

Оглавление

| | |
|--|-----------|
| От Редакционного совета | xiii |
| Предисловие Ж.-К. Сабатье | xv |
| Предисловие автора к русскому изданию | xxi |
| Введение | xxii |
| Благодарности | xxiii |
| ГЛАВА 1. Проблемы интеграции | 1 |
| 1.1. Что такое интеграция? | 1 |
| 1.2. Концепция системного мышления | 2 |
| 1.3. Изменение ориентиров | 4 |
| 1.4. Объединение информации | 5 |
| 1.5. Верность и точность | 9 |
| 1.6. Сложность и точность | 10 |
| 1.7. Другие проблемы интеграции | 14 |
| 1.8. Роль руководителя проекта | 15 |
| Литература | 17 |
| ГЛАВА 2. Интегрированная база данных | 18 |
| 2.1. Определения | 18 |
| 2.2. Проблема интегрированной базы данных | 18 |
| 2.3. Три уровня баз данных | 20 |
| 2.4. Проектная база данных | 22 |
| 2.5. Управление проектной базой данных | 25 |
| 2.6. Интеграция программного обеспечения | 26 |
| Литература | 29 |
| ГЛАВА 3. Комплексная геологическая модель | 30 |
| 3.1. Структурная модель | 31 |
| 3.1.1. Определение строения пласта | 32 |
| 3.1.2. Моделирование тектонических нарушений | 33 |
| 3.1.2.1. Точность модели тектонических нарушений | 35 |
| 3.1.3. Неопределенность структурной модели | 39 |
| 3.1.4. Построение трехмерной структурной модели | 40 |
| 3.2. Стратиграфическая модель | 42 |
| 3.2.1. Сиквенс-стратиграфия | 43 |

| | | |
|---|--|------------|
| 3.2.2. | Другие методы | 45 |
| 3.2.3. | Построение стратиграфической сетки | 49 |
| 3.3. | Литологическая модель | 50 |
| 3.3.1. | Концептуальная седиментологическая модель | 51 |
| 3.3.2. | Классификация фаций | 53 |
| 3.3.2.1. | Определение и классификация фаций | 53 |
| 3.3.2.2. | Выделение фаций | 56 |
| 3.3.2.3. | Понятие фации | 58 |
| 3.3.3. | Распределение фаций | 60 |
| 3.3.3.1. | Стохастический подход | 60 |
| 3.3.3.2. | Моделирование, основанное на пиксельном и объ- ектном подходе | 63 |
| 3.3.3.3. | Оценка геологической неопределенности | 65 |
| 3.4. | Неоднородность пласта | 67 |
| 3.4.1. | Классификация неоднородностей коллектора | 68 |
| 3.4.1.1. | Мелкомасштабные неоднородности | 68 |
| 3.4.1.2. | Крупномасштабные неоднородности | 71 |
| 3.4.1.3. | Влияние неоднородностей на нефтеотдачу | 74 |
| 3.4.2. | Определение неоднородности пласта | 75 |
| 3.4.2.1. | Сейсмические методы | 76 |
| 3.4.2.2. | Данные флюидов | 82 |
| 3.4.2.3. | Гидродинамические испытания скважин (ГДИС) | 89 |
| 3.4.2.4. | Данные добычи | 98 |
| | Литература | 102 |
| ГЛАВА 4. Свойства горных пород | | 106 |
| 4.1. | Петрофизическая оценка | 107 |
| 4.1.1. | Микроскопические свойства горной породы | 107 |
| 4.1.1.1. | Характеристики системы пор | 108 |
| 4.1.1.2. | Минералогия | 109 |
| 4.1.1.3. | Методы исследования | 110 |
| 4.1.2. | Размер зерен и отсортированность | 111 |
| 4.1.3. | Пористость | 115 |
| 4.1.3.1. | Определение пористости по керну | 117 |
| 4.1.3.2. | Пористость по данным ГИС | 120 |
| 4.1.4. | Водонасыщенность | 126 |
| 4.1.4.1. | Насыщенность по данным керна | 127 |
| 4.1.4.2. | Насыщенность по данным ГИС | 134 |
| 4.1.4.3. | Комплексование данных каротажа и керна | 141 |
| 4.1.5. | Проницаемость | 142 |
| 4.1.5.1. | Общие положения | 144 |
| 4.1.5.2. | Лабораторные измерения на образцах керна | 146 |
| 4.1.5.3. | Измерения с применением скважинных приборов | 150 |
| 4.1.5.4. | Гидродинамические испытания | 153 |

| | | |
|----------|---|-----|
| 4.1.5.5. | Расходометрия | 157 |
| 4.1.5.6. | Эмпирические зависимости | 159 |
| 4.1.5.7. | Нейронные сети | 165 |
| 4.1.5.8. | Объединение информации | 167 |
| 4.1.6. | Коэффициент песчанности | 170 |
| 4.1.6.1. | Граничное значение: динамический параметр | 170 |
| 4.1.6.2. | Определение критериев выбора граничных значений | 173 |
| 4.1.6.3. | Замечания по применению граничных значений | 174 |
| 4.2. | Распределение свойств горных пород | 176 |
| 4.2.1. | Пористость | 177 |
| 4.2.1.1. | Двухмерная интерполяция | 178 |
| 4.2.1.2. | Интеграция сейсмических данных | 179 |
| 4.2.1.3. | Трехмерное моделирование | 184 |
| 4.2.2. | Распределение водонасыщенности | 185 |
| 4.2.2.1. | Прямое картирование водонасыщенности | 186 |
| 4.2.2.2. | Соотношение водонасыщенности и пористости | 187 |
| 4.2.2.3. | Функции капиллярного давления | 188 |
| 4.2.2.4. | Трехмерные модели распределения водонасыщенности | 191 |
| 4.2.3. | Эффективная мощность залежи | 192 |
| 4.2.3.1. | Двухмерная интерполяция | 192 |
| 4.2.3.2. | Интеграция сейсмических данных | 193 |
| 4.2.3.3. | Трехмерное моделирование | 194 |
| 4.2.4. | Распределение проницаемости | 195 |
| 4.2.4.1. | Двухмерная интерполяция | 196 |
| 4.2.4.2. | Трехмерные модели распределения проницаемости | 199 |
| | Литература | 204 |
| | ГЛАВА 5. Подсчет геологических запасов, ОНП | 207 |
| 5.1. | Обоснование подсчетных параметров и подсчет запасов углеводородов | 208 |
| 5.1.1. | Детерминированная оценка | 210 |
| 5.1.2. | Вероятностная оценка | 211 |
| 5.2. | Оценка методами материального баланса | 212 |
| 5.2.1. | Газовые пласты | 213 |
| 5.2.2. | Нефтяные пласты | 214 |
| | Литература | 216 |
| | ГЛАВА 6. Основы разработки | 217 |
| 6.1. | Естественные режимы разработки пласта | 218 |
| 6.1.1. | Расширение флюида | 219 |
| 6.1.2. | Режим растворенного газа | 219 |
| 6.1.3. | Водонапорный режим | 222 |
| 6.1.4. | Режим расширения газовой шапки | 228 |

| | | |
|----------|---|-----|
| 6.1.5. | Режим уплотнения пласта | 230 |
| 6.2. | Свойства флюида | 233 |
| 6.2.1. | Углеводородные пластовые флюиды | 234 |
| 6.2.2. | Основные PVT-свойства нефти и газа | 237 |
| 6.2.3. | Процедуры отбора проб пластового флюида | 240 |
| 6.2.3.1. | Образцы с забоя скважины | 241 |
| 6.2.3.2. | Рекомбинированные образцы скважинного флюида | 241 |
| 6.2.3.3. | Репрезентативность образцов скважинного флюида | 242 |
| 6.2.3.4. | Вертикальные и латеральные изменения свойств флюида | 242 |
| 6.2.4. | Лабораторный анализ PVT-свойств | 243 |
| 6.2.4.1. | Физическое значение лабораторных испытаний | 245 |
| 6.2.4.2. | Преобразование лабораторных данных для проектирования разработки коллекторов газа и нефти | 246 |
| 6.2.5. | Данные добычи | 248 |
| 6.2.6. | Обобщенные корреляции PVT | 250 |
| 6.2.7. | Объединение информации PVT | 252 |
| 6.2.8. | Свойства пластовой воды | 253 |
| 6.2.8.1. | Химический состав | 253 |
| 6.2.8.2. | PVT- и другие свойства | 254 |
| 6.3. | Взаимодействие породы и флюидов | 254 |
| 6.3.1. | Смачиваемость | 255 |
| 6.3.2. | Капиллярное давление | 257 |
| 6.3.3. | Относительная проницаемость | 257 |
| 6.3.3.1. | Лабораторные измерения | 259 |
| 6.3.3.2. | Эмпирические корреляции | 264 |
| 6.3.3.3. | Промысловые данные | 265 |
| 6.3.3.4. | Относительная проницаемость посредством численного моделирования (псевдофункций) | 266 |
| 6.3.3.5. | Относительная проницаемость при трехфазной фильтрации | 266 |
| 6.3.4. | Остаточная нефтенасыщенность | 267 |
| 6.4. | Замеры пластового давления | 269 |
| 6.4.1. | Пластовое давление | 270 |
| 6.4.2. | Источники данных о пластовом давлении | 271 |
| 6.4.2.1. | Прямые измерения статического давления | 271 |
| 6.4.2.2. | Пластовое давление по данным гидродинамических исследований скважин | 272 |
| 6.4.2.3. | Данные давления по результатам замеров пластоиспытателем на кабеле | 273 |
| 6.4.3. | Моделирование давления | 275 |
| 6.5. | Распределение и мониторинг пластовых флюидов | 278 |
| 6.5.1. | Распределение флюидов при добыче и закачке | 279 |
| 6.5.2. | Продвижение воды с течением времени | 280 |

| | | |
|-----------------|--|------------|
| 6.5.4. | Четырехмерный сейсмический мониторинг | 287 |
| 6.6. | Материальный баланс | 288 |
| 6.6.1. | Зачем применять материальный баланс? | 288 |
| 6.6.2. | Применение материального баланса в пластовых исследованиях | 288 |
| 6.6.3. | Материальный баланс или численное моделирование? | 290 |
| 6.7. | Моделирование линий тока | 292 |
| | Литература | 295 |
| ГЛАВА 7. | Численное моделирование продуктивного пласта | 298 |
| 7.1. | Когда следует создавать гидродинамическую модель? | 299 |
| 7.2. | Зачем создавать имитационную модель? | 301 |
| 7.3. | Проектирование имитационной модели | 302 |
| 7.3.1. | Выбор геометрической структуры модели | 303 |
| 7.3.2. | Выбор типа моделирования | 306 |
| 7.4. | Построение сетки гидродинамической модели | 307 |
| 7.4.1. | Геологические проблемы | 307 |
| 7.4.2. | Динамические проблемы | 308 |
| 7.4.3. | Проблемы, связанные с вычислениями | 310 |
| 7.4.4. | Выбор типа сетки гидродинамической модели | 311 |
| 7.4.5. | Построение гидродинамической сетки: выводы | 314 |
| 7.5. | Определение входных параметров | 316 |
| 7.5.1. | Геометрия пласта | 316 |
| 7.5.2. | Свойства породы-коллектора | 317 |
| 7.5.2.1. | Задача ремасштабирования | 317 |
| 7.5.3. | Свойства флюида | 322 |
| 7.5.4. | Функции насыщения | 323 |
| 7.5.4.1. | Гистерезис | 323 |
| 7.5.4.2. | Моделирование функций насыщения | 324 |
| 7.5.5. | Данные добычи и заканчивания | 326 |
| 7.5.6. | Инициализация модели | 328 |
| 7.6. | Адаптация модели | 329 |
| 7.6.1. | Важные аспекты процесса адаптации модели | 330 |
| 7.6.2. | Адаптируемые параметры | 331 |
| 7.6.2.1. | Давление | 332 |
| 7.6.2.2. | Добыча воды | 333 |
| 7.6.2.3. | Добыча газа | 334 |
| 7.6.3. | Процедура адаптации | 335 |
| 7.6.4. | Качество адаптации | 338 |
| 7.7. | Прогнозирование добычи | 339 |
| 7.7.1. | Входные данные для прогнозирования | 340 |
| 7.7.2. | Определение руководящих принципов и ограничений | 340 |
| 7.7.3. | Модель скважины | 342 |

| | |
|---|------------|
| 7.7.4. Прогнозирование | 343 |
| 7.8. Оценка неопределенности | 345 |
| Литература | 347 |
| ГЛАВА 8. Планирование исследования | 350 |
| 8.1. Планирование или интеграция? | 351 |
| 8.2. Оценка отдельных этапов работы | 353 |
| 8.3. Последовательное планирование | 353 |
| 8.4. Комплексное планирование | 356 |
| 8.5. Итоги | 358 |
| Литература | 358 |
| ПРИЛОЖЕНИЕ | 359 |
| П.1. Общая формулировка уравнения материального баланса | 359 |
| П.2. Особенности подхода материального баланса | 361 |
| П.3. Условия верного применения материального баланса | 362 |
| П.3.1. Параметры добычи и закачки | 362 |
| П.3.2. Свойства PVT | 363 |
| П.3.3. Свойства породы-коллектора | 363 |
| П.3.4. Объемные параметры | 364 |
| П.3.5. Данные давления | 365 |
| П.4. Заключение | 367 |
| Литература | 368 |
| Предметный указатель | 369 |