

ПРИМЕНЕНИЕ ЁМКОСТНО-РЕЗИСТИВНОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЗАИМОВЛИЯНИЯ СКВАЖИН

Р.А. Зинюков, С.К. Шангареева, С.А. Усманов, В.А. Судаков
Казанский (Приволжский) федеральный университет, zinyukov@mail.ru

При разработке зрелых нефтяных месторождений важной задачей является проведение анализа сложившейся системы заводнения, целью которого является принятие решений по проведению геолого-технических мероприятий (ГТМ) и регулированию закачки. На данный момент в мире при решении задач, связанных с анализом и оптимизацией системы заводнения, всё чаще отдаётся предпочтение упрощённым аналитическим моделям, в частности ёмкостно-резистивным моделям CRM (Capacitance Resistive Model), основанной на уравнении материального баланса и уравнении притока жидкости к скважине [1, 2]. Стоит отметить, что данный метод не требует создания полномасштабной 3D гидродинамической модели, а в качестве входной информации достаточно использовать данные по добыче и закачке. [3]

Целью работы являлось создание модуля экспресс-анализа взаимовлияния скважин на основе CRM-модели. В разрабатываемом модуле ёмкостно-резистивная модель реализована в виде модификации CRMP (рис. 1), представляющей функциональную зависимость дебита жидкости скважины от приемистости окружающих нагнетательных скважин и включающую одну добывающую скважину и все влияющие нагнетательные скважины, и описываемую формулой:

$$q(t_n) = q(t_0)e^{-\frac{t_n-t_0}{\tau}} + \sum_{i=1}^{N_{inj}} \sum_{k=1}^n f_i e^{-\frac{t_n-t_k}{\tau}} \left(1 - e^{-\frac{t_{k+1}-t_k}{\tau}}\right) w_i(t_k),$$

где $q(t_n)$ – дебит жидкости в t_n момент времени, f_i – коэффициент влияния i -ой нагнетательной скважины на добывающую, $w_i(t_k)$ – приемистость i -ой нагнетательной скважины в момент времени t_k .

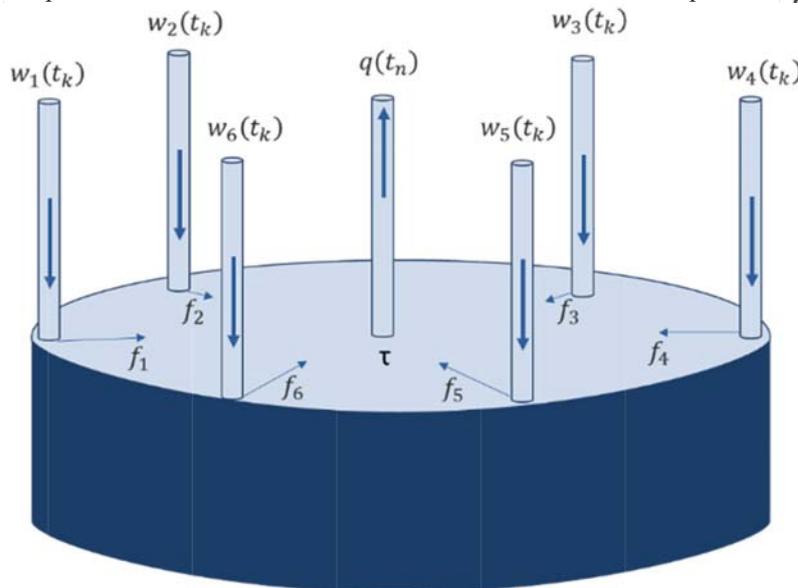


Рис. 1. Модель CRMP.

Неизвестные коэффициенты взаимовлияния скважин, которые являются настроечными параметрами модели, подбираются исходя из наилучшего совпадения с историей работы скважин.

В составе разрабатываемого программного комплекса можно выделить несколько базовых блоков:

1. Модуль формирования элементов заводнения

Вероятность взаимовлияния скважин, как правило, уменьшается с увеличением расстояния между добывающей и нагнетательной скважинами. Данное ограничение реализовано в виде «маски» – матрицы с коэффициентами 0 и 1. расчёт коэффициентов матрицы-маски проводится по сетке Вороного.

2. Модуль оценки связанности скважин

На каждую дату для скважин находятся перфорированные пласты. Там, где нет пересечения по пластам, закачка считается равной нулю.

3. Модуль расчета коэффициентов влияния скважин

После обработки данных с использованием CRM-модели рассчитаются коэффициенты взаимовлияния, которые дают представление о том, какая усредненная доля закачки из конкретной нагнетательной скважины приходится на рассматриваемые добывающие скважины в ближайшем окружении.

Алгоритм работы модуля представлен на блок-схеме, изображенной на рис. 2.

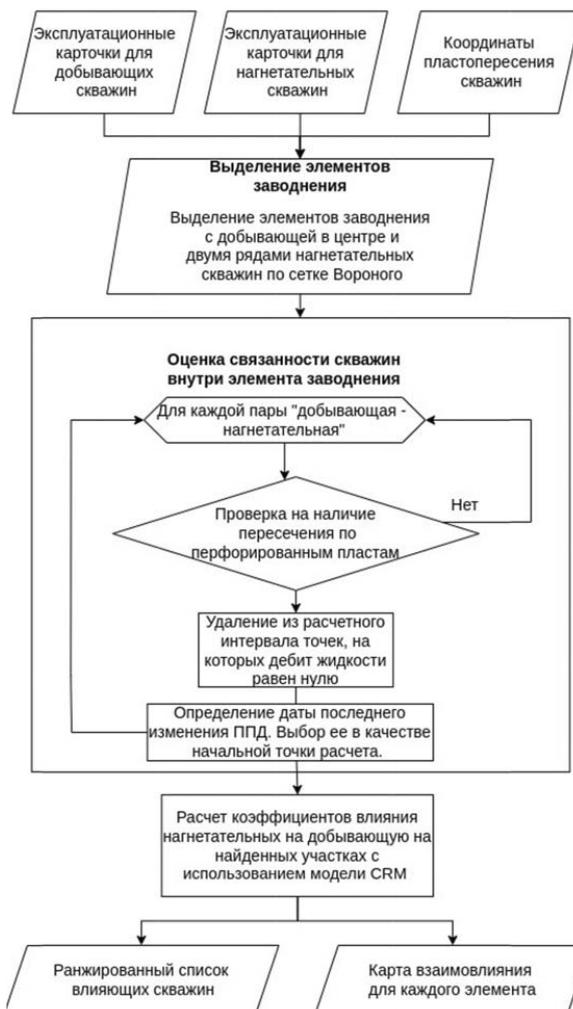


Рис. 2. Алгоритм работы модуля оценки взаимовлияния скважин.

По результатам расчета среднее **время расчета для одного элемента** составило 0.02с. Из них:

- 9.4% – чтение и обработка данных
- 77.1% – связанность пластов и выбор периода расчета
- 6.3% – расчёт CRM
- 7.2% – форматирование и экспорт данных

Пример расчета для одного элемента представлен на рис. 3. Осуществлена оценка влияния нагнетательных скважин на добычу скв. № 4. В результате адаптации CRM-модели было выявлено, что наиболее влияющей скважиной является скважина № 2. Данный вывод был подтвержден как в ходе ручного анализа динамики добычи на участке, так и по результатам анализа минерализации добываемой и закачиваемой воды.

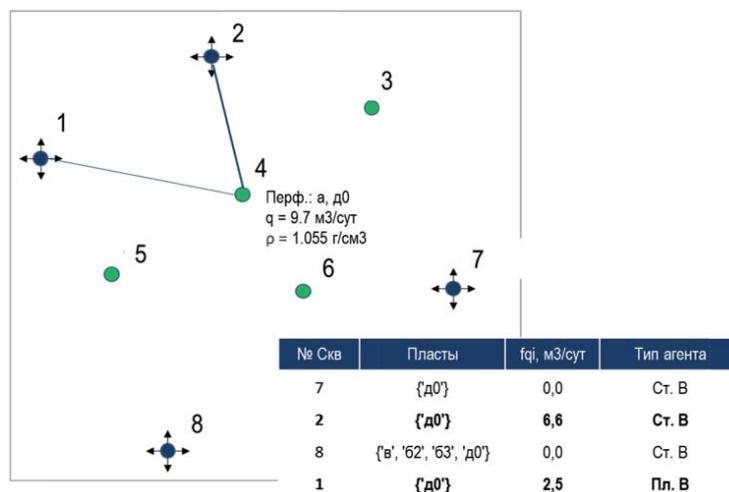


Рис. 3. Пример оценки влияния нагнетательных скважин на добычу скважины № 4 с помощью CRM-модели.

Всего в общей сложности расчёт был осуществлён для четырёх месторождений. Оценка эффективности расчёта представлена в табл. 1.

Таблица 1

Результаты оценки влияния скважин

Месторождение	Кол-во элементов, ед	Время расчёта, с	Точность расчёта, %
Месторождение А	242	181	73
Месторождение Б	35	12	83
Месторождение В	812	410	74
Месторождение Г	459	215	79
Месторождение Д	9	2	85

Таким образом, в текущем статусе разработанная модель способна осуществлять оценку коэффициентов взаимовлияния, на основании которых можно вырабатывать рекомендации по регулированию системы заводнения. На текущий год работоспособность модуля опробована на 5 месторождениях Республики Татарстан и показала высокую точность прогноза в сравнении с ручным анализом, составив порядка 70–80%.

Благодарность

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации по соглашению № 075-15-2022-299 в рамках программы создания и развития НЦМУ «Рациональное освоение запасов жидких углеводородов планеты».

Литература

1. *Lake L.* Optimization of oil production based on a capacitance model of production and injection rates. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2009.
2. *Sayarpour M.* The use of capacitance–resistance models for rapid estimation of waterflood performance and optimization. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2009.
3. *С.В. Степанов, А.Д. Бекман, А.А. Ручкин, Т.А. Поспелова.* Сопровождение разработки нефтяных месторождений с использованием моделей CRM: монография / – Тюмень: ИПЦ «Экспресс». – 2021. – 300 с.