(12) МЕЖДУНАРОДНАЯ ЗАЯВКА, ОПУБЛИКОВАННАЯ В СООТВЕТСТВИИ С ДОГОВОРОМ О ПАТЕНТНОЙ КООПЕРАЦИИ (PCT)

(19) Всемирная Организация Интеллектуальной Собственности
Международное бюро

(43) Дата международной публикации
08 ноября 2018 (08.11.2018)

WIPO | PCT

(10) Номер международной публикации
WO 2018/203765 A1

(51) Международная патентная классификация:
E21B 43/267 (2006.01) *G06F 9/455* (2006.01)
G06F 17/50 (2006.01)

(21) Номер международной заявки: PCT/RU2017/000282

(22) Дата международной подачи:
02 мая 2017 (02.05.2017)

(25) Язык подачи: Русский

(26) Язык публикации: Русский

(71) Заявитель *(только для CA)*: **ШЛЮМБЕРЖЕ КАНАДА ЛИМИТЕД (SCHLUMBERGER CANADA LIMITED)** [CA/CA]; 125-9 Авеню СИ, Калгари, Альберта, T2G 0P6, Calgary (CA).

(71) Заявитель *(для всех указанных государств, кроме CA, FR, US)*: **ШЛЮМБЕРЖЕ ТЕКНОЛОДЖИ Б.В. (SCHLUMBERGER TECHNOLOGY B.V.)** [NL/NL]; Паркштраат, 83-89, Гаага, 2514 JG, The Hague (NL).

(71) Заявитель *(только для FR)*: **СЕРВИСЕС ПЕТРОЛИЕРС ШЛЮМБЕРЖЕ (SERVICES PETROLIERS SCHLUMBERGER)** [FR/FR]; 42, рю Сент Доминик, Париж, 75007, Paris (FR).

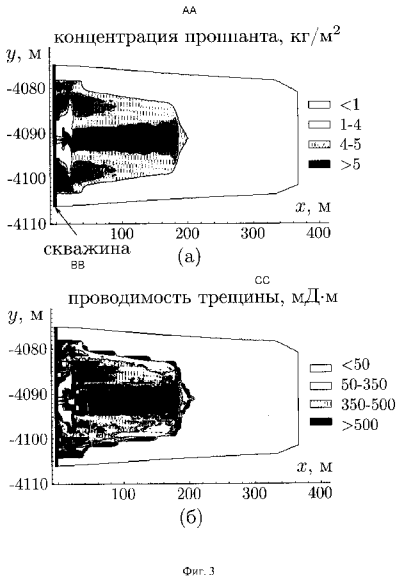
(71) Заявитель *(только для US)*: **ШЛЮМБЕРЖЕ ТЕКНОЛОДЖИ КОРПОРЕЙШН (SCHLUMBERGER TECHNOLOGY CORPORATION)** [US/US]; 300 Шлюмберже Драв, Шугарленд, Техас, 77478, Sugar Land (US).

(72) Изобретатели: **ИСАЕВ, Вадим Исмаилович (ISAEV, Vadim Ismailovich)**; ул. Балтийская, 23-109, Новосибирск, 630058, Novosibirsk (RU). **КУЗНЕЦОВ, Дмитрий Сергеевич (KUZNETSOV, Dmitry Sergeevich)**; ул. Терешковой, 36а-42, Новосибирск, 630090, Novosibirsk (RU). **ВЕЛИКАНОВ, Иван Владимирович (VELIKANOV, Ivan Vladimirovich)**; ул. Арбузова, 12-62, Новосибирск, 630117, Novosibirsk (RU). **БАННИКОВ, Денис Виктрович (BANNIKOV, Denis Viktrovich)**; Кольцово, 34-61, Новосибирская область, 630559, Koltsovo (RU). **ТИХОНОВ, Алексей Александрович (TIKHONOV, Alexey Alexandrovich)**; Кольцово, 17-137, Новосибирская обл., 630559, Koltsovo (RU).

(74) Агент: **МАРКОВА, Ирина Ивановна (MARKOVA, Irina Ivanovna)**; "Технологическая Компания Шлюм-

(54) **Title:** METHOD FOR PREDICTING RISKS ASSOCIATED WITH HYDRAULIC FRACTURING

(54) **Название изобретения:** СПОСОБ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РИСКОВ ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА



Фиг. 3

AA...proppant concentration, kg/m2
BB...well
CC...fracture conductivity, mD · m
(б)...(b)

(57) Abstract: Methods are proposed for predicting hydraulic fracturing, for hydraulic fracturing, for predicting the productivity of a well, as well as methods which make it possible to predict the risks associated with the conducting of hydraulic fracturing operations. The proposed methods use mathematical modelling techniques which make it possible to predict the geometry of a fracture produced by hydraulic fracturing, and the placement of liquids, propping agents (a proppant), fibres and other materials therein.

(57) Реферат: Предложены способ прогнозирования гидравлического разрыва пласта, способ гидравлического разрыва пласта, способ прогнозирования продуктивности скважины, а также способы, позволяющие прогнозировать риски при проведении операций гидроразрыва. Предложенные способы используют методы математического моделирования, которые позволяют делать прогноз геометрии трещины ГРП и размещения в ней жидкостей, расклинивающих агентов (проппанта), волокон и других материалов.

WO 2018/203765 A1

[продолжение на следующей странице]

берже", ул. Зелёная Горка, 1/10, Новосибирск, 630060, Novosibirsk (RU).

(81) Указанные государства *(если не указано иначе, для каждого вида национальной охраны)*: AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Указанные государства *(если не указано иначе, для каждого вида региональной охраны)*: ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), евразийский (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), европейский патент (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Опубликована:

— *с отчётом о международном поиске (статья 21.3)*

СПОСОБ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РИСКОВ ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА

ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ

Решение относится к нефтегазовой промышленности и может найти применение при стимулировании подземного пласта с помощью операции гидравлического разрыва (ГРП) пласта, в частности, при использовании методов математического моделирования, которые позволяют делать прогноз геометрии трещины ГРП и размещения в ней жидкостей, расклинивающих агентов (проппанта), волокон и других материалов.

ПРЕДШЕСТВУЮЩИЙ УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

Гидроразрыв пласта (ГРП) является признанным способом повышения продуктивности скважины. Постоянное развитие новых технологий гидроразрыва пласта требует создания более точных инструментов прогнозирования ГРП. Например, в технологии HiWAY™ (торговая марка компании Шлюмберже) проппант размещают в трещине неоднородно, такое размещение в виде островков проппанта достигается путем закачки в скважину пульсов жидкости ГРП с проппантом («грязный пульс») и жидкости без проппанта («чистый пульс»). Прохождение последовательных пульсов жидкости ГПП через кластеры перфорации создает в трещине ГРП островки с высокой концентрацией проппанта. Такие островки проппанта выполняют функцию зон расклинивания, а узкие зоны без проппанта образуют сеть каналов в трещине ГРП, что повышает проводимость всей трещины ГРП и повышает эффект стимулирования нефтеносного пласта. При этом расчет (моделирование) расположения расклиненных и нерасклиненных зон в трещине (неравномерное размещение проппанта) позволяет прогнозировать последующий дебит нефтегазоносного пласта после ГРП-стимуляции. Настоящее решение является способом прогнозирования ГРП, который расширяет возможности существующего псевдотрехмерного (P3D) подхода для технологии HiWAY и других современных методов гидроразрыва, обеспечивающих неравномерное распределение проводимости внутри трещины ГРП.

Ниже приведен обзор существующих методов прогнозирования гидроразрыва пласта. Более подробный обзор также доступен в статье J. Adachi et al. Computer Simulation of Hydraulic Fractures, Int. J. of Rock Mechanics and Mining Sciences, 44 (2007) 739-757.

На сегодня в нефтегазовой индустрии при проведении операции ГРП проводят моделирование этого сложного и динамического процесса. Если давление в скважине выше давления гидроразрыва пласта, происходит распространение трещины с одновременной фильтрацией части жидкости в пористый пласт. Хотя операции стимулирования с помощью ГРП широко распространены, из-за осложняющих факторов сохраняется риск проведения таких операций ГРП, которые не достигают поставленных целей по увеличению притока нефтегазовой жидкости через трещину ГРП в ствол скважины. Метод проб и ошибок для идентификации рисков является слишком затратным при проведении операций ГРП.

Во время операций ГРП (закачивание жидкости в ствол скважины при давлении выше давления разрыва пласта) в объеме трещины ГРП имеет место массоперенос материала ГРП (проппанта), а также перенос тепла (обычно жидкость ГРП холоднее температуры пласта). Динамическая модель для процесса гидроразрыва требует совмещения моделей, которые описывают эти взаимосвязанные процессы в трещине ГРП: распространение трещины в пласте (геомеханическая модель) и перенос материалов ГРП (гидродинамическая модель переноса в пространстве трещины жидкой среды, содержащей несущую (вязкую) жидкость, частицы проппанта, волокна и различные добавки). Несущая жидкость должна иметь достаточно высокую вязкость, чтобы обеспечить эффективный перенос проппанта (материал ГРП – или «расклинивающий агент») вглубь трещины. Обычно несущая жидкость – это неньютоновская жидкость в виде водорастворимого полимера (загущающий полимер) или ионно-сшитый водорастворимый полимер (сшитый гель). Реология суспензии проппанта в геле (неньютоновская жидкость) описывается уравнениями степенного закона вязкости (power law rheology). Для двух подмоделей (геомеханической для трещины и гидродинамической для переноса материалов ГРП по объему трещины) необходимо провести сопряжение по

одному из физических параметров, чтобы решение по двум подмоделям было физически согласованным.

Далее приведены публикации, описывающие построение моделей ГРП различного уровня сложности.

Модели PKN [T.K. Perkins, L.R. Kern. Widths of Hydraulic Fractures. Journal of Petroleum Technology, 13 (1961), 9, SPE-89-A] и **KGD** [A Rapid Method of Predicting Width and Extent of Hydraulically Induced Fractures, 21 (1969), 12, SPE-2458-PA].

Распространение трещины. Высота предполагается постоянной, деформации горной породы происходят в одной плоскости трещины ГРП.

Транспорт (перенос) материалов ГРП. Модель переноса материала внутри трещины не рассчитывается.

Радиальная модель.

Распространение трещины. Предполагается осесимметричная деформация горной породы относительно оси скважины (механически изотропная порода).

Транспорт материалов ГРП. Модель переноса материла внутри трещины не рассчитывается (равномерная жидкость ГРП).

Псевдотрехмерные модели (например, Pseudo3D из FracCADE™, торговая марка компании Шлюмберже).

Распространение трещины. Плоская вертикальная трещина переменной высоты, представленная в виде ячеек, подобных модели PKN. Широко используется в нефтегазовой индустрии. Применима, когда полудлина трещины намного больше ее высоты.

Транспорт материалов ГРП. Рассчитывается по одномерной модели с тем же разрешением, что и у подмодели распространения трещины.

Planar 3D (например, US 6876959, GOHFER™, торговая марка компаний Stim-Lab и Marathon Oil Company, TerraFrac™, торговая марка компании TerraTek, StimPlan™, торговая марка компании NSI).

Распространение трещины. Плоская вертикальная трещина переменной высоты с любым соотношением длины и высоты. Обладает улучшенной точностью по сравнению с псевдотрехмерными моделями в случае, когда пласт-коллектор состоит из нескольких слоев с существенно различающимися свойствами: минимальным горизонтальным сжимающим напряжением, модулем Юнга и другими.

Транспорт материалов ГРП. Рассчитывается по двумерной подмодели, имеющей то же разрешение, что и подмодель распространения трещины (одна мелкая сетка для двух подмоделей).

Модель Planar 3D требует большего времени расчета, чем псевдотрехмерные модели и ограничена для полевого применения (не подходит для быстрой оценки рисков при проведении ГРП).

Трехмерные модели (например, SPE-151585-PA).

Распространение трещины. Криволинейная траектория трещины с произвольными направлениями распространения, не лежащими в одной плоскости.

Транспорт материалов ГРП. Модель переноса материла внутри трещины не рассчитывается.

Модели ГРП в пластах с естественной трещиноватостью (например, модель UFM™, торговая марка компании Шлюмберже, патент US 8412500, международная заявка WO 2008093264).

Распространение трещины. Основано на псевдотрехмерном подходе и подмодели взаимодействия с естественными трещинами. Созданная трещина ГРП встречается с существующей естественной трещиной и дальнейший рост сети трещин описывается специально построенной геомеханической моделью (геомеханика для пересекающихся трещин).

Транспорт материалов ГРП. Рассчитывается только по одномерной модели.

Существующие модели ГРП не позволяют прогнозировать реальные двумерные распределения материалов ГРП (проппанта, волокон, концентрации геля). Настоящее

решение направлено на преодоление этих недостатков, а также направлено на прогноз рисков, сопровождающих операции ГРП и на выбор такого расписания ГРП и скважинных операций, которые снижают риски неэффективного ГРП.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ СУЩНОСТИ

Настоящее решение направлено на создание способа прогнозирования гидроразрыва пласта с учетом процессов массопереноса и теплопереноса. Решение содержит следующие операции:

1. Псевдотрехмерная подмодель распространения трещины (известная из текущего уровня техники). Для расчета в подмодели распространения трещины вводят данные о механических свойствах пласта и данные о реологических параметрах жидкости ГРП (суспензии), которые считаются постоянными в каждой ячейке используемой сетки. Сетка подмодели распространения трещины более крупная, чем для подмодели транспорта материалов ГРП. Ячейку подмодели распространения трещины получают объединением более мелких ячеек для подмодели транспорта материалов ГРП.

2. Двумерная подмодель транспорта материалов ГРП, утечек в пласт и теплообмена с породой, имеющая более высокое разрешение по пространству и времени по сравнению с моделью распространения трещины из п.1.

3. Метод сопряжения подмоделей из пунктов 1 и 2. В нем обеспечивается равенство гидродинамических сопротивлений для ячейки модели распространения трещины для случаев: (а) постоянных реологических параметров, используемых в п.1 и (б) распределений реологических параметров, рассчитанных в подмодели транспорта материалов ГРП в п.2.

Настоящее решение расширяет возможности псевдотрехмерного подхода по прогнозированию ГРП. Во-первых, способ прогнозирования позволяет рассчитать распределение материалов гидроразрыва пласта в трещине с более высоким разрешением, чем в существующих моделях. При этом время расчета остается сопоставимым и достаточным для проведения прогноза ГРП на месте. Во-вторых, алгоритм сопряжения из

п.3 дает возможность учесть влияние распределений материалов ГРП и температуры, рассчитанных с высоким разрешением, на распространение трещины.

Также предложен способ гидроразрыва пласта.

Также предложен способ прогнозирования продуктивности скважины.

Настоящее решение также направлено на прогнозирование рисков при проведении ГРП: явление перепродавки жидкости ГРП, загрязнения трещины водорастворимым гелирующим полимером и частичное закупоривание трещины проппантом (бриджинг). Моделирование с помощью сопряженных подмоделей позволяет осуществить выбор скважинных операций, снижающих риски неэффективного ГРП.

Способ также позволяет прогнозировать параметры ГРП для канального ГРП (неоднородное размещение проппанта в трещине ГРП с образованием каналов).

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

Фиг.1. Изображение трещины ГРП с геометрией, рассчитанной по псевдотрехмерной подмодели распространения трещины (показано одно полукрыло трещины ГРП, моделирование второго крыла идентично).

Фиг.2. Схема сопряжения подмодели распространения трещины и подмодели переноса материалов ГРП.

Фиг.3. Результаты расчета закачивания жидкости промывки в трещину по двумерной подмодели переноса материалов ГРП: концентрация проппанта (а) и проводимость трещины (б). Обозначено явление перепродавки проппанта вблизи отверстий перфораций.

Фиг.4. Результаты расчета закачивания жидкости промывки в трещину по одномерной подмодели переноса материалов ГРП: концентрация проппанта (а) и проводимость трещины (б).

Фиг.5. Результаты расчета пульсирующего закачивания проппанта в трещину по двумерной подмодели переноса материалов ГРП: концентрация проппанта (а) и проводимость трещины (б).

Фиг.6. Прогноз кумулятивной добычи для скважины после ГРП, выполненного по Фиг.5.

Фиг.7. Распределение объемной концентрации геля (а) и проводимости (б) после закрытия трещины.

Фиг.8. Распределение температуры несущей жидкости в трещине на момент остановки закачивания (а) и распределение проводимости (б). Расчет сделан по двумерной модели переноса материалов ГРП.

Фиг.9. Распределение температуры несущей жидкости в трещине на момент остановки закачивания (а) и распределение проводимости (б). Расчет сделан по одномерной модели переноса материалов ГРП.

Фиг.10. Результаты расчета бриджинга проппанта в узкой трещине по двумерной подмодели роста трещины: концентрация проппанта (а) и проводимость трещины (б).

Фиг.11. Результаты расчета бриджинга проппанта в узкой трещине по одномерной подмодели роста трещины: концентрация проппанта (а) и проводимость трещины (б).

Используемые термины:

Гидроразрыв пласта (ГРП) – метод интенсификации работы нефтяных или газовых скважин, заключающийся в создании трещины в пласте для обеспечения притока добываемого флюида (газ, вода, конденсат, нефть, либо их смесь). Трещина создается путем закачки материалов ГРП в пласт.

Материалы ГРП – несущие жидкости, расклинивающие агенты, волокна, а также добавки (например, понизители трения, разрушители, сшиватели, стабилизаторы, поверхностно-активные вещества).

Проппант – расклинивающий агент (прочный калиброванный песок или его аналоги). Размеры проппанта позволяют закачивать суспензию проппанта в загущенной жидкости (гелированной жидкости) в ствол скважины, затем через перфорационные отверстия в образованную трещину. Размер проппанта меньше ширины трещины ГРП, что обеспечивает перенос проппанта вглубь трещины.

Свойства проппанта – размер проппанта (сито США), средний диаметр и удельная плотность проппанта позволяют смоделировать перенос частиц проппанта вглубь трещины и оседание проппанта (стоксовское оседание крупных частиц в жидкости).

Проппированная область трещины – область, расклиненная проппантом. Проппированная область имеет проницаемость выше проницаемости окружающей породы.

Распределение проводимости трещины ГРП – функция, принимающая значения локальной проводимости трещины в каждой точке (x, y).

Локальная проводимость трещины – это произведение толщины трещины после ее закрытия и проницаемости упаковки проппанта и каналов, образовавшихся в результате ГРП. Параметры средней проницаемости проппантной упаковки [м^2] измеряют в лаборатории в соответствии со стандартом ISO 13503-5.

Риски проведения ГРП – факторы, действия которых снижают общую гидравлическую проводимость трещины ГРП и снижают эффективность стимулирования пласта ниже запланированного уровня.

Частичное закупоривание или бриджинг (риск закупоривания) – остановка движения проппанта (или проппанто-волоконной смеси) в узкой трещине из-за взаимодействия между собой, с жидкостью и со стенками трещины. При проведении ГРП возникновение бриджинга проявляется в виде резкого роста давления в забое скважины и сигнализирует о риске выполнения ГРП не по графику. При моделировании потока жидкости ГРП (суспензии проппанта в несущей жидкости) бриджинг проявляется в виде увеличения гидродинамического сопротивления потоку и остановки транспорта

проппанта в направлении потока (нулевая скорость проппанта в моделируемом потоке частиц).

Разрешение (модели, расчета) – количество ячеек сетки на единицу длины (пространственное разрешение), количество шагов по времени на единицу времени (временное разрешение).

Свойства жидкости:

Реологические параметры – параметры K и n степенного закона вязкости жидкости, согласно которому

$$\tau = K(\partial u/\partial \xi)^n, \qquad \mu = K(\partial u/\partial \xi)^{n-1},$$

где τ – это напряжение сдвига, K – коэффициент густоты потока (consistency index), n – показатель поведения жидкости (behavior index), μ – кажущаяся вязкость жидкости (apparent viscosity), $\partial u/\partial \xi$ – скорость сдвига (градиент скорости вдоль оси ξ, перпендикулярной к скорости сдвига слоев жидкости). Параметры K и n несущих жидкостей измеряются в лаборатории в соответствии со стандартами ISO 13503-1 и API 13M.

Параметры скорости фильтрации жидкости:

Коэффициент утечек, м/с$^{0.5}$ и коэффициент мгновенных потерь, м^3/м^2 - это параметры модели Картера утечки жидкости в пласт, согласно которой

$$\frac{V_L}{A_L} = 2\, C_L\sqrt{t} + S_p,$$

где V_L – это объем утечки жидкости в пласт за время t (время, прошедшее с начала процесса утечек в пласт), A_L – площадь поверхности, через которую происходит утечка. Подробно модель утечки описана в книге M.J. Economides, K.G. Nolte, Reservoir Stimulation, 3rd Edition, p. 2-17.

Тип реологии несущей жидкости:

Ньютоновская жидкость – жидкость со степенным законом вязкости, в котором $n = 1$. Для такой жидкости реологические параметры включают в себя только вязкость $\mu = K$. Напряжение сдвига определяется формулой $\tau = K\,\partial u/\partial \xi$.

Неньютоновская жидкость – жидкость, вязкость которой зависит от скорости сдвига. В случае степенного закона вязкости это жидкость, для которой $n \neq 1$.

Механические свойства пласта – набор параметров, описывающих породу в зоне ГРП и позволяющих оценить геометрию трещины ГРП. Кроме обычных прочностных характеристик породы (модуля Юнга [ГПа], коэффициента Пуассона) необходимо при моделировании трещины учитывать следующие параметры:

Вязкость разрушения K_{IC} (или критический коэффициент интенсивности напряжения) - механический параметр имеет размерность [кПа $\cdot$ м$^{1/2}$] и задает порог механического напряжения, при котором происходит дальнейшее распространение трещины в твердой породе.

Напряжение закрытия (МПа) – если давление внутри трещины ниже этого порога, то происходит закрытие (смыкание) стенок трещины. При этом процесс ГРП прекращается.

ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ

В одном или нескольких вариантах осуществления в соответствии с настоящим раскрытием способы могут быть направлены на прогнозирование гидроразрыва пласта и содержать выполнение следующих операций:

Проектирование гидроразрыва пласта

Проектирование ГРП содержит этапы, перечисленные ниже.

1. Получение механических и проводящих свойств пласта из данных каротажа и других средств измерений.

2. Сбор информации о скважине: траектория, заканчивание (место перфораций обсадной трубы) и другие параметры.

3. Получение данных лабораторных измерений свойств материалов гидроразрыва пласта: жидкостей (реологические параметры, плотность), свойств проппанта (плотность и размеры), волокон (например, влияние на скорость осаждения проппанта).

4. Выбор расписания закачки ГРП: выбор материала закачки (вязкие жидкости, проппант и добавки), расход и объем закачки материалов ГРП, концентрации проппанта, волокон и добавок, максимальное давление во время ГРП (превышает давление гидроразрыва).

5. Прогнозирование операции гидроразрыва пласта: моделирование распространения трещины и транспорта материалов ГРП в ней, расчет распределения проводимости трещины.

6. Вывод данных моделирования на момент окончания расписания ГРП (локальная концентрация проппанта, концентрация остаточного геля, распределение проводимости для расклиненной трещины).

7. Дополнительно рассчитывают прогноз продуктивности скважины для полученного в пп.5-6 распределения проводимости трещины ГРП. Если требуемые параметры скважины достигнуты, то переход к п.8, или переход к п.4 и изменение расписания закачки ГРП (изменение объемов материалов ГРП или их пропорций).

8. Проведение гидроразрыва на основе выбранного расписания ГРП (по пункту 4).

Для прогноза продуктивности скважины (этап 7) для заданного распределения проводимости трещины (пласт простимулирован с помощью ГРП) могут быть использованы, например, пакеты программ ECLIPSE™ и INTERSECT™, торговые марки компании Шлюмберже. Эти пакеты программ позволяют работать со сложными моделями трещины ГРП и давать прогноз дебита нефтегазовой жидкости по времени для производительного пласта.

Прогнозирование гидроразрыва пласта

Данный раздел содержит описание предлагаемого способа прогнозирования ГРП из п.5 процесса проектирования гидроразрыва пласта.

В модели ГРП время закачки разбивается на последовательные шаги t_1, t_2, ..., t_N, где t_1 – это начало закачки материалов гидроразрыва пласта в скважину, t_N – конечный рассматриваемый момент времени. Расчет производится последовательно для шагов от t_k до t_{k+1}, $k = 1, ..., N-1$. На каждом из шагов по времени необходимо выполнить приведенные ниже этапы.

1. Подмодель распространения трещины

На данном этапе производится расчет распространения трещины по псевдотрехмерной модели. В ней область трещины покрывается одномерной расчетной сеткой, показанной на Фиг.1. В каждой ячейке этой сетки задаются постоянные реологические параметры суспензии, полученные для предыдущего временного шага $t = t_k$. На первом временном шаге берутся свойства жидкостей, закачиваемых в скважину первыми.

2. Подмодель транспорта материалов ГРП

В данной подмодели область трещины покрывается двумерной расчетной сеткой, которая имеет более высокое разрешение, чем сетка из п.1. В ячейках этой двумерной сетки для всех материалов ГРП (проппанта, волокон, несущих жидкостей, а также добавок) рассчитываются компоненты скорости движения в трещине. Затем рассчитывается перенос материалов и баланс тепловой энергии на шаге от t_k до t_{k+1}.

3. Сопряжение подмоделей распространения трещины и транспорта материалов ГРП.

При сопряжении в каждой ячейке сетки из п.1 проводится расчет постоянных эффективных реологических параметров K^* и n^* суспензии, обеспечивающих такое же гидродинамическое сопротивление ячейки, что и распределения $K(x,y)$ и $n(x,y)$, полученные в подмодели транспорта в п.2 при $t = t_{k+1}$.

Ниже приведены разделы с детальным описанием каждого этапа по пп.1-3.

Подмодель распространения трещины

Для описания распространения трещины используется псевдотрехмерная (P3D) модель, в которой вводится одномерная сетка из ячеек, показанная на Фиг.1. Каждая ячейка в любой момент времени является прямоугольником в плоскости трещины со сторонами параллельными вертикальной и горизонтальным осям ориентации трещины. Положения ячеек изменяются на каждом временном шаге. Поэтому такая сетка называется подвижной.

Для расчета на каждом шаге по времени необходимо задать значения реологических параметров суспензии во всех ячейках сетки (параметры K и n). При этом параметры внутри каждой ячейки считаются постоянными.

Полное описание модели распространения трещины приведено в главе 6 из книги M.J. Economides, K.G.Nolte, Reservoir Stimulation, pp. 6-16 – 6-23, 3d edition, John Willey, 2000.

Подмодель транспорта материалов ГРП

Для расчета распределения давления в трещине и скорости перемещения суспензии при ГРП, используются уравнения теории смазки и переноса. Например, в случае ньютоновской жидкости и проппанта они имеют вид:

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \mathrm{div}[w\,\boldsymbol{u}_f] + 2\,v_l = 0,$$

$$\boldsymbol{u}_f = -\frac{w^2}{12\,\mu_s(c)}\,(\nabla p - \rho\,\boldsymbol{g}), \qquad \boldsymbol{u}_p = \boldsymbol{u}_f + \boldsymbol{u}_s,$$

$$\frac{\partial (w\,c)}{\partial t} + \mathrm{div}[w\,\boldsymbol{u}_p\,c] = 0,$$

где

- w – это толщина трещины;
- $\boldsymbol{u}_f$ и $\boldsymbol{u}_p$ – усредненные по массе и поперек трещины поля скорости жидкости (fluid) и проппанта соответственно;
- v_l – скорость утечек жидкости из трещины в пласт;
- $\mu_s(c)$ – кажущаяся вязкость суспензии, зависящая от концентрации проппанта c;
- $\boldsymbol{g}$ – ускорение свободного падения.

Подробно эта модель описана, например, в публикации [S. Boronin, A. Osiptsov, Two-Continua Model of Suspension Flow in a Hydraulic Fracture, Doklady Physics, 2010, Vol. 55, No. 4]. В данном решении предлагается использовать этот подход для случая произвольного количества материалов ГРП (проппант, волокна, добавки).

В конце каждого временного шага подмодель транспорта позволяет рассчитать концентрации всех материалов ГРП в узлах сетки (Фиг.2, схема слева), имеющей более высокое разрешение по сравнению с грубой сеткой (для расчета распространения трещины, Фиг.2, схема справа). Затем по концентрациям материалов рассчитывают распределение реологических параметров суспензии (степенной закон для реологии). В

каждой ячейке сетки подмодели распространения трещины в результате, как правило, получается неравномерное распределение этих реологических свойств.

Сопряжение подмоделей распространения трещины и транспорта материалов ГРП

Задачей сопряжения подмоделей распространения трещины и транспорта материалов ГРП является обеспечение равенства гидродинамических сопротивлений ячейки модели распространения трещины для случаев: (а) постоянных эффективных параметров K^* и n^* и (б) распределений $K(x,y)$ и $\mathrm{n}(x,y)$, рассчитанных в подмодели транспорта материалов ГРП. Эквивалентный набор ячеек моделирования для двух указанных подмоделей изображен на Фиг.2 (слева – для подмодели транспорта материалов ГРП, справа – для подмодели распространения трещины).

Согласно варианту раскрытия, крупную ячейку для подмодели распространения трещины разбивают на мелкие ячейки сетки, где рассчитывают подмодель транспорта материалов ГРП (Фиг. 2). Это позволяет упростить и ускорить моделирование геометрии трещины ГРП без снижения точности расчета.

Решение задачи сопряжения производится с помощью метода расчета обобщённых параметров K^* и n^*, описанного ниже. Рассмотрим его на примере одной прямоугольной ячейки $C = \{x_l \le x \le x_r, y_b \le y \le y_t\}$, где координаты x_l, x_r, y_t, y_b задают положения ее левой, правой, верхней и нижней границ, соответственно.

1. Рассчитать течения через ячейку C, возникающие вследствие перепадов давления $\Delta p_1 = 0.9\,\Delta p$ и $\Delta p_2 = 1.1\,\Delta p$ между левой и правой границами, соответственно. При этом использовать распределения реологических параметров $K(x,y)$ и $n(x,y)$, рассчитанные в подмодели транспорта, и известное распределение толщины трещины $w(x,y)$. Здесь Δp – это перепад давления между левой и правой границами ячейки C, полученный в подмодели транспорта на последнем временном шаге.

2. Вычислить суммарные потоки q_1 и q_2 в направлении оси x через ячейку C, соответствующие перепадам давлений Δp_1 и Δp_2 из п.1.

3. Вычислить такие значения K^* и n^*, чтобы для течения через ячейку C с этими постоянными реологическими параметрами и толщиной $w(x,y)$ из п.1 суммарные потоки совпадают с q_1 и q_2 при перепадах давления Δp_1 и Δp_2, соответственно. Такое

условие дает два уравнения для определения искомых постоянных K^* и n^* (для крупной ячейки С).

В одном или нескольких вариантах осуществления в соответствии с настоящим раскрытием способы могут быть направлены на прогнозирование продуктивности скважины после гидроразрыва пласта и содержать выполнения: ввода данных о расписании ГРП; ввода данных для подмодели распространения трещины ГРП в пласте; ввода данных для подмодели транспорта материалов ГРП в трещине ГРП; моделирования ГРП с помощью подмодели распространения трещины ГРП и подмодели транспорта материалов ГРП, при этом сопряжение подмоделей проводят по гидродинамическому сопротивлению для ячеек моделирования; вывода данных моделирования на момент окончании расписания ГРП и/или закрытия трещины. После получения прогноза о распределении проводимости трещины ГРП, используя программы для моделирования притока из производительного коллектора, получают прогноз продуктивности скважины ГРП по времени (в виде накопленной продуктивности или текущей продуктивности скважины, пересекающей пласт).

В одном или нескольких вариантах осуществления в соответствии с настоящим раскрытием способы могут быть направлены на прогнозирование различных ситуаций, связанных с риском проведения гидроразрыва пласта.

Так в некоторых вариантах осуществления способы могут выполняться для прогнозирования перепродавки в трещине ГРП и содержать выполнения: ввода данных о расписании ГРП; ввода данных для подмодели распространения трещины ГРП в пласте; ввода данных для подмодели транспорта материалов ГРП в трещине ГРП; моделирования ГРП с помощью подмодели распространения трещины ГРП и подмодели транспорта материалов ГРП, при этом сопряжение подмоделей проводят по гидродинамическому сопротивлению для ячеек моделирования; моделирования ГРП для этапа закачивания порции промывочной жидкости в область трещины ГРП; вывода данных моделирования на момент окончании расписания ГРП и/или закрытия трещины. Наконец, получения данных о проводимости трещины ГРП вблизи перфорационных отверстий. При необходимости, изменяют расписание ГРП для снижения эффекта перепродавки

проппанта при закачивании порции для очистки ствола скважины от проппанта (продавочная жидкость).

В некоторых вариантах осуществления способы могут выполняться для прогнозирования пульсирующей закачки проппанта и содержать выполнения: ввода данных о расписании ГРП; ввода данных для подмодели распространения трещины ГРП в пласте; ввода данных для подмодели транспорта материалов ГРП в трещине ГРП; моделирования ГРП с помощью подмодели распространения трещины ГРП и подмодели транспорта материалов ГРП, при этом сопряжение подмоделей проводят по гидродинамическому сопротивлению для ячеек моделирования; моделирования ГРП для последовательности закачки импульсов жидкости без проппанта и жидкости с проппантом; вывода данных моделирования на момент окончании расписания ГРП и/или закрытия трещины. По выведенным данным получают и оценивают данные о проводимости трещины ГРП.

В некоторых вариантах осуществления способы могут выполняться для прогнозирования загрязнения трещины ГРП гелирующим полимером и содержать выполнения: ввода данных о расписании ГРП; ввода данных для подмодели распространения трещины ГРП в пласте; ввода данных для подмодели транспорта материалов ГРП в трещине ГРП; моделирования ГРП с помощью подмодели распространения трещины ГРП и подмодели транспорта материалов ГРП, при этом сопряжение подмоделей проводят по гидродинамическому сопротивлению для ячеек моделирования; моделирования ГРП для последовательности закачки импульсов жидкости без проппанта и жидкости с проппантом; вывода данных моделирования на момент окончании расписания ГРП и/или закрытия трещины. Далее определяют зоны с высокой концентрацией гелирующего полимера (то есть зоны загрязнения трещины). При высоких рисках загрязнения пересматривают расписание ГРП (концентрацию гелирующего агента в жидкости ГРП).

В некоторых вариантах осуществления способы могут выполняться для прогнозирования закупоривания трещины ГРП и содержать выполнения: ввода данных о расписании ГРП; ввода данных для подмодели распространения трещины ГРП в пласте; ввода данных для подмодели транспорта материалов ГРП в трещине ГРП; моделирования

ГРП с помощью подмодели распространения трещины ГРП и подмодели транспорта материалов ГРП, при этом сопряжение подмоделей проводят по гидродинамическому сопротивлению для ячеек моделирования; вывода данных моделирования на момент окончании расписания ГРП и/или закрытия трещины. Далее определяют зоны низкой проводимости внутри трещины ГРП или на входе в трещину ГРП. При необходимости пересматривают расписание ГРП.

ПРИМЕРЫ

В данном разделе представлены примеры, демонстрирующие возможности предлагаемого решения (моделирования ГРП) по сравнению с доступным уровнем техники. Например, в сравнении с моделью, объединяющей псевдотрехмерную (P3D) подмодель роста трещины и одномерную (1D) подмодель переноса материалов ГРП. Далее этот сравнительный вариант моделирования ГРП обозначен как «известный уровень техники».

Пример 1. Прогнозирование перепродавки жидкости промывки в трещину ГРП

Ситуация

Для промывки скважины после ГРП в нее закачивается низковязкая жидкость без проппанта. При провелении завершающего этапа ГРП существует риск перепродавки – проникновения в призабойную зону жидкости промывки и вымывание проппанта из этой зоны. Это приводит к выносу проппанта из участков, примыкающих к перфорациям. Избыточная перепродавка (наличие расклинненных зон в трещине ГРП) снижает проводящие свойства трещины, что, в свою очередь, снижает продуктивность скважины. С другой стороны, недостаточная промывка скважины приводит к избыточному количеству проппанта, который остался вне трещины ГРП и требует дополнительных скважинных операций и создает проблемы при размещении скважинного оборудования. Для оценки рисков, связанных с перепродавкой (или «недопродавкой»), проектирование ГРП нуждается в прогнозе реального размещения проппаната после промывки чистой жидкостью под высоким давлением (выше давления гидроразрыва) и в идентификации нерасклиненных зон внутри трещины ГРП.

Решение

Проведены расчеты с помощью предлагаемого решения. Для примера рассматривали трещину, распространяющуюся в пластах, описанных в таблице 1. Параметры закачки и свойства материалов ГРП приведены в таблицах 2, 3, 4. Утечки в пласт нулевые (предположение о низкопроницаемом пласте). Закачка жидкости ГРП (неньютоновская жидкость) производится в вертикальную скважину через перфорационный интервал от 4091 м до 4092 м (истинная глубина). Инициация трещины ГРП происходит в пласте 2. Промывка на финальной стадии ГРП проведена водной жидкостью (ньютоновская жидкость с низкой явзкостью).

Таблица 1. Механические свойства пластов

Пласт	Глубина кровли, м	Толщина, м	Модуль Юнга, ГПа	Коэфф. Пуассона	Вязкость разрушения, кПа · $м^{1/2}$	Напряжение закрытия, МПа
1	4078	4	80	0.30	1100	86
2/перфорации	4082	18	80	0.24	770	55
3	4100	20	80	0.32	1100	90

Таблица 2. Свойства жидкостей

Жидкость	K, Па· $с^n$	n	Тип жидкости
жидкость 1	5.9	0.46	неньютоновская
жидкость 2 (жидкость промывки)	0.001	1	ньютоновская

Таблица 3. Свойства проппанта

Размер (сито США)	Средний диаметр, мм	Удельная плотность	Средняя проницаемость проппантной упаковки, $м^2$
20/40	0.65	3.03	2.7E-10

Таблица 4. Параметры закачки (расписание ГРП)

Шаг	Жидкость	Расход, $м^3$/мин	Объем закачки, $м^3$	Концентрация проппанта, кг/$м^3$

1	жидкость 1	2.7	48	0
2	жидкость 1+проппант (жидкость ГРП)	2.7	48	600
3	жидкость 2 (жидкость промывки)	2.7	4.8	0

На Фиг.3 приведены результаты расчета для завершающей стадии ГРП – моделирование потока жидкостей на пространственной сетке с числом ячеек 257*257. Результаты моделирования закачивания жидкости промывки 2 (водной жидкости на завершающей стадии ГРП) представлены в виде двух характеристик: концентрация проппанта (Фиг.3а) и проводимость трещины (Фиг.3б). Отмечено явление перепродавки проппанта вблизи отверстий перфораций (создает риск локального смыкания стенок трепщине в зонах обедненных проппантом). Отверстия перфорации (а также «кластер перфорации» - совокупность отверстий) изображены в виде небольших треугольников между стволом скважины и объемом трещины ГРП. На Фиг.3 видно, что возле перфораций при закачке жидкости 2 (жидкость промывки) образуется поток с неусточивостью Саффмана-Тейлора (неравномерность течения двух жидкостей из-за большого контраста вязкости). Эта неравномерность потока влияет на окончательное распределение (вымывание) проппанта и проводимости проппантой упаковки вблизи перфорационного кластера. В одномерной модели транспорта материалов ГРП этот эффект не учитывается (см. Фиг.4) и риск локального снижения проводимости трещины вблизи перфораций не моделируется и не учитывается.

Вывод

Предложенное решение позволяет точнее прогнозировать распределение проводимости трещины после перепродавки (по сравнению с псевдотрехмерной моделью и одномерной моделью траспорта материалов ГРП). На основе этого прогноза оператор выбирает (напрмер, уменьшает) объем жидкости промывки и повторяет прогноз для нового расписания ГРП, что снижает риск появления нерасклиненных зон в трещине. С другой стороны, маломасшабная перепродавка проппанта вблизи кластера перфораций

создает преимущества для дальнейших скважинных операций (ствол скважины свободен от остатков проппанта).

Пример 2. Моделирование пульсирующей закачки проппанта (неравномерное размещение проппанта в трещине ГРП)

Ситуация

Необходимо сделать прогноз распределения материалов ГРП и проводимости трещины при чередующейся закачке проппанта короткими пульсами переменно с пульсами чистой жидкости без проппанта.

Решение

Проведены расчеты с помощью предлагаемого решения. Для примера рассматривали трещину, полученную после закачки расписания, указанного в таблице 5. Остальные параметры жидкости и проппанта совпадают с теми, что указаны выше в примере 1.

Таблица 5. Параметры закачки (расписание ГРП)

Шаг	Жидкость	Расход, $м^3$/мин	Объем закачки, $м^3$	Концентрация проппанта, кг/$м^3$	Длительность пульсов, сек	
					проппантный	чистый
1	жидкость1	2.7	48	0	0	1060
2	жидкость1+ проппант	2.7	52	600	20	20

На Фиг.5 показаны результаты расчета, полученные с помощью двумерной модели транспорта материалов ГРП. На графиках видно неравномерное распределение проппанта, полученное с помощью подачи пульсирующей закачки. На Фиг.5(б) видно, что проводимость трещины ГРП зависит от полученного распределения проппанта и каналов (для каналов характерна низкая концентрация проппанта вокруг проппантных агрегатов, непроппированные зоны). На Фиг.6 приведен прогноз накопленной продуктивности скважины для полученного распределения проводимости трещины. Пунктирной линией

отображается целевой уровень продуктивности для периода 120 дней. Видно, что выбранное расписание закачки позволяет достичь этого уровня, то есть этот вариант ГРП достигает поставленной задачи.

Если уровень продуктивности не достигается, то оператор пересматривает параметры закачки или стратегию перфорации обсадной колонны.

Вывод

Предложенное решение позволяет прогнозировать неравеномерное распределение проводимости трещины и материалов ГРП при пульсирующей закачке проппанта. Полученные данные позволяют прогнозировать продуктивность скважины. На основе этого прогноза оператор принимает решение, например, о выборе скважин, где проведение ГРП с пульсирующей закачкой создает запланированную продуктивность.

Пример 3. Моделирование загрязнения трещины гелирующим агентом

Ситуация

Основная цель ГРП – повышение продуктивности скважины. Эта цель достигается созданием в породе трещины, которая увеличивает поверхность контакта между скважиной и пластом и обеспечивает транспорт углеводородов к перфорациям. При проведении ГРП низкая концентрация гелирующего агента снижает транспортные способности несущей жидкости, а избыточная концентрация гелирующего агента вызывает загрязнение породы и образование фильтрационной корки. Выбор между этими крайностями найден при помощи моделирования распределения концентрации геля на момент окончания ГРП (прогноз зон загрязнения). Технология ГРП подразумевает использование веществ, которые снижают результативность стимуляции, создавая низкопроводящую фильтрационную корку на стенках трещины или закупоривая пространство между частицами проппанта (загрязнение упаковки проппанта). Прогноз загрязнения трещины необходим для выбора концентрации геля, положения перфораций и, возможно, стратегии очистки трещины, которые дали бы желаемый прирост продуктивности скважины.

Основным средством прогнозирования загрязнения трещины является математическое моделирование оседания геля в результате фильтрации жидкости

гидроразрыва в пласт. Однако распределение геля, полученное при использовании одномерного (упрощенного) приближения для течения в трещине не может служить основанием для выбора расписания закачки ГРП.

Решение

Проведены расчеты с помощью предлагаемого решения. Для примера рассматривали трещину, распространяющуюся в пластах, описанных в Таблице 6. Свойства жидкости и проппанта приведены в таблицах 7, 8. Таблица 9 содержит параметры закачки. Закачка производится в вертикальную скважину через перфорационный интервал от 2720 м до 2725 м (истинная глубина). Утечки жидкости в пласт описывали моделью Картера, представленной, например, в статье A. Settari, General Model of Fluid Flow (Leakoff) From Fractures Induced in Injection Operations, SPE-18197-MS. В модели для ГРП задавали параметры: коэффициент утечки (leakoff coefficient) и коэффициент мгновенных потерь (spurt loss).

Таблица 6. Механические свойства пластов

Пласт	Глубина кровли, м	Толщина, м	Модуль Юнга, ГПа	Коэфф. Пуассона	Вязкость разрушения, кПа · $м^{1/2}$	Напряжение закрытия, МПа
1	2700	10	23.32	0.28	1099	100
2	2710	5	34.54	0.18	1319	40
3	2715	5	34.54	0.18	1319	80
4/перфорации	2720	5	34.54	0.18	1319	40
5	2725	10	34.77	0.19	1099	100

Таблица 7. Свойства жидкости и фильтрация в породу

K, Па· $с^n$	n	Тип	Коэффициент утечек, $м/с^{0.5}$	Коэффициент мгновенных потерь, $м^3/м^2$	Концентрация геля, $кг/м^3$
0.57	0.81	неньютоновская	3.9E-4	0	4.8

Таблица 8. Свойства проппанта

Размер (сито США)	Средний диаметр, мм	Удельная плотность	Средняя проницаемость проппантной упаковки, $м^2$
20/40	0.560	2.65	7.1E-11

Таблица 9. Параметры закачки (расписание ГРП)

Расход, $м^3$/мин	Объем закачки, $м^3$	Концентрация проппанта, кг/$м^3$
3.5	103.8	100

На Фиг.7 представлено распределение концентрации геля в трещине после ее закрытия. Трещина инициируется в пласте 4 рядом с перфорированным участком скважины и с течением времени достигает пласта 2 через промежуточный пласт 3 с другими свойствами.

Концентрация геля в среднем пласте 3 максимальна. Это значит, что при выводе трещины на добывающий режим, гелевая пробка на этом участке затруднит транспорт углеводородов из верхней части трещины к перфорациям, как это можно видеть из распределения проводимости на Фиг.7(б). Область высокой проводимости в нижней части трещины рядом с перфорациями, обозначенная прямоугольником на Фиг.7(а), сообщается с верхней частью трещины через узкий проводящий участок, которого недостаточно для эффективного транспорта добываемой нефтегазовой жидкости. Чтобы оптимизировать дизайн, необходимо пересмотреть перфорационную стратегию, например, дополнительно проперфорировать участок скважины в пласте 2.

В одномерной модели транспорта материалов ГРП указанный эффект не учитывается, так как не рассчитывается распределение концентрации геля по вертикали. В результате нельзя сделать вывод о контакте нефтенасыщенных пластов, пересеченных трещиной, с перфорациями. Следовательно, риски потери притока из этих пластов не могут быть предсказаны.

Вывод

Предложенный способ позволяет моделировать загрязнение трещины, возникающее в процессе ГРП, и принимать информированное решение о возможных способах оптимизации графика закачки ГРП и заканчивания скважины. Например, при высокой концентрации геля (gel damage) оператор принимает решение о проведении дополнительного этапа – очистка трещины (fracture cleanup).

Пример 4. Расчет распределения температуры жидкости ГРП

Ситуация

При проведении гидроразрыва химические добавки к жидкости подбираются с учётом температуры пласта таким образом, чтобы при нагревании избежать деградации загущающего полимера, то есть сохранить вязкость и несущие способности жидкости с момента входа в трещину и до её закрытия. Для разрушения несущей жидкости (например, сшитого геля) добавляют понизителя вязкости (разрушители геля). Активация разрушителей геля обычно производится при температуре выше критической для данного геля, и деструкция геля нежелательна до окончания ГРП и окончательного размещения проппанта для максимальной проводимости трещины. Различные деградируемые материалы, применяемые для улучшения траспорта проппанта (и для отклонения потока от одной трещины ГРП к другой трещине ГРП) также имеют ограничения по температуре. Исходя из вышесказанного, предсказание времени, за которое закачиваемые порции жидкости прогреваются от поверхностной температуры (в устье скважины) до температуры пласта актуально при составлении расписания закачки. Преждевременый прогрев несущей жидкости ГРП (температурное разрушение вязкости) приводит к риску осаждения проппанта (оседание проппанта на дне трещины) и снижению проводимости трещины (неполное расклинивание трещины).

Решение

Проведено моделирование с помощью предлагаемого решения (две сопряженные подмодели). Для примера рассматривали ситуацию, где таблица 10 представляет параметры пластов. Таблица 11 содержит реологию закачиваемой жидкости. Отметим, что при температуре 38°C вязкость жидкости >100 сР при 170 $с^{-1}$, а при нагревании до 79°C жидкость имеет вязкость 1 сР, т.е. практически полностью теряет несущие свойства. Коэффициент утечек в пласт Ct = 3.9E-6 м/$с^{0.5}$. Температура пласта 80°C. Температура жидкости на поверности 27°C. Таблица 12 содержит свойства проппанта. Таблица 13 представляет параметры закачки (расписание ГРП). Закачка стадий производится в вертикальную скважину через перфорационный кластер, созданный в интервале от 2716 м до 2746 м (истинная глубина). Инициация трещины происходит в пласте номер 2 (зона перфорации).

Таблица 10. Механические свойства пластов

Пласт	Глубина кровли, м	Толщина, м	Модуль Юнга, ГПа	Коэфф. Пуассона	Вязкость разрушения, кПа · м$^{1/2}$	Напряжение закрытия, МПа
1	2700	10	23.3	0.28	1100	100
2/перфорации	2710	30	34.5	0.18	1320	40
3	2750	10	34.8	0.19	1100	100

Таблица 11. Свойства жидкости (реология вязкого геля) при различных температурах и экспозиции в подземном пласте

Время экспозиции, час	K, Па· с^n	n	Вязкость при скорости сдвига 170 с$^{-1}$
Температура, 38°С			
0	0.59	0.68	115
1	0.52	0.70	113
2	0.42	0.75	112
Температура, 52°С			
0	1.10	0.54	104
1	0.95	0.56	100
2	0.77	0.60	98
Температура, 66°С			
0	1.48	0.49	108
1	1.15	0.53	103
2	0.86	0.58	100
Температура, 79°С (>критич.)			
0 (разрушенный гель)	1.0E-3	1	1.0E-3

Таблица 11 показывает, что для температурного интервала 38-66°С реология вязкого геля (колонка 4) меняется незначительно даже при экспозиции 1-2 часа (характерное время проведения ГРП). При более высоких температурах (>66°С) происходит разрушение геля (достигается вязкость, равная вязкости воды). Такое

изменение вязкости с повышением температуры требует учета температурного фактора при прогнозировании операции ГРП.

Таблица 12. Свойства проппанта

Размер (сито США)	Средний диаметр, мм	Удельная плотность	Средняя проницаемость проппантной упаковки, $м^2$
20/40	0.560	2.65	8.6E-11

Таблица 13. Параметры закачки (расписание ГРП)

Шаг	Жидкость	Расход, $м^3$/мин	Объем закачки, $м^3$	Концентрация проппанта, кг/$м^3$
1	жидкость 1	2.0	30	0
2	жидкость1+проппант	2.0	10	120

В этом примере исследовали влияние двумерной и одномерной моделей переноса тепла в трещине ГРП на распределение проппанта в ней. Распределение температуры влияет на вязкость и скорость оседания проппанта, которые, в свою очередь, влияют на конечные распределения концентарции проппанта и проводимости трещины ГРП.

На Фиг.8(а) и Фиг.9(а) представлены распределения температур жидкости в трещине на момент окончания закачки. Видно, что форма охлаждённой области для рассмотренных двух вариантов различается. При одномерной модели область трещины состоит из вертикальных полосок с одинаковой температурой, а в двумерной модели область состоит из дуг. Упрощенная (одномерная) модель показывает, что верхний и нижний кончики трещины контактируют с охлаждённой жидкостью, в то время как двумерная модель предсказывает нагретую жидкость у всех кончиков трещины. Отличие в площади охлаждённой области объясняется различными полями скоростей и объёмами утечек в пласт. Область распространения трещины, обозначенная сплошной линией, составила 265 м на Фиг.8(б) и 240 м на Фиг.9(б). Высоты трещин в обоих моделях совпадают, т.к. были искуственно ограничены с помощью непроницаемых барьеров.

На Фиг.8(б) и Фиг.9(б) представлены рассчитанные распределения проводимости в трещине. На Фиг.8(б) проппант осел в основном на дне трещины, что привело к

пониженной проводимости в центральной части трещины по сравнению с распределением проводимости из Фиг.9(б). Это вызвано тем, что температура жидкости в этой области на Фиг.9(а) ниже, чем на Фиг.8(а) и жидкость при одномерном расчете имеет большую вязкость в соответствии с таблицей 11. Прогноз распределения температуры и проводимости трещины показал наличие риска неэффективного ГРП.

Вывод

Предложенное решение позволяет моделировать влияние двумерного распределения температуры на реологию несущей жидкости, учитывать её влияние на геометрию трещины, перенос и оседание проппанта. На основе этих прогнозов оператор может принять решение, например, о выборе типа несущей жидкости, соответствующей полученным температурам в трещине. Так, для трещины ГРП с более высокой средней температурой потребуется гелирующий агент, приспособленный к более высокой температуре.

Пример 5. Моделирование бриджинга проппанта и оценка риска проведения ГРП

Ситуация

Технология осуществления ГРП включает в себя закачку в скважину жидкости ГРП (гель на основе водорастворимого полимера, в некоторых случаях водная жидкость с добавками) при давлениях выше давления разрыва нефтеносного пласта. Для поддержания трещины в открытом состоянии используют проппант. В процессе закачки проппанта возможно возникновение частичного, либо полного закупоривания трещины (screen out). Это происходит из-за того, что проппант, переносимый несущей жидкостью, создает пробку в отверстиях перфорации или внутри трещины. Это вызывает значительное сопротивление течению жидкости и регистрируемый резкий рост давления на устье скважины. Рост трещины ГРП в длину прекращается, работа по стимуляции пласта останавливается.

На практике дизайн работы (расписание ГРП) создается таким образом, чтобы избежать неконтролируемого закупоривания трещины. Для оценки рисков, связанных с бриджингом при ГРП необходимо иметь возможность прогнозировать размещение проппанта в трещине с высокой точностью. Двумерное моделирование транспорта

материалов ГРП позволяет спрогнозировать размещение проппанта, в то время как одномерный подход может приводить к значительным погрешностям и неправильной оценке рисков.

Решение

Проведены расчеты с помощью предлагаемого решения. Для примера рассматривали трещину, распространяющуюся в пластах, описанных в таблице 14. Инициация происходит в пласте 6. Параметры закачки и свойства жидкостей приведены в таблицах 15, 16, 17. Закачка жидкости ГРП производится в вертикальную скважину через 3 перфорационных интервала (истинная глубина): 1) от 3430 м до 3437 м; 2) от 3439 м до 3446 м; 3) от 3449 м до 3460 м.

Таблица 14. Механические свойства пластов и наличие кластера перфораций

Пласт	Глубина кровли, м	Толщина, м	Модуль Юнга, МПа	Коэфф. Пуассона	Вязкость разрушения K_{IC}, кПа · м$^{1/2}$	Напряжение закрытия, МПа
1	3413.7	2.6	52	0.23	1319	80
2	3416.3	5.2	49	0.19	1319	75
3	3421.5	2.6	49	0.17	1319	75
4	3424.0	4.0	45	0.15	1319	75
5	3428.0	2.0	51	0.22	1319	75
6/перфорации	3430.0	3.1	54	0.22	1319	75
7/перфорации	3433.1	3.2	54	0.22	1319	75
8/перфорации	3436.2	5.1	56	0.22	1319	75
9/перфорации	3441.4	3.6	55	0.22	1319	75
10/перфорации	3445.0	2.5	55	0.22	1319	75
11/перфорации	3447.5	3.0	60	0.22	1319	74
12/перфорации	3450.5	2.5	58	0.22	1319	75
13/перфорации	3453.0	3.7	57	0.22	1319	75
14/перфорации	3456.7	3.3	53	0.22	1319	75
15	3460.1	2.4	56	0.22	1319	75

16	3462.5	4.0	54	0.22	1319	100

Таблица 15. Свойства жидкости

Жидкость	K, Па· $с^n$	n	Тип реологии	Коэффициент утечек, $м/с^{0.5}$	Коэффициент мгновенных потерь, $м^3/м^2$
жидкость 1	22.6	0.16	неньютоновская	1.1E-4	0

Таблица 16. Свойства проппанта

Размер (сито США)	Средний диаметр, мм	Удельная плотность	Средняя проницаемость проппантной упаковки, $м^2$
20/40	0.675	3.62	1.6E-10

Таблица 17. Параметры закачки (расписание ГРП по стадиям с возрастанием концентрации проппанта)

Шаг	Жидкость	Расход, $м^3$/мин	Объем закачки, $м^3$	Концентрация проппанта, $кг/м^3$
1	жидкость 1 (гель)	4	75.7	0.0
2	жидкость 1+проппант	4	15.1	120
3	жидкость 1+проппант	4	15.1	240
4	жидкость 1+проппант	4	15.1	360
5	жидкость 1+проппант	4	15.1	480
6	жидкость 1+проппант	4	15.1	600
7	жидкость 1+проппант	4	15.1	720
8	жидкость 1+проппант	4	15.1	840
9	жидкость 1+проппант	4	17	960

На Фиг.10 и Фиг.11 представлены распределения концентрации проппанта в трещине на момент окончания закачки для одномерного и двумерного подходов моделирования транспорта материалов ГРП. В одномерной модели бриджинг проппанта произошел на расстоянии 75 м от скважины после закачки 7 $м^3$ жидкости на 4 шаге расписания. Основная причина данного эффекта заключается в том, что в одномерной подмодели транспорта бриджинг в одной ячейке полностью останавливает рост трещины

в длину. В представленном примере полученная конечная длина трещины равна 84 м (Фиг.11).

Сопряжение двумерной модели транспорта с псевдотрехмерной моделью распространения трещины позволяет рассчитать с высоким разрешением размещение проппанта с учетом бриджинга в локальных областях. На Фиг.10 видна зона бриджинга (обозначена белой пунктирной линией) в интервале по оси x от 30 м до 50 м. При этом из-за гетерогенного распределения проппанта трещина продолжает расти и заполняться суспензией. В представленном примере конечная длина трещины равна 115 м (Фиг.10(б)).

Вывод

Предложенное решение позволяет реалистично моделировать обтекание суспензией зон, в которых произошел бриджинг проппанта, что оказывает существенное влияние на геометрию трещины и перенос проппанта в целом. При использовании одномерной подмодели траспорта материалов ГРП (предыдущий уровень техники) получается прогноз ГРП, в котором длина трещины меньше, чем при использовании двумерной подмодели. На основе двумерного расчета переноса материалов оператор принимает информированное решение, например, о выборе концентрации проппанта или скорости закачивания суспензии, что направлено на уменьшение бриджинга внутри трещины.

Очевидно, что описанные выше варианты осуществления не должны рассматриваться в качестве ограничения объема патентных притязаний настоящего раскрытия. Для любого специалиста в данной области техники понятно, что есть возможность внести множество изменений в описанные выше способы и, без отхода от принципов раскрытия, заявленные в формуле.

ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

1. Способ прогнозирования гидроразрыва пласта, содержащий:

a) ввод данных о расписании гидроразрыва;

b) ввод данных для подмодели распространения трещины гидроразрыва в пласте;

c) ввод данных для подмодели транспорта материалов гидроразрыва в трещине;

d) моделирование гидроразрыва пласта с помощью подмодели распространения трещины гидроразрыва и подмодели транспорта материалов гидроразрыва, при этом сопряжение подмоделей проводят по гидродинамическому сопротивлению для ячеек моделирования;

e) вывод данных моделирования на момент окончания расписания гидроразрыва и/или закрытия трещины.

2. Способ по п.1, в котором данные о расписании гидроразрыва представляют собой данные о концентрации проппанта, волокон и добавок, данные о свойствах жидкости гидроразрыва.

3. Способ по п.1, в котором подмодель распространения трещины гидроразрыва в пласте описывают с помощью уравнений равновесия давления и напряжения на стенки трещины.

4. Способ по п.1, в котором подмодель транспорта материалов гидроразрыва описывают с помощью уравнений баланса массы, импульса и энергии для жидкости гидроразрыва, проппанта, волокон и добавок.

5. Способ по п.1, в котором вывод данных моделирования на этапе (e) проводят для распределений концентрации проппанта, проводимости трещины, температуры жидкости гидроразрыва на момент окончания расписания гидроразрыва и/или закрытия трещины.

6. Способ по п.1, в котором материалы гидроразрыва содержат проппант, волокна, добавки.

7. Способ гидроразрыва пласта, содержащий:

a) ввод данных о расписании гидроразрыва;

b) ввод данных для подмодели распространения трещины гидроразрыва в пласте;

c) ввод данных для подмодели транспорта материалов гидроразрыва в трещине;

d) моделирование гидроразрыва пласта с помощью подмодели распространения трещины гидроразрыва и подмодели транспорта материалов гидроразрыва, при этом сопряжение подмоделей проводят по гидродинамическому сопротивлению для ячеек моделирования;

e) вывод данных моделирования на момент окончания расписания гидроразрыва и/или закрытия трещины;

f) проведение гидроразрыва на основе выбранного расписания на этапе (a).

8. Способ прогнозирования продуктивности скважины после гидроразрыва пласта, содержащий:

a) ввод данных о расписании гидроразрыва;

b) ввод данных для подмодели распространения трещины гидроразрыва в пласте;

c) ввод данных для подмодели транспорта материалов гидроразрыва в трещине;

d) моделирование гидроразрыва с помощью подмодели распространения трещины гидроразрыва и подмодели транспорта материалов гидроразрыва, при этом сопряжение подмоделей проводят по гидродинамическому сопротивлению для ячеек моделирования;

e) вывод данных моделирования на момент окончании расписания гидроразрыва и/или закрытия трещины;

f) получение прогноза продуктивности скважины гидроразрыва по времени.

9. Способ прогнозирования перепродавки в трещине гидроразрыва, содержащий:

a) ввод данных о расписании гидроразрыва, содержащего этап закачивания промывочной жидкости в трещину;

b) ввод данных для подмодели распространения трещины гидроразрыва в пласте;

c) ввод данных для подмодели транспорта материалов гидроразрыва в трещине;

d) моделирование гидроразрыва с помощью подмодели распространения трещины гидроразрыва и подмодели транспорта материалов гидроразрыва, при этом сопряжение подмоделей проводят по гидродинамическому сопротивлению для ячеек моделирования;

e) вывод данных моделирования на момент окончании расписания гидроразрыва и/или закрытия трещины;

f) получение данных о зоне низкой проводимости трещины гидроразрыва вблизи перфорационных отверстий.

10. Способ проведения гидроразрыва пласта на основе пульсирующей закачки проппанта, содержащий:

a) ввод данных о расписании гидроразрыва, содержащего последовательность закачки пульсов жидкости без проппанта и жидкости с проппантом;

b) ввод данных для подмодели распространения трещины гидроразрыва в пласте;

c) ввод данных для подмодели транспорта материалов гидроразрыва в трещине;

d) моделирование гидроразрыва с помощью подмодели распространения трещины гидроразрыва и подмодели транспорта материалов гидроразрыва, при этом сопряжение подмоделей проводят по гидродинамическому сопротивлению для ячеек моделирования;

e) вывод данных моделирования на момент окончании расписания гидроразрыва и/или закрытия трещины;

f) получение данных о проводимости трещины гидроразрыва;

g) проведение гидроразрыва пласта.

11. Способ прогнозирования загрязнения трещины гидроразрыва гелирующим полимером, содержащий:

a) ввод данных о расписании гидроразрыва;

b) ввод данных для подмодели распространения трещины гидроразрыва в пласте;

c) ввод данных для подмодели транспорта материалов гидроразрыва в трещине;

d) моделирование гидроразрыва с помощью подмодели распространения трещины гидроразрыва и подмодели транспорта материалов гидроразрыва, при этом сопряжение подмоделей проводят по гидродинамическому сопротивлению для ячеек моделирования;

e) вывод данных моделирования на момент окончании расписания гидроразрыва и/или закрытия трещины;

f) определение зон с высокой концентрацией гелирующего полимера.

12. Способ прогнозирования закупоривания трещины гидроразрыва, содержащий:

a) ввод данных о расписании гидроразрыва;

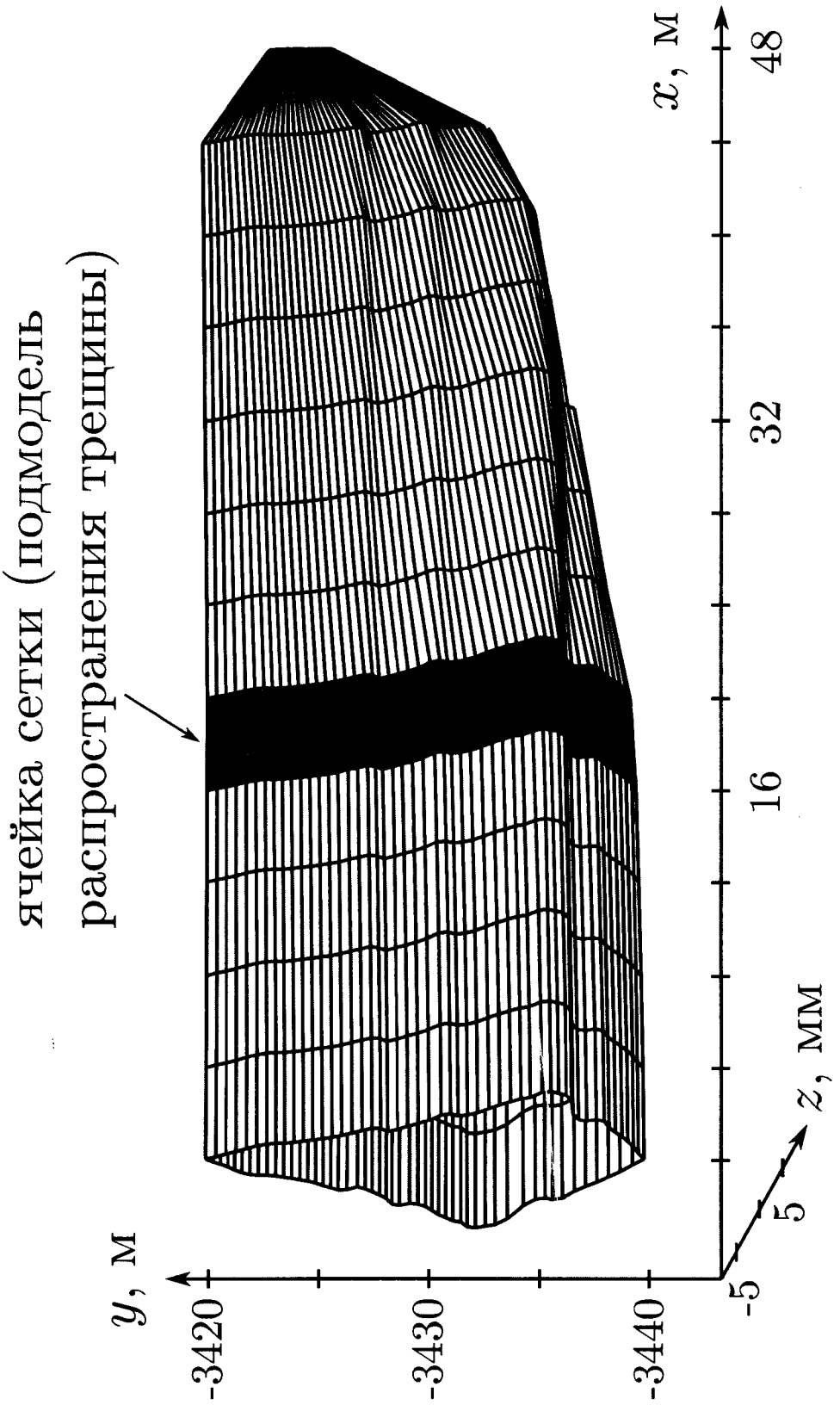
b) ввод данных для подмодели распространения трещины гидроразрыва в пласте;

c) ввод данных для подмодели транспорта материалов гидроразрыва в трещине;

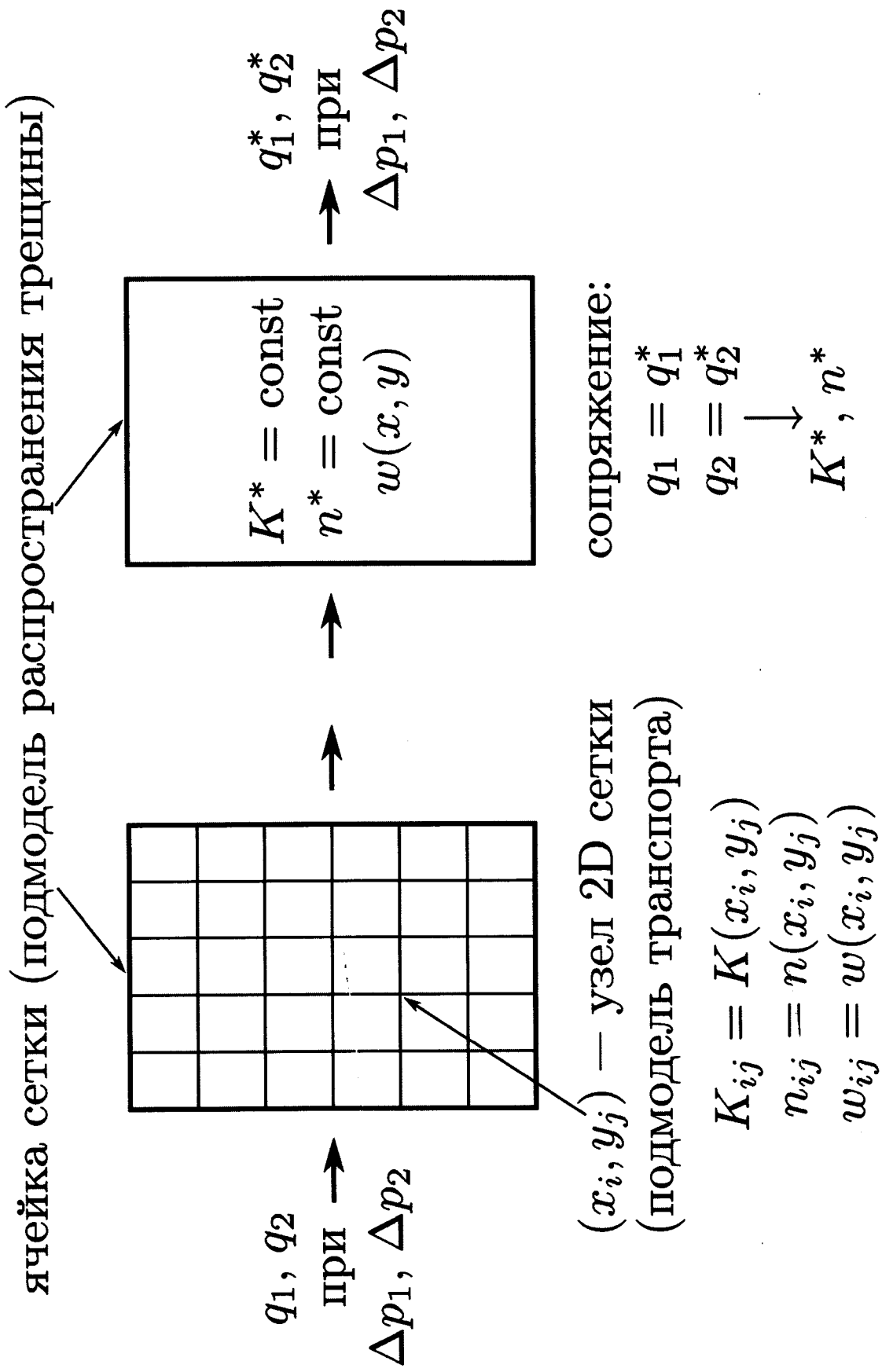
d) моделирование гидроразрыва с помощью подмодели распространения трещины гидроразрыва и подмодели транспорта материалов гидроразрыва, при этом сопряжение подмоделей проводят по гидродинамическому сопротивлению для ячеек моделирования;

e) вывод данных моделирования на момент окончании расписания гидроразрыва и/или закрытия трещины;

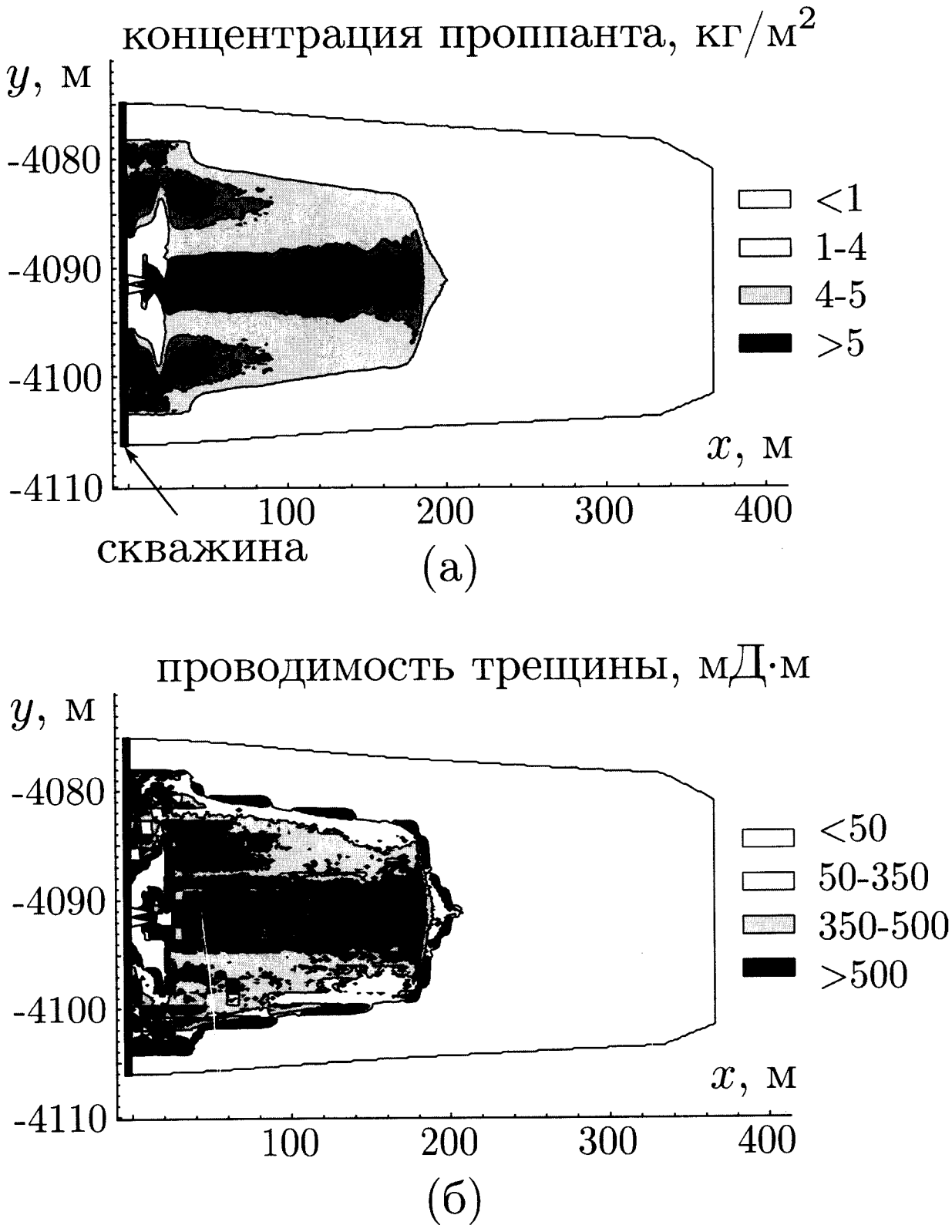
f) определение зон с низкой проводимостью в трещине гидроразрыва или на входе в трещину гидроразрыва.


ячейка сетки (подмодель
распространения трещины)
y, м
-3420
-3430
-3440
x, м
16
32
48
z, мм
-5
5

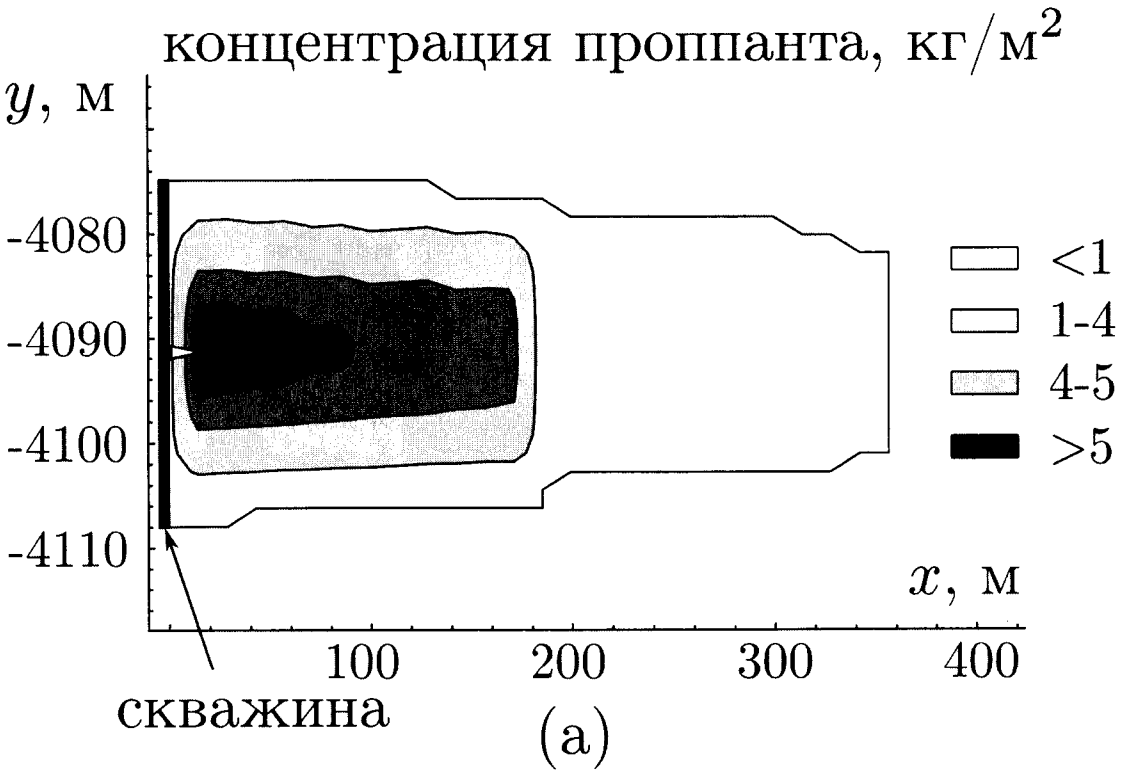
Фиг. 1


ячейка сетки (подмодель распространения трещины)
q_1, q_2
при
Δp_1, Δp_2
(x_i, y_j) — узел 2D сетки
(подмодель транспорта)
$K_{ij} = K(x_i, y_j)$
$n_{ij} = n(x_i, y_j)$
$w_{ij} = w(x_i, y_j)$
$K^* = \text{const}$
$n^* = \text{const}$
$w(x, y)$
q_1^*, q_2^*
при
Δp_1, Δp_2
сопряжение:
$q_1 = q_1^*$
$q_2 = q_2^*$
K^*, n^*

Фиг. 2

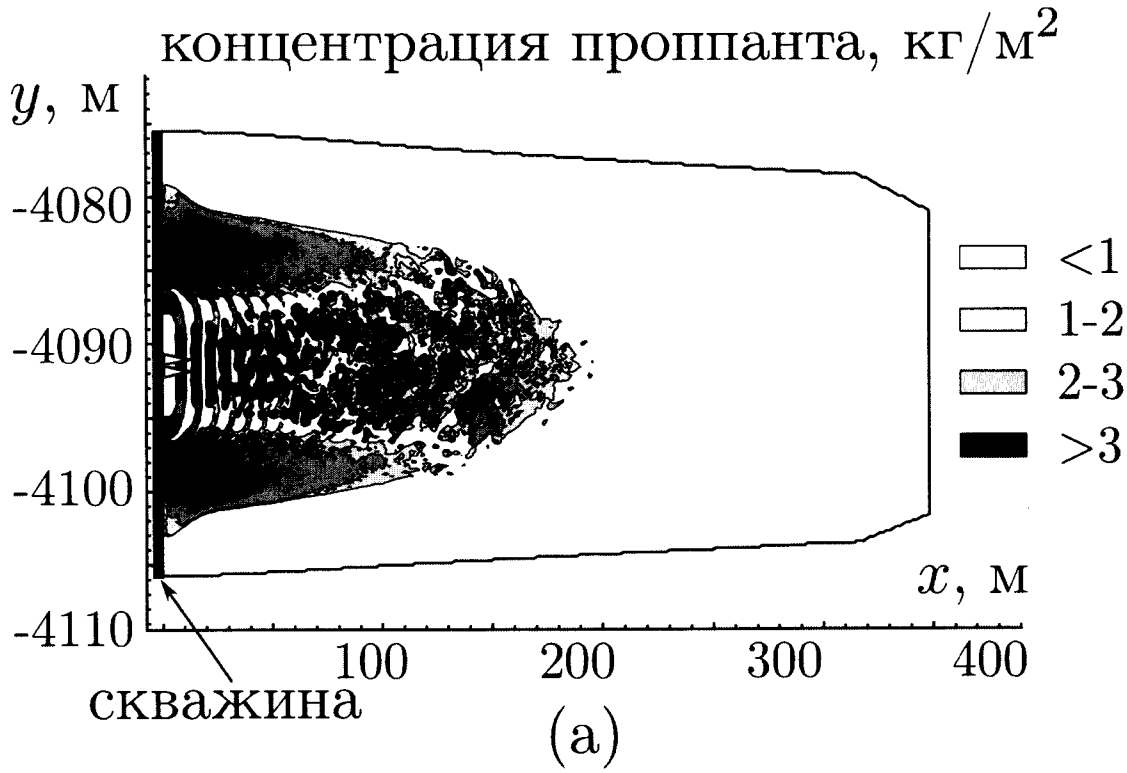

концентрация проппанта, кг/м^2
y, м
-4080
-4090
-4100
-4110
100
200
300
400
x, м
<1
1-4
4-5
>5
скважина
(а)
проводимость трещины, мД·м
y, м
-4080
-4090
-4100
-4110
100
200
300
400
x, м
<50
50-350
350-500
>500
(б)

Фиг. 3


концентрация проппанта, кг/м^2
y, м
-4080
-4090
-4100
-4110
x, м
100
200
300
400
<1
1-4
4-5
>5
скважина
(а)


проводимость трещины, мД·м
y, м
-4080
-4090
-4100
-4110
x, м
100
200
300
400
<50
50-350
350-500
>500
(б)

Фиг. 4

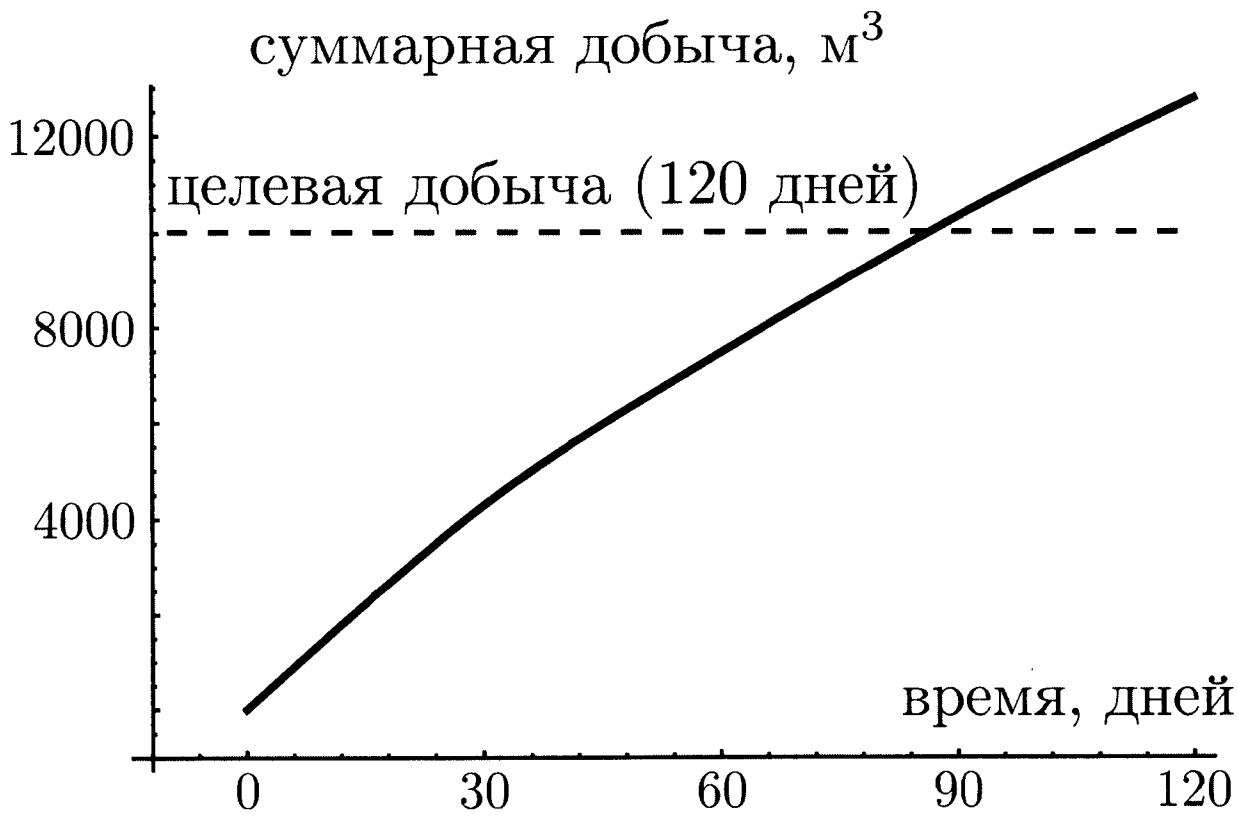

концентрация проппанта, кг/м^2
y, м
-4080
-4090
-4100
-4110
100
200
300
400
x, м
<1
1-2
2-3
>3
скважина

(а)

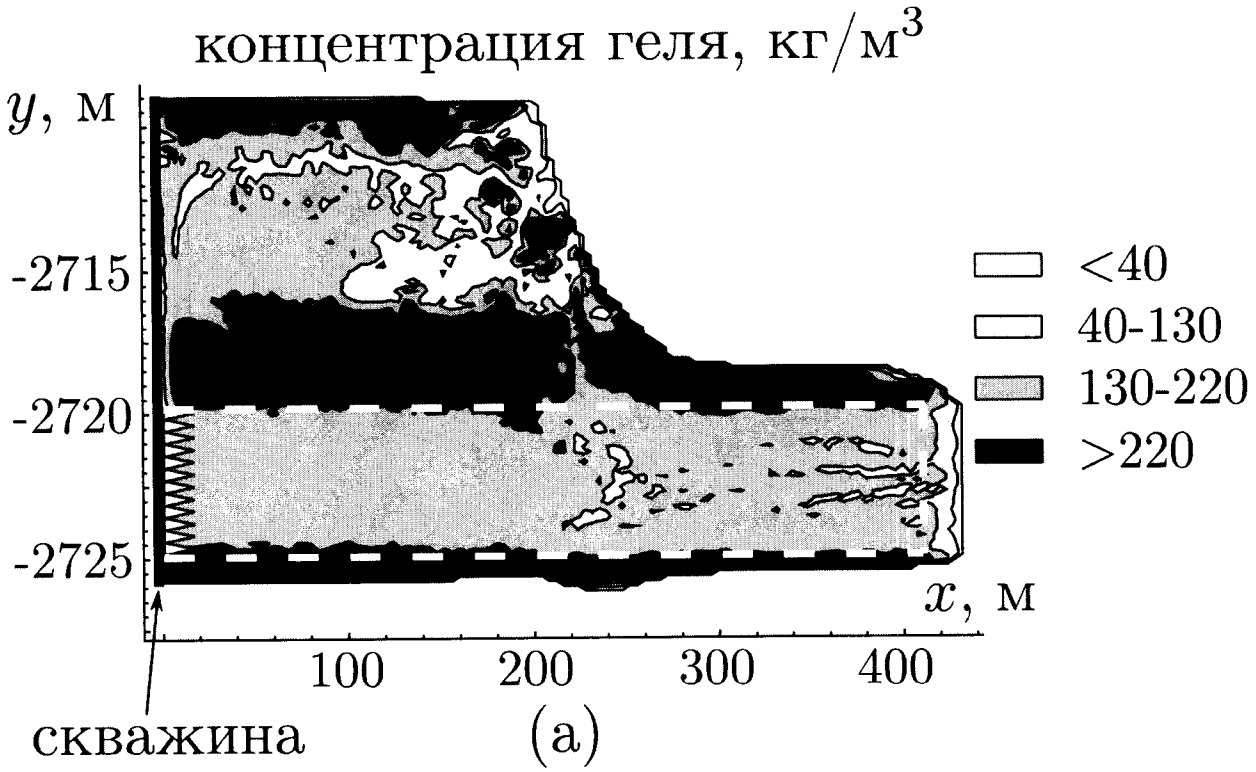

проводимость трещины, мД·м
y, м
-4080
-4090
-4100
-4110
100
200
300
400
x, м
<100
100-300
300-700
>700

(б)

Фиг. 5

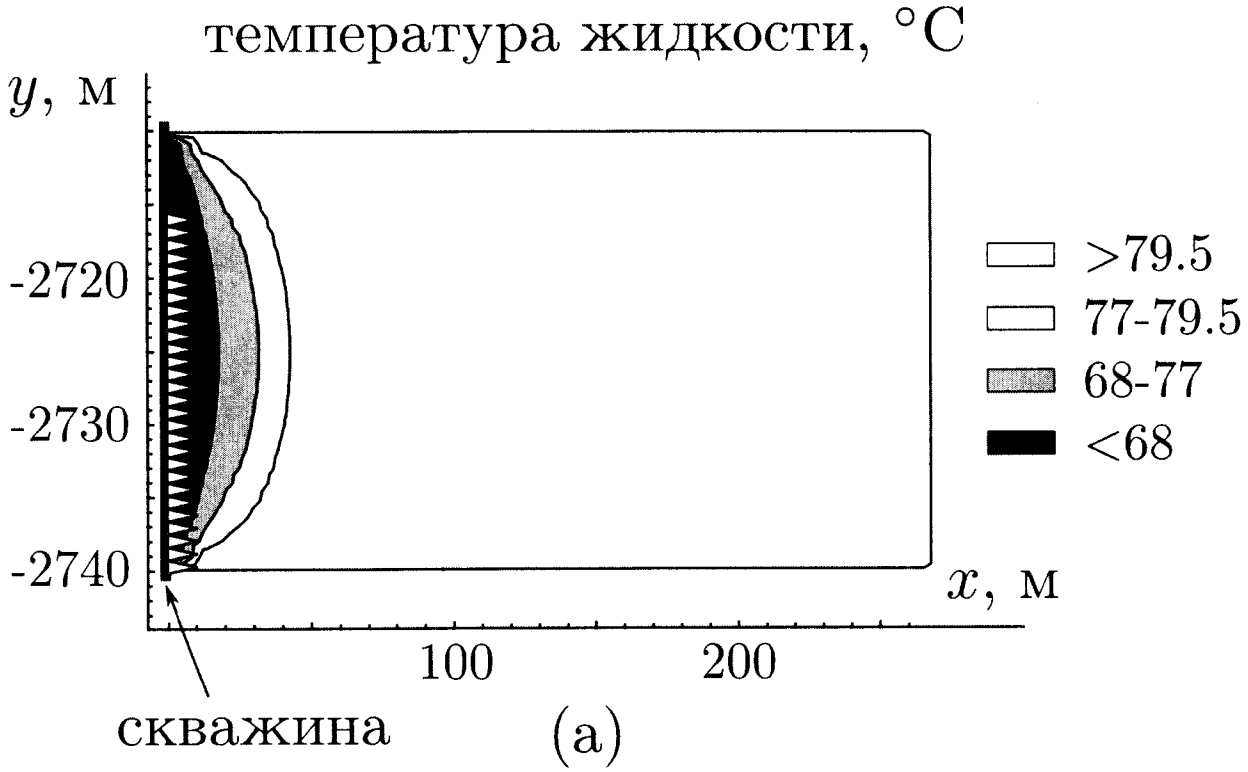

суммарная добыча, м3
12000
целевая добыча (120 дней)
8000
4000
время, дней
0
30
60
90
120

Фиг. 6


концентрация геля, кг/м3
y, м
-2715
-2720
-2725
x, м
100
200
300
400
<40
40-130
130-220
>220
скважина
(а)

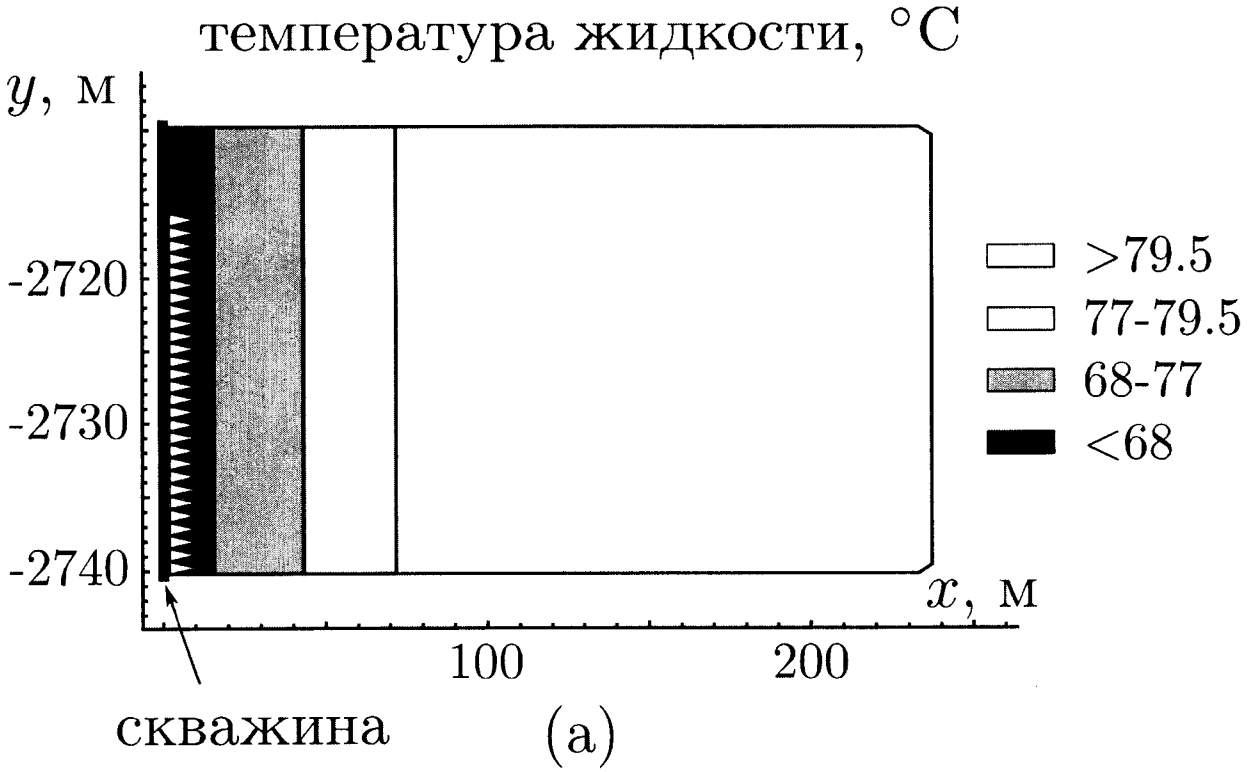

проводимость трещины, мД·м
y, м
-2715
-2720
-2725
x, м
100
200
300
400
<10
10-25
25-40
>40
(б)

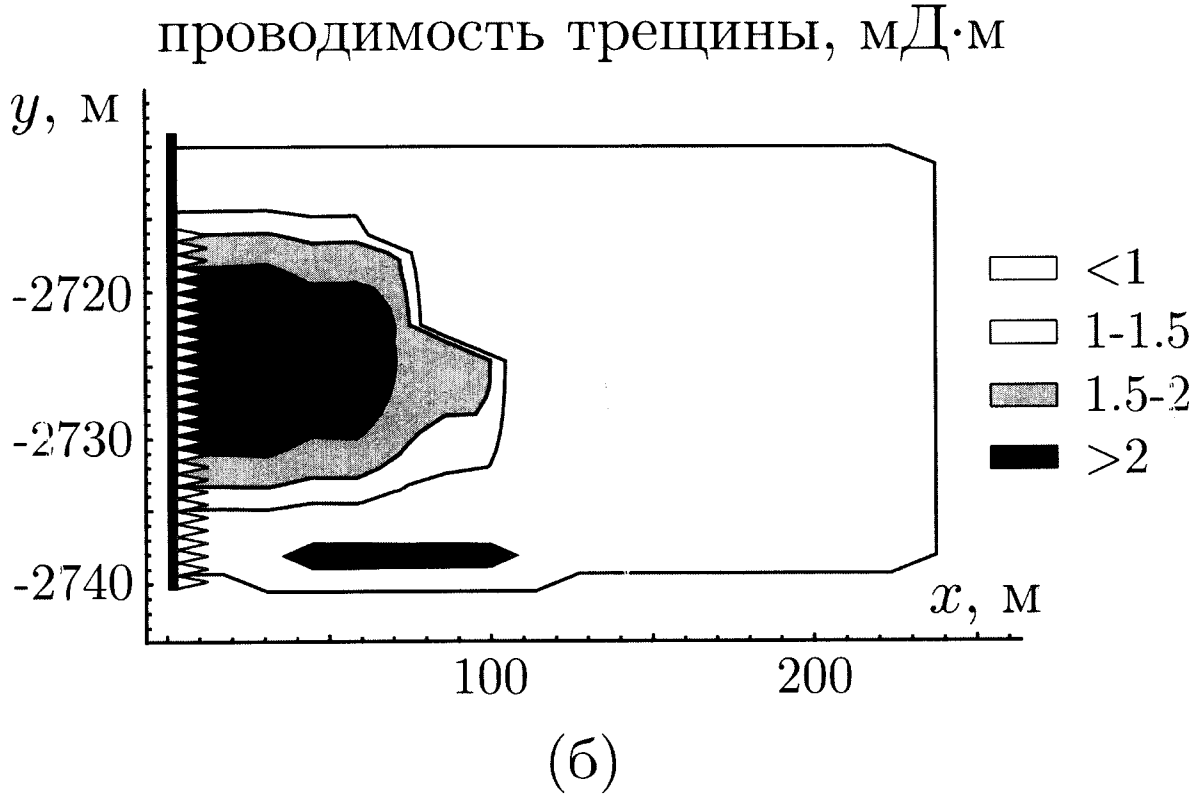
Фиг. 7


температура жидкости, °C
y, м
-2720
-2730
-2740
x, м
100
200
>79.5
77-79.5
68-77
<68
скважина
(а)

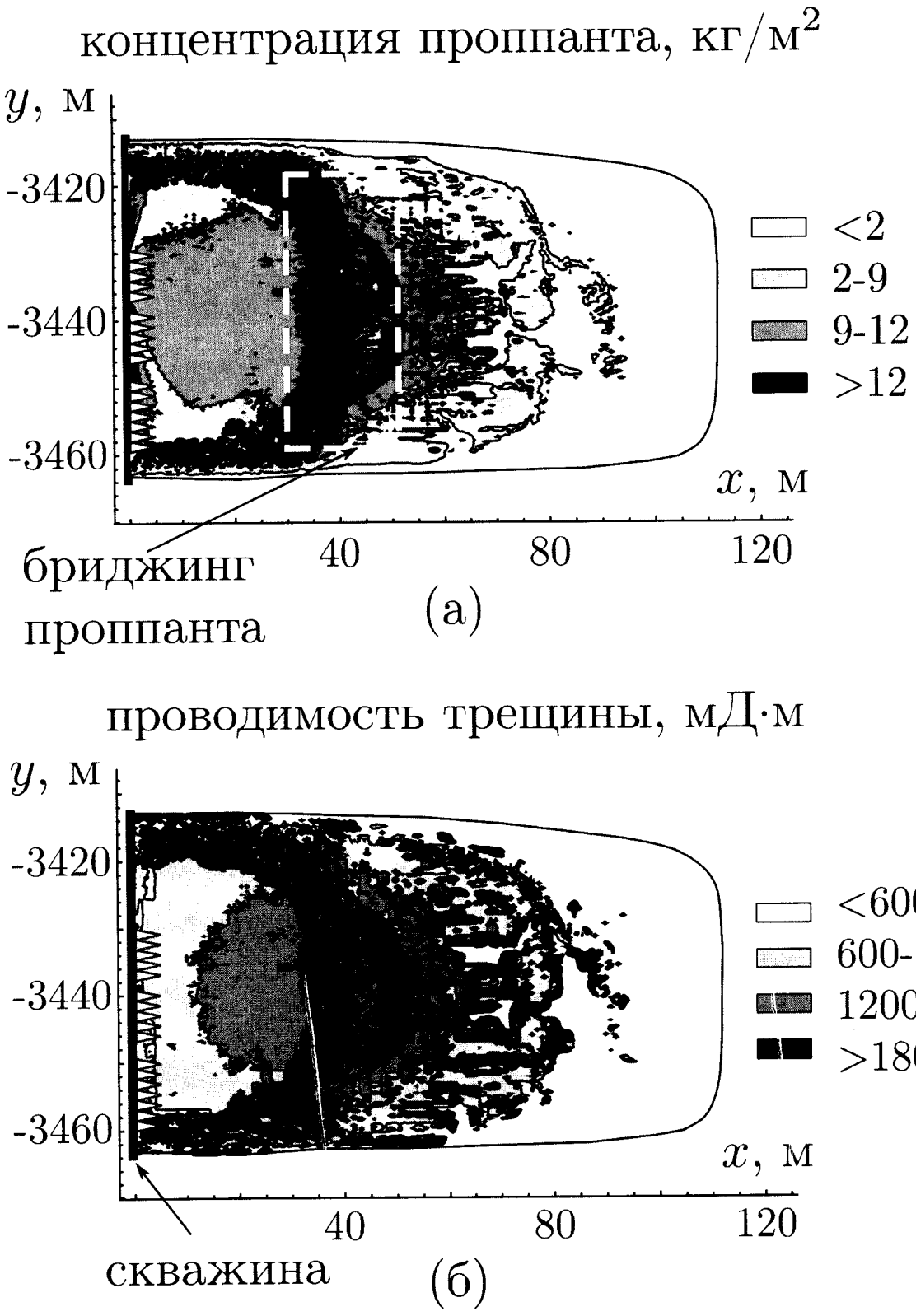

проводимость трещины, мД·м
y, м
-2720
-2730
-2740
x, м
100
200
<1
1-1.5
1.5-2
>2
(б)

Фиг. 8

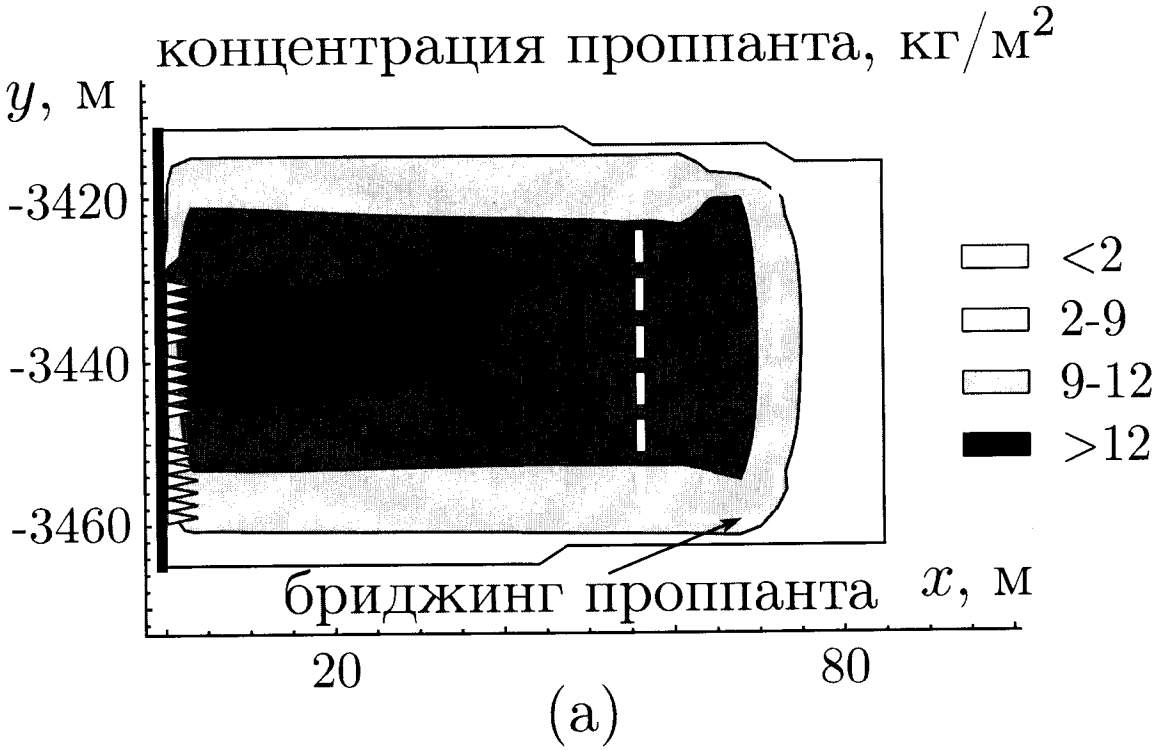

температура жидкости, °C
y, м
-2720
-2730
-2740
x, м
100
200
>79.5
77-79.5
68-77
<68
скважина
(а)


проводимость трещины, мД·м
y, м
-2720
-2730
-2740
x, м
100
200
<1
1-1.5
1.5-2
>2
(б)

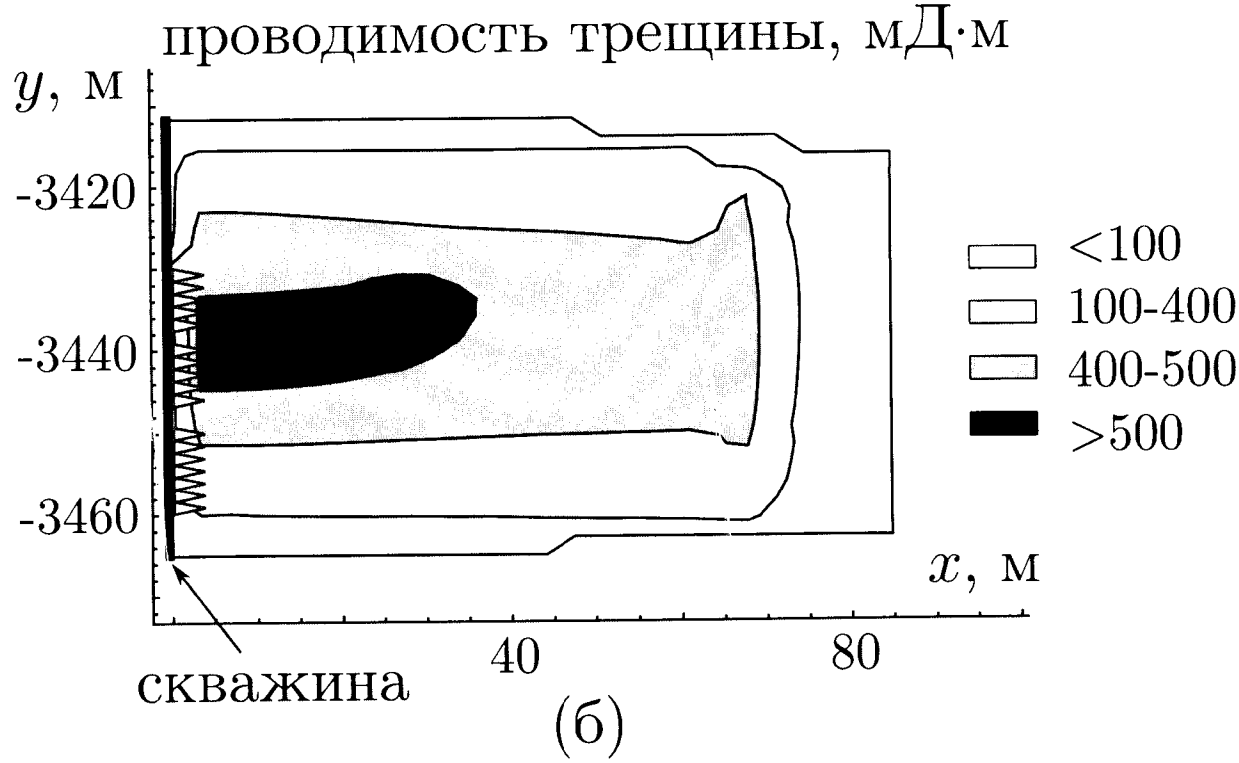
Фиг. 9


концентрация проппанта, кг/м^2
y, м
-3420
-3440
-3460
x, м
40
80
120
<2
2-9
9-12
>12
бриджинг проппанта
(а)
проводимость трещины, мД·м
y, м
-3420
-3440
-3460
x, м
40
80
120
<600
600-1200
1200-1800
>1800
скважина
(б)

Фиг. 10


концентрация проппанта, кг/м^2
y, м
-3420
-3440
-3460
<2
2-9
9-12
>12
бриджинг проппанта
x, м
20
80

(а)


проводимость трещины, мД·м
y, м
-3420
-3440
-3460
<100
100-400
400-500
>500
x, м
40
80
скважина

(б)

Фиг. 11

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/RU 2017/000282

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

E21B 43/267 *(2006.01)*
G06F 17/50 *(2006.01)*
G06F 9/455 *(2006.01)*

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

E21B 43/00, 43/25, 43/26, 43/267, G06F 9/00, 9/06, 9/40, 9/455, 17/00, 17/50, G06G 7/00, 7/48

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

PatSearch, esp@cenet, USPTO, Google

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EA 022370 B1 (BEIKER KHIUZ INCORPORATED) 30.12.2015	1-12
A	RU 2575947 C2 (SHLUMBERGER TECHNOLOGY B.V.) 27.02.2016	1-12
A	RU 2561114 C2 (SHLUMBERGER TECHNOLOGY B.V.) 20.08.2015	1-12
A	WO 2016/032489 A1 (LANDMARK GRAPHICS CORP) 03.03.2016	1-12

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
21 November 2017 (21.11.2017)	14 December 2017 (14.12.2017)
Name and mailing address of the ISA/ RU Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

ОТЧЕТ О МЕЖДУНАРОДНОМ ПОИСКЕ

Номер международной заявки

PCT/RU 2017/000282

A. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРЕДМЕТА ИЗОБРЕТЕНИЯ

E21B 43/267 *(2006.01)*
G06F 17/50 *(2006.01)*
G06F 9/455 *(2006.01)*

Согласно Международной патентной классификации МПК

B. ОБЛАСТЬ ПОИСКА

Проверенный минимум документации (система классификации с индексами классификации)

E21B 43/00, 43/25, 43/26, 43/267, G06F 9/00, 9/06, 9/40, 9/455, 17/00, 17/50, G06G 7/00, 7/48

Другая проверенная документация в той мере, в какой она включена в поисковые подборки

Электронная база данных, использовавшаяся при поиске (название базы и, если, возможно, используемые поисковые термины)

PatSearch, esp@cenet, USPTO, Google

C. ДОКУМЕНТЫ, СЧИТАЮЩИЕСЯ РЕЛЕВАНТНЫМИ:

Категория*	Цитируемые документы с указанием, где это возможно, релевантных частей	Относится к пункту №
A	EA 022370 B1 (БЕЙКЕР ХЬЮЗ ИНКОРПОРЕЙТЕД) 30.12.2015	1-12
A	RU 2575947 C2 (ШЛЮМБЕРГЕР ТЕКНОЛОДЖИ Б.В.) 27.02.2016	1-12
A	RU 2561114 C2 (ШЛЮМБЕРГЕР ТЕКНОЛОДЖИ Б.В.) 20.08.2015	1-12
A	WO 2016/032489 A1 (LANDMARK GRAPHICS CORP) 03.03.2016	1-12

☐ последующие документы указаны в продолжении графы C.

☐ данные о патентах-аналогах указаны в приложении

* Особые категории ссылочных документов:

"A" документ, определяющий общий уровень техники и не считающийся особо релевантным

"E" более ранняя заявка или патент, но опубликованная на дату международной подачи или после нее

"L" документ, подвергающий сомнению притязание(я) на приоритет, или который приводится с целью установления даты публикации другого ссылочного документа, а также в других целях (как указано)

"O" документ, относящийся к устному раскрытию, использованию, экспонированию и т.д.

"P" документ, опубликованный до даты международной подачи, но после даты испрашиваемого приоритета

"T" более поздний документ, опубликованный после даты международной подачи или приоритета, но приведенный для понимания принципа или теории, на которых основывается изобретение

"X" документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска; заявленное изобретение не обладает новизной или изобретательским уровнем, в сравнении с документом, взятым в отдельности

"Y" документ, имеющий наиболее близкое отношение к предмету поиска; заявленное изобретение не обладает изобретательским уровнем, когда документ взят в сочетании с одним или несколькими документами той же категории, такая комбинация документов очевидна для специалиста

"&" документ, являющийся патентом-аналогом

Дата действительного завершения международного поиска	Дата отправки настоящего отчета о международном поиске
21 ноября 2017 (21.11.2017)	14 декабря 2017 (14.12.2017)

Наименование и адрес ISA/RU:
Федеральный институт промышленной собственности,
Бережковская наб., 30-1, Москва, Г-59,
ГСП-3, Россия, 125993
Факс: (8-495) 531-63-18, (8-499) 243-33-37

Уполномоченное лицо:
Филиппов А.
Телефон № 8 (495)-531-64-81