

# Оглавление

От редакционного совета . . . . .	11
Предисловие М. Экономидеса к русскоязычному изданию . . . . .	13
Введение . . . . .	15
<b>ГЛАВА 1. Гидравлический разрыв пласта как метод повышения производи-</b> <b>тельности добывающих и нагнетательных скважин . . . . .</b>	<b>17</b>
1.1. Гидроразрыв как один из методов заканчивания скважин . . . . .	17
1.2. Основные принципы унифицированного дизайна гидроразрыва пласта .	20
<i>Поведение скважины после гидроразрыва . . . . .</i>	<i>20</i>
<i>Геометрия трещины гидроразрыва и её оптимизация . . . . .</i>	<i>22</i>
<i>Проводимость в системе «трещина гидроразрыва — скважина» . . . . .</i>	<i>23</i>
1.3. Понятие концевой экранирования и другие составляющие гидроразрыва высокопроницаемых пластов . . . . .	24
<i>Дизайн метода концевой экранирования . . . . .</i>	<i>24</i>
<i>Чистое давление и утечки в высокопроницаемых породах . . . . .</i>	<i>25</i>
<i>Подбор кандидатов . . . . .</i>	<i>26</i>
<i>Сложные системы скважина–трещина гидроразрыва . . . . .</i>	<i>26</i>
1.4. Экспресс-дизайн гидроразрыва . . . . .	27
<i>Логика дизайна . . . . .</i>	<i>27</i>
<i>Электронная форма для дизайна гидроразрыва . . . . .</i>	<i>28</i>
<b>ГЛАВА 2. Как использовать эту книгу . . . . .</b>	<b>29</b>
2.1. Структура книги . . . . .	29
2.2. К вопросу о предназначении разделов . . . . .	30
<i>Команда специалистов по гидроразрыву . . . . .</i>	<i>30</i>
<b>ГЛАВА 3. Стимуляция скважины как средство повышения коэффициента про-</b> <b>дуктивности . . . . .</b>	<b>33</b>
3.1. Коэффициент продуктивности . . . . .	33
3.2. Система скважина–трещина–пласт . . . . .	35
3.3. Число проппанта . . . . .	36
<i>Поведение скважин при средних и малых значениях числа проппанта . . . . .</i>	<i>40</i>
3.4. Оптимальная проводимость трещины . . . . .	42
3.5. Логика планирования . . . . .	44
<b>ГЛАВА 4. Теория гидроразрыва . . . . .</b>	<b>47</b>
4.1. Линейная упругость и механика разрыва . . . . .	47
4.2. Механика жидкости гидроразрыва . . . . .	49
4.3. Утечки и объемное равновесие в трещине . . . . .	52

	<i>Формальный материальный баланс. Коэффициент соотношения раскрытия и времени</i> . . . . .	52
	<i>Приближение постоянной ширины (уравнение Картера II)</i> . . . . .	54
	<i>Приближение степенного закона для роста поверхности</i> . . . . .	54
	<i>Детализованные модели утечки</i> . . . . .	55
4.4.	Простейшие формы разрывов . . . . .	55
4.5.	Уравнение Перкинса–Керна для ширины . . . . .	56
	<i>Уравнение Христиановича–Желтова–Гиртсма-де Клерка для ширины</i> . . . . .	57
	<i>Радиальное уравнение для ширины</i> . . . . .	58
<b>ГЛАВА 5. Разрыв высокопроницаемых пород</b> . . . . .		61
5.1.	Развитие технологии . . . . .	61
5.2.	ВПП с учетом конкурирующих методов . . . . .	63
	<i>Гравийная ловушка</i> . . . . .	63
	<i>Высокопроизводительные водные ловушки</i> . . . . .	65
	<i>Поведение горизонтальных скважин в высокопроницаемых пластах</i> . . . . .	65
5.3.	Отличительные особенности ВПП . . . . .	66
	<i>Концепция концевого экранирования</i> . . . . .	66
	<i>Чистое давление и поглощение жидкости пластом</i> . . . . .	68
	<i>Чистое давление, давление смыкания и ширина трещины в мягких пластах</i> . . . . .	68
5.4.	Модели утечки при ГРП высокопроницаемых коллекторов . . . . .	69
	<i>Поглощение флюида и мгновенная водоотдача как свойства материалов: модель Картера для притока с допущением о степенном законе Нолта</i> . . . . .	69
	<i>Модель утечки через фильтрационную корку по Майерхоферу и др.</i> . . . .	70
	<i>Модель поглощения полимерно-заводненной зоны (Фана и Экономидеса)</i> . . . . .	71
5.5.	Разрыв высокопроницаемых газоконденсатных пластов . . . . .	73
	<i>Оптимизированная геометрия трещины в газоконденсатных пластах</i> . . . . .	75
5.6.	Эффект нелинейности потока в трещине . . . . .	77
	<i>Определения и допущения</i> . . . . .	77
	<i>Изучение влияния нелинейности потока</i> . . . . .	79
<b>ГЛАВА 6. Материалы разрыва</b> . . . . .		83
6.1.	Жидкости гидроразрыва . . . . .	83
6.2.	Добавки к жидкости гидроразрыва . . . . .	84
6.3.	Проппанты . . . . .	86
	<i>Расчет эффективного давления смыкания</i> . . . . .	87
6.4.	Проводимость трещины и выбор материалов для ГРП высокопроницаемых пластов . . . . .	90
	<i>Ширина трещины как переменная для проектирования</i> . . . . .	90
	<i>Выбор проппанта</i> . . . . .	91
	<i>Выбор флюида</i> . . . . .	91
	<i>Сложный скин-эффект</i> . . . . .	93
	<i>Параметрические исследования</i> . . . . .	93
	<i>Эксперименты по проникновению жидкости гидроразрыва</i> . . . . .	95
	<i>Вязкоупругие несущие флюиды</i> . . . . .	96

ГЛАВА 7. Планирование операции гидроразрыва . . . . .	97
7.1. Тесты на микроразрыв . . . . .	97
7.2. Мини-ГРП . . . . .	97
7.3. Планирование обработки, основанное на едином подходе . . . . .	102
<i>Время нагнетания</i> . . . . .	103
<i>График закачки пропанта</i> . . . . .	106
<i>Отклонение от теоретического оптимума</i> . . . . .	111
<i>Планирование концевое экранирования</i> . . . . .	111
7.4. Нагнетание в технологии TSO . . . . .	112
<i>Пример эффекта свабирования</i> . . . . .	113
<i>Пример для ГРП высокопроницаемых пластов</i> . . . . .	113
7.5. Диагностические тесты перед ГРП высокопроницаемых пластов . . . . .	114
<i>Тесты ступенчатого расхода</i> . . . . .	114
<i>Мини-ГРП</i> . . . . .	116
<i>Тесты падения давления</i> . . . . .	117
<i>Измерение забойного давления</i> . . . . .	117
ГЛАВА 8. Дизайн гидроразрыва и возможные осложнения . . . . .	119
8.1. Высота трещины . . . . .	119
<i>«Карта высоты» трещины</i> . . . . .	121
<i>Практическое определение высоты трещины</i> . . . . .	121
8.2. Концевые эффекты . . . . .	122
8.3. Нелинейный поток в трещине . . . . .	124
8.4. Компенсация дополнительного скин-эффекта на поверхности трещины . . . . .	124
8.5. Примеры практического дизайна гидроразрыва . . . . .	125
<i>Типичный предварительный дизайн — порода средней проницаемости:</i> <i>MPF01</i> . . . . .	125
<i>«Стремление к пределу» — порода средней проницаемости: MPF02</i> . . . . .	128
<i>Гидроразрыв как окончательный выбор</i> . . . . .	131
<i>Планирование гидроразрыва для высокопроницаемых пород: HPF01</i> . . . . .	134
<i>Сверхвысокая проницаемость: HPF02</i> . . . . .	138
<i>Гидроразрыв низкопроницаемых пластов: LPF01</i> . . . . .	139
8.6. Краткий итог . . . . .	144
ГЛАВА 9. Контроль качества и выполнение . . . . .	147
9.1. Список оборудования . . . . .	149
<i>Транспортировка и хранение воды</i> . . . . .	149
<i>Доставка пропанта</i> . . . . .	150
<i>Растворение и перемешивание</i> . . . . .	150
<i>Закачка</i> . . . . .	151
<i>Наблюдение и контроль QA/QC</i> . . . . .	153
<i>Прочее</i> . . . . .	155
9.2. Специальные инструкции по монтажу . . . . .	155
9.3. Стандартные процедуры обеспечения качества при ГРП . . . . .	161
9.4. Принудительное закрытие . . . . .	162
9.5. Контроль качества при ГРП высокопроницаемых пластов . . . . .	163

<b>ГЛАВА 10. Оценка процесса обработки</b> . . . . .	165
10.1. Анализ в реальном масштабе времени . . . . .	165
10.2. Сдерживание вертикального роста трещины . . . . .	166
10.3. Методы каротажа и регистрации данных . . . . .	166
10.4. Несколько слов о составлении карты трещины . . . . .	168
10.5. Тестирование скважины . . . . .	169
10.6. Оценка применения высокопроницаемой трещины — единое приближение . . . . .	171
<i>Производственные показатели</i> . . . . .	171
<i>Оценка данных ГРП высокопроницаемых коллекторов, получаемых в процессе обработки</i> . . . . .	172
<i>Тесты скважин после обработки ГРП высокопроницаемых коллекторов</i> . . . . .	173
<i>Приемлемость концепции скина для ГРП высокопроницаемых коллекторов</i> . . . . .	174
10.7. Анализ наклона кривых . . . . .	175
<i>Исходные предположения</i> . . . . .	175
<i>Теория ограниченного роста</i> . . . . .	176
<i>Алгоритмы анализа наклона кривых</i> . . . . .	178
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ А. Номенклатура основных символов и обозначений</b> . . . . .	183
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ В. Словарь</b> . . . . .	187
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ С. Форма для планирования ГРП</b> . . . . .	193
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ D. Таблица мини-ГРП</b> . . . . .	199
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ Е. Стандартные практики и формы контроля качества</b> . . . . .	205
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ F. Пример использования программы гидроразрыва</b> . . . . .	217
<b>Литература</b> . . . . .	223
<b>Предметный указатель</b> . . . . .	232