

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«ТЮМЕНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ИНСТИТУТ МАТЕМАТИКИ И КОМПЬЮТЕРНЫХ НАУК
Кафедра фундаментальной математики и механики

РЕКОМЕНДОВАНО К ЗАЩИТЕ В ГЭК

Заведующий кафедрой
к.ф.-м.н.

 А.П. Девятков

27.06 2022г.

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

Магистерская диссертация

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

ДЛЯ ОЦЕНКИ РИСКА ПРОВЕДЕНИЯ

ГЕОЛОГО-ТЕХНИЧЕСКИХ МЕРОПРИЯТИЙ

01.04.01 Математика

Магистерская программа «Вычислительная механика»

Выполнила работу
студент II курса
очной формы обучения



Акберова Эльмира
Техрановна

Руководитель
к.ф.-м.н.



Девятков Антон
Павлович

Рецензент
к.ф.-м.н., заведующий лабораторией
вычислительной гидродинамики НИО
математического моделирования
нефтегазовых месторождений
ТО СургутНИПИнефть
ПАО Сургутнефтегаз



Соколюк Любовь
Николаевна

Тюмень

2022

СОДЕРЖАНИЕ

СПИСОК ТЕРМИНОВ	3
ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА 1. ТЕОРИЯ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ.....	7
1.1. ВИДЫ ФУНКЦИЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ	8
1.2. ЛОГИЧЕСКИЕ ОПЕРАЦИИ НАД НЕЧЕТКИМИ МНОЖЕСТВАМИ.....	9
1.3. МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ФУНКЦИЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ	11
ГЛАВА 2. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ.....	13
2.1. ОЦЕНКА РИСКОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ГТМ	13
2.2 .ОПИСАНИЕ МЕТОДИКИ ПОДБОРА СКВАЖИН-КАНДИДАТОВ НА ГТМ	14
2.3. АЛГОРИТМ ПОДБОРА СКВАЖИН	17
2.4. ПОДГОТОВКА ДАННЫХ	19
2.4.1. Корреляционный анализ	21
2.4.2. Анализ непредставительных данных	23
2.4.3. Нормировка данных	24
2.5.НАСТРОЙКА ФУНКЦИЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ	25
2.5.1. Оценка весовых коэффициентов для каждого атрибута	25
2.5.2. Программа автоматизированного подбора оптимального вида функции принадлежности.....	26
2.5.3. Результаты работы программы	29
2.5.4. Расчет риска и подбор скважин-кандидатов.....	33
2.5.5. Апробация метода	34
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	38
СПИСОК ИЛЛЮСТРАТИВНОГО МАТЕРИАЛА	39
Приложения 1-7	40

СПИСОК ТЕРМИНОВ

Целевая переменная: переменная, которая описывает результат (цель) процесса, в анализе данных такую переменную называют откликом или зависимой переменной.

Атрибуты: признаки, имеющие наиболее тесные связи с целевой переменной.

Нечеткое множество: представляет собой совокупность элементов произвольной природы, относительно которых нельзя точно утверждать – обладают ли эти элементы некоторым характеристическим свойством, которое используется для задания нечеткого множества.

Функция принадлежности нечёткого множества: обобщение индикаторной функции классического множества. В нечёткой логике она представляет степень принадлежности каждого члена пространства рассуждения к данному нечёткому множеству.

Лингвистическая переменная: переменная, которая может принимать значения фраз из естественного или искусственного языка.

Случайная величина: величина, которая в результате опыта может принять то или иное значение, причем не известно заранее, какое именно.

Выборка: множество объектов, отобранных из генеральной совокупности.

Генеральная совокупность: статистическая совокупность, из которой отбирается часть объектов.

Риск: потенциальная, численно измеримая возможность неблагоприятных ситуаций и связанных с ними последствий в виде потерь, убытков в связи с неопределенностью; возможность получения непредсказуемого результата в зависимости от принятого решения, действия.

Корреляция: взаимозависимость двух или нескольких случайных величин. Суть ее заключается в том, что при изменении значения одной переменной происходит закономерное изменение (уменьшение или увеличение) другой переменной.

Корреляционная матрица: это набор значений коэффициента корреляции между переменными, представленный в виде матрицы.

Выбросы: это результаты измерения, выделяющиеся из общей совокупности, иными словами, выбросы – это необычно низкие или высокие значения наблюдаемой величины.

Нормировка: это корректировка значений в соответствии с некоторыми функциями преобразования, с целью сделать их более удобными для сравнения.

ВВЕДЕНИЕ

Основной задачей нефтегазодобывающей промышленности является полное и максимально эффективное извлечение углеводородов на месторождениях любой структуры и сложности геологического строения. Разработка части месторождений в России начиналась ещё во времена СССР, но ввиду несовершенства технологий и недостатка знаний велась не так эффективно: стремительное падение рейтинга добычи, недоизвлечение запасов, рост обводнённости и другие проблемы подобного рода. Для повышения эффективности разработки и стабилизации уровня добычи проводят геолого-технические мероприятия (ГТМ).

Геолого-технические мероприятия – это комплекс мер геологического, технологического, технического и экономического характера, направленный на реализацию проектных решений в целях обеспечения максимальной добычи углеводородов и получения дополнительной прибыли недропользователем.

Первостепенной целью является оптимизация процесса подбора скважин-кандидатов на проведение ГТМ, применяя современные методы и технологии. При принятии решений о целесообразности проведения мероприятия существенную роль играет учет и анализ риска неблагоприятного исхода ГТМ.

В настоящее время существуют различные подходы к оценке рисков. Особый интерес представляет теория нечеткой логики, определяющая современный подход к описанию процессов, в которых присутствуют неопределенность и неточность исходной информации.

В основе нечеткой логики лежит теория нечетких множеств, где функция принадлежности элемента множеству не бинарна (да/нет), а может принимать любое значение в диапазоне 0-1. Это дает возможность определять понятия, нечеткие по самой своей природе: "хороший", "высокий", "сильный" и т.д.

Нечеткая логика дает возможность строить базы знаний и экспертные системы нового поколения, способные хранить и обрабатывать неточную информацию.

Целью выпускной квалификационной работы является создание экспертной системы, основанной на анализе данных, многокритериальном отборе и методах неточной логики.

Для достижения поставленной цели необходимо реализовать следующие этапы:

1. Изучить теорию нечетких множеств
2. Создать алгоритм подбора оптимальных видов функций принадлежности для атрибутов, влияющих на проведение ГТМ
3. Написать программу автоматизированного подбора функций принадлежности в условиях конкретной задачи
4. Подготовить и систематизировать данные по скважинам для использования в работе алгоритма
5. С помощью программы получить оптимальные виды функций принадлежности на основе реальных данных
6. Рассчитать риски проведения ГТМ и отобрать скважины-кандидаты.

Разработка алгоритма проводится с помощью пакета прикладных программ MATLAB.

Объектами исследования являются функции принадлежности, их виды, параметры, целевая переменная, риски проведения ГТМ.

ГЛАВА 1. ТЕОРИЯ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

Математическая теория нечетких множеств и нечеткая логика являются обобщениями классической теории множеств и классической формальной логики. Данные понятия были впервые предложены американским ученым Лотфи Заде в 1965 г. Основной причиной появления новой теории стало наличие нечетких и приближенных рассуждений при описании человеком процессов, систем, объектов [Макеева, с.7-29].

Нечеткая логика представляет собой специальную многозначную логику, нацеленную на обеспечение формальных основ градуированного подхода к нечеткости. Под градуированным подходом понимается общий принцип человеческого мышления, который используется при попытке выяснить, обладает объект свойством в полной мере или только частично, поскольку данное свойство нечетко.

В отличие от классической теории множеств, в которой используется бинарная система оценки (элемент либо принадлежит, либо не принадлежит множеству), в теории нечетких множеств используется непрерывная оценка степени принадлежности (Рисунок 1).

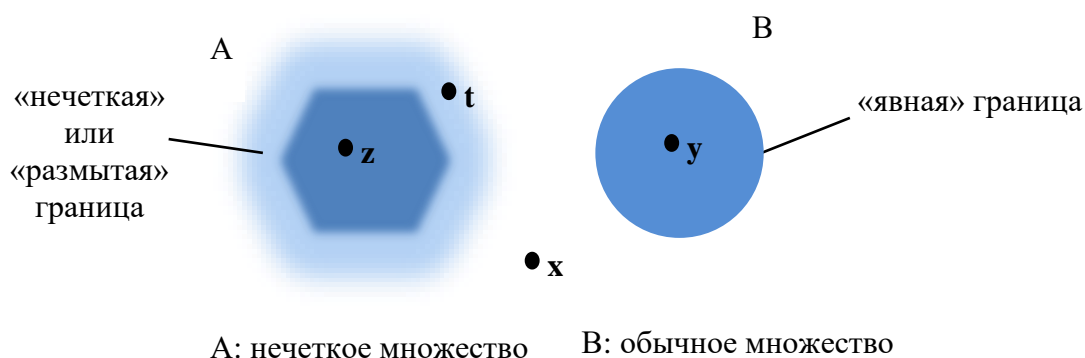


Рис. 1. Сравнение обычного и нечеткого множеств

- x не принадлежит ни A ни B
- y полностью принадлежит B
- z полностью принадлежит A
- t частично принадлежит A.

Степень принадлежности элемента изменяется постепенно и описывается функцией принадлежности $\mu_A: X \rightarrow [0,1]$, которая ставит в соответствие каждому элементу $x \in X$ число $\mu_A(x)$ из промежутка $[0,1]$ [Заде, с.31].

Значение $\mu_A(x)=0$ означает отсутствие принадлежности к множеству, $\mu_A(x)=1$ – полную принадлежность, значения между 0 и 1 характеризуют нечетко включенные элементы (Рисунок 2).

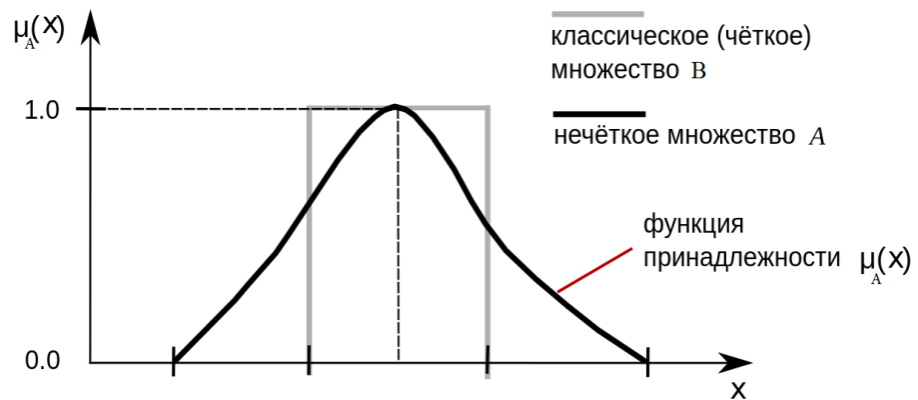


Рис. 2. Функция принадлежности нечеткого множества

1.1. ВИДЫ ФУНКЦИЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

На практике удобно использовать те функции принадлежности, которые допускают аналитическое представление в виде некоторой простой математической функции [Леоненков, с.33-65].

Основными видами функций являются

1. Кусочно-линейные: трапецевидная, треугольная (Рисунок 3);
2. Квадратичный S-сплайн (Рисунок 4, слева);
3. Квадратичный Z-сплайн (Рисунок 4, справа);
4. П-образные: колоколообразная, гауссова (Рисунок 5).



Рис. 3. Вид трапецевидной и треугольной функций принадлежности



Рис. 4. Вид S -образной и Z -образной функций принадлежности



Рис. 5. Вид колоколообразной и гауссовой функций принадлежности

Кроме того, с помощью операций над нечеткими множествами есть возможность использования не только основных видов функций принадлежности.

1.2. ЛОГИЧЕСКИЕ ОПЕРАЦИИ НАД НЕЧЕТКИМИ МНОЖЕСТВАМИ

Ниже приведены некоторые из основных операций, которые можно осуществлять над нечеткими множествами.

- Дополнение нечеткого множества соответствует логическому отрицанию, множества A и \bar{A} дополняют друг друга, если

$$\mu_{\bar{A}}(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (1)$$

где $\mu_A(x)$ – функция принадлежности множества A ,

$\mu_{\bar{A}}(x)$ – функция принадлежности множества \bar{A} .

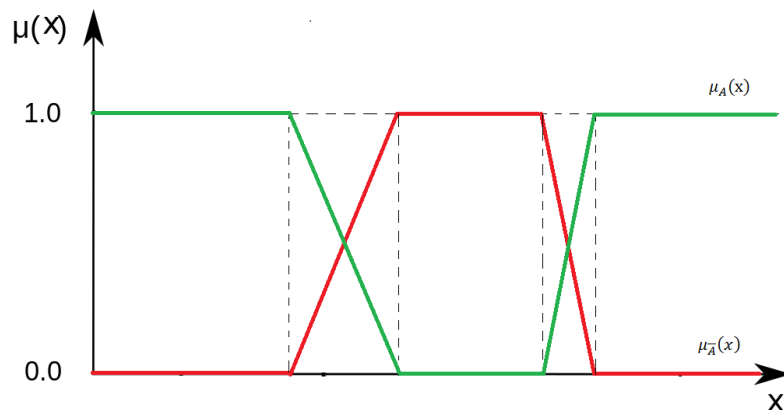


Рис. 6. Отрицание нечеткого множества

- Объединение $A \cup \bar{A}$ нечетких множеств определяется функцией принадлежности

$$\mu_{A \cup \bar{A}}(x) = \max(\mu_A(x), \mu_{\bar{A}}(x)), \quad (2)$$

где $\mu_A(x)$ – функция принадлежности множества A ,

$\mu_{\bar{A}}(x)$ – функция принадлежности множества \bar{A} .

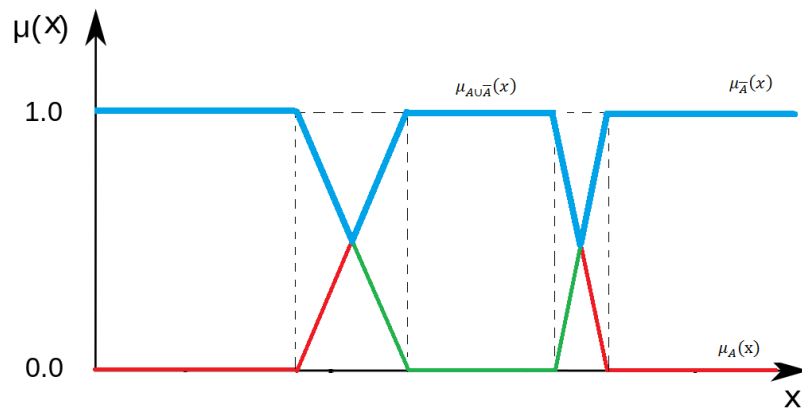


Рис. 7. Объединение нечетких множеств

- Пересечение $A \cap \bar{A}$ нечетких множеств определяется функцией принадлежности

$$\mu_{A \cap \bar{A}}(x) = \min(\mu_A(x), \mu_{\bar{A}}(x)), \quad (3)$$

где $\mu_A(x)$ – функция принадлежности множества A ,

$\mu_{\bar{A}}(x)$ – функция принадлежности множества \bar{A} .

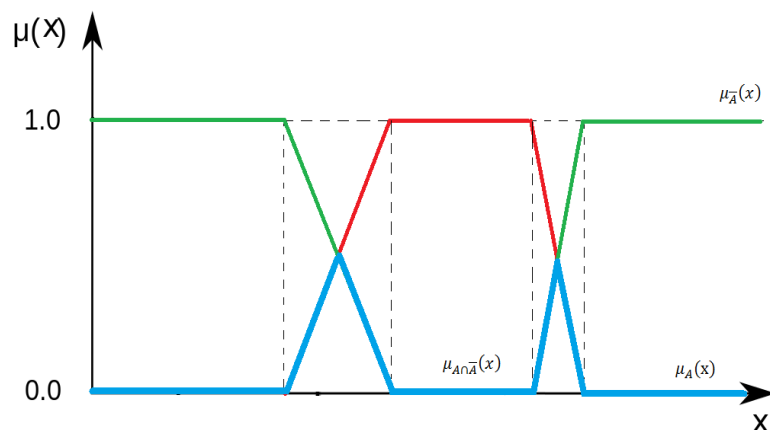


Рис. 8. Пересечение нечетких множеств

- Произведение $A\bar{A}$ нечетких множеств определяется функцией принадлежности

$$\mu_{A\bar{A}}(x) = \mu_A(x) \mu_{\bar{A}}(x), \quad (4)$$

где $\mu_A(x)$ – функция принадлежности множества A ,

$\mu_{\bar{A}}(x)$ – функция принадлежности множества \bar{A} .

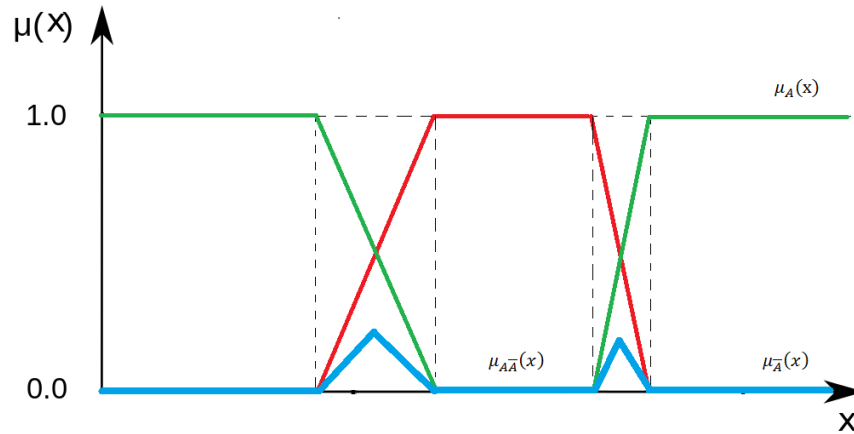


Рис. 9. Произведение нечетких множеств

Частным случаем операции произведения является возведение в степень, в таком случае функция принимает вид

$$\mu_{AA}(x) = \mu_A(x)\mu_A(x), \quad (5)$$

где $\mu_A(x)$ – функция принадлежности множества A , возведенного в степень.

1.3. МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ФУНКЦИЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

Функция принадлежности – это не вероятность, так как не известна функция распределения, нет повторяемости экспериментов.

Значения функции принадлежности $\mu_A(x)$ могут быть взяты только из априорных знаний, интуиции (опыта), опроса экспертов.

Различают два метода построения функций принадлежности.

1. Обычно используются прямые методы, когда эксперт либо просто задает для каждого x значение $\mu_A(x)$ либо определяет функцию принадлежности аналитически, т.е. формулой.

Как правило, прямые методы задания функции принадлежности используются для измеримых понятий, таких как скорость, время, расстояние, давление, температура и т.д.

На практике имеет место субъективная тенденция сдвига экспертами оценки объектов в направлении концов оценочной шкалы, поэтому прямые методы, основанные на непосредственном определении значений функции принадлежности, как правило, используются только в том случае, когда такие ошибки незначительны или маловероятны.

2. Косвенные методы определения значений функции принадлежности применяются в случаях, когда нет элементарных измеримых свойств, через которые определяется нечеткое множество. В таких случаях используются ранговые измерения при попарном сравнении объектов, когда устанавливаются предпочтения объектов при сравнении всех возможных пар.

В косвенных методах значения функции принадлежности выбираются таким образом, чтобы удовлетворять заранее сформулированным условиям. Экспертная информация является только исходными данными для дальнейшей обработки. Дополнительные условия могут налагаться как на вид получаемой информации, так и на процедуру обработки.

Косвенные методы более трудоемки, чем прямые, но их преимущество – в стойкости по отношению к искажениям в ответе.

Косвенные методы, как и прямые методы, также могут быть как для одного эксперта, так и для группы экспертов.

ГЛАВА 2. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ

2.1. ОЦЕНКА РИСКОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ГТМ

При принятии решений о целесообразности проведения ГТМ в области повышения производительности скважин существенную роль играет учет и анализ риска неблагоприятного исхода ГТМ. Под риском здесь следует понимать возможность возникновения в ходе реализации мероприятий неблагоприятных ситуаций и последствий (потери, убытки, ущерб).

Реализация проекта ГТМ идет в условиях неопределенности и рисков, и эти две категории взаимосвязаны. При этом неопределенность - это неполнота или неточность информации об условиях реализации проекта, в том числе связанных с ними затратах и результатах [Бекетов, Акелян, с.277].

Таким образом, видна взаимосвязь рассмотренных категорий (Рисунок 10).



Рис. 10. Взаимосвязь риска с неопределенностью и потерей

Любое принятие решений предполагает выполнение ряда последовательных действий:

- Выявление возможных вариантов действий
- Описание факторов неопределенности, т.е. будущих событий
- Оценка результатов (последствий) принимаемых решений.

Для рассматриваемого нами случая – проведение ГТМ, под выявлением возможных вариантов действия подразумевается выбор скважины-кандидата и проведение какого-либо вида работ в ней.

2.2 .ОПИСАНИЕ МЕТОДИКИ ПОДБОРА СКВАЖИН-КАНДИДАТОВ НА ГТМ

В основу алгоритма положена гипотеза: для высокодебитных скважин характерны определенные геолого-технологические условия. Вероятно, существуют скважины, находящиеся в схожих геолого-технологических условиях с высокодебитными, но не работающие также эффективно. Эти скважины считаем перспективными с точки зрения проведения ГТМ [Галиуллин, Шабаров, с.30-37].

Поиск скважин, находящихся в аналогичных геолого-технологических условиях с высокодебитными скважинами, согласно предлагаемой методике, осуществляется на трех основных этапах. На первом этапе отбираются скважины, которые по своим геологическим условиям по аналогии с высокодебитными могут иметь высокую продуктивность. На втором этапе выбираются скважины, которые имеют сочетание эксплуатационно-технологических факторов на текущую дату аналогично высокодебитным скважинам на момент времени, предшествующий эффективному ГТМ. На третьем этапе составляется рейтинговый список скважин-кандидатов, отобранных как перспективные, одновременно как на первом, так и на втором этапе.

Оптимальный алгоритм поиска скважин-кандидатов на ГТМ можно наглядно представить с помощью блок-схемы (Рисунок 11).

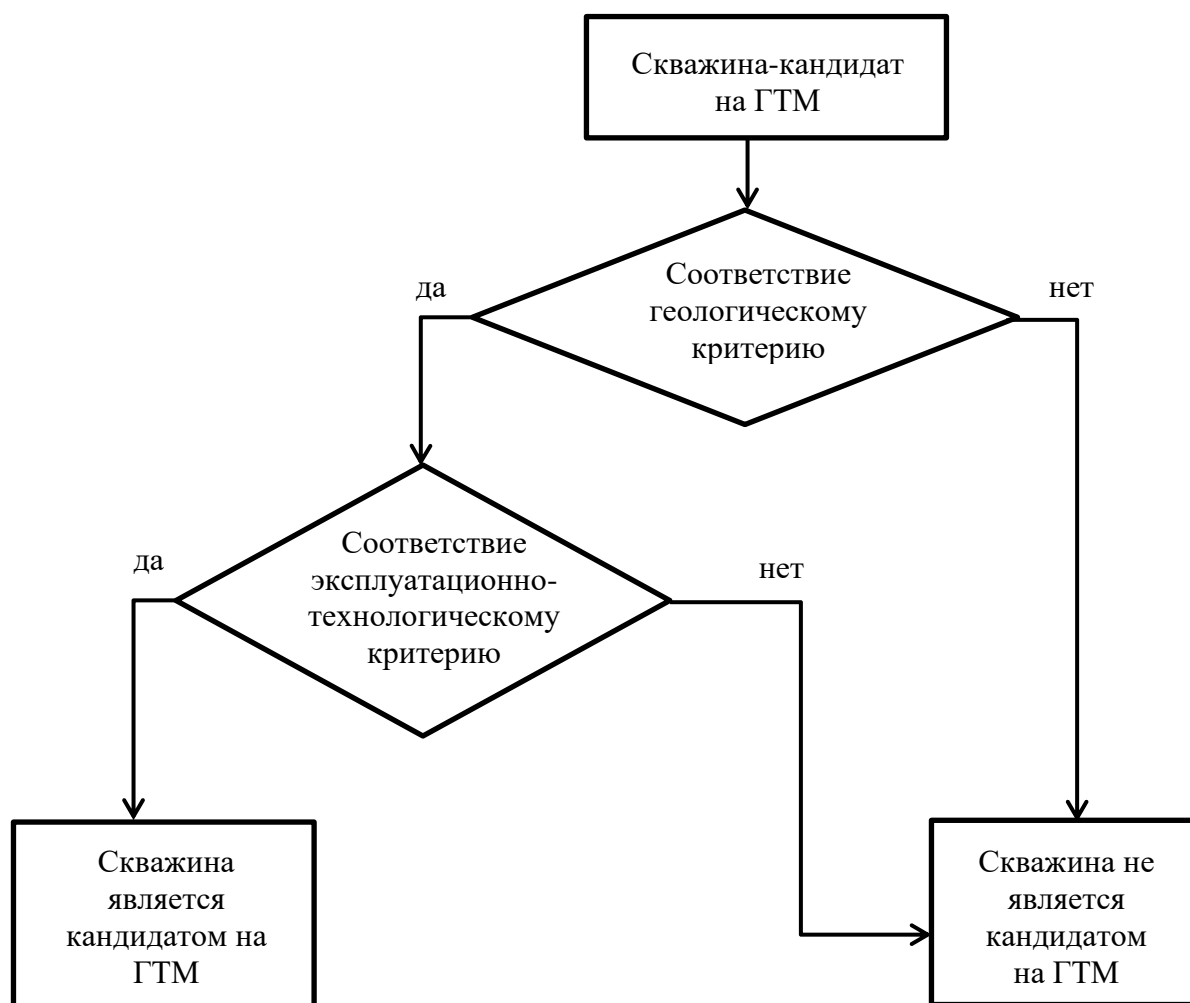


Рис. 11. Блок-схема выбора кандидатов на ГТМ

Несмотря на простоту схемы, задача по поиску скважин-кандидатов является трудоемкой, особенно на месторождениях с большим фондом и длительной историей разработки.

Для оптимизации задачи по поиску кандидатов на ГТМ, в том числе для определения соответствия скважин-кандидатов геологическому и технологическому критериям в данной работе рассмотрено применение теории нечетких множеств. Если же строить отбор скважин в рамках классической логики, где выражение может принимать значение либо «истина» либо «ложь», то возникает структурная проблема — определение границ, до и после которых скважина имеет подходящие значение.

С целью комплексного учета всей имеющейся геологической и эксплуатационно-технологической информации сформулированы комплексные критерии, которые формируются на основе лингвистических переменных (высказываний) относительно каждого из факторов и оценки степени принадлежности в отношении конкретного фактора. Например, если оценивать значение нефтенасыщенной толщины пласта в скважине как пример одного из факторов, влияющих на работу нефтяной скважины, можно сформулировать высказывание «большая нефтенасыщенная толщина» и оценивать степень принадлежности к высказыванию параметра данного объекта.

В предлагаемой методике в геологический и эксплуатационно-технологический критерий комплексированы не сами значения факторов, а степень принадлежности сформулированным нечетким лингвистическим переменным (высказываниям). Такой подход, во-первых, позволяет получить единый комплексный критерий, который содержит в себе необходимые измеримые факторы, во-вторых, является достаточно гибким для принятия решения о скважинах-кандидатах для проведения ГТМ.

В расчете геологического и эксплуатационно-технологического критериев учитываются весовые коэффициенты факторов в соответствии с условиями:

- всем разработанным критериям должна быть присвоена весовая доля (значимость критерия),
- сумма весовых долей для одного вида ГТМ всегда должна быть равна 1.0.

Использование весов позволяет нивелировать вклад в общий комплексный критерий малозначимых параметров.

В результате подбора скважин-кандидатов

- все разработанные критерии имеют диапазон изменения значений $(0,1)$,
- равенство комплексного критерия нулю говорит об исключении скважины из списка кандидатов,

- значения комплексного критерия ближе к 1 свидетельствует о большем предпочтении кандидата на проведение ГТМ,
- полученный результат зависит от вида принимаемой функции принадлежности для каждого фактора, поэтому важной задачей являются выбор и настройка функции принадлежности.

Расчет всех критериев проводится с помощью мультипликативной свертки, которая предполагает преобразование набора имеющихся частных критериев в один общий критерий путем их произведения

$$F(a_i) = \prod_{i=1}^n a^{w_i} , \quad (6)$$

где $F(a_i)$ – мультипликативная свертка,

a_i – частные критерии,

w_i – весовые доли частных критериев.

При этом должны быть выполнены условия:

$$0 \leq a_i \leq 1$$

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1.$$

2.3. АЛГОРИТМ ПОДБОРА СКВАЖИН

Алгоритм, реализующий разработанный метод подбора скважин-кандидатов для ГТМ на добывающем фонде, включает следующие этапы:

1. Отбор геологических и эксплуатационно-технологических факторов, наиболее влияющих на целевую переменную.
2. Систематизация и обработка информации о скважинах, полученной при разведке, разработке и эксплуатации месторождений.
3. Оценка весов $w_i(1, 2, \dots, n)$ и $w_j(1, 2, \dots, m)$ для каждого атрибута (n – количество геологических показателей, участвующих в расчете, m – количество эксплуатационно-технологических показателей).

4. Настройка функций принадлежности μ_{1i} ($i=1, 2, \dots, n$) путем экспертной оценки параметров для каждого из геологических факторов.

5. Настройка функций принадлежности μ_{2j} ($j=1, 2, \dots, m$) путем экспертной оценки параметров для каждого из эксплуатационно-технологических факторов.

6. Расчет критерия по геологическим факторам (КГ) и по эксплуатационно-технологическим (КЭТ) для каждой скважины месторождения.

$$K_{\Gamma} = \left(\prod_{i=1}^n (\mu_{1i}(x))^{w_i} \right)^{\frac{1}{\sum_{i=1}^n w_i}}, \quad (7)$$

где K_{Γ} — геологический критерий,

μ_{1i} — значение функции принадлежности по i -му критерию,

w_i — экспертно заданный весовой коэффициент i -го критерия,

n — количество геологических факторов.

$$K_{\text{ЭТ}} = \left(\prod_{j=1}^m (\mu_{2j}(x))^{w_j} \right)^{\frac{1}{\sum_{j=1}^m w_j}}, \quad (8)$$

где $K_{\text{ЭТ}}$ — эксплуатационно-технологический критерий,

μ_{2j} — значение функции принадлежности по j -му критерию,

w_j — экспертно заданный весовой коэффициент j -го критерия,

m — количество эксплуатационно-технологических факторов.

В приведенных формулах комплексирование производится с учетом весовых коэффициентов, которые изменяются от w_{\min} до 1, что позволяет учитывать значимость параметров или нивелировать вклад в общий комплексный критерий малозначимых параметров.

7. В качестве операции комплексирования критериев используется наиболее категорическая операция «И», таким образом получено значения общего комплексного критерия

$$KK = \sqrt{K_{\Gamma} * K_{\text{ЭТ}}}. \quad (9)$$

Заметим, что противоположная величина характеризует степень риска

$$P = 1 - KK. \quad (10)$$

8. Формирование списка скважин-кандидатов для ГТМ на основании комплексного критерия.

На данный момент в работе является актуальным автоматизированный подбор функций принадлежности и их параметров.

2.4. ПОДГОТОВКА ДАННЫХ

Для проведения расчета важно выбрать конкретный вид ГТМ, целевую переменную, характеризующую результат проведения мероприятия, собрать, обработать и систематизировать имеющуюся информацию о скважинах.

В качестве геолого-технического мероприятия, по которому составляется выборка с данными по всем проведенным мероприятиям, использована обработка призабойной зоны пласта.

Основными факторами, влияющими на процесс разработки залежей углеводородов, являются геологические и технологические показатели.

К геологическим факторам, определяющим эффективность разработки, относятся геологическая неоднородность залежей (эффективная толщина продуктивного пласта, песчанистость), изменчивость физико-химических характеристик пласта (пористость, проницаемость).

К технологическим факторам, оказывающим значимое влияние на коэффициент извлечения, относятся система разработки (количество добывающих и нагнетательных скважин, система их расположения), темп ввода залежи в разработку, темп отбора.

В качестве целевой переменной будем использовать дополнительную добычу, характеризующую результат проведения ОПЗ. В данном случае целевая переменная является показателем успешности мероприятия, то есть, чем она выше, тем успешнее мероприятие.

По проведенным ОПЗ отберем с помощью корреляционного анализа наиболее подходящие факторы, влияющие на целевую переменную, из следующих возможных:

- обводненность до ГТМ , [%]
- коэффициент продуктивности, [т/сут /мПа]
- проницаемость, [мд.]
- песчанность, [д.ед.]
- эффективная мощность пласта, [м]
- расчлененность, [ед.]
- кН, [мд*м]
- амплитудный дебит жидкости, [т/сут]
- амплитудный коэффициент продуктивности, [т/сут /мПа]
- пластовое давление, [атм.]
- общая мощность пласта [м]
- начальное давление закачки, [мПа]
- объем агента, [м³]
- относительный коэффициент продуктивности, [д.ед.]
- относительный дебит жидкости, [д.ед.]
- перфорированная мощность пласта, [м]
- пористость, [д.ед.]
- дебит жидкости до ГТМ, [т/сут]
- дебит нефти до ГТМ, [т/сут].

Вторым этапом необходимо проверить отобранные показатели на наличие непредставительных данных и избавиться от выбросов, третьим - обезразмерить целевую переменную с помощью нормировки для возможности дальнейшего сопоставления с комплексным критерием.

2.4.1. Корреляционный анализ

Корреляционный анализ занимается степенью связи между двумя переменными. Коэффициент корреляции широко применяется в анализе для отбора переменных в аналитические модели и выявления наиболее значимых признаков с точки зрения решаемой задачи.

Корреляция — взаимозависимость двух или нескольких случайных величин. Суть ее заключается в том, что при изменении значения одной переменной происходит закономерное изменение (уменьшение или увеличение) другой переменной.

При расчете корреляций пытаются определить, существует ли статистически достоверная связь между двумя или несколькими переменными в одной или нескольких выборках.

Корреляционная зависимость отражает только взаимосвязь между переменными и не говорит о причинно-следственных связях.

Коэффициент корреляции r_{xy} характеризует величину, отражающую степень взаимосвязи двух переменных x и y между собой. Он может варьировать в пределах от -1 (отрицательная корреляция) до 1 (положительная корреляция). Для вычисления представлена следующая формула:

$$r_{xy} = \frac{n \sum_{i=1}^n X_i Y_i - (\sum_{i=1}^n X_i) \cdot (\sum_{i=1}^n Y_i)}{\sqrt{(n \sum_{i=1}^n X_i^2 - (\sum_{i=1}^n X_i)^2)} \cdot \sqrt{(n \sum_{i=1}^n Y_i^2 - (\sum_{i=1}^n Y_i)^2)}}, \quad (11)$$

где X_i, Y_i — значение переменных,

n — объем выборки,

r_{xy} — коэффициент корреляции.

Если коэффициент корреляции r_{xy} ближе к 1 (или -1) то говорится о сильной корреляции, а если ближе к 0, то о слабой.

Если $r_{xy} = 0$, то это говорит об отсутствии корреляционных связей между переменными.

При $r_{xy} > 0$ увеличение (или уменьшение) значений одной переменной ведет к закономерному увеличению (или уменьшению) другой переменной, т.е. взаимосвязи типа увеличение-увеличение (уменьшение-уменьшение).

При $r_{xy} < 0$ увеличение (или уменьшение) значений одной переменной ведет к закономерному уменьшению (или увеличению) другой переменной, т.е. взаимосвязи типа увеличение-уменьшение (уменьшение-увеличение).

Далее необходимо провести отбор геологических и эксплуатационно-технологических атрибутов, наиболее влияющих на целевую переменную, с помощью корреляционной матрицы.

Текущий список параметров получен методом исключения наименее влияющих и наиболее заполненных параметров из исходного списка. Отобранные параметры проверены на наличие корреляционной связи с дополнительной добычей (Таблица 1).

Таблица 1

Корреляционная матрица показателей

Параметр	Обводненность	Общая мощность	Относит. коэфф. прод-ти	Относит. дебит жидкости	Песчанность	Проницаемость	Доп. добыча
Обводненность	1	0.14	0.06	-0.09	0.04	0.03	-0.06
Общая мощность	0.14	1	0.04	-0.08	-0.25	-0.15	-0.04
Относит. коэфф. прод-ти	0.06	0.04	1	0.18	0.35	0.09	-0.02
Относит. дебит жидкости	-0.09	-0.08	0.18	1	0.2	-0.09	-0.16
Песчанность	0.04	-0.25	0.35	0.2	1	0.16	0.13
Проницаемость	0.03	-0.15	0.09	-0.09	0.16	1	0.28
Доп. добыча	-0.06	-0.04	-0.02	-0.16	0.13	0.28	1

В результате получаем входные параметры: общая мощность пласта, проницаемость, песчанистость относятся к геологическим, обводненность до ГТМ, относительный коэффициент продуктивности, относительный дебит жидкости – к эксплуатационно-технологическим.

Следующим шагом после отбора значимых показателей является анализ данных на наличие выбросов.

2.4.2. Анализ непредставительных данных

Искажение статистической модели – одна из самых актуальных проблем, которая, как правило, связана с наличием выбросов в ней.

Выявление непредставительных данных это процесс, который необходим для последующего моделирования. Пренебрежительное отношение к наличию выбросов может привести к искаженным выводам о наблюдении процесса и некорректным результатам последующего анализа.

На рисунке 12 графически отмечены значения обводненности каждой скважины, где явно выделяются из общей выборки скважины с обводненностью менее 20% , они и являются выбросами.

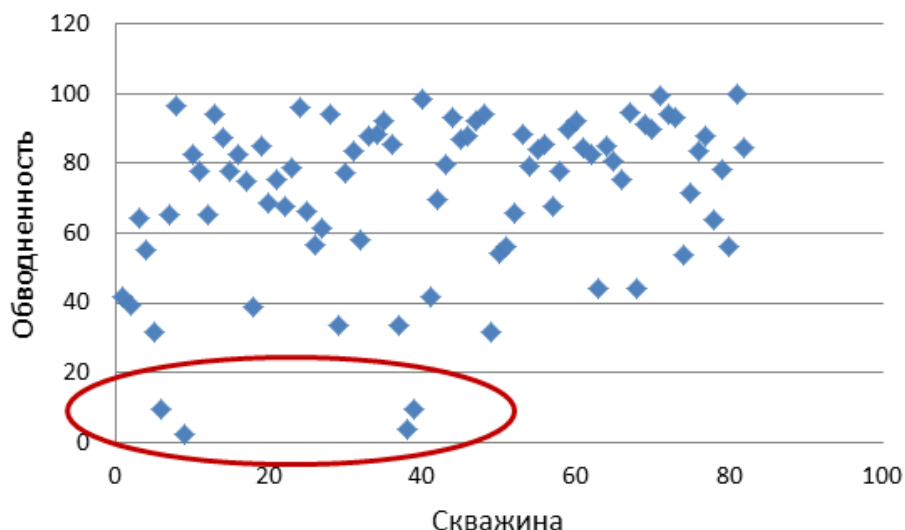


Рис. 12. Наличие выбросов в распределении обводненности

Чтобы подготовить данные к расчету необходимо избавиться от выбросов по всем показателям, участвующим в анализе.

Квантиль – это значение, ниже которого лежит определённое число наблюдений, соответствующих выбранной частоте.

Квартили — это квантили, кратные 25%, то есть соответствующие 25%, 50% и 75%. Их называют соответственно «первый», «второй», «третий» или «нижний», «средний», «верхний».

Основой для расчета минимального и максимального значений, до и после которых случайная величина считается выбросом, служит межквартильное расстояние, определяемое с помощью квартилей.

Все, что не попадает в диапазон между квартилями, считается выбросом:

$$\left[(x_{25} - 1.5(x_{75} - x_{25})), (x_{75} + 1.5(x_{75} - x_{25})) \right], \quad (12)$$

где x_{25} , x_{75} – квартиль 25% и 75% соответственно, n – размер выборки.

2.4.3. Нормировка данных

Необходимость нормализации выборок данных обусловлена природой используемых алгоритмов и моделей. Исходные значения признаков могут изменяться в очень большом диапазоне и отличаться друг от друга на несколько порядков. Результаты расчета и целевая переменная не должны зависеть от единиц измерения этих величин, иначе их невозможно сравнить, а значит, есть необходимость приведения данных к единому масштабу путем нормировки данных.

Нормировка данных состоит в преобразовании данных к новой форме представления. Такие преобразования позволяют исключить влияние на результаты анализа принятых единиц измерения.

Так как полученные риски (комплексные критерии) проведения ГТМ (изменяются от 0 до 1) необходимо сравнить с целевой переменной, то она должна принимать значения в диапазоне от 0 до 1 включительно, для этого нормируем дополнительную добычу по формуле

$$y_i = \frac{x_i - x_{min}}{x_{max} - x_{min}}, \quad (13)$$

где x_i – значение доп. добычи i -ой скважины,

x_{min}, x_{max} – минимальное и максимальное значения доп. добычи,

y_i – нормированное значение доп. добычи.

В данном случае $x_{max}=4.24$, $x_{min}=0.01$. После нормировки максимальное значение $x_{max}=1$, минимальное $x_{min}=0$.

Получаем таблицу исходных данных для скважин, в которой указаны значения показателей и нормированного прироста дополнительной добычи (Приложение 2).

2.5. НАСТРОЙКА ФУНКЦИЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

2.5.1. Оценка весовых коэффициентов для каждого атрибута

Настройка весов позволяет учитывать значимость параметров или нивелировать вклад в общий комплексный критерий малозначимых параметров.

Всем показателям должна быть присвоена весовая доля (значимость критерия), изменяющаяся от 0 до 1, при этом сумма весовых долей геологических и эксплуатационно-технологических в совокупности всегда должна быть равна 1.

Расчет весовых коэффициентов представляет собой отдельную задачу, по этой причине на практике иногда делают допущение о том, что все параметры влияют на успешность скважины в равной степени. Зачастую весовые коэффициенты задаются экспертом исходя из имеющихся знаний и опыта.

Определим значимость параметров с помощью использованного ранее корреляционного анализа:

- вычисляем модуль каждого коэффициента корреляции, так как на данном этапе важна степень значимости показателей, а не тип взаимосвязи (прямая или обратная) между показателем и целевой переменной,

- вычисляем сумму модулей коэффициентов корреляции, чтобы найти повышающий коэффициент, с помощью которого можно достигнуть суммы равной 1 (так как сумма всех весовых коэффициентов должна быть равна единице),
- находим повышающий коэффициент k , разделив 1 на сумму модулей коэффициентов корреляции,
- рассчитываем веса, умножая модуль коэффициента корреляции на повышающий коэффициент по каждому показателю (Таблица 3).

Таблица 3

Весовые коэффициенты показателей

Параметр	Коэффициент корреляции с доп. добычей	Модуль коэффициента корреляции	Весовые коэффициенты
Обводненность до ГТМ	-0.06	0.06	0.09
Общая мощность пласта	-0.04	0.04	0.06
Относительный коэффициент продуктивности	-0.02	0.02	0.03
Относительный дебит жидкости	-0.16	0.16	0.22
Песчанистость	0.13	0.13	0.19
Проницаемость	0.28	0.28	0.41
Сумма		0.69	1.00
Повышающий коэффициент		1.45	

В результате вычислений получили весовые коэффициенты параметров, сумма весов геологических параметров -0.66, эксплуатационно-технологических – 0.34, общая сумма равна единице.

2.5.2. Программа автоматизированного подбора оптимального вида функции принадлежности

Для повышения качества оценок написана программа, реализующая алгоритм автоматического определения оптимальных значений управляющих параметров ФП для сформулированной задачи.

Удобными для задания лингвистических терминов естественного языка являются монотонно возрастающие или убывающие кривые, поэтому в программе будем использовать 2 вида функций принадлежности с двумя параметрами:

- s-образная

$$\mu(x, a, b) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ 2 \left(\frac{x-a}{b-a} \right)^2, & a < x \leq \frac{a+b}{2} \\ 1 - 2 \left(\frac{x-b}{b-a} \right)^2, & \frac{a+b}{2} < x < b \\ 1, & x \geq b \end{cases}, \quad (14)$$

a,b – параметры.

- z-образная

$$\mu(x, a, b) = \begin{cases} 1, & x \leq a \\ 1 - 2 \left(\frac{x-a}{b-a} \right)^2, & a < x \leq \frac{a+b}{2} \\ 2 \left(\frac{x-b}{b-a} \right)^2, & \frac{a+b}{2} < x < b \\ 0, & x \geq b \end{cases}, \quad (15)$$

a,b – параметры.

Входные данные:

- проницаемость
- общая мощность пласта
- песчанистость
- относительный дебит жидкости
- обводненность до ГТМ
- относительный коэффициент продуктивности
- дополнительная добыча
- количество разбиений

- весовые коэффициенты.

Основная идея программы:

Для автоматизированного подбора вида функций принадлежности программа осуществляет перебор 2 видов функций и их параметров. Для каждого перебора находятся геологический, эксплуатационно-технологический и комплексный критерии. Модуль разности комплексного критерия и целевой переменной суммируется, оптимальным набором функций является тот, для которого сумма (погрешность) была минимальной.

Выходные данные:

- минимальная сумма
- 6 подобранных функций принадлежности с параметрами a , b для каждого показателя

Разработанный алгоритм работы программы:

1. Импорт входных параметров из Microsoft Excel с соответствующими обозначениями:

2. Для перебора всех возможных параметров необходимо задать количество разбиений $krazb$ и шаг sh_k

$$sh_k = \frac{\max_k - \min_k}{krazb}, \quad (16)$$

где k – количество показателей,

$krazb$ – количество разбиений,

\max_k и \min_k – максимальное и минимальное значения по каждому показателю.

3. Задаем набор значений параметров a и b для каждого геологического показателя и эксплуатационно-технологического, которые будут изменяться от минимального значения до максимального по каждому атрибуту с полученным ранее шагом.

4. Изменяющаяся переменная $func$ определяет вид функции

принадлежности для каждого атрибута. Если переменная принимает значение 1, то функция принадлежности s-образная и мы используем встроенную в Matlab функцию $smf(a,b)$, если 2, то функция принадлежности z-образная, задаваемая функцией $zmf(a,b)$.

5. В цикле от 1 до $(krazb+1)$ изменяются параметры и выводятся на экран.

6. Создаем цикл перебора видов функций принадлежности для первого геологического показателя, в нем – для второго и так далее до последнего технологического.

Для удобства перебор по каждому показателю происходит в отдельном скрипте и «вызывается» в предыдущем.

7. Для каждого набора значений параметров происходит расчет геологического Kg , эксплуатационно-технологического Kt и комплексного критериев KK с учетом весовых коэффициентов, найденных нами ранее.

8. Рассчитываем модуль разности полученного комплексного критерия и целевой переменной, получаем массив с количеством элементов равным количеству скважин. Суммируем эти числа и находим минимальную сумму (отклонение), для которой в отдельных переменных “запоминаем” вид наиболее подходящих функций и их параметров.

9. Аналогично перебираем все возможные комбинации различных видов функций принадлежности для каждого показателя и проводим дальнейшие расчеты.

10. Выводим минимальную сумму, комплексный критерий, вид и параметры всех функций принадлежности.

2.5.3. Результаты работы программы

После использования подготовленных ранее исходных данных в разработанном алгоритме получены оптимальные виды и параметры функций принадлежности (Таблица 4), результаты расчета геологического, эксплуатационно-технологического и комплексного критериев приведены в таблице 5

(Приложение 6).

Таблица 4

Результаты работы программы

Показатель\ результат	Проница- емость	Общая мощность пласта	Песчанис- тость	Относит. дебит жидкост и	Обводнен- ность до ГТМ	Относит. коэффици- ент продуктив- ности
шаг разбиения	0.539	0.462	0.002	0.003	0.332	0.027
минимум	0.900	26.290	0.010	0.590	33.550	0.200
максимум	108.613	118.720	0.457	1.250	100.000	5.490
вид функции	s	z	s	z	z	z
a=	43.985	63.262	0.189	0.854	60.130	2.316
b=	87.609	100.696	0.370	1.121	87.042	4.459
сумма	6.810					

Таким образом, такие показатели как проницаемость и песчанность имеют возрастающую функцию принадлежности, а обводненность, общая мощность, относительный дебит жидкости и относительный коэффициент продуктивности характеризуются убывающей функцией. Результаты соответствуют лингвистическим переменным (высказываниям) экспертов о том, что проницаемость и песчанность являются положительно влияющими факторами, а остальные показатели, использованные в расчете, – отрицательно влияющими, что также подтверждается в корреляционном анализе. Графики полученных функций представлены на рисунке 13.

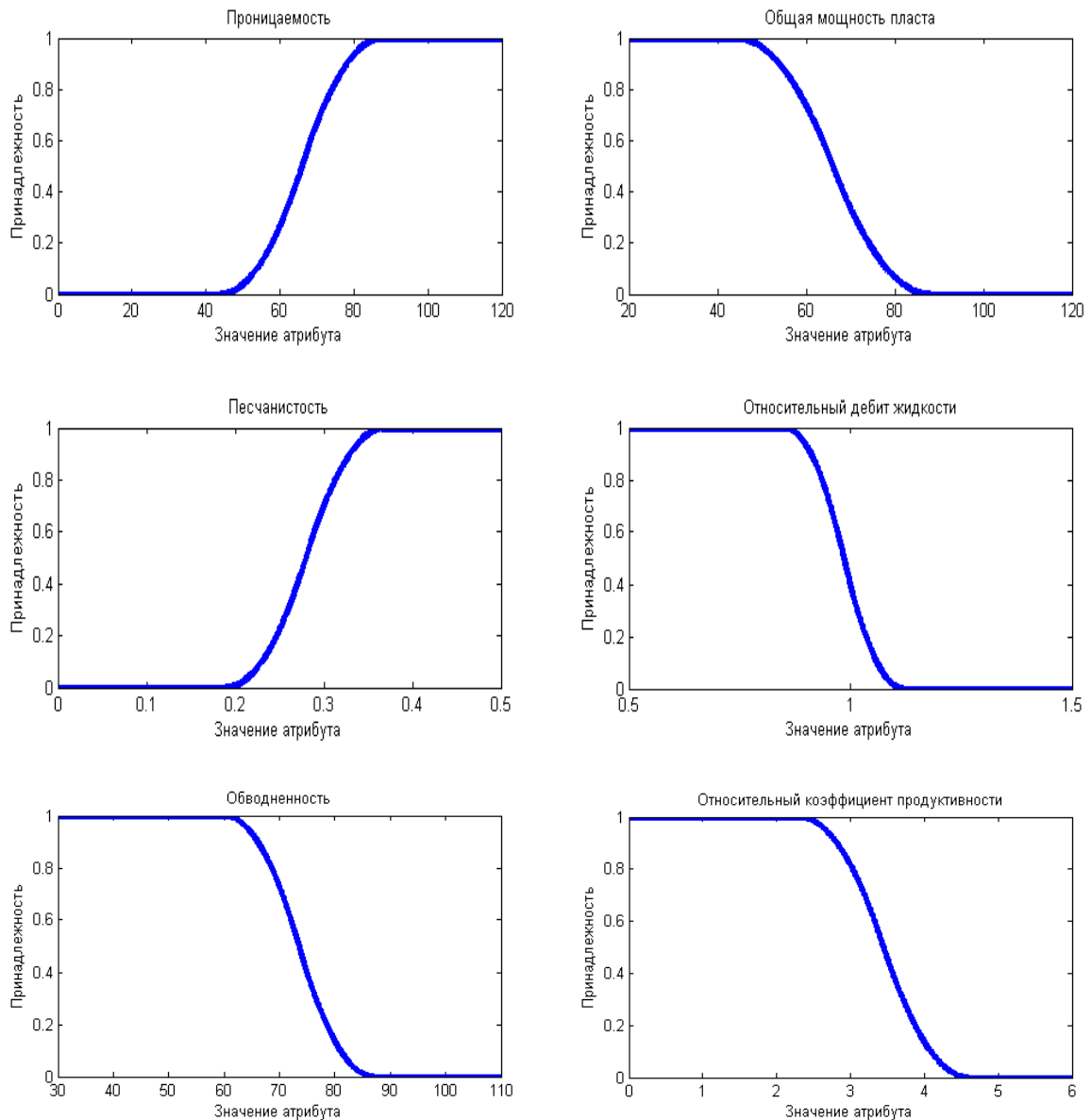


Рис. 13. Вид подобранных функций принадлежности

Также стоит отметить, что можно провести расчет неуспешности ГТМ, результаты которого представляют собой риски, являющиеся отрицанием (дополнением) к множеству комплексных критериев. Такой расчет проводится с целевой переменной – показателем неуспешности мероприятия. В данной задаче с помощью операции «дополнение» нечеткого множества необходимо найти величину, определяемую как разность единицы и значения нормированной дополнительной добычи по каждой скважине, полученный результат и будет целевой переменной риска. Алгоритм используется тот же, что и для комплексного критерия, но с использованием значений функций

принадлежности, полученных с помощью операции отрицания. Например, для расчета риска геологический критерий для каждой скважины имеет вид

$$K_{\Gamma} = \left(\prod_{i=1}^n (1 - \mu_{1i}(x))^{w_i} \right)^{\frac{1}{\sum_{i=1}^n w_i}}, \quad (17)$$

где K_{Γ} — геологический критерий,

μ_{1i} — значение функции принадлежности неуспешности мероприятия по i -му критерию,

w_i — экспертно заданный весовой коэффициент i -го критерия,

n — количество атрибутов.

Соответственно скважинами-кандидатами на ГТМ при таком расчете будут те скважины, которые имеют наименьшие риски, приближенные к нулю.

2.5.4. Расчет риска и подбор скважин-кандидатов

Полученные в результате работы программы функции принадлежности могут быть использованы в том виде, в котором получены, а также могут быть слегка сдвинуты параметры функций в зависимости от исходных данных и мнения эксперта, при этом вид функций (возрастающая или убывающая) остается неизменным.

Расчет всех критериев и риска проведен в Microsoft Excel в двух вариантах: с учетом и без учета весовых коэффициентов. Из результатов расчета можно сделать вывод, что веса имеют важное значение в анализе рисков и допущение о том, что все показатели влияют на целевую переменную в равной степени, может привести к недостоверному заключению.

Результатом работы алгоритма являются ранжированный список скважин-кандидатов на ГТМ, а также их отображение на карте в соответствии с маркерами (Рисунок 14).

В Таблице 6 представлены некоторые скважины из общей выборки: 7 скважин, которые имеют минимальные риски и являются кандидатами на проведение ОПЗ, а также 1 скважина с высоким риском.

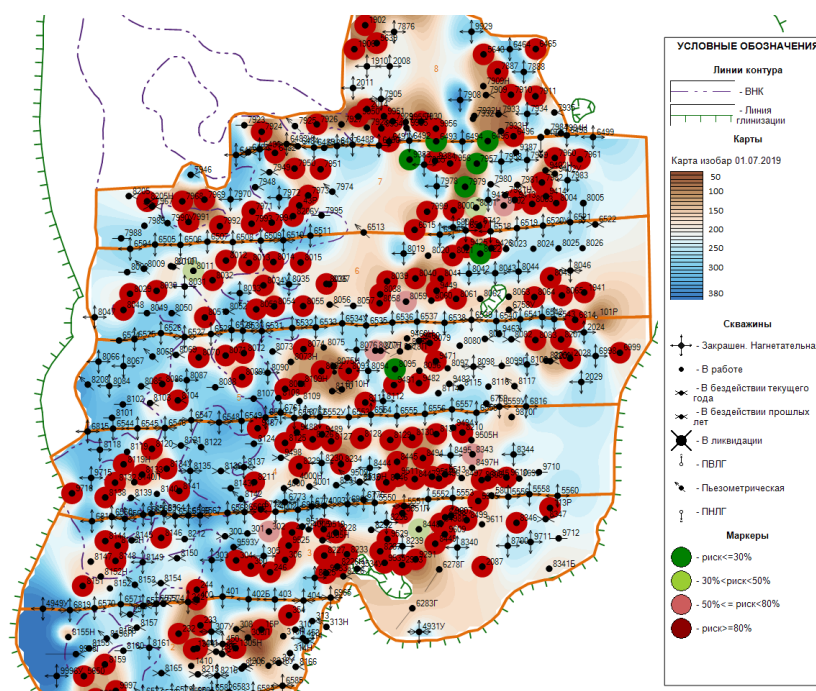


Рис. 14. Представление скважин-кандидатов на карте

2.5.5. Апробация метода

На 2 скважинах, выбранных с использованием теории нечетких множеств, проведены ГТМ.

В случае скважины №7957 (Рис.15), которая являлась *основным кандидатом* на ОПЗ, после проведения кислотной обработки 17.07.2019 отмечен рост дебита жидкости и снижение обводненности, продолжительность мероприятия 4+ месяца – **мероприятие эффективно**.

На неперспективной по результатам расчета скважине №9997 (Рис.16) была проведена кислотная обработка 10.07.2019, охарактеризованная ростом дебита жидкости, однако продолжительность мероприятия составила менее одного месяца – **мероприятие не эффективно**.

В целом, на двух скважинах предложенный *метод* прошел успешную первоначальную апробацию.

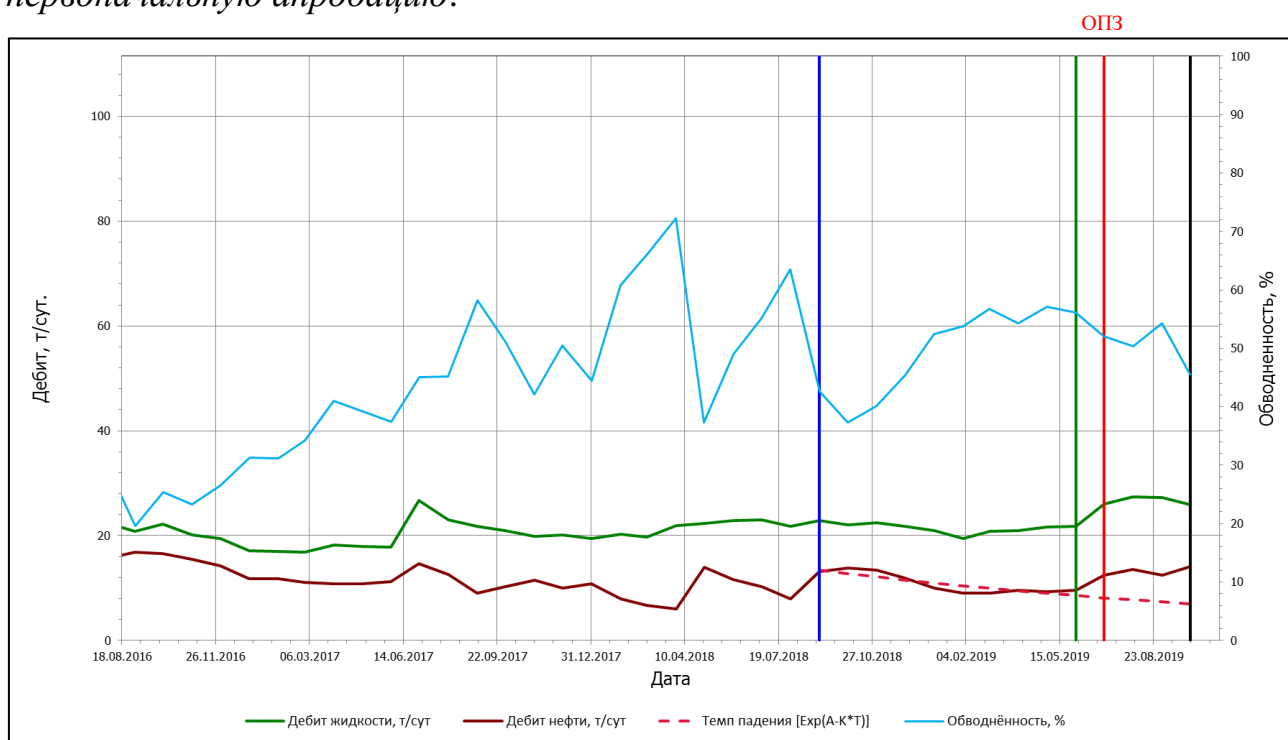


Рис. 15. Динамика скважины №7957

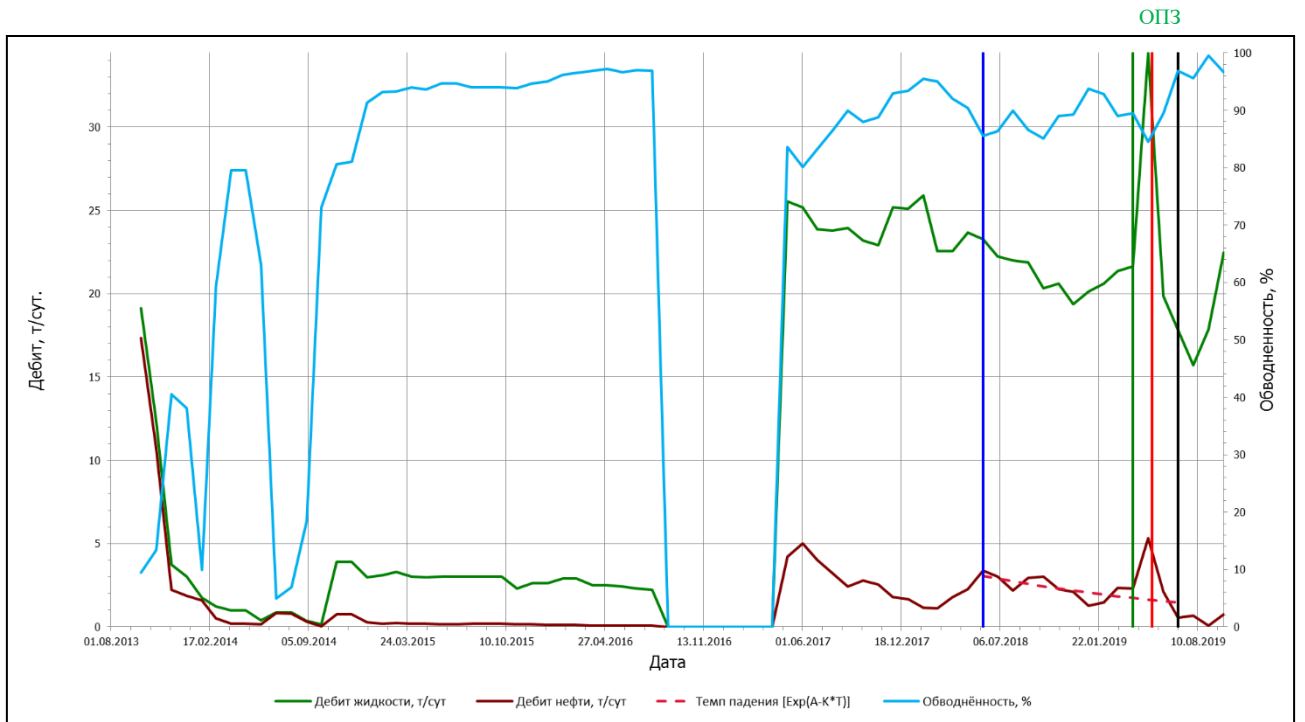


Рис. 16. Динамика скважины №9997

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Значительная часть эксплуатируемых нефтяных месторождений находится на поздней стадии разработки, характеризующейся высокой степенью выработанности запасов углеводородов. Зрелые месторождения являются основным источником добычи нефти, и для ее поддержания предприятия проводят большой объем геолого-технических мероприятий. Основной проблемой при проведении ГТМ является недостижение планового прироста дебита нефти фактическим значением данного показателя, что подтверждает недостаточно высокую эффективность имеющихся решений о проведении геолого-технических мероприятий. Проблема повышения качества принятия решений о целесообразности проведения ГТМ является актуальной.

В условиях недостаточного для геолого-гидродинамического моделирования качества данных по фильтрационно-емкостным свойствам пород и физико-химическим свойствам флюидов месторождений широкое применение получили статистические методы, а также методы нечетких множеств, позволяющие определять скрытые зависимости между успешностью геолого-технических мероприятий и факторами, влияющими на целесообразность проведения ГТМ.

Эффективным методом решения задач в системах управления производственными процессами является нечеткая логика, позволяющая использовать результаты практического наблюдения за системой, сложно поддающейся математическому описанию. К основным преимуществам нечеткой логики относятся:

- возможность использования несовершенных данных и нечетких знаний при сохранении высокого качества получаемых решений;
- решение сложных комплексных задач без предварительного моделирования системы с использованием качественных оценок, основанных на практическом опыте со снижением временных и ресурсных затрат;

- возможность самостоятельного регулирования системы управления, основываясь на данных, которые не могут быть учтены в случае применения традиционных методов.

На основании проделанной работы можно сделать вывод о том, что оптимальный вид функции принадлежности зависит от исходных данных, в частности, от минимального и максимального значения показателя и от количества разбиений, которое влияет на шаг изменения параметров функции. Если в качестве входных данных в массиве использовать другие значения этих же показателей, то и вид функции принадлежности изменяется.

В целом, алгоритм позволяет сократить количество детально анализируемых вручную скважин и имеет возможность внесения дополнительных критериев, что позволяет расширять объем автоматически анализируемых параметров, показана возможность экспертной корректировки конечного списка скважин-кандидатов.

Таким образом, предложена методика подбора скважин, позволяющая в автоматизированном режиме с использованием программного модуля провести ранжирование скважин и дать рекомендации на проведение ГТМ, а также успешно проведена апробация.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алтунин А. Е., Семухин М. В., Кузяков О. Н. Технологические расчеты при управлении процессами разработки нефтяных и газовых месторождений в условиях неопределенности – Тюмень: ТИУ, 2017. -136-168с.
2. Бекетов С.Б., Акелян Н.С. Анализ рисков при реализации геолого-технических мероприятий в области повышения производительности нефтяных и газовых скважин. Горный информационно - аналитический бюллетень (научно-технический журнал).- 2012. - №10.- С.276-282.
3. Гайнуллин М.М., Шабаров А.Б. Применение теории нечетких множеств для подбора скважин с целью геолого-технологических мероприятий на нефтяных месторождениях – Вестник Тюмен. гос. ун-та. 2011. № 7. – с.30-37.
4. Дюк В. А., Самойленко А. П. Data Mining: учебный курс. СПб.: Питер, 2001. 368 с.
5. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений.-М.:Мир, 1976.-165с
6. Кашапов А.А. Применение теории нечетких множеств для поиска скважин-кандидатов на проведение гидравлического разрыва пласта на примере Вахского нефтяного месторождения – Томск: ТМЛ-Пресс, 2014. – 48-53 с.
7. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH . - СПб. : БХВ-Петербург, 2003.-719 с.
8. Макеева А.В. Основы нечеткой логики. Учебное пособие для вузов. – Н.Новгород: ВГИПУ, 2009. - 59 с.
9. Пулькина Н.Э., Зимина С.В. Изучение неоднородности продуктивных пластов – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 79 с.

СПИСОК ИЛЛЮСТРАТИВНОГО МАТЕРИАЛА

Рис. 1. Сравнение обычного и нечеткого множеств.....	7
Рис. 2. Функция принадлежности нечеткого множества.....	8
Рис. 3. Вид трапециевидной и треугольной функций принадлежности	8
Рис. 4. Вид S -образной и Z -образной функций принадлежности.....	9
Рис. 5. Вид колоколообразной и гауссовой функций принадлежности.....	9
Рис. 6. Отрицание нечеткого множества	9
Рис. 7. Объединение нечетких множеств	10
Рис. 8. Пересечение нечетких множеств.....	10
Рис. 9. Произведение нечетких множеств	11
Рис. 10. Взаимосвязь риска с неопределенностью и потерей.....	13
Рис. 11. Блок-схема выбора кандидатов на ГТМ.....	Ошибка! Закладка не определена.
Рис. 12. Наличие выбросов в распределении обводненности	23
Рис. 13. Вид подобранных функций принадлежности	31
Рис. 14. Представление скважин-кандидатов на карте	33
Рис. 15. Динамика скважины № 7957	34
Рис. 16. Динамика скважины № 9997	35

Список нефтегазовых терминов

Залежь: естественное локальное (единичное) скопление нефти и газа в ловушке, в количестве достаточном для промышленной разработки, с единым ВНК.

Водонефтяной контакт: условная поверхность, разделяющая нефть и воду в залежи нефти.

Месторождение: совокупность залежей, приуроченных к одной или нескольким локализованным геологическим структурам, территориально охватывающие одну или несколько площадей.

Скважина: горная выработка круглого сечения, пробуренная с поверхности земли или с подземной выработки без доступа человека к забою под любым углом к горизонту, диаметр которой намного меньше её глубины.

Добывающие скважины: скважины, предназначенные для извлечения из залежи нефти, нефтяного и природного газа и других сопутствующих компонентов.

Нагнетательные скважины: скважины, предназначенные для воздействия на продуктивные пласты путем нагнетания в них воды, газа, пара и других рабочих агентов.

Геолого-технические мероприятия (ГТМ): работы, проводимые на скважинах с целью регулирования разработки месторождений и поддержания целевых уровней добычи нефти. С помощью геолого-технических мероприятий нефтедобывающие предприятия обеспечивают выполнение проектных показателей разработки месторождений.

Призабойная зона пласта: область, примыкающая к стволу скважины, в пределах которой наблюдается изменение фильтрационных характеристик на протяжении всего периода эксплуатации скважины.

Обработка призабойной зоны (ОПЗ): наиболее широкоприменяемый вид ГТМ. ОПЗ проводят на всех этапах разработки нефтяного месторождения для восстановления и повышения фильтрационных характеристик ПЗП с целью увеличения производительности добывающих и приемистости нагнетательных скважин. Технологий воздействия на призабойную зону пласта существует великое множество. Выбор способа ОПЗ осуществляют на основе изучения причин низкой продуктивности скважин с учетом физико-химических свойств пород пласта-коллектора и насыщающих их флюидов, а также специальных гидродинамических и геофизических исследований по оценке фильтрационных характеристик ПЗП. Чаще всего проводят ОПЗ различными кислотными составами.

Продолжение Приложения 1

Список нефтегазовых терминов

Слой: это уплощенное геологическое тело относительно однородное по составу и строению, ограниченное приблизительно параллельными поверхностями раздела.

Кровля: верхняя граница слоя.

Подошва: нижняя граница слоя.

Коллектор: горная порода, которая способна вмещать в себя и отдавать жидкости и газы, а также пропускать их через себя при наличии перепада давления. Породы с такими геолого-физическими свойствами, при которых движение нефти или газа в них физически невозможно, называются неколлекторами.

Нефтенасыщенная толщина: суммарная толщина прослоев нефтенасыщенных коллекторов.

Общая толщина пласта: расстояние от кровли до подошвы, определяемое в стратиграфических границах.

Эффективная толщина: общая толщина за вычетом толщины прослоев неколлекторов.

Проницаемость: фильтрующий параметр горной породы, характеризующий её способность пропускать через себя жидкости и газы при перепаде давления.

Коэффициент песчанистости: показатель, который представляет собой отношение эффективной мощности к общей мощности пласта, прослеживаемой в разрезе данной скважины, показывает какую долю занимают коллекторы в общем объеме продуктивного горизонта.

Обводнённость скважины: содержание воды в продукции скважины, определяемое как отношение дебита воды к сумме дебитов нефти и воды.

Продуктивность: коэффициент, характеризующий возможности скважины по добыче нефти.

Коэффициент продуктивности: отношение дебита скважины к депрессии.

Депрессия – это разница между пластовым и забойным давлением.

Пластовое давление: давление, под которым находятся жидкость (нефть, вода) и газ, насыщающие поровое пространство и трещины коллекторов нефтяных и газовых месторождений.

Забой: конечная часть скважины, функция которой – извлечение воды из пластов грунта.

Список нефтегазовых терминов

Забойное давление: давление флюида на забое эксплуатируемой скважины; характеризует энергию пласта, обуславливающую подъем жидкости (или газа) в стволе скважины.

Относительный дебит жидкости: показатель, который характеризует снижение дебита жидкости и представляет собой отношение текущего дебита жидкости к амплитудному дебиту (максимальному за весь период).

Относительный коэффициент продуктивности: показатель, который характеризует снижение продуктивности и представляет собой отношение текущей продуктивности к амплитудной (максимальной за весь период).

Дополнительная добыча: показатель, определяемый как разность фактической и расчетной накопленной (с начала разработки) добычи нефти.

Подготовка данных

Таблица 2

Исходные данные

Скважина	Проницаемость, [мд.]	Общая мощность пласта, [м]	Песчанность, [д.ед.]	Относит. дебит жидк-ти, [д.ед.]	Обводненность до ГТМ, [%]	Относит. коэфф. продук-ти, [д.ед.]	Нормир. доп. добыча
1	73.23	115.69	0.13	0.99	41.94	1.89	0.04
2	20.29	41.90	0.19	0.95	86.73	0.88	0.02
3	13.79	47.71	0.09	0.64	65.17	0.39	0.03
4	38.41	33.57	0.09	0.91	77.97	0.93	0.05
5	7.01	26.29	0.35	0.99	94.00	1.26	0.00
6	42.46	41.55	0.28	0.87	87.30	0.69	0.00
7	42.46	41.55	0.28	0.93	77.64	0.69	0.03
8	1.40	89.73	0.08	0.99	82.50	1.17	0.36
9	29.59	69.60	0.18	0.74	74.97	4.10	0.13
10	27.19	69.06	0.11	0.99	38.82	3.29	0.02
11	105.14	37.27	0.16	1.00	85.19	5.08	0.01
12	108.61	38.81	0.36	0.97	68.64	1.98	1.00
13	9.60	31.61	0.16	0.99	75.23	0.87	0.01
14	12.65	107.11	0.08	0.79	67.71	0.49	0.13
15	105.65	88.37	0.46	0.99	78.81	5.49	0.17
16	49.33	62.86	0.40	0.99	56.78	1.58	0.00
17	49.33	62.86	0.40	0.72	61.32	1.58	0.40
18	8.19	102.33	0.06	0.99	93.99	0.66	0.03
19	96.65	63.98	0.43	0.97	33.55	2.82	0.87
20	23.40	116.84	0.11	0.71	83.43	0.25	0.02
21	17.86	60.39	0.16	0.99	92.27	3.48	0.03
22	28.50	48.68	0.19	0.90	33.69	0.61	0.10
23	34.93	57.86	0.44	0.89	69.44	2.23	0.01
24	9.45	112.12	0.10	0.99	79.61	4.37	0.06
25	37.38	65.24	0.33	0.93	93.13	2.66	0.00
26	66.41	58.06	0.28	0.80	87.03	0.47	0.09

Подготовка данных

Таблица 2

Скважина	Проницаемость, [мд.]	Общая мощность пласта, [м]	Песчанность, [д.ед.]	Относит. дебит жидк-ти, [д.ед.]	Обводненность до ГТМ, [%]	Относит. коэфф. продук-ти, [д.ед.]	Нормир. доп. добыча
27	21.10	78.55	0.09	0.83	87.87	1.05	0.54
28	30.51	44.05	0.44	1.00	93.98	2.63	0.32
29	41.96	46.91	0.13	0.71	54.32	0.34	0.09
30	41.96	46.91	0.13	0.90	56.25	0.34	0.03
31	29.94	79.68	0.15	1.11	65.79	0.67	0.14
32	6.46	48.06	0.21	0.94	79.38	1.07	0.00
33	6.46	48.06	0.21	0.85	84.23	1.07	0.05
34	10.83	118.72	0.09	0.84	85.69	1.41	0.01
35	36.99	73.10	0.19	1.25	67.70	0.40	0.00
36	54.18	76.57	0.17	0.99	82.51	1.24	0.51
37	44.25	37.14	0.26	0.99	85.20	0.42	0.08
38	44.25	37.14	0.26	0.99	80.70	0.42	0.02
39	25.08	68.67	0.17	1.00	44.01	0.56	0.07
40	7.88	49.25	0.16	0.99	91.28	1.14	0.05
41	63.88	45.38	0.17	0.72	99.41	0.54	0.01
42	86.19	43.76	0.24	0.99	94.00	3.25	0.14
43	35.39	45.59	0.16	0.97	93.19	2.51	0.01
44	84.05	56.52	0.11	0.59	71.47	0.72	0.33
45	51.19	43.61	0.15	0.77	83.76	1.04	0.43
46	2.94	73.78	0.01	0.99	63.87	0.20	0.00
47	20.85	73.96	0.43	0.78	56.08	2.58	0.57
48	20.85	73.96	0.43	0.99	100.00	2.58	0.17
49	0.90	52.70	0.02	0.99	84.56	0.46	0.01

Листинг основного программного кода в MATLAB

```

% импорт данных
dan2;
% количество разбиений
krazb=200;
% количество переборов
p=0;
% шаг разбиения
shg1=(max(g1)-min(g1))/krazb;
shg2=(max(g2)-min(g2))/krazb;
shg3=(max(g3)-min(g3))/krazb;
sht1=(max(t1)-min(t1))/krazb;
sht2=(max(t2)-min(t2))/krazb;
sht3=(max(t3)-min(t3))/krazb;
% изменяющиеся параметры функций, увеличивающиеся на шаг разбиения
% для геологических показателей
ag1=min(g1):shg1:max(g1)
bg1=min(g1):shg1:max(g1)
ag2=min(g2):shg2:max(g2)
bg2=min(g2):shg2:max(g2)
ag3=min(g3):shg3:max(g3)
bg3=min(g3):shg3:max(g3)
% для технологических показателей
at1=min(t1):sht1:max(t1)
bt1=min(t1):sht1:max(t1)
at2=min(t2):sht2:max(t2)
bt2=min(t2):sht2:max(t2)
at3=min(t3):sht3:max(t3)
bt3=min(t3):sht3:max(t3)
% вид функции: 1 - S-образная, 2 - Z-образная
func=[1 2];
% переменная для поиска наименьшей разности между целевой переменной
и
% комплексным критерием
minsum=10000;
% перебор параметров для каждого показателя в соответствии с условием
"a<b"
for i=1:(krazb+1)
    for j=1:(krazb+1)
        if ag1(1,i)<bg1(1,j)
            if ag2(1,i)<bg2(1,j)
                if ag3(1,i)<bg3(1,j)
                    if at1(1,i)<bt1(1,j)
                        if at2(1,i)<bt2(1,j)
                            if at3(1,i)<bt3(1,j)
                                % подбор функции принадлежности для
первого геологического показателя
                                for k=1:2

```

Листинг основного программного кода в MATLAB

```

func_name1=func(k)
    if func_name1==1
        rg1=smf(g1,[ag1(1,i),bg1(1,j)])
%    вложенный скрипт подбора функции принадлежности для
%    геологического показателя
        f2
    end
    if func_name1==2
        rg1=zmf(g1,[ag1(1,i),bg1(1,j)])
        f2
    end
end
end
end
end
end
end
end
end
end
end
end
disp(['минимальная сумма разностей между целевой переменной и
комплексным критерием=', num2str(minsum)])
disp(['для 1г функция принадлежности имеет вид ',num2str(type1), '
с параметрами a=',num2str(param_ag1), ' и b=',num2str(param_bg1)])
disp(['для 2г функция принадлежности имеет вид ',num2str(type2), '
с параметрами a=',num2str(param_ag2), ' и b=',num2str(param_bg2)])
disp(['для 3г функция принадлежности имеет вид ',num2str(type3), '
с параметрами a=',num2str(param_ag3), ' и b=',num2str(param_bg3)])
disp(['для 1т функция принадлежности имеет вид ',num2str(type4), '
с параметрами a=',num2str(param_at1), ' и b=',num2str(param_bt1)])
disp(['для 2т функция принадлежности имеет вид ',num2str(type5), '
с параметрами a=',num2str(param_at2), ' и b=',num2str(param_bt2)])
disp(['для 3т функция принадлежности имеет вид ',num2str(type6), '
с параметрами a=',num2str(param_at3), ' и b=',num2str(param_bt3)])
disp(['Количество итераций=', p])
disp(['Геологический критерий:', finKg])
disp(['Эксплуатационно-технологический критерий:', finKt])
disp(['Комплексный критерий:', finKK])

```

Листинг вложенных скриптов перебора функций

```

% скрипт «f2»
% подбор функции принадлежности для 2 геологического показателя
for l=1:2
    func_name2=func(l)
    if func_name2==1
        rg2=smf(g2,[ag2(1,i),bg2(1,j)])
        % вложенный скрипт подбора функции принадлежности для 3
        геологического показателя
        f3
    end
    if func_name2==2
        rg2=zmf(g2,[ag2(1,i),bg2(1,j)])
        f3
    end
end
% скрипт «f5»
% подбор функции принадлежности для 2 эксплуатационно-
технологического показателя
for y=1:2
    func_name5=func(y)
    if func_name5==1
        rt2=smf(t2,[at2(1,i),bt2(1,j)])
        % вложенный скрипт подбора функции принадлежности для 3
        эксплуатационно-технологического показателя
        f6
    end
    if func_name5==2
        rt2=zmf(t2,[at2(1,i),bt2(1,j)])
        f6
    end
end
% скрипт «f6»
% подбор функции принадлежности для 3 эксплуатационно-
технологического показателя
for z=1:2
    func_name6=func(z)
    if func_name6==1
        rt3=smf(t3,[at3(1,i),bt3(1,j)])
        p=p+1;
        % функция расчета критериев и выбора максимально подходящих
        параметров
        rcht
    end
    if func_name6==2
        rt3=zmf(t3,[at3(1,i),bt3(1,j)])
        p=p+1;
        rcht
    end
end end

```

Листинг вложенного скрипта расчета критериев и выбора вида и параметров
функции принадлежности

```
% скрипт «rcht»
% расчет критериев и выбора максимально подходящих параметров
Kg=(rg1.^0.41.*rg2.^0.06.*rg3.^0.19).^ (1/0.66)
Kt=(rt1.^0.22.*rt2.^0.09.*rt3.^0.03).^ (1/0.34)
KK=sqrt (Kg.*Kt)
norm=abs (cp-KK)
summ = sum(norm)
if summ<minsum
    minsum=summ
    type1=func_name1
    type2=func_name2
    type3=func_name3
    type4=func_name4
    type5=func_name5
    type6=func_name6
    param_ag1=ag1 (1, i)
    param_bg1=bg1 (1, j)
    param_ag2=ag2 (1, i)
    param_bg2=bg2 (1, j)
    param_ag3=ag3 (1, i)
    param_bg3=bg3 (1, j)
    param_at1=at1 (1, i)
    param_bt1=bt1 (1, j)
    param_at2=at2 (1, i)
    param_bt2=bt2 (1, j)
    param_at3=at3 (1, i)
    param_bt3=bt3 (1, j)
    finKK=KK
    finKg=Kg
    finKt=Kt
end
```


Результаты работы программы

Таблица 5

Результаты расчета комплексного критерия

Скважина	Геологический критерий	Эксплуатационно-технологический критерий	Комплексный критерий	Нормированная доп. добыча
1	0.00	0.62	0.00	0.04
2	0.00	0.10	0.00	0.02
3	0.00	0.98	0.00	0.03
4	0.00	0.64	0.00	0.05
5	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.00	0.62	0.00	0.03
8	0.00	0.30	0.00	0.36
9	0.00	0.62	0.00	0.13
10	0.00	0.59	0.00	0.02
11	0.00	0.00	0.00	0.01
12	1.00	0.69	0.83	1.00
13	0.00	0.48	0.00	0.01
14	0.00	0.96	0.00	0.13
15	0.87	0.00	0.00	0.17
16	0.11	0.62	0.26	0.00
17	0.11	1.00	0.33	0.40
18	0.00	0.00	0.00	0.03
19	1.00	0.73	0.85	0.87
20	0.00	0.43	0.00	0.02
21	0.00	0.00	0.00	0.03
22	0.00	0.96	0.00	0.10
23	0.00	0.91	0.00	0.01
24	0.00	0.23	0.00	0.06
25	0.00	0.00	0.00	0.00
26	0.55	0.02	0.11	0.09
27	0.00	0.00	0.00	0.54
28	0.00	0.00	0.00	0.32
29	0.00	1.00	0.00	0.09
30	0.00	0.96	0.00	0.03
31	0.00	0.02	0.00	0.14
32	0.00	0.54	0.00	0.00
33	0.00	0.37	0.00	0.05
34	0.00	0.26	0.00	0.01
35	0.00	0.00	0.00	0.00

Результаты работы программы

Таблица 5

Скважина	Геологический критерий	Эксплуатационно-технологический критерий	Комплексный критерий	Нормированная доп. добыча
36	0.00	0.30	0.00	0.51
37	0.00	0.19	0.02	0.08
38	0.00	0.35	0.02	0.02
39	0.00	0.56	0.00	0.07
40	0.00	0.00	0.00	0.05
41	0.00	0.00	0.00	0.01
42	0.59	0.00	0.00	0.14
43	0.00	0.00	0.00	0.01
44	0.00	0.89	0.00	0.33
45	0.00	0.41	0.00	0.43
46	0.00	0.61	0.00	0.00
47	0.00	1.00	0.00	0.57
48	0.00	0.00	0.00	0.17
49	0.00	0.22	0.00	0.01

Скважины-кандидаты на проведение мероприятия (доп.добыча)

Скважина		Прони- сть, [мд.]	M11	Эффект. мощ-ть, [м]	M12	Песч- сть, [д.ед.]	M13	Кг без учета весов	Кг с учето м весов	Относи т. Qж, [д.ед.]	M21	Обвод -ть, [%]	M22	Депр./ Рпл. , [д.ед.]	M23	Кэт без учета весов	Кэт с учето м весов	КК без учета весов	КК с учето м весов	Риск с учетом весов
Вес	Вид ФП	0.280	s	0.160	s	0.180	s	сумма весов геол. факто- ров	0.620	0.170	z	0.050	z	0.160	z	сумм а весов экспл - техн. факто ров	0.380	сумм а всех весов	1.000	-
a=		11.610		2.980		0.040				0.330		7.650		0.100						
b=		100.860		30.700		0.350				1.630		85.060		0.710						
Мин. (обуч.)	>0.5	0.90	59	0.800	39	0.011	98			5	6	0.086	190	2.881	12					
Макс.		294.81		43.950		0.532		1.300	99.853			0.857								
7957		96.7	0.996	27.8	0.98	0.43	1.00	0.97	0.89	0.20	1.00	56.20	0.28	0.28	0.83	0.23	0.97	0.47	0.93	7%
6493		105.7	1.000	40.4	1.00	0.46	1.00	1.00	1.00	0.82	0.72	78.60	0.01	0.49	0.25	0.00	0.83	0.05	0.91	9%
6495		137.8	1.000	32.4	1.00	0.46	1.00	1.00	1.00	0.88	0.64	84.70	0.00	0.32	0.75	0.00	0.79	0.00	0.89	11%
7979		88.6	0.962	29.7	1.00	0.43	1.00	0.96	0.91	0.25	1.00	2.90	1.00	0.68	0.01	0.01	0.73	0.08	0.82	18%
8022		98.1	0.998	27.1	0.97	0.49	1.00	0.96	0.76	0.61	0.91	66.80	0.11	0.69	0.00	0.00	0.67	0.02	0.71	29%
9383		25.1	0.046	11.4	0.19	0.17	0.33	0.00	0.44	0.52	0.96	70.30	0.07	0.61	0.06	0.00	0.80	0.00	0.59	41%
8095		248.2	1.000	17.2	0.53	0.34	1.00	0.52	0.29	0.56	0.94	60.10	0.21	0.42	0.45	0.09	0.92	0.22	0.52	48%
9997		0.9	0.000	0.9	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.58	0.93	89.40	0.00	0.52	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00	100%