^3$ - 40 $м^3$, более предпочтительно 20 - 30 $м^3$. В других вариантах осуществления могут использоваться блоки полимеризации большего объема, например, с объемом 100 $м^3$ - 200 $м^3$ или 120 $м^3$ - 160 $м^3$.

Блок полимеризации может иметь цилиндрическую или коническую форму. Предпочтительно блок полимеризации имеет цилиндрическую форму с коническим сужением в нижней части и отверстием в нижней части для удаления водного полиакриламидного геля. В соответствии с одним из вариантов осуществления изобретения между нижней частью конического конуса и отверстием в нижней части может быть предусмотрена дополнительная цилиндрическая секция. Внутренняя стенка блока полимеризации предпочтительно может иметь антиадгезионное покрытие. В целом, антиадгезионные покрытия известны специалистам из уровня техники. Примеры включают полипропилен, полиэтилен, эпоксидные смолы и фторсодержащие полимеры, такие как политетрафторэтилен или перфторалкокси полимеры.

На Фигуре 5 схематически показан один вариант осуществления блока полимеризации (в дальнейшем также именуемого «блок полимеризации P1»), используемого в соответствии с настоящим изобретением. Блок полимеризации P1 включает цилиндрическую верхнюю часть (30) и коническую часть (31) снизу. В нижней части находится нижнее отверстие (32), которое можно открывать и закрывать. После полимеризации через отверстие (32) осуществляют удаление образовавшегося полиакриламидного геля. Кроме того, блок содержит устройство (33), например, ножки или подобные элементы, которые позволяют установить блок полимеризации вертикально.

В соответствии с одним из вариантов осуществления диаметр (D) блока полимеризации в цилиндрической секции может составлять, в частности, 1,5 м - 2,5 м, 2 м - 2,5 м, а длина (L) цилиндрической секции может составлять 4 м - 6 м, предпочтительно 5 м - 6 м. Угол конуса α в конической части может составлять 15° - 90°, предпочтительно 20° - 40°. Объем мобильного блока для полимеризации P1, описанного в настоящем документе, может предпочтительно составлять 20 - 30 $м^3$. Помимо отверстия (32), блок полимеризации P1 включает один или несколько отверстий для подачи водного раствора мономеров, растворов инициатора, газов, таких как азот, или других добавок. Внутренняя стенка блока полимеризации P1 может иметь антиадгезионное покрытие. Диаметр нижнего отверстия (32) может составлять, например, 0,2 - 0,8 м, в частности, 0,4 - 0,7 м, предпочтительно 0,5 - 0,7 м.

Другие варианты осуществления изобретения включают блоки полимеризации P1, имеющие в основном такую же форму, то есть имеющие цилиндрическую верхнюю часть и коническую часть внизу и нижнее отверстие, однако диаметр составляет около 3 м - 4,5 м, длина цилиндрической части – 10 м - 12 м, а длина конусной секции составляет 1,5 м - 2,5 м.

Для полимеризации и удаления полимерного геля функционирование блока полимеризацию P1 осуществляют в вертикальном положении, как показано на Фигуре 5. Для транспортировки его предпочтительно можно разместить горизонтально.

Для полимеризации водный раствор мономеров, полученный на этапе [1], подают в блок полимеризации, в частности, в блок полимеризации P1. Для этой цели блок разбавления мономеров (или любой другой блок, выступающий в

качестве емкости для разбавления мономеров, например, блок биоконверсии), соединяют с блоком полимеризации с помощью линии подачи мономеров.

Как указано выше, в еще одном варианте осуществления изобретения водный раствор мономеров может быть получен в самом блоке полимеризации. В таком варианте осуществления блок полимеризации уже заполнен водным раствором мономеров.

Полимеризацию осуществляют в присутствии подходящих инициаторов радикальной полимеризации. Соответствующие инициаторы радикальной полимеризации, в частности, адиабатической гель-полимеризации, известны специалистам.

В предпочтительном варианте осуществления изобретения для инициации полимеризации используются окислительно-восстановительные инициаторы. Окислительно-восстановительные инициаторы могут инициировать могут инициировать свободнорадикальную полимеризацию даже при температурах менее +5 °C. Примеры окислительно-восстановительных инициаторов известны специалистам и включают системы на основе Fe^{2+}/Fe^{3+} - H_2O_2, Fe^{2+}/Fe^{3+}-алкилгидропероксидов, системы на основе алкилгидропероксидов - сульфита, например, трет-бутилгидропероксид - сульфит натрия, пероксидов - тиосульфата или алкилгидропероксидов - сульфинатов, например, алкилгидропероксиды/ гидроксиметан-сульфинаты, например, трет-бутилгидропероксид – гидроксиметансульфинат натрия.

Кроме того, могут быть использованы водорастворимые азоинициаторы. Азоинициаторы предпочтительно являются полностью растворимыми в воде, но достаточно, чтобы они растворялись в растворе мономеров в необходимом количестве. Предпочтительно, могут использоваться азоинициаторы с температурой, при которой период полураспада инициатора составляет 10 часов (10 ч. $t_{1/2}$), 40°C - 70°C в воде. Температура, при которых период полураспада азоинициаторов составляет 10 ч., - это параметр, известный специалистам. Этот параметр описывает температуру, при которой через 10 ч. происходит распад половины от первоначально присутствующего количества инициатора.

Примеры соответствующих азоинициаторов с температурой 10 ч. $t_{1/2}$ в диапазоне 40 - 70°C включают 2,2'-азобис[2-(2-имидазолин-2-ил)пропан]

дигидрохлорид (10 ч. $t_{1/2}$ (вода): 44°C), 2,2'-азобис(2-метилпропионамидин) дигидрохлорид (10 ч. $t_{1/2}$ (вода): 56°C), 2,2'-азобис[N-(2-карбоксиэтил)-2-метилпропионамидин гидрат (10 ч. $t_{1/2}$ (вода): 57°C), 2,2'-азобис{2-[1-(2-гидроксиэтил)-2-имидазолин-2-ил]пропан} дигидрохлорид (10 ч. $t_{1/2}$ (вода): 60°C), 2,2'-азобис(1-имино-1-пирролидино-2-этилпропан) дигидрохлорид (10 ч. $t_{1/2}$ (вода): 67°C) или азобис(изобутиронитрил) (10 ч. $t_{1/2}$ (толуол): 67°C).

В одном из вариантов осуществления изобретения используют комбинацию, по меньшей мере, одного окислительно-восстановительного инициатора и, по меньшей мере, одного азоинициатора. Окислительно-восстановительный инициатор эффективно инициирует полимеризацию уже при температуре менее + 5 °C. Когда реакционная смесь нагревается, азоинициаторы также разлагаются и также инициируют полимеризацию.

Инициаторы предпочтительно добавляют к водному раствору мономеров в виде водных растворов. Исходное сырье инициатора может храниться в локации A в контейнере для холодильного хранения продуктов. Растворение инициаторов в воде может осуществляться с использованием соответствующих емкостей для разбавления инициатора. Емкость для разбавления инициатора может включать цикл регулирования температуры. Вместо собственного цикла регулирования температуры для растворения инициаторов может использоваться холодная вода, например, вода с температурой менее +5 °C. Емкости для разбавления инициатора могут также включать устройство для смешивания, например, мешалку. Тем не менее, смешивание также может осуществляться путем барботирования инертного газа через водную смесь, в результате чего осуществляют одновременное смешивание и инертизация водной смеси. Перед использованием может осуществляться фильтрование раствора.

Когда водный раствор мономеров подают из емкости разбавления мономеров в блок полимеризации, в линию подачи мономеров могут добавляться растворы азоинициаторов. В соответствии с еще одном вариантом осуществления изобретения растворы азоинициаторов могут добавляться в емкость для разбавления мономеров заранее, при условии, что раствор мономеров уже был охлажден до температуры ниже обычной, предпочтительно — до температуры менее +5 °C, и что температура 10 ч. $t_{1/2}$ инициатора достаточно высока, чтобы разложение инициатора не происходило преждевременно.

Растворы окислительно-восстановительных инициаторов могут добавляться в линию подачи мономеров или в блок полимеризации.

Перед полимеризацией необходимо удалить кислород из реактора и реакционной смеси, подлежащей полимеризации. Дезоксигенация также именуется инертизацией.

В соответствии с одним из вариантов осуществления изобретения инертизацию осуществляют в блоке полимеризации. Для этой цели в реактор, заполненный раствором мономеров, впрыскивают инертные газы, такие как азот или аргон. Предпочтительно форсунки для впрыскивания инертных газов расположены в нижней части блока полимеризации. В блоке полимеризации P1 они могут быть расположены, например, в конусовидной секции. Пузырьки инертных газов, поднимающиеся в реакторе, удаляют кислород и одновременно эффективно перемешивают содержимое реактора. Растворы инициатора, дозированно добавляемые в реактор, смешивают с водным раствором посредством впрыскивания инертного газа.

В еще одном варианте осуществления изобретения инертизация может осуществляться в линии подачи мономеров. Инертные газы, такие как азот или аргон, могут вводиться в линию подачи. Чтобы обеспечить эффективное перемешивание вводимого газа и вводимых водных газов, зачастую желательно, чтобы линия подачи мономеров дополнительно содержала статическую смесь. Газ, впрыскиваемый в линию подачи мономеров, может удаляться перед подачей в реактор с помощью соответствующего блока дегазации, такого как блоки дегазации, описанные в WO 2003/066190 A1 или в CN 202492486 U. В еще одном варианте осуществления изобретения отдельный блок дегазации не используют, а дегазацию раствора осуществляют после подачи в блок полимеризации. В соответствии с одним из вариантов осуществления изобретения раствор мономеров подают в реактор с помощью распылительной форсунки для удаления газа.

Очевидно, можно комбинировать два варианта осуществления в отношении дегазации, т.е. продувку блока полимеризации инертными газами и дегазацию мономерной смеси.

Радикальная полимеризация начинается после добавления растворов инициатора, предпочтительно растворов окислительно-восстановительных

инициаторов, к водному раствору мономеров, в результате чего образуется водный полиакриламидный гель. Из-за тепла полимеризации, которое вырабатывается в ходе полимеризации, и адиабатических условий реакции температура в блоке полимеризации поднимается.

Далее по тексту настоящего документа температура водного раствора мономеров до начала полимеризации обозначается как T_1, а температура водного полимерного геля непосредственно после полимеризации обозначается как T_2. Очевидно, что $T_2 > T_1$.

В контексте настоящего изобретения температура T_1 не должна превышать 30 °C, в частности, температура T_1 не должна превышать 25 °C. В соответствии с одним из вариантов осуществления изобретения температура T_1 может составлять -5 °C – + 30 °C, например, -5 °C – + 25 °C или -5 °C – + 5 °C. Температура T_1 раствора мономеров может регулироваться в соответствии с описанием выше, то есть раствор мономеров может быть надлежащим образом охлажден заранее в емкости для разбавления мономеров. Разумеется, блок регулирования температуры для регулировки T_1 также может располагаться в линии подачи мономеров, или мобильный блок полимеризации может быть соединен с блоком регулирования температуры перед полимеризацией, таким образом, чтобы раствор мономеров также охлаждался в блоке полимеризации до непосредственного начала полимеризации.

Поскольку полимеризацию осуществляют в адиабатических условиях, температура T_2, достигнутая в ходе полимеризации, не зависит от внешнего нагрева или охлаждения, а зависит только от выбранных параметров полимеризации. Однако опытный специалист сможет регулировать T_2, подобрав соответствующим образом параметры полимеризации. Поскольку реакция является адиабатической, повышение температуры в ходе полимеризации в основном зависит от тепла полимеризации, вырабатывающегося в ходе полимеризации, теплоемкости содержимого блока полимеризации и температуры T_1 раствора мономеров, то есть температуры перед началом полимеризации. Из-за высокого содержания воды в смеси для полимеризации определяющим фактором в отношении теплоемкости смеси для полимеризации является теплоемкость воды, и очевидно, что ее можно измерить. Теплота полимеризации на моль (или на массу) для обычных моноэтиленненасыщенных мономеров известна специалистам, таким образом, ее можно узнать из научной литературы. Кроме того, ее также можно

измерить. Таким образом, специалист сможет рассчитать, по меньшей мере, приблизительно, теплоту полимеризации для конкретных композиций мономеров и конкретных концентраций мономеров. Чем выше концентрация моноэтиленненасыщенных мономеров в водном растворе, тем больше тепла выделяется при полимеризации. T_2 можно грубо рассчитать по параметрам, указанным выше по формуле $T_2 = T_1 +$ [(теплота полимеризации) / (удельная теплоемкость)]. Температура T_2 должна составлять, по меньшей мере, 45°C, предпочтительно, по меньшей мере, 50°C, например, 50°C -100°C, например, 55°C - 95°C. В одном из вариантов осуществления T_1 находится в диапазоне -5°C – + 25°C, а T_2 – 50°C - 95°C.

В определенных вариантах осуществления изобретения T_2 должна составлять 45°C - 70°C, в частности, 50°C - 70°C, предпочтительно 50°C - 65°C. В соответствии с одним из вариантов осуществления изобретения T_1 составляет -5°C – + 25°C, а T_2 составляет 50°C - 70°C.

Время полимеризации может составлять 2 - 24 ч., например, 3 - 6 ч.

Этап [2] — Удаление водного полиакриламидного геля

Этап [2] также осуществляют в локации А. На этапе [2] осуществляют удаление водного полиакриламидного геля из блока полимеризации. После удаления из блока полимеризации водный полимерный гель дополнительно обрабатывают путем измельчения и смешивания с водной жидкостью.

По сути, удаление водного полиакриламидного геля может осуществляться с использованием любой технологии. Выбор технологии зависит от конкретной конструкции блока полимеризации и технологического оборудования, которое подключено ниже по ходу процесса.

Удаление водного полиакриламидного геля из блока полимеризации может осуществляться, например, с помощью механических устройств. В других вариантах осуществления блок полимеризации может полностью открываться в верхней части, например, путем снятия крышки. Объем геля может удаляться из реактора практически полностью путем опрокидывания блока полимеризации. Предпочтительно водный полиакриламидный гель может удаляться под давлением путем продавливания его через отверстие в блоке полимеризации. Например, давление может создаваться с использованием механических средств, таких как

поршень, с использованием газов, например, сжатого воздуха, азота, аргона, или с использованием водных жидкостей, в частности, воды.

Для удаления полиакриламидного геля из предпочтительного блока полимеризации P1 функционирование блока полимеризацию P1 осуществляют в вертикальном положении. Удаление водного полиакриламидного геля осуществляют под давлением через открытое отверстие (26) в нижней части, давление прилагается с верхней части реактора. При этом удаление может осуществляться путем воздействия давления газа и/или воды. Примеры газов включают сжатый воздух, азот или аргон. Можно использовать практически любой вид газа при условии, что он не реагирует с полиакриламидным гелем. В еще одном варианте осуществления изобретения блок полимеризации может включать механическое устройство, например, поршень, для создания давления. Для удаления геля может применяться соответствующее давление, которое сможет подобрать специалист в данной области. Среди факторов, влияющих на выбор соответствующего давления – вязкость полиакриламидного геля, ширина нижнего отверстия (26), геометрия блока полимеризации и тип антиадгезионного слоя (если он имеется). Например, может использоваться давление в диапазоне 110 000 Па - 1 000 000 Па, в частности, 150 000 Па - 750 000 Па, например, 200 000 Па - 500 000 Па (абсолютное давление). Удалению водного полиакриламидного геля может способствовать тонкая водяная пленка на внутренних стенках реактора, в частности, на стенках конической части реактора. Такая тонкая водная пленка может быть создана путем введения в реактор воды или водной жидкости через тонкие отверстия в стенке реактора, в частности, через отверстия в конической части. Если некоторое количество водного акриламидного геля остается в блоке полимеризации, для его удаления блок полимеризации можно промыть водой. В еще одном варианте осуществления изобретения водный полиакриламидный гель может оставаться в блоке полимеризации до следующей полимеризации.

Нижнее отверстие (26) блока полимеризации P1 может быть соединено с блоком измельчения (если таковой имеется), или непосредственно с соответствующим блоком растворения, например, с емкостью с мешалкой. Указанное соединение может представлять собой просто трубу, но оно также может включать устройства для подачи геля, такие как, например, шнековые транспортеры или ленточные конвейеры.

В других вариантах осуществления подача полиакриламидного геля может осуществляться под давлением газа из реактора полимеризации в насос. С помощью такого насоса может обеспечиваться постоянная скорость подачи и постоянное давления для следующего этапа [4] измельчения и растворения полиакриламидного геля. В зависимости от характера оборудования, используемого на этапе [4], может быть трудно обеспечить постоянную скорость подачи и постоянное давление лишь с использованием давления газа. В частности, если предполагается пропускать полиакриламидный гель через измельчающее устройство на этапе [4], в результате чего возникает значительный перепад давления, например, пропускать полиакриламидный гель через перфорированную пластину, и/или пропускать гель по относительно длинной трубе, может быть целесообразно использовать насос.

Если для транспортировки геля в одном варианте осуществления используют трубу, в трубу также может быть введено некоторое количество воды таким образом, что на стенках трубы образуется водная пленка. Такая тонкая водная пленка облегчает транспортировку геля в трубе за счет уменьшения трения и, следовательно, снижения потерь давления.

Могут использоваться любые насосы, с помощью которых может осуществляться транспортировка полиакриламидного геля, в частности, могут использоваться нагнетательные насосы, такие как винтовой насос кавитационного типа или насос с винтовым шпинделем.

Этап [3] — Измельчение водного полиакриламидного геля и смешивание его с водной жидкостью

На этапе [3] осуществляют измельчение водного полиакриламидного геля и смешивание с водной жидкостью, в результате чего получают водный концентрат полиакриламида с концентрацией полиакриламидов 1,0 - 14,9 мас.%, из расчета на общую массу всех компонентов водного концентрата полиакриламида. Этап [3] осуществляют в локации А.

Как будет подробно описано ниже, концентрат, при необходимости, может быть дополнительно разбавлен на более позднем этапе способа, то есть после транспортировки концентратов в локацию В. Таким образом, термин «концентрат» в контексте настоящего изобретения используют для того, чтобы четко отличить

концентраты, полученные на этапе [3] и транспортируемые в локацию B на этапе [4], от более разбавленных водных растворов полиакриламида, которые могут быть получены на таком дополнительном этапе разбавления после этапа [5]. В зависимости от таких параметров, как химический состав, молекулярная масса и концентрация, концентрат может также представлять собой раствор или твердое вещество (мягкой консистенции). Как правило, концентрат имеет пластичность, допускающую транспортировку насосом.

В процессе смешивания измельченного водного полиакриламидного геля с водной жидкостью в идеале должна быть получена однородная смесь полиакриламидов и водной жидкости, т.е. должен быть получен однородный водный концентрат полиакриламида. Тем не менее, изобретение не ограничивается таким вариантом осуществления и охватывает также водные концентраты полиакриламида, которые не являются абсолютно однородными.

В соответствии с одним из вариантов осуществления концентрация полиакриламидов водного концентрата полиакриламида составляет 2,1 мас.% - 14,9 мас.%, из расчета на общее количество всех компонентов водного концентрата полиакриламида, в частности, 2,1 - 10 мас.%, предпочтительно 3,1 - 10 мас.%. Более предпочтительно, концентрация составляет 3,1 - 7 мас.%, например, 4 мас.% - 6 мас.%.

Измельчение и смешивание с водной жидкостью могут осуществляться одновременно, измельчение и смешивание могут осуществляться на отдельных последовательных этапах, или некоторое количество водной жидкости может добавляться уже в ходе измельчения, а затем добавляют дополнительное количество водной жидкости. Предпочтительно, по меньшей мере, некоторое количество водной жидкости добавляют уже в процессе измельчения.

Водная жидкость, используемая для смешивания с водным полиакриламидным гелем, содержит воду. Термин «вода» включает любой вид воды, такой как опресненная вода, пресная вода или вода, содержащая соли, например, рассолы, морская вода, пластовая вода, промысловая вода или их смеси. Помимо воды, водная жидкость может содержать органические растворители, смешиваемые с водой, однако количество воды должно составлять, по меньшей мере, 70 мас.%, предпочтительно, по меньшей мере, 90 мас.%, более

предпочтительно, по меньшей мере, 95 мас. %, из расчета на общее количество всех растворителей. Добавление небольшого количества органического растворителя может быть целесообразно при производстве хладостойкого концентрата полиакриламида с пониженной температурой замерзания. Такой вариант осуществления может быть полезен, если транспортировка и/или хранение концентратов осуществляют в холодных регионах, например, в арктических регионах. В одном варианте осуществления изобретения водная жидкость содержит только воду в качестве растворителя.

Кроме того, водная жидкость может также, при необходимости, содержать добавки, такие как, например, поверхностно-активные вещества, комплексообразующие агенты, биоциды, основания, кислоты и другие подобные добавки. Тип и количества таких добавок могут быть подобраны в соответствии с целевым применением раствора водного полиакриламида. Очевидно, что добавки также могут добавляться на более позднем этапе, например, после полного растворения водного полиакриламидного геля.

Размер частиц частиц водного полиакриламидного геля, полученных на этапе измельчения, определенно не ограничен. В одном из вариантов осуществления изобретения частицы водного полиакриламидного геля должны иметь такой размер, чтобы их размер, по меньшей мере, по двум измерениям составлял не более 1 см, предпочтительно не более 0,5 см. Предпочтительно, частицы водного полиакриламидного геля имеют размер по трем измерениям не более 1 см, предпочтительно не более 0,5 см. Нижний предел размера частиц водного полиакриламидного геля отсутствует, поскольку чем меньше куски, тем легче осуществляется растворение полимера. Зачастую куски водного полиакриламидного геля могут иметь такой размер, что размер по сумме трех измерений составляет всего 0,1 см. Зачастую куски водного полиакриламидного геля имеют такой размер, что каждое из трех измерений составляет от 0,1 см до 0,5 см.

По существу, для разрушения водного полиакриламидного геля на более мелкие частицы могут использоваться любые виды измельчающих устройств. Примеры соответствующих устройств для измельчения водных полиакриламидных гелей включают режущие устройства, такие как ножи или перфорированные пластины, дробилки, месильные машины, статические смесители или устройства гидроабразивной резки.

Соответствующие блоки измельчения могут быть соединены непосредственно с блоком полимеризации. В других вариантах осуществления блок измельчения может не быть напрямую связан с блоком полимеризации, но может быть удален от него, и полиакриламидный гель транспортируют в блок измельчения, например, с помощью шнековых транспортеров, ленточных конвейеров или насосов.

Блок измельчения предпочтительно также представляет собой мобильный блок.

Когда используют предпочтительный блок полимеризации P1, нижнее отверстие (32) может быть предпочтительно соединено с блоком измельчения напрямую, или оно может быть соединено с расположенным между блоками насосом, как указано выше.

Такой вариант осуществления схематически изображен на Фигуре 6. Водный полиакриламидный гель (35) в блоке полимеризации поступает через нижнее отверстие (32) в насос (38). Насос транспортирует водный полиакриламидный гель в блок (34) измельчения, и измельченный полиакриламидный гель (36) покидает блок полимеризации для дальнейшей обработки.

По сути, может использоваться любой тип блока измельчения, например, статические блоки резки или динамические блоки резки. Следует избегать использования высоких сил сдвига, чтобы не повредить водный гель.

Статическое режущее устройство

В соответствии с одним из вариантов осуществления изобретения водный полиакриламидный гель проходит через статическое режущее устройство, такое как ножи или металлические решетки, в результате чего получают более мелкие частицы геля. Статическое режущее устройство может быть расположено непосредственно под нижним отверстием (32). В соответствии с другими вариантами осуществления насос в соответствии с описанием выше может транспортировать полиакриламидный гель в более удаленное статическое режущее устройство. Соответствующие статические режущие устройства включают перфорированные пластины или металлические решетки, такие как описаны, например, в документе US 4,605,689. В соответствии с одним из вариантов

осуществления изобретения водный гель подают через статическое режущее устройство вместе с водной жидкостью в соответствии с описанием выше, предпочтительно вместе с водой, в результате чего получают смесь кусков водного полиакриламидного геля в водной жидкости. До подачи геля в статическое режущее устройство, водную жидкость дозированно подают, например, в соединительную линию между нижним отверстием (32) и статическим режущим устройством или в соединительную линию между насосом и статическим режущим устройством. В соответствии с одним из вариантов осуществления на этом этапе добавляют не все количество водной жидкости, требующееся для достижения необходимой концентрации, а лишь часть водной жидкости. Неожиданно было обнаружено, что уже 1%, из расчета на общее количество водной жидкости значительно улучшает транспортировку водного полиакриламидного геля через статическое режущее устройство.

Перфорированная пластина

В еще одном варианте осуществления водный полиакриламидный гель подают через перфорированную пластину. Для создания давления, необходимого для подачи через перфорированную пластину, может использоваться экструдер или шнековый конвейер, или насос. При прохождении через перфорированные пластины образуется ряд раздельных нитей водного акриламидного геля. Они могут разрезаться вращающимся ножом, или может осуществляться их смывание струей воды и подача в блок растворения.

Статический смеситель

В еще одном варианте осуществления изобретения водный полиакриламидный гель подают вместе с водной жидкостью через статический смеситель, в результате чего получают смесь кусков водного полиакриламидного геля в водной жидкости. Конечно, также можно использовать несколько статических смесителей. Водную жидкость дозированно подают в продуктную линию до подачи водного полиакриламидного геля в статический смеситель, например, в соединительную линию между нижним отверстием (26) и статическим смесителем или в соединительную линию между насосом и статическим смесителем. В одном из вариантов осуществления изобретения на этом этапе добавляют все количество водной жидкости, необходимое для достижения

необходимой концентрации. В другом варианте осуществления добавляют не все количество водной жидкости.

Гидроабразивная резка

В одном варианте осуществления изобретения водный полиакриламидный гель нарезают на куски водного полиакриламидного геля с помощью блока гидроабразивной резки. В блоке гидроабразивной резки осуществляют нарезание водного полиакриламидного геля с использованием, по меньшей мере, одной струи воды при давлении, по меньшей мере, $150*10^5$ Па, в результате чего получают смесь кусков водного полиакриламидного геля в водной жидкости.

Предпочтительно секция с круговой стеной блока гидроабразивной резки имеет трубчатую форму, коническую форму или комбинацию трубчатой и конической формы. Водный полиакриламидный гель может затем поступать в блок гидроабразивной резки с одного конца, проходить через этап резки для измельчения водного полиакриламидного геля, и полученные таким образом куски водного полиакриламидного геля предпочтительно покидают блок через выпускное отверстие. Водная жидкость с этапа резки предпочтительно также покидает блок через выпускное отверстие. Таким образом, смесь кусков водного полиакриламидного геля и воды, при необходимости, содержащей растворенный полимерный гель, может формироваться на этапе резки.

Секция с круговой стеной блока гидроабразивной резки может иметь любую подходящую ориентацию. Тем не менее, предпочтительно, чтобы секция с круговой стеной была расположена практически вертикально, с входным отверстием в верхней части и с выпускным отверстием в нижней части. Верхняя часть предпочтительно может быть соединена напрямую с нижним отверстием (3) блока полимеризации с использованием соответствующих устройств.

Подача водного полиакриламидного геля может осуществляться только под воздействием силы тяжести, или подача в блок гидроабразивной резки может осуществляться под давлением, например, с помощью насоса, механической подачи, под давлением газа или под действием вакуума. Предпочтительно подачу водного полиакриламидного геля в блок гидроабразивной резки осуществляют с использованием давления газа или воды, которое воздействует на содержимое блока полимеризации P1, с образованием водного полиакриламидного геля. В

качестве альтернативы или дополнительно, подачу водного полиакриламидного геля в блок гидроабразивной резки осуществляют с использованием механических устройств подачи, например, с помощью шнеков.

Давление, по меньшей мере, одной струи воды составляет, по меньшей мере, $150*10^5$ Па. Давление может быть значительно выше, например, давление может составлять до $10\ 000*10^5$ Па. Тем не менее, как правило, давление может быть ниже, и, как правило, может использоваться более низкое давление, например, не более $7500*10^5$ Па. В одном из вариантом осуществления давление струи воды в блоке резки составляет $150*10^5$ Па - $5\ 000*10^5$ Па, предпочтительно $200*10^5$ Па - $2\ 000*10^5$ Па, более предпочтительно $250*10^5$ Па - $1\ 000*10^5$ Па.

Как правило, струя воды поступает из форсунки с отверстием соответствующего диаметра. Термин «форсунка» означает устройство, которое предназначается для управления направлением или характеристиками потока жидкости, в том числе для увеличения скорости на выходе. В целом, диаметр отверстия форсунки составляет 0,1 мм - 3,00 мм, например, 0,25 мм - 2,00 мм, или 0,25 мм - 1,00 мм, соответственно, 0,30 мм - 0,90 мм, предпочтительно 0,40 - 0,80 мм. Может предпочтительно использоваться несколько форсунок на головке, где через каждую форсунку осуществляют подачу потока водной жидкости при вышеупомянутых давлениях, по меньшей мере, 150^*10^5 Па. При использовании нескольких форсунок на головке количество форсунок может составлять, по меньшей мере, 2, например, 2 - 10 форсунок. Форсунки могут быть расположены в одной плоскости или в разных плоскостях и под разными углами. Форсунки могут быть расположены таким образом, например, над куполообразной поверхностью головки, чтобы несколько потоков расходились по разным осям. Такие несколько форсунок могут быть расположены таким образом, что потоки водной жидкости образуют решетку, и каждый поток поступает в разных направлениях.

По меньшей мере, одна форсунка может вращаться или двигаться взад и вперед.

В соответствии с одним из вариантов осуществления изобретения, по меньшей мере, одна форсунка двигается взад и вперед. Такое движение форсунки взад и вперед может создавать веерообразную форму струи воды. В этом варианте осуществления изобретения может особенно целесообразно использоваться

несколько форсунок, которые могут двигаться взад и вперед. Как правило, количество форсунок может составлять 2 - 8, предпочтительно 2 - 6. Также может быть целесообразно, чтобы несколько форсунок были расположены, по меньшей мере, на одной головке, при этом на каждой головке размещено 2 - 10 форсунок. Может быть целесообразно использование нескольких головок, например, 2 - 10 головок, при этом на каждой головке размещено несколько форсунок. В этом случае каждая из головок может двигаться взад и вперед по отдельности.

Такие несколько форсунок или несколько головок могут быть расположены вокруг водного полиакриламидного геля, так чтобы потоки воды были направлены внутрь. Такие несколько форсунок и/или несколько головок могут быть расположены равномерно, так чтобы расстояние между всеми смежными форсунками было одинаковым. В качестве альтернативы, расстояние между форсунками может быть не одинаковым.

Таким образом, когда несколько форсунок или несколько головок расположены по окружности, водный полиакриламидный гель затем проходит в пространство между расположенными по окружности форсунками и разрезается несколькими потоками водной жидкости. По меньшей мере, одна движущаяся форсунка или головка могут приводиться в движение с помощью соответствующего приводного механизма.

Кривая движения каждой движущейся форсунки может охватывать сектор до 180°. Как правило, сектор может составлять 30° - 180°, например, 35° - 75°. Точное значение для сектора зачастую будет зависеть от точного количества используемых форсунок. Частота движения должна составлять, например, до 50 сек.$^{-1}$ (циклов в секунду), как правило, 0,5 сек.$^{-1}$ - 50 сек.$^{-1}$.

Когда, по меньшей мере, одна форсунка или, например, несколько форсунок или, по меньшей мере, одна головка или, например, несколько головок расположены по окружности относительно водного полиакриламидного геля, каждая из, по меньшей мере, одной форсунки или, по меньшей мере, одной головки может вращаться по окружности вокруг водного полиакриламидного геля. Когда расположенные по окружности, по меньшей мере, одна форсунка или, по меньшей мере, одна головка вращаются, может быть целесообразно, чтобы каждая форсунка или каждая головка двигались независимо друг от друга, как указано выше. В

качестве альтернативы может быть целесообразно, чтобы расположенные по окружности, по меньшей мере, одна форсунка или, по меньшей мере, одна головка не двигались. Вращение, по меньшей мере, одной форсунки или, по меньшей мере, одной головки может обеспечиваться с помощью соответствующего приводного механизма.

В еще одном предпочтительном варианте осуществления изобретения, по меньшей мере, одна форсунка вращается, и поток образующейся водной жидкости образует круговую форму струи воды. По меньшей мере, одна форсунка может представлять собой несколько форсунок, размещенных, по меньшей мере, на одной головке. Вращение такой, по меньшей мере, одной вращающейся форсунки может осуществляться с использованием соответствующего электропривода.

Может быть целесообразно использовать более одной вращающейся форсунки, например, несколько форсунок, размещенных, по меньшей мере, на одной головке. Тем не менее, как правило, необходимо использовать лишь одну вращающуюся форсунку, или, если используется более одной форсунки, на одной головке расположены несколько форсунок.

В одном варианте осуществления изобретения, по меньшей мере, одна вращающаяся форсунка или, по меньшей мере, одна головка установлены центрально, и поток водной жидкости проходит практически перпендикулярно оси направления движения входящего водного полиакриламидного геля. В таком вариант осуществления струя водной жидкости имеет форму диска. В адаптации этого предпочтительного аспекта через вращающуюся форсунку или головку, которые установлены центрально, может поступать, по меньшей мере, один поток жидкости, который не перпендикулярен направлению входящего водного полиакриламидного геля, а вместо этого расположен под таким углом, чтобы форма, по меньшей мере, одной струи водной жидкости имела форму конуса, например, вертикального конуса, при этом, по меньшей мере, один поток водной жидкости направлен вниз, или перевернутого конуса, при этом, по меньшей мере, один поток водной жидкости направлен вверх. Если, по меньшей мере, один поток водной жидкости направлен под углом вверх или вниз, предпочтительно, чтобы угол не превышал 50° вверх или вниз от положения, которое перпендикулярно направлению входящего водного полиакриламидного геля. Предпочтительно этот угол составляет 5° - 45°, предпочтительно 10° - 35°, в частности, 15° - 25°.

В еще одном варианте осуществления изобретения, по меньшей мере, одна вращающаяся форсунка или вращающаяся головка установлена не точно по центру. Например, если этап резки находится в секция с круговой стеной, вращающаяся насадка может быть расположена рядом со стеной секция с круговой стеной. Как правило, форсунка или головка ориентированы так, чтобы они создавали, по меньшей мере, один эксцентричный рисунок струи водного потока.

Вращающаяся форсунка или вращающаяся головка могут вращаться с частотой до 3000 об./мин. (оборотов в минуту) (т.е. 50 сек.$^{-1}$ циклов в секунду)). Частота вращения может быть подобрана специалистом в соответствии с необходимостью. При более высокой частоте вращения (например, при 500 - 1000 об./мин.) происходит разрыв водного полиакриламидного геля на более мелкие части, в то время как при меньшей частоте вращения, например, 10 об/мин. - менее 500 об./мин., предпочтительно 20 - 200 об./мин. разрезание водного полиакриламидного геля происходит более правильно. В некоторых вариантах осуществления частота вращения может составлять 10 - 500 об./мин., например, 20 - 200 об./мин.

Предпочтительно, в блоке гидроабразивной резки происходит разделение водного полиакриламидного гель на множество кусков меньшего размера. Куски водного полиакриламидного геля должны иметь такой размер, чтобы их размер, по меньшей мере, по двум измерениям составлял не более 2 см, предпочтительно не более 1 см, более предпочтительно не более 0,5 см. Предпочтительно, частицы водного полиакриламидного геля имеют размер по трем измерениям не более 2 см, предпочтительно не более 1 см, предпочтительно не более 0,5 см. Нижний предел размера частиц водного полиакриламидного геля отсутствует, поскольку чем меньше куски, тем легче осуществляется растворение полимера. В соответствии с одним из вариантов осуществления изобретения куски водного полиакриламидного геля имеют такой размер, что каждое из трех измерений составляет 0,1 см - 0,5 см.

Блок гидроабразивной резки может также содержать ситовый поддон под, по меньшей мере, одним потоком водной жидкости. Он необходим для того, чтобы куски водного полиакриламидного геля большего размера не проходили на следующий этап. Ситовый поддон должен иметь отверстия, размер которых соответствует максимальному размеру частиц водного полиакриламидного геля,

которые должны проходить на следующий этап. Соответствующий ситовый поддон может представлять собой сетку, образованную множеством проволочных сеток или стержней. В качестве альтернативы, ситовый поддон может быть выполнен в виде поверхности с множеством вырезанных отверстий, например, аналогично ситу. Как правило, ситовый поддон является статическим устройством. Он должен закрывать всю область ниже, где происходит гидроабразивная резка водного полиакриламидного геля. Предпочтительно, ситовый поддон может крепиться к секции с круговой стеной.

В некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения на поверхность ситового поддона направлены дополнительные потоки водной жидкости, чтобы способствовать уменьшению размера слишком больших кусков водного полиакриламидного геля, которые попали на поддон. Может быть предпочтительно использовать один или несколько потоков водной жидкости под высоким давлением, например, по меньшей мере, $150*10^5$ Па, чтобы облегчить резку кусков водного полиакриламидного геля слишком большого размера так, чтобы водный полиакриламидный гель был разрезан на достаточно мелкие куски, чтобы пройти через отверстия в поддоне.

Желательно, чтобы внутри секции с круговой стеной была создана завеса водной жидкости. Такая завеса водной жидкости может предотвращать прилипание водного полиакриламидного геля к стенке секции с круговой стеной и снизить трение движущегося полимера, что позволяет уменьшить необходимое статическое давление или не использовать дополнительные механические устройства для перемещения полимера в область резки. Такая завеса водной жидкости может быть получена с помощью подачи вторичной водной жидкости. Как правило, давление водной жидкости составляет менее 30 бар, например, 3 бар - 20 бар, предпочтительно 5 бар - 10 бар. Вода может подаваться в кольцевую магистраль в форме кольцевого канала, которая монтирована на внутренней части секции с круговой стеной. Чтобы обеспечить наибольшую эффективность, кольцевая магистраль или кольцевой канал должны быть установлены в верхней части секции с круговой стеной или рядом с ней, чтобы обеспечить максимальную защиту от водяной завесы. Желательно, чтобы водная жидкость стекала из кольцевой магистрали или кольцевого канала вниз по внутренней поверхности стенки секции с круговой стеной в качестве занавеса.

На Фигурах 7 - 10 схематически представлены несколько вариантов осуществления блока для гидроабразивной резки в соответствии с настоящим изобретением.

На Фигуре 7 схематически представлен блок для гидроабразивной резки для разрезания водного полиакриламидного геля. Устройство содержит секцию (101) с круговой стеной, в данном случае трубчатую секцию, стена которой расположена вокруг форсунки (102), установленной в центре, которая вращается и приводится в движение электродвигателем (103) или приводится в движение потоком водной жидкости. Форсунка (104) неподвижно закреплена. Поток водной жидкости (105) под высоким давлением выбрасывается перпендикулярно оси устройства и вращается при вращении форсунки. Поток водной жидкости образует круговую, дисковую струю воды при вращении форсунки. Жидкость подают в форсунку из линии (106) подачи водной жидкости, в которую ее подают из источника (107) водной жидкости высокого давления. Под потоком воды расположен ситовый поддон (108), который предотвращает прохождение кусков полимера слишком большого размера. Вторичную водную жидкость (109) низкого давления подают в кольцевую магистраль (110) в виде кольцевого канала, расположенную в верхней части круговой стены. Водная жидкость поступает из кольцевого канала с образованием водяной завесы (111), которая предотвращает прилипание водного полиакриламидного геля к круговой стене. Водный полиакриламидный гель (113) поступает в круговую стену сверху и проходит вниз по устройству, где происходит его разрезание потоком воды под высоким давлением с образованием частиц гидратированного полимера, которые имеют достаточно малый размер, чтобы пройти через ситовый поддон, а затем куски (114) разрезанного водного полиакриламидного геля выходят из нижней части устройства.

На Фигуре 8 показано устройство, аналогичное устройству, показанному на Фигуре 7, за исключением того, что через форсунку (102) поступает поток воды под высоким давлением, который направлен под углом вниз (105A), с образованием конической струи при вращении форсунки. Ситовый поддон имеет форму вертикального конуса (108A). Все остальные признаки аналогичны признакам, представленным на Фигуре 7.

На Фигуре 9 показано устройство, аналогичное устройству, показанному на Фигуре 8, за исключением того, что через форсунку (102) поступает поток воды

под высоким давлением, который направлен под углом вверх (105B), с образованием конической струи при вращении форсунки. Ситовый поддон имеет форму перевернутого конуса (108B). Все остальные признаки аналогичны признакам, представленным на Фигуре 7.

На Фигуре 10 показано устройство, аналогичное устройству, показанному на Фигуре 7, за исключением того, что форсунка (102) расположена не по центру, чтобы обеспечить эксцентричный рисунок струи воды высокого давления (105). Все остальные признаки аналогичны признакам, представленным на Фигуре 7.

Комбинации

Описанные способы измельчения водного полиакриламидного геля также могут сочетаться друг с другом.

В соответствии с одним из вариантов осуществления гидроабразивную резку используют в комбинации со статическим режущим элементом. Предпочтительно, такой статический режущий элемент интегрирован в блок гидроабразивной резки, следовательно, гидроабразивная резка включает, по меньшей мере, один статический режущий элемент. Указанное, по меньшей мере, одно статическое режущее устройство может представлять собой, например, один или несколько ножей, лезвий, режущих проволок или любую комбинацию указанных устройств. В соответствии с одним из вариантов осуществления, по меньшей мере, одно режущее устройство может состоять из нескольких ножей или лезвий, установленных на стенке круговой секции по окружности, при этом ножи или лезвия направлены внутрь. В еще одном варианте осуществления, по меньшей мере, одно режущее устройство может представлять собой ножи или лезвия, установленными в центральном положении, при этом ножи или лезвия проходят радиально. При другой конструкции, по меньшей мере, одно режущее устройство может представлять собой сетку из ножей, лезвий или режущей проволоки. Как правило, статическое режущее устройство (если оно используется), должно проходить через все поперечное сечение секции с круговой стеной. Соответственно, водный полиакриламидный гель может разрезаться путем контактирования, по меньшей мере, с одним статическим режущим устройством перед контактированием, по меньшей мере, с одним потоком водной жидкости.

На Фигуре 11 представлено схематическое изображение блока гидроабразивной резки в комбинации со статическим режущим устройством. Устройство содержит секцию (101) с круговой стеной (в этом случае с трубчатой стеной), в которую водный полиакриламидный гель (113) подают сверху. Сетка из режущих лезвий (112) первоначально разрезает поступающий вниз гидратированный полимер на нити. Потоки воды под высоким давлением (105) впрыскиваются из расположенных по окружности форсунок (102). Каждая из форсунок движется взад и вперед в поперечном направлении, и каждое создает веерообразную форму (115) водной струи, которая разрезает опускающиеся нити полимера. Форсунки в каждом случае приводятся в действие с помощью привода (не показан). Куски водного полиакриламида (114) покидают устройство снизу.

В еще одном варианте осуществления изобретения гидроабразивная резка может комбинироваться со статическим смешиванием. Для этой цели водную смесь, содержащую куски полиакриламидного геля, покидающую блок гидроабразивной резки, пропускают через, по меньшей мере, один статический смеситель. К смеси может добавляться дополнительная водная жидкость до того, как она поступит в, по меньшей мере, один статический смеситель.

В еще одном варианте осуществления изобретения, гидроабразивную резку используют в комбинации одновременно со статическим режущим устройством и со статическим смесителем. Комбинация со статическим режущим устройством уже описана выше. После этого водную смесь, содержащую куски полиакриламидного геля, которые покидают блок измельчения, содержащий этап гидроабразивной резки и этап статической резки, подают через, по меньшей мере, один статический смеситель. К смеси может добавляться дополнительная водная жидкость до того, как она поступит в, по меньшей мере, один статический смеситель.

В одном варианте осуществления измельчение водного полиакриламидного геля осуществляют с использованием, по меньшей мере, одного устройства, которое выбрано из вращающихся водяных струй, вращающихся ножей или перфорированной пластины. Предпочтительно может использоваться комбинация, по меньшей мере, одной перфорированной пластины и вращающихся водяных струй или, по меньшей мере, одной перфорированной пластины и вращающихся ножей.

В других вариантах осуществления блок измельчения содержит комбинацию гидроабразивной резки и перфорированной пластины. В перфорированной пластине проделаны отверстия. Отверстия могут быть любой формы. Примеры отверстий включают отверстия круглой формы, эллипсоидной, треугольной, четырехугольной формы, например, квадратные, прямоугольные или ромбические, пятиугольные отверстия, отверстия шестиугольной формы или отверстия в форме звезды, а также продольные отверстия, например, прорези. Отверстия могут быть цилиндрическими, однако отверстия также могут быть коническими.

Отверстия могут быть любых размеров. Тем не менее, предпочтительно размер отверстий, по меньшей мере, по одному измерению составляет 0,5 - 5 мм. В одном из вариантов осуществления изобретения, в перфорированной пластине имеются круглые отверстия диаметром 0,5 - 5 мм, например, 1 мм - 3 мм.

Водный полиакриламид подают из блока полимеризации через перфорированную пластину. Над или под перфорированной пластиной размещается одна или несколько вращающихся форсунок, из которых впрыскиваются струи воды.

Один вариант осуществления такой комбинации схематически показан на Фигуре 12. На Фигуре 12 схематически представлен блок полимеризации, имеющий верхнюю цилиндрическую часть (120), нижнюю коническую часть (121) и нижнее отверстие (125), которое может открываться и закрываться. Блок полимеризации соединен с блоком измельчения, включающим перфорированную пластину. Под перфорированной пластиной установлена одна вращающаяся форсунка, из которой впрыскиваются струи воды. Водный полиакриламидный гель удаляют из блока полимеризации через открытое нижнее отверстие (125), при этом на верхнюю поверхность водного полиакриламидного геля воздействует давление. Гель пропускается через открытое нижнее отверстие и отверстие перфорированной пластины. При прохождении геля через перфорированную пластину образуются нити водного полиакриламидного геля («спагетти»), которые нарезаются струями воды на маленькие куски.

На Фигуре 13 показан аналогичный вариант осуществления за исключением того, что под перфорированной пластиной не установлено ни одной форсунки.

Очевидно, что может также использоваться более двух форсунок, например, 4 форсунки.

На Фигурах 14 и 15 показаны аналогичные варианты осуществления, в которых форсунки для гидроабразивной резки установлены над перфорированной пластиной, а под перфорированной пластиной форсунки отсутствуют.

На Фигуре 16 показан альтернативный вариант осуществления, включающий вращающийся нож для резки, установленный под перфорированной пластиной. Он используется в соответствии с описанием выше (Фиг. 12 и 13), за исключением того, что для резки нитей полиакриламидного геля используются механический нож, а не струи воды. В этом варианте осуществления в пространство для резки под перфорированной пластиной добавляют воду (127). Вода может добавляться через одно или несколько входных отверстий для подачи воды. Может быть добавляться все количество воды, необходимое для достижения желаемой концентрации, или только ее часть.

Как показано выше, предпочтительно, уже в процессе измельчения добавляют, по меньшей мере, часть водной жидкости, необходимая для получения желаемой концентрации. В других вариантах осуществления добавляют все количество водной жидкости. Обычно в результате измельчения получают смесь частиц полиакриламидного геля и водной жидкости. Очевидно, что, по меньшей мере, часть полиакриламидного геля растворяется в водной жидкости уже в процессе измельчения, поэтому смесь, возможно, лучше описать как частицы полиакриламидного геля в водном растворе полиакриламидов. Степень однородности зависит от выбранной технологии измельчения и количества воды, добавляемой на этом этапе способа.

Гомогенизация

При необходимости, за этапом измельчения и смешивания частиц водного полиакриламидного геля с водной жидкостью может следовать этап гомогенизации. Если добавлено не все количество водной жидкости, необходимое для достижения желаемой концентрации водного концентрата полиакриламида, любое оставшееся количество водной жидкости добавляют перед таким этапом гомогенизации или в ходе него.

В одном варианте осуществления полученную смесь водного раствора полиакриламида и нерастворенных частиц полиакриламидного геля можно просто оставить в соответствующей емкости для гомогенизации. Емкость может находиться в локации A, и после гомогенизации гомогенизированный водный концентрат полиакриламида перемещают в транспортный блок для осуществления этапа [4] в соответствии с описанием ниже. В еще одном варианте осуществления смесь, полученная в процессе измельчения, может быть уже загружена в транспортный блок. Преимущественно в этом варианте осуществления гомогенизация может осуществляться во время транспортировки.

В других вариантах осуществления гомогенизацию проводят путем смешивания полученной смеси с использованием соответствующих устройств. Смешивание может, в частности, осуществляться путем переноса полученной смеси в емкость, которая находится в локации A, и перемешивания содержимого емкости с получением гомогенизированного водного концентрата полиакриламида.

Если водный концентрат полиакриламида имеет не слишком высокую вязкость, перемешивание смеси может продолжаться. Другие варианты осуществления включают использование статических смесителей. В соответствии с одним из вариантов осуществления может осуществляться циркуляция смеси в смесительной емкости с использованием циркуляционных насосов. При необходимости, контур может включать один или более статических смешивающих устройств. Дополнительные примеры включают в себя обработка в барабане, встряхивание или любой метод смешивания, известный специалистам для высоковязких жидкостей, например, с использованием винтовых насосов кавитационного типа.

Если емкость используют для гомогенизации, указанная емкость может также служить в качестве блока временного хранения перед транспортировкой водного концентрата полиакриламида в локацию B на этапе [4].

Этап [4] — Транспортировка водного концентрата полиакриламида

На этапе [4] осуществляют транспортировку водного концентрата полиакриламида из локации A в локацию B.

Для транспортировки используют соответствующий транспортный блок. Объем блока транспортировки может составлять 1 $м^3$ - 40 $м^3$, в частности, 5 $м^3$ - 40 $м^3$, предпочтительно 10 - 30 $м^3$, например, 20 - 30 $м^3$ или 15 $м^3$ - 25 $м^3$. Примеры соответствующих блоков транспортировки включают емкости, включающие, по меньшей мере, одно отверстие, контейнеры-цистерны или опрокидные емкости.

Транспортировка может осуществляться любым видом транспорта, подходящим для перевозки транспортного блока, например, с использованием грузовых автомобилей, железнодорожных вагонов или судов.

Термин «транспортный блок» включает отдельные транспортные блоки, такие как суда, контейнеры, например, контейнеры ISO или средние контейнеры для массовых грузов, которые для перевозки загружаются на соответствующие транспортные средства, например, на грузовые автомобили, контейнерные вагоны или суда. Транспортное средство может транспортировать один отдельный транспортный блок или несколько транспортных блоков. Термин «транспортный блок» также содержит транспортные блоки, в которых транспортный отсек постоянно закреплен на транспортных средствах, например, автоцистерны или вагоны-цистерны.

В одном варианте осуществления транспортировка осуществляется с использованием грузовых автомобилей. Транспортный блок также может быть закреплен на грузовом автомобиле. В соответствии с одним из вариантов осуществления изобретения транспортный блок может представлять собой контейнер-цистерну ISO. Обычные размеры ISO-контейнеров указаны выше.

В еще одном варианте осуществления можно использовать цистерны, закрепленные на грузовом автомобиле. В соответствии с одним из вариантов осуществления цистерны включают выпускное отверстие в задней части грузового автомобиля. Чтобы удаление содержимого цистерны происходило более эффективно, цистерна может наклоняться. В соответствии с еще одним из вариантов осуществления цистерна содержит выпускное отверстие в нижней части. Кроме того, цистерна может включать конус в нижней части и выпускное отверстие на нижнем конце конуса. Цистерна также может вращаться, чтобы концентрат мог гомогенизироваться в ходе транспортировки. Например, для транспортировки концентрата можно использовать бетономешалку.

Заполнение водным концентратом полиакриламида блока транспортировки может осуществляться путем закачки.

Время транспортировки, то есть время транспортировки транспортного блока, заполненного водным концентратом полиакриламида, может значительно варьироваться в зависимости от расстояния между локациями A и B. Оно может составлять от минут до нескольких дней, например, от 1 часа до 28 дней, в частности, от 2 часов до 14 дней, в частности, от 5 часов до 7 дней.

В одном варианте осуществления этап гомогенизации в соответствии с описанием выше может осуществляться во время транспортировки. В соответствии с одним из вариантов осуществления транспортный блок, например, грузовой автомобиль, может включать вращающийся барабан, с помощью которого осуществляется гомогенизация. Специалистам известны грузовые автомобили с вращающимися барабанами для транспортировки бетона. В других вариантах осуществления транспортный блок может включать контур циркуляции, оборудованный насосом и, при необходимости, смесительными блоками, например, статическими смесителями, так что во время транспортировки может осуществляться циркуляция водного концентрата полиакриламида.

Этап [5] — Удаление водного концентрата полиакриламида из транспортного блока

На этапе [5] водный концентрат полиакриламида удаляют из транспортного блока. Этап [5] осуществляют в локации B.

По сути, удаление водного концентрата полиакриламида может осуществляться с использованием любой технологии. Выбор технологии зависит от конкретной конструкции транспортного блока и свойств концентрата, в частности, от его вязкости, и технологического оборудования, которое подключено ниже по ходу процесса.

Предпочтительно удаление водного концентрата полиакриламида может осуществляться с помощью насоса. Удаление может осуществляться путем воздействия давления в транспортном блоке, в частности, давления газа. Кроме того, удаление может также осуществляться (в зависимости от конструкции транспортного блока) путем его наклона.

После удаления из транспортного блока водный концентрат полиакриламида может использоваться сам по себе. В других вариантах осуществления водный концентрат полиакриламида переносят в соответствующие блоки хранения, например, в цистерны для хранения, для временного хранения перед использованием.

Дальнейшие этапы

В принципе, можно использовать водный концентрат полиакриламида в отдельности, то есть он переносится непосредственно из транспортного блока или из блока хранения в место применения. Примеры ваиантов применения, при которых концентраты могут использоваться напрямую, указаны ниже. Для транспортировки водного концентрата полиакриламида может использоваться трубопровод или другой подходящий канал транспортировки.

В еще одном варианте осуществления изобретения водный концентрат полиакриламида для применения может быть дополнительно разбавлен с использованием водной жидкости в соответствии с определением выше. Как указано выше, композиция, полученная в результате такого дополнительного разбавления, именуется «водный раствор полиакриламида».

В целом, дополнительный этап разбавления может выполняться в любом устройстве для разбавления. В соответствии с одним из вариантов осуществления изобретения растворение водного концентрата полиакриламида осуществляется в мобильном блоке растворения. Для дополнительного этапа разбавления водный концентрат полиакриламида может закачиваться в блок разбавления. В ходе разбавления водный концентрат полиакриламида, при необходимости, можно смешивать с другими компонентами. Другие компоненты могут быть подобраны специалистом в соответствии с необходимостью.

Примеры устройств разбавления включают статические смешивающие устройства, комбинации статических смешивающих устройств с дополнительным оборудованием для смешивания, такие как комбинация статических смесителей с емкостями без устройств перемешивания или с устройствами поточного диспергирования, например, с роторно-статорными блоками.

Примеры соответствующих блоков разбавления включают емкости с устройствами перемешивания. Блок разбавления может включать лишь одну

емкость или он может включать несколько емкостей, которые могут быть расположены последовательно или параллельно. Примеры устройств для смешивания включают одно или несколько вращающихся мешалок или перемешивающих устройств, которые, при необходимости, могут комбинироваться со статическими смешивающими устройствами. Смешивание также может обеспечиваться путем подачи содержимого емкости для растворения через трубопровод и последующей рециркуляции обратно в смесительный резервуар.

В одном варианте осуществления водный концентрат полиакриламида с концентрацией 3,1 - 10 мас.%, предпочтительно 3,1 - 7 мас.%, транспортируется из локации A в локацию B и разбавляется водной жидкостью в локации B, в результате чего получают водный раствор полиакриламида с концентрацией 0,01 мас.% - 2,0 мас.%, предпочтительно 0,1 мас.% - 1,0 мас.%.

В соответствии с одним из вариантов осуществления водные концентраты полиакриламида можно использовать непосредственно в локации B, то есть в том месте, где его удаляют из транспортного блока. В других вариантах осуществления водный концентрат полиакриламида, предпочтительно концентрат с концентрацией не более 7 мас.%, например, 3,1 - 7 мас.%, или водный раствор полиакриламида в соответствии с описанием выше может подаваться в другую локацию C или в несколько дополнительных локаций C по трубопроводам.

Модифицирование полиакриламидов

В одном из вариантов осуществления модифицирование полиакриламидов может осуществляться одновременно на этапе [4] и/или на дополнительном этапе разбавления.

Для этой цели к водной жидкости, используемой для смешивания с водным полиакриламидным гелем или для использования на дополнительном этапе разбавления, могут добавляться соответствующие агенты для модификации полимеров. В других вариантах осуществления такие агенты могут добавляться по отдельности, предпочтительно в виде водного раствора.

В соответствии с одним из вариантов осуществления изобретения полиакриламиды могут быть частично гидролизованы, в результате чего получают полиакриламиды, содержащие также группы -COOH или их соли. В некоторых

вариантах осуществления до карбоксильных групп может быть гидролизовано около 30 мол.% амидных групп. Частично гидролизованные полиакриламиды известны специалистам из уровня техники. Для этого в водную жидкость добавляют основания, такие как NaOH.

В еще одном варианте осуществления к водной жидкости может добавляться гидроксиламин и основание, в результате чего получают полиакриламиды, в которых произошла конверсия части амидных групп в группы гидроксамовой кислоты.

Другие варианты осуществления способа

В одном варианте осуществления настоящее изобретение относится к способу получения водного концентрата полиакриламида путем полимеризации водного раствора, содержащего, по меньшей мере, акриламид, в результате чего получают водный полиакриламидный гель, и смешивания указанного водного полиакриламидного геля с водной жидкостью, отличающийся тем, что этот способ включает, по меньшей мере, следующие этапы:

[1] радикальную полимеризацию водного раствора мономеров в присутствии подходящих инициаторов радикальной полимеризации в адиабатических условиях в блоке полимеризации в локации A,

причем водный раствор мономеров содержит, по меньшей мере, воду и 15 - 50 мас.% (из расчета на общее количество всех компонентов водного раствора мономеров) водорастворимых моноэтиленненасыщенных мономеров в локации A, причем указанные водорастворимые моноэтиленненасыщенные мономеры содержат, по меньшей мере, акриламид, при этом блок полимеризации включает цилиндрическую верхнюю часть, коническую часть внизу, каналы подачи водного раствора мономеров и нижнее отверстие, в результате чего получают водный полиакриламидный гель, который находится в блоке полимеризации,

[2] удаление водного полиакриламидного геля из блока полимеризации через нижнее отверстие путем воздействия давления газа в локации A,

[3] измельчение водного полиакриламидного геля и смешивание его с водной жидкостью в локации A, в результате чего получают водный

концентрат полиакриламида с концентрацией полиакриламидов 1,0 - 14,9 мас.%, из расчета на общую массу всех компонентов водного концентрата полиакриламида,

[4] транспортировку водного концентрата полиакриламида в транспортном блоке с объёмом 1 $м^3$ - 40 $м^3$ с помощью транспортного средства, выбранного из группы грузовых автомобилей, железнодорожных вагонов или водных судов, из локации A в другую локацию B, и

[5] удаление водного концентрата полиакриламида из транспортного блока в локации B.

Предпочтительные варианты осуществления изобретения были приведены выше, и мы напрямую ссылаемся на соответствующие участки описания.

В одном варианте осуществления настоящее изобретение относится к способу получения водного концентрата полиакриламида путем полимеризации водного раствора, содержащего, по меньшей мере, акриламид, в результате чего получают водный полиакриламидный гель, и смешивания указанного водного полиакриламидного геля с водной жидкостью, отличающийся тем, что этот способ включает, по меньшей мере, следующие этапы:

[1] Радикальную полимеризацию водного раствора мономеров в присутствии подходящих инициаторов радикальной полимеризации в адиабатических условиях в блоке полимеризации,

причем водный раствор мономеров содержит, по меньшей мере, воду и 15 - 50 мас.% (из расчета на общее количество всех компонентов водного раствора мономеров) водорастворимых моноэтиленненасыщенных мономеров, причем указанные водорастворимые моноэтиленненасыщенные мономеры содержат, по меньшей мере, акриламид, при этом блок полимеризации включает цилиндрическую верхнюю часть, коническую часть внизу, каналы подачи водного раствора мономеров и нижнее отверстие, в результате чего получают водный полиакриламидный гель, который находится в блоке полимеризации,

[2] удаление водного полиакриламидного геля из блока полимеризации через нижнее отверстие путем воздействия давления газа,

[3] подачу водного полиакриламидного геля через, по меньшей мере, один блок измельчения вместе с водной жидкостью, в результате чего получают смесь кусков водного полиакриламидного геля в водном растворе полиакриламида с последующей гомогенизацией смеси, полученной переносом смеси в емкость, и

- отстаивание смеси в емкости,
- смешивание содержимого емкости с использованием подходящего смешивающего устройства,

в результате чего получают водный концентрат полиакриламида с концентрацией полиакриламидов 3,1 - 14,9 мас.%, из расчета на общую массу всех компонентов водного концентрата полиакриламида.

Указанный вариант осуществления относится к этапам процесса, которые осуществляют в локации А. Параметры этого варианта осуществления, включая предпочтительные параметры, и соответствующее оборудование для выполнения таких этапов, включая предпочтительное оборудование, подробно описаны выше, и мы напрямую ссылаемся на соответствующие параграфы описания.

Измерение и контроль

В соответствии с одним из вариантов осуществления изобретения в локациях А и В находится центральный технологический блок измерения и контроля. В предпочтительном варианте осуществления изобретения центральный технологический блок измерения и контроля представляет собой мобильный блок. Предпочтительно, технологический блок измерения и контроля в локации А соединен со всеми блоками в локации А, и также предпочтительно, технологический блок измерения и контроля в локации В соединен со всеми блоками в локации В, в результате чего обеспечивается возможность централизованного управления процессом, аналогично стационарным установкам. В соответствии с одним из вариантов осуществления все соединения с измерительными и управляющими приборами определенного блока, например, блока растворения, блоков хранения мономеров или блоков полимеризации, связаны в одну шину, например, с использованием технологии шинного

соединения, чтобы их можно было легко соединить вместе. Очевидно, можно использовать и другие технологии связи, например, связь по радиоканалам.

Модульная мобильная установка

В соответствии с еще одним вариантом осуществления изобретения настоящее изобретение относится к модульной мобильной установке для получения водных концентратов полиакриламида путем полимеризации водного раствора, содержащего, по меньшей мере, акриламид, в результате чего получают водный полиакриламидный гель, и смешивания указанного водного полиакриламидного геля с водной жидкостью, при этом указанная установка включает, по меньшей мере, следующие компоненты:

- в локации A:
  - мобильный блок хранения водного раствора акриламида,
  - при необходимости, мобильные блоки хранения водорастворимых моноэтиленненасыщенных мономеров, отличных от акриламида,
  - мобильный блок хранения инициаторов полимеризации,
  - мобильный блок разбавления мономеров для приготовления водного раствора мономеров, содержащего, по меньшей мере, воду и акриламид,
  - мобильный блок полимеризации для полимеризации водного раствора мономеров в присутствии инициаторов полимеризации,
  - мобильный блок измельчения водного полиакриламидного геля и смешивания его с водной жидкостью, в результате чего получают водный концентрат полиакриламида,
- в локации A или B:
  - транспортный блок для транспортировки водного концентрата полиакриламида из локации A в локацию B.
- в локации B:
  - устройство для удаления водного концентрата полиакриламида из транспортного блока, и

- при необходимости, устройство для дополнительного разбавления водного концентрата полиакриламида водной жидкостью.

В соответствии с одним из вариантов осуществления расстояние между локацией А и локацией В составляет 1 - 3000 км, в частности, 10 км - 3000 км, например, 10 - 1500 км или 20 км - 500 км, или 30 - 300 км.

Более подробная информация об отдельных блоках установки, включая предпочтительные варианты осуществления изобретения, была приведена выше, и мы прямо ссылаемся на соответствующие участки текста.

В одном предпочтительном варианте осуществления мобильный блок измельчения содержит, по меньшей мере, устройства, выбранные из вращающихся струй воды, вращающихся ножей и перфорированных пластин.

В еще одном предпочтительном варианте осуществления изобретения модульная мобильная установка включает мобильные блоки хранения водорастворимых моноэтиленненасыщенных мономеров, отличных от акриламида.

В еще одном варианте осуществления изобретения акриламид также производится в локации А путем гидролиза акрилонитрила в воде в присутствии биокатализатора конверсии акрилонитрила в акриламид,

Таким образом, настоящее изобретение относится к модульной мобильной установке для получения водных растворов полиакриламида путем полимеризации водного раствора, содержащего, по меньшей мере, акриламид, в результате чего получают водный полиакриламидный гель и путем растворения указанного водного полиакриламидного геля в воде, при этом указанная установка включает, по меньшей мере, следующие компоненты:

- в локации А:
  - мобильный блок хранения акрилонитрила,
  - мобильный блок биоконверсии для гидролиза акрилонитрила в воде в присутствии биокатализатора конверсии акрилонитрила в акриламид,

- мобильный блок для удаления биокатализатора из водного раствора акриламида,
- мобильный блок хранения водного раствора акриламида,
- мобильные блоки хранения водорастворимых моноэтиленненасыщенных мономеров, отличных от акриламида,
- мобильный блок хранения инициаторов полимеризации,
- мобильный блок разбавления мономеров для приготовления водного раствора мономеров, содержащего, по меньшей мере, воду и акриламид,
- мобильный блок полимеризации для полимеризации водного раствора мономеров в присутствии инициаторов полимеризации,
- мобильный блок измельчения водного полиакриламидного геля и смешивания его с водной жидкостью, в результате чего получают водный концентрат полиакриламида,

- в локации А или В:
  - транспортный блок для транспортировки водного концентрата полиакриламида из локации А в локацию В.
- в локации В:
  - устройство для удаления водного концентрата полиакриламида из транспортного блока, и
  - при необходимости, устройство для дополнительного разбавления водного концентрата полиакриламида водной жидкостью.

Более подробная информация об отдельных блоках установки была приведена выше, и мы напрямую отсылаем к соответствующим пунктам.

В соответствии с еще одним вариантом осуществления изобретения настоящее изобретение относится к модульной мобильной установке для получения водных концентратов полиакриламида путем полимеризации водного раствора, содержащего, по меньшей мере, акриламид, в результате чего получают водный полиакриламидный гель, и смешивания указанного водного

полиакриламидного геля с водной жидкостью, при этом указанная установка включает, по меньшей мере, следующие компоненты:

- мобильный блок хранения водного раствора акриламида,
- при необходимости, мобильные блоки хранения водорастворимых моноэтиленненасыщенных мономеров, отличных от акриламида,
- мобильный блок хранения инициаторов полимеризации,
- мобильный блок разбавления мономеров для приготовления водного раствора мономеров, содержащего, по меньшей мере, воду и акриламид,
- мобильный блок полимеризации для полимеризации водного раствора мономеров в присутствии инициаторов полимеризации,
- мобильный блок измельчения водного полиакриламидного геля и смешивания его с водной жидкостью, в результате чего получают водный концентрат полиакриламида.

Указанный вариант осуществления относится к установке в локации А. Подробная информация об установке, включая предпочтительные варианты осуществления, указана выше, и мы напрямую ссылаемся на соответствующие параграфы описания.

Применение концентратов водного полиакриламида

Водные концентраты полиакриламида, производство которых осуществляют в соответствии с настоящим изобретением, могут использоваться для различных целей, например, в ходе добычи полезных ископаемых, на нефтяных месторождениях, при очистке воды, очистке сточных вод, при производстве бумаги или в сельском хозяйстве.

Для соответствующего применения водные концентраты полиакриламида могут дополнительно разбавляться в месте их использования, в результате чего получают разбавленные водные растворы полиакриламида. В других вариантах осуществления изобретения водные концентраты полиакриламида предпочтительно могут использоваться в отдельности без дополнительного разбавления. В концентраты и/или растворы могут также добавляться дополнительные компоненты. Другие компоненты могут быть подобраны специалистом в соответствии с необходимостью.

Применение на нефтяном месторождении

Примеры процессов на нефтяном месторождении водных концентратов и/или растворов полиакриламида, производство которых осуществляют в соответствии с настоящим изобретением, включают добычу нефти методами повышения нефтеотдачи, бурение нефтяных скважин, использование в качестве загустителя для различных целей или использование в качестве понизителей трения, например, понизителей трения для жидкостей гидроразрыва.

Методы повышения нефтеотдачи

В соответствии с одним из вариантов осуществления изобретения водные концентраты полиакриламида, производство которых осуществляют в соответствии с настоящим изобретением, могут применяться для повышения нефтеотдачи.

Соответственно, настоящее изобретение также относится к применению водных концентратов полиакриламида в процессе повышения нефтеотдачи, который включает, по меньшей мере, следующие этапы:

- предоставление водной нагнетательной жидкости путем смешивания, по меньшей мере, жидкости на водной основе и водного концентрата полиакриламида с концентрацией полиакриламидов 1,0 мас.% - 14,9 мас.%, из расчета на общую массу всех компонентов водного концентрата полиакриламида,
- закачку водной нагнетательной жидкости в залежь нефти, по меньшей мере, через одну нагнетательную скважину, и
- извлечение неочищенной нефти из залежи, по меньшей мере, через одну эксплуатационную скважину.

причем водный концентрат полиакриламида получают согласно способу в соответствии с описанием выше.

Более подробная информация о способе получения концентрата полиакриламида уже приведена выше.

Для повышения нефтеотдачи может использоваться гомополимер акриламида, тем не менее, предпочтительно используются водорастворимые сополимеры, содержащие, по меньшей мере, 10%, предпочтительно, по меньшей

мере, 20%, более предпочтительно, по меньшей мере, 30 мас.% акриламида и, по меньшей мере, один дополнительный водорастворимый, моноэтилен-ненасыщенный мономер, отличный от акриламида. Соответствующие водорастворимые сомономеры указаны выше, и мы ссылаемся на описание выше.

В еще одном варианте осуществления изобретения водорастворимые сомономеры могут быть выбраны из водорастворимых моноэтиленненасыщенных мономеров, содержащих, по меньшей мере, одну кислотную группу или ее соли. Кислотные группы предпочтительно выбраны из группы –COOH, $–SO_3H$ и $-PO_3H_2$ или их солей. Предпочтительными являются мономеры, содержащие COOH группы и/или $-SO_3H$ группы или их соли. Соответствующие противоионы указаны выше. Примеры таких сомономеров включают акриловую кислоту, метакриловую кислоту, кротоновую кислоту, итаконовую кислоту, малеиновую кислоту, фумаровую кислоту, винилсульфоновую кислоту, аллилсульфоновую кислоту, 2-акриламидо-2-метилпропансульфоновую кислоту (ATBS), 2-метакриламидо-2-метилпропан-сульфоновую кислоту, 2-акриламидобутансульфоновую кислоту, 3-акриламидо-3-метилбутансульфоновую кислоту, 2-акриламидо-2,4,4-триметил-пентансульфоновую кислоту, винилфосфоновую кислоту, аллилфосфоновую кислоту, N-(мет)акриламидоалкилфосфоновые кислоты и (мет)акрилоилоксиалкил-фосфоновые кислоты.

В предпочтительном варианте осуществления изобретения в качестве сомономеров может использоваться акриловая кислота и/или ATBS или их соли.

В таких сополимерах количество акриламида, как правило, составляет 20 мас.% - 90 мас.%, количество акриловой кислоты и/или ATBS или их солей составляет 10 мас.% - 80 мас.% от количества всех мономеров в сополимере. Предпочтительно, количество акриламида составляет 60 мас.% - 80 мас.%, а количество акриловой кислоты и/или ATBS или их солей составляет 20 мас.% - 40 мас.%.

В еще одном варианте осуществления изобретения сополимеры, используемые для повышения нефтеотдачи, содержат, по меньшей мере, один водорастворимый моноэтиленненасыщенный мономер, содержащий, по меньшей мере, одну кислотную группу или ее соли, предпочтительно акриловую кислоту и/или ATBS или их соли и, по меньшей мере, один ассоциативный мономер.

Примеры ассоциативных мономеров уже приведены выше. В соответствии с одним из вариантов осуществления используется, по меньшей мере, один ассоциативный мономер общей формулы (III), (IV) или (V), предпочтительно, по меньшей мере, один ассоциативный мономер общей формулы (V). Предпочтительные варианты осуществления ассоциативных мономеров (III), (IV) и (V) описаны выше, и мы напрямую ссылаемся на соответствующие участки описания.

В таких полиакриламидах количество акриламида, как правило, составляет 40 мас.% - 89,9 мас.%, количество акриловой кислоты и/или ATBS или их солей составляет 10 мас.% - 59,9 %, а количество ассоциативных мономеров составляет 0,1 мас.% - 5 мас.% от количества всех мономеров в сополимере.

В соответствии с одним из вариантов осуществления изобретения полиакриламиды для повышения нефтеотдачи содержат 45 - 55 мас.% акриламида, 0,1 - 5 %, предпочтительно 0,1 - 2 мас.%, по меньшей мере, одного ассоциативного мономера общей формулы (V), как указано выше, включая предпочтительные варианты осуществления, и 40 - 54,9 мас.% акриловой кислоты или ее солей.

Для повышения нефтеотдачи на месторождении нефти закладывается, по меньшей мере, одна эксплуатационная скважина и, по меньшей мере, одна эксплуатационная скважина. Как правило, на месторождении закладывается несколько нагнетательных скважин и несколько эксплуатационных скважин. Водная жидкость закачивается в залежь нефти, по меньшей мере, через, по меньшей мере, одну нагнетательную скважину, и нефть извлекается, по меньшей мере, через одну эксплуатационную скважину из залежи. В результате давления, которое создается закачиваемым водной жидкостью, в результате так называемого «заводнения», нефть поступает к эксплуатационной скважине и через нее идет на поверхность. Очевидно, что термин «нефть» в контексте настоящего изобретения означает не только однофазную нефть; напротив, он также включает обычные эмульсии неочищенной нефти и воды.

Водная нагнетательная жидкость содержит жидкость на основе воды, например, пресную воду или воду, содержащую соли, например, морскую воду или пластовую воду. Для методов повышения нефтеотдачи жидкость на основе воды смешивают с полиакриламидами и, при необходимости, с другими компонентами. Примеры дополнительных компонентов включают биоциды, стабилизаторы,

ловушки свободных радикалов, инициаторы, поверхностно-активные вещества, сорастворители, основания и комплексообразующие агенты. При смешивании водной нагнетательной жидкости можно использовать водный концентрат полиакриламида или водный концентрат полиакриламида на первом этапе может разбавляться дополнительным количеством водного раствора, а затем он может использоваться для получения водной нагнетательной жидкости.

Для методов повышения нефтеотдачи водные концентраты полиакриламида смешивают с жидкостью на основе воды и, при необходимости, с другими компонентами. В соответствии с одним из вариантов осуществления такое смешивание может осуществляться с использованием соответствующих смешивающих устройств, например, статических смесителей или смесительных емкостей. В еще одном варианте осуществления водные концентраты полиакриламида нагнетают в трубопроводы, через которые водную нагнетательную жидкость транспортируют к нагнетательным скважинам в необходимой концентрации. Длина таких трубопроводов может составлять до нескольких километров. Было обнаружено, что времени, необходимого для прохождения жидкости через такой трубопровод, зачастую бывает достаточно для полного растворения концентрата в жидкости. Конечно, возможны комбинации вариантов осуществления. Например, в трубопроводе могут размещаться смесительные элементы, например, статические смешивающие устройства.

В соответствии с одним из вариантов осуществления описанного способа повышения нефтеотдачи локация В может находиться у нагнетательной скважины или между несколькими такими нагнетательными скважинами.

Локация А находится в ином месте, отличном от локации В. Предпочтительно, локация А представляет собой локальный узел, из которого водные полиакриламидные гели полаются в несколько различных локаций В. В соответствии с одним из вариантов осуществления локация А может находиться в центральной точке над подземным нефтеносным пластом или в центральной точке между различными подземными нефтеносными пластами, а из локации А водный полиакриламидный гель может подаваться на несколько нефтяных скважин для дальнейшей переработки.

Конечная концентрация полиакриламида в нагнетательной жидкости является постоянной, чтобы водосодержащий состав имел вязкость, необходимую для конечного применения. Вязкость состава должна составлять в целом, по меньшей мере, 5 мПа•с (при 25 °С и скорости сдвига 7 $с^{-1}$), предпочтительно по меньшей мере, 10 мПа•с.

Как правило, концентрация полиакриламида в нагнетательной жидкости составляет 0,02 - 2 мас.%, из расчета на общее количество всех компонентов в водном составе. Количество предпочтительно составляет 0,05% - 0,5 мас.%, более предпочтительно 0,1% - 0,3 мас.%, например, 0,1% - 0,2 мас.%.

В соответствии с одним из вариантов осуществления изобретения водные концентраты полиакриламида водный могут использоваться в отдельности в методах повышения нефтеотдачи. Соответствующие концентраты предпочтительно имеют концентрацию 3,1 - 10 мас.%, более предпочтительно, концентрация составляет 3,1 - 7 мас.%, например, 4 мас.% - 6 мас.%.

Понизители трения для гидроразрыва

Гидроразрыв пласта включает закачку жидкости для гидроразрыва через ствол скважины в пласт под достаточно высоким давлением для создания трещин, в результате чего создаются каналы, через которые пластовые флюиды, такие как нефть, газ или вода, могут поступать в ствол скважины, после чего осуществляется их извлечение. Жидкости для гидроразрыва предназначены для создания или увеличения трещин и для одновременной подачи суспендированного расклинивающего агента в трещину, чтобы трещина оставалась открытой после понижения давления.

При проведении операций по гидроразрыву пласта важно убедиться, что проппанты транспортируются вместе с жидкостью для гидроразрыва пласта и не оседают. Указанный эффект может быть достигнут при использовании загущенной жидкости с высокой вязкостью. В еще одном варианте осуществления гидроразрыва, который также именуют «гидроразрыв с использованием скользкой воды (реагента на водной основе для снижения поверхностного натяжения)», используют жидкости с низкой вязкостью. Такие жидкости содержат, в основном, воду. Чтобы обеспечить подачу расклинивающего агента в пласт, используют значительно более высокую скорость нагнетания и давление, чем для жидкостей с

высокой вязкостью. Высокая скорость потока обеспечивает транспортировку проппанта. С другой стороны, турбулентный поток жидкости для гидроразрыва приводит к значительным потерям энергии из-за трения. Чтобы избежать или, по меньшей мере, минимизировать такие потери энергии из-за трения, могут использоваться понизители трения, например, высокомолекулярные полиакриламиды, которые позволяют изменить турбулентный поток на ламинарный.

В соответствии с одним из вариантов осуществления изобретения водные концентраты полиакриламида, производство которых осуществляют в соответствии с настоящим изобретением, применяют в качестве понизителей трения в ходе методов разрыва с использованием реагентов на водной основе для снижения поверхностного натяжения.

Соответственно, настоящее изобретение также относится к применению водных концентратов полиакриламида в качестве понизителей трения в способе гидроразрыва подземных пластов, который включает, по меньшей мере, следующие этапы:

- предоставление водной нагнетательной жидкости путем смешивания, по меньшей мере, жидкости на водной основе, проппанта и водного концентрата полиакриламида с концентрацией полиакриламидов 1,0 - 14,9 мас.%, из расчета на общую массу всех компонентов водного концентрата полиакриламида, причем концентрация полиакриламидов в водной жидкости для гидроразрыва составляет 20 ч./млн. - 600 ч./млн., из расчета на общую массу всех компонентов водной жидкости для гидроразрыва, за исключением проппантов,
- закачку водной жидкости для гидроразрыва через ствол скважины в подземный пласт под давлением, достаточным для ее подачи в пласт и для создания или расширения трещин в пласте,

причем водный концентрат полиакриламида получают согласно способу в соответствии с описанием выше.

Жидкость на основе воды может представлять собой пресную воду или воду, содержащую соли, например, морскую воду или пластовую воду или попутно добываемую воду.

Примеры соответствующих проппантов включают природные частицы песка, песок с полимерным покрытием, спеченный боксит, стеклянные шарики или сверхлегкие полимерные шарики.

Подробная информация о полиакриламидах уже была приведена выше.

Смешивание жидкостей для гидроразрыва может осуществляться с использованием так называемых блендеров (которые зачастую устанавливаются на грузовиках), в которых смешивают жидкость на водной основе, проппанты, понизители трения и, при необходимости, другие компоненты. В соответствии с одним из вариантов осуществления жидкость на водной основе, проппанты, водный концентрат полиакриламида в соответствии с описанием выше и, при необходимости, другие компоненты смешивают друг с другом с помощью обычного блендера, в результате чего получают водную жидкость для гидроразрыва пласта.

Концентрация проппантов в жидкости для гидроразрыва в ходе процесс гидроразрыва может быть постоянной. В некоторых вариантах осуществления концентрация проппантов в жидкости для гидроразрыва в ходе процесс гидроразрыва может варьироваться. В соответствии с одним из вариантов осуществления процесс гидроразрыва пласта с использованием реагентов на водной основе для снижения поверхностного натяжения может начинаться с закачки определенного количества жидкости для гидроразрыва, которая не содержит никаких проппантов, и проппанты добавляются к жидкости для гидроразрыва только на более позднем этапе процесса гидроразрыва.

Концентрация полиакриламидного понизителя трения в водной жидкости для гидроразрыва может быть подобрана специалистом в соответствии с необходимостью. Обычно она находится в диапазоне 20 ч./млн. – 600 ч./млн., в частности, 20 ч./млн. – 300 ч./млн., например, 125 ч./млн. – 250 ч./млн. полиакриламидов, из расчета на общую массу всех компонентов водной жидкости для гидроразрыва пласта, за исключением проппантов. Количество водных концентратов полиакриламида для приготовления водной жидкости для гидроразрыва пласта подбирается соответственно.

Применение для добычи полезных ископаемых

В соответствии с одним из вариантов осуществления изобретения способ получения водных концентратов полиакриламида по настоящему изобретению осуществляется в зоне горных и/или металлургических работ или в зоне, где осуществляется обогащение полезных ископаемых. Следовательно, водные концентраты полиакриламида, как продукт, полученный способом по настоящему изобретению, предпочтительно применяются в горнодобывающей, минералоперерабатывающей и/или металлургической промышленности, и способ получения водного концентрата полиакриламида предпочтительно используют на установке соответствующей отрасли.

Предпочтительно добыча полезных ископаемых включает добычу ценных полезных ископаемых или других геологических материалов из определенных месторождений. Такие месторождения могут содержать руды, например, металлосодержащие руды, сульфидные руды и/или несульфидные руды. Руды могут содержать металлы, уголь, драгоценные камни, известняк или другой минеральный материал. Добыча полезных ископаемых обычно осуществляется для получения какого-либо материала, в частности, полезных ископаемых, который невозможно получить сельскохозяйственными процессами или который невозможно создать искусственно в лаборатории или на заводе. Водный концентрат полиакриламида по настоящему изобретению предпочтительно используют для добычи полезных ископаемых, для обогащения руд и для дальнейшей переработки руд для получения необходимых минералов или металлов.

Как правило, в горнодобывающей, минералоперерабатывающей и/или металлургической промышленности осуществляется деятельность по активной переработке руд и по производству, например, глинозема, угля, железа, стали, недрагоценных металлов, драгоценных металлов, алмазов, неметаллических минералов, при этом важную роль в этой в области играют агрегаты. В этих областях водные концентраты полиакриламида, производство которых осуществляют в соответствии с настоящим изобретением, могут применяться, например:

- на промышленных предприятиях по производству глинозема, где осуществляется извлечение глинозема из минерального боксита с использованием процесса щелочного выщелачивания Байера,

- на промышленных предприятиях, где для процесса мокрого обогащения угля требуется замкнутый контур воды и эффективное удаление хвостов для соответствия экономическим и экологическим требованиям,

- на промышленных предприятиях по производству железа и стали, где значительную сложность в железорудной промышленности представляет агломерация мелких концентратов железа для производства окатышей высокого качества,

- на промышленных предприятиях по производству недрагоценных металлов, где флокулянты могут применяться различными способами,

- на промышленных предприятиях по производству драгоценных металлов, где реагенты используются для повышения эффективности процесса осветления хвостов, что позволяет повторно использовать очищенную воду,

- на промышленных предприятиях по добыче алмазов, где первостепенное значение в засушливых районах, где часто встречаются алмазы, имеет эффективная регенерация воды,

- на промышленных предприятиях, где осуществляется добыча нерудных полезных ископаемых, где реагенты повышают эффективность регенерации воды или способствуют максимизации эффективности процессам фильтрации,

- на промышленных предприятиях, где производятся агрегаты, и необходимо использование флокулянтов и фильтрующих добавок для повышения эффективности сепарации твердого вещества и жидкости.

Соответственно, настоящее изобретение относится к применению водного концентрата полиакриламида для добычи полезных ископаемых, обогащения полезных ископаемых и/или металлургических работ, включая применение для сепарации твердых веществ и жидкостей, для удаления хвостов, для удаления хвостов с модифицикацией полимером, для обезвреживания хвостов, в качестве средства, модифицирующего вязкость и реологические свойства, в качестве добавки, способствующей агломерированию, в качестве связующего вещества и/или для транспортировки материалов, при этом получение водного концентрата полиакриламида осуществляют на производственном объекте соответствующей отрасли, при этом способ получения, например, включает следующие этапы:

- гидролиз акрилонитрила в воде в присутствии биокатализатора конверсии акрилонитрила в акриламид, в результате чего получают раствор полиакриламида,

- полимеризация раствора акриламида для получения полиакриламидного геля, и

- растворение полиакриламидного геля путем добавления воды для получения водного концентрата полиакриламида.

В горнодобывающей, минералоперерабатывающей и/или металлургической промышленности может использоваться, например, гомополимер акриламида. Кроме того, предпочтительными являются также сополимеры акриламида. Такие сополимеры акриламида могут быть анионными, катионными или неионными. Анионные сополимеры представляют собой, например, сополимеры акриламида с увеличивающимися отношениями акрилатных групп, которые придают полимерам отрицательные заряды и, следовательно, анионный активный характер, в водном растворе. Анионные сополимеры акриламида, в частности, могут использоваться для очистки сточных вод в металлургической промышленности, например, на железорудных заводах, сталелитейных заводов, в гальванических цехах, для промывки угля или в качестве флокулянтов. Неионные полимеры и/или сополимеры акриламида могут использоваться, например, в качестве неионогенных флокулянтов, которые могут применяться в качестве вспомогательных средств для осаждения в различных областях обогащения полезных ископаемых, особенно эффективны они могут использоваться в условиях крайне низких значений pH, которые встречается, например, при операциях кислотного выщелачивания. Катионные сополимеры акриламида имеют, в частности, увеличивающуюся долю катионных мономеров. Таким образом, катионные группы, которые вводятся в полимер, имеют положительные заряды в водном растворе.

Полимер, полученный способом по настоящему изобретению, предпочтительно использовали в качестве флокулянта в процессе, в котором отдельные частицы суспензии образуют агрегаты. Полимерные материалы по настоящему изобретению образуют, например, мостики между отдельными частицами таким образом, что сегменты полимерной цепи адсорбируются на разных частицах и способствуют аггрегированию частиц. Следовательно, полимеры по настоящему изобретению действуют в качестве добавки, способствующей агломерированию, которая может представлять собой флокулянт, который несет активные группы с зарядом и которая может уравновешивать заряд отдельных частиц суспензии. Полимерный флокулянт также может

адсорбироваться на частицах и может вызывать дестабилизацию за счет образования мостика или за счет нейтрализации заряда. Если полимер представляет собой анионный флокулянт, он может реагировать с положительно заряженной суспензией (положительный дзета-потенциал), например, в присутствии солей и гидроксидов металлов в качестве частиц суспензии. Если полимер по настоящему изобретению представляет собой, например, катионный флокулянт, он может реагировать с отрицательно заряженной суспензией (отрицательный дзета-потенциал), например, в присутствии оксида кремния и органических веществ в качестве частиц суспензии. Например, полимер, полученный способом по настоящему изобретению, может представлять собой анионный флокулянт, который агломерирует электроотрицательные глины.

Предпочтительно, способ по настоящему изобретению и полученный полимер и/или сополимер акриламида (полиакриламида) используется, например, в ходе процесса Байера для получения кремнезема. В частности, полиакриламид может использоваться в качестве флокулянта на первом этапе процесса Байера, когда осуществляется промывка алюминиевой руды (боксит) с использованием NaOH, в результате чего получают растворимый алюминат натрия, а также красный шлам. Предпочтительно, флокуляция красного шлама усиливается и обеспечивается более высокая скорость осаждения при добавлении акриламидных полимеров и/или сополимеров. В качестве флокулянта для осаждения красного шлама, полученного при производстве алюминия, на глиноземных заводах может использоваться полиакриламид, который обеспечивает высокие скорости осаждения и более высокую эффективность разделения и значительно снижает содержание взвешенных частиц. Также повышается эффективность операций фильтрации суспензии, и благодаря этому обработка становится более экономичной. Кроме того, полиакриламиды предпочтительно используются в фильтрах-отстойниках, в устройствах промывки, для загущения гидратов, для фильтрации алюминатного раствора, в качестве модификаторов роста кристаллов, в качестве загустителей и/или в качестве модификаторов реологии.

Кроме того, способ по настоящему изобретению и полимеры акриламида предпочтительно используются в процессах сепарации твердых веществ и жидкостей, например, в качестве флокулянта или обезвоживающего средства, которые способствуют загущению, осветлению, фильтрации и центрифугированию,

для повышения скорости осаждения, для повышения прозрачности и уменьшения объемов сливов. В частности, в процессах фильтрации гомо- или сополимер полиакриламида по настоящему изобретению увеличивает скорость фильтрации и выход фильтрации, а также снижает содержание влаги в осадке.

Кроме того, способ и полученный полиакриламид по настоящему изобретению предпочтительно применяются, в частности, для обработки материалов, а также в качестве связующего вещества. В горнодобывающей промышленности для обработки породы и/или руд, извлеченных из месторождений, требуется перемещение больших объемов материала. Обычный процесс переработки породы и/или руды начинают, например, с извлечения руды, затем следует ее дробление и измельчение, переработка минералов (целевых материалов/ценных полезных ископаемых), затем, например, следует производство металла и, наконец – удаление отходов или хвостов. Неожиданно было обнаружено, что способ по настоящему изобретению, в частности, при использовании полученного полиакриламида, позволяет улучшить процесс обработки минерального материала за счет повышения эффективности процесса и увеличения выхода, улучшения качества продукта и минимизации эксплуатационных расходов. В частности, настоящее изобретение может использоваться для создания более безопасных рабочих условий на руднике и для уменьшения выбросов в окружающую среду.

Предпочтительно способ и полиакриламид, полученный в соответствии с настоящим изобретением, могут, например, использоваться в качестве загустителя, в качестве модификатора плотности и/или реологических свойств, для обезвреживания хвостов. Полученный полиакриламидный полимер может модифицировать свойства хвостов, например, путем модификации реологических свойств. Полученные полиакриламидные полимеры способны придавать жесткость хвостам в месте их захоронения, инициируя мгновенное выделение воды из обработанной суспензии. В результате этого сокращается время сушки хвостов, обеспечивается уменьшение занимаемой хвостами площади и более быстрый возврат регенерированной воды в процесс. Такая обработка эффективна для улучшения свойств хвостов, например, при производстве глинозема, никеля, золота, железной руды, минеральных песков, нефтеносных песков или меди. Дополнительными преимуществами полимеров, полученных в соответствии с

настоящим изобретением, являются, например, увеличение допустимого срока использования зоны захоронения, контроль размещения суспензии, отсутствие необходимости в повторной обработке отложений, совместная утилизация грубого и тонкоизмельченного материала, уменьшается срок, после которого поверхность отложения становится открытой для проезда, уменьшение потерь на испарение, повышение объема рециркуляции, устранение загрязнения мелкой фракцией, снижение потребности в пресной воде, снижение затрат на землеустройство, сокращение затрат на мобильное оборудование, сокращение затрат и времени на восстановление окружающей среды, снижение энергопотребления, ускорение и увеличение общей регенерации воды, повышение скорости уплотнения почвы, снижение интенсивности подъема, уменьшение постседиментационных изменений.

Предпочтительно, продукт, полученный способом по настоящему изобретению, используют для агломерации мелкодисперсных частиц и для подавления пыли. В частности, полиакриламидные полимеры или сополимеры используются в качестве органических связующих для агломерации широкого спектра минеральных субстратов. Например, полиакриламидные полимеры или сополимеры используются для гранулирования железной руды в качестве полной или частичной замены бентонита. Продукт, полученный способом по настоящему изобретению может использоваться в качестве связующего вещества, в частности, в качестве твердого и жидкого органического связующего при брикетировании, экструзии, таблетировании, сферонизации и/или гранулировании; он демонстрирует, например, превосходные смазывающие, формовочные и/или связующие свойства для таких процессов, как брикетирование угольной мелочи, углеродная экструзия, экструзия графита и/или брикетирование никеля.

Способ по настоящему изобретению, в частности, водный концентрат полиакриламида, полученный способом по настоящему изобретению, предпочтительно используются для обогащения руд, содержащих, например, уголь, медь, глинозем, золото, серебро, свинец, цинк, фосфат, калий, никель, железо, марганец или другие минералы.

Преимущества способа по настоящему изобретению

Способом по настоящему изобретению обеспечиваются значительные преимущества по сравнению с известными способами изготовления порошков полиакриламида, а также по сравнению с известными способами изготовления растворов полиакриламида в месте выполнения работ.

Как указано выше, для сушки водных полиакриламидных гелей, в результате чего получают полиакриламидные порошки, для транспортировки порошков к месту использования и повторного растворения сухих порошков в месте использования требуются большие затраты энергии. Следовательно, эксплуатационные затраты на сушку высоки. Кроме того, относительно общих капитальных затрат на всю установку значительными также являются капитальные затраты на все оборудование для последующей обработки, включая измельчение, высушивание, просеивание и помол.

По сравнению с известными способами получения водных растворов полиакриламида в месте выполнения работ путем полимеризации водных растворов акриламида и растворения полученных гелей способ по настоящему изобретению является преимущественным, поскольку в этом случае нет необходимости в транспортировке всей установки, когда в месте выполнения работ, то есть на нефтяной скважине, исчезает необходимость в растворах полиакриламида, и они становятся нужны в другом месте, то есть на другой нефтяной скважине.

Оборудование для получения полиакриламидных гелей и для получения водных концентратов полиакриламида может оставаться в локации А, которое обычно находится в центральной точке области использования. Оттуда водные концентраты полиакриламида подают к отдельным локациям использования, например, к отдельным нефтяным скважинам.

Кроме того, в локации А может быть сконцентрировано все оборудование для сложных процессов (например, для полимеризации) и/или для потенциально опасных процессов (например, для хранения потенциально опасных продуктов), следовательно, в локации А требуется наличие персонала, имеющего опыт работы в химическом производстве. В локации В необходимо лишь удалить водный концентрат полиакриламида из транспортного блока и использовать его напрямую или можно дополнительно разбавить его и использовать разбавленный раствор.

Помимо получения полиакриламидов в виде порошков, также известны способы получения инвертных эмульсий полиакриламидов. Такие инвертные эмульсии обычно содержат 30 мас.% - 40 мас.% полиакриламидов.

Как будет подробно описано в экспериментальной части, водные концентраты полиакриламида имеют преимущества в производительности по сравнению с инверными эмульсиями, а также по сравнению с использованием порошков.

Примеры:

Настоящее изобретение боле подробно поясняется следующими примерами.

Исследуемые полиакриламидные понизители трения:

Пример 1:

Водный концентрат полиакриламида, полученный путем смешивания водного полиакриламидного геля с водной жидкостью

Этап 1:

Получение водного геля сополимера, содержащего 69,4 мас.% (75,0 мол.%) акриламида и 30,6 мас.% (25 мол.%) акрилата натрия, стабилизированного 0,25 мас.% Na-MBT от всего количества полимера путем адиабатической гелевой полимеризации (содержание твердых веществ 23 мас.% от всего количества геля)

Мензурку объемом 5 л с магнитной мешалкой, pH-метром и термометром заполнили 1600 г дистиллированной воды, 702,04 г акрилата натрия (35 мас.% в воде) и 1071,69 г акриламида (52 мас.% в воде). Затем добавили 10,5 г пентанатриевой соли диэтилентриаминпентауксусной кислоты (Trilon C; 5 мас.% в воде) и 4 г стабилизатора, 2-меркаптобензотиазола натрия (Na-MBT; 50 мас.% в воде).После доведения pH до 6,4 серной кислотой (20 мас.% в воде) и добавления остального количества воды для достижения необходимой концентрации мономеров 23 мас.% (общее количество воды 1690,08 г минус количество уже добавленной воды, минус необходимое количество кислоты) раствор мономеров доводили до температуры около -3 °C. Раствор переносили в сосуд Дьюара, вставляли температурный датчик для регистрации температуры, затем колбу продували азотом в течение 45 минут. Полимеризацию инициировали при 0 °C с использованием 21 г 10% водного раствора 2,2‘-азобис (2-метилпропионамидин)-

дигидрохлорида (Wako V-50; 10 ч $t_{1/2}$ в воде 56 °C), 1,75 г трет-бутилгидропероксида (1 мас.% в воде) и 1,05 г 1% раствора сульфита натрия. С началом полимеризации температура повысилась до 54,6 °C в течение примерно 63 мин. Получили твердый блок полимерного геля.

После полимеризации блок геля инкубировали в течение 4 ч. при 60 °C. Затем блок разрезали вертикально на две части. Одну часть запечатали в пластиковый пакет для использования на этапе 2. Вторую часть оставили для сравнительного примера 2.

Этап 2:

Получение водного концентрата полиакриламида (концентрация полимера: 5 мас.%)

Водный полиакриламидный гель, полученный на этапе 1, вначале нарезают на мелкие частицы с размером в диапазоне 2 - 5 мм. Для получения конечной концентрации полимера 5,0 мас.%, 58,82 г этих измельченных частиц затем диспергировали в мензурке объемом 600 мл с 241,18 г дистиллированной воды. Добавляли частицы геля через подвесной смеситель с серповидным пропеллером диаметром 75 мм при перемешивании. Скорость перемешивания первоначально была 300 об./мин. в течение первых 5 мин., затем снижена до 30 об./мин. в течение еще 18 ч.

Сравнительный пример 1:

Инвертная эмульсия полиакриламидов

Инвертная эмульсия сополимера, содержащего 69,4 мас.% (75,0 мол.%) акриламида и 30,6 мас.% (25 мол.%) акрилата натрия, стабилизированного 0,25 мас.% Na-MBT от всего количества полимера (содержание твердых веществ 23 мас.% от всего количества инвертной эмульсии)

Мензурку объемом 600 мл с магнитной мешалкой, pH-метром и термометром заполнили 150,44 г акрилата натрия (35 мас.% в воде), 128,97 дистиллированной воды, 229,65 г акриламида (52 мас.% в воде), 0,5 г пентанатриевой соли диэтилентриаминпентауксусной кислоты (Trilon C; 5 мас.% в воде) и 0,86 г стабилизатора, 2-меркаптобензотиазола натрия (Na-MBT; 50 мас.% в воде).

После доведения pH до 6,4 серной кислотой (20 мас.% в воде) добавили остальное количество воды для достижения необходимой концентрации мономеров 23 мас.% (общее количество воды 138,61 г минус количество уже добавленной воды, минус необходимое количество кислоты).

В высокий стакан объемом 1 л загружали 12,2 г сорбитанмоноолеата (Span® 80) и добавили 189,9 г смеси деароматизированных углеводородов с высокой температурой кипения (Exxsol® D100) и перемешивали лопаткой.

Стакан с нефтяным раствором зафиксировали в смесителе с большими сдвиговыми усилиями Silverson. При перемешивании нефтяного раствора при 4000 об./мин. быстро влили водный раствор. Затем на 2 мин 48 сек. скорость перемешивания смесителя Silverson повысили до 8000 об./мин.

Эмульсию перенесли в реактор с двойной рубашкой, перемешивали со скоростью 200 об./мин. и температуру довели до температуры инициации полимеризации 10 °C. В течение этого времени (60 мин.) эмульсию продували азотом. Полимеризацию инициировали путем добавления по каплям 9 г 0,1% раствора бисульфита натрия и 5 г 0,1% раствора трет-бутилгидропероксида. Инициаторы добавляли с использованием ручного отжимного насоса. После добавления всего объема соответствующих 0,1% растворов, инициаторы заменили на 9 г 1% раствора бисульфита натрия и 5 г 1% раствора трет-бутилгидропероксида. В результате, температура повышалась на 1 °C/мин. до 40 °C, после чего температура поддерживалась на уровне 40 °C. После добавления всего объема второго инициатора, эмульсию перемешивали еще 60 мин. при 40 °C. Затем эмульсию фильтровали через фильтр с размером пор 190 μм.

Активация инвертной эмульсии

Активацию проводили за 24 часа до использования в исследованиях трения в контуре.

Для активации 97,75 г инвертной эмульсии вылили в стеклянный стакан и перемешивали с помощью подвесного смесителя при 650 об./мин. С помощью пластикового шприца объемом 5 мл добавили 2,25 г коммерчески доступного активатора сразу в вихревую смесь инвертной эмульсии. Смесь перемешивали в течение еще 8 минут.

Сравнительный пример 2:

Водный концентрат полиакриламида, полученный путем смешивания полиакриламидного порошка с водной жидкостью

Этап 1:

Получение водного геля сополимера, содержащего 69,4 мас.% (75,0 мол.%) акриламида и 30,6 мас.% (25 мол.%) акрилата натрия, стабилизированного 0,25 мас.% Na-MBT от всего количества полимера путем адиабатической гелевой полимеризации (содержание твердых веществ 23 мас.% от всего количества геля)

Этап 1 осуществляли аналогично примеру 1. Часть полимерного геля, полученного на этапе 1 примера 1, использовали в примере 1, а другую часть – в настоящем сравнительном примере 2.

Этап 2:

Высушивание водного геля

Гель, полученный в примере 1, измельчали в мясорубке. Частицы высушивали в течение двух ч. при 55 °C в сушилке с псевдоожиженным слоем. После высушивания высушенные частицы измельчили в лабораторной мельнице и профильтровали через сито с размером пор 1 мм. Получили полиакриламид с активным содержанием 94,6 мас. % (остальное содержание – вода).

Этап 3:

Получение водного концентрата полиакриламида (концентрация полимера: 5 мас.%)

В мензурку объемом 600 мл добавили 284,21 г воды через подвесной смеситель с серповидным пропеллером диаметром 75 мм при перемешивании. Скорость перемешивания первоначально была 300 об./мин. После этого в вихревую смесь в течение нескольких секунд медленно, чтобы избежать образования комков, добавляли 15,79 г порошка полиакриламида (то есть количество, обеспечивающее конечную концентрацию полиакриламида 5,0 мас.%), полученного на этапе 2. Через 5 мин. скорость смешивания снизили до 30 об./мин. в течение еще 18 ч.

Сравнительный пример 3:

Водный концентрат полиакриламида, полученный путем смешивания полиакриламидного порошка с водной жидкостью

Этап 1:

Получение водного геля сополимера, содержащего 69,4 мас.% (75,0 мол.%) акриламида и 30,6 мас.% (25 мол.%) акрилата натрия, стабилизированного 0,25 мас.% Na-MBT от всего количества полимера путем адиабатической гелевой полимеризации (содержание твердых веществ 30 мас.% от всего количества геля)

Мензурку объемом 5 л с магнитной мешалкой, pH-метром и термометром заполнили 1100 г дистиллированной воды, 915,71 г акрилата натрия (35 мас.% в воде) и 1397,85 г акриламида (52 мас.% в воде). Затем добавили 10,5 г пентанатриевой соли диэтилентриаминпентауксусной кислоты (Trilon C; 5 мас.% в воде) и 5,2 г стабилизатора, 2-меркаптобензотиазола натрия (Na-MBT; 50 мас.% в воде).

После доведения pH до 6,4 серной кислотой (20 мас.% в воде) и добавления остального количества воды для достижения необходимой концентрации мономеров 30 мас.% (общее количество воды 1149,05 г минус количество уже добавленной воды, минус необходимое количество кислоты) раствор мономеров доводили до температуры около -3 °C. Раствор переносили в сосуд Дьюара, вставляли температурный датчик для регистрации температуры, затем колбу продували азотом в течение 45 минут. Полимеризацию инициировали при 0 °C с использованием 21 г 10% водного раствора 2,2‘-азобис (2-метилпропионамидин)дигидрохлорида (Wako V-50; 10 ч $t_{1/2}$ в воде 56 °C), 1,75 г трет-бутилгидропероксида (1 мас.% в воде) и 1,05 г 1% раствора сульфита натрия. С началом полимеризации температура повысилась до 84,4 °C в течение примерно 20 мин. Получили твердый блок полимерного геля.

После полимеризации блок геля инкубировали в течение 4 ч. при 80 °C. Затем блок измельчали в мясорубке. Частицы высушивали в течение двух ч. при 55 °C в сушилке с псевдоожиженным слоем. После высушивания высушенные частицы измельчили в лабораторной мельнице и профильтровали через сито с размером пор 1 мм. Получили полиакриламид с активным содержанием 95,0 мас.%.

Этап 2:

Получение водного концентрата полиакриламида (концентрация полимера: 5 мас.%)

В мензурку объемом 600 мл добавили 284,21 г воды через подвесной смеситель с серповидным пропеллером диаметром 75 мм при перемешивании. Скорость перемешивания первоначально была 300 об./мин. После этого в вихревую смесь в течение нескольких секунд медленно, чтобы избежать образования комков, добавляли 15,79 г порошка полиакриламида (то есть количество, обеспечивающее конечную концентрацию полиакриламида 5,0 мас.%), полученного на этапе 2. Через 5 мин. скорость смешивания снизили до 30 об./мин. в течение еще 18 ч.

Устройство для исследований трения в контуре

Оценку эффективности понизителя трения осуществляли с использованием контура трения модели Chandler M5600, которая обеспечивает циркуляцию жидкости через участок трубы с известным диаметром, чтобы определить эффективность и продолжительность действия понизителя трения, добавленного в исследуемую жидкость. Жидкость в контуре протекает из резервуара объемом ~ 37,8 л (~ 10 галлонов) через насос, массовый расходомер, через две секции трубы длиной ~ 250 см (10 футов), а затем возвращается в резервуар для рециркуляции. В двух секциях трубы производится измерение падения давления. Внешний диаметр одной секции составляет 1,27 см (1/2 дюйма), а внешний диаметр другой секции – 1,91 см (3/4 дюйма), что дает различные диапазоны числа Рейнольдса.

В контур трения загружали 37,85 л (10 галлонов) исследуемой водной жидкости (пресная или минерализованная вода). Расход составлял 37,85 л/мин. (10 галлонов в минуту), после стабилизации давления регистрировалось начальное давление. После этого в смешивающее устройство резервуара для жидкости с помощью пластикового шприца впрыскивалась исследуемая композиция понизителя трения.

Время впрыска было принято за начало исследования (время = 0 секунд). Эффективность композиции понизителя трения определяют путем измерения последующего падения давления. Приведены данные о давлении для трубы диаметром 1,27 см, поскольку они отражают более высокое число Рейнольдса, чем данные для трубы диаметром 1,91 см.

Данные о давлении были преобразованы в данные о понижении трения по формуле:

$$\%\ \text{понижения трения}(\%\ FR) = \frac{\text{Начальное давление без понизителя трения} - \text{давление с понизителем трения}}{\text{Начальное давление без понизителя трения}}$$

Исследования трения в контуре

Для исследований с контуром трения использовали 26,08 г каждого из водных концентратов полиакриламида, полученных в Примерах 1 - 3 (каждый имеет концентрацию полиакриламида 5 мас.%). Эта дозировка соответствует конечной концентрации полимера 35 ч./млн. после разбавления в контуре трения дополнительным количеством пресной воды.

Водный концентрат полиакриламида добавляли непосредственно в смешивающее устройство смесительного резервуара контура трения в точке времени = 0, как указано в приведенном выше описании контура трения.

5,67 мл образца активированной инвертной эмульсии (сравнительный Пример 1) вводили непосредственно в смешивающее устройство смесительного резервуара контура для достижения конечной концентрации полимера 35 ч./млн.

Обобщённые результаты (процент понижения трения в зависимости от времени) представлены на Фигуре 17.

Обсуждение полученных результатов

На Фигуре 17 показано сравнение процента понижения трения для Примера 1 и сравнительных примеров 1, 2 и 3 в функциональной зависимости от времени. Для каждого образца измерения проводили отдельно в одних и тех же экспериментальных условиях и при одинаковой эффективной дозированной концентрации.

Водный концентрат полиакриламида, полученный из водного геля (Пример 1) давал большее максимальное понижение трения, а также более высокую скорость потока по сравнению с инвертной эмульсией (сравнительный пример 1).

Образец по примеру 1 также обеспечивал лучшие результаты по сравнению двумя образцами, приготовленными из порошков (сравнительный пример 2 и сравнительный пример 3) за интервал 10 мин.

Формула изобретения

1. Способ получения водного концентрата полиакриламида путем полимеризации водного раствора, содержащего, по меньшей мере, акриламид, в результате чего получают водный полиакриламидный гель, и смешивания указанного водного полиакриламидного геля с водной жидкостью, **отличающийся тем,** что способ включает, по меньшей мере, следующие этапы:

[1] радикальную полимеризацию водного раствора мономеров в присутствии подходящих инициаторов радикальной полимеризации в адиабатических условиях в блоке полимеризации в локации A,

причем водный раствор мономеров содержит, по меньшей мере, воду и 15 - 50 мас.% водорастворимых моноэтиленненасыщенных мономеров, из расчета на общую массу всех компонентов водного раствора мономеров, в локации A, причем указанные водорастворимые моноэтиленненасыщенные мономеры содержат, по меньшей мере, акриламид, в результате чего получают водный полиакриламидный гель, который находится в блоке полимеризации,

[2] удаление водного полиакриламидного геля из блока полимеризации в локации A,

[3] измельчение водного полиакриламидного геля и смешивание его с водной жидкостью в локации A, в результате чего получают водный концентрат полиакриламида с концентрацией полиакриламидов 1,0 - 14,9 мас.%, из расчета на общую массу всех компонентов водного концентрата полиакриламида,

[4] транспортировку водного концентрата полиакриламида в транспортном блоке с объёмом 1 $м^3$ - 40 $м^3$ с помощью транспортного средства, выбранного из группы грузовых автомобилей, железнодорожных вагонов или водных судов, из локации A в другую локацию B, и

[5] удаление водного концентрата полиакриламида из транспортного блока в локации B.

2. Способ по п. 1, **отличающийся тем,** что концентрация полиакриламидов водного концентрата полиакриламида составляет 2,1 - 10 мас.%, из расчета на общую массу всех компонентов водного концентрата полиакриламида.

3. Способ по п. 1, **отличающийся тем,** что концентрация полиакриламидов водного концентрата полиакриламида составляет 3,1 - 7 мас.%, из расчета на общую массу всех компонентов водного концентрата полиакриламида.

4. Способ по любому из пп. 1 - 3, **отличающийся тем,** что этап [1] осуществляют в блоке полимеризации, содержащем верхнюю цилиндрическую часть, коническую часть в нижней части, каналы подачи водного раствора мономеров, нижнее отверстие для удаления полиакриламидного геля и устройство для вертикальной установки блока полимеризации.

5. Способ по п. 4, **отличающийся тем,** что водный полиакриламидный гель удаляют из блока полимеризации путем применения давления газа на гель и продавливания его через нижнее отверстие.

6. Способ по любому из пп. 1 - 5, **отличающийся тем,** что измельчение водного полиакриламидного геля в ходе этапа [3] осуществляют путем подачи водного полиакриламидного геля через, по меньшей мере, один блок измельчения вместе с водной жидкостью, в результате чего получают смесь частиц водного полиакриламидного геля в водном растворе полиакриламида.

7. Способ по п. 6, **отличающийся тем,** что блок измельчения содержит устройство для измельчения водных полимерных гелей, выбранное из статических режущих устройств, динамических режущих устройств, перфорированных пластин, статических смесителей, устройств для гидроабразивной резки или их комбинаций.

8. Способ по п. 6, **отличающийся тем,** что, по меньшей мере, один блок измельчения представляет собой устройство для гидроабразивной резки.

9. Способ по любому из пп. 6 - 8, **отличающийся тем,** что способ включает дополнительный этап гомогенизации смеси частиц водного

полиакриламидного геля в водном растворе полиакриламида путем переноса смеси в емкость и

- отстаивания смеси в емкости, или
- смешивания содержимого емкости с использованием подходящего смешивающего устройства.

10. Способ по любому из пп. 1 - 9, **отличающийся тем,** что объем транспортного блока составляет 10 - 30 $м^3$.

11. Способ по любому из пп. 1 - 10, **отличающийся тем,** что транспортный блок представляет собой контейнер-цистерну ISO.

12. Способ по любому из пп. 1 - 10, **отличающийся тем,** что транспортный блок представляет собой автоцистерну.

13. Способ по любому из пп. 1 - 10, **отличающийся тем,** что транспортный блок представляет собой цистерну, закрепленную на грузовом автомобиле, которая содержит выпускное отверстие в задней части грузового автомобиля и устройство для наклона цистерны.

14. Способ по любому из пп. 1 - 10, **отличающийся тем,** что транспортный блок представляет собой цистерну, закрепленную на грузовом автомобиле, которая содержит конус в нижней части и выпускное отверстие на нижнем конце конуса.

15. Способ по любому из пп. 1 - 14, **отличающийся тем,** что транспортный блок заполняют путем закачки водного концентрата полиакриламида в транспортный блок.

16. Способ по любому из пп. 1 - 15, **отличающийся тем,** что время транспортировки составляет 1 ч. - 28 дней.

17. Способ по любому из пп. 1 - 16, **отличающийся тем,** что водный концентрат полиакриламида удаляют из транспортного блока с использованием насоса.

18. Способ по любому из пп. 1 - 17, **отличающийся тем,** что способ включает дополнительный этап [6] разбавления водного концентрата полиакриламида водной жидкостью в локации B.

19. Способ по любому из пп. 1 - 18, **отличающийся тем,** что акриламид, необходимый для способа, получают путем гидролиза акрилонитрила в воде в присутствии биокатализатора конверсии акрилонитрила в акриламид.

20. Способ по любому из пп. 1 - 18, **отличающийся тем,** что способ включает дополнительный этап [0], осуществляемый в локации A и включающий гидролиз акрилонитрила в воде в присутствии биокатализатора конверсии акрилонитрила в акриламид, в результате чего получают водный раствор акриламида, и причем указанный водный раствор акриламида используют для получения водного раствора мономеров для этапа [1].

21. Способ получения водного концентрата полиакриламида путем полимеризации водного раствора, содержащего, по меньшей мере, акриламид, в результате чего получают водный полиакриламидный гель, и смешивания указанного водного полиакриламидного геля с водной жидкостью, **отличающийся тем,** что способ включает, по меньшей мере, следующие этапы:

[1] радикальную полимеризацию водного раствора мономеров в присутствии подходящих инициаторов радикальной полимеризации в адиабатических условиях в блоке полимеризации в локации A,

причем водный раствор мономеров содержит, по меньшей мере, воду и 15 - 50 мас.% водорастворимых моноэтиленненасыщенных мономеров, из расчета на общую массу всех компонентов водного раствора мономеров, в локации A, причем указанные водорастворимые моноэтиленненасыщенные мономеры содержат, по меньшей мере, акриламид, причем блок полимеризации содержит цилиндрическую верхнюю часть, коническую часть внизу, каналы подачи водного раствора мономеров и нижнее отверстие, в результате чего получают водный полиакриламидный гель, который находится в блоке полимеризации,

[2] удаление водного полиакриламидного геля из блока полимеризации через нижнее отверстие путем воздействия давления газа в локации A,

[3] измельчение водного полиакриламидного геля и смешивание его с водной жидкостью в локации А, в результате чего получают водный концентрат полиакриламида с концентрацией полиакриламидов 1,0 - 14,9 мас.%, из расчета на общую массу всех компонентов водного концентрата полиакриламида,

[4] транспортировку водного концентрата полиакриламида в транспортном блоке с объёмом 1 $м^3$ - 40 $м^3$ с помощью транспортного средства, выбранного из группы грузовых автомобилей, железнодорожных вагонов или водных судов, из локации А в другую локацию В, и

[5] удаление водного концентрата полиакриламида из транспортного блока в локации В.

22. Способ получения водного концентрата полиакриламида путем полимеризации водного раствора, содержащего, по меньшей мере, акриламид, в результате чего получают водный полиакриламидный гель, и смешивания указанного водного полиакриламидного геля с водной жидкостью, **отличающийся тем,** что способ включает, по меньшей мере, следующие этапы:

[1] радикальную полимеризацию водного раствора мономеров в присутствии подходящих инициаторов радикальной полимеризации в адиабатических условиях в блоке полимеризации в локации А,

причем водный раствор мономеров содержит, по меньшей мере, воду и 15 - 50 мас.% водорастворимых моноэтиленненасыщенных мономеров, из расчета на общую массу всех компонентов водного раствора мономеров, причем указанные водорастворимые моноэтиленненасыщенные мономеры содержат, по меньшей мере, акриламид, причем блок полимеризации содержит цилиндрическую верхнюю часть, коническую часть внизу, каналы подачи водного раствора мономеров и нижнее отверстие, в результате чего получают водный полиакриламидный гель, который находится в блоке полимеризации,

[2] удаление водного полиакриламидного геля из блока полимеризации через нижнее отверстие путем воздействия давления газа,

[3] подачу водного полиакриламидного геля через, по меньшей мере, один блок измельчения вместе с водной жидкостью, в результате чего получают смесь частиц водного полиакриламидного геля в водном растворе полиакриламида с последующей гомогенизацией смеси, полученной переносом смеси в емкость, и

- отстаиванием смеси в емкости, или
- смешиванием содержимого емкости с использованием подходящего смешивающего устройства,

в результате чего получают водный концентрат полиакриламида с концентрацией полиакриламидов 3,1 - 14,9 мас.%, из расчета на общую массу всех компонентов водного концентрата полиакриламида.

23. Модульная мобильная установка для производства водных концентратов полиакриламида путем полимеризации водного раствора, содержащего, по меньшей мере, акриламид, в результате чего получают водный полиакриламидный гель, и смешивания указанного водного полиакриламидного геля с водной жидкостью, содержащая, по меньшей мере, следующие компоненты:

- в локации А:
  - мобильный блок хранения водного раствора акриламида,
  - при необходимости, мобильные блоки хранения водорастворимых моноэтиленненасыщенных мономеров, отличных от акриламида,
  - мобильный блок хранения инициаторов полимеризации,
  - мобильный блок разбавления мономеров для приготовления водного раствора мономеров, содержащего, по меньшей мере, воду и акриламид,
  - мобильный блок полимеризации для полимеризации водного раствора мономеров в присутствии инициаторов полимеризации,
  - мобильный блок измельчения водного полиакриламидного геля и смешивания его с водной жидкостью, в результате чего получают водный концентрат полиакриламида,

- в локации A или B:
  - транспортный блок для транспортировки водного концентрата полиакриламида из локации A в локацию B.
- в локации B:
  - устройство для удаления водного концентрата полиакриламида из транспортного блока.

24. Модульная мобильная установка по п. 23, **отличающаяся тем,** что установка дополнительно содержит блок растворения в локации B.

25. Модульная мобильная установка по п. 23 или 24, **отличающаяся тем,** что мобильный блок измельчения содержит, по меньшей мере, одно устройство, выбранное из вращающихся струй воды, вращающихся ножей и/или перфорированной пластины.

26. Модульная мобильная установка по любому из пп. 23 - 25, **отличающаяся тем,** что расстояние между локацией A и локацией B составляет 1 км - 3000 км.

27. Модульная мобильная установка для производства водных концентратов полиакриламида путем полимеризации водного раствора, содержащего, по меньшей мере, акриламид, в результате чего получают водный полиакриламидный гель, и смешивания указанного водного полиакриламидного геля с водной жидкостью, содержащая, по меньшей мере, следующие компоненты:

- мобильный блок хранения водного раствора акриламида,
- при необходимости, мобильные блоки хранения водорастворимых моноэтиленненасыщенных мономеров, отличных от акриламида,
- мобильный блок хранения инициаторов полимеризации,
- мобильный блок разбавления мономеров для приготовления водного раствора мономеров, содержащего, по меньшей мере, воду и акриламид,
- мобильный блок полимеризации для полимеризации водного раствора мономеров в присутствии инициаторов полимеризации,

- мобильный блок измельчения водного полиакриламидного геля и смешивания его с водной жидкостью, в результате чего получают водный концентрат полиакриламида,

28. Применение водных концентратов полиакриламида с концентрацией полиакриламидов 1,0 - 14,9 мас.%, из расчета на общее количество всех компонентов водного концентрата полиакриламида, в ходе добычи полезных ископаемых, на нефтяных месторождениях, при очистке воды, очистке сточных вод, при производстве бумаги или в сельском хозяйстве, **отличающееся тем,** что водный раствор полиакриламида получают в соответствии со способом по любому из пп. 1 - 22.

29. Применение водных концентратов полиакриламида в способе повышения нефтеотдачи, включающем, по меньшей мере, следующие этапы:

- предоставление водной нагнетательной жидкости путем смешивания, по меньшей мере, жидкости на водной основе и водного концентрата полиакриламида с концентрацией полиакриламидов 1,0 - 14,9 мас.%, из расчета на общую массу всех компонентов водного концентрата полиакриламида,
- закачку водной нагнетательной жидкости в залежь нефти, по меньшей мере, через одну нагнетательную скважину, и
- извлечение неочищенной нефти из залежи, по меньшей мере, через одну эксплуатационную скважину,

и причем водный концентрат полиакриламида получают в соответствии со способом по любому из пп. 1 - 22.

30. Применение по п. 29, **отличающееся тем,** что концентрация концентрата составляет 3,1 - 10 мас.%.

31. Применение по п. 28 или 29, **отличающееся тем,** что водные концентраты полиакриламида нагнетают в трубопроводы, через которые водную нагнетательную жидкость транспортируют к нагнетательным скважинам.

32. Применение водных концентратов полиакриламида в качестве понизителей трения в способе гидроразрыва подземных пластов, включающем, по меньшей мере, следующие этапы:

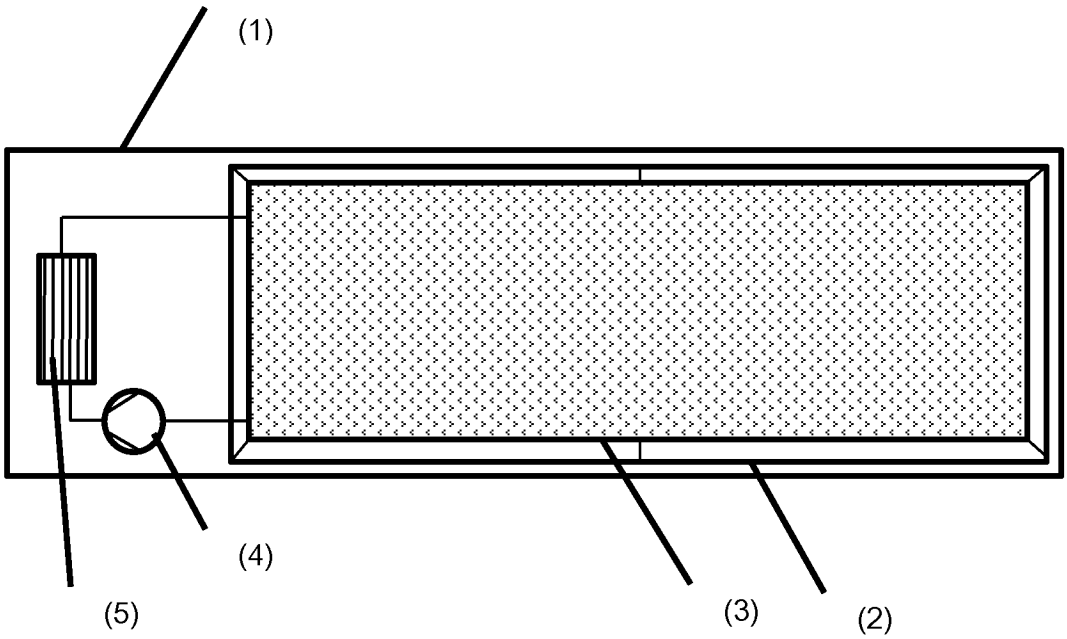
- предоставление водной нагнетательной жидкости путем смешивания, по меньшей мере, жидкости на водной основе, проппанта и водного концентрата полиакриламида с концентрацией полиакриламидов 1,0 - 14,9 мас.%, из расчета на общую массу всех компонентов водного концентрата полиакриламида, причем концентрация полиакриламидов в водной жидкости для гидроразрыва составляет 20 ч./млн. - 600 ч./млн., из расчета на общую массу всех компонентов водной жидкости для гидроразрыва, за исключением проппантов,
- закачку водной жидкости для гидроразрыва через ствол скважины в подземный пласт под давлением, достаточным для ее подачи в пласт и для создания или расширения трещин в пласте,

и причем водный концентрат полиакриламида получают в соответствии со способом по любому из пп. 1 - 22.

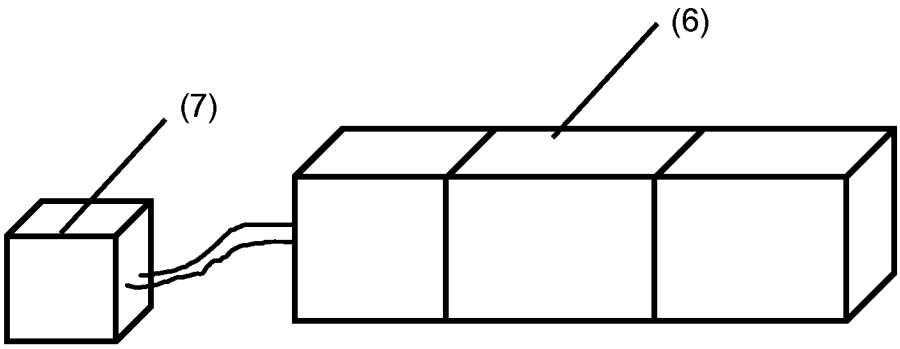
33. Применение по п. 32, **отличающееся тем,** что концентрация концентрата составляет 3,1 - 10 мас.%.

34. Применение по пп. 32 и 33, **отличающееся тем,** что водный концентрат полиакриламида дозированно добавляют в блендер и смешивают с водной жидкостью и проппантами.

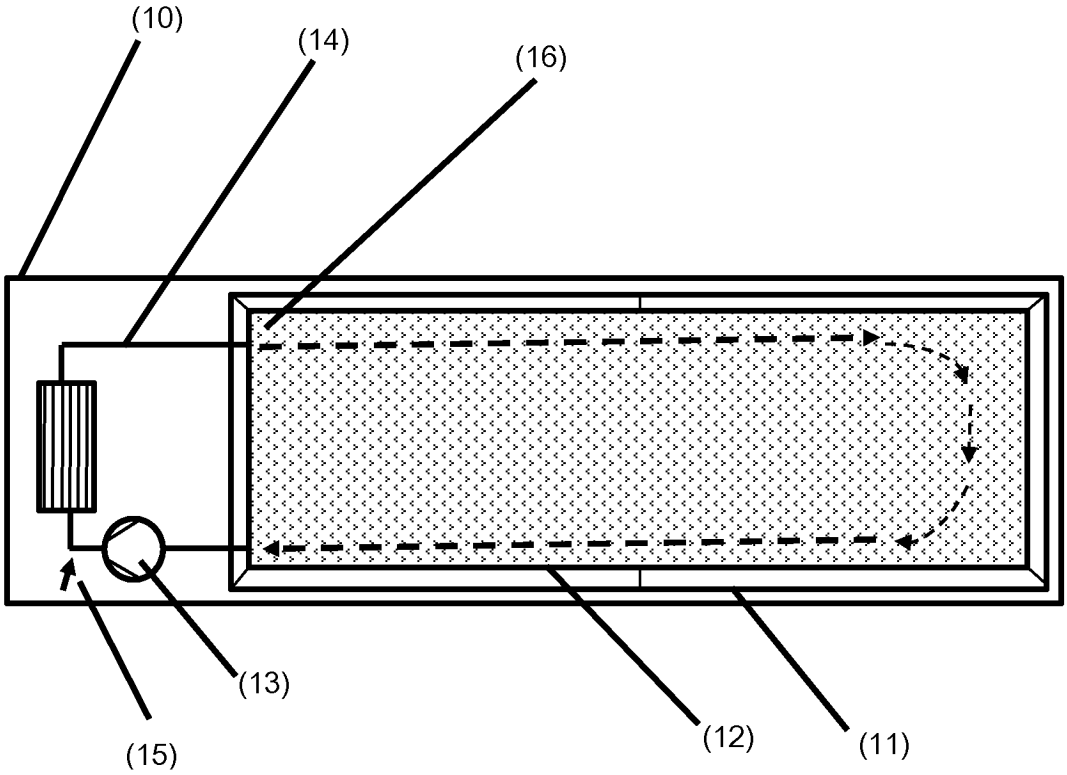
35. Применение водных концентратов полиакриламида с концентрацией полиакриламидов 1,0 - 14,9 мас.%, из расчета на массу всех компонентов водного концентрата полиакриламида для добычи полезных ископаемых, обогащения полезных ископаемых и/или металлургических работ, включая применение для сепарации твердых веществ и жидкостей, для удаления хвостов, для удаления хвостов с модификацией полимером, для обезвреживания хвостов, в качестве средства, модифицирующего вязкость и реологические свойства, в качестве добавки, способствующей агломерированию, в качестве связующего вещества и/или для транспортировки материалов, **отличающееся тем,** что водный раствор полиакриламида получают в соответствии со способом по любому из пп. 1 - 22.



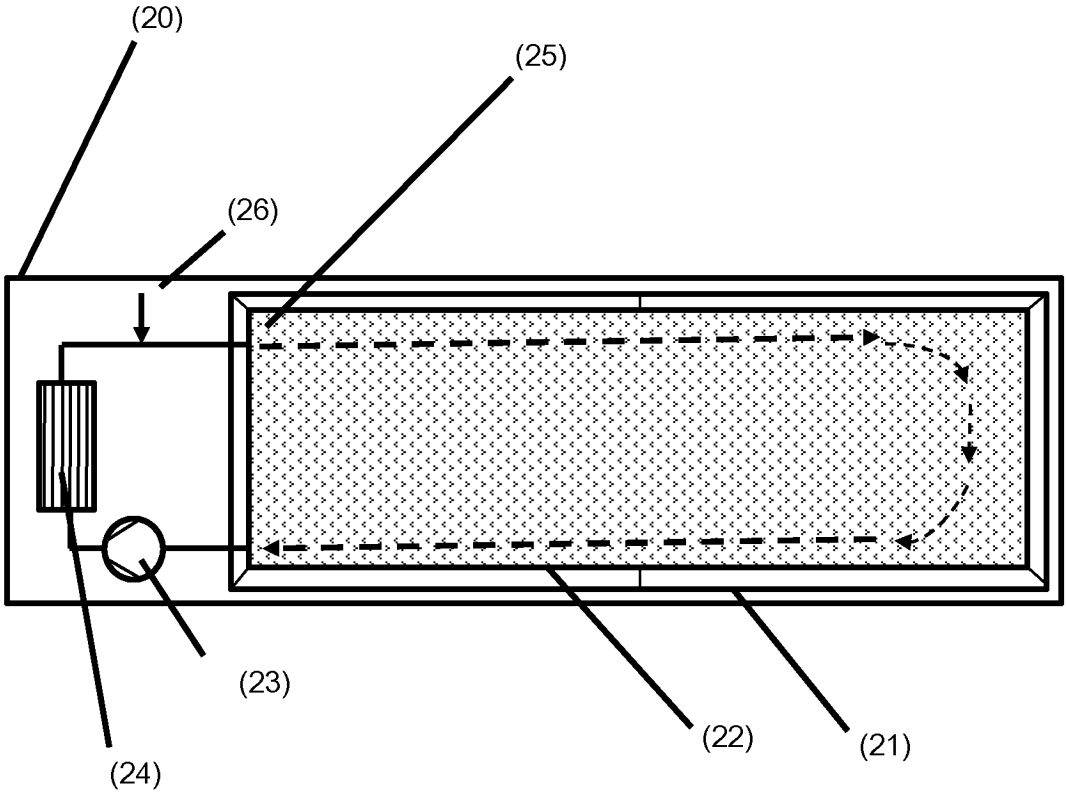
Фиг. 1



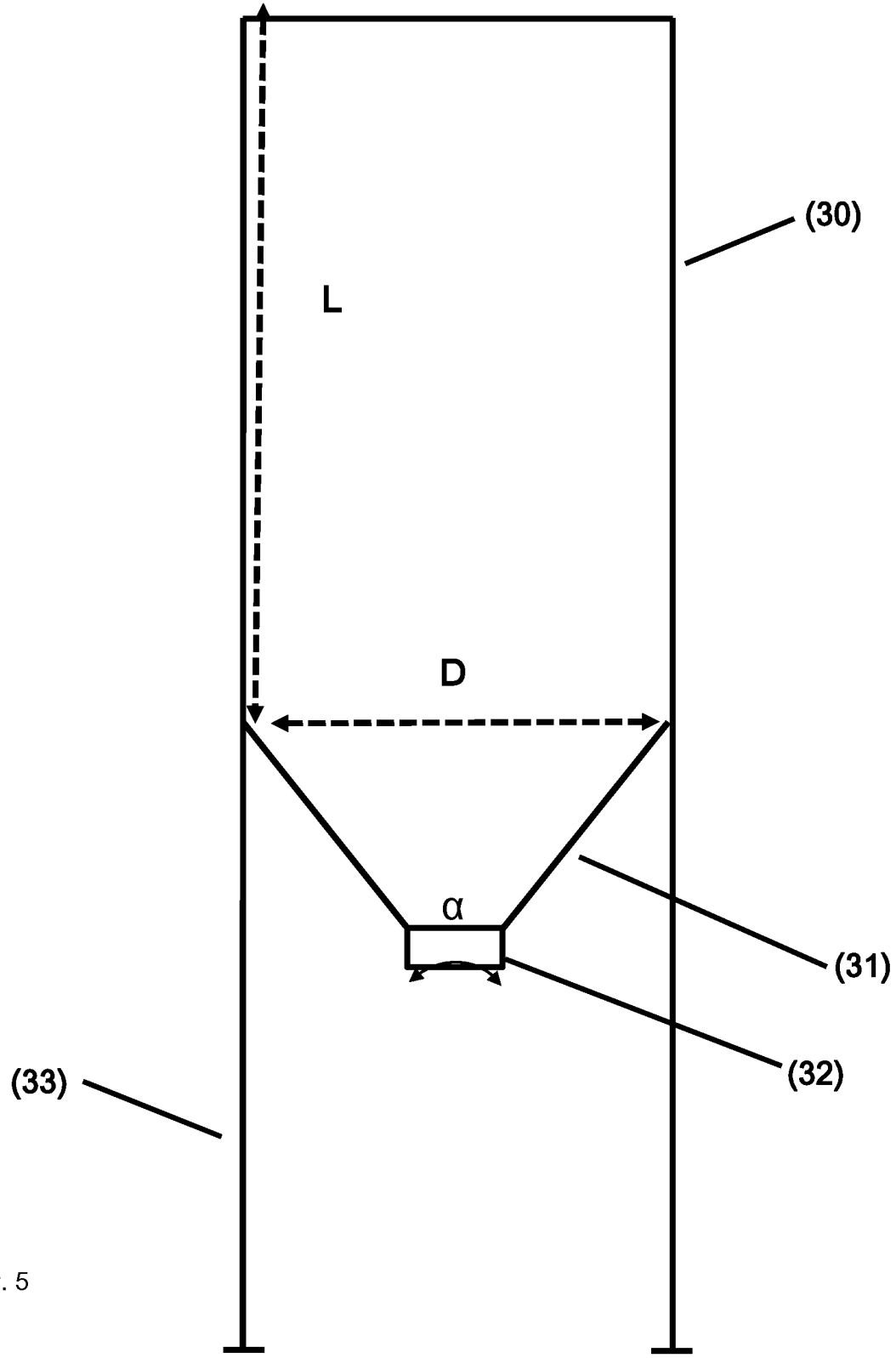
Фиг. 2



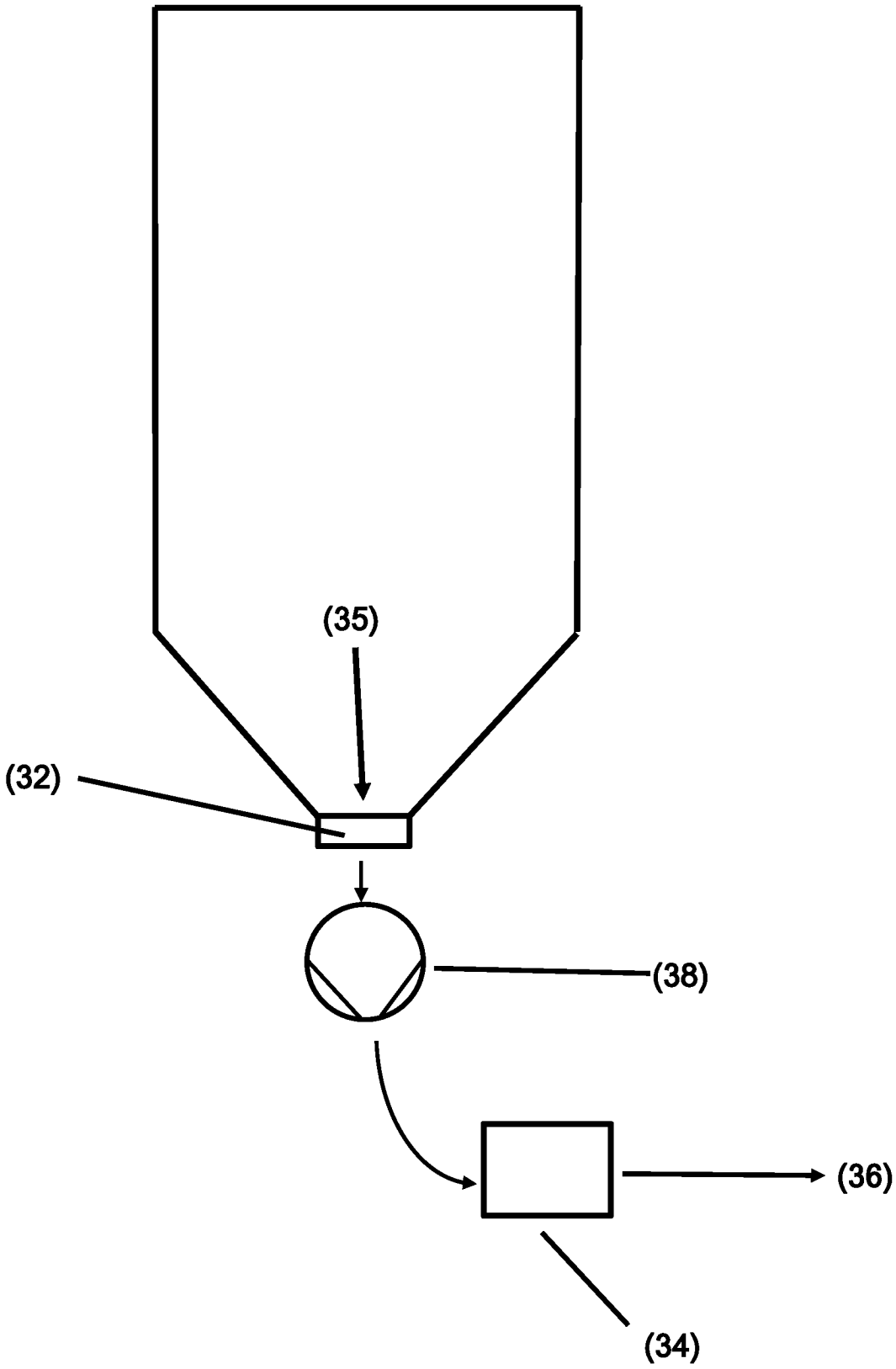
Фиг. 3



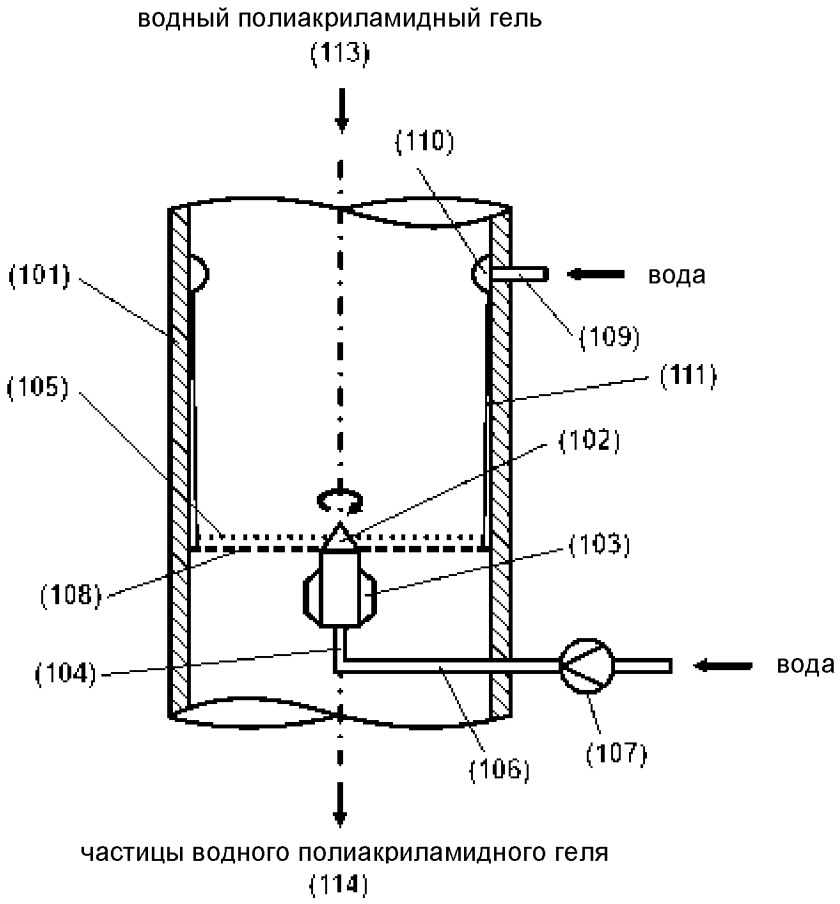
Фиг. 4



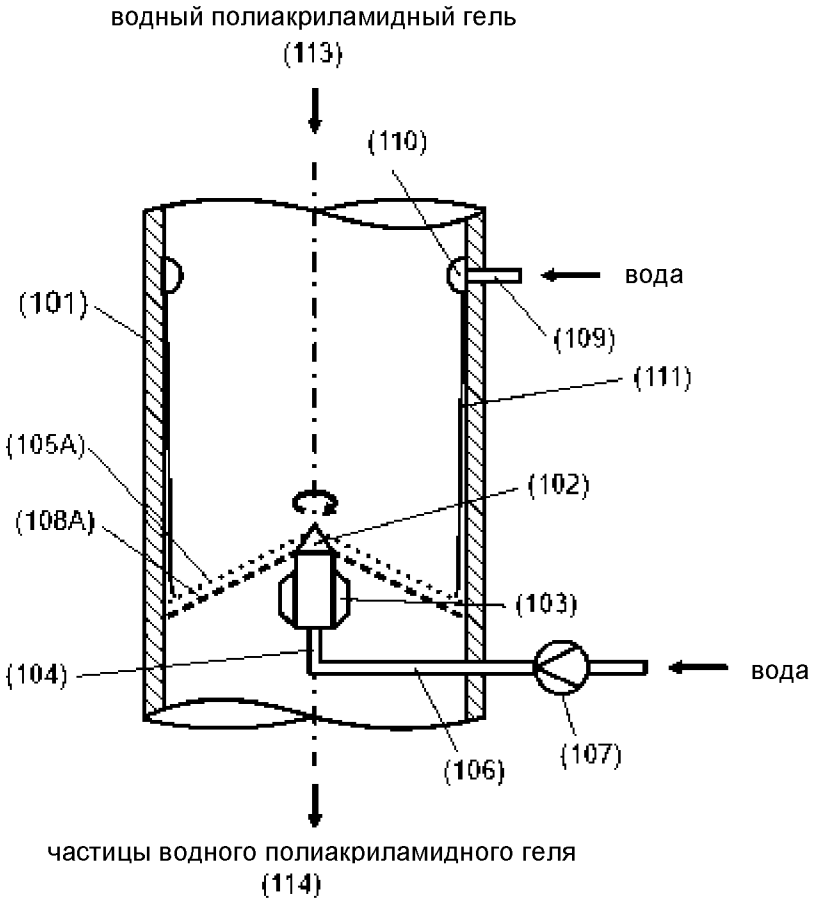
Фиг. 5



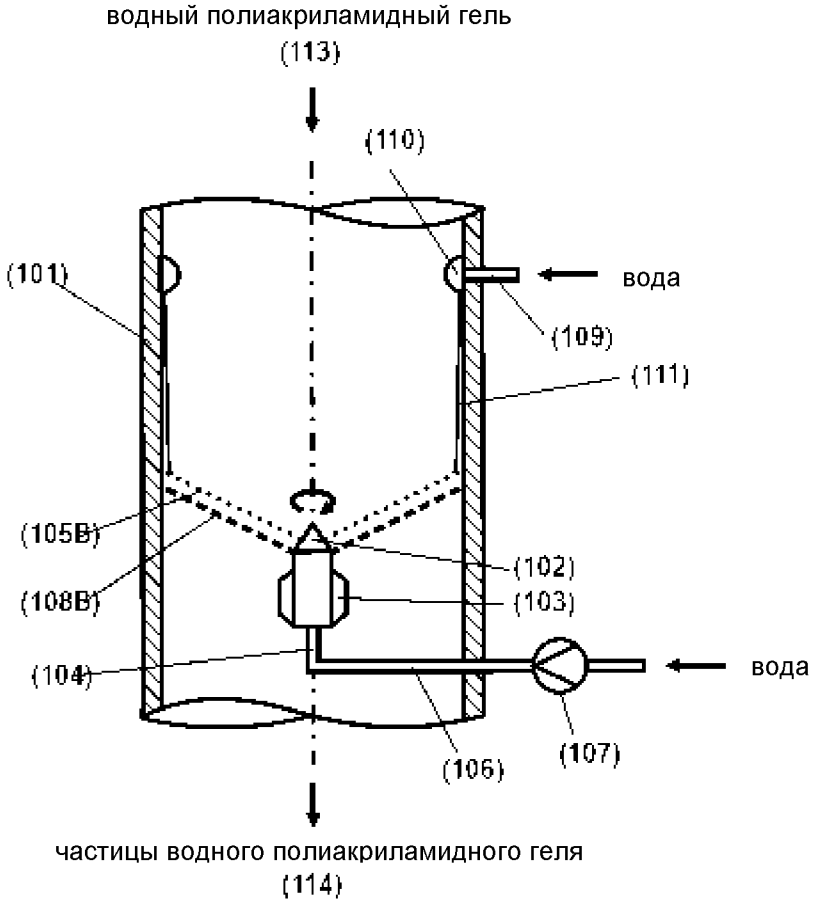
Фиг. 6


водный полиакриламидный гель
(113)
(110)
(101)
вода
(109)
(111)
(105)
(102)
(103)
(108)
(104)
вода
(106)
(107)
частицы водного полиакриламидного геля
(114)

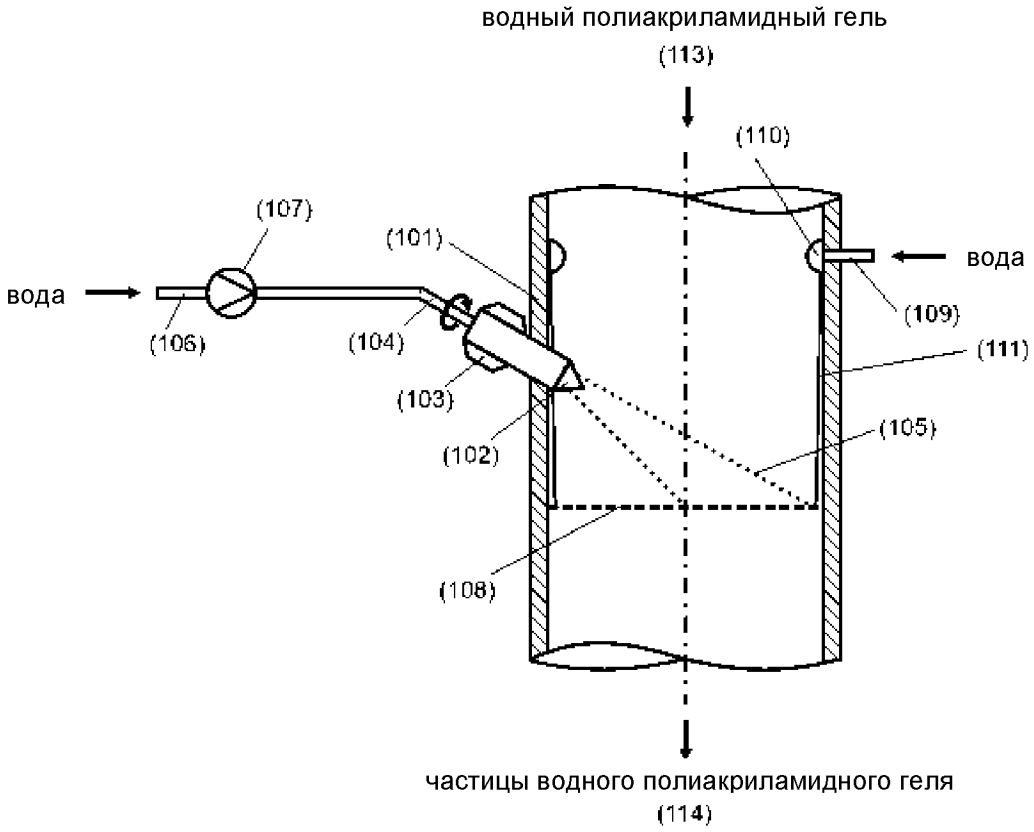
Фиг. 7


водный полиакриламидный гель
(113)
(110)
вода
(101)
(109)
(111)
(105A)
(102)
(108A)
(103)
(104)
вода
(106)
(107)
частицы водного полиакриламидного геля
(114)

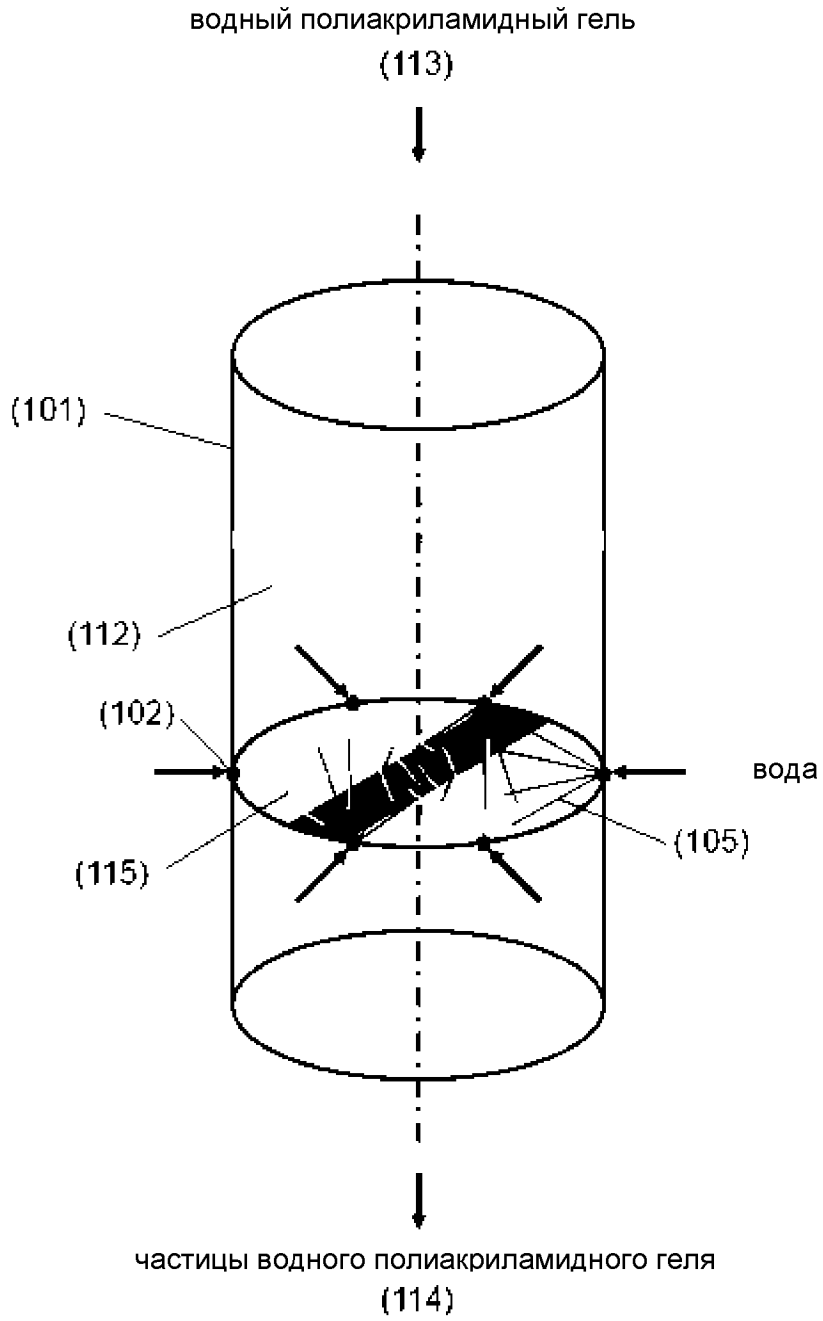
Фиг. 8


водный полиакриламидный гель
(113)
(110)
(101)
вода
(109)
(111)
(105B)
(102)
(108B)
(103)
(104)
вода
(106)
(107)
частицы водного полиакриламидного геля
(114)

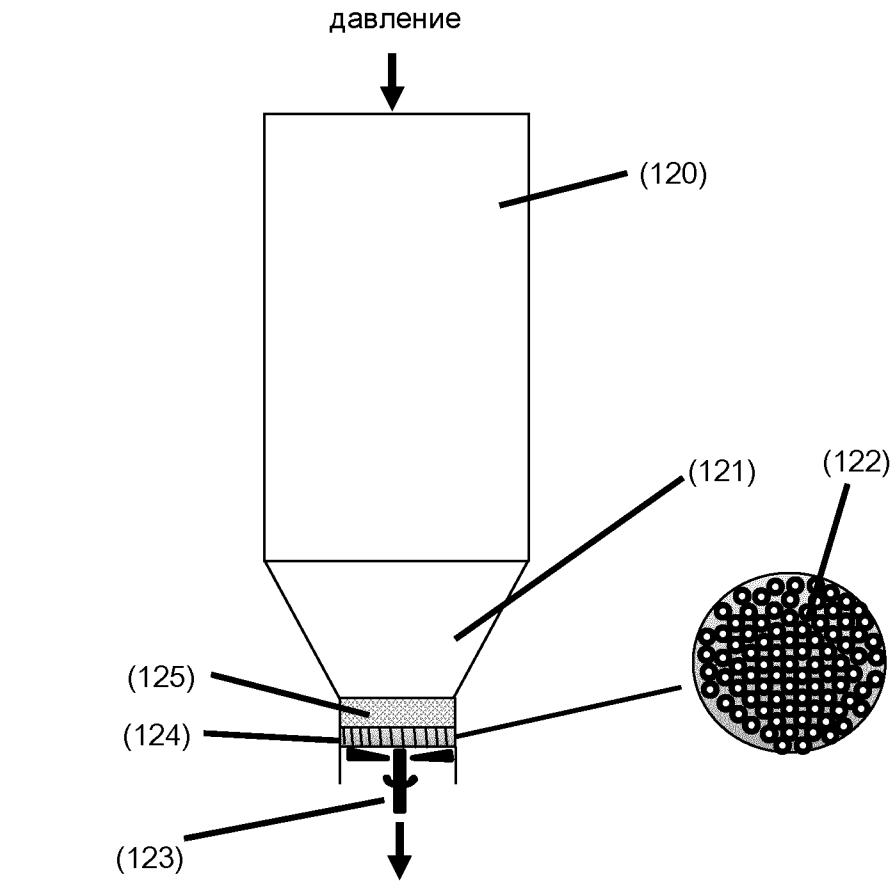
Фиг. 9


водный полиакриламидный гель
(113)
(110)
(107)
(101)
вода
вода
(109)
(106)
(104)
(111)
(103)
(105)
(102)
(108)
частицы водного полиакриламидного геля
(114)

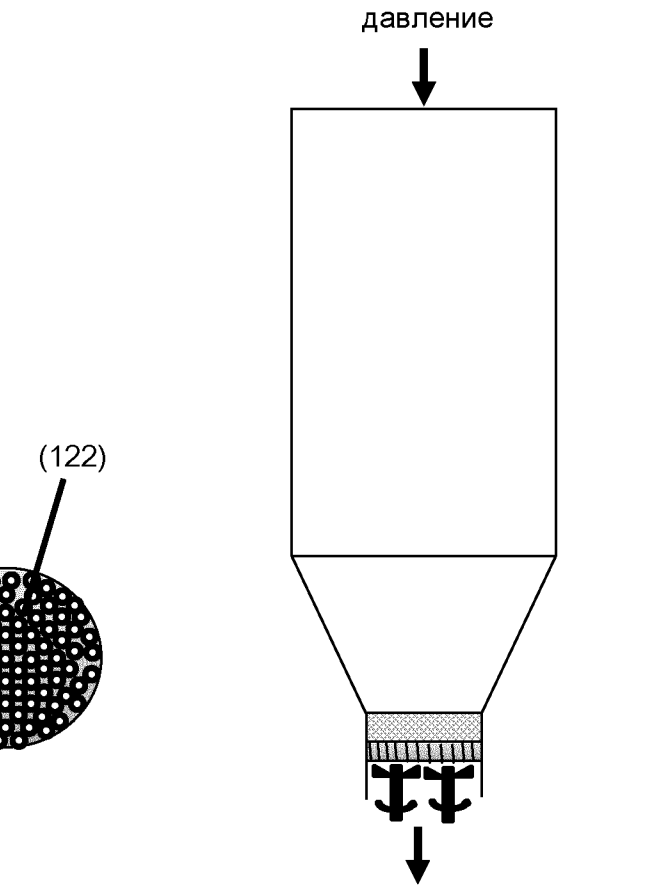
Фиг. 10


водный полиакриламидный гель
(113)
(101)
(112)
(102)
вода
(115)
(105)
частицы водного полиакриламидного геля
(114)

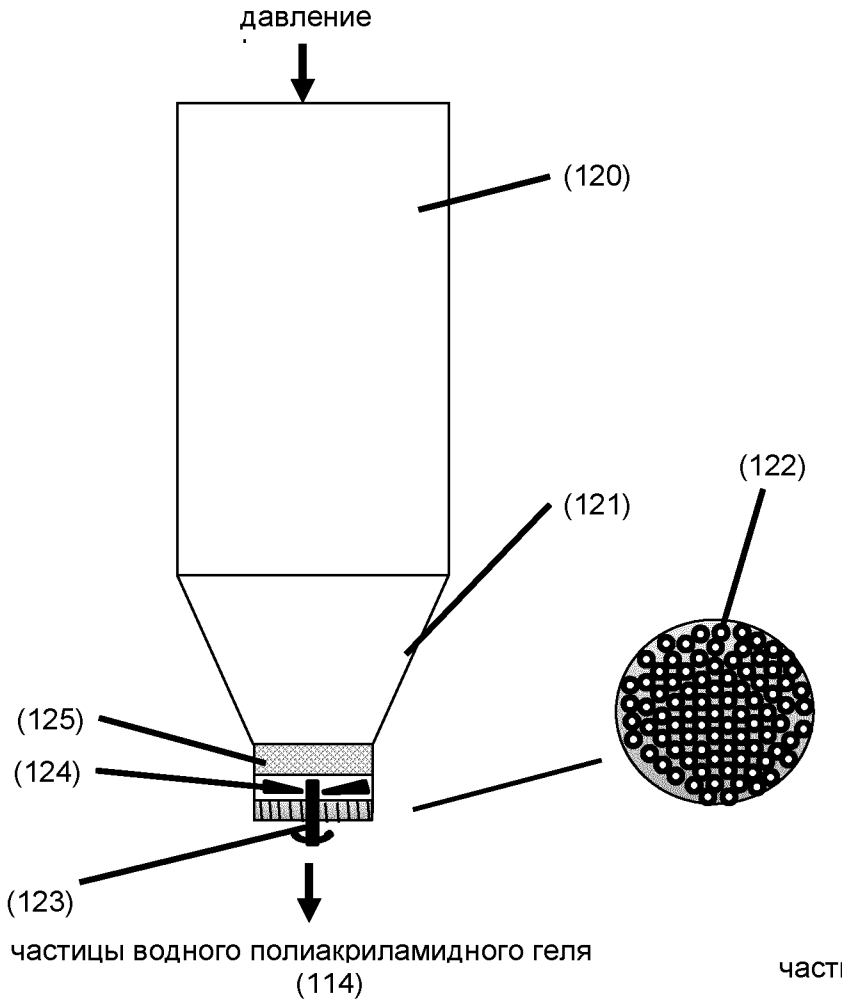
Фиг. 11


давление
(120)
(121)
(122)
(125)
(124)
(123)
частицы водного полиакриламидного геля (114)

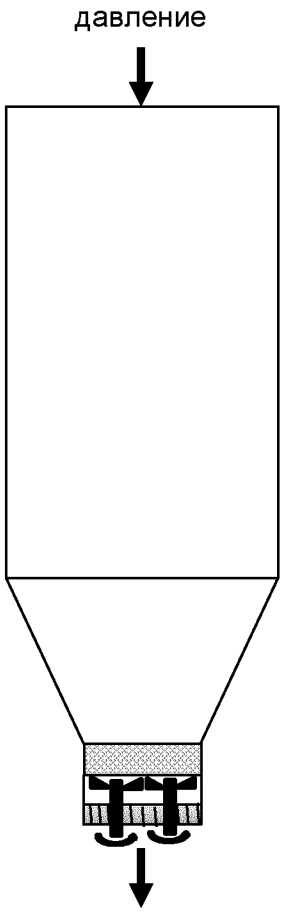
Фиг. 12


давление
частицы водного полиакриламидного геля (114)

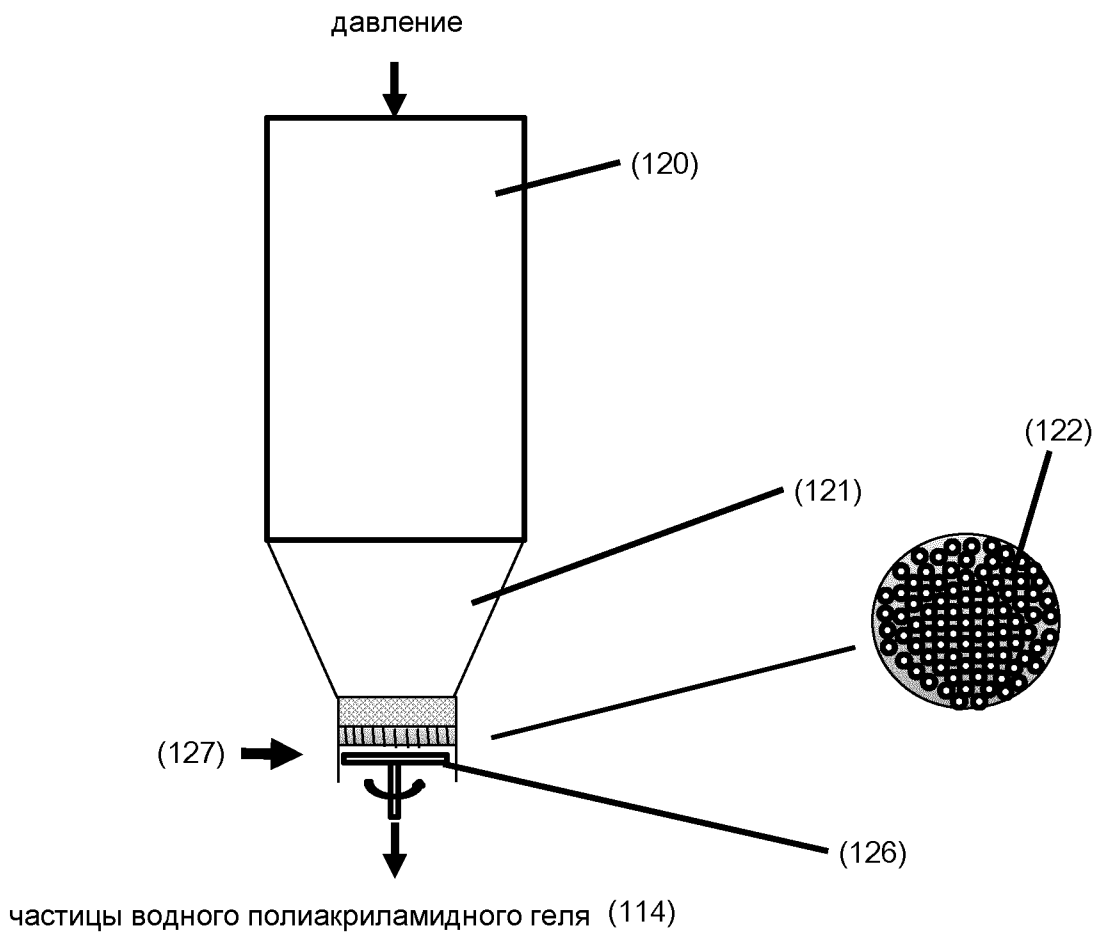
Фиг. 13


давление
(120)
(121)
(122)
(125)
(124)
(123)
частицы водного полиакриламидного геля
(114)

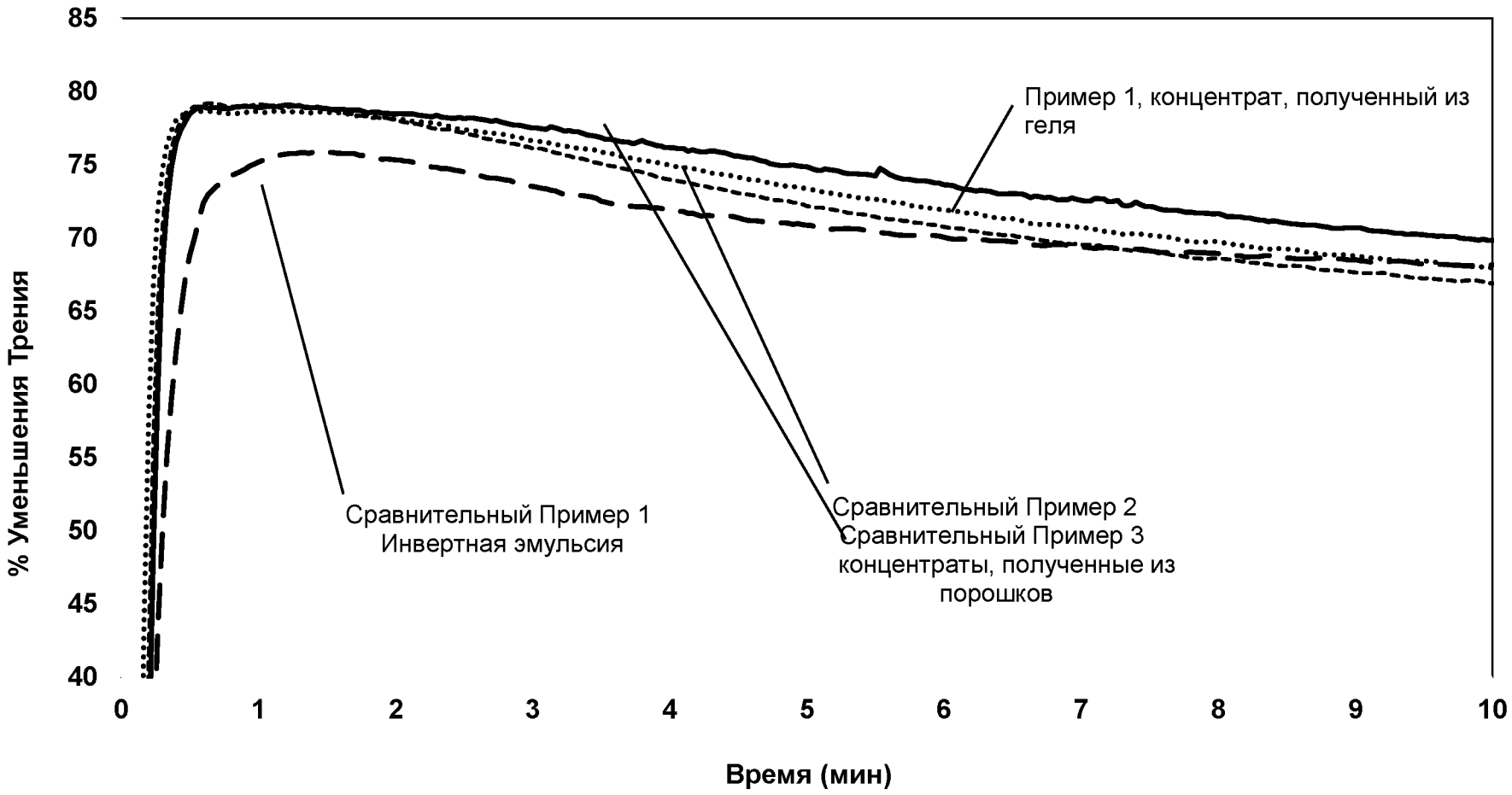
Фиг. 14


давление
частицы водного полиакриламидного геля (114)

Фиг. 15


давление
(120)
(121)
(122)
(127)
(126)
частицы водного полиакриламидного геля (114)

Фиг. 16



Фигура 17: Результаты исследований Трения в Контуре