

информации при проектировании новых зданий и сооружений, обеспечения необходимой информационной поддержки проекта на протяжении всего его жизненного цикла уже невозможна без создания специальной базы данных об имеющихся моделях грунтов. В базе данных необходимо представить экспертные описания каждой физико-математической модели определенного класса, с характеристикой достоинств и недостатков каждой модели, основных физических допущений и ограни-

чений, сделанных авторами при разработке модели, с указанием необходимых уравнений и входящих в них параметров, с указанием примеров реализации модели, ее адекватности моделируемому процессу и области применения в расчетах.

Выполнение разведочного анализа данных показало принципиальную возможность использования предложенного подхода при выборе определяющих уравнений для решения различных геотехнических задач в зависимости от типа грунтов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ахмеров Р.Р., Хакимзянов Г.С., Чубаров Л.Б. Математическое моделирование [Электронный ресурс]. — режим доступа: <http://www.ict.nsk.su/lab2.3/ru/stuff/listMM.htm>. — 25.04.2008.
2. Болдырев Г.Г. Устойчивость и деформируемость оснований анкерных фундаментов. — М.: Стройиздат, 1987. — 80 с. [Электронный ресурс]. — режим доступа: <http://geotek.ru/publications/public1/>. — 25.04.2008.
3. Ключников В.Д. Математическая теория пластичности. — М.: Изд-во МГУ, 1979. — 208 с. [Электронный ресурс]. — режим доступа: <http://sci-lib.com/book000486.html>. — 25.04.2008.
4. Информационные материалы образовательного портала [Электронный ресурс]. — режим доступа: www.geotechlinks.com. — 25.04.2008.
5. Gudehus G. Bodenmechanik. — Stuttgart: Enke, 1981. — 268 S.
6. Darve F., Labanieh S. Incremental constitutive law for sands and clays, simulation of monotonic and cyclic test // Int. J. Num. Anal. Meth. Geomech. — 1982. — № 6. — P. 243–273.
7. Lade P.V. Overview and evaluation of constitutive models // Soil Constitutive Models: Evaluation, Selection, and Calibration. Ed. J.A. Yamamuro, V.N. Kaliakin. — American Society of Civil Engineers, 2005. — V. 128. — P. 69–98.
8. Schanz T. Aktuelle Entwicklungen bei Standsicherheits- und Verformungs-berechnungen in der Geotechnik // Geotechnik. — 2006. — № 1 (29). — S. 13–28.
9. Дюк В.А., Самойленко А.П. Data Mining: учебный курс. — СПб.: Питер, 2001. — 368 с.
10. Чубукова И.А. Data Mining. Учебный курс Интернет-Университета Информационных Технологий [Электронный ресурс]. — режим доступа: <http://www.intuit.ru/departament/database/damining/9/2.html>. — 25.04.2008.
11. Учебные материалы об аналитической платформе «Deductor» компании BaseGroup Labs [Электронный ресурс]. — режим доступа: www.basegroup.ru. — 25.04.2008.

Поступила 17.11.2008 г.

УДК 681.518:622.276

МЕТОД И АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ КОЭФФИЦИЕНТОВ ОХВАТА ВЫТЕСНЕНИЕМ И ЗАВОДНЕНИЕМ

А.А. Захарова

Томский политехнический университет
E-mail: alen@cc.tpu.edu.ru

Представлен метод и реализующий его алгоритм оценки коэффициентов охвата вытеснением и заводнением для выбора оптимальных вариантов разработки нефтегазовых месторождений, реализуемых в рамках проектных технологических документов. Апробация осуществлялась на примере ряда месторождений при выполнении проектов пробной эксплуатации и технологических схем разработки.

Ключевые слова:

Геологическая модель, гидродинамическая модель, нефтегазовое месторождение, методы, алгоритмы, программное обеспечение, оптимизация.

Моделирование месторождений нефти и газа сложный трудоемкий процесс, поэтому создание методов для экспресс-оценки геолого-технологических параметров с целью оптимизации указанного процесса весьма актуально. При оценке эффективности разработки нефтегазовых месторождений принято оперировать таким показателем, как коэффициент охвата $k_{\text{охв}}$, который характеризует охват залежи при разработке вытеснением (отбор из добывающих

скважин) и заводнением (вытеснение флюида от нагнетательных скважин). $k_{\text{охв}}$ принято определять как $k_{\text{охв}} = \text{КИН} / k_{\text{выт}}$, где КИН — коэффициент извлечения нефти, а $k_{\text{выт}}$ определяется по результатам капиллярметрии на образцах керн. Однако такой расчет можно считать грубым и при этом не учитываются геометрическая сложность контура водонефтяного контакта (ВНК) и истинные площадные характеристики зон, не охваченных разработкой. Поэтому

предложен метод определения $k_{\text{овб}}$. При этом возможно проводить как экспресс-оценку с учетом осредненных параметров пласта, так и учитывать параметры вокруг скважины. Алгоритм, реализующий предлагаемый метод, применим на этапе препроцессинга гидродинамического моделирования (ГДМ) нефтегазового месторождения для оперативного принятия решения об эффективности моделирования и применения той или иной системы расстановки проектных скважин. Тогда алгоритм расчета выглядит следующим образом:

Шаг 1. Пусть в контуре ВНК имеется расстановка скважин, а залежь характеризуется фильтрационно-емкостными свойствами (ФЕС), из которых по формуле Дюпюи рассчитывается радиус влияния скважин [1]. При этом радиусы влияния скважин, в зависимости от наличия исходных данных или необходимой точности предполагаемых расчетов, могут быть как равными для всех скважин, так и рассчитаны для каждой скважины. Кроме того, при расчете радиусов влияния можно учитывать эффективность предполагаемых методов интенсификации добычи (гидравлический разрыв пласта (ГРП), кислотная обработка призабойной зоны и т. п.).

Шаг 2. Вокруг всех скважин строятся зоны влияния, ограниченные рассчитанными на Шаге 1 радиусами.

Шаг 3. Законтурная область, именуемая аквифером, также оказывает влияние на залежь, поэтому рассчитывается буферная зона в направлении центра залежи с расстоянием, равным радиусу влияния, рассчитанного для осредненных показателей ФЕС залежи без учета методов интенсификации.

Шаг 2. $k_{\text{овб.выт}}$ рассчитывается следующим образом:

$$k_{\text{овб.выт}} = (\sum S_i + S_{\text{акв}}) / S_{\text{ВНК}},$$

где S_i – площадь вокруг скважины, охваченная радиусом влияния, n – количество скважин, $i=1, \dots, n$, $S_{\text{акв}}$ – площадь буферной зоны влияния от аквифера, $S_{\text{ВНК}}$ – площадь залежи внутри контура ВНК.

На рис. 1, а, проиллюстрирован описанный выше алгоритм. Изображена схема расстановки скважин с шагом 500 м при площади залежи 18,49 км². Расчет показал, что площадь, охваченная радиусами влияния (рассчитаны для ФЕС, характерных для верхнеюрских коллекторов Томской области без учета методов интенсификации добычи, например, ГРП) скважин, равна 7,66 км², влияние аквифера распространяется на площади 1,5 км², $k_{\text{овб.выт}}$ составил 0,495 [2].

При учете методов интенсификации и увеличении воздействия на пласт за счет работы нагнетательных скважин можно добиться увеличения $k_{\text{овб}}$,

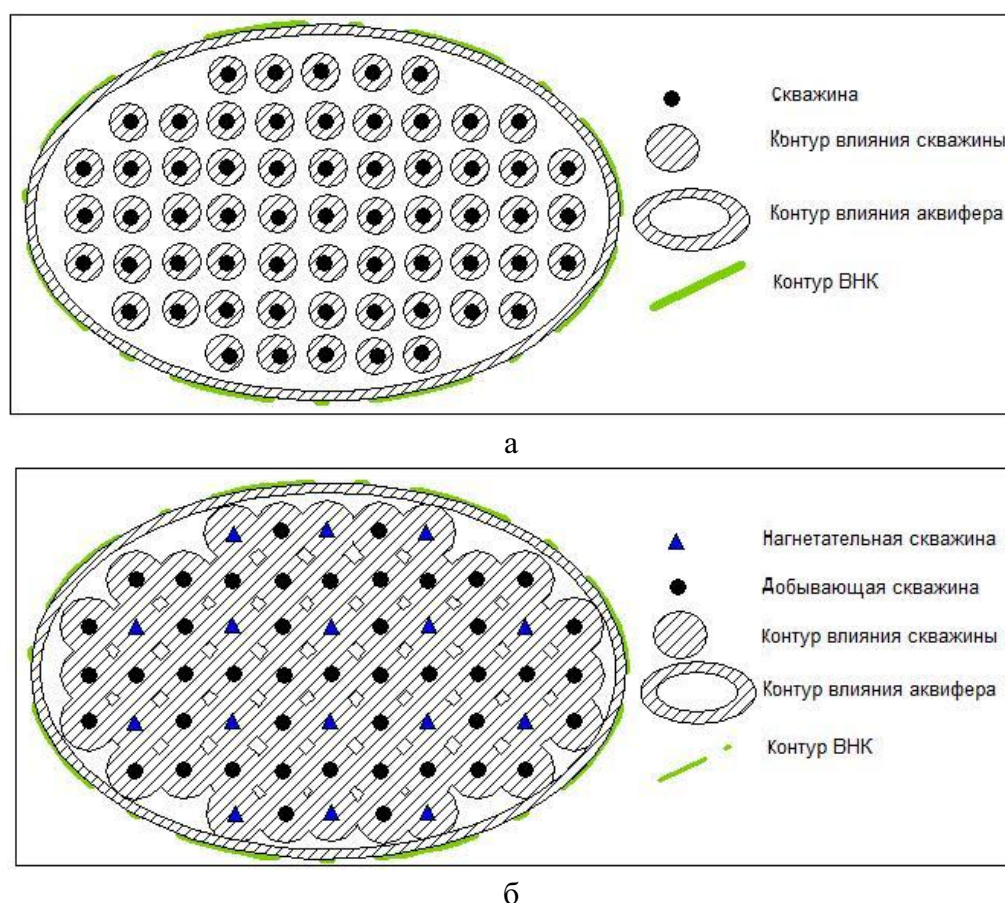


Рис. 1. Оценка $k_{\text{овб.выт}}$ (а) и $k_{\text{овб}}$ (б) с учетом влияния аквифера

рис. 1, б. Площадь, охваченная воздействием скважин, суммарно составила 14,29 км², а $k_{\text{овв}} = 0,854$, что является идеализированной оценкой, поскольку в реальных условиях сложность контура значительно влияет на формирование системы расстановки скважин, на активность работы за-контурной области и, следовательно, на показатель $k_{\text{овв}}$.

Рассмотрим оценку сложности контура ВНК и оценку $k_{\text{овв}}$ для контуров различной сложности.

Идеальный контур стремиться к форме правильной окружности. Рассмотрим контуры (l – длина контура), сформированные в рамках такой окружности ($l_{\text{окр}}$ – длина окружности), и оценим соотношение периметров получаемых контуров и длины описывающих их окружностей (рис. 2).

Для количественной оценки геометрической сложности предложено рассчитывать следующий коэффициент:

$$k_{\text{геом.сл}} = |l/l_{\text{окр}} - 1|.$$

На рисунке отображены процентные выражения коэффициента геометрической сложности контуров. Контуры представлены в зависимости от указанного показателя и отмечены оптимальные с позиции оценки геометрической сложности.

На рис. 3 представлен алгоритм расчета геометрической сложности и экспресс-оценки коэффициента охвата вытеснением.

Рассмотрим применение представленного выше алгоритма на примере одного из месторождений Томской области [3]. На рис. 4 слева показано

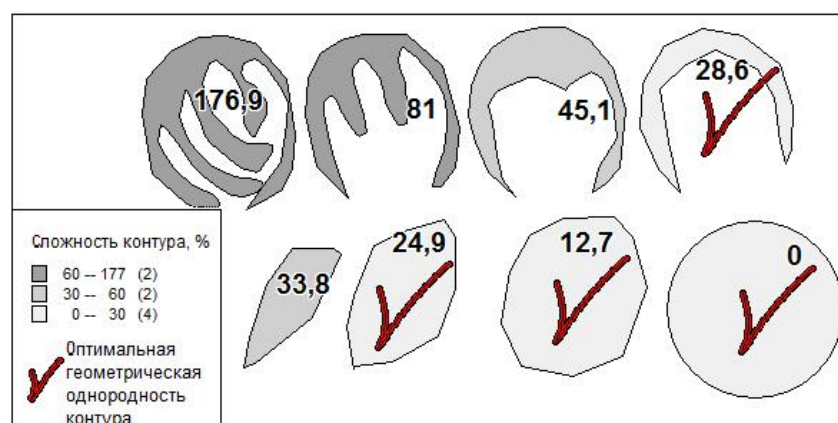


Рис. 2. Оценка геометрической сложности ВНК

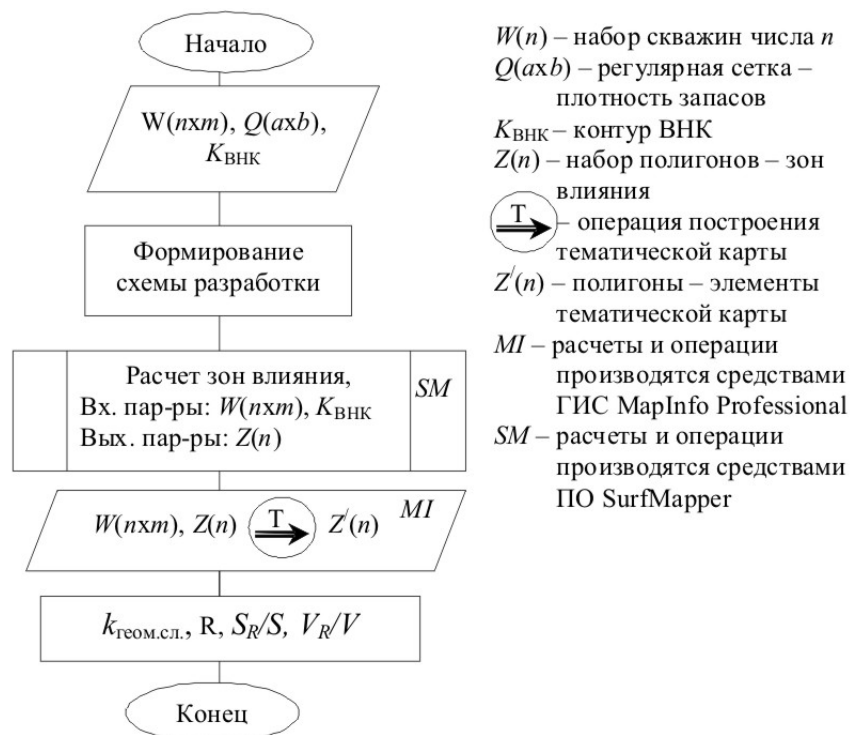


Рис. 3. Алгоритм расчета геометрической сложности контура

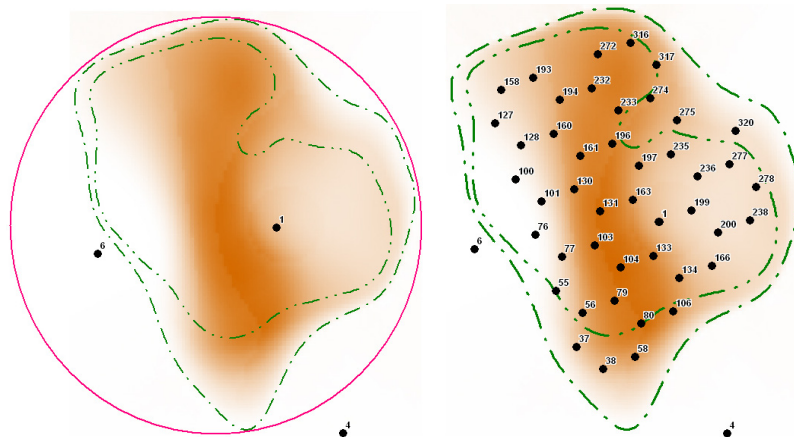


Рис. 4. Распределение плотности запасов и радиус идеального контура (слева) и пример расстановки добывающих скважин при семиточечной системе с шагом сетки 400 м (справа)

Зоны влияния скважин	Радиус влияния без ГРП 237 м Шаг 700 м	Радиус влияния с ГРП 440 м
	$S_R/S=0,168; V_R/V=0,247$	$S_R/S=0,45; V_R/V=0,655$
Шаг 600 м		
	$S_R/S=0,199; V_R/V=0,327$	$S_R/S=0,517; V_R/V=0,8$
Шаг 500 м		
	$S_R/S=0,355; V_R/V=0,520$	$S_R/S=0,646; V_R/V=0,890$

Рис. 5. Расчет максимального коэффициента охвата вытеснением на примере семиточечной системы расстановки

распределение плотности подвижных запасов и радиус идеального контура, который составил 2,5 км, следовательно длина такого контура равна 15,7 км. Длина контура, описывающего границу залежи (ВНК), составляет 13,763 км. Таким образом, $k_{\text{geom.сл}}=0,12$, то есть сложность ВНК составила 12 %, а месторождение по геометрической сложности контура ВНК характеризуется как простое. На рис. 4 справа приведен пример расстановки добывающих скважин при семиточечной системе с шагом сетки (между скважинами) 400 м.

Следует отметить, что влияние аквифера не учитывалось, поскольку его активность мала в силу низкой проницаемости коллектора (ниже 4 мД).

Далее (рис. 5) рассмотрены расстановки с той же системой, но с изменением шага (700, 600 и 500 м). Для каждой из расстановок были построены зоны влияния скважин (слева). Рассчитан радиус влияния из формулы расчета дебита жидкости, который составил 237 м, а при выполнении среднеобъемного ГРП со скин-фактором -4 (дефект призабойной зоны), радиус влияния скважины достигнет 440 м [4].

Площадь внутри контура ВНК составила 16,687 км². Построив указанные выше зоны влияния скважин для каждой расстановки без ГРП и с ГРП, можно определить площадь S_R , которую занимают соответствующие зоны и вычислить соотношение S_R/S , где S — площадь контура, 12,687 км². Поскольку распределение плотности подвижных запасов представлено при помощи регулярной сетки, где каждой ячейке соответствует объем указанных запасов, то, суммируя значения в ячейках, охваченных построенными радиусами, можно посчитать V_R — объем запасов, соответствующий радиусам влияния, и рассчитать V_R/V , где V — объем подвижных запасов по месторождению в целом, 3797,5 тыс. т нефти. Та-

ким образом, $V_R/V \cdot 100$ % будет характеризовать максимальный коэффициент охвата вытеснением подвижных запасов. Если учесть, что коэффициент остаточной нефтенасыщенности составляет 0,25, можно рассчитать прогнозируемый коэффициент охвата вытеснением. В таблице представлены полученные результаты.

Прогнозные показатели $k_{\text{охв.выт.}}$, рассчитанные при помощи предложенного алгоритма экспресс-оценки указанного параметра, отличаются не более чем на 15 % от результатов, полученных по результатам ГДМ. Если учесть влияние на суммарный $k_{\text{охв}}$ нагнетательных скважин, то погрешность расчетов достигнет 5 %.

Таблица. Сравнение показателей $k_{\text{охв}}$, рассчитанных методом экспресс-оценки и по результатам ГДМ

Шаг сетки, м	Без ГРП			С ГРП			$k_{\text{охв}}$ по ГДМ с ГРП
	S_R/S	V_R/V	$k_{\text{охв}}$	S_R/S	V_R/V	$k_{\text{охв}}$	
700	0,168	0,247	0,198	0,45	0,655	0,524	0,619
600	0,199	0,327	0,262	0,517	0,8	0,640	0,670
500	0,355	0,52	0,416	0,646	0,89	0,712	0,587

Таким образом, в статье представлены метод и реализующий его алгоритм для экспресс-оценки коэффициента охвата разработкой месторождений, который является критерием для выбора наиболее приемлемой системы разработки нефтегазовых месторождений. Предложенные средства оптимизируют процесс цифрового 3D-моделирования месторождений, что подтверждено апробацией на примере ряда месторождений Томской области (Широтное, Линейное и т. д.) при создании проектно-технологических документов, таких, как проекты пробной эксплуатации и технологические схемы разработки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каневская Р.Д. Математическое моделирование разработки месторождений нефти и газа с применением гидравлического разрыва пласта. — М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 1999. — 212 с.
2. Пешков В.Е., Соляник А.С., Крылов О.В., Захарова А.А., Тихомирова Н.О. Обоснование моделей прогнозирования проницаемости параметров продуктивных пластов при освоении нефтяных и газовых месторождений // Известия Томского политехнического университета. — 2007. — Т. 310. — № 3. — С. 19–21.
3. Федоров Б.А., Останкова О.С., Чернова О.С., Захарова А.А. Применение седиментологических моделей при проектирова-

- нии разработки Широтного месторождения // Нефтяное хозяйство. — 2006. — № 8. — С. 58–62.
4. Жидкова Н.А., Захарова А.А. Математическое обеспечение программного модуля PWRI-FRAC для прогнозирования параметров трещины в нагнетательных и поглощающих скважинах при давлениях закачки выше давления гидроразрыва пласта // Известия Томского политехнического университета. — 2008. — Т. 314. — № 1. — С. 19–21.

Поступила 21.04.2009 г.