

# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2863666

### СОСТАВ ДЛЯ РАЗРЫВА ПЛАСТА НИЗКОПРОНИЦАЕМЫХ ПОРОД

Патентообладатель: *Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II" (RU)*

Авторы: *Савенок Ольга Вадимовна (RU), Чуйкова Елизавета Павловна (RU)*

Заявка № 2025133309

Приоритет изобретения **28 ноября 2025 г.**

Дата государственной регистрации

в Государственном реестре изобретений

Российской Федерации **08 июня 2026 г.**

Срок действия исключительного права

на изобретение истекает **28 ноября 2045 г.**

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Ю.С. Зубов





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
C09K 8/80 (2026.01); C09K 8/94 (2026.01)

(21)(22) Заявка: 2025133309, 28.11.2025

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
28.11.2025

Дата регистрации:  
08.06.2026

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 28.11.2025

(45) Опубликовано: 08.06.2026 Бюл. № 16

Адрес для переписки:  
199106, Санкт-Петербург, В.О., 21 линия, 2,  
ФГБОУ ВО "СПГУ", Патентно-лицензионный  
отдел

(72) Автор(ы):

Савенок Ольга Владимовна (RU),  
Чуйкова Елизавета Павловна (RU)

(73) Патентообладатель(и):

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Санкт-Петербургский горный  
университет императрицы Екатерины II"  
(RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: CN 102093875 A, 15.06.2011. RU  
2436828 C2, 20.12.2011. RU 2607831 C1,  
20.01.2017. RU 2696739 C1, 05.08.2019. SU  
1833466 A3, 07.08.1993. RU 2395474 C1,  
27.07.2010. WO 2016064645 A1, 28.04.2016.

## (54) СОСТАВ ДЛЯ РАЗРЫВА ПЛАСТА НИЗКОПРОНИЦАЕМЫХ ПОРОД

(57) Реферат:

Изобретение относится к нефтегазовой промышленности, в частности к составам, используемым при проведении безводного разрыва пласта. Технический результат - обеспечение оптимального соотношения текучести и прочности состава, повышение эффективности раскрытия и расклинивания

трещин. Состав для разрыва пласта низкопроницаемых пород содержит, мас. %: в качестве замораживающего компонента жидкий азот марки ОСЧ 5.5 80-83; в качестве удерживающего наполнителя проппант керамический с полимерным покрытием 5-15; гуаровую камедь - остальное. 2 табл.



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.  
*C09K 8/80* (2006.01)  
*C09K 8/94* (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(52) CPC  
*C09K 8/80 (2026.01); C09K 8/94 (2026.01)*

(21)(22) Application: **2025133309, 28.11.2025**

(24) Effective date for property rights:  
**28.11.2025**

Registration date:  
**08.06.2026**

Priority:

(22) Date of filing: **28.11.2025**

(45) Date of publication: **08.06.2026** Bull. № 16

Mail address:

**199106, Sankt-Peterburg, V.O., 21 liniya, 2, FGBOU  
VO "SPGU", Patentno-litsenzionnyj otdel**

(72) Inventor(s):

**Savenok Olga Vadimovna (RU),  
Chuikova Elizaveta Pavlovna (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federalnoe gosudarstvennoe biudzhethnoe  
obrazovatelnoe uchrezhdenie vysshego  
obrazovaniia «Sankt-Peterburgskii gornyi  
universitet imperatritsy Ekateriny II» (RU)**

(54) **COMPOSITION FOR FRACTURING LOW-PERMEABILITY FORMATIONS**

(57) Abstract:

FIELD: oil and gas industry.

SUBSTANCE: compositions used in anhydrous fracturing. The composition for fracturing low-permeability formations contains, wt. %: liquid nitrogen grade «OCЧ 5.5» as a freezing component 80-83; ceramic proppant with a polymer coating 5-15 as a

retaining filler; guar gum – the rest.

EFFECT: ensuring an optimal ratio of fluidity and strength of the composition, increasing the efficiency of opening and propping of fractures.

1 cl, 2 tbl

**R U 2 8 6 3 6 6 6 C 1**

**R U 2 8 6 3 6 6 6 C 1**

Изобретение относится к нефтегазовой промышленности, в частности, к технологическим смесям, используемым при проведении безводного разрыва пласта на месторождениях с низкопроницаемыми и низкопористыми коллекторами, пригодным для повышения нефте- и газоотдачи низкопроницаемых и низкопористых коллекторов за счёт использования жидкого азота, гуаровой камеди и проппанта в оптимальных соотношениях компонентов.

Известен состав самосuspendирующихся проппантов (CN № 110461989, опубл. 07.02.2018 г.), включающих частицы расклинивающего агента, покрытые CO<sub>2</sub>-фильной оболочкой. Указанная оболочка может быть слабо сшитой и обладать физической структурой, способной удерживать молекулы CO<sub>2</sub>. Способ предусматривает получение самосuspendирующегося расклинивающего агента путём покрытия частицы расклинивающего агента полимеризуемым прекурсором CO<sub>2</sub>-фильного материала и последующей полимеризации. Для разрыва пласта закачивается гидроразрывная жидкость на основе CO<sub>2</sub> с добавлением указанного агента, после чего осуществляется создание и удержание трещин в раскрытом состоянии.

Недостаток состава заключается в том, что применение CO<sub>2</sub>-фильных оболочек требует строгого контроля степени сшивки и структуры покрытия для обеспечения равномерного распределения расклинивающего агента в жидкости разрыва. При недостаточной прочности оболочки возможна деградация покрытия и потеря способности к самосuspendированию, что снижает эффективность расклинивания трещин. Кроме того, использование CO<sub>2</sub> в качестве основы для жидкости разрыва требует обеспечения герметичности системы и соответствующих мер безопасности при работе со сжиженным углекислым газом.

Известен состав жидкости гидравлического разрыва пласта (патент US № 12065614, опубл. 20.08.2024 г.), включающий, масс. %: водную фазу – 65-75; акриламидный полимер – 0,2-0,5; функционализированный целлюлозный сшивающий агент – 0,05-0,2; добавки (буфер, биоцид, антиоксидант, стабилизатор глин, редуктор трения и др.) – 1,0-3,0; остальное – вода.

Недостатком данного состава является необходимость строгого контроля pH и дозировок компонентов для предотвращения преждевременного гелеобразования или недостаточной сшивки, что может снизить эффективность процесса раскрытия и стабилизации трещин.

Известен состав проппанта (патент CN № 117551444, опубл. 13.02.2024 г.), включающий, масс. %: кварцевый песок – 97,0-97,5; полиэтиленгликоль (PEG-6000) – 0,8-1,2; гидроксипропилгуаровая камедь – 1,6-2,4; порошок буры – 0,003-0,007; стеарат кальция – 0,03-0,07.

Недостатком данного состава является необходимость соблюдения однородного распределения армирующего наполнителя при производстве, так как неравномерность может привести к ухудшению прочностных характеристик и снижению эффективности поддержания проницаемости трещин.

Известна вязкоупругая жидкость (RU № 2198906, опубл. 20.02.2003 г.) для гидравлического разрыва пласта, включающая, масс. %: ПАВ – 0,05-10,0; органическая соль – 0,1-10,0; остальное – вода.

Недостатком известного состава является ограниченная устойчивость вязкоупругого состояния жидкости при высоких температурах и изменённой минерализации пластовых вод, что приводит к снижению стабильности и потере эффективности при проведении технологических операций в скважинах.

Известен состав гидроразрывной жидкости (патент CN № 102093875, опубл. 15.06.2011 г.), принятый за прототип, содержащий, масс. %: гуаровая камедь – 0,5; диспергатор – 0,025; ингибитор набухания – 0,3; вспомогательный агент для возврата – 0,5; пенообразователь – 0,5; KCl – 1,0; биоцид – 0,1; регулятор pH – 0,1; термостабилизатор – 0,15; вода – остальное; а также сшивающий раствор, содержащий органическое хелатное соединение бора – 50 и воду – 50, в объёмном соотношении с базовой жидкостью 100:0,6.

Недостатком данного состава является высокая технологическая сложность приготовления и необходимость строгого контроля параметров процесса, что затрудняет его промышленное применение. Кроме того, многокомпонентный состав повышает риск химической нестабильности и чувствительность к изменениям температуры и минерализации пластовых вод, что может приводить к снижению устойчивости пены и потере эффективности гидроразрыва.

Техническим результатом является обеспечение оптимального соотношения текучести, прочности и повышение эффективности раскрытия и расклинивания трещин.

Технический результат достигается тем, что состав дополнительно содержит замораживающий компонент – жидкий азот марки ОСЧ 5.5 и удерживающий наполнитель – проппант керамический с полимерным покрытием при следующем соотношении компонентов, масс. %:

жидкий азот марки ОСЧ 5.5	80-83
указанный проппант	5-15
гуаровая камедь	остальное

Заявленный состав для разрыва пласта низкопроницаемых пород включает в себя следующие реагенты и товарные продукты, их содержащие:

- жидкий азот марки ОСЧ 5.5 – 80-83 масс. %, соответствующий требованиям ГОСТ 9293-74;

- проппант керамический с полимерным покрытием – 5-15 масс. %, соответствующий ГОСТ Р 51761-2013;

- гуаровая камедь – остальное, выпускается по ТУ 2458-019-57258729-2006.

Азот в этой композиции выполняет роль основного рабочего агента: при подаче он обеспечивает необходимое давление, а при переходе в газообразное состояние способствует раскрытию и расширению трещин. Отказ от водной основы позволяет избежать разбухания глинистых частиц и минимизировать воздействие на поровое пространство коллектора. Как показал анализ рецептур, оптимальное содержание азота – диапазон 80-83 масс. %, при котором криогенное воздействие наиболее стабильно.

Гуаровая камедь в условиях глубокого охлаждения не гидратируется, а образует холодную полимерную структуру, придающую смеси требуемые структурно-механические свойства и удерживающую проппант в объёме. Эффективная область концентраций гуара составляет 7-13 масс. %. При концентрации ниже 0,5 % дисперсная структура разрежается, и смесь теряет способность поддерживать проппант во взвешенном состоянии. При концентрации выше 13-15 масс. % повышается сопротивление течению, и увеличиваются гидравлические потери при нагнетании смеси в скважину.

Проппант выполняет роль фиксирующего наполнителя: после завершения процесса он остаётся в трещинах и обеспечивает их проводимость. Полимерная оболочка керамических гранул повышает их стойкость к температурным колебаниям и разрушению. Практически необходимый диапазон содержания проппанта – около 6-

11 % массы смеси, что согласуется с требованиями к прочности породы и желаемой проводимости трещин.

На первом этапе через систему клапанов подают жидкий азот из ёмкости высокого давления, в которой поддерживается давление  $P_1 = 0,1-1,0$  МПа. Турбулентный поток азота обеспечивает охлаждение и подготовку среды для равномерного распределения твёрдых компонентов без применения механических смесителей.

Следующим шагом закачивают проппант. Допускается использование кварцевых или керамических гранул, предпочтительно с полимерным покрытием. Жидкая азотно-охлаждённая среда предотвращает агрегацию проппанта и обеспечивает его равномерное распределение.

На заключительном этапе добавляют сухой гуар. Порошок с остаточной влажностью не выше 8 % предварительно просеивают, при необходимости дегазируют и дозируют согласно рецептуре. Частицы гуара криодиспергируются в азотно-проппантовой среде, формируя полимерную «сетку», в которую включается проппант, что обеспечивает образование стабильной азотно-полимерной композиции.

На выходе получается многофазная, полностью безводная криогенная пена, содержащая жидкий и газообразный азот, диспергированный гуар и однородно распределённый проппант. Гидратация гуара на этом этапе отсутствует, стабильность обеспечивается исключительно криоструктурированием.

Готовая смесь обладает высокой подвижностью, оптимальной способностью переносить проппант при его нагнетании в призабойную зону. Состав смеси сразу направляют в насосы, не оставляя промежуточных стадий. Попадание пластовой влаги не меняет базовые свойства смеси и не является частью технологического цикла.

Состав поясняется следующим примером. Масса каждой смеси составляла 1000 г. Жидкий азот 83 % масс., 830 г подавался в смесительный коллектор в виде криогенного потока. Параллельно в тот же коллектор через отдельный дозирующий узел подавалась гуаровая камедь 10 % масс., 100 г в виде предварительно подготовленного сухого порошка, вводимого инъекционно в поток криоагента. Контакт материала с жидким азотом приводил к мгновенной криосуспензии без гидратации гуара.

После стабилизации расхода через третий дозирующий узел в смесительный участок подавался проппант 7 % масс., 70 г, который распределялся в общем криогенном потоке за счёт турбулентности и скорости движения среды без применения механических мешалок.

Формирование итоговой смеси происходило в трубопроводе за счёт продольного перемешивания кипящего режима азота, после чего криогенная суспензия направлялась к месту нагнетания для проведения ГРП.

Смеси проходили оценку однородности распределения твёрдых частиц, плотности, степени газонасыщения и стабильности к разрушению структуры. Дополнительно образцы выдерживали 5 сут. при температуре минус 105 °С для выявления термостойкости. Было установлено, что содержание гуара ниже 0,5 % масс. приводит к осаждению проппанта, а превышение 12-15 % масс. вызывает чрезмерное уплотнение полимерной структуры и резкое ухудшение прокачиваемости.

Испытания на прокачку через модель трещины показали, что оптимально работают композиции, содержащие 7-13 % масс. гуара и 80-83 % масс. жидкого азота: они равномерно удерживают проппант и сохраняют структурную устойчивость. Циклический нагрев/охлаждение от минус 196 °С до комнатной температуры подтвердил прочность полимерной сетки и устойчивость проппанта. При недостатке гуара структура

разрушалась, а при избытке – становилась слишком плотной.

Таблица 1 – Возможные вариации составов

№ варианта	Жидкий азот, масс. %	Гуаровая камедь, масс. %	Проппант, масс. %	Комментарий	
5	1	83,0	10,0	7,0	Средняя структурная устойчивость, сбалансированная подвижность и удержание проппанта
	2	82,0	12,0	6,0	Более плотная полимерная сеть, повышенная способность удерживать проппант
	3	81,0	14,0	5,0	Высокая структурная стабильность, подвижность снижена, проппант удерживается эффективно
10	4	80,0	9,0	11,0	Средняя подвижность с увеличенной твёрдой фазой, риск оседания проппанта выше
	5	83,0	8,0	9,0	Лёгкая, подвижная смесь с умеренной структурной устойчивостью
	6	82,0	7,0	11,0	Высокая подвижность, проппант удерживается хуже, но течёт легко
15	7	81,0	11,0	8,0	Сбалансированная смесь: умеренная подвижность и удержание проппанта
	8	80,5	13,0	6,5	Высокая структурная устойчивость при умеренной подвижности
	9	82,3	5,5	12,2	Подвижная смесь с высокой концентрацией проппанта, риск оседания частиц
	10	83,0	6,0	11,0	Высокая подвижность, средняя структурная поддержка для проппанта
20	11	81,7	10,2	8,1	Оптимальная смесь для стабильного удержания проппанта при умеренной подвижности
	12	80,0	15,0	5,0	Очень плотная полимерная сеть, низкая подвижность, проппант удерживается эффективно
	13	82,8	5,0	12,2	Лёгкая смесь с высокой нагрузкой проппанта, риск седиментации
	14	83,0	7,0	10,0	Умеренная структурная устойчивость, высокая подвижность, проппант удерживается частично
25	15	80,2	14,8	5,0	Очень высокая структурная стабильность, низкая подвижность, проппант держится хорошо
	16	82,5	12,0	5,5	Плотная смесь с ограниченной подвижностью, высокая удерживающая способность
	17	81,0	9,0	10,0	Сбалансированная смесь с умеренной структурной стабильностью, риск локальных оседаний
30	18	83,0	5,1	11,9	Подвижная смесь с высокой твёрдой фазой, возможна седиментация
	19	80,7	11,0	8,3	Средняя подвижность, хорошее удержание проппанта
	20	82,9	13,0	4,1	Высокая структурная стабильность при высокой подвижности
	21	81,3	12,4	6,3	Хорошее удержание проппанта при умеренной подвижности
	22	80,0	8,0	12,0	Подвижная смесь с повышенной твёрдой фазой, риск оседания частиц
35	23	82,4	9,0	8,6	Средняя структурная устойчивость при хорошей подвижности
	24	81,1	10,0	8,9	Оптимальный баланс подвижности и удержания проппанта
	25	80,6	7,5	11,9	Высокая твёрдая фаза при средней структурной устойчивости, умеренная подвижность
	26	90,0	10,0	0,0	Почти чистый азот, высокая подвижность, удержание проппанта отсутствует
40	27	94,0	5,0	1,0	Очень подвижная смесь, практически нет структурной поддержки
	28	88,0	9,0	3,0	Умеренная структурная устойчивость, высокая подвижность
	29	81,0	7,0	12,0	Сбалансированная смесь для удержания проппанта при умеренной подвижности
	30	82,0	6,8	11,2	Подвижная смесь с умеренной структурной стабильностью
45	31	83,0	15,0	2,0	Очень плотная полимерная структура, низкая подвижность, проппант удерживается
	32	82,2	14	3,8	Плотная смесь, высокая структурная устойчивость, умеренная подвижность
	33	83,0	12,0	5,0	Высокая структурная связность смеси при сохранении подвижности, проппант удерживается стабильно даже при умеренных скоростях потока

	34	70,0	25,0	5,0	Очень высокая структурная плотность, низкая подвижность, проппант удерживается надёжно
	35	85,0	0,0	15,0	Без полимера, проппант быстро оседает, высокая подвижность
	36	81,0	13,0	6,0	Хорошее удержание проппанта при умеренной подвижности
5	37	80,0	5,0	15,0	Подвижная смесь с высокой концентрацией проппанта, удержание частиц хорошее благодаря базовой полимерной структуре, однако при снижении скорости потока возможна частичная седиментация

Следует отметить, что массовая доля проппанта в составе, выраженная в процентах от общей массы композиции, не противоречит данным об оптимальной концентрации проппанта, выраженной в  $\text{кг}/\text{м}^3$  при технологической подаче в скважину. Массовый процент проппанта в составе определяет его долю в приготовленной криогенной смеси, тогда как концентрация в  $\text{кг}/\text{м}^3$  описывает фактическую загрузку проппанта на единицу объёма несущего агента в насосном агрегате и зависит от расхода и плотности азотно-полимерной композиции.

Анализ представленных рецептов показывает, что наиболее стабильные и технологически предсказуемые свойства демонстрируют смеси под номерами 4, 5, 7, 8, 9, 10, 12 и 33. Общей особенностью этих вариантов является содержание жидкого азота в диапазоне от 80 до 83 % масс., что обеспечивает смеси достаточную текучесть и умеренное внутреннее сопротивление. За счёт этого проппант транспортируется равномерно даже в условиях низких температур.

Иная картина наблюдается в смесях, где доля гуаровой камеди существенно повышена, – 3, 8, 12, 15, 20, 31, 32, 34 и 36. Превышение полимерной составляющей приводит к формированию плотной структурной сетки и заметному увеличению. Это снижает фильтрационные свойства и ухудшает способность состава проникать в тонкие трещины. Тем не менее, такие растворы востребованы там, где требуется длительное удержание проппанта или создание условий, имитирующих повышенные нагрузки в лабораторных испытаниях.

Особую группу составляют рецепты с содержанием азота свыше 90 % масс. – 26 и 27. Эти смеси обладают крайне низкими реологическими свойствами и высокой подвижностью, что позволяет им проникать на значительные расстояния в пласте. Однако удерживать существенное количество проппанта они практически не способны, что серьёзно ограничивает сферу их применения. Составы 20, 21 и 22 также относятся к высокоазотным, но их свойства выражены в более мягкой форме; они подходят для начальных этапов гидроразрыва, когда важна дальность подачи.

Отдельно стоят смеси с минимальной долей полимера 0,0-2,0 % масс., например, состав 35. Подобные растворы отличаются крайне низкой стабильностью и способны проходить через участки с малыми естественными трещинами почти без сопротивления. Однако несущая способность таких систем минимальна, что накладывает строгие ограничения на режимы нагнетания и скорость подачи.

В целом, сопоставление всех рецептов позволяет выделить оптимальный набор параметров, при котором смесь проявляет наиболее устойчивое и предсказуемое поведение: 80-83 % масс. жидкого азота, 7-13 % масс. гуаровой камеди и 6-11 % масс. проппанта.

Отклонение от указанного диапазона значительно влияет на реологические характеристики: избыток полимера приводит к чрезмерному уменьшению подвижности, избыточная масса твёрдой фазы нарушает устойчивость потока, а азотное содержание выше 90 % делает систему слишком текучей и практически лишённой способности удерживать проппант. Если же количество газовой фазы падает ниже 70 %, смесь теряет

необходимую технологическую подвижность.

Таблица 2 – Результаты определения физико-химических свойств составов с жидким азотом, гуаровой камедью и проппантом

Состав	Компонентный состав, масс. %	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Термо-стабильность 5 сут.	Удержание проппанта, сут.	Газонасыщение, %
1	камедь 10,0 проппант 7,0 азот 83,0	0,97	част. стаб.	1 сут.	76
2	камедь 12,0 проппант 6,0 азот 82,0	0,98	част. стаб.	2 сут.	74
3	камедь 14,0 проппант 5,0 азот 81,0	1,00	стаб.	5 сут.	72
4	камедь 9,0 проппант 11,0 азот 80,0	1,02	стаб.	5 сут.	70
5	камедь 8,0 проппант 9,0 азот 83,0	0,99	стаб.	4 сут.	73
6	камедь 7,0 проппант 11,0 азот 82,0	1,01	стаб.	4 сут.	71
7	камедь 11,0 проппант 8,0 азот 81,0	1,00	стаб.	3 сут.	72
8	камедь 13,0 проппант 6,5 азот 80,5	1,02	стаб.	4 сут.	71
9	камедь 5,5 проппант 12,2 азот 82,3	1,01	стаб.	3 сут.	70
10	камедь 6,0 проппант 11,0 азот 83,0	0,99	стаб.	4 сут.	73
11	камедь 10,2 проппант 8,1 азот 81,7	1,03	част. стаб.	2 сут.	70
12	камедь 15,0 проппант 5,0 азот 80	1,04	стаб.	5 сут.	68
13	камедь 5,0 проппант 12,2 азот 82,8	1,01	стаб.	3 сут.	70
14	камедь 7,0 проппант 10,0 азот 83,0	1,00	стаб.	4 сут.	71
15	камедь 14,8 проппант 5,0 азот 80,2	1,04	стаб.	5 сут.	68
16	камедь 12,0 проппант 5,5 азот 82,5	1,03	стаб.	3 сут.	70
17	камедь 9,0 проппант 10,0 азот 81,0	1,02	част. стаб.	2 сут.	69
18	камедь 5,1 проппант 11,9 азот 83,0	1,01	част. стаб.	1 сут.	71
19	камедь 11,0 проппант 8,3 азот 80,7	1,03	стаб.	3 сут.	69
20	камедь 13,0 проппант 4,1 азот 82,9	0,99	стаб.	4 сут.	72
21	камедь 12,4 проппант 6,3 азот 81,3	1,02	стаб.	3 сут.	70

	22	камень 8,0 пропант 12,0 азот 80,0	1,01	част. стаб.	2 сут.	69
	23	камень 9,0 пропант 8,6 азот 82,4	1,01	стаб.	3 сут.	70
5	24	камень 10,0 пропант 8,9 азот 81,1	1,02	стаб.	3 сут.	70
	25	камень 7,5 пропант 11,9 азот 80,6	1,03	стаб.	3 сут.	69
10	26	камень 10,0 пропант 0,0 азот 90,0	0,97	нестаб.	< 1 сут.	74
	27	камень 5,0 пропант 1,0 азот 94,0	0,95	стаб.	3 сут.	77
	28	камень 9,0 пропант 3,0 азот 88,0	1,05	стаб.	4 сут.	68
15	29	камень 7,0 пропант 12,0 азот 81,0	1,06	стаб.	3 сут.	69
	30	камень 6,8 пропант 11,2 азот 82,0	1,03	стаб.	3 сут.	70
20	31	камень 15,0 пропант 2,0 азот 83,0	1,08	нестаб.	< 1 сут.	66
	32	камень 14,0 пропант 3,8 азот 82,2	1,07	нестаб.	< 0,5 сут.	67
	33	камень 12,0 пропант 5,0 азот 83,0	1,00	стаб.	3 сут.	72
25	34	камень 25,0 пропант 5,0 азот 70,0	1,15	нестаб.	< 1 сут.	60
	35	камень 0,0 пропант 15,0 азот 85,0	0,97	нестаб.	4 сут.	72
30	36	камень 13,0 пропант 6,0 азот 81,0	1,03	стаб.	3 сут.	70
	37	камень 5,0 пропант 15,0 азот 80,0	1,03	част. стаб.	2 сут.	69

Проведённая серия испытаний была ориентирована на изучение характеристик азотно-полимерных смесей с разным соотношением трёх основных компонентов: гуаровой камеди, пропантанта и жидкого азота. Для каждого из 37 вариантов композиции были измерены ключевые технологические показатели – плотность системы, её температурная устойчивость, время удержания пропантанта и итоговый уровень газонасыщения.

Необходимо в дальнейшем использовать состав 4, поскольку он сочетает оптимальное количество гуара 9 % масс., высокую несущую способность за счёт 11 % масс. пропантанта и эффективное вспенивание при 80 % масс. азота. Его плотность 1,02 г/см<sup>3</sup>, высокая термостабильность и удержание пропантанта до 5 сут. формируют наиболее сбалансированную и технологически оптимальную структуру среди всех вариантов.

Анализ результатов показал, что способность смеси сохранять пропантанта во взвешенном состоянии напрямую определяется балансом массовых долей входящих компонентов. Основным признаком устойчивости выступало время, в течение которого твёрдая фаза оставалась равномерно распределённой:

- к устойчивым отнесены образцы с удержанием не менее 3 сут.;
- к ограниченно устойчивым – варианты с удержанием от 1 до менее 3 сут.;
- к неустойчивым – смеси, где удержание составляло менее 1 сут.

Большая часть протестированных составов показала требуемые свойства: 25 из 37 смесей продемонстрировали полноценную стабильность. Это указывает на достаточно широкий диапазон рабочих комбинаций камеди, проппанта и азота. Вместе с тем, семь вариантов проявили только частичную устойчивость, а пять оказались недостаточно стабильными, что ограничивает сферу их использования при необходимости длительной фиксации твёрдой фазы.

Сопоставление данных выявило выраженные зависимости между составом и характеристиками.

Оптимальные параметры смесей, включающих жидкий азот, гуаровую камедь и проппант, определены в диапазоне примерно 7-13 % масс. камеди, 6-11 % масс. проппанта и 80-83 % масс. азота на основе анализа экспериментальных данных 37 различных составов. При концентрации камеди меньше 7 % масс., например, состав 9 с 5,5 % масс., наблюдается частичное оседание проппанта и неполная структурная стабильность, тогда как превышение концентрации 13-15 % масс., например, составы 12 и 15, приводило к высокой плотности смеси и ухудшению её прокачиваемости. Для проппанта диапазон 6-11 % масс. выбран исходя из того, что менее 6 % масс. снижало способность смеси удерживать твёрдую фазу, например, составы 26 и 34, а более 11 % масс., например, состав 35, делало смесь слишком густой и затрудняло транспортировку проппанта. Что касается азота, содержание 80-83 % масс. оказалось оптимальным, так как смеси с азотом свыше 83 % масс., например, составы 26 и 35, становились чрезмерно текучими и не удерживали проппант, а меньше 80 % масс., например, состав 34, снижало подвижность смеси и мешало равномерному распределению твёрдой фазы.

Экстремальные соотношения компонентов – полное отсутствие камеди либо, напротив, её чрезмерное увеличение до 25 % – приводят к быстрой потере устойчивости. Аналогичная ситуация наблюдается и при чрезмерно высокой доле азота: плотность и структурно-механические свойства снижаются, что облегчает транспортировку смеси, но негативно отражается на способности удерживать твёрдую фазу.

Эти смеси показали наиболее надёжные эксплуатационные характеристики и представляют практический интерес для задач, связанных с транспортировкой и фиксацией проппанта.

Состав с жидким азотом, камедью и проппантом формирует стабилизирующую сеть внутри трещин породы, обеспечивая равномерное распределение проппанта и предотвращая его оседание, что способствует поддержанию раскрытия трещин и восстановлению проницаемости порового пространства.

#### (57) Формула изобретения

Состав для разрыва пласта низкопроницаемых пород, включающий гуаровую камедь, отличающийся тем, что состав дополнительно содержит замораживающий компонент – жидкий азот марки ОСЧ 5.5 и удерживающий наполнитель – проппант керамический с полимерным покрытием при следующем соотношении компонентов, мас. %:

45	жидкий азот марки ОСЧ 5.5	80-83
	указанный проппант	5-15
	гуаровая камедь	остальное