

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **048252**

(13) **B1**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

**(45)** Дата публикации и выдачи патента  
**2024.11.12**

**(21)** Номер заявки  
**202390756**

**(22)** Дата подачи заявки  
**2023.02.21**

**(51)** Int. Cl. **G06F 30/27** (2020.01)  
**G06N 3/08** (2023.01)  
**G05B 17/00** (2006.01)  
**G01V 11/00** (2006.01)  
**E21B 44/00** (2006.01)  
**E21B 47/00** (2012.01)

---

**(54) СПОСОБ ОБУЧЕНИЯ И ТЕСТИРОВАНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ В ОБЛАСТИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ РАЗРАБОТКИ НЕФТЕГАЗОВОГО АКТИВА С ПОМОЩЬЮ ЦИФРОВОГО ИНТЕРАКТИВНОГО ТРЕНАЖЕРА PETROCUP**

---

**(31)** 2023101856

**(32)** 2023.01.27

**(33)** RU

**(43)** 2024.07.31

**(96)** 2023000036 (RU) 2023.02.21

**(71)(73)** Заявитель и патентовладелец:  
**ОБЩЕСТВО С ОГРАНИЧЕННОЙ  
ОТВЕТСТВЕННОСТЬЮ "НАФТА  
КОЛЛЕДЖ" (RU)**

**(72)** Изобретатель:  
**Асланян Артур Михайлович (RU)**

**(74)** Представитель:  
**Котлов Д.В. (RU)**

**(56)** RU-C1-2743685

ШАРТОГАШЕВА А. Что такое цифровые двойники, чем они отличаются от виртуальных 3D-моделей и как используются в энергетике, Энергия + онлайн-журнал об энергетике, опубликовано 27 января 2023, [найдено 13.08.2023]. Найдено в <https://e-plus.media/technologies/chto-takoe-cifrovye-dvojniki-chem-oni-otlichayutsya-ot-virvirkual-3d-modelej-i-kak-ispolzuyutsya-v-energetike/>, весь документ.

RU-A-220142912

RU-A-2020108286

Руководство пользователя: "Программа для интерактивного обучения управлению нефтегазодобывающими активами и нефтяному инжинирингу", PetroCup XP, 2021, [найдено 14.08.2023]. Найдено в [https://polykod.ru/upload/polyplan/PetroCup1.4\\_Guide\\_ru.pdf](https://polykod.ru/upload/polyplan/PetroCup1.4_Guide_ru.pdf), стр. 9-10, 12-13, 18-19,34-36,42-46.

US-A1-20120191432

RU-C1-2607326

---

**(57)** Изобретение относится к области вычислительной техники, в частности к способам моделирования поведения подземной и поверхностной инфраструктуры.

---

**B1**

**048252**

**048252**

**B1**

### **Область техники**

Изобретение относится к области вычислительной техники, в частности, к способам моделирования поведения подземной и поверхностной инфраструктуры в процессе ее эксплуатации.

### **Уровень техники**

Из уровня техники известно решение, выбранное в качестве наиболее близкого аналога, RU 2502120 С2, опубл. 20.12.2013. Данное решение относится к области оптимизации операций добычи в реальном времени. Реализуемый компьютером способ оптимизации операций добычи в реальном времени, содержит этапы, на которых: выбирают вход и выход для краткосрочной параметрической модели с использованием полевых измерений в реальном времени из нагнетательного источника и из добывающего источника; обрабатывают полевые измерения путем удаления, по меньшей мере, одного из: выброса, ненулевых средних и нестационарного тренда; выбирают параметр идентификации для краткосрочной параметрической модели, и идентифицируют краткосрочную параметрическую модель с использованием полевых измерений и параметра идентификации.

Изобретение направлено на устранение недостатков современного уровня техники и отличается от известных ранее тем, что предложенное решение обеспечивает качественное, реалистичное и эффективное моделирование поведения, максимально приближенное к реальным условиям, подземной и поверхностной инфраструктуры в процессе ее эксплуатации.

### **Сущность изобретения**

Технической задачей, на решение которой направлено изобретение, является создание способа анализа и обработки пользовательских данных.

Технический результат заключается в эффективном интегрированном моделировании поведения подземной и поверхностной инфраструктуры в процессе ее эксплуатации на базе цифрового двойника месторождения.

Заявленный технический результат достигается за счет осуществления способа моделирования поведения подземной и поверхностной инфраструктуры в процессе ее эксплуатации, содержащего этапы, на которых согласованно и поэтапно моделируются следующие процессы:

движение флюида из пласта до сборного пункта, включая процессы естественной и искусственной трансформации флюида, причем этап реализуется посредством модуля для симуляции распределения давления внутри скважины и элементов поверхностной инфраструктуры и модуля для симуляции профилей притоков;

движение флюида из водозаборной или газозаборной системы до пласта, включая процессы естественной и искусственной трансформации флюида, причем этап реализуется посредством модуля для симуляции распределения давления внутри скважины и элементов поверхностной инфраструктуры и модуля для симуляции профилей притоков;

фильтрация пластовых флюидов и закачиваемых агентов в пласте с учетом их взаимодействия с породой, межфазовых явлений и фазовых переходов, причем моделирование реализуется за счет вычисления давления и насыщенности в каждой точке пласта;

реакцию пластов, скважин и поверхностной инфраструктуры на геолого-технические мероприятия, воздействие флюидов, спонтанные аварии, а также время и условия эксплуатации, а также осложнения при неправильной эксплуатации, причем этап реализуется посредством модуля для симуляции распределения давления внутри скважины и элементов поверхностной инфраструктуры и модуля для симуляции профилей притоков;

показания данных геофизических исследований скважин в открытом стволе в процессе бурения с учетом погрешности показаний, причем этап реализуется посредством модуля для формирования симуляции данных датчиков и включает в себя: каверномер, гамма-каротаж, двух-зондовый нейтронный гамма-каротаж, гамма-плотностной каротаж, боковой каротаж, индукционный каротаж, ядерно-магнитный каротаж, акустический каротаж;

показания данных геофизических исследований скважин в обсаженном стволе как на этапе освоения, так и в процессе эксплуатации с учетом погрешности показаний приборов, причем этап реализуется посредством модуля для реализации симуляции данных датчиков и включает в себя: датчики гамма-каротажа, локатора муфт, температуры, давления, механического расходомера,

омического сопротивления, конденсаторный влагомер, спектральный шумомер, импульсный нейтрон-нейтронный каротаж, импульсный нейтрон-гамма каротаж, углерод-кислородный каротаж, акустический каротаж, электромагнитный дефектоскоп;

показания данных гидродинамических и газодинамических исследований скважин в обсаженном стволе как на этапе освоения, так и в процессе эксплуатации с учетом погрешности показаний; причем этап реализуется посредством модуля для формирования симуляции данных датчиков;

показания данных трассерных исследований скважин в обсаженном стволе в процессе эксплуатации с учетом погрешности показаний, причем этап реализуется посредством модуля симуляции данных гамма-каротажа;

показания данных трассерных исследований межскважинных интервалов в процессе эксплуатации с учетом погрешности показаний, причем этап реализуется посредством модуля симуляции данных гам-

ма-каротажа;

показания данных магниторазведки, электроразведки и гравиразведки на этапе геологоразведочных работ, причем этап реализуется посредством модуля симуляции данных магнитометрии, электрометрии и гравиметрии;

показания данных сейсмических исследований как на этапе геологоразведочных работ, так и в процессе эксплуатации, причем этап реализуется посредством модуля симуляции данных акустического отклика на сейсмические воздействия.

#### **Детальное описание изобретения**

В приведенном ниже подробном описании реализации изобретения приведены многочисленные детали реализации, призванные обеспечить отчетливое понимание настоящего изобретения. Однако, квалифицированному в предметной области специалисту, будет очевидно каким образом можно использовать настоящее изобретение, как с данными деталями реализации, так и без них. В других случаях хорошо известные методы, процедуры и компоненты не были описаны подробно, чтобы не затруднять излишне понимание особенностей настоящего изобретения.

Кроме того, из приведенного изложения будет ясно, что изобретение не ограничивается приведенной реализацией. Многочисленные возможные модификации, изменения, вариации и замены, сохраняющие суть и форму настоящего изобретения, будут очевидными для квалифицированных в предметной области специалистов.

В настоящее время синтетические модели принято называть цифровыми двойниками, так как в вычислительном пространстве они воспроизводят поведение реального объекта. Причем под объектом понимается не только пласты горных пород. Под объектом понимаются все элементы жизнедеятельности человека, связанные с разработкой месторождения: геологические объекты, скважины, поверхностное обустройство и их учет в экономической модели, оборудование для проведения геолого-технических мероприятий (включая бурение скважин), оборудование для проведения исследования скважин. Экономическая модель включает в себя учет стоимости капитальных и операционных расходов, доходов от продажи нефтепродуктов с учетом налогообложения и динамические цены на углеводороды. Все вышеперечисленные компоненты разработки актива тоже входят в состав цифровизации объекта. Поэтому цифровой двойник представляет из себя не просто конкретный геометрический объект, а полномасштабную модель всего актива.

Создание цифровых двойников активов является весьма сложной вычислительной задачей, в основе которой лежит согласование большого количества симуляторов отдельных компонент актива, которые имеют разную логику поведения, разную физику, разные пространственные и временные масштабы.

Например, если скважину бурят буквально за несколько недель, то обмен жидкостью скважины с пластом обычно описывается на месячной основе. В промышленных, геофизических, гидродинамических исследованиях масштаб времени исчисляется минутами, экономические процессы имеют масштабы от одного месяца до года. То же самое можно сказать и о пространственных масштабах. Геофизические симуляторы имеют масштаб 0.1 метра, скважинные симуляторы обычно моделируют с масштабом в 1 метр, пласты моделируются в масштабе десятков метров, а трубопроводные системы моделируются от метров до десятков метров. Модель подземного резервуара - это то, с чего начинается любой нефтегазовый актив.

Пользователь получает информацию об подземном объекте точно так же, как и в реальной жизни - через мониторинг добычи и проведения промышленных исследований скважин и пластов.

После того, как геологическая модель воспроизведена, необходимо воспроизвести движение жидкости в данной модели. Этим занимается гидродинамическая модель, а это уже совершенно другой временной и пространственный масштаб.

Жидкости в скважине двигаются как вверх из пласта на поверхность (добыча), так и вниз, в процессе закачки газа или воды для организации вытеснения нефти, либо для подземных хранилищ. Модель скважины в системе является одной из самых сложных, так как включает в себя достаточно сложные физические процессы: сильно меняется температура между поверхностью и забоем скважины, сильно меняется давление, сложно ведет себя многофазный флюид, сложные конструкции скважин, подземное оборудование (насосы).

Модель поверхностной инфраструктуры - это модель того, как расположены трубопроводы на неравномерном рельефе с учетом ограничений по территории, землеотводам, как выглядят насосные станции, сборочные станции и прочие элементы наземного оборудования скважин. Все это моделируется и имеет свой временной и пространственный масштаб.

Следующие компоненты - это геофизические исследования скважин. Это электрометрия, акустический, нейтронный и гамма-каротажи. Также моделируется отбор керна (как RCAL, так и более дорогостоящий SCAL), а также ГДК/ОПК. В настоящем изобретении используются модели, моделирующие вышеперечисленные реакции физических сенсоров на состояние пород и жидкостей в них. Процесс моделируется не только как физический отклик в чистом виде, но и моделируются в том числе и зашумления, характерные для этих сенсоров, это приводит к высокой степени реалистичности.

Предлагаемое изобретение также позволяет ресурсоёмко моделировать промыслово-геофизические

и гидродинамические исследования скважин. Помимо профиля притока/закачки, также можно заказать шумометрию, которая показывает потоки в пластах и вне перфорированных зон, что помогает выявить заколонные перетоки. Как и в случае ГИС, исследования ПГИ и ГДИ зашумляются для приближения к реальным условиям.

Таким образом, в качестве дополнительного технического результата можно учитывать увеличение производительности вычислительных систем при решении поставленной задачи (т.е. решение позволяет производить обработку данных с получением результата (продукта) за меньшее количество времени, за счет полной автоматизации процесса), тем самым снижая нагрузку на вычислительные элементы устройств (серверов), за счет уменьшения количества обрабатываемых запросов.

Способ моделирования поведения подземной и поверхностной инфраструктуры в процессе ее эксплуатации реализуется с использованием: банка цифровых синтетических месторождений; веб-интерфейса;

группы симуляторов (модулей), которые позволяют осуществлять моделирование поведения подземной и поверхностной инфраструктуры в процессе ее эксплуатации.

Предлагаемое изобретение может быть реализовано с использованием серверной инфраструктуры, способной осуществлять необходимую обработку данных. Серверная инфраструктура может состоять из сетевого оборудования, серверного (вычислительного) оборудования, дискового и иного хранилища.

В частности, решение реализуется посредством, по меньшей мере, базы данных, вычислительного оборудования (например, сервера (облачного или физического)), устройств отображения (например, дисплеев, планшетов), а также вычислительных устройств, посредством которых, осуществляется взаимодействие через пользовательский интерфейс.

Предлагаемый способ моделирования поведения подземной и поверхностной инфраструктуры, в процессе ее эксплуатации, реализуется за счет последовательного и согласованного алгоритма моделирования следующих процессов.

Осуществляется моделирование движения флюида из пласта до сборного пункта, включая процессы естественной и искусственной трансформации флюида. Данный этап реализуется посредством модуля для симуляции распределения давления внутри скважины и элементов поверхностной инфраструктуры и модуля для симуляции профилей притоков.

Осуществляется моделирование движения флюида из водозаборной или газозаборной системы до пласта, включая процессы естественной и искусственной трансформации флюида. Данный этап реализуется посредством модуля для симуляции распределения давления внутри скважины и элементов поверхностной инфраструктуры и модуля для симуляции профилей притоков.

Осуществляется моделирование фильтрации пластовых флюидов и закачиваемых агентов в пласте с учетом их взаимодействия с породой, межфазовых явлений и фазовых переходов. Данный этап моделирования реализуется за счет вычисления давления и насыщенности в каждой точке пласта.

Осуществляется моделирование реакции пластов, скважин и поверхностной инфраструктуры на геолого-технические мероприятия (ГТМ: перфорации, изоляции, устьевые обработки, ГРП, стимуляции), воздействие флюидов, спонтанные аварии, а также время и условия эксплуатации, а также осложнения при неправильной эксплуатации (автоГРП, ЗКЦ). Данный этап реализуется посредством модуля для симуляции распределения давления внутри скважины и элементов поверхностной инфраструктуры и модуля для симуляции профилей притоков.

Показания данных геофизических исследований скважин в открытом стволе в процессе бурения с учетом погрешности показаний реализуется посредством модуля для формирования симуляции данных датчиков и включает в себя: каверномер, гамма-каротаж, двух-зондовый нейтронный гамма-каротаж, гамма-плотностной каротаж, боковой каротаж, индукционный каротаж, ядерно-магнитный каротаж, акустический каротаж.

Показания данных геофизических исследований скважин в обсаженном стволе как на этапе освоения, так и в процессе эксплуатации с учетом погрешности показаний приборов, реализуется посредством модуля для реализации симуляции данных датчиков и включает в себя: датчики гамма-каротажа, локатора муфт, температуры, давления, механического расходомера, омического сопротивления, конденсаторный влагомер, спектральный шумомер, импульсный нейтрон-нейтронный каротаж, импульсный нейтрон-гамма каротаж, углерод-кислородный каротаж, акустический каротаж, электромагнитный дефектоскоп.

Показания данных гидродинамических и газодинамических исследований скважин в обсаженном стволе как на этапе освоения, так и в процессе эксплуатации с учетом погрешности показаний реализуется посредством модуля для формирования симуляции данных датчиков.

Показания данных трассерных исследований скважин в обсаженном стволе в процессе эксплуатации с учетом погрешности показаний реализуется посредством модуля симуляции данных гамма-каротажа.

Показания данных трассерных исследований межскважинных интервалов в процессе эксплуатации с учетом погрешности показаний реализуется посредством модуля симуляции данных гамма-каротажа.

Показания данных магниторазведки, электроразведки и гравиразведки на этапе геологоразведочных

работ реализуется посредством модуля симуляции данных магнитометрии, электрометрии и гравиметрии;

Показания данных сейсмических исследований как на этапе геологоразведочных работ, так и в процессе эксплуатации, реализуется посредством модуля симуляции данных акустического отклика на сейсмические воздействия.

Симуляторы (модули), позволяющие осуществлять моделирование поведения подземной и поверхностной инфраструктуры в процессе ее эксплуатации:

PolyLog - модуль для отрисовки логов различных датчиков;

OHSS - модуль для симуляции датчиков открытого ствола;

PLT - модуль для симуляции различных профилей притоков;

PolyPres - модуль для симуляции распределения давления внутри скважины и элементов поверхностной инфраструктуры;

PolyTerm - модуль предназначен для моделирования профилей температуры в стволе и в ближайшей от него окрестности, работающей/простаивающей нагнетательной/добывающей скважины.

PolyPress.

Модуль предназначен для нахождения распределения давлений в стволе скважины и/или поверхностной инфраструктуре. Способен обчитывать распределение давлений целиком по всей нагнетательной/добывающей системе месторождения, включая поверхностную инфраструктуру. Реализует несколько интерфейсов под разный характер вычислений.

WPA\_solver.

WPA\_solver выполняет расчет режимов работы скважин и распределения давлений целиком по всей нагнетательной/добывающей системе месторождения, включая поверхностную инфраструктуру. Так же способен находить рабочую точку по каждой из скважин.

PolyTerm.

Данный модуль предназначен для моделирования профилей температуры в стволе, работающей/простаивающей нагнетательной/добывающей скважины.

С помощью термосимулятора PolyTerm возможно вычисление:

геотермического градиента (Geothermal Temperature Gradient)  $G_T(z)$ ;

глубины нейтрального температурного слоя (Neutral Temperature Layer (NTL))  $H_n$ ;

профиля геотермической температуры (Along-hole Geothermal Temperature Profile)  $T_G(t,z)$ ;

профиля температуры окружающих пород (Subsurface temperature distribution)  $T_R(t,z)$ ;

профиля температуры в стволе работающей скважины (Along-hole Temperature Profile)  $T_F(t,z)$ ;

профиля температуры в стволе простаивающей скважины (Along-hole Temperature Profile)  $T_S(t, shut-in time, z)$ .

PolyLog.

Модуль предназначен для:

визуализации и анализа данных ГИС;

форматирования логов показаний датчиков.

Для построения логов и графиков модуль использует исходные данные, подготовленные в формате LAS 2.0.

1. Las-файл с данными логов в формате LAS 2.0.

2. Описание конструкции скважины.

3. Настройки отображения:

содержимое las-файла:

отметки глубины исследуемого интервала скважины (START, STOP);

шаг квантирования;

название компании;

имя скважины;

ID скважины (Unique Well ID, UWI);

дата исследования;

геологическая провинция;

отметки глубины (MD);

абсолютные отметки (TVDSS);

логи показаний датчиков;

интерпретационные логи.

Описание конструкции скважины.

Описание конструкции скважины хранится в формате "Mws" и содержит описания:

интервалов перфорации;

тип закачивания скважины;

глубины открытого ствола, ЭК, НКТ и т.д.;

диаметр ОС, ЭК, НКТ и т.д.

Настройки отображения:

единицы измерения параметров;  
 порядок отображения логов на панели вывода;  
 подписи к логам;  
 подписи к панелям и графикам;  
 оформление логов (цвет линий/заливки, толщина линий и т.д.);  
 диапазон отображаемых значений (min, max, null);  
 режимы отображения логов: инверсия, логарифмическая шкала;  
 метки отображаемых диапазонов значений на логгах;  
 правила соединения логов в общую панель: мастер-лог, определяющий общую ось значений для всех графиков на панели, способы заполнения промежутков между графиками и т.д.;  
 соглашение о вертикальной сетке измерения значений;  
 используемый язык (rus/eng).  
 PLT - модуль для симуляции резервуарного и скважинного профилей потоков.  
 Модуль позволяет рассчитывать:  
 PLT - Water Injector - профиль потока по стволу нагнетательной скважины;  
 PLT - Multiphase Producer - мультифазный поток по стволу;  
 PLT - Dry Gas Producer - поток сухого газа.  
 Open Hole Sensor Simulator (OHSS) - модуль симуляции датчиков открытого ствола. Моделируются поведение следующих датчиков:

гамма-каротаж;  
 датчик нейтронной пористости;  
 датчик объемной плотности;  
 боковой каротаж, малый зонд;  
 боковой каротаж, большой зонд;  
 микробоковой каротаж.

В настоящих материалах изобретения было представлено предпочтительное раскрытие осуществления заявленного изобретения, которое не должно использоваться как ограничивающее иные, частные воплощения его реализации, которые не выходят за рамки испрашиваемого объема правовой охраны и являются очевидными для специалистов в соответствующей области техники.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Способ моделирования поведения подземной и поверхностной инфраструктуры в процессе ее эксплуатации, содержащий этапы, на которых согласованно моделируются следующие процессы:

движение флюида из пласта до сборного пункта, включая процессы естественной и искусственной трансформации флюида, причем этап реализуется посредством модуля для симуляции распределения давления внутри скважины и элементов поверхностной инфраструктуры и модуля для симуляции профилей притоков;

движение флюида из водозаборной или газозаборной системы до пласта, включая процессы естественной и искусственной трансформации флюида, причем этап реализуется посредством модуля для симуляции распределения давления внутри скважины и элементов поверхностной инфраструктуры и модуля для симуляции профилей притоков;

фильтрация пластовых флюидов и закачиваемых агентов в пласте с учетом их взаимодействия с породой, межфазовых явлений и фазовых переходов, причем моделирование реализуется за счет вычисления давления и насыщенности в каждой точке пласта;

реакцию пластов, скважин и поверхностной инфраструктуры на геолого-технические мероприятия, воздействие флюидов, спонтанные аварии, а также время и условия эксплуатации, а также осложнения при неправильной эксплуатации, причем этап реализуется посредством модуля для симуляции распределения давления внутри скважины и элементов поверхностной инфраструктуры и модуля для симуляции профилей притоков;

показания данных геофизических исследований скважин в открытом стволе в процессе бурения с учетом погрешности показаний, причем этап реализуется посредством модуля для формирования симуляции данных датчиков и включает в себя: каверномер, гамма-каротаж, двух-зондовый нейтронный гамма-каротаж, гамма-плотностной каротаж, боковой каротаж, индукционный каротаж, ядерно-магнитный каротаж, акустический каротаж;

показания данных геофизических исследований скважин в обсаженном стволе как на этапе освоения, так и в процессе эксплуатации с учетом погрешности показаний приборов, причем этап реализуется посредством модуля для реализации симуляции данных датчиков и включает в себя: датчики гамма-каротажа, локатора муфт, температуры, давления, механического расходомера, омического сопротивления, конденсаторный влагомер, спектральный шумомер, импульсный нейтрон-нейтронный каротаж, импульсный нейтрон-гамма каротаж, углерод-кислородный каротаж, акустический каротаж, электромагнитный дефектоскоп;

показания данных гидродинамических и газодинамических исследований скважин в обсаженном стволе как на этапе освоения, так и в процессе эксплуатации с учетом погрешности показаний; причем этап реализуется посредством модуля для формирования симуляции данных датчиков;

показания данных трассерных исследований скважин в обсаженном стволе в процессе эксплуатации с учетом погрешности показаний, причем этап реализуется посредством модуля симуляции данных гамма-каротажа;

показания данных трассерных исследований межскважинных интервалов в процессе эксплуатации с учетом погрешности показаний, причем этап реализуется посредством модуля симуляции данных гамма-каротажа;

показания данных магниторазведки, электроразведки и гравиразведки на этапе геологоразведочных работ, причем этап реализуется посредством модуля симуляции данных магнитометрии, электрометрии и гравиметрии;

показания данных сейсмических исследований как на этапе геологоразведочных работ, так и в процессе эксплуатации, причем этап реализуется посредством модуля симуляции данных акустического отклика на сейсмические воздействия.

