

АВТОМАТИЗАЦИЯ МНОГОВАРИАНТНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РАЗРАБОТКИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РАСШИРЕННЫХ ПРОГРАММНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО СИМУЛЯТОРА

© Н.А. Шевко, 2025



Н.А. Шевко

СП ООО «TECHENERGY», Республика Узбекистан, Ташкент

Электронный адрес: shevko.na@yandex.ru

Введение. Современный бизнес сталкивается с новыми вызовами и возрастающими требованиями к эффективности управления разработкой месторождений, включая решение комплексных, интегрированных и массивных задач в условиях неопределенности внешних факторов. Развитие информационных технологий открывает новые возможности для масштабирования вычислений и внедрения цифровых решений, что особенно важно при многовариантном прогнозировании разработки месторождений.

Цель. Совершенствование методов решения многовариантных задач на основе изменения подходов к формированию исходных данных моделирования и организации управления процессом вычислений на базе разработанного гидродинамического симулятора. Основными задачами при этом являются поиск подходов эффективного решения многовариантных задач, реализация этих подходов, а также проверка их работоспособности и перспективности.

Методы и подходы решения. Для автоматизации решения многовариантных задач на базе авторского симулятора предложены интеграция скриптового языка Lua в ядро симулятора, создание альтернативного формата ввода данных и вынесение внутренней вычислительной последовательности (workflow) расчетов в пространство скрипта. Для сохранения высокой производительности вычислений организовано оптимальное разделение функциональности между интерпретируемой и компилируемой частями симулятора.

Результаты. Разработан гибридный симулятор со встроенной скриптовой средой, эффективность его работы продемонстрирована на примере использования альтернативного формата ввода данных, расширения функциональности работы с моделями сложных залежей, создания полностью «случайных» моделей и описания набора стохастических моделей в одном входном файле. Отмечено, что в задачах автодаптации и оптимизации происходит упрощение построения многореализационных сценариев как для внешних управляющих программ, так и для реализации цифровых стратегий разработки.

Заключение. Успешная интеграция высокоуровневого и низкоуровневого языка программирования продемонстрировала новый уровень управления симулятором, создание гибкого и динамического формата входных данных, автоматизацию подготовки многовариантных задач, возможность создания цифровой стратегии разработки месторождений.

Ключевые слова: автоматизация расчетов, скрипты, цифровая стратегия разработки, оперативное моделирование

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Шевко Н.А. Автоматизация многовариантного моделирования разработки месторождений с использованием расширенных программных возможностей гидродинамического симулятора. PROНЕФТЬ. Профессионально о нефти. 2025;10(2):144–154. <https://doi.org/10.51890/2587-7399-2025-10-2-144-154>

Статья поступила в редакцию 22.01.2025

Принята к публикации 24.02.2025

Опубликована 30.06.2025

AUTOMATED MULTIVARIATE MODELING OF FIELD DEVELOPMENT USING ADVANCED PROGRAMMING FEATURES OF DYNAMIC SIMULATOR

Nikolay A. Shevko

JV LLC "TECHENERGY", Republic of Uzbekistan, Tashkent

E-mail: shevko.na@yandex.ru

Introduction. Modern business is facing new challenges and increasing requirements for the efficiency of field development management, including the solution of complex, integrated and massive problems under uncertainty of external conditions. The evolution of information technology (IT) is opening new opportunities

for scaling high-performance computing and implementing digital solutions, which is particularly important for multivariate field development prediction.

Aim. Improvement of methods for solving multivariate problems on the basis of changing approaches to formulating the model description and managing the computation workflow using the developed dynamic simulator. The main tasks are to search for approaches to effectively solve multivariate problems, to implement these approaches, and to verify their performance and prospectivity.

Methods and approaches. To automate the solution of multivariate problems based on the author's simulator, the integration of the Lua scripting language into the simulator kernel, the creation of an alternative input data format and the extraction of the internal computational workflow into the script space are proposed. In order to maintain high performance of calculations, the optimal division of functionality between the interpreted and compiled parts of the simulator is organized.

Results. A hybrid simulator with an integrated scripting environment was developed; its efficiency was demonstrated by using an alternative data input format, extending the functionality to model complex reservoirs, creating fully "random" models, and describing a set of stochastic models in a single input file. It has been observed that in auto-history-matching and optimization problems, there is a simplification in the construction of multi-realization scenarios, both for external launcher programs and for the implementation of digital development strategies.

Conclusion. Successful integration of the high-level programming language with the author's simulator demonstrated a new level of simulator control, creation of flexible and dynamic input data format, automation of multivariate task preparation, possibility of creating digital strategies for field development.

Keywords: automated calculations, scripting, digital development strategy, operative modeling

Conflict of interest: the author declares that they have no conflict of interest.

For citation: Shevko N.A. Automated multivariate modeling of field development using advanced programming features of dynamic simulator. PRONEFT. Professionally about oil. 2025;10(2):144–154. <https://doi.org/10.51890/2587-7399-2025-10-2-144-154>

Manuscript received 22.01.2025

Accepted 24.02.2025

Published 30.06.2025

ВВЕДЕНИЕ

Современное развитие информационных технологий и вычислительных систем представляет новые возможности для решения задач геологии и разработки месторождений нефти и газа. Применение этих технологий и инструментов способствует более эффективному управлению систем разработки как при наличии обширных геолого-геофизических и промысловых данных, так и при их недостаточности и геолого-технологической неопределенности.

Облачные технологии, использование удалённых серверов, многопроцессорные и многоядерные рабочие станции обеспечивают гибкость масштабирования при решении крупных вычислительных задач. Особенно эффективно они выполняются для независимых, массивных, многовариантных и многореализационных расчетов.

Процесс цифровизации в области геологии и разработки месторождений, а также повышение сложности объектов моделирования обусловили дополнительные требования к программным продуктам по гидродинамическому моделированию, в аспекте развития которых можно сформулировать образ симулятора «нового поколения». Основные характеристики (признаки) такого симулятора следующие:

- Интеграция процессов и объектов — совместное моделирование геологической и гидродинамической моделей, моделей скважин, геолого-технических мероприятий, поверхностной инфраструктуры, оценки экономической эффективности.
- Иерархичность задач — распространение иерархических связей и детализации на объекты моделирования, исходные данные, методы решения, пространственно-временную дискретизацию решения, применяемые вычислительные системы (например, hyper threading, multi threads, socket, multi sockets, GPU, mGPU, CPU+GPU clusters).

ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ РЕШЕНИЯ МНОГОВАРИАНТНЫХ ЗАДАЧ НА БАЗЕ АВТОРСКОГО СИМУЛЯТОРА ПРЕДЛОЖЕНЫ ИНТЕГРАЦИЯ СКРИПТОВОГО ЯЗЫКА LUA В ЯДРО СИМУЛЯТОРА, СОЗДАНИЕ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ФОРМАТА ВВОДА ДАННЫХ И ВЫНЕСЕНИЕ ВНУТРЕННЕЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ (WORKFLOW) РАСЧЕТОВ В ПРОСТРАНСТВО СКРИПТА.

- Многовариантность задач — поддержка решения многосценарных, адаптационных, оптимизационных, мультиреализационных расчетов.
- Автоматизация процессов — сокращение рутинных и ручных операций,

использование специализированных алгоритмов создания и обновления моделей, формирования прогнозов и цифровых стратегий разработки.

- Масштабируемость вычислительных систем — использование кластеров на базе CPU и GPU, облачных технологий.
- Конструирование математических моделей — добавление новых объектов и методов решения, совмещение различных задач, геометрии и физики процессов в единых сложных, «гибридных» моделях (например, фильтрация и геомеханика, модель залежи и геолого-технологического мероприятия в околоскважинной зоне).
- Расширение функциональности — подключение внешних модулей, расширяющих возможности приложения (скрипты, библиотеки с поддержкой методов искусственного интеллекта), использование симулятора как «core engine» в интегрированных задачах, работа как в консольном и удаленном режиме, так и в единой среде 3D-визуализации.
- Оперативность решения задач — быстрое создание, обновление и использование геолого-технологических моделей для широкого спектра задач разработки в рамках единой методической и программно-вычислительной основы.

В данной работе представлен подход, направленный на формализацию и автоматизацию решения различных многовариантных задач, которые требуют больших временных затрат на подготовительные, ручные операции или дополнительные внешние программы для генерации наборов моделей. Известные коммерческие гидродинамические симуляторы, разработанные более 40 лет назад, а также их современные аналоги, несмотря на стабильность вычислений или хорошие скоростные характеристики, демонстрируют недостаточную адаптацию функционала к новым задачам и вызовам. Однако следует отметить, что отдельные опции этих программ могут поддерживать некоторые характеристики симулятора «нового поколения» и успешно решать конкретные специализированные задачи.

В контексте многовариантного моделирования на оперативность подготовки расчетных файлов и эффективность выполнения расчетов, оказывают влияние следующие недостатки популярных симуляторов:

- Статичность исходных данных: текстовые файлы исходных данных, используемые при запуске программы, остаются неизменными до завершения расчета.
- Ограничения форматов: строгая посекционная последовательность задания

ключевых слов, которая в случае моделирования сложных интегрированных или динамически создаваемых объектов не позволяет адресно описать модель.

- Проблемы пользовательского интерфейса: необходимость использования текстовых редакторов, что затрудняет поиск ключевых слов и их форматов, проверку корректности ввода данных и обнаружение опечаток.
- Ручная подготовка входных файлов: необходимость ручной подготовки входных файлов для расчетов, в частных случаях — использование сторонних приложений, которые генерируют набор моделей из одного варианта путем замены строковых переменных и тиражирования файлов.
- Отсутствие динамического управления: невозможность изменения логики управления прогнозом в зависимости от промежуточных результатов решения в процессе выполнения расчета.

Указанные недостатки значительно ограничивают возможности оперативного решения производственных задач, относящихся к многосценарным расчетам, автоматизации прогнозирования, автодаптации моделей, а также полноценного анализа геологических и технологических рисков и неопределенностей.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

В данной работе рассматривается усовершенствование методов решения многовариантных задач, которое основывается на изменении подходов формирования исходных данных моделирования и внешнего расширенного управления процессом вычислений. Основные задачи в рамках данного подхода включают: поиск вариантов автоматического решения класса многовариантных задач моделирования фильтрации; реализация решений на базе авторского симулятора; проверка предлагаемого подхода на отдельных примерах.

МЕТОДЫ И ПОДХОДЫ РЕШЕНИЯ

Для эффективного решения многовариантных задач предлагаются два основных подхода: 1) встраивание скриптового (интерпретационного, высокого уровня) языка в ядро симулятора с созданием альтернативного формата ввода входных данных; 2) вынесение стандартного процесса (workflow) вычислений симулятора во внешнюю среду — пространство скрипта.

В качестве базового симулятора использовался авторский трехмерных трехфазный симулятор модели «Black Oil» [1], написанный на низкоуровневом языке C++. Формат загрузки данных соответствует известному коммерческому симулятору, при этом поддерживается возможность использования разных типов сеток — от простых регулярных до сложных неортогональных, триангуляционных и нерегулярных. Основное требование к ядру симулятора для рассматриваемого подхода заключается в необходимости поддержки объектно-ориентированного программирования, а также возможности создания иерархии (подчиненности) объектов с индивидуальной инициализацией их свойств и параметров.

Существуют множество скриптовых языков, предназначенных для различных областей информационных технологий, включая проектирование игр, веб-разработку, анализ данных, управление девайсами и прототипирование приложений. Учитывая цели работы и специфику интеграции высокопроизводительного приложения на C++ с «медленной» интерпретационной средой, для выбора подходящего языка выработаны следующие критерии: 1) удобство синтаксиса; 2) производительность; 3) простота интеграции с кодом на C++; 4) минимальная зависимость от сторонних библиотек; 5) наличие дополнительных библиотек для расширения функционала; 6) тип лицензии; 7) объем библиотек языка.

В процессе исследования рассмотрен 21 фреймворк с различным синтаксисом ([синтаксис] название): [JavaScript] QuickJS, DukTape, MuJS, Elk, SpiderMonkey, JerryScript, ChaiScript, mJS, Node.js, V7, V8; [C++]: AngelScript; [C#]: Mono; [Lua] sol2, LuaJIT, TypedLua; [другие] Python, CoffeeScript, Teal, Tcl, MoonScript. Для каждого фреймворка выполнен анализ критериев и составлены тесты на производительность. Результаты бенчмарка скриптовых языков продемонстрировали, что фреймворк Lua является наиболее предпочтительным — бесплатный, обладает открытым исходным кодом на C, имеет небольшой размер, высокую производительность, удобный синтаксис, а также легкость интеграции с кодом, написанным на C++.

Изменение формата ввода входных данных
Встраивание скриптового языка в ядро симулятора позволяет использовать синтаксис языка для ввода данных. Рассмотрим основные недостатки традиционного, распространенного формата в условиях много-вариантного моделирования или построения моделей с несколькими залежами.

Разбиение файла входных данных на секции позволяет упростить считывание и задание параметров объектов, однако сбор разнородных данных в одной секции (RUNSPEC), вне зависимости от объекта и момента его появления, является одним из ограничений формата. Ограничениями также являются: задание максимальной размерности таблиц, числа строк в таблицах, числа регионов в массивах перед началом загрузки данных, задание одного типа состояния флюидов для всех залежей, использование одной «corner-point» сетки для описания геометрии всех залежей. Входной файл данных является статичным текстовым файлом со строгими форматами задания ключевых слов, который не изменяется и не подразумевает изменение при запуске расчета, что ограничивает применение пользовательских макросов и изменения начально заданных значений в процессе расчета на основании текущего состояния объектов.

Использование скриптового языка в качестве среды для задания входных данных в симулятор обладает рядом преимуществ: 1) формат данных определяется синтаксисом языка, что исключает необходимость разработки и документирования специфического формата для каждого ключевого слова; 2) возможность работы в бесплатной среде разработки, такой как Visual Studio Code (VS Code), что обеспечивает проверку синтаксиса, а также позволяет задавать именованные и вложенные структуры данных; 3) поддержка написания пользовательских функций и алгоритмов для более гибкой настройки моделирования; 4) возможность выполнения альтернативного считывания данных и их выгрузки на диск, что позволяет работать с данными более эффективно. Сравнение форматов, иллюстрируемое на **рис. 1**, подтверждает преимущества нового подхода.

Формирование внешнего управления расчетом

Архитектура известных коммерческих симуляторов спроектирована таким образом, что все вычислительные процедуры, их последовательность и возможные внешние запросы запрограммированы заранее: считывание данных в разных вариантах, задание прямых ограничений на расчетные показатели, повторяющиеся действия (actions), встроенные формулы калькулятора и т.д. Когда требуется добавить новую функциональность для управления расчетом, зачастую используют внешние программы. Это частично позволяет расширить функциональность для решения конкретных задач. Например, при анализе неопределенностей

Традиционный формат

```

RUNSPEC      -> SECTION NAME
TITLE
ODEH PROBLEM -> FIELD
START
19 OCT 1982 / -> FIELD
FIELD        -> FIELD
OIL          -> RESERVOIR
WATER
GAS
DISGAS
DIMENS       -> GRID
60 220 85 /
TABDIMS
1 2 30 35 1 12 / -> PVT, SCAL
WELLDIMS
10 150 1 10 / -> WELLS

GRID         -> SECTION NAME
EQUALS
DX 1000 /
DY 1000 /
DZ 10 /
PORO 0.3 /
PERMX 500 /
/

```

Скриптовое описание данных

```

...
local field_desc = {
  title = "ODEH PROBLEM",
  startdate = DATE(19,10,1982),
  units = Units.FIELD,
}
field:add_settings(field_desc);
...
local res_desc = {
  phases = {Phases.GAS, Phases.OIL,
            Phases.WATER, Phases.DISGAS}
}
res1:add_settings(res_desc);
...
grid = res1:new_grid(GridType.BLOCKCENTER)
local grid_desc = {
  name = "MAINGRID",
  dimention = { nx, ny, nz },
  units = Units.FIELD,
  trantype = TranType.OLDTRAN,
  saving = {INIT=true, EGRID=true}
}
grid:add_settings(grid_desc)
...
grid.cell_properties:add { DX=1000, DY = 1000,
  DZ = 10, PORO=0.3, PERMX=500 }

```

Рис. 1. Сравнение традиционного формата входных данных в коммерческих симуляторах (слева) и предлагаемый формат (справа), основанный на синтаксисе скриптового языка Lua. Составлено автором

Fig. 1. Comparison of the traditional input data format in commercial simulators (left) and the proposed format (right) based on the syntax of the Lua scripting language. Prepared by the author

или адаптации моделей программа «МЕРО» генерирует набор файлов моделей из одного варианта (модели с варьируемыми параметрами), используя замену строковых переменных и тиражирование файлов. Для автадаптации моделей ансамблевым методом в работе [2] также использовалась внешняя программа, которая позволяет без изменения функциональности симулятора создавать необходимые реализации моделей, вычислять кросс-ковариантную матрицу параметров и строить целевую функцию с учетом расчетных параметров и размещения скважин. Для решения расширенного спектра много-вариантных задач в рамках одного симулятора при интеграции высоко- и низкоуровневого языков необходимо разделение функциональности между интерпретируемой и компилируемой частями. Для сохранения высокой производительности вычислений симулятора предлагается следующая схема распределения функционала (рис. 2):

1. Внешний скрипт: имеет доступ к функциям симулятора; определяет общую логику расчета, вызывая необходимые процедуры и функции; инициализирует объекты; формирует иерархию (подчиненность) объектов и генерирует пользовательские массивы свойств.
2. Ядро симулятора: содержит реализованные численные алгоритмы; выполняет все высокопроизводительные вычисления; считывает и сохраняет большие бинарные файлы.

Таким образом, скрипт расширяет функциональность ядра, позволяя выполнять операции ввода-вывода, заданные пользователем, создавать и задавать свойства объектов, а также реализовывать собственные процедуры и алгоритмы.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Первые результаты применения гибридного симулятора, который включает встроенную скриптовую среду и альтернативный формат описания входных данных с проверкой синтаксиса, продемонстрировали значительное улучшение удобства и функциональности работы с моделями. Рассмотрим несколько примеров.

Сложные объекты моделирования.

Стандартный формат данных накладывает ограничения на создание сложных моделей, состоящих из нескольких разнородных или сложноподчиненных объектов моделирования. В рамках предлагаемого подхода эти ограничения снимаются, позволяя задавать сложные вложенные и иерархические структуры данных и объектов. Ограничения теперь касаются лишь возможностей симулятора по совместному решению указанных интегрированных моделей. Для случая одновременного моделирования нескольких залежей с различной геометрией сетки и флюидальной модели, вскрываемых одним набором



Рис. 2. Функциональный состав ядра симулятора и функциональное дополнение от использования скриптового языка. Составлено автором
 Fig. 2. Functional composition of simulator core and functional complement from scripting language. Prepared by the author

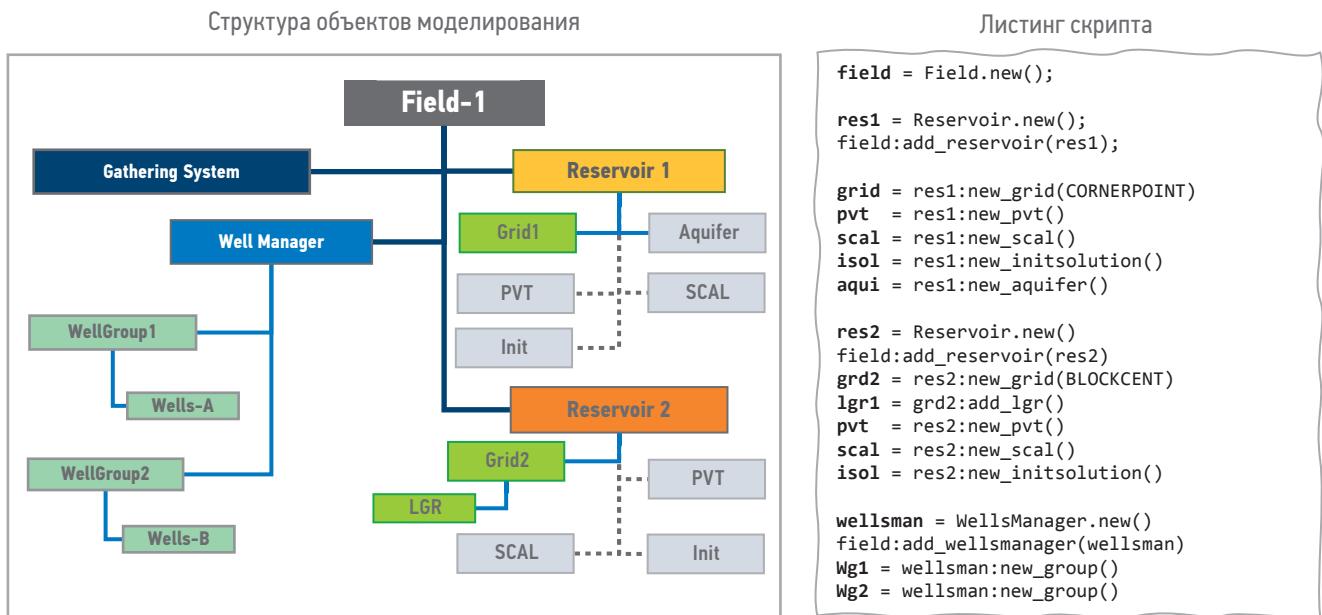


Рис. 3. Структура объектов моделирования (слева), включая вспомогательные объекты-менеджеры, и соответствующий (справа) листинг скрипта для их создания для двух залежей. Составлено автором
 Fig. 3. Structure of modeling objects (left), including manager objects, and the corresponding (right) script listing for object creation.
 Prepared by the author

скважин, формат задания представлен на рис. 3.

«Случайные» модели. Использование скриптовой среды в гибридном симуляторе позволяет создавать произвольные, полностью случайные модели без необходимости обращения к внешним статическим данным. Это осуществляется исключительно на основе управляющих и ключевых слов скрипта, а также внешнего параметра, такого как начальное значение генератора случайных чисел (seed). Например, можно создать серию моделей, в которых все параметры модели

изменяются, включая размерность (nx, ny, nz), геометрию (кровля, толщины, число пластов), статические свойства, концевые точки, форму фазовых проницаемостей, начальное насыщение (пластовое давление, отметки газо- и водонефтяных контактов), размещение скважин, графики бурения, добыча жидкости и прочее (рис. 4).

Мультиреализационные расчеты. Одним из частных случаев произвольных моделей являются стохастические модели, в которых модифицируются отдельные геологические или технологические параметры

```

8 math.randomseed(seed0)
9 local nx = math.random(120, 300)
10 local ny = math.random(120, 300)
11 local nz = math.random(10, 500)
12

156 interpol3D = function(AX, AY, AZ, alfa, i,j,k)
157   local sum1 = 0
158   local sum2 = 0
159   local value = 0
160   local dist = 0
161   for d, p in ipairs(pnts) do
162     dist = ((p.i-nx-k)/AX)^2 + ((p.j-ny-j)/AY)^2 + ((p.k-nz-k)/AZ)^2
163     if dist == 0 then
164       value = p.val;
165       break;
166     else
167       dist = 1 / math.sqrt( dist );
168     end
169     local weight = dist^alfa;
170     sum1 = sum1 + p.val*weight;
171     sum2 = sum2 + weight;
172   end
173   if dist > 0 then
174     if sum2 == 0 then value = 0
175     else value = sum1 / sum2; end
176   end
177   return value
178 end

```

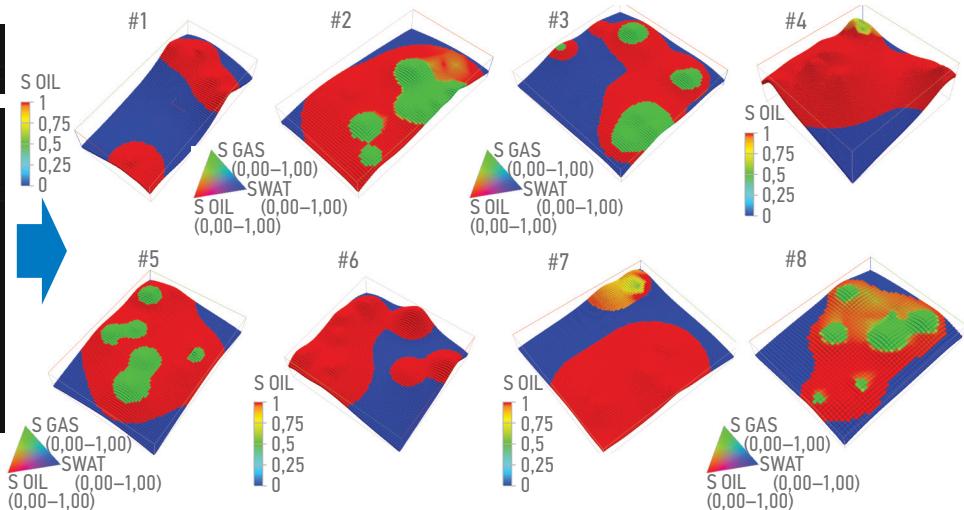
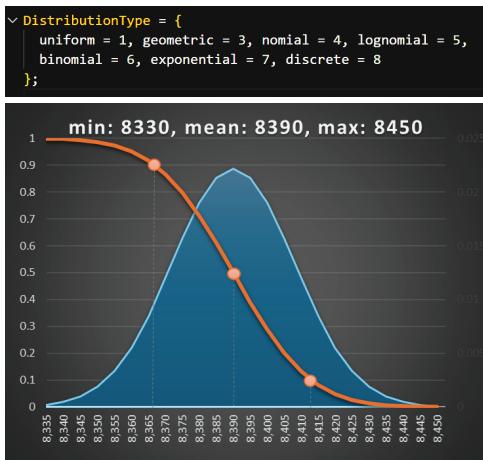


Рис. 4. Пример кода и иллюстрация «случайных» моделей для 8 реализаций. Составлено автором
Fig. 4. Sample code and illustration of “random” models for 8 realizations. Prepared by the author



```

--Генератор случайных чисел
local generator = Random_Generator.new()
generator.seed(i)

--Задание типа распределения
local owc_distr = Distribution.new(DistributionType.nominal, mean, stddev)

--Задание ключевого слова с переменным параметров owc_depth
local EQUIL1 = {
  depth = 8400,
  pressure = 4800,
  owc_depth = owc_distr(generator),
  owc_pc = 0,
  goc_depth = math.random(8300, 8330),
  goc_pc = 0,
  rsvd = 1,
  rvvd = 0,
  n_level = 0
}
sol:add_equil{ EQUIL1 }

```

Рис. 5. Задание нормального распределения для водонефтяного контакта: параметры (слева) и скриптовый код (справа). Составлено автором
Fig. 5. Setting the normal distribution for the oil-water contact: parameters (left) and script code (right). Prepared by the author

с использованием переменных или случайного числа (seed). Все стохастические реализации интегрированных геолого-гидродинамических моделей могут быть описаны в одном входном скриптовом файле, различаясь лишь номером реализации или значением seed. Для примера задание вероятностного нормального распределения водонефтяного контакта и — равномерного газонефтяного контакта показано на рис. 5.

Автоадаптация модели ансамблевым методом. При решении задач автоадаптации и оптимизации с использованием ансамблевых методов необходимо наличие внешней управляющей программы (launcher). Основной функционал такой программы — используя доступ ко всем вариантам, собрать и обработать результаты расчетов, затем распределить обратно значения-модификаторы во входные файлы модели. Для «стандартного» симулятора

алгоритм решения отображен на рис. 6 слева, для случая симулятора, поддерживающего скриптовую среду, — на рис. 6, справа. Принципиально алгоритм поиска экстремума не меняется, однако работа идет с одной моделью, написанной на скрипте, а не с сотнями-тысячами ее реализаций, что упрощает создание и экономит память при сложных многопараметрических стохастических реализациях.

Цифровая стратегия разработки (ЦСР).

Встроенный в гидродинамический симулятор скриптовый язык программирования предоставляет возможность реализовать сложную и комплексную логику вычислений. Эта логика позволяет на основании результатов расчетов на текущем временном шаге осуществить принятие решений и изменить входные данные для последующих шагов. При этом учитываются случайные внешние факторы, которые могут зависеть от времени или конкретной реализации модели. Данная

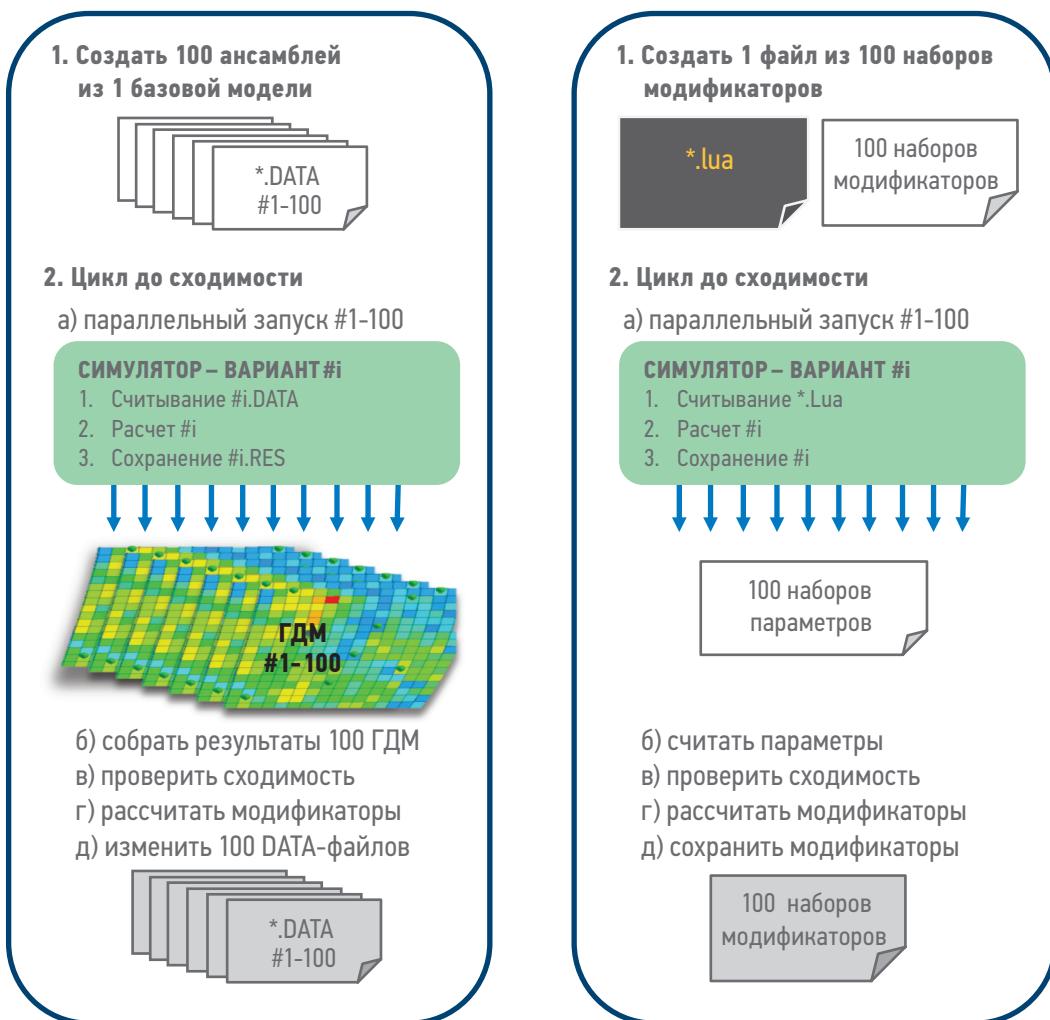


Рис. 6. Внешняя программа для организации решения задач автоадаптации и оптимизации ансамблевым методом: слева — «стандартный» цикл, справа — с использованием гибридного симулятора со встроенной скриптовой средой. Составлено автором

Fig. 6. External program for the solution of auto-history matching and optimization problems by ensemble method: on the left — “standard” loop, on the right — using a hybrid simulator with built-in scripting environment. Prepared by the author

логика описывается в виде скрипта-файла и запускается как внутренний файл на каждом временном шаге. Если определять ЦСР как систему правил и последовательность действий, направленных на достижение глобальной цели с учетом ресурсных и технических ограничений, то такую логику можно реализовать при помощи предлагаемого инструмента. В силу сложности реализации стратегии в общем виде вводятся следующие понятия: типы стратегий разработки (от стадии, от сложности залежи, от рисков), принципы стратегии, типы элементов программной структуры (Strategy-Stage-Workflow-Task-Activity), иерархическая структура стратегии. Программная реализация в виде иерархии объектов, циклов, рабочих потоков, деревьев принятия решений, развилок и параллельных секций продемонстрирована в [3] на нескольких практических примерах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Реализованная идея интеграции высокого уровня языка программирования с гидродинамическим симулятором позволила создать гибкий и динамический формат входных данных — с проверкой синтаксиса, автогенерацией или модификацией любых параметров модели, анализом входных и расчетных данных, применением пользовательских функций на любом шаге моделирования.

Создание нового уровня управления симулятором открывает возможности для иерархической сборки объектов моделирования, что особенно актуально для сложных месторождений, состоящих из нескольких залежей, каждая из которых может быть описана разной геометрией сетки, составом флюида и решаться специальными методами.

Использование элементов программирования при моделировании повышает квалификационные требования к инженеру-разработчику, однако такие инструменты позволяют выполнять больший перечень задач автоматически для целой серии различных залежей, существенно повышая эффективность работ и качество прогнозирования разработки. Цифровизация стратегии разработки является перспективным направлением более

глубокой автоматизации прогнозов разработки для различных залежей, для чего требуется на высокоуровневом языке программирования описать различные типы стратегий, систему правил и технических ограничений и алгоритмы локальных оптимизационных задач. Это открывает новые перспективы для инновационных решений в области разработки месторождений углеводородов.

Список литературы

1. Шевко Н.А. Гибридный гидродинамический симулятор на неструктурированной сетке для решения оперативных задач разработки. Актуальные проблемы нефтегазовой отрасли. Сборник докладов научно-практических конференций. — М.: Издательство «Нефтяное Хозяйство», 2024; 101–127.
2. Шевко Н.А. Автоадаптация иерархической модели нефтяной залежи на историю разработки с использованием облачных технологий. Актуальные проблемы нефтегазовой отрасли. Сборник докладов научно-практических конференций. — М.: Издательство «Нефтяное Хозяйство». 2023; 98–116.
3. Шевко Н.А. Реализация цифровой стратегии разработки во многовариантном геолого-гидродинамическом моделировании. Тезисы докладов Научно-практических конференций «Инновационные решения в геологии и разработке ТРИЗ», «Цифровая трансформация в нефтегазовой отрасли», 27–29 ноября 2024. М.: Издательство «Нефтяное Хозяйство». 2024; 40–41.

References

1. Shevko N.A. A hybrid numerical simulator on an unstructured grid for solving routine reservoir problems. Actual problems of oil and gas industry. The collection of reports of scientific and practical conferences. Moscow: Oil Industry Journal. 2024; 101–127. (In Russ.)
2. Shevko N.A. History Matching of Hierarchical Reservoir Model Using Cloud Solutions. Actual problems of oil and gas industry. The collection of reports of scientific and practical conferences. Moscow: Oil Industry Journal. 2023; 98–116. (In Russ.)
3. Shevko N.A. Implementation of Digital Reservoir Development Strategy for Multivariate Geological and Dynamic Modelling. Abstracts of Scientific and Practical Conferences “Innovative Solutions in Geology and HTRR Development”, “Digital Transformation in Oil and Gas Industry”, 27–29 November 2024, Moscow. Oil Industry Journal. 2024; 40–41. (In Russ.)

ВКЛАД АВТОРА / AUTHOR CONTRIBUTIONS

Н.А. Шевко — идея, концепция, подготовка текста статьи, проектирование программ, реализация и тестирование C++ и Lua кода.

Nikolay A. Shevko — idea, concept, preparation of the text of the article, software design, implementation and testing of C++ and Lua code.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ / INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Николай Александрович Шевко — директор по геологии и разработки, СП ООО «TECHENERGY» 100059, Узбекистан, г. Ташкент, ул. Шота Руставели, 44-А, БЦ New Era.
e-mail: shevko.na@yandex.ru
SPIN-код: 6233-0493
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-5888-9804>
Scopus ID: 57205220918

Nikolay A. Shevko — Director, Geology and Reservoir Engineering, JV LLC “TECHENERGY” 44-A, BC New Era, Shota Rustaveli str., 100059, Tashkent, Uzbekistan.
e-mail: shevko.na@yandex.ru
SPIN-code: 6233-0493
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-5888-9804>
Scopus ID: 57205220918