Визуальные методы оценки и модели данных при проектировании разработки месторождений углеводородов

Д.А. Завьялов, А.А. Захарова, А.В. Шкляр
{zda, zaa, shklyarav}@tpu.ru
лаборатория 3D-моделирования Института кибернетики
Томский политехнический университет, Томск, Россия

В работе представлен новый подход к решению задачи поиска аналогий при проектировании разработки месторождений углеводородов. В основе подхода лежит использование трехмерной визуальной модели данных, позволяющей оценивать многомерный массив разномасштабной информации в комплексе и обосновывать принятие экспертного решения. В статье описано применение предложенного подхода при проектировании разработки нефтегазовых месторождений Томской области.

Ключевые слова: *обработка данных, визуальная модель данных, научная визуализация, разработка месторождений.*

Visual assessment methods and data models in the development of hydrocarbon fields

D.A. Zavyalov, A.A. Zakharova, A.V. Shklyar
{zda, zaa, shklyarav}@tpu.ru
lab of 3D Modelling of Institute of Cybernetics
Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

The paper represents a new approach to solving the problem of searching for similars in the design of hydrocarbon fields. The approach is based on the use of a three-dimensional visual data model that allows to estimate a multidimensional arrays of different-scale information in a complex and to justify the adoption of an expert decision. The article describes the application of the proposed approach in designing the development of oil and gas fields in the Tomsk region.

Keywords: *data processing, visual data model, scientific visualization, field development.*

1. Введение

При проектировании разработки нефтегазовых месторождений зачастую возникает задача реконструкции недостающих данных. В процессе разработки меняется энергетическое состояние залежи, вследствие чего изменяются значения параметров, принятые ранее. Кроме того, актуальность задачи обусловлена низким уровнем структурированности существующей информации, частым отсутствием данных для проведения прогнозного моделирования из-за высокой стоимости и трудоемкости их получения. Гипотезой решения задачи является предположение о возможности заимствования недостающих данных у объектов, характеризующихся схожими условиями залегания (аналогичных объектов) и, как следствие, близкими значениями ключевых параметров. Таким образом, целью визуального анализа становится быстрый поиск объектов, близких по ряду свойств, при условии, что решение о принципах оценки подобной близости остается за экспертом.

2. Задача поиска аналогий в проектировании разработки месторождений углеводородов

При проектировании разработки месторождений ситуация с отсутствием части собственных исследований не редкость, однако процедура поиска аналогий слабо формализована и во многом субъективна – решение всегда остается за проектировщиком или экспертом и часто базируется на личном опыте и не подкрепляется фактическим материалом. Особенностями рассматриваемой задачи поиска аналогий являются:

1) разнородность и разномасштабность анализируемых данных;
2) отсутствие строгой формализации и методики решения задачи;
3) субъективность получаемого решения (весовые коэффициенты параметров определяются экспертом);
4) нестрогость накладываемых ограничений (в случае отсутствия решения, доверительный интервал может быть расширен для увеличения объёма обрабатываемой выборки, так как решение должно быть получено в любом случае).

Традиционно решение задачи выбора аналогий можно получить статистически, такой способ связан с обработкой табличных данных по имеющимся месторождениям и выявлением объектов, близких по определенным критериям. Визуальное решение задачи можно получить, например, используя гистограммы отклонений (по каждому параметру) или корреляционные диаграммы (по каждому месторождению), что затратно по времени, так как возникает необходимость анализировать большой объем информации. Примеры традиционного двухмерного решения задачи выбора аналогий показаны на рис. 1.

Кроме того, обозначенные способы решения задачи не позволяют выполнить комплексную оценку всех имеющихся данных в одной модели, что сократило бы время принятия решения. Главная причина этого – невозможность обеспечения достаточной информативности традиционными способами визуального анализа данных на основе плоских двухмерных моделей. В современных условиях постоянного роста объемов информации необходимо использовать многомерные визуальные модели данных [2].

3. Визуальные модели анализа данных

Для решения любой задачи требуется модель, соответствующая типу вырабатываемого визуального решения. Это говорит о необходимости активного привлечения возможностей пользователя при получении ответа на вопрос исследования. Кроме того, одним из

предварительных условий является сокращение времени анализа. Выполнение этого требования может быть обеспечено благодаря упрощению модели до типа, соответствующего обычному информированию, а также благодаря использованию выразительных визуальных средств, не требующих продолжительного знакомства и осмысления [5].

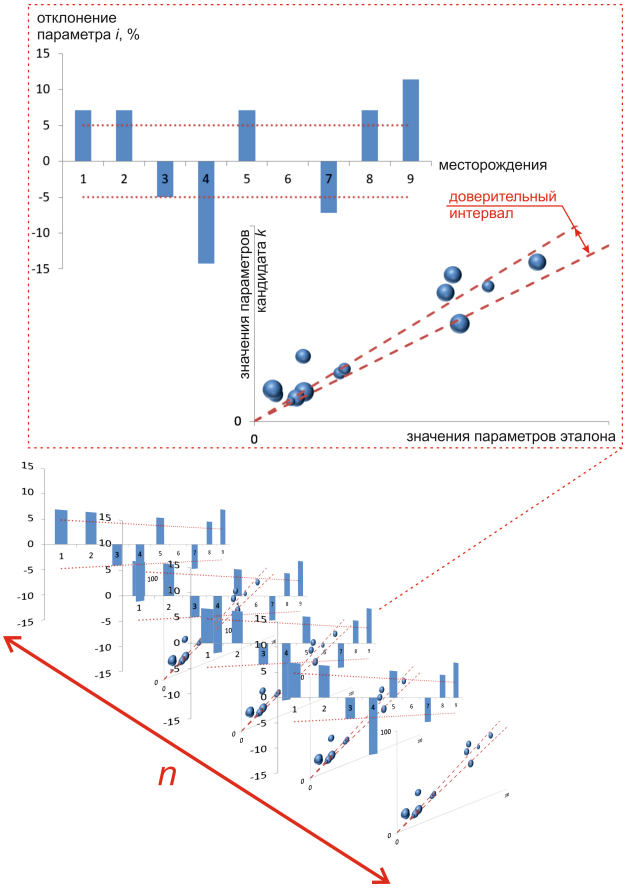

Рис. 1. Визуальное решение задачи выбора аналогий традиционным способом.

Для сокращения времени принятия решения при визуализации значительного числа параметров для визуальной модели выбирается образ, понятный пользователю. По этой причине, в создаваемой модели образ отдельного элемента, объединяющий заданное число параметров, представлен в виде трехмерного графа.

Одним из путей решения проблемы результативного использования времени является сокращение объемов избыточного информирования наблюдателя. С одной стороны, это достигается благодаря анализу информативности полученных образов и устранению элементов, смысл которых не связан с постановкой исследования. Но, кроме этого, возможно привлечение способности человека к мысленной интерполяции и экстраполяции данных, которая делает обоснованным воспроизведение в визуальной модели данных лишь части из них [1].

4. Визуальная модель данных для решения задачи поиска аналогий

В рамках задачи поиска аналогий происходит выбор наиболее близкого месторождения-аналога из выборки кандидатов с учетом весовых коэффициентов параметров и допустимых отклонений параметров кандидатов от эталона. Концептуальная схема предлагаемой визуальной модели данных для решения задачи поиска аналогий при проектировании разработки месторождений представлена на рис. 2.

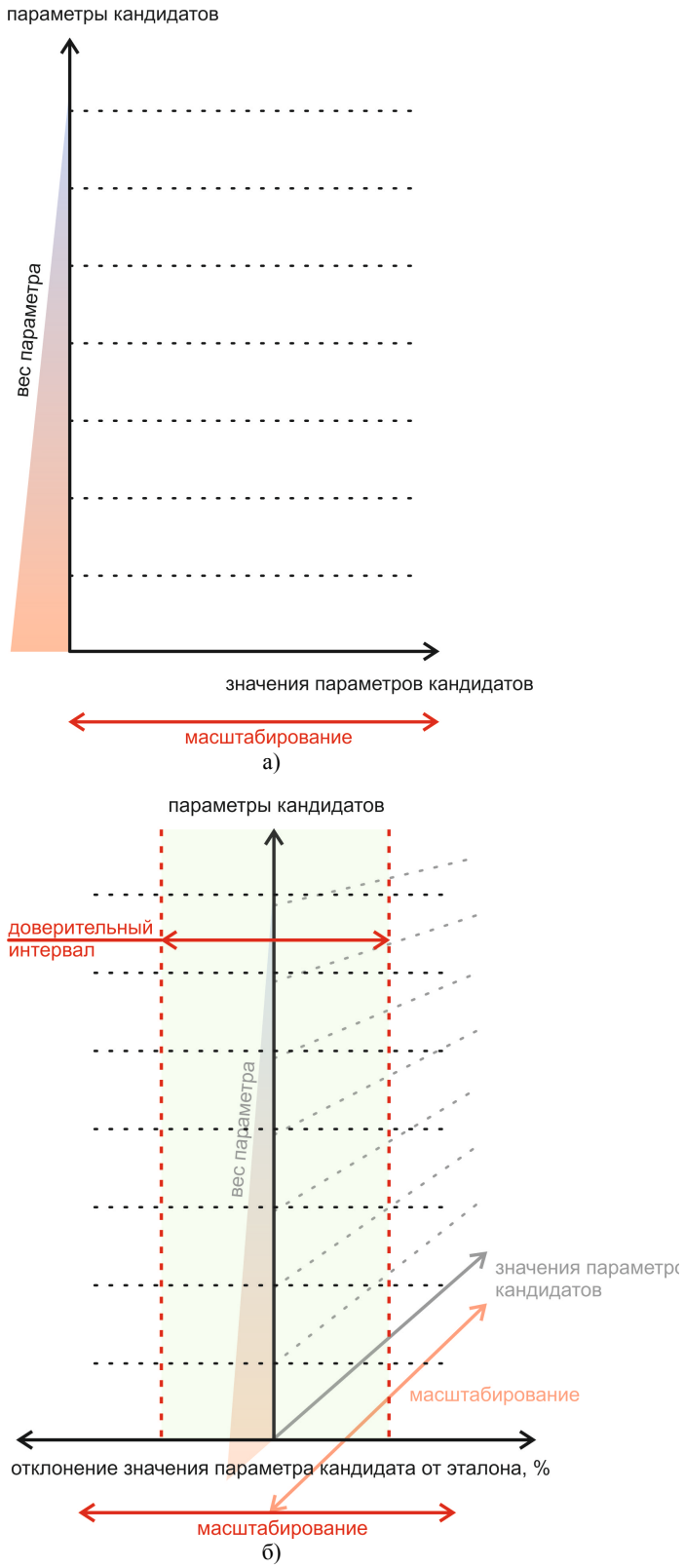

Рис. 2. Концептуальная схема визуальной модели данных.

Параметры месторождений-кандидатов в визуальной модели располагаются в соответствии со своими весовыми коэффициентами. В двухмерном режиме (рис. 2 (а)) модель позволяет выполнять анализ массива абсолютных значений с учетом весовых коэффициентов, при этом для лучшего визуального восприятия параметры масштабируются.

Третье измерение модели (рис. 2 (б)) реализует режим сравнения отклонений параметров месторождений-кандидатов от эталона, допустимое отклонение ограничивается доверительным интервалом. В таком режиме экспертом выполняется визуальная оценка и поиск наиболее подходящего месторождения-аналога, оптимальным решением будет кривая параметров, наиболее близкая (с точки зрения эксперта) к центральной линии (эталону).

В рассматриваемой задаче визуальная модель сопровождается максимально возможной степенью интерактивности системы управления, что позволяет формулировать мысленный вопрос на каждом шаге анализа таким образом, чтобы это соответствовало скорости и особенностям мышления пользователя.

Созданная процедура исследования данных подтверждает положения комплексного подхода к визуализации, в соответствии с которыми анализ имеет структуру последовательного продвижения от образа-вопроса к образу-ответу с привлечением визуальной верификации промежуточных результатов. Окончательное решение, предложенное для задачи анализа в этом случае, характеризуется возможностью быстрого выявления наилучшего ответа при минимальных усилиях. Это позволяет достигать цели исследования, соблюдая алгоритм трансформирования образа при помощи интерактивной системы управления и без привлечения дополнительных источников информации [4].

Помимо оценки массива разнородных данных в одной визуальной модели комплексность в данном случае заключается еще и в возможности выполнения одновременного визуального анализа разных аспектов данных: абсолютные значения, абсолютные и относительные отклонения от эталона, динамика данных.

Для опробования представленного подхода на реальных данных выбрано одно из месторождений Томской области, на котором отсутствуют собственные исследования керна, необходимые для прогнозирования разработки. Такие исследования могут быть использованы с одного из аналогичных месторождений, необходимо найти в исходной выборке кандидатов месторождение-аналог, наиболее близкое к эталону по ключевым параметрам. Исходная выборка включает 18 месторождений-кандидатов. Из всего набора данных (рис. 3) по месторождениям выделены 13 ключевых геолого-физических характеристик, которым экспертно назначены весовые коэффициенты и допустимые отклонения от эталона.

Параметры	Вес (1-5)	Допустимое отклонение, %	Эталон M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19
Плотность воды в поверхностных условиях	1	+5, -5	1,02	1,027	1,001	1,024	1,025	1,023	1,02	1,02	1,024	1,027	1,02	1,02	1,02	1,024	1,024	1,026	1,026	1,025	1,025
Средняя глубина залегания кровли	2	+5, -5	-2406,5	-2478	-2467	-2089	-2337	-2463	-2481	-2500	-2548	-2545	-2706	-2169	-2189	-2380	-2386	-3066	-3069	-2875	-2877
Коэффициент песчанистости	2	+15, -15	0,66	0,52	0,69	0,49	0,4	0,55	0,82	0,8	0,76	0,49	0,49	0,6	[illegible]	[illegible]	0,72	0,78	0,82	0,8	0,65
Начальное пластовое давление	2	+15, -15	25,5	25,3	35,6	31,1	28,12														
Средняя общая толщина	3	+20, -20	13,8	12,6	6,3	61,3	48,8														
Средняя эффективная нефтенасыщенная толщина	3	+15, -15	6	4,8	5,7	19,5	15,2														
Вязкость нефти в пластовых условиях	4	+15, -15	0,56	0,61	0,43	0,91	0,6														
Плотность нефти в поверхностных условиях	4	+8, -8	0,799	0,808	0,79	0,797	0,794														
Объемный коэффициент нефти	4	+5, -5	1,178	1,229	1,501	1,25	1,286														
Газосодержание	4	+10, -10	54	71,4	186,7	102,1	110														
Коэффициент пористости	5	+10, -10	0,14	0,15	0,11	0,13	0,13														
Коэффициент нефтенасыщенности пласта	5	+10, -10	0,58	0,65	0,68	0,59	0,59														
Проницаемость	5	+10, -10	0,0051	0,005	0,007	0,001	0,002														

Рис. 3. Исходная выборка данных для поиска аналогий.

Полученная трехмерная визуальная модель данных представлена на рис. 4. Двухмерный режим сравнения абсолютных значений (рис. 4 (а)) демонстрирует отсутствие связи между некоторыми данными (значения параметров откладываются от левой грани модели, горизонтальные оси соответствуют выбранным параметрам и располагаются в соответствии с их весовыми коэффициентами) вследствие того, что в выборке присутствуют значения параметров различных пластов (пород-коллекторов, вмещающих углеводороды). Трехмерный режим поиска аналогий показан на рис. 4 (б) (центральная ось – эталон, линии – отклонения параметров кандидата от эталона в большую либо меньшую сторону, доверительный интервал обозначен параллелепипедом), здесь обозначена кривая параметров месторождения-аналога (линия с большей толщиной), выбранного проектировщиком в качестве решения, как наиболее близкого к эталону по всей совокупности параметров.

Представленный подход совмещает в одной трехмерной визуальной модели традиционный двухмерный анализ абсолютных значений параметров, анализ отклонений параметров от эталонного, ранжирование параметров по весовым коэффициентам, использование доверительного интервала, масштабирование значений параметров для лучшего восприятия пользователем. Все перечисленное, а также интерактивность трехмерной модели (возможность изменить ракурс и масштаб, как всей модели, так и отдельных ее параметров для оценки локальных эффектов) обеспечивает интуитивное восприятие пользователем больших массивов информации и позволяет сократить время анализа визуальной модели и принятия решений.

Реализованная комплексная трехмерная визуальная модель данных месторождений, представленная на рис. 4, позволила оперативно найти решение задачи поиска аналогий, благодаря чему были восполнены недостающие данные и построены корректные геологическая и гидродинамическая модели месторождения (в соответствии с действующими регламентными документами [6], [7]), а также выполнено прогнозное моделирование разработки, создан проектный документ и успешно пройдена государственная экспертиза.

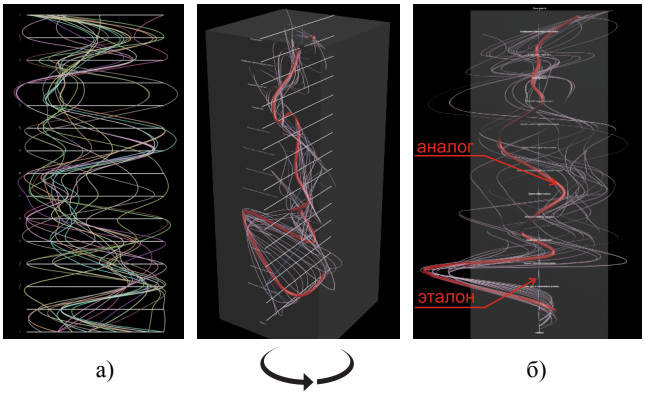

Рис. 4. Визуальная модель данных для задачи поиска аналогий.

Основной эффект от использования представленной комплексной трехмерной визуальной модели данных состоит в том, что одна такая модель заменяет массив двухмерных моделей, которые приходится анализировать эксперту при традиционном подходе (рис. 1), используя ряд универсальных и специализированных программных средств. Модель представляет собой инструмент для анализа данных, который позволяет не только проверить гипотезу, но также сформировать новое знание. По опыту проектирования разработки месторождений можно утверждать, что такой подход при анализе больших объемов данных быстрее и эффективнее традиционных.

Созданный инструмент визуального анализа и получения новой информации, является примером визуальной интерполяции данных благодаря реализации в модели функционального принципа визуальных аналогий. Использование разработанной визуальной модели

позволяет быстро обнаруживать в исследуемых данных объекты, близкие между собой, с точки зрения наблюдателя и признанных им принципов. Такой подход позволяет быстро и эффективно оценивать, анализировать и сравнивать между собой большие объемы данных, что затратно по времени при использовании традиционных способов анализа.

Представленная визуальная модель позволяет решать широкий спектр задач, связанных с анализом больших объемов разнородных данных. К примеру, модель позволяет производить верификацию данных или прогноза разработки месторождений, а также выполнять экспресс-оценку полученного проектного решения с учетом имеющегося опыта разработки аналогичных объектов.

При проектировании разработки месторождения одной из основных задач является оптимальное размещение проектных скважин (динамика и объем добычи определяются геолого-физическими характеристиками пласта в районе размещения скважины) и выбор их режимов работы. На рис. 5 показана визуальная модель, отображающая прогнозные объемы добычи нефти по скважинам одного из месторождений в динамике. В указанной модели горизонтальные оси соответствуют годам разработки месторождения, а в качестве эталона выбрана одна из действующих на месторождении скважин, режим работы которой признан экспертом удовлетворительным. Модель показывает отклонение в объемах добычи нефти проектных скважин от эталонной (действующей). При этом для удобства сравнения произведен сдвиг начала работы скважин к одной точке (при разработке месторождения бурение скважин происходит не одномоментно), а доверительный интервал обозначает допустимый режим работы проектных скважин.

Модель позволяет сделать вывод о том, что режим работы части прогнозных скважин является неудовлетворительным, а именно: объемы добычи некоторых скважин (рис. 5 (а)) значительно превышают эталонные значения, что может свидетельствовать о некорректной настройке их режимов работы; динамика добычи других скважин (рис. 5 (б)) говорит о нецелесообразности их бурения – такие скважины не окупят себя, что может привести к отрицательной экономике проекта. Такое проектное решение необходимо доработать [3], [6].

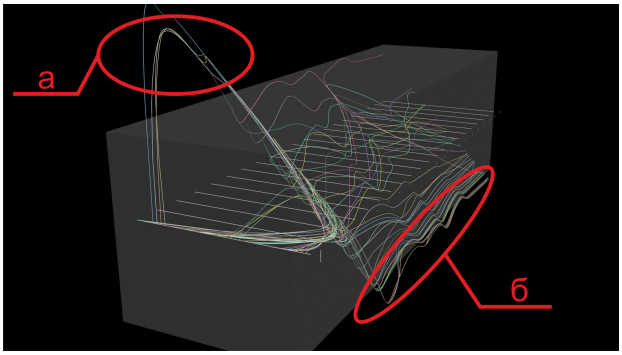

Рис. 5. Оценка режимов работы прогнозных скважин.

5. Заключение

В статье показана актуальность задачи поиска аналогий в процессе проектирования разработки месторождений, предложен новый подход к решению задачи на основе трехмерной визуальной модели данных, которая становится инструментом оперативного принятия решений. Апробация предложенного подхода проведена на реальных данных по месторождениям Томской области в процессе выполнения ряда НИР по геологическому и прогнозному гидродинамическому моделированию для проектов подсчета запасов и разработки. Предложенный подход позволил оперативно найти решение задачи поиска аналогий, восполнить недостающие данные, получить корректные геологические и гидродинамические модели месторождений, выполнить прогнозное моделирование разработки и успешно пройти государственную экспертизу.

6. Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта Министерства образования и науки РФ № 2.1642.2017/4.6.

7. Литература

[1] Mehrnoosh Oghbaie, Michael J. Pennock, William Rouse. Understanding the efficacy of interactive visualization for decision making for complex systems // 2016 Annual IEEE Systems Conference (SysCon).

[2] Бондарев А.Е., Галактионов В.А., Чечеткин В.М. Анализ развития концепций методов визуального представления данных в задачах вычислительной физики // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2011. Т. 51. № 4. С. 669-683.

[3] Завьялов Д.А. Применение методики оценки рисков разработки месторождения // Молодежь и современные информационные технологии : сборник трудов XIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, г. Томск, 9-13 ноября 2015 г. : в 2 т. — Томск : Изд-во ТПУ, 2016. — Т. 1. — [С. 326-327].

[4] Захарова А.А., Шкляр А.В. Основные принципы построения визуальных моделей данных на примере интерактивных систем трехмерной визуализации // Научная визуализация. - 2014. - №2. - С. 62-73.

[5] Захарова А.А., Шкляр А.В., Ризен Ю.С. Измеряемые характеристики задач визуализации // Научная визуализация. - 2016. - №1. - С. 95-107.

[6] Методические рекомендации по подготовке технических проектов разработки месторождений углеводородного сырья // Минприроды России. Утв. 18.05.2016.

[7] Методические рекомендации по применению классификации запасов и ресурсов нефти и горючих газов // Минприроды России. Утв. 01.02.2016.

Об авторах

Завьялов Дмитрий – аспирант каф. ИГПД ИК ТПУ. Его e-mail: zda@tpu.ru.

Захарова Алёна Александровна – зав. каф. ИГПД ИК ТПУ, д.т.н. Её e-mail: zaa@tpu.ru.

Шкляр Алексей Викторович – ст. преподаватель ИГПД ИК ТПУ. Его e-mail: shklyarav@tpu.ru.