

Литература

1. Применение метода осцилляционной реологии для исследования жидкостей разрыва / Т. Д. Гилязитдинов [и др.] // Рос. нефтегаз. техн. конф., Москва, 12–14 окт. 2020 г. / SPE. – М., 2021.
2. Разработка жидкостей разрыва на основе сополимеров акриламида и исследование их физико-технологических свойств методами осцилляционной реологии / М. В. Казак [и др.] // Рос. нефтегаз. техн. конф., Москва, 12–14 окт. 2021 г. / SPE. – М., 2021.

УДК 622.276.66

**НОВЫЕ ПОХОДЫ К СОЗДАНИЮ ТРЕЩИН ГИДРАВЛИЧЕСКОГО
РАЗРЫВА ПЛАСТА В ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЯХ**

Я. А. Майлат

*БелНИПИнефть РУП «Производственное объединение «Белоруснефть»,
г. Гомель*

Описаны основные методы задания трещин ГРП в гидродинамических моделях, проведены расчеты, рассчитаны показатели ввода скважин при различных методах задания трещин, оценена сходимость расчетных и входных показателей при одинаковых входных условиях.

Ключевые слова: гидравлический разрыв пласта, гидродинамическая модель, проводимость, трещина, проппант, коэффициент продуктивности, прогноз.

**NEW APPROACHES TO SPECIFYING FRACTURES
IN HYDRODYNAMIC MODELS**

Y. A. Maylat

BelNIPIneft RUE “Production Association “Belorusneft”, Gomel

This article describes the main methods for specifying hydraulic fractures in hydrodynamic models, performed calculations, calculated well commissioning rates for various methods of specifying fractures, and assessed the convergence of calculated and input indicators under the same input conditions.

Keywords: hydraulic fracturing, hydrodynamic model, transmissibility, fracture, proppant, productivity index, forecast.

Результат применения любой технологии, направленной на добычу углеводородов, зависит от большого количества геолого-физических и технологических факторов. Чем сложнее процесс или технология добычи нефти, тем большее количество параметров и свойств должно учитываться при оценке их эффективности.

Одной из наиболее сложных технологий, направленных на увеличение степени нефтеизвлечения, является гидроразрыв пласта (ГРП). Для решения задач прогнозирования работы скважин после проведения ГРП необходима объективная оценка его эффективности. Для того чтобы свести количество выходных анализируемых параметров к минимуму, одним из самых доступных вариантов является расчет эффективности проведения ГРП на текущей гидродинамической модели [1]. Однако на текущий момент не существует единого подхода к учету параметров трещин при оценке эффективности проведения ГРП. Поэтому основная цель – оптимизация метода выбора моделирования ГРП для повышения прогнозной способности. В качестве объектов исследования были выбраны скважины 97п и 105п ланско-старооскольской залежи Барсуковского месторождения.

Так как ширина трещины (2–3 мм) несоизмеримо мала по сравнению с средней величиной ячейки модели по латерали (около 50 м), прямого способа задания трещины ГРП в Eclipse 100 в фактических геометрических параметрах не существует. Поэтому в саму модель задаются определенные пересчетные параметры для ячеек, охватываемых трещинами. На рис. 1 отображено визуальное представление скважин на тестовой модели-кубе при различных методах задания трещин.

Среди традиционных подходов к моделированию ГРП было выделено 4 основных:

- 1) задание проницаемости ячеек, охватываемых трещиной, в явном виде [2] (PERM);
- 2) задание дополнительных соединений в ячейки, охватываемые портами ГРП;
- 3) изменение проводимости ячеек и соединений скважины (TRAN);
- 4) локальное измельчение сетки в зоне влияния трещин ГРП (LGR).

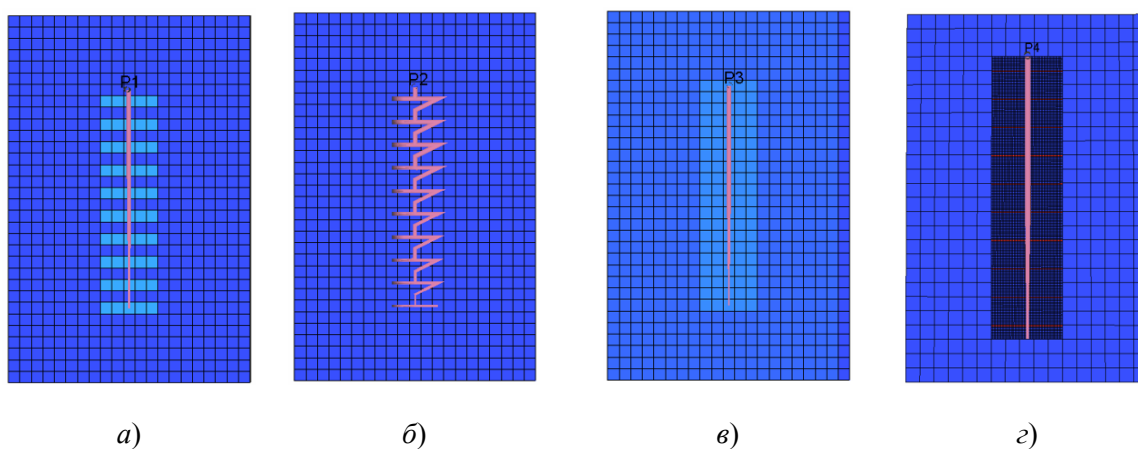


Рис. 1. Визуальное представление скважин на тестовой модели-кубе при различных вариантах задания трещин:

- а* – изменение проницаемости ячеек; *б* – задание дополнительных соединений;
в – изменение проводимости ячеек и соединений;
г – локальное измельчение сетки

Для прямого задания геометрии и свойств трещин предлагается использовать функционал ПО «tNavigator» и задавать параметры трещин с помощью ключевых слов. Логика построения трещин реализуется с помощью создания виртуальных перфораций, в которой индекс продуктивности пересчитывается, исходя из суммы проводимости матрицы и трещины с учетом ее геометрии. Для сравнения эффективности методов были рассчитаны три варианта: стандартный расчет согласно параметрам дизайна ГРП (WFRACP), расчет с учетом объема закачанного проппанта, вариант с представлением трещины в виде полый трубки с бесконечной проводимостью (WFRAC).

В предыдущих расчетах для имитации процесса ГРП моделировалась одна эквивалентная трещина малой ширины с высокой проницаемостью. Фактически, в результате разрыва горной породы образуется дерево трещин с определенным охватом по ширине [3]. Для скважин, стимулированных ГРП, выделяют две зоны образования трещин: зона трещины (FZ) – основная трещина, образованная непосредственно агентом ГРП (жидкость разрыва и проппант) и зона вторичной трещиноватости (NFZ) – зона, подвергшаяся пластическим деформациям вокруг зоны трещины из-за изменения напряжений в породе (рис. 2, *а*).

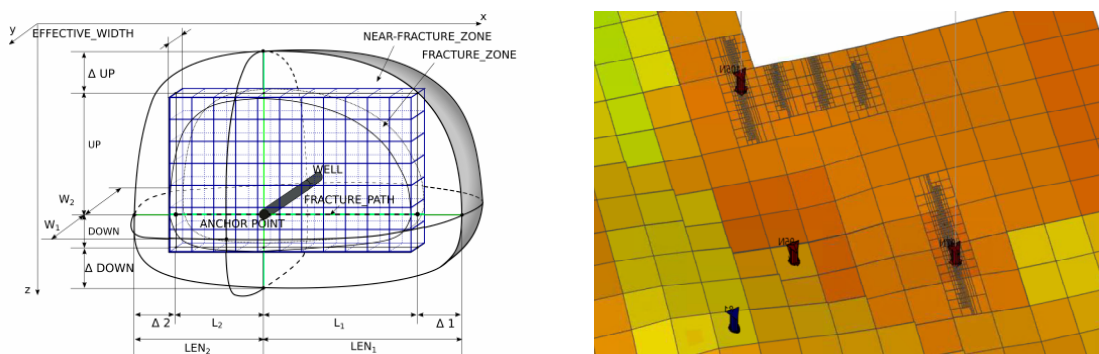


Рис. 2. Представление трещин гидроразрыва пласта при использовании для расчета дизайнера моделей:

а – схематичное представление трещины гидроразрыва пласта и стимулированной зоны вокруг нее; *б* – локальное измельчение сетки (LGR) при активации трещин

Функционал дизайнера моделей позволяет непосредственно определять геометрию дерева трещин и свойств трещин ГРП, в том числе размер и свойства стимулированной зоны. В качестве логики построения используется равномерное либо неструктурированное измельчение сетки (рис. 2, *б*). Для дизайнера моделей было рассчитано три варианта: стандартный расчет согласно параметрам дизайна ГРП, расчет с учетом стимулированной зоны (15 м) и арифметики, расчет при равномерном измельчении сетки с размером блока 5 м (uniform grid). Сравнение расчетов эффективности проведения ГРП при задании трещин различными методами с фактическими данными представлено в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Сводная таблица задания трещин гидроразрыва пласта различными методами для скважины 97n Барсуковская

Симулятор расчета	Фактические данные	Eclipse 100				tNavigator			Дизайнер моделей		
		PERM	Дополнительное соединение	TRAN	LGR	WFR ACP	+пропант	WFRAC	LGR базовый	С арифметикой	Uniform grid
Дебит нефти после ГРП, т/сут	12,75	10,56	12,68	13,93	16,77	12,09	12,90	13,02	14,74	19,05	16,79
Погрешность, %	–	–17,18	–0,55	9,25	31,53	–5,15	1,18	2,08	15,58	49,44	31,65
Дебит нефти на 01.2022 г., т/сут	8,09	6,62	8,08	8,68	9,99	6,87	7,37	7,34	6,62	7,78	5,46
Добыча нефти (на 01.2025 г.) после ГРП, тыс. т.	11,36	10,84	12,66	14,04	13,60	10,70	11,35	11,38	9,01	9,89	7,71

Симулятор расчета		Eclipse 100				tNavigator			Дизайнер моделей		
Метод расчета	Фактические данные	PERM	Дополнительное соединение	TRAN	LGR	WFR ACP	+пропант	WFRAC	LGR базовый	С арифметикой	Uniform grid
Погрешность, %	–	–4,53	11,49	23,61	19,76	–5,82	–0,07	0,22	–20,69	–12,93	–32,11
Время расчета, с	663	708	1327	692	1968	923	926	889	3628	4224	1762

Таблица 2

Сводная таблица задания трещин гидроразрыва пласта различными методами для скважины 105n Барсуковская

Симулятор расчета		Eclipse 100				tNavigator			Дизайнер моделей		
Метод расчета	Фактические данные	PERM	Дополнительное соединение	TRAN	LGR	WFR ACP	+пропант	WFRAC	LGR базовый	С арифметикой	Uniform grid
Дебит нефти после ГРП, т/сут	8,83	6,44	7,98	7,05	10,70	8,45	8,51	7,32	8,73	10,49	11,18
Погрешность, %	–	–27,02	–9,65	–20,15	21,16	–4,26	–3,61	–17,11	–1,12	18,75	26,60
Дебит нефти на 01.2022 г., т/сут	9,34	8,83	11,17	9,83	12,62	11,11	11,19	9,71	10,74	14,20	13,30
Добыча нефти на 01.2025 г. после ГРП, тыс. т.	9,65	8,58	10,13	9,19	11,12	11,12	11,11	9,89	9,03	12,28	11,03
Погрешность, %	–	–11,06	5,04	–4,74	15,24	15,29	15,21	2,52	–6,36	27,31	14,36

Исходя из табл. 1 и 2, для классических методов задания трещин наибольшая сходимость была получена для вариантов с выгрузкой куба проницаемости и заданием дополнительных соединений. Для вариантов с изменением проводимости и LGR продуктивности скважины при вводе в добычу полученные результаты были несколько завышены, что требует дополнительной корректировки продуктивности скважины через изменение скин-фактора и (или) направления вскрытия соединений скважины.

Результаты расчетов tNavigator сильно зависят от направления раскрытия трещины и охваченного сеткой трещин объема пласта. Так, в варианте с виртуальными перфорациями для скважины 97n относительная сходимость результатов была получена для всех рассчитанных вариантов. В случае скважины 105n результаты получились несколько выше из-за более разветвленной компоновки трещин (рис. 2, б).

Для дизайнера моделей были получены высокие входные показатели дебита нефти с быстрым затуханием, что требует дополнительной корректировки проницаемости трещины в меньшую сторону и наращивания стимулируемого объема породы для выхода на фактические значения.

Среди исследованных методов наиболее точными оказались упрощенные методы задания ГРП ввиду сокращения неопределенностей из-за уменьшения количества входных параметров, при этом возможна корректировка задаваемых параметров для выхода на фактические показатели работы. Методы с использованием логики локального измельчения сетки позволяют получить наибольший отклик при вводе скважины после проведения ГТМ и воспроизвести эффект затухания, что дает возможность воспроизвести быстрое падение дебита при проведении ГРП на месторождениях с ТриЗ, однако это сильно замедляет итоговое время расчета.

Поэтому для задания ГРП при настройке ГДМ на фактические показатели рекомендуется использовать упрощенные методы задания трещин, такие как множитель проводимости в симуляторе Eclipse 100 или ключевые слова WFRACP, WFRAC в tNavigator, не требующие повторного запуска полного расчета ГДМ. В прогнозных расчетах эффективности ввода новых скважин (освоение с ГРП) или ГТМ возможно использование дизайнера моделей для возможности наиболее детального задания параметров трещон.

Л и т е р а т у р а

1. Лысенко, В. Д. Определение эффективности гидравлического разрыва нефтяного пласта / В. Д. Лысенко // Нефтяное хоз-во. – 1999. – № 11. – С. 12–17.
2. Тиаб, Д. Петрофизика. Теория и практика изучения коллекторских свойств горных пород и движения пластовых флюидов / Д. Тиаб, Э. Ч. Доналдсон. – Изд. 2-е, доп. – М. : Премиум Инжиниринг, 2009. – 864 с.
3. An analysis for the influences of fracture network system on multi-stage fractured horizontal well productivity in shale gas reservoirs / D. Zhang [et al.] // Energies. – 2018. – N 11. – P. 237–256. DOI: 10.3390/en11020414

УДК 550.3:001.5

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ НАЗЕМНОГО МИКРОСЕЙСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА НА МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ПРИПЯТСКОГО ПРОГИБА

А. П. Марковский, А. С. Конюшенко, В. Н. Грабченков, Т. А. Климов

*БелНИПИнефть РУП «Производственное объединение «Белоруснефть»,
г. Гомель*

Посвящен актуальной теме наземного микросейсмического мониторинга ГРП для оценки результативности получения объективных данных о характере формируемых трещин разрыва. Отражен круг проблем становления технологии МСМ в условиях Припятского прогиба. Проанализированы технологические подходы применения различного типа оборудования для повышения соотношения SNR (signal-to-noise ratio).

Ключевые слова: микросейсмический мониторинг, гидроразрыв пласта, система наблюдения, калибровочное воздействие.