

ПОСТРОЕНИЕ СТРУКТУРНОЙ МОДЕЛИ ПРОПЛАСТКОВ КОЛЛЕКТОРОВ ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

CONSTRUCTION OF A STRUCTURAL MODEL OF RESERVOIR LAYERS OF A GEOLOGICAL MODEL

**A. Gresyuk
P. Kozhevnikova
V. Kuntsev**

Summary. The paper presents methods for increasing the efficiency of adaptation of the geometric structure of the deposit and proposes to use the advantages of vector computer graphics over raster graphics when creating a structural geological model. It also presents the main points of developing a system component for constructing a structural geological model. The efficiency of the proposed method is achieved due to the obvious gain in time when editing the structure of interlayers, represented by the model in the form of a graph.

Keywords: geological model, interlayers, geometric model, three-dimensional structural model, modeling.

Гресюк Алена Николаевна

канд. техн. наук, доцент,

Ухтинский государственный технический университет

Кожевникова Полина Валерьевна

канд. техн. наук, доцент,

Ухтинский государственный технический университет

Кунцев Виталий Евгеньевич

канд. техн. наук, доцент,

Ухтинский государственный технический университет

lekun90@mail.ru

Аннотация. В работе представлены методы повышения эффективности адаптации геометрической структуры месторождения, предлагается использовать преимущества векторной компьютерной графики над растровой при создании структурной геологической модели. А также представлены основные моменты разработки компонента системы для построения структурной геологической модели. Эффективность предлагаемой методики достигается за счет очевидного выигрыша во времени при редактировании структуры пропластков, представленной моделью в виде графа.

Ключевые слова: геологическая модель, пропластки, геометрическая модель, трехмерная структурная модель, моделирование.

В основе любой геологической модели лежит структурная модель, которая определяет геометрические характеристики месторождения. От точности воссоздания в трехмерной модели такой структуры напрямую зависят величины геологических запасов нефти и газа и степень соответствия фактической истории разработки при гидродинамическом моделировании.

Существующие на сегодняшний день технологии создания геологических моделей основаны на представлении строения месторождения в виде трехмерного растра — 3D сетки. В узлах такой сетки содержатся значения различных свойств и технологии моделирования направлены на изменения значений этих свойств. Адаптация же геометрии сетки к новым данным в полной мере не поддерживается. Например, изменение информации о тектоническом строении месторождения приводит к полной перестройке модели [1].

Для повышения эффективности адаптации геометрической структуры месторождения предлагается использовать преимущества векторной компьютерной графики над растровой при создании структурной геологической модели.

Предлагается рассматривать геологическую модель как систему проницаемых пропластков (коллекторов).

Каждый пропласток, содержащий флюид (нефть, газ), а также служащий каналом, по которому перемещается флюид к скважинам в процессе его добычи, может быть представлен некоторым графом. Этот граф показывает связанность, выявленных на этапе изучения скважин, интервалов коллектора и может быть преобразован, например, в каркасную модель. Для более простого построения геометрической модели пропластка предлагается провести его разбиение на более простые фрагменты, которые получаются при разбиении пространства моделирования на призмы, получаемые из триангуляционной сети связанных скважин.

Эффективность предлагаемой методики достигается за счет очевидного выигрыша во времени при редактировании структуры пропластков, представленной моделью в виде графа.

В данной работе представлен алгоритм по разработке компонента системы для построения структурной геологической модели.

Получение геометрических моделей выглядит примерно следующим образом: в системе геологического моделирования создаются скважины, для которых задаются местоположение и альтитуда, вводятся данные

о инклинометрии и интервалах коллектора, а также значение ФЕС для этих интервалов. На основе данных о тектоническом строении залежи создается трехмерная сетка, описывающая структуру месторождения и характер накопления осадков (конфигурация слоев). В ячейки сетки, которые пересекают траектории скважин, переносится информация об интервалах коллектора и ФЕС. Значения во всей сетке получаются путем интерполяции перенесенных данных [2].

Геолог может повлиять на построение модели путем выбора и настройки алгоритма интерполяции или с помощью написания скриптов для используемой системы геологического моделирования.

Этот процесс показан на диаграмме потоков данных, изображенной на рисунке 1.

Разрабатываемая система предполагает введение еще одного этапа геологического моделирования — построения множества структурных моделей проницаемых областей. Для построения этой модели также

используются схемы сопоставления коллекторов (схемы корреляции). На этом этапе описывается структура, на основе которой, в дальнейшем, происходит распределение ФЕС. Диаграмма потоков данных, описывающих этот процесс изображена на рисунке 2.

Таким образом, объектом автоматизации является процесс получения трехмерной структурной модели сети коллекторов, получаемой по материалам промысловых и полевых геофизических исследований и по имеющимся двумерным геологическим моделям, отражающим особенности строения месторождения.

Основной целью создания системы является автоматизированное получение трехмерной структурной модели сети коллекторов по введенным в систему данным о скважинах, интервалах пропластков коллектора и их детальной корреляции и легкое редактирование полученной модели.

В данной работе для построения трехмерной модели планируется использовать:

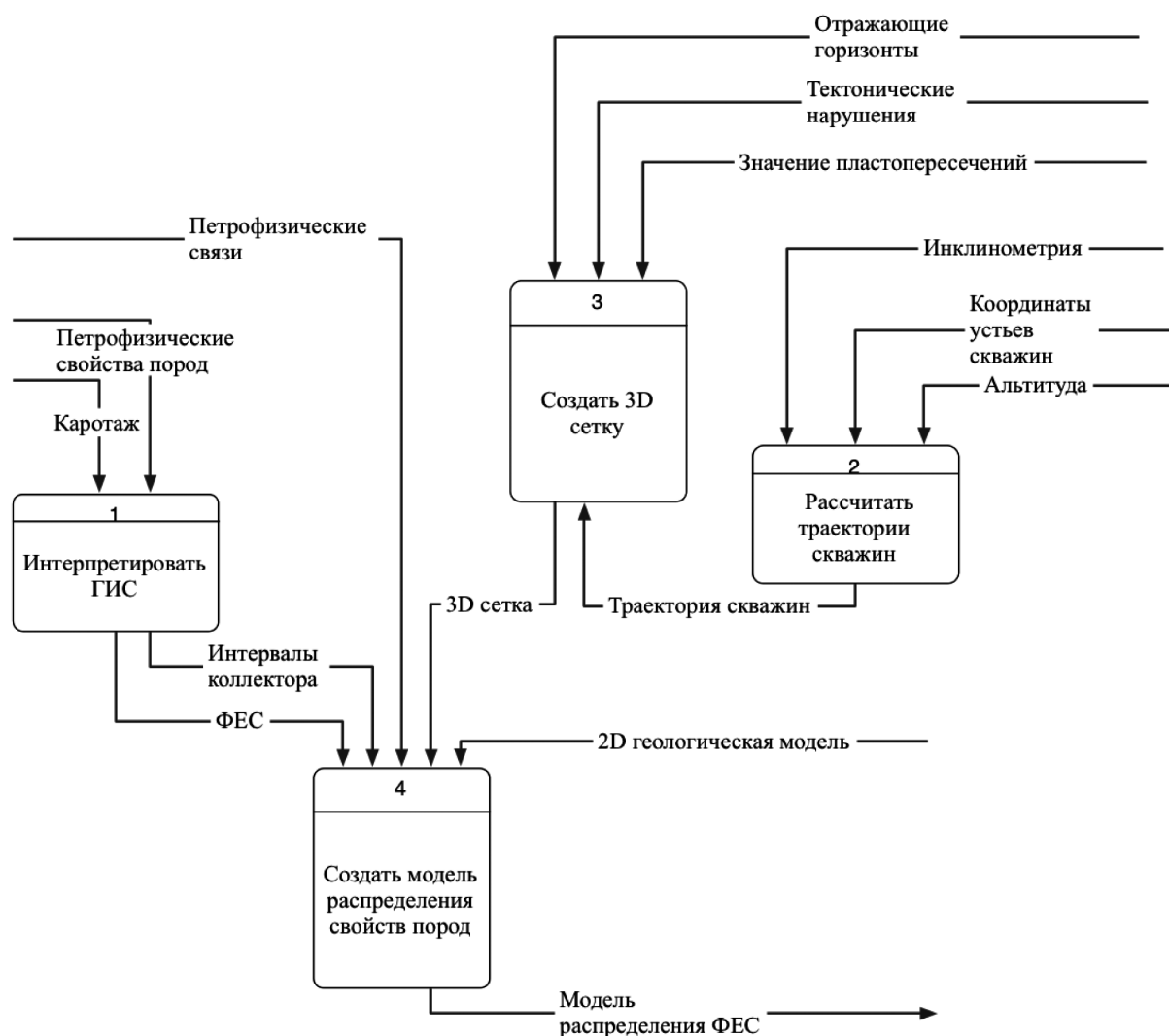


Рис. 1. Диаграмма потоков данных существующего процесса геологического моделирования

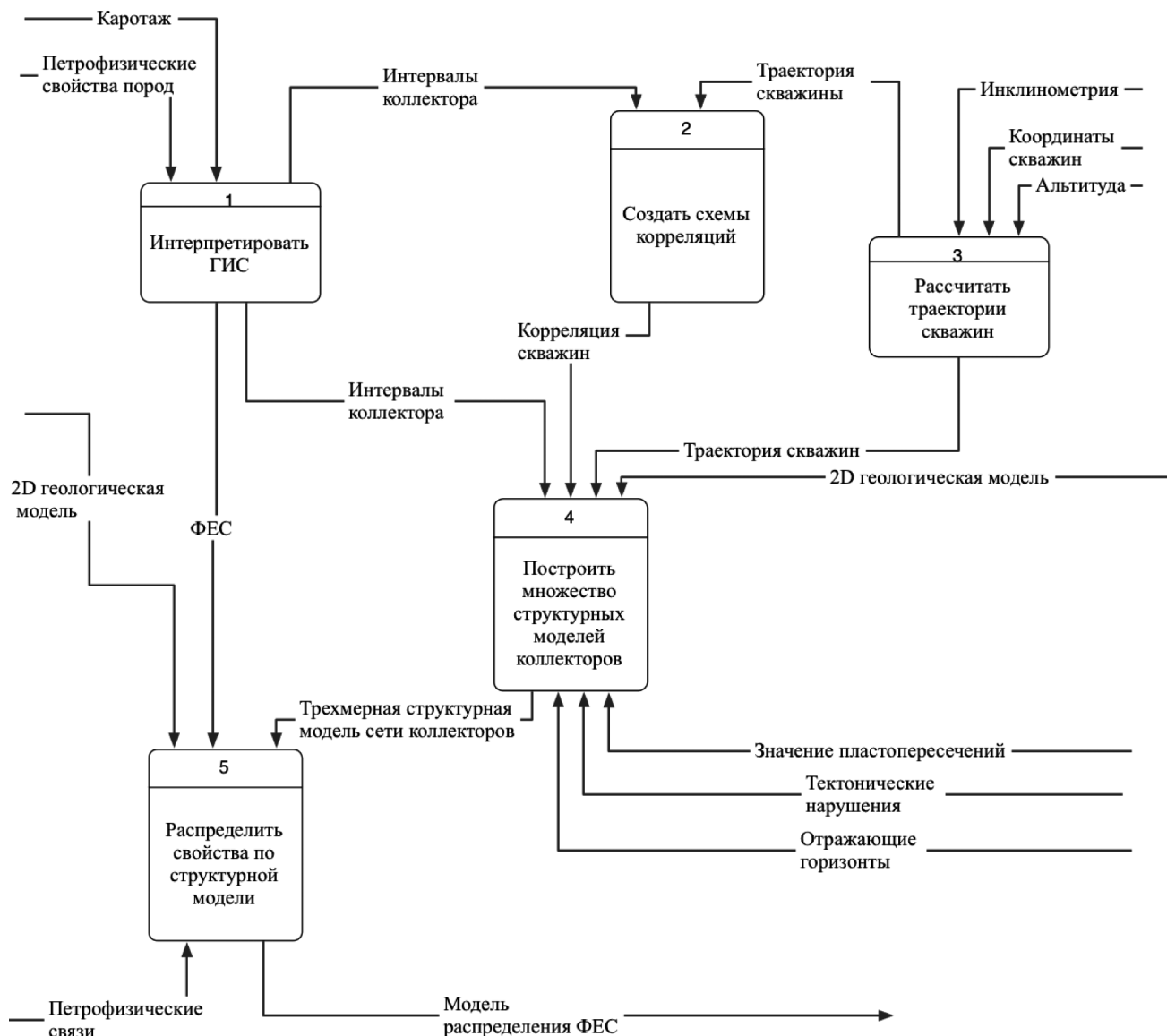


Рис. 2. Диаграмма потоков данных предлагаемого процесса геологического моделирования

- местоположение и альтитуду устьев скважин;
- детальную корреляцию скважин;
- интервалы коллектора.

Используемая методика предполагает разбиение пространства моделирования на призмы, на основе которого будет производиться разбиение пропластков на фрагменты. Далее для всех фрагментов создаются их геометрические представления, после чего они могут быть собраны в единую модель пропластка по общим границам. В результате должна получаться структурная модель пласта коллектора, которая характеризует пространственное положение проницаемых пропластков и будет использоваться при дальнейшем моделировании пласта [3].

Для построения модели, геологом должны быть введены как минимум 3 скважины, для которых будут

определены местоположение, альтитуда и введены интервалы коллектора. Интервалы коллектора получаются в результате интерпретации ГИС по выявлению различных литотипов, которые обычно хранятся в файлах.

Для редактирования модели геологу нужно указывать как соединены интервалы между парами скважин. Эту информацию он может получить из имеющихся схем корреляции. Схемы корреляции обычно рисуют в графических редакторах (например, Corel Draw) и их загрузка из файлов в систему невозможна, поэтому необходимо предусмотреть ручной ввод. Созданные соединения не должны пересекаться.

Реализация системы

В среде Cocoa модель и представление связываются с помощью шаблона Model-View-Controller. Его реали-

зация несколько отличается от традиционной тем, что общение между моделью и представлением происходит через контролера в обе стороны. На рисунке 3 показано как все части работают вместе.

Для передачи данных между представлением и моделью используются протоколы PairWellViewDataSource и WellViewDataSource, которые поддерживаются контролером и требуются для работы соответствующих представлений. Для передачи действий пользователя используется механизм target-action, который является реализацией паттерна команда (command). Для передачи уведомлений об изменении модели применяется

объект NSNotificationCenter, реализующий паттерн наблюдатель (observer).

Диаграмма классов представления изображена на рисунке 4:

Общий алгоритм построения структурной модели пропластков

В связи с тем, что пласт-коллектор имеет сложную, неоднозначную пространственную геометрию, имеет разрывы, пустоты в своей структуре, то получение единой граничной модели такого пласта представляет собой большую проблему. Поэтому методика конструи-

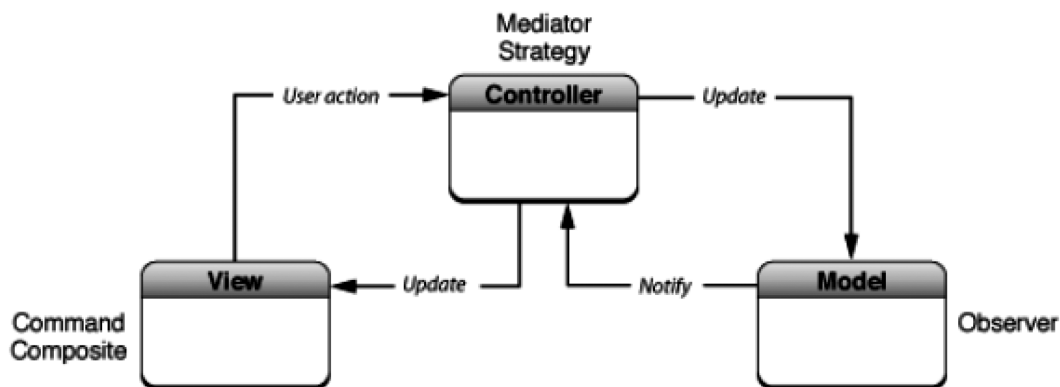


Рис. 3. Версия шаблона проектирования MVC в среде Cocoa

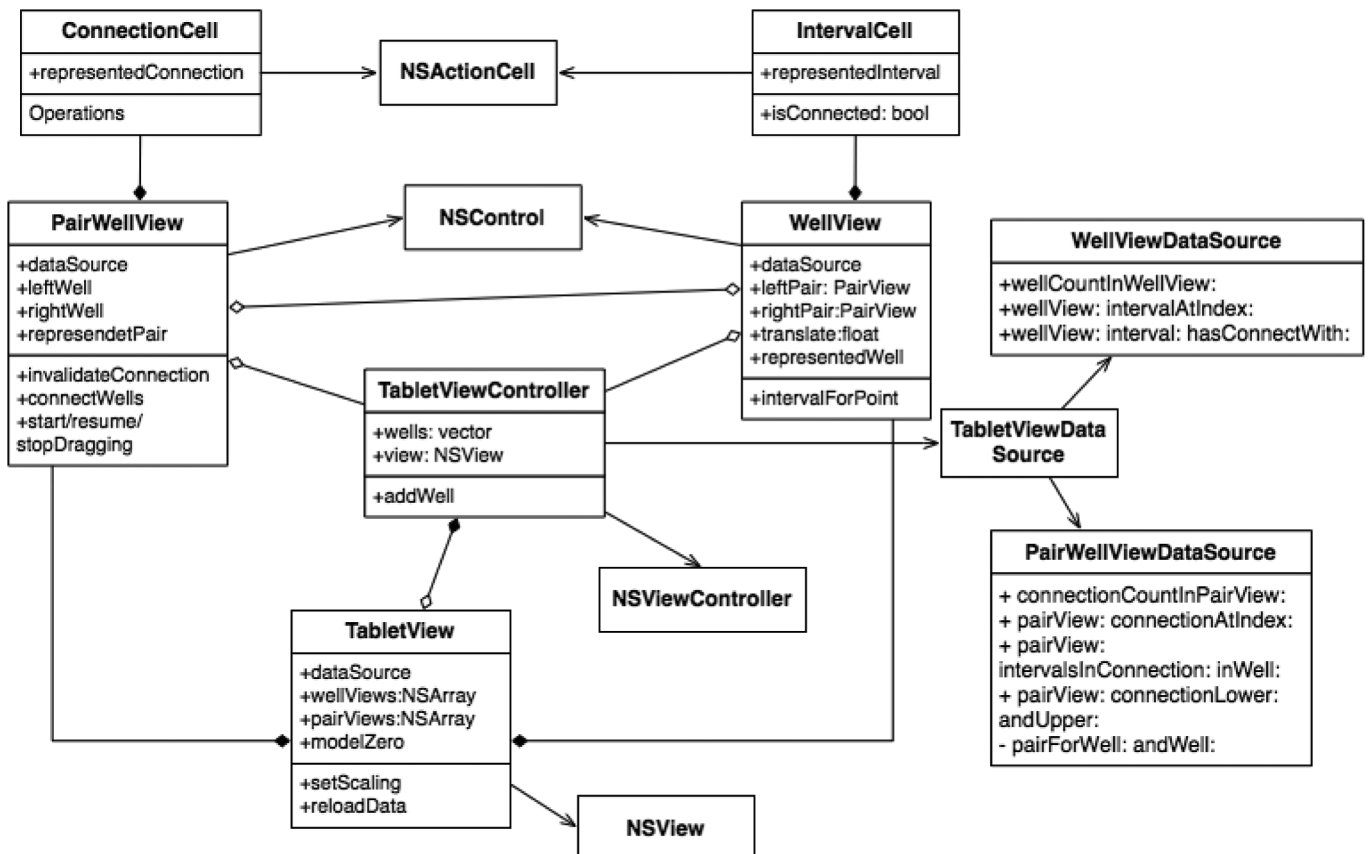


Рис. 4. Диаграмма классов, представление

рования пласта-коллектора основывается на разбиении такого пласта на отдельные, более простые фрагменты, моделировании их, и объединения граничных моделей фрагментов в единую модель пласта:

1. Создаются траектории скважины на основе местоположения устья, альтитуды, инклинометрии.
2. Загружается информация об интервалах пересечения траекторий скважин пластов-коллекторов (далее Интервал). Данными служат результаты интерпретации ГИС (геофизические методы исследования скважин) по выделению коллекторов.
3. Строится триангуляционная сеть по координатам плаstopересечений скважин (либо по координатам устьев скважин). Ребра сети представляют связи между парами скважин. Треугольники — связи между тройками скважин.
4. На основе п.3 осуществляется моделирование связанности Интервалов между парами скважинам. На данном этапе моделирование сводится к заданию связей между интервалами на основе схем сопоставления коллекторов и представлений геолога о структуре месторождения. Получаемые связи не должны пересекать друг друга.
5. Разделение единого пласта на пропластки (более мелкие пласты). Для этого осуществляется проход по всем Интервалам и на основе связей между ними Интервалы разбиваются на отдельные группы. Каждая группа характеризуется принадлежностью к какому-либо отдельному пропластку коллектора.
6. На основе п.3 скважины объединяются в тройки. На основе п. 5 осуществляется разбиение Интервалов в пределах тройки на отдельные группы.
7. Геометризация групп, определенных в п.6, во фрагменты пропластков. Вначале создаются вертикальные разрезы пропластков коллектора в пределах троек скважин. Таким образом тройка траекторий скважин разбивает пространство моделирования на отдельные вертикальные призмы, разбивающие весь единый пласт на отдельные фрагменты. Боковые грани призмы служат сечениями, на которые «нанесены» разрезы пропластков коллектора. Пространство на сечениях между разрезами коллектора относится к пропласткам неколектора.
8. Далее, используя полученные в п.7 сечения как исходные данные, происходит построение каркасной модели фрагментов пропластков.
9. На основе п.3. фрагменты связываются в единую граничную модель пласта коллектора.

Создание трехмерных фигур из выделенных фрагментов

Создание фигур происходит в 7 этапов:

- 1) создание поверхностей, представляющих разрезы, описаны ранее;

- 2) создание трехмерной сетки;
- 3) перенос полученных разрезов на нее;
- 4) расчет верхней и нижней границ призмы;
- 5) трехмерная интерполяция значений коллектора;
- 6) отсечение ячеек со слишком малым значением признаком коллектора;
- 7) удаление невидимых ячеек.

Во время создания разрезов в первую очередь задача сводится к решению на плоскости, для этого применяется аффинное преобразование, состоящее из переноса начала координат к 1-й скважине и поворота, такого чтобы прямая проведенная через обе скважины была параллельна оси ОХ.

Далее находятся крайние точки на скважинах для данного соединения. Полученный четырехугольник сводится к параллелепипеду, нижний левый угол которого лежит в начале координат. Пример преобразования можно увидеть на рисунке 5. Слева показан четырехугольник до преобразования, а справа после. Для удобства на обоих рисунках нанесены прямые параллельные осям в исходном пространстве. Как можно увидеть, данное преобразование состоит из переноса, сдвига и перспектив.

Для получения матрицы преобразований необходимо решить систему уравнений (1):

$$\begin{cases} (0, LB, 0) \times M = (0, 0, 0) \\ (0, LB + LH, 0) \times M = (0, H, 0) \\ (W, RB, 0) \times M = (W', 0, 0) \\ (W, RB + RH, 0) \times M = (W', H, 0) \end{cases} \quad (1)$$

где: M — искомая матрица.

Решением этой системы уравнений показано в формуле (2):

$$M = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & (LB - RB) / W & (RH - LH) / LH * W \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -LB & 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

После примененных преобразований, решение задачи становится тривиальным, нужно всего лишь создавать ребра для интервалов, соединять интервалы ребрами, проходящими до середины четырехугольника в исходном пространстве и до середины между 2 интервалами в преобразованном пространстве.

После решения этой задачи нужно применить обратное преобразование, чтобы получить точки в исходном пространстве.

Создание трехмерной сетки

Класс `grid` представляет трехмерную сетку с равными размерами по всем трем осям. Объекты этого класса

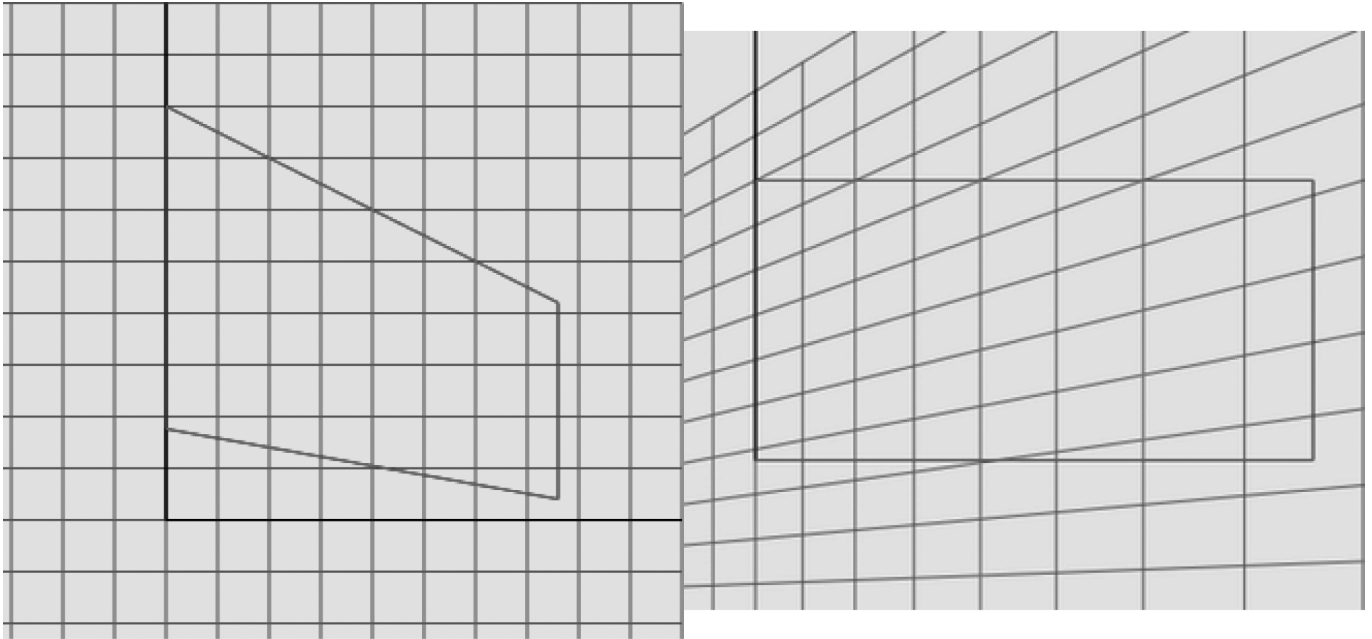


Рис. 5. Сравнение расположения границ соединения до и после преобразований

содержат переменную n , показывающую размерность, и массив размера $n \times n$, состоящий из `value` типа `float` и `isConst` типа `bool`. `Value` хранит значение признака коллектора, а `isConst` устанавливается в состояние `true`, если значение ячейки не должно меняться в процессе вычислений.

Для того, чтобы преобразовывать значения индекса сетки в 3D координаты и обратно, используется класс `Transformator`. Объекты этого класса содержат матрицу аффинных преобразований и размерность сетки, необходимая для перевода плоского индекса в трехмерный. Матрица преобразований нужна для того, чтобы привести призмы различных форм к единому виду и размерам, что позволяет упростить перевод между координатами сетки и координатами модели, а также дает сэкономить память на хранении координат ячеек сетки.

Класс `Transformator` предоставляет методы для следующих преобразований:

- преобразование 3D точки в плоский индекс;
- преобразование плоского индекса в трехмерный;
- преобразование трехмерного индекса в плоский;
- преобразование плоского индекса в 3D точку;
- преобразование 2D индекса для матрицы, представляющей разрез, в плоский индекс 3D сетки.

Перенос разрезов на 3D сетку

Перенос разрезов происходит следующим образом: на поверхность, представляющую одно соединение накладывается преобразование, описанное выше, и делается проекция на плоскость. Далее для каждой ячейки, представляющий данный разрез производится провер-

ка средствами фреймворка `Core Graphics`, попадает ли она в полученный полигон. Если да, то ячейке устанавливается признак коллектора, иначе признак не коллектора.

Расчет верхней и нижней границ фрагментов

Для расчета крышек призмы вначале интерполируется значение признака коллектора на краю призмы. В качестве исходных данных используются крайние ребра разреза. Для работы этого алгоритма необходимо получить верхние и нижние ребра разрезов фрагментов.

Интерполяция значений производится с помощью дискретного варианта уравнения Лапласа.

Далее интерполируется значение высоты для крышек. В качестве исходных данных используется крайнее значение в разрезе с признаком коллектора.

Трехмерная интерполяция значений коллектора

Для нахождения всех точек по полученным исходным данным, получение которых описано выше, используется итерационный алгоритм решения дискретного варианта уравнения Лапласа на трехмерной сетке.

Алгоритм на каждой итерации проходит все ячейки сетки и записывает в нее среднее значение всех соседних ячеек, при этом не меняя значения в точках, которые являются исходными данными. Итерации повторяются до тех пор, пока максимальное изменение значения в ячейках не будет меньше ϵ . Такой алгоритм всегда будет сходиться вне зависимости от выбора нулевого приближения.

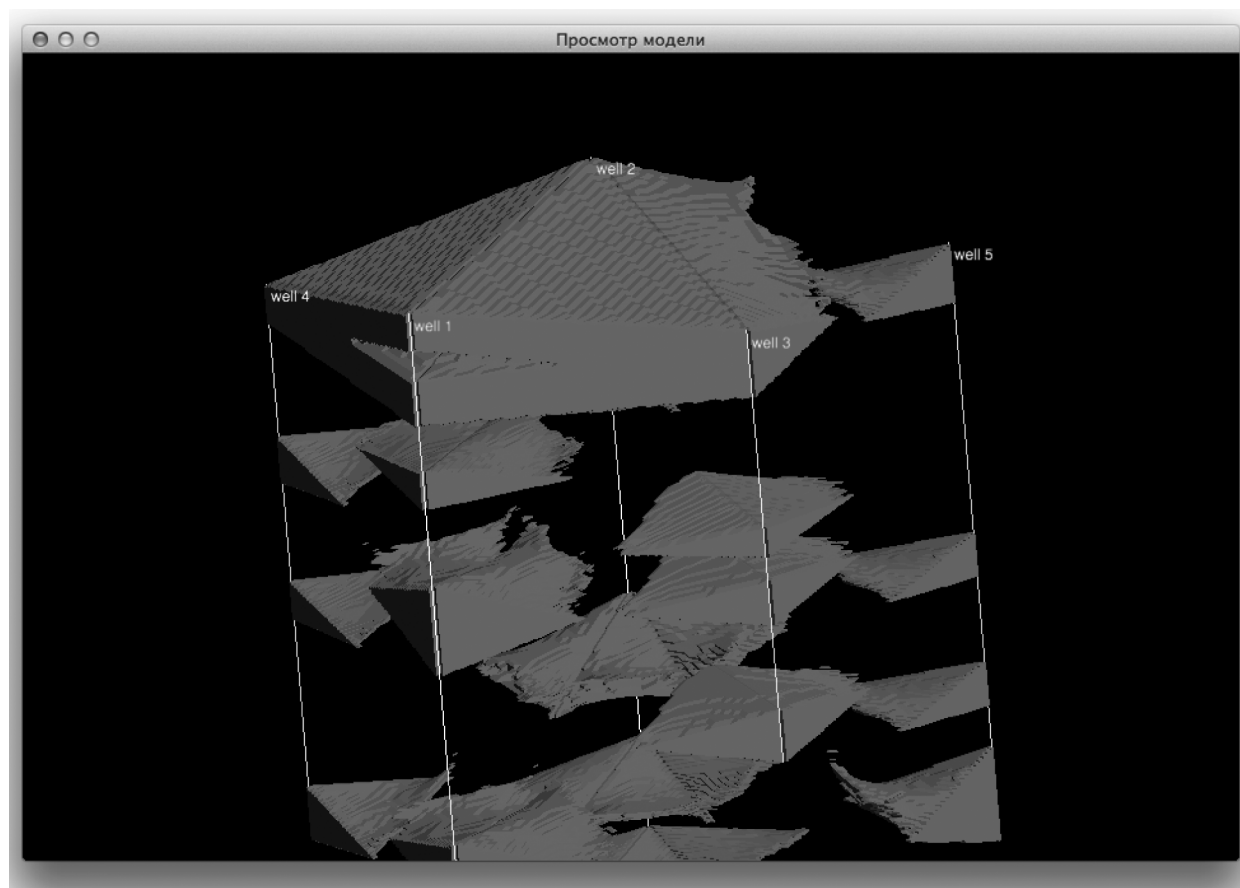


Рис. 6. Интерфейс просмотрщика модели

Визуализация результатов построения

Визуализация результатов построения происходит путем построения изоповерхности получаемого скалярного поля методом *marching cubes*.

Этот алгоритм проходит все ячейки трехмерной сетки (кубы), для которых просматриваются значения в ее 8 углах и определяет какие полигоны нужно построить

для представления проходящей через нее изоповерхности.

Так как рассматриваются только 8 точек в кубе, которые могут быть в двух состояниях. Таким образом всего существует 256 возможных конфигураций полигонов, что позволяет составить таблицу с треугольниками, необходимыми для визуализации данной части изоповерхности, для каждого куба.

ЛИТЕРАТУРА

1. Яковлев С.В., Григорьевых А.В. Пути повышения эффективности построения трехмерных цифровых геологических моделей. — Ухта Филиал ООО «Газпром ВНИИГАЗ», 2012.
2. Закревский К.Е. «Геологическое 3D моделирование» М.: ООО «ИПЦ «Маска», 2009 — 376 с.
3. Яковлев С.В., Григорьевых А.В. Методика построения трехмерной граничной модели коллектора. Сб. тезисов докладов V научно-технической конф. молодых специалистов и работников «Инновации молодежи — потенциал развития нефтегазовой отрасли». ООО «Газпром добыча Астрахань». — Астрахань, типография «Март», 2013. С. 68–69.

© Гресюк Алена Николаевна; Кожевникова Полина Валерьевна; Кунцев Виталий Евгеньевич (lekun90@mail.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»