

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ЭКСПЕРТНОЙ ОЦЕНКИ ДОСТОВЕРНОСТИ ПРОГНОЗА ПОДСЧЕТНЫХ ПАРАМЕТРОВ И ЗАПАСОВ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕВОДОРОДОВ

А.И. Кобрунов, проф. каф. ГМИС ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет», д-р физ.-мат. наук, aikobrunov@gmail.com

Создана математическая модель экспертной оценки достоверности прогноза параметров месторождений на основе принципов формирования нечеткой петрофизической модели месторождения и правила нечеткого логического вывода. Дано описание способов построения компонент нечеткой петрофизической модели, и, прежде всего, функций принадлежности для отношений между геофизическими и фильтрационно – емкостными (промысловыми) параметрами. Теоретические результаты нашли отражение в методе прогноза достоверности параметров тестируемой модели.

Ключевые слова: математическая модель, достоверность прогноза, экспертная оценка, функция принадлежности, нечеткая петрофизическая модель, нечеткий логический вывод, распределение достоверности.

MATHEMATICAL MODELS OF EXPERT EVALUATION OF THE RELIABILITY OF THE FORECAST OF ESTIMATED PARAMETERS AND RESERVES OF HYDROCARBON DEPOSITS

A.I. Kobrunov, Professor, Federal State Budget Educational Institution «Ukhta State Technical University», Ph.D. of Physics and Mathematics, aikobrunov@gmail.com

A mathematical model of expert evaluation of reliability of the forecast of parameters of deposits is created on the basis of principles of formation of fuzzy petrophysical model of a deposit and a rule of fuzzy logic conclusion. A description is given of methods for constructing components of a fuzzy petrophysical model and, first of all, membership functions for relations between geophysical and filtration – capacitive (fishing) parameters. Theoretical results are reflected in the method of predicting the reliability of the parameters of the model being tested.

Keywords: mathematical model, forecast reliability, expert evaluation, membership function, fuzzy petrophysical model, fuzzy inference, reliability distribution.

Основными подсчетными параметрами для оценки запасов месторождений углеводородов служат структурно-тектоническая, фациальная модель месторождения и модель его фильтрационно – емкостных параметров. Структурно-тектоническая и фациальная модели, определяют объекты и геометрию компонентов модели, требующих независимого расчета. В настоящей работе рассматриваются прогноз и оценка фильтрационно емкостных параметров, распределение которых вносит основной вклад в изменчивость подсчетных параметров в пределах выделенных объектов. Основным источником информации о фильтрационно – емкостных параметрах месторождения, включающих в себя коллекторские свойства (включая характер порового пространства) и характер флюидонасыщения, служат данные геофизических исследований скважин (ГИС), обеспеченных должной петрофизической основой [1, 2].

Как известно, геофизическими параметрами, служащими основой для прогноза фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) служат: удельное электрическое сопротивление, скорость распространения упругих волн, плотность, интенсивность радиоактивного излучения и другие. Сам прогноз осуществляется с помощью установленных в лабораториях петрофизических зависимостей между геофизическими и фильтрационно-емкостными параметрами (пористость, проницаемость, характер флюидонасыщения и т.д.), входящими в петрофизическую модель коллектора. Система петрофизических моделей коллекторов, характерных для рассматриваемого месторождения образует петрофизическую модель месторождения.

Петрофизическая модель коллектора — это установленная зависимость между геофизическими параметрами, петрофизическими свойствами коллектора, определяемыми по данным ГИС, и литологическими, фильтрационно-емкостными свойствами.

Физико-аналитическая петрофизическая модель чаще всего представляет собой интегродифференциальное уравнение относительно параметров упаковки элементов (зерен) коллектора, его физических свойств. Типичным примером такой модели служит модель Дахнова — Арчи [3], связывающая водонасыщенность, пористость, удельное электрическое сопротивление пластовой воды и пласта и включающая в себя подлежащие определению из экспериментальных данных параметры. Физико-аналитическая модель отражает усредненные уравнения, обеспечивающие нахождение свойств коллектора по данным ГИС. Она содержит большое число параметров, не поддающихся строгому вычислению на основе экспериментальных данных, таких как извилистость порового канала, толщина слоя связанной воды, параметр электрической извилистости или коэффициент формы сечения поровых каналов. По сути, эти модели включают в себя параметры и аналитические выражения, допускающие высокую степень вариабельности зависимостей. Эти параметры должны быть подобраны из экспериментальных данных. В таком виде зависимости, лежащие в основе петрофизической модели, представляют собой параметрически заданное выражение для уравнения регрессии. Найденные параметры зачастую имеют весьма отдаленное отношение к заявляемому физическому смыслу, которым нагружен параметр регрессии. Причиной этому служит возможная компенсация невязок между экспериментальными данными и теоретическими моделями, описываемыми комплексом параметров. Роль каждого из параметров в суммарной невязке определена выбранным алгоритмом минимизации, лежащим в основе метода регрессии. В условиях, когда число параметров более двух, возникает взаимное влияние компенсируемых эффектов и возможное отнесение компонент невязок одного параметра к невязкам другого. Разделить эту невязку на взаимонезависимые компоненты чаще всего не удастся.

Корреляционно-регрессионные модели представляют собой регрессионные зависимости, сопровождаемые оценкой их тесноты. Они строятся на основании имеющихся представительных выборок экспериментальных данных, обеспечивающих корректный поиск параметров корреляционных связей по данным: керн — керн ($k - k$); геофизика — керн ($g - k$); геофизика — гидродинамика ($g - g_d$); геофизика — геофизика ($g - g$). Корреляционно-регрессионные модели служат основой подбора параметров физико-аналитических петрофизических моделей.

При построении регрессионных уравнений априори принимается их параметрическое представление в форме аналитической модели с подлежащими определению параметрами. Эта модель формируется на основе физико-аналитической петрофизической модели или на визуальном анализе данных, и им соответствующего *полигона рассеяния* — графического изображения поля точек, соответствующих измеренным величинам в фазовом пространстве изучаемых параметров. Построенная модель обязательно сопровождается оценкой меры тесноты и достоверности связи между найденной регрессионной зависимостью и исходным полигоном. Этот этап требует отдельных и самых тщательных рассмотрений.

Найденные регрессионные зависимости используются для прогнозирования одних параметров по измеренным другим. Другие, в свою очередь, также служат для прогнозирования следующего этажа параметров. Так, определенные на основе регрессионного анализа пара-

метры уравнения Дахнова–Арчи определяют параметр водонасыщенности, который далее используется как данные регрессионного уравнения с компонентами фильтрационно-емкостной модели. Погрешности в используемых связях, как и собственно разброс самих измеренных данных, передаются в форме неопределенностей к итоговому прогнозируемому параметру и накапливаются по мере удлинения цепочки прогноза. Важно знать — какова неопределенность итогового прогноза, связанная со всей цепочкой участвующих в прогнозе преобразований. Эта информация необходима для снижения технико — экономических рисков, связанных с принятием ошибочных управленческих решений при формировании проекта разработки и доразведки месторождения. Следует иметь возможность пересчитывать неопределенности в данных и зависимостях в итоговую неопределенность прогнозных параметров. Корреляционно-регрессионные же модели не обеспечивают такой возможности.

Петрофизические модели на основе экспертных правил представляют собой систематизированные и оформленные в виде решающих правил заключения экспертов о физико-геологических параметрах, на основе совокупности количественных оценок и качественных сопоставлений измерений разнородной геофизической и гидродинамической информации, а также особенностей строения региона. Экспертные правила носят локальный характер и относятся только к тому объекту или группе объектов, на который распространяется квалификация экспертов. В определенных условиях экспертные заключения даже высоко квалифицированных экспертов могут носить противоречивый характер. Это происходит в частности потому, что эксперты придерживаются альтернативных геологических гипотез о генезисе изучаемого объекта. В этой ситуации «осреднение» заключений экспертов недопустимо. К экспертным правилам относится формирование заключений о характере флюидонасыщения по сопоставлению комплекса разнородных параметров. Например таково заключение о кондиционных, граничных значениях насыщения по данным электрических методов.

Нечеткие петрофизические модели основаны на представлении полигонов рассеяния экспериментальных данных в фазовом пространстве параметров, как реализации нечетких величин, описываемой функцией принадлежности и нечеткого отношения между системой физико-геологических параметров. Причина, по которой параметры и связи между ними следует рассматривать как нечеткие величины, состоит в эффекте рассеяния значений параметров, необъясняемом погрешностями и ошибками. Нечеткость параметров оказывается в «природе вещей», и связана с неоднородностью изучаемых объектов относительно рассматриваемых параметров, выражая их в форме количественных оценок достоверности. Неоднородность и рассеяние данных приводит к отказу в установлении связи между параметрами в форме корреляционных зависимостей и введения как альтернативы им нечетких отношений $\mu(x,y)$ между параметрами $\{x,y\}$. Функция принадлежности $\mu(x,y)$ для параметров $\{x,y\}$ имеет смысл возможности, достоверности их совместного появления. Таким образом, связь между параметрами в нечеткой петрофизической модели устанавливается указанием достоверности значений параметров, для которых эта связь устанавливается. Это позволяет в конечном итоге прогнозировать достоверность итоговых построений на основе распределений достоверности исходных данных и связей между параметрами. Сам прогноз реализуется в форме нечеткой модели для распределения параметра, в котором для каждой пространственной точки описывается распределение возможных значений с оценкой их достоверности. Отрицательной стороной такого подхода является необходимость хранения и оперирования большим объемом информации, а также его нетрадиционностью. Однако, этот объем данных и вычислений даже для «канцелярских» ПК не является существенным. Нетрадиционность компенсируется высокой степенью наглядности и возможностью получать для каждого прогнозного параметра распределение его достоверности по возможным значениям. Следствием этого служит то обстоятельство, которое имеет исключительно большое самостоятельное значение, что построенные нечеткие модели позволяют проверить на обеспеченность исходной информацией выполненных построений и, тем самым, выполнять

экспертизу на уровень доверия независимо построенных геологических моделей. Эта экспертиза, основанная на отражении реальной нечеткости всех компонент петрофизической модели, является объективной информационной экспертизой компонент анализируемой физико-геологической модели по степени их информационной обеспеченности данными и взаимосвязями между участвующими в прогнозе параметрами. Она является объективной и независимой, поскольку опирается только на исходные данные и взаимосвязи, исключая субъективные, даже, возможно, убедительные, но внешние относительно реальной информации суждения. Дополнительно такая экспертиза позволяет обеспечить анализ многовариантности построенных геологических моделей с дифференцированной оценкой достоверности вариантов прогноза и обеспечить управление рисками в принятии технологических и управленческих решений. Создание математической модели экспертной оценки достоверности прогноза подсчетных параметров и запасов месторождений углеводородов на основе нечетких петрофизических моделей составляет один из предметов настоящей работы.

Экспертная оценка достоверности прогноза подсчетных параметров состоит в сравнительной оценке достоверности, отражающей реальный объем и качество объективной информации, лежащей в основе построения значения прогнозируемого параметра в каждой точке v пространства V , в котором сконструирована модель. Экспертируемых моделей может быть несколько, и технология экспертных оценок позволяет установить между компонентами иерархию по мере достоверности.

Математическая модель экспертной оценки результатов прогноза подсчетных параметров основана на трех принципах:

1. Создание нечеткой петрофизической модели как системы нечетких связей (отношений) между нечеткими же параметрами, по которым выполняется прогноз (геофизические параметры) и прогнозируемыми параметрами (литологические, фильтрационно-емкостные).

2. Прогнозирование параметров, выполняемого на основании правил нечеткого логического вывода о подсчетных параметрах, как нечетких величинах на основе нечеткой петрофизической модели и измеренных геофизических параметров.

3. Создание на основе 1 и 2 информационного оператора $\mu[\xi(v)]$, отображающего каждую распределенную в пространстве экспертируемую модель $\xi(v)$, $v = \{x, y, z\}$ подсчетных параметров в пространственно распределенное в области V поле достоверности $\mu[\xi(v)]$; $0 \leq \mu[\xi(v)] \leq 1$ компонент экспертируемой модели в каждой точке пространства. Величина $\mu[\xi(v)]$, характеризует уровень доверия значению параметра ξ в каждой точке $v \in V$, и является итогом построения математической модели экспертной оценки для $\xi(v)$.

Нечеткая петрофизическая модель конструируется на основе синтеза нечетких отношений, реализующих данные, выраженные в полигонах рассеяния между геофизическими и прогнозными параметрами. Это традиционные для прогнозных задач данные. Синтез реализуется на основе алгебры нечетких величин, заданных своими функциями принадлежности. Будем далее обозначать нечеткую переменная именем s . Она имеет свою область определения D_s из некоторого более широкого множества X , полностью характеризуется своей функцией принадлежности $\mu_{\mathcal{A}}(s), \mu_{\mathcal{M}}(s), \dots, \mu_{\mathcal{N}}(s)$; $\mu(s): 0 \leq \mu(s) \leq 1$. На одном и том же множестве, может быть определено две либо более нечеткие переменные, с маркированными должным образом функциями принадлежности индексом ($\mathcal{A}, \mathcal{M}, \dots$) уточняющим к каким данным она относится. На множестве функций принадлежности определены алгебраические операции (max – min алгебра):

– *Пересечение* (логическое «И») $\mu_{\mathcal{A}}(s) \wedge \mu_{\mathcal{M}}(s) = \min [\mu_{\mathcal{A}}(s), \mu_{\mathcal{M}}(s)]$;

– *Объединение* (логическое «ИЛИ») $\mu_{\mathcal{A}}(s) \vee \mu_{\mathcal{M}}(s) = \max [\mu_{\mathcal{A}}(s), \mu_{\mathcal{M}}(s)]$;

– *Разность* $\mu_{\mathcal{A}}(s) = \{\mu_{\mathcal{A}}(s) - \mu_{\mathcal{M}}(s)\}$, $\mu_{\mathcal{A}}(s) \geq \mu_{\mathcal{M}}(s)$;

– α *сечение нечеткой переменной* – это подмножество. Величина α лежит в интервале $[0, 1]$ $\Omega_{\alpha > 1}(\mu(s)) = \emptyset$, s – многомерная переменная, произвольной размерности, но чаще всего одномерная s_2 .

Импликация двух или более нечетких переменных s_1, s_2 , характеризующихся функциями принадлежности $\mu(s_1), \mu(s_2)$, в функцию нескольких переменных рассчитываемую по правилу $\mu(s_1, s_2) = \min [\mu(s_1), \mu(s_2)] = \mu(s_1) \wedge \mu(s_2)$.

Конструкция нечеткого отношения между параметрами s_1, s_2 формируется на основе полигона данных $\mathfrak{A}$, образованного значениями $s^i = \{s_1^i, s_2^i\}, i = 1 \div M$.

Поле рассеяния для данных $s^i \in S, i = 1 \div M$ называется функция $\mathfrak{A}^\varepsilon(s)$ в фазовом пространстве переменных s_1, s_2 , такая, что для каждой подобласти $\Delta_j S$ из разбиения S :

$$\begin{aligned} \max_{\Delta_j S \in S} |\mathfrak{A}^\varepsilon(s) \Delta_j S - \mathfrak{A}(\Delta_j S)| &\leq \varepsilon \\ s \in \Delta_j S; \bigcup_{j=1 \div J} \Delta_j S &= S. \end{aligned} \quad (1)$$

где $\mathfrak{A}(\Delta_j S)$ — число значений из $\mathfrak{A} \subset S$, целиком лежащее в $\Delta_j S$.

Функция принадлежности для измеренных значений параметров $s \in S$, как нечетких величин есть нормированное к единице поле рассеяния $\mathfrak{A}^\varepsilon(s)$:

$$\mu_{\mathfrak{A}}^\varepsilon(s) = \frac{\mathfrak{A}^\varepsilon(s)}{\max_s [\mathfrak{A}^\varepsilon(s)]}. \quad (2)$$

Число разбиений J , зависит от выбранной точности аппроксимации ε , и увеличивается с уменьшением значения этого параметра.

На рис. 1Б и Г приведен пример представления данных $\mathfrak{A}$ — «пористость по ГИС — пористость по керну» (см. рис. 1А), и $\mathfrak{M}$ — «пористость по керну — нефтенасыщенность» (см. рис. 1В) в форме функций принадлежности для отношения между параметрами, полученными по формуле (2).

В приведенном примере для прогнозирования нефтенасыщенности по пористости, определяемой по ГИС, следует исключить промежуточный параметр, в данном случае — пористость по керну. Традиционно это делается путем подстановки уравнений регрессии (красная линия на рисунках слева) и исключения за счет такой подстановки промежуточного параметра. Но уже здесь видно, насколько некорректна такая операция, поскольку реальное рассеяние, связанное с неоднородностью коллектора при такой подстановке заменяется некоторым вымышленным уравнением. Оперирование нечеткими переменными, позволяет сконструировать корректную подстановку на основе правила композиции нечетких отношений:

$$\mu_{\mathfrak{A} * \mathfrak{M}}^\varepsilon(s_1, s_3) = \max_{s_2} \left[\min \left\{ \mu_{\mathfrak{A}}^\varepsilon(s_1, s_2), \mu_{\mathfrak{M}}^\varepsilon(s_2, s_3) \right\} \right] \quad (3)$$

Это общее правило подстановки для нечетких переменных — аналогичное подстановке уравнений в обычных четких величинах.

После выполнения операции композиции функция принадлежности между параметрами «пористость по ГИС — нефтенасыщенность», примет вид, представленный на рис. 1Д.

Приведенное отношение как функция принадлежности для пар переменных (s_1, s_3) — «пористость по ГИС — нефтенасыщенность» в большей степени отражает реальное положение дел и одновременно дает оценку достоверности для каждой пары одновременного появления возможных значений этих переменных.

Нечеткие отношения $\mu_{\mathfrak{A}}^\varepsilon(s_i, s_j)$ — это дискретно определенные модели поля рассеяния данных, выраженные в форме значений функций принадлежности. В реальных условиях число элементов может быть достаточно велико. Снизить размерность можно за счет перехода от поля рассеяния к его источникам за счет введения аппроксимаций для функций принадлежности.

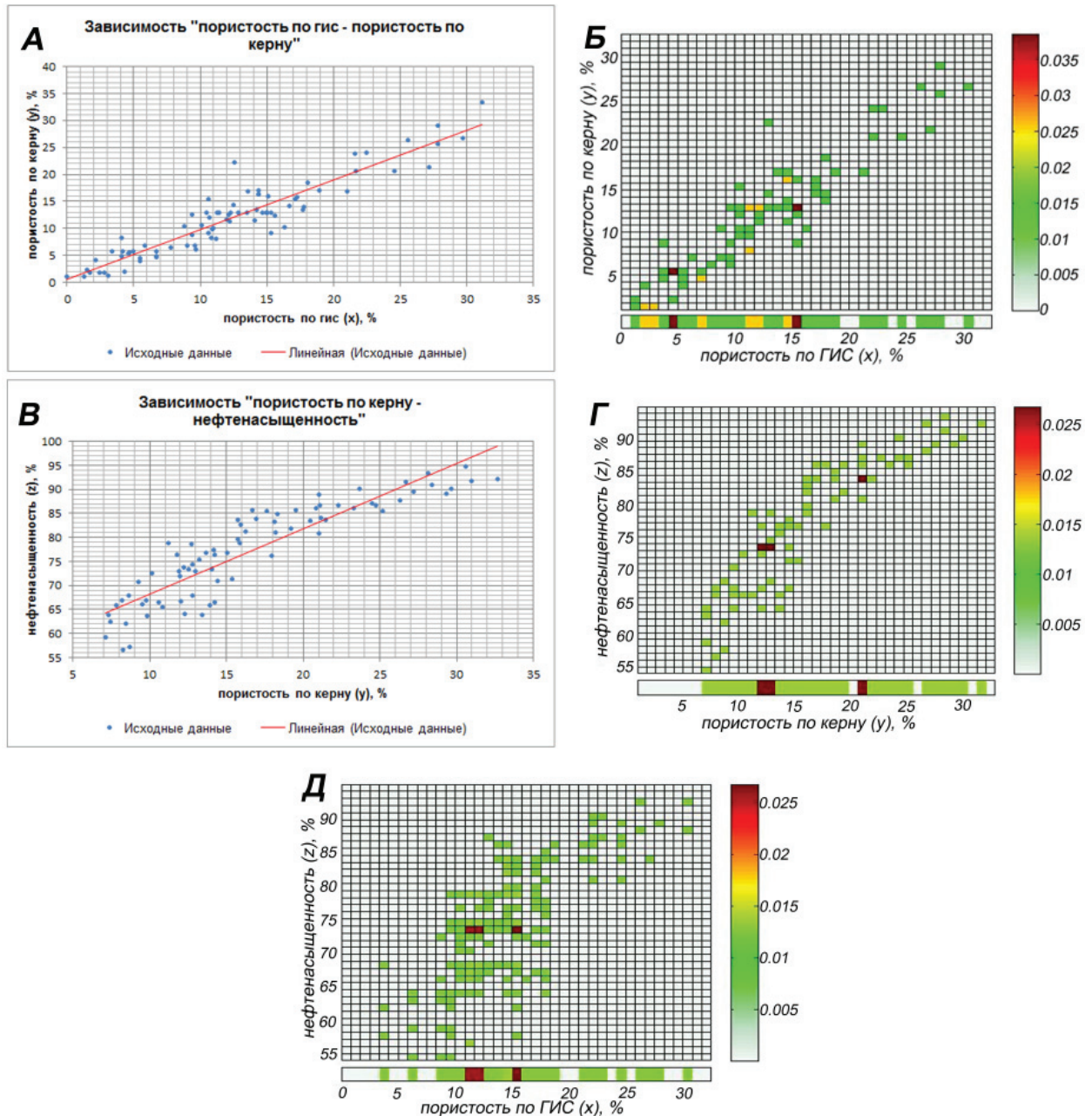


Рис. 1. Сопоставление полигона данных $\mathcal{A}$, $\mathcal{M}$ (А, В) связи между параметрами и их представлениями в форме функций принадлежности $\mu_{\mathcal{A}}^{\varepsilon}(s_1, s_2)$ и $\mu_{\mathcal{M}}^{\varepsilon}(s_1, s_2)$ (Б, Г); нечеткое отношение $\mu_{\mathcal{A} \cdot \mathcal{M}}^{\varepsilon}(s_1, s_3)$ – «пористость по ГИС – нефтенасыщенность» (Д), на Б, Г, Д – справа изображена шкала достоверности, снизу – легенда по максимальным значениям по оси Y на выбранном интервале по X

Будем считать, что функция принадлежности $\mu_{\mathcal{A}}^{\varepsilon}(s_i, s_j) = \mu_{\mathcal{A}}^{\varepsilon}(s)$ может быть аппроксимирована рядом:

$$\mu^{\varepsilon}(s) = \sum_{k=1}^K \varphi(s_k) K(s_k, s) \quad (4)$$

Здесь: s_k координата центра элемента $\Delta_k S$ из $\Delta_j S$, $j = 1 \div J$ разбиения; $0 \leq \varphi(s_k) \leq 1$ вес этого элемента. Значения $\varphi(s_k)$, имеют смысл плотности источника для поля рассеяния $\mathfrak{A}^\varepsilon(s)$, сконцентрированного в ячейке $\Delta_k S$ при использовании аналитической аппроксимации $K(s_k, s)$; $K(s_k, s)$ – вклад в поле рассеяния в точке s источника с плотностью $\varphi(s_k)$ в точке s_k . Пользуясь (4), сформулируем задачу нахождения наименьшего числа K и соответствующих s_k , $\varphi(s_k)$, при которых погрешность аппроксимации не превосходит ε :

$$\left\| \mu^\varepsilon(s) - \sum_{k=1}^K \varphi(s_k) K(s_k, s) \right\|_X \leq \varepsilon; \quad (5)$$

$$K \rightarrow \min.$$

Найденная $\varphi(s_k)$ называется плотностью источников поля рассеяния, а восстановленная по правилу (4) функция принадлежности служит основным расчетным элементом для последующих операций с функциями принадлежности при прогнозе параметров. Для примера, плотность источников для $\mu_{\mathfrak{A}}^\varepsilon(s_1, s_2)$; $\mu_{\mathfrak{M}}^\varepsilon(s_2, s_3)$, приведенных на рис. 1Б, Г и Д таковы:

$$K(s_k, s) = \frac{1}{\xi \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{|s_k - s|^2}{2\xi^2} \right].$$

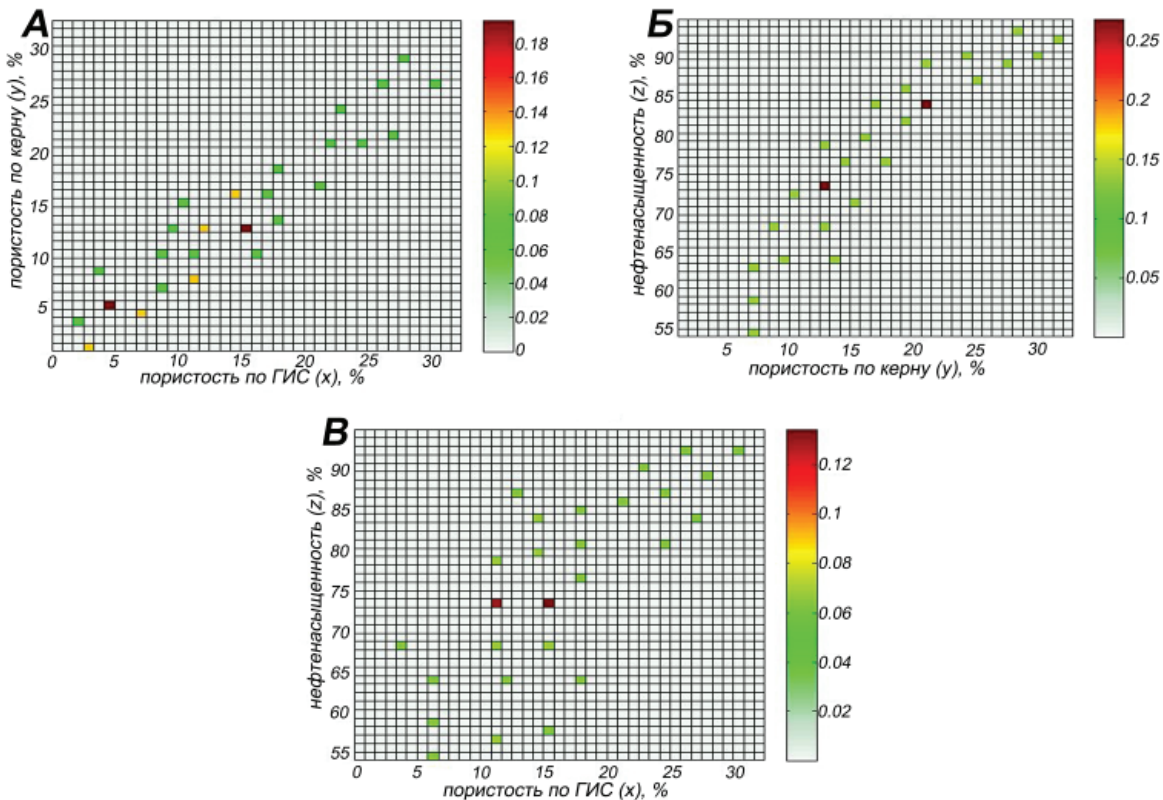


Рис. 2. Сопоставление плотности источников $\mu_{\mathfrak{A}}^\varepsilon(s_1, s_2)$; $\mu_{\mathfrak{M}}^\varepsilon(s_2, s_3)$; $\mu_{\mathfrak{A}}^\varepsilon(s_1, s_2)$ (справа – шкала значений в источниках)

Важно отметить еще следующее обстоятельство. Выбор аппроксимационных элементов, если они близки по характеру убывания и форме кривой в окрестности максимума, не сильно влияют на найденную плотность. Так, например, для исходных данных — полигон рассеяния, изображенный на рис. 3А и ему соответствующего поля рассеяния (см. рис. 3Б) в зависимости от выбранной аналитической аппроксимации $K(s_k, s)$, получаются графически неотличимые результаты (см. рис. 3В и Г).

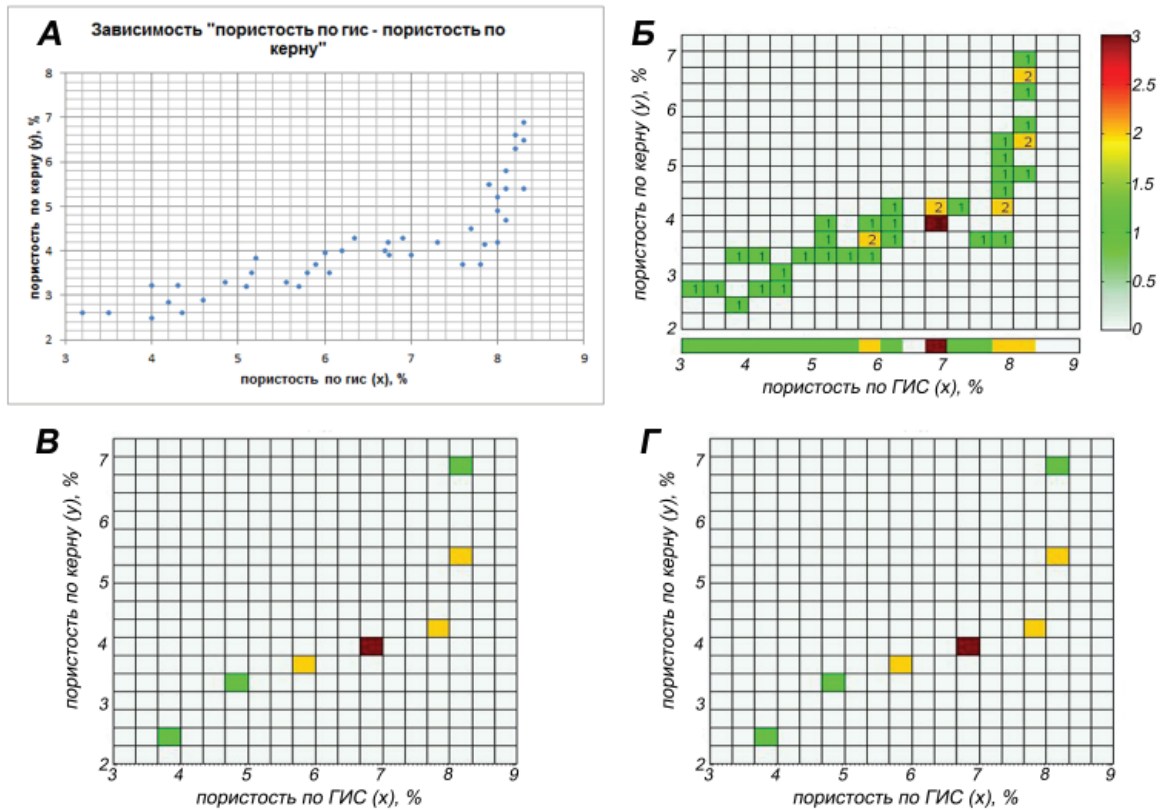


Рис. 3. Полигон исходных данных (А) и поле рассеяния (Б), плотность источников для аналитических аппроксимаций $K_1(s_k, s)$ (В) и $K_2(s_k, s)$ (Г); на Б справа изображена шкала достоверности, снизу — легенда по максимальным значениям по оси Y на выбранном интервале по X

$$K_1(s_k, s) = \frac{\xi}{|s - s^j|^2 + \xi^2}; \quad K_2(s_k, s) = \frac{1}{\xi\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{|s_k - s|^2}{2\xi^2}\right].$$

Здесь ξ — подбираемый параметр, ответственный за локализацию $K_k(s_k, s)$. Такая близость результатов связана с тем, что при определенных параметрах локализации кривые $K_i(0, s)$ с высокой точностью совпадают между собой, различаясь в производных. Отсюда, делается вывод о возможности использования $K_2(s_k, s, \xi)$ в практических вычислениях функции принадлежности по формуле:

$$\mu_{\text{эл}}(s, \xi) = \sum_{k=1}^K \varphi(s_k) K(s_k, s, \xi). \quad (6)$$

Индекс $\mathfrak{A}$ указывает на то, что функция принадлежности построена для данных с именем $\mathfrak{A}$. Переменную — параметр локализации для краткости будем опускать. Он появится вновь в процедурах интерполяции.

Зависимость функции принадлежности от параметра локализации изображена на рис. 4.

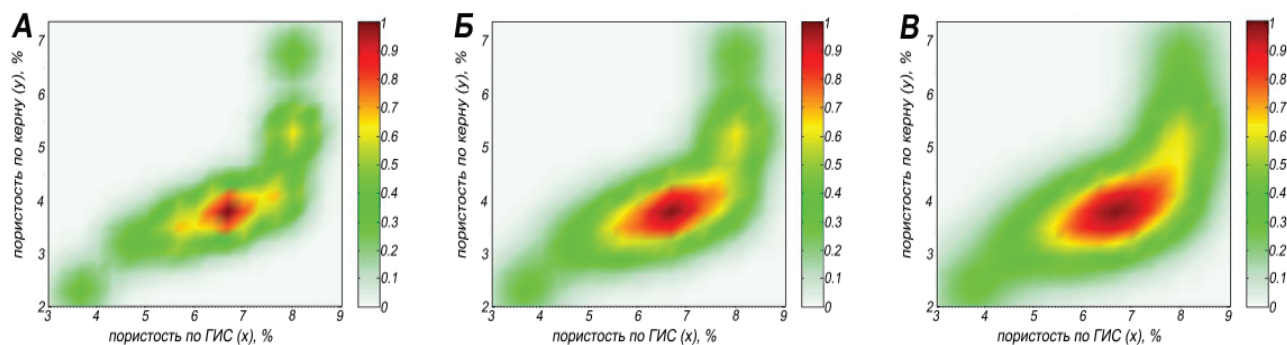


Рис. 4. Сопоставление функций принадлежности при различном выборе параметра локализации $\zeta_1=0,4$; $\zeta_2=0,5$; $\zeta_3=0,6$; (А, Б, В соответственно) (справа изображена шкала достоверности)

Правило нечеткого логического вывода используется для расчета функции принадлежности $\mu_{\mathfrak{A}}(\xi)$ прогнозного параметра (фильтрационно — емкостного) по функции принадлежности $\mu(g)$ (возможно значению), измеряемого геофизического параметра g , и элемента нечеткой петрофизической модели $\mu_{\mathfrak{A}}(g, \xi)$, которое состоит в следующем:

$$\mu_{\mathfrak{A}}(\xi) = \max_g \min[\mu(g), \mu_{\mathfrak{A}}(g, \xi)] \quad (7)$$

Это правило является частным случаем уже использованной композиции (3), и отличается тем, что техника нечеткого логического вывода применяется к прогнозу функции принадлежности одного параметра.

Нечеткая петрофизическая модель для параметра ξ , может быть образована системой нечетких отношений, реализующих различные наборы петрофизических данных $\mathfrak{A}_i$ между измеряемыми (геофизическими) параметрами g_i и прогнозируемым параметром ξ . Например, пористость может быть оценена через параметр интервального времени, измеряемого в акустических методах исследований (данные $\mathfrak{A}_1$ интервальное время — пористость), но может быть оценена и через плотность, определяемую по радиоактивным методам (ГГК(П)) (данные $\mathfrak{A}_2$). В итоге, прогнозный параметр имеет несколько реализаций, полученных использованием функций принадлежности $\mu_{\mathfrak{A}_i}(g_i, \xi)$. Итоговое распределение достоверности для параметра находится как логическое пересечение (при необходимости используется логическое объединение и алгебраические операций над $\mu_{\mathfrak{A}_i}(\xi)$) $\mu(\xi) = \bigwedge_i \mu_{\mathfrak{A}_i}(\xi) = \min_i \mu_{\mathfrak{A}_i}(\xi)$.

Создание информационного оператора $\mu[\xi(v)]$, отображающего каждую распределенную в пространстве экспертируемую модель $\xi(v)$, $v = \{x, y, z\}$ подсчетных параметров в пространственно распределенное в области V поле достоверности $\mu[\xi(v)]$; $0 \leq \mu[\xi(v)] \leq 1$, основано на процедурах интерполяции вычисленных функций принадлежности $\mu[\xi(v)]$ в точках $v_i \in V$ во всю область V . Эта процедура является традиционной для методов вычислительной математики, и в реализации для нечетких отношений определена законом изменения параметра локализации ζ в (6) по мере удаления точки v , в которую выполняется интерполяция от

точки v_i из которой выполняется интерполяция. Этот закон состоит в выборе функции $\zeta = \zeta(|v_i - v|)$, расчете и сопряжения значений $\mu[\xi(v), \zeta = \zeta(|v_i - v|)]$, полученных в результате интерполяции из различных точек по правилу логического объединения:

$$\mu[\xi(v)] = \max_i \mu[\xi(v), \zeta = \zeta(|v_i - v|)].$$

Вид интерполирующей зависимости $\zeta = \zeta(|v_i - v|)$ подбирается, и предпочтительно линейный.

На рис. 5 представлен типовой результат экспертизы на достоверность модели нефтенасыщенности по тестовому месторождению в пределах Тимано-Печорской нефтегазовой провинции, полученный на основе приведенной технологии.

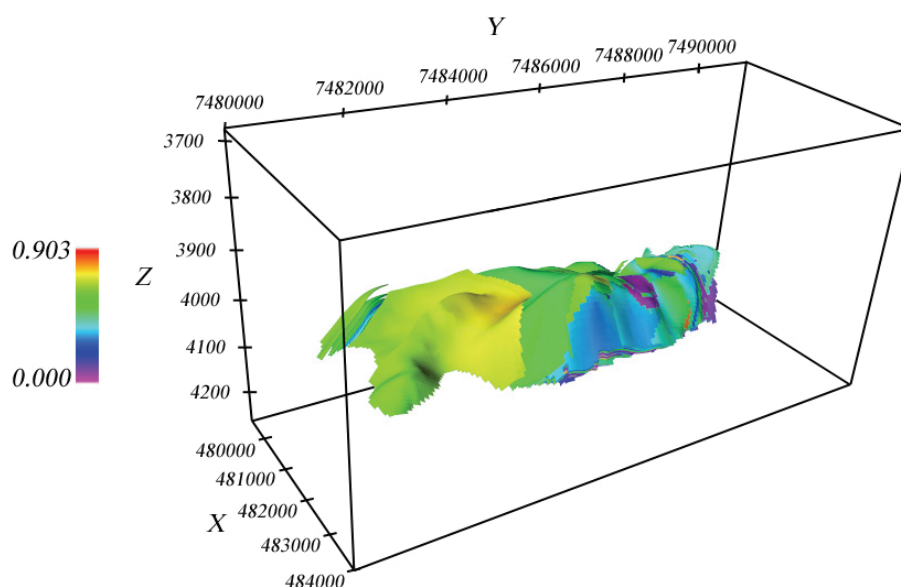


Рис. 5. Пространственная модель распределения достоверности параметра нефтенасыщенности (слева изображена шкала достоверности)

Автор приносит искреннюю признательность своим сотрудникам Дорогобед А.Н. и Кожевниковой П.В. за неоценимый вклад в развитие технологии и, прежде всего, ее вычислительной основы. Все эксперименты были выполнены ими.

Заключение

Математическая модель экспертной оценки достоверности прогноза подсчетных параметров и запасов месторождений углеводородов основана на представлении данных и связей между ними в виде нечетких отношений, которые группируются в нечеткую петрофизическую модель, характерную для рассматриваемого месторождения. Принципы нечеткого логического вывода позволяют оснастить экспертируемую модель величинами достоверности, заложенными в исходных данных, исключая субъективные суждения и внешние результаты. Это делает экспертизу модели более объективной и отражающей информационную обеспеченность компонент модели. Проверка на достоверность компонент и соответствия исходным данным, отраженным в нечеткой петрофизической модели, может быть выполнена для любого из вариантов модели рассматриваемого месторождения.

Список литературы

1. Вендельштейн Б.Ю., Резванов Р.А. Геофизические методы определения параметров нефтегазовых коллекторов: при подсчете запасов и проектировании разработки месторождений. М.: Недра, 1978. 318 с.
2. Дахнов В.Н. Петрофизика-основа геологической интерпретации результатов геофизических исследований скважин, ее состояние и ближайшие задачи // Петрофизика коллекторов нефти и газа (Труды МИНХ и ГП им. И.М. Губкина, вып. 115). М.: Недра, 1975. С. 15.
3. Латышова М.Г. Практическое руководство по интерпретации диаграмм геофизических исследований скважин. М.: Недра, 1991. 220 с.

References

1. Wendelstein B.Y., Rezvanov R.A. (1978) *Geofizicheskie metody opredeleniya parametrov neftegazovykh kollektorov: pri podschete zapasov i proektirovanii razrabotki mestorozhdeniy* [Geophysical methods for determining the parameters of oil and gas reservoirs: when calculating reserves and designing field development] *Nedra* [Nedra]. Moscow. 318 p.
2. Dakhnov V.N. (1975) *Petrofizika — osnova geologicheskoy interpretatsii rezul'tatov geofizicheskikh issledovaniy skvazhin, ee sostoyanie i blizhayshie zadachi* [Petrophysics — the basis for the geological interpretation of the results of geophysical studies of wells, its state and immediate objectives] *Petrofizika kollektorov nefiti i gaza. Trudy MINKh i GP im. I.M. Gubkina* [Petrophysics of Oil and Gas Collectors. Papers of the Plekhanov Russian University of Economics and Gubkin Russian State University of Oil and Gas Institute] *Nedra* [Nedra]. Moscow, Issue 115, p. 15.
3. Latyshova M.G. (1991) *Prakticheskoe rukovodstvo po interpretatsii diagramm geofizicheskikh issledovaniy skvazhin* [Practical guidance on the interpretation of geophysical research of wells] *Nedra* [Nedra]. Moscow. 220 p.