

УДК 550.832:681.5.03

МЕТОДИКА АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА КАРОТАЖНЫХ ДАННЫХ

METHOD FOR AUTOMATED QUALITY CONTROL LOG DATA

Пельмегов Р. В.

ФГБОУ ВПО «Ухтинский государственный технический университет»,
г. Ухта, Российская Федерация

R.V. Pelmegov

FSBEI HPE “Ukhta State Technical University”, Ukhta, the Russian Federation
e-mail: rpelmegov@ugtu.net

Аннотация. Работа посвящена развитию научных основ, методов и технологий автоматизированного контроля качества первичных данных геофизических исследований скважин (ГИС). Проблема обеспечения высокого качества интерпретации промыслово-геофизических данных всегда оставалась одной из важнейших задач нефтепромысловой геофизики, поэтому одним из направлений в решении обозначенной задачи является повышение точности и достоверности данных ГИС. Первая оценка материалов производится оператором по исследованию скважин непосредственно на объекте, что требует значительных познаний в теории методов ГИС и большого опыта работы. Решение вопроса о прекращении каротажа на определенной скважине связано с выраженной экспертом уверенностью в получении качественных результатов проведенных исследований. Однако большинство операторов либо не обладают требуемой квалификацией, либо не имеют возможности оценить качество вследствие большого объема данных, сложных условий исследования и т.п. Актуальность использования автоматизированных средств обнаружения ошибок и контроля качества регистрируемых данных в

процессе или непосредственно по завершению исследований аргументируется резко возрастающей ценой ошибок записи с каждым последующим этапом работ. В статье дан краткий обзор признаков ненадежности фрагментов записи и существующих в настоящее время подходов к решению задачи контроля качества данных ГИС, выявлен ряд недостатков рассмотренных методов. Предложена конструкция эвристического алгоритма решения задачи контроля качества данных с применением методов восстановления данных с пробелами. Сформулирован градиентный критерий меры подобия фрагментов записей каротажных диаграмм. Приведены результаты численного эксперимента по автоматической верификации данных бокового каротажа.

Abstract. This work is devoted to the development of scientific principles, methods and techniques of automated control of the primary data recorded in geophysical research in the wells (GIS). The problem of providing high quality interpretation of geophysical data has always been one of the most important tasks of the oilfield geophysics; therefore, one of the areas indicated in solving the problem is to increase the accuracy and reliability of the GIS data. The first evaluation of materials by the operator on the Exploration wells directly on the site, which requires considerable knowledge of the theory of GIS techniques and a lot of experience. The issue of termination of logging on certain well connected with the expert expressed confidence in getting quality of the research results. However, most operators either do not have the required qualifications or are not able to assess the quality due to the large amount of data, the study of complex conditions, etc. Relevance of the use of automated tools to detect errors and quality control of recorded data during or immediately upon completion of studies argued sharply increasing price of write errors with each subsequent milestone. The article gives a brief overview of features unreliability of tracks and the currently existing approaches to the problem of quality control of GIS data identified a number of shortcomings of the methods considered. A design of the heuristic algorithm for solving the problem of quality control data using

data recovery techniques with spaces. Formulated gradient criterion similarity measure fragments of recordings of logs. The results of numerical experiment on automatic data verification lateral logging.

Ключевые слова: геофизические исследования, нефтяные скважины, контроль качества, автоматизация, обработка данных, эвристика, критерии подобия.

Key words: geophysical research, oil wells, quality control, automation, data processing, heuristics, similarity criteria.

В настоящее время комплекс геофизических исследований скважин (ГИС) включает регистрацию множества различных параметров: разнообразные физические свойства горных пород, напряженность многообразных физических полей, технические характеристики состояния самой буровой скважины [1]. Во время проведения или непосредственно по завершению исследования необходимо провести оперативную верификацию каротажных диаграмм и, при необходимости, принять решение о повторном замере. Однако в большинстве случаев эта процедура переносится на этап обработки и интерпретации, тем самым увеличивая затраты времени и средств на выдачу заключений. В связи со всем вышесказанным представляется актуальной разработка автоматизированной системы оценки качества (АСОК) первичных материалов ГИС, обеспечивающей возможность оценивать качество диаграммного материала перед его отправкой на интерпретацию.

Симптомами ненадежности фрагментов записи выступают:

1. Бессмысленные с геолого-геофизической точки зрения значения показаний приборов, возможно связанные со срывами, выбросами, затыжками, утечками в кабеле, ошибки АЦП, и т.д.;

2. Противоречивые показания приборов, проявляющиеся в расхождениях показаний разных методов исследования, либо при разных

условиях записи одного метода. Например, показания электрических методов на постоянном и переменном токе, либо несоответствие показаний разных зондов при исследовании на постоянном токе;

3. Несоответствие показаний приборов имеющейся априорной информации об объекте исследований. Например, отсутствие артефактов на записи электромагнитных методов при прохождении интервалов перфорации колонны.

На практике до сегодняшних дней единственным надежным способом решения плохо формализуемых задач, к которым относится и верификация данных ГИС, является применение метода экспертных оценок.

Применение экспертных методов оказывается наиболее эффективно в сочетании с другими применяемыми ныне методами оценки качества данных, в основном со статистическими методами. Широко используется воспроизводимость данных на перекрывающихся интервалах, повторных и контрольных измерений. Однако важно помнить, что для оценки качества материала можно рассматривать данные, записанные только во время одного и того же каротажа, т.е. с минимальным временным интервалом. Поскольку сложность применения статистических методов связана с большим количеством возможных преобразований регистрируемых параметров.

Недостатки проверки качества кривых ГИС статистическими методами частично могут быть устранены применением способа многоскважинного статистического контроля [2], основанного на предположении о том, что выбранный геофизический параметр имеет постоянное распределение по площади для достаточно мощной толщи пластов [3]. Проблема метода состоит в получении эталонного распределения изучаемого параметра. Идеальным является случай, когда можно построить распределение параметра по представительной выборке керна. В случае, когда имеются лишь единичные образцы керна, строить по ним распределение какого-либо параметра не имеет смысла.

Классической задачей статистической обработки геофизических материалов является спектральный анализ, или более конкретно – оценивание значений частот, амплитуд, фаз и периодических составляющих различных геофизических полей. Спектральный анализ позволяет судить о наличии в данном процессе тех или иных ритмов, частота которых соответствует имеющимся в анализаторе фильтрам, с помощью которых выделяются все колебания данного периода. Недостатком метода является отсутствие информации о локализации частоты в пространстве (или во времени). Таким образом, при применении в качестве метода контроля качества данных, спектральный анализ не позволяет локализовать искаженный участок, а лишь предупреждает о наличии возможных ошибок регистрации.

Распространенной практикой при поиске и разведке месторождений нефти и газа является и оценка достоверности результатов геофизических методов исследования на основе их сопоставления друг с другом. При заключении о достоверности результатов всех сопоставляемых геофизических методов, внимание обращается на участки их «рассогласованности», которые могут быть связаны либо с аномальным объектом, либо с наличием помех, либо с технологическим браком, допущенным при выполнении полевых работ или обработке полученных материалов.

Сложность автоматизации описанных процессов хорошо отражает известный парадокс Джонсона, состоящий в том, что по мере накопления опыта процесс принятия решения экспертом все больше начинает носить неосознаваемый характер. Эксперт не всегда способен оценить важность тех или иных знаний для принятия решения, а накопленный опыт сложно вербализовать и представить в формализованном виде.

В статье «A Hierarchical Approach to Improving Data Quality» [4] предлагаемый авторами подход к контролю качества геоинформационных данных основан на сопоставлении изображений одной местности,

полученных из разных источников. Критерием качества считаются величины взаимных уклонений пар матриц смежности графов, представляющих наборы данных. Подбор и сопоставление изображений выполняется экспертами вручную, являясь при этом актом формализации их опыта, поскольку основная проблема инженерии знаний – это процесс извлечения знаний.

Поставим следующую задачу: на вход вычислителя подается необработанный материал – одномерный дискретный сигнал с фиксированным шагом, являющийся изображением информационного объекта в единицах какого-либо из его параметров. Требуется, руководствуясь материалами, качество которых подтверждено экспертами, оценить качество тестируемого сигнала. Таким образом сформулированная постановка задачи контроля качества данных оказывается близка к теории распознавания образов, и основная идея предлагаемого метода базируется на представлении о том, что информационный сигнал формируют дискретное изображение информационного объекта. В случае исследования схожих объектов даже существенно отличающиеся по амплитуде и уровню шумов изображения имеют и сходное содержание. Сравнивая тестируемое изображение с подобранными по содержанию изображениями из имеющейся базы эталонов, являющейся аккумулятором опыта эксперта, можно судить о качестве изучаемого материала.

Для определения подобия сигналов обычно применяется некоторая мера расстояния, с помощью которой можно получить численную оценку их сходства. Два сигнала также могут называться подобными, если возможно такое преобразование определяющих параметров, после которых сигналы «выглядят» одинаковыми. Понятие меры сходства широко используется в теории подобия [5, 6, 7], более того, эта задача является одной из основных. Однако проблема формализации этого понятия при решении конкретных задач, как правило, не является тривиальной.

В контексте вышесказанного предлагается следующий критерий эквивалентности изображений геофизических сред с соответствующим алгоритмом вычисления оценки подобия сигналов. В качестве основной характеристики среды предложено считать морфологический градиент, отображающий перепады сигнала. Для числовой оценки подобия двух сигналов в этом случае достаточно вычислить площадь фигуры, образуемой взаимными отклонениями кривых градиентов. Для корректного сравнения тестируемого и эталонного сигналов их уровни должны быть нормированы. Это необходимо, поскольку результаты измерений, даже проведенные в одной скважине, могут отличаться по мощности вплоть до порядков. И это возможно, поскольку понятие мощности сигнала не относится к характеристикам измеряемых геофизических величин. Таким образом, разработанный алгоритм вычисления оценки подобия двух сигналов равной длины по критерию содержания изображаемой среды имеет следующий вид:

1. Нормирование сигналов по ограничиваемой их кривыми площади;
2. Нахождение градиентов нормированных кривых;
3. Вычисление интеграла модуля разности градиентов.

Для решения поставленной задачи предлагается использовать метод локального усреднения показателя, так называемый метод скользящего окна, который позволяет в определенной мере снять ограничения на протяженность исследуемых объектов и ослабить влияние случайных явлений. Критерий подобия рассчитывается в пределах окна, полученное значение присваивается средней точке. Затем в заданном направлении окно перемещается на одну точку, и операция повторяется. Размер окна зависит от характера распределения и обычно включает от 10 до 50 ближайших точек. Результат подбора участков по разработанному алгоритму представлен на рисунке 1.

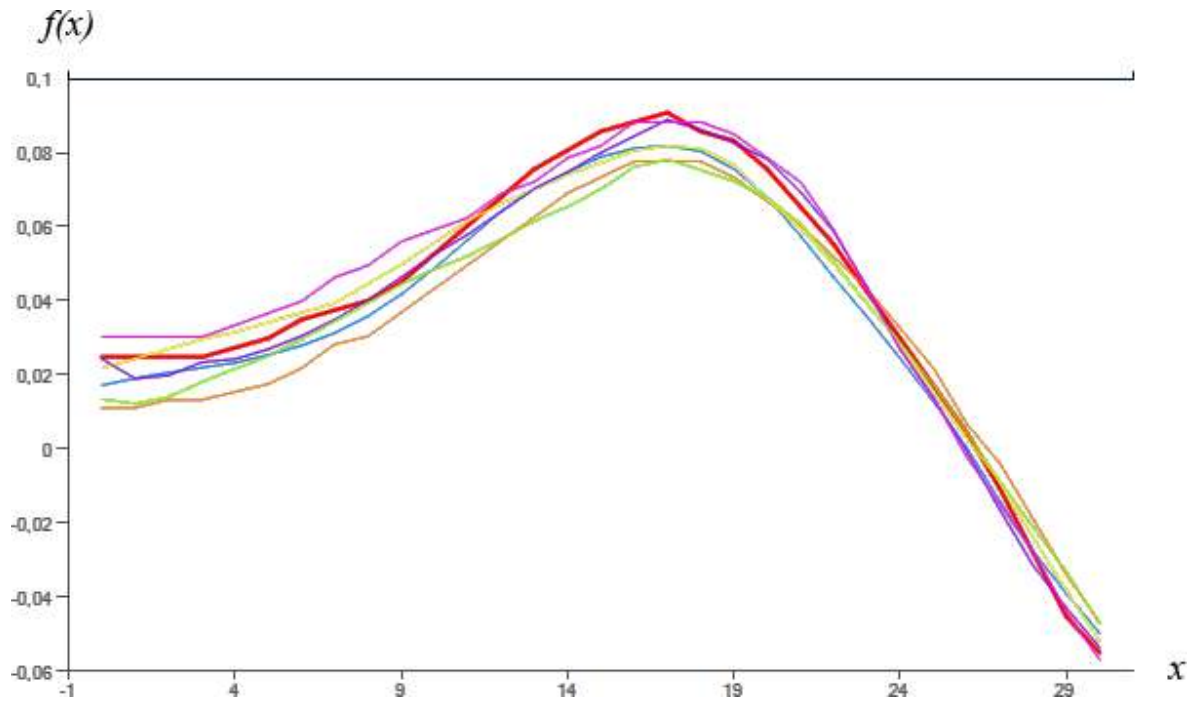


Рисунок 1. Результат подбора похожих участков

Следующим этапом предлагаемого метода является исследование тестируемой кривой на предмет выявления особенностей, не присущих эталонным кривым. Для нахождения таких особенностей предлагается применение метода итерационного моделирования неполных данных с помощью многообразий малой размерности [8]. Все версии метода трактуется как построение нейросетевого конвейера, решающего следующие задачи:

- 1) заполнение пробелов в данных;
- 2) ремонт данных, корректировка значений исходных данных так, чтобы наилучшим образом работали построенные модели;
- 3) построение вычислителя, заполняющего пробелы в поступающей на вход строке данных (в предположении, что данные о новых объектах связаны теми же самыми отношениями, что и в исходной таблице).

Для решения поставленной задачи применяются два метода:

- 1) линейный – с моделированием данных последовательностью линейных многообразий малой размерности, представляющий из себя метод главных компонент для таблиц с пробелами (рисунок 2);

2) существенно нелинейный – основанный на построении «главных кривых» с использованием вариационного принципа (рисунок 3); итерационная реализация этого метода близка методу самоорганизующихся карт Кохонена.

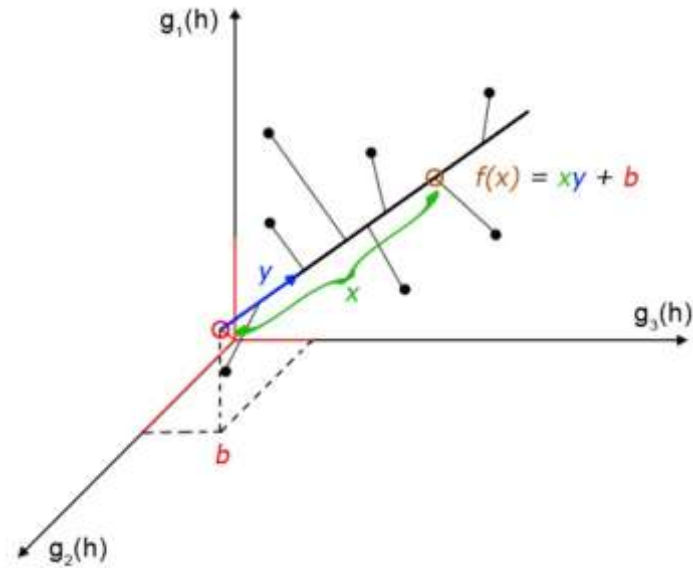


Рисунок 2. Моделирующие многообразие малой размерности

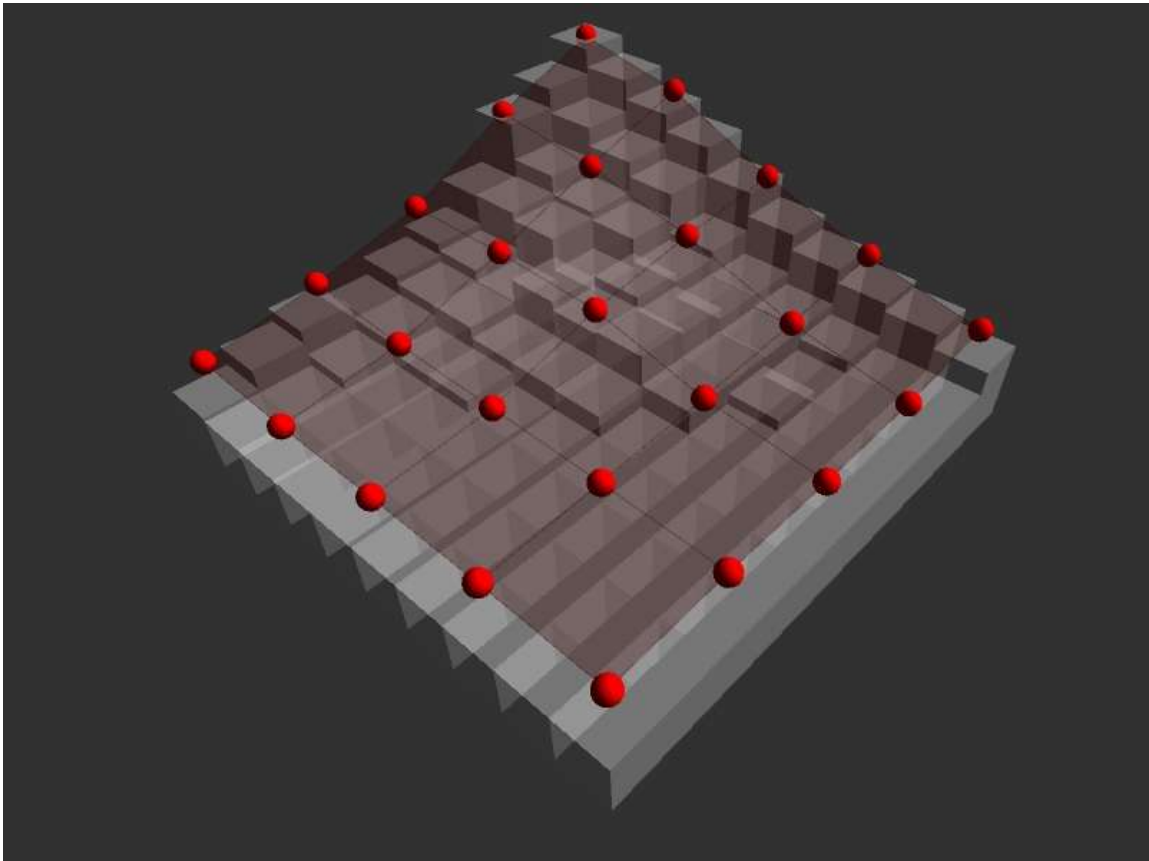


Рисунок 3. Аппроксимация самоорганизующейся картой набора данных

Алгоритм выявления локальных особенностей кривых на основе методов заполнения пробелов был построен нами следующим образом:

1. Нормирование подобранных на предыдущем этапе кривых по мощности;
2. Удаление участка тестируемой кривой, качество которого подвергается сомнению;
3. Формирование из кривых матрицы (поверхности) с пробелами;
4. Восстановление участка по имеющимся избыточным данным;
5. Вычисление интеграла квадрата разности исходной и восстановленной кривой.

Оценка отклонения предстанет числом, прямопропорциональным величине неуверенности системы в качестве данного участка (рисунок 4).

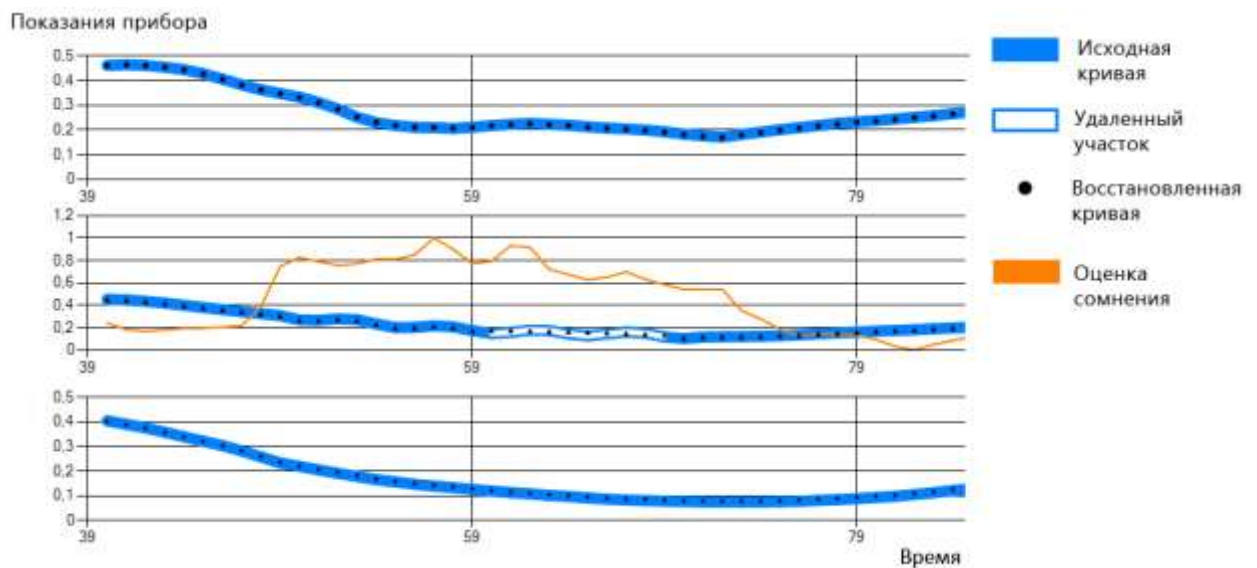


Рисунок 4. Оценка сомнения в качестве участка, искаженного гармоническими колебаниями

С целью улучшения работы используемых методов восстановления данных формирующие матрицу кривые выстраиваются по критерию образования максимально «гладкой» поверхности (рисунок 5). Для этого среди всех уникальных комбинаций кривых необходимо выбрать поверхность, обладающую минимальной суммой градиентов.

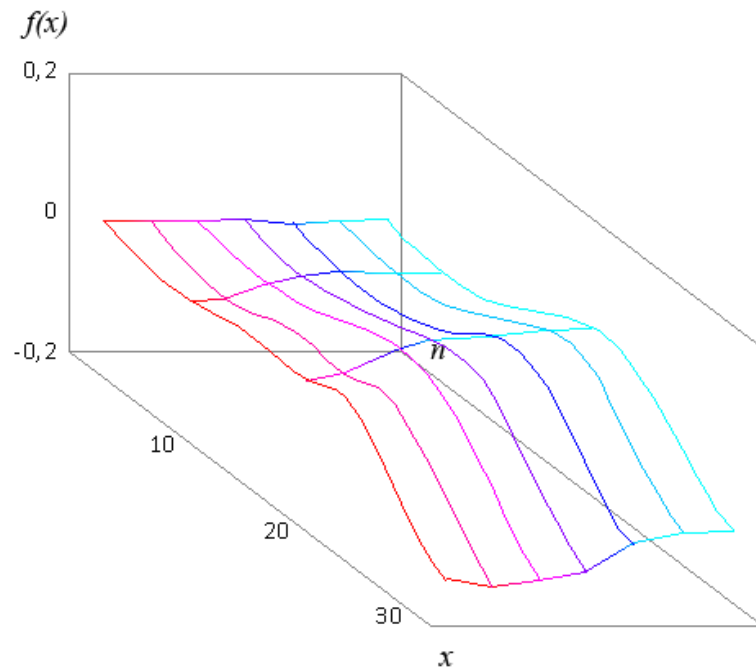


Рисунок 5. «Гладкая» поверхность, формируемая ранжированными кривыми

Выводы

Для анализа каротажных данных автором был разработан программно-вычислительный комплекс «Комплекс инструментов для автоматизированного контроля качества данных ГИС» (свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014611497), использующий представленную эвристическую технологию. Результаты вычислительных экспериментов позволяют утверждать о применимости и конкурентоспособности предлагаемого метода. При наличии слабых гармонических помех в наблюдениях он, по-видимому, является наиболее предпочтительным. Участок с помехами явно выделялся аномально высоким уровнем среднеквадратического отклонения (рисунок 6). Реализация подобного подхода к решению задачи автоматизированного контроля качества записи данных способна в значительной мере снизить вероятность получения недостоверных результатов ГИС. Дальнейшее развитие предложенного решения с включением моделей сред в качестве контролируемых данных позволит строить новые интерпретационные схемы в скважинной геофизике.

Список используемых источников

1 Сковородников И.Г. Геофизические исследования скважин. Курс лекций. Екатеринбург, УГГГА, 2003. 294 с. С. 2-5.

2 Многоскважинные технологии интерпретации данных ГИС в ОАО «НК «Роснефть» / Ботвиновская О.А. [и др.] С. 1-10. URL: <http://prime.geotec.ru/ROSNEFT.doc> (дата обращения: 4.04.2014).

3 Губерман Ш.А., Овчинникова М.И. Некоторые возможности использования статистических характеристик геологических разрезов. Изв. АН СССР. Сер. Геофизика 1964. №7. С. 87-94.

4 Marcey L. Abate, Kathleen V. Diegert, Heather W. Allen A Hierarchical Approach to Improving Data Quality // Data Quality Journal. 1998. V. 4. №1. С. 81-100.

5 Сёмкин Б.И., Двойченков В. И. Об эквивалентности мер сходства и различия // Исследование систем. Т. 1. Анализ сложных систем. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1973. С 95-104.

6 Седов Л.И. Методы подобия и размерности в механике. 10-е изд., доп. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1987 г. 432 с. С. 56-67.

7 Ф.Г. Герасимато, Теория подобия // «Академия Тринитаризма», М., Эл №77-6567, публ.17850, 21.01.2013. С. 2-4.

8 Россиев А.А. Итерационное моделирование неполных данных с помощью многообразий малой размерности. Красноярск. 2000. С. 24-64.

References

1 Skovorodnikov I.G. Geofizicheskiye issledovaniya skvazhin. Kurs lektsiy. Yekaterinburg, UGGGA, 2003. 294 s. S. 2-5.

2 Mnogoskvazhinnyye tekhnologii interpretatsii dannykh GIS v ОАО «НК «Rosneft'» / Botvinovskaya O.A. [i dr.] S. 1-10. URL: <http://prime.geotec.ru/ROSNEFT.doc> (data obrashcheniya: 4.04.2014).

3 Guberman S.H.A., Ovchinnikova M.I. Nekotoryye vozmozhnosti ispol'zovaniya statisticheskikh kharakteristik geologicheskikh razrezov. Izv. AN SSSR. Ser. Geofiz. 1964. №7. S. 87-94.

4 Marcey L. Abate, Kathleen V. Diegert, Heather W. Allen A Hierarchical Approach to Improving Data Quality // Data Quality Journal. 1998. V. 4. №1. S. 81-100.

5 Somkin B.I., Dvoychenkov V. I. Ob ekvivalentnosti mer skhodstva i razlichiya // Issledovaniye sistem. T. 1. Analiz slozhnykh sistem. Vladivostok: DVNTS AN SSSR, 1973. S 95-104.

6 Sedov L.I. Metody podobiya i razmernosti v mekhanike. 10-ye izd. ,dop. M.: Nauka. Gl. red. fiz.-mat. lit., 1987 g. 432 s. S. 56-67.

7 F.G. Gerasimato, Teoriya podobiya // «Akademiya Trinitarizma», M., El №77-6567, publ.17850, 21.01.2013. S. 2- 4.

8 Rossiyeв A.A. Iteratsionnoye modelirovaniye nepolnykh dannykh s pomoshch'yu mnogoobraziy maloy razmernosti. Krasnoyarsk. 2000. С. 24-64.

Сведения об авторе

About the author

Пельмегов Р.В., аспирант, кафедра «Автоматизированные информационные системы» (АИС), ФГБОУ ВПО УГТУ, г. Ухта, Российская Федерация

R.V. Pelmegov, Postgraduate Student of the Chair “Automated Information System” (AIS), FSBEI HPE USTU, Ukhta, the Russian Federation

e-mail: rpelmegov@ugtu.net