

ПРИМЕНЕНИЕ CRM МОДЕЛИ ДЛЯ АНАЛИЗА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ЗАВОДНЕНИЯ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

Сытникова С.А.

Научный руководитель старший преподаватель Ю.А. Максимова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Для нефтяных месторождений, которые находятся уже на поздней стадии разработки и разрабатываются при помощи поддержания пластового давления закачкой воды в пласт, верное понимание взаимодействия между добывающими и нагнетательными скважинами имеет принципиально важное значение для повышения эффективности разработки месторождений с позиции регулирования закачки. Это связано с влиянием закачки, как на энергетику пластовой системы, так и на темпы обводнения. Оценка взаимовлияния добывающих и нагнетательных скважин выражается в величинах, которые принято называть коэффициентами взаимовлияния или коэффициентами связности.

Под взаимовлиянием подразумевается размер влияния нагнетательных скважин на добывающие через регулирование по объемам закачки или же, наоборот, воздействие добывающих скважин на нагнетательные, но уже через забойное давление. В практике, коэффициент связности оценивается размером закачки, поступающей от нагнетательной скважины в соответствующую ей добывающую [2]. Оперативная оценка данного параметра является крайне важной практической задачей управления разработкой нефтяных месторождений. Ее возможно произвести по результатам гидродинамического моделирования (ГДМ), но на это понадобится большой объем как вычислительных, так и временных ресурсов, что, в свою очередь, уже не будет удовлетворять требованию оперативности, проведенного расчета. Конечно, такие модели позволяют сформировать представление о взаимовлиянии скважин, а используя метод линий тока, можно рассчитать соответствующие параметры и в количественном выражении. Но чаще всего трехмерные модели являются детерминированными и имеют однозначную предопределенность для конкретного алгоритма, это крайне важный недостаток. Если же вместо этого использовать стохастический метод на этапе геологического моделирования, то не удастся до конца решить проблему неоднозначности, полученных результатов. Однако для решения практических задач разработки месторождений, в том числе, по регулированию закачки воды в пласт, наличие неопределенного (не надежного) решения является неприемлемым. Помимо этого, уделяется недостаточно внимания масштабным эффектам и адекватности петрофизических зависимостей. Поэтому, практическая значимость результатов моделирования, полученных на таких трехмерных гидродинамических моделях, часто оказывается недостаточно высокой, ввиду отсутствия детальных и надежных сведений об изучаемом объекте, и неточности обратной задачи адаптации модели на историю разработки. В ряде случаев удается выдерживать нужный баланс между детальностью в описании, происходящих в пласте физических процессов, и независимо существующими неопределенностями моделей. Достигается это за счет увеличения практической значимости трехмерных гидродинамических моделей, когда решение базируется на иерархическом моделировании. Но даже при выполнении этого условия нельзя будет причислить гидродинамическое моделирование к инструментам оперативного анализа взаимовлияния скважин и, соответственно, регулирования закачки, вследствие больших трудозатрат на актуализацию исследуемых данных.

Поэтому в настоящее время активно формируется и расширяется ряд разнообразных методов к аналитическому решению задачи оценки связности скважин с применением, например, МРМ моделей, нейронных сетей и CRM моделей [1]. Преимущественным, ввиду большей эффективности, является подход, в основе которого лежит использование емкостно-резистивной модели (capacitance-resistive models, CRM), представляющей собой аналитическое решение уравнения материального баланса и позволяющей рассчитать гидродинамическую связь между скважинами при закачке.

Существует несколько модификаций CRM моделей. Например, CRMT модели, где применяются несколько допущений, в частности, о неизменности коэффициента продуктивности и слабой сжимаемости исследуемой системы «нефтяной пласт – флюиды», предполагается, что все нагнетательные и добывающие скважины объединяются в одну нагнетательную и одну добывающую скважины. Кроме этого, выделяют CRMP модели, в которых решение строится применительно к элементу, включающему одну добывающую и потенциально реагирующие с ней нагнетательные скважины, и имеет вид [2]:

$$q_j(t_n) = q_j(t_0)e^{-\frac{t_n-t_0}{\tau_j}} + \sum_{k=1}^n \left[\left(\sum_{i=1}^N (f_{ji} l_i^k) - J_j \tau_j \frac{p_j^k - p_j^{k-1}}{t_k - t_{k-1}} \right) e^{-\frac{t_n-t_k}{\tau_j}} \left(1 - e^{-\frac{t_n-t_{k-1}}{\tau_j}} \right) \right], \quad (1)$$

где q_j – дебит добываемой жидкости, p_j^k – забойное давление на добывающих скважинах, l_i – приемистость.

Уравнение (1) сводится к решению обратной задачи с большим количеством параметров и ограничений. При ее решении определяются: «постоянная» времени τ_j , коэффициент продуктивности добывающих скважин J_j , а также коэффициенты взаимовлияния (связности) f_{ij} , характеризующие объем закачки i -той нагнетательной скважины, приходящийся на добычу жидкости в j -той добывающей скважине. Как итог, найденные величины этих параметров предоставляют возможность выполнять анализ состояния системы заводнения.

На основе вычисленных коэффициентов связности между скважинами можно определять нагнетательные скважины, приходящейся на перетоки в нецелевые пласты, либо на законтурную область, то есть скважины с непроизводительной закачкой воды в пласт. В уравнении (1), сумма $\sum_j f_{ij}$ характеризует объемную долю полезной закачки для i -той скважины. Значит, разность $1 - \sum_j f_{ij}$ является долей непроизводительной закачки, определить которую можно и в абсолютном выражении за выбранный период времени.

Коэффициенты связности характеризуют объем закачки определенной нагнетательной скважины, приходящийся на добычу жидкости определенной добывающей скважины. Чтобы проанализировать эффективность работы нагнетательных скважин, следует вычислить коэффициенты связности в отношении добывающих скважин.

$$f_{ji}^{prod} = \frac{f_{ij}l_i}{\sum_{i=1}^N (f_{ij}l_i)} \quad (2)$$

Дебит нефти, добываемый j -той скважиной за счет закачки нагнетательной i -той скважины, определяется для определенной добывающей скважины, произведением коэффициента f_{ji}^{prod} из (2) уравнения на дебит нефти добывающей j -той скважины. Таким образом, уравнение (3) позволяет интегрально оценить, сколько нефти добывается за счет каждой отдельно взятой нагнетательной скважины.

$$Q_{oi}l_i = \sum_{j=1}^{N_j} f_{ji}^{prod} q_{oj} \quad (3)$$

где q_{oj} – дебит нефти добывающей j -той скважины, $Q_{oi}l_i$ – суточная добыча нефти за счет закачки нагнетательной i -то скважины, f_{ji}^{prod} – коэффициент взаимовлияния относительно добывающей j -той скважины.

Основным параметром эффективности системы ППД служит компенсация по элементам заводнения в пластовых условиях. Компенсация отбора жидкости закачкой воды в пласт – есть отношение объемов закачанной воды, накопленной на определенную дату, к жидкости, отобранной в пластовых условиях, характеризующие суммарное восполнение пластовой энергии по отдельному пласту или эксплуатационному объекту. Чтобы рассчитать объем закачиваемой жидкости следует знать объем закачки в элемент для каждой нагнетательной скважины. Традиционно задача решается геометрическим способом, где учитывается взаимное расположение всех реагирующих добывающих скважин относительно влияющей нагнетательной. Для точного же определения объема закачанной жидкости в элемент заводнения, следует использовать коэффициенты связности, полученные на основе CRM модели.

На рисунке 1 наглядно представлено различие результатов расчета коэффициентов взаимовлияния на основе геометрического фактора и на основе модели CRM. Видим, что в методе оценки распределения закачки для симметрично расположенных добывающих скважин относительно нагнетательной по геометрическому фактору получается равное влияние на каждую добывающую скважину. Поэтому использование такого фактора при расчете взаимовлияния повлечет за собой некорректный расчет текущей компенсации и неверно принятые рекомендаций по оптимизации действующей системы ППД.

Важной особенностью является тот факт, что есть возможность рассчитать компенсацию как по элементам заводнения, так и по отдельным добывающим скважинам, так как в модели CRM анализируется контрольный объем с одной добывающей скважиной и группой влияющих нагнетательных скважин.

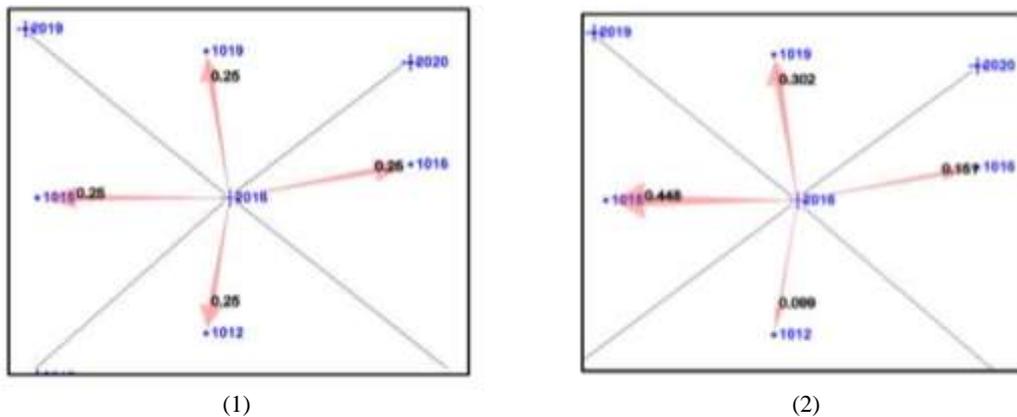


Рис. 1. Оценка взаимовлияния (связности) нагнетательных и добывающих скважин для гидродинамической модели на основе геометрического фактора (1) и на основе модели CRM (2)

По оценке взаимовлияния, основанной на CRM модели можно определять наличие непроницаемых барьеров или же, наоборот, высокопроводящих каналов. Для подтверждения возможности их идентификации, на нефтяном месторождении X был проведен численный эксперимент с использованием гидродинамической модели, состоящей из 24 добывающих и 25 нагнетательных скважин. На рисунке 2 в графическом виде отображены непроницаемые барьеры (отмечены синими линиями), красными замкнутыми линиями зафиксированы нагнетательные скважины, подсоединенные и к первому и ко второму пластам [3]. На рисунке 3 наглядно представлены рассчитанные значения коэффициентов взаимовлияния этих скважин на основе CRM модели.

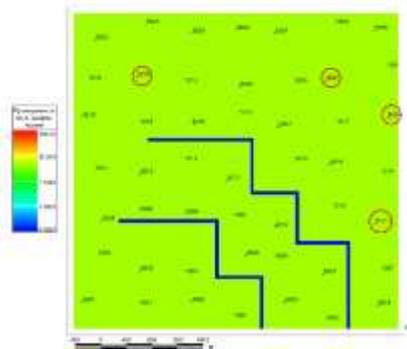


Рис. 2. *Отображение непроницаемых барьеров (синие линии) и скважин с произвольной закачкой (красные линии) в графическом виде*

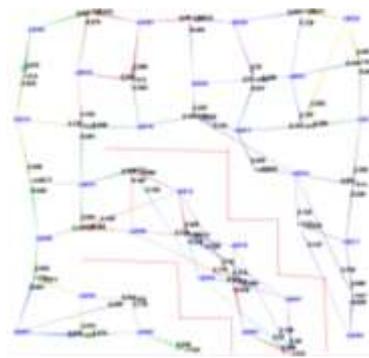


Рис. 3. *Распределение коэффициентов взаимодействия (связности) на основе CRM модели*

Также следует отметить, что время решения обратной задачи по модели CRM (примерно 3-9 минут, в зависимости от объема исходных данных) несоизмеримо меньше времени, которое необходимо для решения той же самой обратной задачи, но уже по адаптации трехмерной гидродинамической модели. Из этого следует, что возможность получения оперативного решения является еще одним важным преимуществом использования аналитической модели CRM.

В силу относительной простоты подхода, настройка модели на промысловые данные не требует значительных временных затрат при сохранении достаточной точности прогнозов. Предложенная методика анализа системы заводнения на основе моделей CRM включает в себя проблемы оценки доли непроницаемой закачки, расчета текущей компенсации не только по элементам заводнения, но и по отдельным добывающим скважинам, эффективности работы нагнетательного фонда, а также определение непроницаемых барьеров и высокопроводящих каналов. В дальнейшем, опираясь на полученные результаты, можно подготовить ряд рекомендаций для повышения эффективности реализуемой системы заводнения.

Литература

1. Бекман А. Д. Новый метод прогнозирования динамики обводненности скважин с использованием результатов CRMP-моделирования / А. Д. Бекман, Т. А. Поспелова, Д. В. Зеленин // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2020. – Том 6. – № 1 (21). – С. 192-207.
2. Ручкин А. А. Исследование особенностей оценки взаимодействия скважин на примере модели CRM / А. А. Ручкин, С. В. Степанов, А. В. Князев, А. В. Степанов, А. В. Корытов, И. Н. Авсянко // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2018. – Том 4. – № 4. – С. 148-168.
3. Степанов С. В. Проблематика оценки взаимодействия добывающих и нагнетательных скважин на основе математического моделирования / С. В. Степанов, С. В. Соколов, А. А. Ручкин, А. В. Степанов, А. В. Князев, А. В. Корытов // Вестник Тюменского государственного университета. Физико-математическое моделирование. Нефть, газ, энергетика. 2018. – Том 4. – № 3. – С. 146-164.

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ РАБОЧЕГО АГЕНТА ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ВЫТЕСНЕНИЯ НЕФТИ В ПРОЦЕССЕ ПОДДЕРЖАНИЯ ПЛАСТОВОГО ДАВЛЕНИЯ НА РАЗНЫХ СТАДИЯХ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Сытникова С.А.

Научный руководитель старший преподаватель Ю.А. Максимова

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Одним из носителей информации о технологических процессах нефтедобычи является вода – пластовая, подстилаящая залежь и закачиваемая в продуктивный пласт для ППД. Взаимодействуя с породой пласта-коллектора и с пластовыми флюидами, вода, являясь более чувствительной и мобильной системой, несет косвенную информацию о внутривластных процессах – сорбции и десорбции, ионном обмене, гидратации и дегидратации, диффузии, растворении и выщелачивании, осадкообразовании солей, фильтрационных и многих других физико-химических явлениях, скрытых от глаз [1].

Прежде чем подобрать вытесняющий агент, нужно детально проанализировать факторы, которые влияют на процесс ППД ввиду того, что при закачке воды в пласт возникает множество технологических сложностей таких как: уменьшение приемистости нагнетательных скважин со временем, прорывы по высокопроницаемым пропласткам и забоям добывающих скважин, а также утечка нагнетаемой воды в нецелевые пласты.

Поэтому для выбора оптимальных режимов работы нагнетательных скважин, регулирования системы ППД и контроля за ней, необходимо учитывать следующие критерии:

- геологическое строение залежи, тип коллектора и фильтрационно-емкостные свойства (ФЕС) пласта (расчлененность, содержание глинистых минералов, слоистость, зональная неоднородность, трещиноватость,