

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Санкт-Петербургский горный университет

Кафедра разработки и эксплуатации нефтяных
и газовых месторождений

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
АНАЛИЗА ПРОЦЕССОВ ДОБЫЧИ
НЕФТИ И ГАЗА

Методические указания к самостоятельным работам
для студентов специальности 21.05.06

САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2020

УДК 622.276 (073)

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА ПРОЦЕССОВ ДОБЫЧИ НЕФТИ И ГАЗА: Методические указания к самостоятельным работам / Санкт-Петербургский горный университет. Сост.: *Л.Р. Сагирова, А.Н. Паляница*. СПб, 2020. 14 с.

Для обеспечения единого методического подхода к составлению проектных решений указания необходимо использовать при выполнении курсовых проектов студентами специальности 21.05.06 «Нефтегазовые техника и технологии».

Предназначены для самостоятельной подготовки студентов специальности 21.05.06 «Нефтегазовые техника и технологии», а также слушателей системы дополнительного профессионального образования в соответствии с учебным планом и программой дисциплины «Математические методы анализа процессов добычи нефти и газа».

Научный редактор проф. *М.К. Рогачев*

Рецензент канд. техн. наук *Р.Р. Гумеров* (ООО «Газпромнефть НТЦ»)

© Санкт-Петербургский
горный университет, 2020

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА ПРОЦЕССОВ ДОБЫЧИ НЕФТИ И ГАЗА

***Методические указания к самостоятельным работам
для студентов специальности 21.05.06***

Сост.: *Л.Р. Сагирова, А.Н. Паляница*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой
разработки и эксплуатации нефтяных и газовых месторождений

Ответственный за выпуск *Л.Р. Сагирова*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 26.05.2020. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 0,8 Усл.кр.-отт. 0,8. Уч.-изд.л. 0,7. Тираж 100 экз. Заказ 293. С 34.

Санкт-Петербургский горный университет
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2

ВВЕДЕНИЕ

Гидродинамическое моделирование это один из основных методов управления разработкой месторождения. Моделирование разработки нефтяных месторождений позволяет уточнить геологическое строение и фильтрационно-емкостные свойства нефтяного пласта при воспроизведении истории разработки. Одной из важнейших задач гидродинамического моделирования является прогнозирование технологических показателей разработки в средне- и долгосрочной перспективах, а также оптимизация систем разработки при различных методах воздействия на продуктивный пласт.

Разработка месторождений углеводородов представляет собой комплексную проблему, для успешного решения которой требуется привлечение знаний и опыта, накопленных в различных областях науки и инженерной практики. Применение комплексного мультидисциплинарного подхода стало особенно актуальным на современном этапе, характеризующемся, с одной стороны, существенным ухудшением структуры запасов нефти газа, а с другой – созданием принципиально новых технологий. Эти технологии распространены в области исследования и моделирования геологического строения пласта, бурения и заканчивания скважин, использованием новых быстродействующих компьютеров для проведения сложных вычислений, геологического и гидродинамического моделирования.

1. РАСЧЕТНО-ГРАФИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

Рассчитать распределение давления нефти в двухмерной модели пласта (Рис.1, Рис.2) используя **неявный** метод конечноразностного решения для 5 временных шагов.

1	2	3	4
5	6	7	8
9	10	11	12
13	14	15	16

Рис. 1. Нумерация ячеек модели

30	30	30	30
30	40	40	40
30	40	40	50
30	40	50	40

Рис. 2. Распределение проницаемости, мД

Граничные условия на границе залежи – отсутствие перетока. Свойства пласта и флюидов представлены в таблице 1. Начальные и граничные условия представлены в таблице 2.

Таблица 1

Свойства пласта и нефти	
Ширина ячейки по оси x, м	100
Ширина ячейки по оси y, м	100
Толщина пласта, м	50
Объемный коэффициент нефти, м ³ /м ³	1
Вязкость нефти, мПас	4
Общая сжимаемость, 1/Па	$2.2 \cdot 10^{-9}$
Пористость, %	18
Временной шаг, сут	10

Таблица 2

Начальные и граничные условия

<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>
1	1	16	25	40	20
2	2	15	24	35	25
3	3	14	23	30	30
4	4	13	22	25	35
5	5	12	21	20	40
6	9	8	20	40	40
7	8	9	21	35	35
8	12	5	22	30	30
9	13	4	23	25	25
10	14	3	24	20	20
11	15	2	25	40	20
12	16	1	24	35	25
13	1	16	23	30	30
14	2	15	22	25	35
15	3	14	21	20	40
16	4	13	20	40	40
17	5	12	21	35	35
18	9	8	22	30	30
19	8	9	23	25	25
20	12	5	24	20	20
21	13	4	25	40	20
22	14	3	24	35	25
23	15	2	23	30	30
24	16	1	22	25	35

где: **1** – Номер варианта;

2 – Расположение добывающей скважины;

3 – Расположение нагнетательной скважины;

4 – Начальное пластовое давление, Мпа;

5 – Дебит добывающей скважины в поверхностных условиях, куб. м/сут;

6 – Расход нагнетательной скважины в поверхностных условиях, куб. м/сут.

Уравнение фильтрации для одномерного пласта:

$$Tx_{i+\frac{1}{2}}(P_{i+1} - P_i) + Tx_{i-\frac{1}{2}}(P_{i-1} - P_i) - q'_i = \beta_i(P_i - P_i^t), \quad i=1, \dots, N \quad (1)$$

Уравнение фильтрации для двумерного пласта:

$$Tx_{i+\frac{1}{2},j}(P_{i+1,j} - P_{i,j}) + Tx_{i-\frac{1}{2},j}(P_{i-1,j} - P_{i,j}) + Ty_{i,j+\frac{1}{2}}(P_{i,j+1} - P_{i,j}) + Ty_{i,j-\frac{1}{2}}(P_{i,j-1} - P_{i,j}) - q'_{i,j} = \beta_{i,j}(P_{i,j} - P_{i,j}^t), \quad i=1, \dots, N \quad (2)$$

На рисунке 3 представлена модель двумерного пласта с корректной нумерацией ячеек.

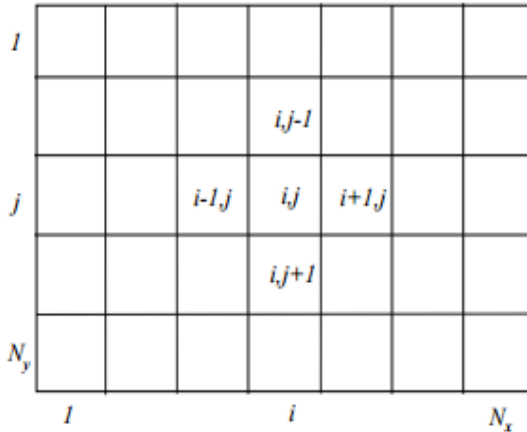


Рис. 3. Модель двумерного пласта

Уравнение фильтрации для двумерного пласта после преобразования принимает вид:

$$Ty_{i,j-\frac{1}{2}}P_{i,j-1} + Tx_{i-\frac{1}{2},j}P_{i-1,j} + \left(-Tx_{i+\frac{1}{2},j} - Tx_{i-\frac{1}{2},j} - Ty_{i,j+\frac{1}{2}} - Ty_{i,j-\frac{1}{2}} - \beta_{i,j}\right)P_{i,j} + Tx_{i+\frac{1}{2},j}P_{i+1,j} + Ty_{i,j+\frac{1}{2}}P_{i,j+1} = -\beta_{i,j}P_{i,j}^t + q'_{i,j}; \quad (3)$$

Для упрощения записи введем в уравнение коэффициенты выражения 4-10:

$$e_{i,j}P_{i,j-1} + a_{i,j}P_{i-1,j} + b_{i,j}P_{i,j} + c_{i,j}P_{i+1,j} + f_{i,j}P_{i,j+1} = d_{i,j}; \quad (4)$$

$$e_{i,j} = Ty_{i,j-\frac{1}{2}}; \quad (5)$$

$$a_{i,j} = Tx_{i-\frac{1}{2},j}; \quad (6)$$

$$b_{i,j} = -Tx_{i+\frac{1}{2},j} - Tx_{i-\frac{1}{2},j} - Ty_{i,j+\frac{1}{2}} - Ty_{i,j-\frac{1}{2}} - \beta_{i,j}; \quad (7)$$

$$c_{i,j} = Tx_{i+\frac{1}{2},j}; \quad (8)$$

$$f_{i,j} = Ty_{i,j+\frac{1}{2}}; \quad (9)$$

$$d_{i,j} = -\beta_{i,j}P_{i,j}^t + q'_{i,j}; \quad (10)$$

Расчет конечно – разностной проводимости

Выражения для расчета конечно-разностной проводимости для всех граней: (11-14)

$$Tx_{i+\frac{1}{2},j} = \frac{2}{\Delta x_{i,j}(\Delta x_{i+1,j} + \Delta x_{i,j})} \left[\frac{k}{\mu B} \right]_{i+\frac{1}{2},j}; \quad (11)$$

$$Tx_{i-\frac{1}{2},j} = \frac{2}{\Delta x_{i,j}(\Delta x_{i-1,j} + \Delta x_{i,j})} \left[\frac{k}{\mu B} \right]_{i-\frac{1}{2},j}; \quad (12)$$

$$Ty_{i,j+\frac{1}{2}} = \frac{2}{\Delta y_{i,j}(\Delta y_{i,j+1} + \Delta y_{i,j})} \left[\frac{k}{\mu B} \right]_{i,j+\frac{1}{2}}; \quad (13)$$

$$Ty_{i,j-\frac{1}{2}} = \frac{2}{\Delta y_{i,j}(\Delta y_{i,j-1} + \Delta y_{i,j})} \left[\frac{k}{\mu B} \right]_{i,j-\frac{1}{2}}; \quad (14)$$

Для нахождения конечно-разностной проводимости на всех гранях ячеек нам необходимо разделить данный параметр на составляющие:

1) Геометрическая составляющая (выражение 15):

$$\frac{2}{\Delta x_{i,j}(\Delta x_{i+1,j} + \Delta x_{i,j})}; \quad (15)$$

- 2) Проницаемость (k);
- 3) Подвижность (выражение 16):

$$\lambda = \frac{1}{\mu B} \quad (16)$$

Рассчитываем геометрическую составляющую, проницаемость на всех гранях ячеек, а также подвижность.

Гармоническая аппроксимация проницаемости:

$$k_{i+\frac{1}{2},j} = \frac{\Delta x_{i+1,j} + \Delta x_{i,j}}{\frac{\Delta x_{i+1,j}}{k_{i+1,j}} + \frac{\Delta x_{i,j}}{k_{i,j}}}, \quad (17)$$

$$k_{i-\frac{1}{2},j} = \frac{\Delta x_{i-1,j} + \Delta x_{i,j}}{\frac{\Delta x_{i-1,j}}{k_{i-1,j}} + \frac{\Delta x_{i,j}}{k_{i,j}}}, \quad (18)$$

$$k_{i,j+\frac{1}{2}} = \frac{\Delta y_{i,j+1} + \Delta y_{i,j}}{\frac{\Delta y_{i,j+1}}{k_{i,j+1}} + \frac{\Delta y_{i,j}}{k_{i,j}}}, \quad (19)$$

$$k_{i,j-\frac{1}{2}} = \frac{\Delta y_{i,j-1} + \Delta y_{i,j}}{\frac{\Delta y_{i,j-1}}{k_{i,j-1}} + \frac{\Delta y_{i,j}}{k_{i,j}}}, \quad (20)$$

Арифметическая аппроксимация подвижности рассчитывается из выражений 21-25:

$$\lambda = \frac{1}{\mu B} \quad (21)$$

$$\lambda_{i+\frac{1}{2},j} = \frac{\Delta x_{i+1,j} \lambda_{i+1,j} + \Delta x_{i,j} \lambda_{i,j}}{\Delta x_{i+1,j} + \Delta x_{i,j}}; \quad (22)$$

$$\lambda_{i-\frac{1}{2},j} = \frac{\Delta x_{i-1,j} \lambda_{i-1,j} + \Delta x_{i,j} \lambda_{i,j}}{\Delta x_{i-1,j} + \Delta x_{i,j}}; \quad (23)$$

$$\lambda_{i,j+\frac{1}{2}} = \frac{\Delta y_{i,j+1} \lambda_{i,j+1} + \Delta y_{i,j} \lambda_{i,j}}{\Delta y_{i,j+1} + \Delta y_{i,j}}; \quad (24)$$

$$\lambda_{i,j-\frac{1}{2}} = \frac{\Delta y_{i,j-1} \lambda_{i,j-1} + \Delta y_{i,j} \lambda_{i,j}}{\Delta y_{i,j-1} + \Delta y_{i,j}}; \quad (25)$$

Коэффициент упругости пласта определяется из формулы 26:

Таким образом: $X=A^{-1} \cdot B$.

Далее находится обратная матрица A^{-1} и умножается на столбец свободных членов B .

После расчета всех параметров составляем матрицу коэффициентов. Далее находим обратную матрицу. Перемножив обратную матрицу на таблицу свободных членов d , находим распределение давления по ячейкам на текущий временной шаг. Рассчитываем значения коэффициента d для текущего временного шага с учетом текущего давления. Повторяем действия для 5 временных шагов.

2. ТЕМЫ РЕФЕРАТОВ

1. Основные понятия и подходы к исследованию разностных схем.
2. Сетки и сеточные функции.
3. Понятие линейной разностной схемы.
4. Схемы Рунге-Кутты.
5. Консервативные схемы.
6. Схема для системы уравнений с постоянными коэффициентами.
7. Схема Роу.
8. Метод линеаризации неявных схем.
9. Метод предиктор-корректор.
10. Неявные схемы в многомерном случае.
11. Восстановление кривой капиллярного давления. Модель Брукса-Кори.
12. Подвижный нефтяной поровый объем.
13. Теория фракционного потока.
14. Восстановление относительных фазовых проницаемостей. Уравнения Кори (Corey).
15. Восстановление относительных фазовых проницаемостей. Уравнение LET.
16. Метод Уэлджа.
17. Коэффициент вариации проницаемости.
18. Масштабирование и осреднение ОФП.
19. Восстановление относительных фазовых проницаемостей. Уравнения Пирсона (Pirson).
20. Восстановление относительных фазовых проницаемостей. Уравнения Хонарпур
21. Подбор параметров Кори (Corey) по данным эксплуатации.
22. Определение коэффициента охвата по площади по корреляции H. J. Morel-Seytoux для различных систем разработки.
23. Анализ скважинных данных по графику Холла
24. График Чана

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Гладков Е.А.* Геологическое и гидродинамическое моделирование месторождений нефти и газа: учеб. пособие / Е.А. Гладков; Томский политехнический университет. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. 99 с.
2. *Дейк Л.П.* Практический инжиниринг резервуаров / Л.П. Дейк. М. Ижевск: Институт компьютерных исследований, НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2008. 668 с.
3. *Дуркин С.М.* Моделирование процесса разработки нефтяных месторождений (теория и практика): учеб. пособие. Ухта: УГТУ, 2014. 104 с.
4. *Карлсон М.Р.* Практическое моделирование нефтегазовых пластов / М. Р. Карлсон. Издательство «ИКИ», 2012. 944 с.
5. *Низаев Р.Х.* Моделирование в разработке нефтяных месторождений: создание гидродинамической модели на базе пакетов программ фирмы ROXAR – MORE – Tempest. Учебное пособие для бакалавров направления 21.03.01 (131000) «Нефтегазовое дело» профиля «Эксплуатация и обслуживание объектов добычи нефти» всех форм обучения. / Низаев Р.Х., Насыбуллин А.В. // Альметьевск: Альметьевский государственный нефтяной институт, 2014. 40с.
6. *Эртекин, Т.* Основы прикладного моделирования пластов / Т. Эртекин, Дж. Абу-Кассем, Г. Кинг. Издательство «ИКИ», 2012. 1060 с.
7. *Kleppe J.* Reservoir Simulation. Lecture Notes. Stavanger: NTNU, 2017. 106 с.
8. RMS_User_guide_2012_Rus. 2012. 3164 с.
9. Tempest-MORE_7.0_User_Guide_RUS. 2012. 1655 с.

Дополнительный список:

10. *Азиз Х.* Математическое моделирование пластовых систем / Х. Азиз, Э. Сеттари; пер. с англ. А.В. Королева, В.П. Костнера; под ред. М.М. Максимова. 2-е изд., стереотип. М.: Недра, 1982. 407 с.

11. *Каплан С.Б.* Подземная гидромеханика / С.Б. Каплан [и др.]. 2-е изд., исправ. М.; Ижевск: Изд-во Института компьютерных исследований, 2006. 488 с.
12. *Голд-Рахт Т.Д.* Основы нефтепромысловой геологии и разработки трещиновидных коллекторов / Т.Д. Голд-Рахт; пер. с англ. Н. А. Бардиной [и др.]; под ред. А.Г. Ковалева. М.: Недра, 1986. 608 с.
13. *Желтов Ю.П.* Разработка нефтяных месторождений : учеб. для студентов вузов, обучающихся по специальности «Технология и комплексная механизация разработки нефтяных и газовых месторождений» / Ю.П. Желтов. М.: Недра, 1986. 332 с.
14. *Закиров С.Н.* Разработка газовых, газоконденсатных и нефтегазоконденсатных месторождений / С.Н. Закиров. М.: Внешторгиздат, 1998. 628с.
15. *Закиров С.Н.* Многомерная и многокомпонентная фильтрация : справ. пособие / С.Н. Закиров [и др.]. М.: Недра, 1988. 334 с.
16. *Закиров Э.С.* Трёхмерные многофазные задачи прогнозирования, анализа и регулирования разработки месторождений нефти и газа. / Э.С. Закиров; под общ. ред. Н. А. Ерёмкина. М.: Грааль, 2001. 302 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	3
1. Расчетно-графическое задание.....	4
2. Темы рефератов.....	11
Библиографический список.....	12