



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ**

(21)(22) Заявка: 2014130786/03, 10.02.2012

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
10.02.2012

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 10.02.2012

(43) Дата публикации заявки: 10.04.2016 Бюл. № 10

(45) Опубликовано: 10.07.2016 Бюл. № 19

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: **Marco R. Thiele, Strimline Simulation, Streamsim Technologies, Inc., 8 International Forum on Reservoir Simulation, Stresa/Lago Maggiore, Italy, 20-24 июня 2005. RU 2172402 C1, 20.08.2001 . US 20110290479 A1, 01.12.2011 . US 20080167849 A1, 10.07.2008 . US 20100312535 A1, 09.12.2010 . EA 10968 B1, 30.12.2008..**

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на национальной фазе: 10.09.2014

(86) Заявка РСТ:  
US 2012/024656 (10.02.2012)

(87) Публикация заявки РСТ:  
WO 2013/119248 (15.08.2013)

Адрес для переписки:

129090, Москва, ул. Б. Спасская, 25, строение 3,  
ООО "Юридическая фирма Городисский и  
Партнеры"

(72) Автор(ы):

**МАУЦЕЦ Марко (US)**

(73) Патентообладатель(и):

**ЛЭНДМАРК ГРАФИКС КОРПОРЕЙШН  
(US)**

**(54) СИСТЕМЫ И СПОСОБЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ МОМЕНТОВ ПРОРЫВА ФЛЮИДА В МЕСТОНАХОЖДЕНИЯХ ДОБЫВАЮЩИХ СКВАЖИН**

(57) Реферат:

Изобретение относится к оценке моментов прорыва флюида в местонахождении добывающей скважины. Более конкретно данное изобретение относится к оценке моментов прорыва флюида в местонахождении добывающей скважины на основании моделирования распространения флюида. Технический результат заключается в увеличении точности оценки моментов прорыва флюида в местонахождении добывающей скважины на

основании моделирования распространения флюида. Способ содержит идентификацию данных отслеживания линии тока; вычисление среднего времени пробега линии тока в каждой ячейке сети на основании данных отслеживания линии тока; идентификацию кратчайшей или быстрой линии тока для добывающей скважины, используя среднее время пробега линии тока в каждой ячейке сети; вычисление среднего времени пролета для кратчайшей или

быстрейшей линии тока через каждую пересекаемую ячейку сети, используя процессор вычислительной машины; оценку момента прорыва флюида в добывающей скважине,

используя данные моделирования распространения флюида и среднее время пролета для кратчайшей или быстрейшей линии тока. 2 н. и 18 з.п. ф-лы, 2 табл., 13 ил.

R U 2 5 9 0 2 6 5 C 2

R U 2 5 9 0 2 6 5 C 2



FEDERAL SERVICE  
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(19) **RU** (11) **2 590 265** (13) **C2**

(51) Int. Cl.

**E21B 47/10** (2012.01)

**G06G 7/48** (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: **2014130786/03, 10.02.2012**

(24) Effective date for property rights:  
**10.02.2012**

Priority:

(22) Date of filing: **10.02.2012**

(43) Application published: **10.04.2016** Bull. № 10

(45) Date of publication: **10.07.2016** Bull. № 19

(85) Commencement of national phase: **10.09.2014**

(86) PCT application:  
**US 2012/024656 (10.02.2012)**

(87) PCT publication:  
**WO 2013/119248 (15.08.2013)**

Mail address:

**129090, Moskva, ul. B. Spasskaja, 25, stroenie 3,  
OOO "Juridicheskaja firma Gorodisskij i Partnery"**

(72) Inventor(s):

**MAUTSETS Marko (US)**

(73) Proprietor(s):

**LENDMARK GRAFIKS KORPOREJSHN (US)**

(54) **SYSTEMS AND METHODS FOR ASSESSMENT OF MOMENTS OF PENETRATION OF FLUID IN LOCATIONS OF PRODUCTION WELLS**

(57) Abstract:

FIELD: mining.

SUBSTANCE: invention relates to estimation of moments of penetration of fluid in location of producer. More specifically present invention relates to estimation of moments of penetration of fluid in location of producer based on simulation of distribution of fluid. Method includes identification of tracking data current line; calculation of average time of current lines run in each cell network based on tracking data current line; identification of shortest or fastest current line for production well using average time of current lines run

in each cell network; calculation of average time of flight for shortest or fastest line current through each traverse cell network using processor computer; evaluation of fluid invasion point in producer, using data modelling distribution of fluid and mean time span for shortest or fastest current line.

EFFECT: technical result consists in increase of accuracy of estimating moments of penetration of fluid in location of producer based on simulation of distribution of fluid.

20 cl, 2 tbl, 13 dwg

## ПЕРЕКРЕСТНАЯ ССЫЛКА НА РОДСТВЕННЫЕ ЗАЯВКИ

Нет.

## ЗАЯВЛЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНО ИССЛЕДОВАНИЯ, ФИНАНСИРУЕМОГО ИЗ ФЕДЕРАЛЬНОГО БЮДЖЕТА

Неприменимо.

## ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ, К КОТОРОЙ ОТНОСИТСЯ ИЗОБРЕТЕНИЕ

Настоящее изобретение в целом относится к оценке моментов прорыва флюида в местонахождении добывающей скважины. Более конкретно, данное изобретение относится к оценке моментов прорыва флюида в местонахождении добывающей скважины на основании моделирования распространения флюида.

## УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Разные системы и способы известны для оценки момента прорыва флюида в местонахождении добывающей скважины, включая в себя адаптацию модели (НМ). Адаптация Модели (НМ) является систематической процедурой изменения имитационной модели пласта для воспроизведения динамического отклика месторождения. В приложениях НМ и адаптации модели месторождения к данным по добыче основными задачами являются: а) интеграция данных по добыче в модели месторождения; b) гибкость, рентабельность и вычислительная эффективность и с) полная загрузка динамических данных.

В последние десятилетия технология НМ имела резкое развитие и получила значительное признание и расширение от традиционного (то есть ручного, детерминированного) подхода, главным образом основанного на стратиграфических способах, к новым разработкам, подобным вероятностному моделированию, НМ на основе метода трубок тока, основанным на чувствительности/градиенте и экспериментальной модели.

Схема работы НМ в значительной мере рассматривает минимизацию несовпадения между измеренным и смоделированным динамическим откликом флюида (например, нефти или воды) в отдельной добывающей скважине как одну из инверсионных основных целей. В исследованиях по увеличению нефтеотдачи пласта (EOR) посредством закачки воды, к примеру, несоответствие отклика представляет собой дифференциальные или интегральные кривые обводненности с двумя основными характеристиками: 1) момент прорыва флюида и 2) направленность и форма отклика. В то время как обе характеристики представляют собой важные переменные в процессе минимизации несоответствия, момент прорыва флюида является тем, что раскрывает наибольшее влияние на экономику производительности. Более того, интервал (то есть временные рамки) прорыва флюида всегда обременены неуверенностью, что делает усилия по оценке с наиболее возможной достоверностью еще более значимыми. Фактически, целесообразно в НМ динамических данных скважины рассматривать момент прорыва как эффект первого порядка, колебания в кривой направленность/форма как эффект второго порядка, поскольку они в основном отражаются на условиях эксплуатации.

Несмотря на прогресс в технологии НМ, это по-прежнему несомненно наиболее времязатратный аспект построения модели/имитационного моделирования, и схема работы НМ сталкивается со многими проблемами, которые включают в себя:

- i) нелинейные результаты между откликом производства и характеристиками пласта;
- ii) неоднозначные решения, которые требуют определение некоторого вида "однозначности";
- iii) относительное влияние ключевых параметров может не быть очевидным;
- iv) условия не ограничены, а неопределенности и в переменных редко известны; и

v) данные по добыче могут быть ошибочно и изначально искажены.

## СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Настоящее изобретение таким образом отвечает вышеприведенным потребностям и преодолевает один или больше недостатков в предшествующем уровне техники, предоставляя системы и способы для оценки моментов прорыва флюида в местонахождении добывающей скважины на основании моделирования распространения флюида.

В одном варианте осуществления настоящее изобретение включает в себя способ для оценки момента прорыва флюида в добывающей скважине, на основании данных моделирования распространения флюида, содержащий: i) идентификацию данных отслеживания линий тока; ii) вычисление среднего времени в пути в каждой ячейке сети на основании данных отслеживания линий тока; iii) идентификацию кратчайшей или быстреей линии тока для данной добывающей скважины, используя среднее время в пути линии тока в каждой ячейке сети; iv) вычисление среднего времени пролета для кратчайшей или быстреей линии тока через каждую пройденную ячейку сети, используя процессор вычислительной машины, и v) оценку момента прорыва флюида в добывающей скважине, используя данные моделирования распространения флюида и среднее время пролета для кратчайшей или быстреей линии тока.

В другом варианте осуществления, настоящее изобретение включает в себя энергонезависимое устройство хранения программ, материально несущее исполняемые компьютером команды для оценки момента прорыва флюида в добывающей скважине. Команды исполняются для выполнения: i) идентификации данных отслеживания линий тока; ii) вычисления среднего времени в пути в каждой ячейке сети на основании данных отслеживания линий тока; iii) идентификацию кратчайшей или быстреей линии тока для данной добывающей скважины, используя среднее время в пути линии тока в каждой ячейке сети; iv) вычисление среднего времени пролета для кратчайшей или быстреей линии тока через каждую пройденную ячейку сети, используя [процессор вычислительной машины]; и v) оценки момента прорыва флюида в добывающей скважине, используя данные моделирования распространения флюида и среднее время пролета для кратчайшей или быстреей линии тока.

Дополнительные аспекты, преимущества и варианты осуществления данного изобретения станут очевидны специалистам в данной области техники из нижеследующего описания различных вариантов осуществления и сопутствующих чертежей.

## КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

Настоящее изобретение описано ниже со ссылкой на прилагаемые чертежи, на которых схожие элементы обозначены схожими номерами позиций и на которых:

Фиг. 1 является блок-схемой, иллюстрирующей некоторый вариант осуществления способа для реализации настоящего изобретения.

Фиг. 2А иллюстрирует скорость и направление распространения флюида через широкий песчаный карман.

Фиг. 2В - скорость и направление распространения флюида через узкий песчаный карман.

Фиг. 3 иллюстрирует пример распространения флюида через песчаную фракцию фациальной модели во время начального этапа моделирования.

Фиг. 4А иллюстрирует синтезированную 2D модель проницаемости с 2500 ячейками сети (50×50) и пятиточечной сеткой скважин (1 нагнетательная скважина (I) и 4 добывающих скважины (P<sub>1</sub>-P<sub>4</sub>)).

Фиг. 4В иллюстрирует моделирование распространения флюида через 2D модель проницаемости с Фиг. 4А от нагнетательной скважины (I) относительно числа итераций (2500), которым было запущено моделирование.

Фиг. 5 иллюстрирует возможное распределение линий тока в пятиточечной сетке скважин на Фиг. 4В.

Фиг. 6 иллюстрирует время в пути линии тока вдоль ее длин дуги в заданной ячейке сети (i, j, k) 2D модели проницаемости.

Фиг. 7А иллюстрирует наблюдаемую (измеренную) кривую обводненности для добывающей скважины P<sub>1</sub> на FIG. 4А.

Фиг. 7В иллюстрирует наблюдаемую (измеренную) кривую обводненности для добывающей скважины P<sub>2</sub> на FIG. 4А.

Фиг. 7С иллюстрирует наблюдаемую (измеренную) кривую обводненности для добывающей скважины P<sub>3</sub> на FIG. 4А.

Фиг. 7D иллюстрирует наблюдаемую (измеренную) кривую обводненности для добывающей скважины P<sub>4</sub> на FIG. 4А.

Фиг. 8 является функциональной схемой, иллюстрирующей некоторый вариант осуществления системы для реализации настоящего изобретения.

## ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНЫХ ВАРИАНТОВ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

Объект патентования настоящего изобретения описан с конкретностью, однако само описание не предназначено ограничивать объем изобретения. Объект патентования, таким образом, может также быть осуществлен другими путями, включая в себя другие этапы или сочетания этапов, сходных с теми, что описаны в данном документе, в сочетании с другими современными или перспективными технологиями. Кроме того, хотя термин "этап" может быть использован в данном документе для описания разных элементов примененных способов, данный термин не должен быть интерпретирован как подразумевающий любой конкретный порядок среди или между разными этапами, раскрываемыми в данном документе, за исключением случаев, когда иное явно ограничено данным описанием по отношению к тому или иному порядку. В то время как настоящее изобретение может быть применено в нефтяной и газовой промышленности, оно не ограничивается этим и может также быть применено в других индустриях для достижения схожих результатов.

Настоящее изобретение включает в себя системы и способы для оценки моментов прорыва флюида в местоположениях добывающих скважин на основании моделирования распространения флюида. Настоящее изобретение включает в себя моделирование распространения флюида, являющегося обычно статическим и представляющего момент(ы) вторжения для флюида, закачанного в нагнетательную скважину(ы) для достижения добывающей скважины(-). Моделирование дает иметь возможность полное рассмотрение фациального моделирования, которое сохраняет контроль над литологической целостностью геологических моделей посредством прямого ограничения моделирования при фациальном распространении. Моделирование также сохраняет стохастичность распространения фронта флюида. Несмотря на статичную природу данного моделирования стохастическая выборка движения фронта флюида выполняется посредством использования равномерного распределения.

Настоящее изобретение преобразует момент(ы) вторжения флюида (заданные моделированием в единицах повторений) в интервал физического времени (заданный, например, в днях, неделях, месяцах...), являющийся совместимым с историей

эксплуатации скважины. Таким образом, настоящее изобретение предоставляет новые возможности для быстрой оценки ценных характеристик производительности скважины быстрым и рентабельным способом. К примеру, быстрая и точная оценка момент(ов) прорыва флюида, относящаяся к отдельной модели месторождения, может быть достигнута до начала полной инверсии. Подобная оценка предоставит ценную информацию операторам скважины относительно динамики клапанов скважины, в особенности в EOR проектах с нагнетанием воды/газа в которых управление производством нефти и воды/газа открывает существенный экономический эффект.

С целью достижения быстрой оценки момента(ов) прорыва флюида ( $T^{BT}$ ), настоящее изобретение использует сочетание отслеживания линии тока и соответствующего времени пролета ("TOF") по ходу моделирования. Таким образом, настоящее позволяет быструю аппроксимацию моментов прорыва флюида, выполняя запуск моделирования и одно повторение отслеживания линии тока в процессе автоматизированной адаптации модели ("АНМ"), учитывающей линии тока, для модели месторождения.

## ОПИСАНИЕ СПОСОБА

Со ссылкой на Фиг. 1, блок-схема иллюстрирует некоторый вариант осуществления способа 100 для реализации настоящего изобретения.

На этапе 102 осуществляется моделирование распространения флюида ("FPS"). Одна техника для выполнения FPS основывается на алгоритме в пакете программного обеспечения RGeoS, разработанного D. Renard. Данный алгоритм FPS моделирует распространение нескольких флюидов, известных в нагнетательных и/или добывающих скважинах, которые предусмотрены фациальной информацией, известной в узлах регулярной сети, и стремится позволить флюиду, встреченному в скважинах (например, в нагнетательной скважине) расти или расширяться пространственно. Скорость и направление роста зависит от размера песчаных карманов, которые могут быть заполнены. На Фиг. 2, к примеру, действительная скорость и направление распространения флюида через широкий песчаный карман (Фиг. 2A) и узкий песчаный карман (Фиг. 2B) показаны. Чем больше карманы 206, 208, там быстрее рост. Векторы скорости 202, 204 используются в алгоритме FPS. Данный алгоритм разработан для выполнения некоторого моделирования числовой переменной, используя технику моделирования Eden. Данная техника предоставляет более быстрое альтернативное решение для программы моделирования потока многофазного флюида. Данная техника объединяет пример двойной среды "черное и белое", где белое изображает песок, а черное изображает глину с одной или несколькими нагнетательными скважинами и одной или несколькими добывающими скважинами, как показано на Фиг. 3. В этом примере, показаны местоположения песчаных фаций 302, 304, 306 и двух нагнетательных скважин 307, 308.

Теперь, со ссылкой на Фиг. 4A, синтезированная 2D модель проницаемости показана с 2500 ячейками сети (50×50) и пятиточечной сеткой скважин (1 нагнетательная скважина (I) и 4 добывающих скважины (P<sub>1</sub>-P<sub>4</sub>)). Данный алгоритм FPS был использован в 2500 повторениях, поскольку одна ячейка данной модели заполняется за одно повторение. На Фиг. 4B моделирование распространения флюида через 2D модель распространения на Фиг. 4A от нагнетательной скважины (I) показано относительно числа повторений (2500), которым было запущено данное моделирование. На Фиг. 5 показано одно возможное распространение линий тока в пятиточечной сетке скважин на Фиг. 4B.

С целью реализации алгоритма FPS в качестве быстрой доверенной оценки момента прорыва флюида в инверсии АНМ в кривых обводнения, преобразования момента(ов) вторжения флюида в интервал физического времени(-) должен быть рассмотрен со

следующими основными допущениями:

- i) TOF линии тока представляет собой ключевой фактор нормализации;
- ii) отслеживание TOF от добывающей скважины(-) представляет собой дренируемый скважиной объем; и

iii) отслеживание флюида от нагнетательной скважины дает оценку рабочего объема.

Для оценки момента прорыва флюида в добывающей скважине предполагается, что следующие расчеты завершены для данной модели месторождения, используя любую технику, хорошо известную в данной области техники, для отслеживания линий тока по результатам прямого моделирования давления и скорости флюида: а) расчет момента вторжения флюида (то есть этап 102); и б) первое повторение отслеживания линии тока и расчета TOF (то есть этап 106). Эти расчеты дадут а) момент вторжения флюида от алгоритма FPS, заданного числом повторений моделирования (принимая 1 повторение на ячейку сети); и б) общее число линий тока, проходящих через любую ячейку сети модели месторождения с координатами (i, j, k).

На этапе 104 идентифицируют результаты данных FPS из этапа 102, которые включают в себя момент вторжения флюида, заданный числом повторений моделирования, необходимым флюиду для достижения любой добывающей скважины ( $P_m$ ) от нагнетающей скважины через одну или несколько ячеек сети, представляющих модель свойств пласта.

На этапе 106 идентифицируют данные отслеживания линий тока, используя любую хорошо известную технику, которые включают в себя число сегментов линий тока, пересекающих каждую ячейку сети ( $N_{SLN}$ ), время пробега ( $\partial\tau$ ) для каждого сегмента

линий тока ( $\psi_{m,n}^{i,j,k}$ ) в каждой ячейке сети, индекс ячейки сети и общее число ячеек сети,

пересекаемых всеми линиями тока, соединяющими нагнетательную скважину с добывающей скважиной. Со ссылкой на Фиг. 6, показано время пробега линии тока вдоль по ее длине дуги в данной ячейке сети 2D модели проницаемости. Индексы (n) и (m) пробегают все сегменты линий тока в каждой ячейке сети и во всех добывающих скважинах, соответственно ( $n=[1..N_{SLN}]$ , а  $m=[1..N_p]$ ). Время пробега для сегмента линий тока в каждой ячейке сети может быть вычислено посредством интегрирования "медленности" индикатора линии тока вдоль каждой траектории линии тока, используя следующее уравнение:

$$\partial\tau\left(\psi_{m,n}^{i,j,k}\right)=\int_{\psi} \partial s(x) dr \quad (1)$$

где  $\partial s(x)$  соответствует "медленности" индикатора линии тока (определяемой как обратное от скорости индикатора),  $dr$  соответствует длине дуги сегмента линии тока

( $\psi_{m,n}^{i,j,k}$ ) между местами входа и выхода на ограничивающей поверхности ячейки сети с координатами (i, j, k).

На этапе 108 среднее время пробега линии тока в каждой ячейке сети ( $\partial\tau$ ) вычисляют, учитывая все сегменты линий тока, пересекающих каждую ячейку сети, что может быть вычислено, используя следующее уравнение:

$$\partial\tau = \frac{1}{N_{SLN}} \sum_{n=1}^{N_{SLN}} \partial\tau\left(\psi_{m,n}^{i,j,k}\right) \quad (2)$$



где ( $N_{SLN}$ ) является числом сегментов линий тока, пересекающих каждую ячейку сети из этапа 106, а  $\partial\tau\left(\psi_{m,n}^{i,j,k}\right)$  является временем пробега для каждого сегмента линий тока в каждой ячейке сети из этапа 106.

На этапе 114 кратчайшую/быстрейшую линию тока идентифицируют для каждой добывающей скважины ( $P_m$ ), используя среднее время пробега линии тока в каждой ячейке сети из этапа 108 и любой хорошо известный алгоритм поиска. Кратчайшая/быстрейшая линия тока является линией тока с наименьшей суммой средних времен пробега линий тока ( $\partial\tau^{\min}$ ) в ячейках сети, пересекаемых линией тока между нагнетательной скважиной (I) и добывающей скважиной ( $P_m$ ).

На этапе 116 общее число всех ячеек сети ( $N_{GC}^{\min}$ ), пересекаемых кратчайшей/быстрейшей линией тока, идентифицированное на этапе 114, и их индексы из этапа 116 сохраняют.

На этапе 118 среднее TOF ( $\langle TOF \rangle^{\min}$ ) для кратчайшей/быстрейшей линии тока, идентифицированной на этапе 114, вычисляют по каждой пересекающей ячейку сети, используя наименьшую сумму средних времен пробега линий тока ( $\partial\tau^{\min}$ ) для кратчайшей/быстрейшей линии тока, идентифицированной на этапе 114, и общее число всех ячеек сети ( $N_{GC}^{\min}$ ), сохраненное на этапе 116, которое может быть вычислено, используя следующее уравнение:

$$\langle TOF \rangle^{\min} = \frac{1}{N_{GC}^{\min}} \sum_{u=1}^{N_{GC}^{\min}} \partial\tau_u^{\min} \quad (3)$$

где индекс (u) представляет собой число пробега по всем индексам ячеек сети, пересекаемых кратчайшей/быстрейшей линией тока. Различие между "быстрейшей" и "медленнейшей" линией тока от распределения линий тока, относящихся к каждой добывающей скважине ( $P_m$ ), соответствует отличию между однородным и неоднородным пространственным распределением свойств пласта, таких как, к примеру, пустоты. Разница между распределением линий тока на Фиг. 5 показывает, что добывающие скважины  $P_2$  и  $P_3$  соединены с нагнетательной скважиной (I) через явно разные геологические формации, чем добывающие скважины  $P_1$  и  $P_4$ , что может быть сопоставленным с подстилающей структурой пустот.

На этапе 120 способ 100 определяет все ли ячейки сети, пересекаемые кратчайшей/быстрейшей линией тока, были рассмотрены. Если все пересекаемые ячейки сети не были рассмотрены, то тогда способ 100 возвращается к этапу 118. Если все пересекаемые ячейки сети были рассмотрены, то тогда способ 100 переходит к этапу 124. В качестве варианта, этапы со 118 по 120 могут быть выполнены одновременно для каждой пересекаемой ячейки сети.

На этапе 124 оценку момента прорыва флюида для каждой добывающей скважины ( $P_m$ ) вычисляют, объединяя данные отслеживания линий тока из этапа 106 с данными FPS из этапа 104, что может быть вычислено, используя следующее уравнение:

$$T^{BT} = \langle TOF \rangle^{\min} \cdot \frac{t_{INV}^{i,j,k}}{N_p} \cdot \frac{N_{SLN}^m}{N_{xyz}} \quad (4)$$

где ( $N_{xyz}$ ) и ( $N_p$ ) представляют собой общий размер модели свойств пласта и общее

число добывающих скважин, соответственно,  $\langle \text{TOF} \rangle^{\min}$ ) представляет собой среднее TOF для кратчайшей/быстрейшей линии тока, вычисленное на этапе 118,  $(N_{SLN}^m)$  представляют собой общее число ячеек сети, пересекаемых всеми линиями тока, соединяющими нагнетательную скважину (I) с добывающей скважиной ( $P_m$ ), а  $(t_{INV}^{i,j,k})$  представляют собой время вторжения флюида из этапа 104.

На этапе 126 способ 100 определяет, все ли добывающие скважины были рассмотрены. Если не все добывающие скважины ( $P_m$ ) были рассмотрены, то тогда способ 100 возвращается к этапу 104. Если все добывающие скважины ( $P_m$ ) были рассмотрены, то тогда способ 100 завершается. В качестве варианта, этапы с 104 по 126 могут быть выполнены одновременно для каждой добывающей скважины ( $P_m$ ).

### ПРИМЕР

Со ссылкой на синтезированную 2D модель проницаемости на Фиг. 4А, наблюдаемые (измеренные) кривые обводнения для конфигурации модели на FIG 4А даны на Фиг. 7А, 7В, 7С и 7D для каждой из четырех добывающих скважин ( $P_1$ ,  $P_2$ ,  $P_3$  и  $P_4$ ).

Точки данных дата/время по оси x на Фиг. 7А-7D, соответствующие физическим датам, относящимся к плану нагнетания воды (точки данных прорыва воды), представлены ниже в Таблице 1.

Таблица 1	
Точка данных	Физическая дата (дд/мм/гггг)
1	17/9/2000
2	4/6/2001
3	19/2/2002
4	6/10/2002
5	24/7/2003
6	9/4/2004
7	25/12/2004
8	11/9/2005

Наблюдаемые моменты прорыва воды, выведенные из Фиг. 4А, даны ниже в Таблице 2. Более того, Таблица 2 перечисляет моменты вторжения воды, вычисленные посредством алгоритма FPS, моменты прорыва воды ( $T^{BT}$ ), вычисленные с использованием способа, предложенного на Фиг. 1 и погрешность, соответствующую результату, полученному посредством способа, предложенного на Фиг. 1.

Таблица 2				
Производитель	Наблюдаемое $T^{BT}$ (дней)	Время вторжения (повторений)	$T^{BT}$ предложенным способом (дней)	Погрешность (дней/%)
P1	263	2272	281,41	18,41/+7%
P2	121	2027	124,63	15,73/+3%
P3	263	2268	239,33	-23,67/-9%
P4	1043	2491	1105,58	62,58/+6%

Результаты показывают, что способ, предложенный на Фиг. 1, способен быстро предсказать момент прорыва флюида с погрешностью менее чем 10% для данной пятиточечной сетки скважин. Достигнутая погрешность может быть разной (больше/меньше), когда распространение флюида применено через область со значительно большей геологической сложностью, и динамическая модель объединяет значительно больше число добывающих скважин.

### ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ

Настоящее изобретение может быть реализовано через исполняемые компьютером последовательности команд, такие как программные модули, обычно называемые программными приложениями или прикладными программами, исполняемыми компьютером. Программное обеспечение может включать в себя, для примера,

подпрограммы, программы, объекты, компоненты, структуры данных и так далее, которые выполняют отдельные задачи или реализуют отдельные абстрактные виды данных. Интерактивная среда DecisionSpace®, которая является коммерческим программным обеспечением, поставляемым Landmark Graphics Corporation, может быть использована как приложение интерфейса для реализации настоящего изобретения. Данное программное обеспечение может также взаимодействовать с другими сегментами кода для запуска различных задач в ответ на данные, принятые в сочетании с источником принятых данных. Программное обеспечение может быть сохранено и/или перенесено на любом виде запоминающих устройств, таких как CD-ROM, накопитель на магнитных дисках, запоминающее устройство на ЦМД и полупроводниковое запоминающее устройство (например, различные виды ПЗУ или ОЗУ). Кроме того, данное программное обеспечение и его результаты могут быть переданы по различным средам передачи, таким как оптоволокно, металлический провод, и/или через любую из множества сетей передачи данных, таких как Интернет.

Более того, специалисты в данной области техники оценят, что данное изобретение может быть применено со множеством конфигураций вычислительных устройств, включая ручные устройства, мультипроцессорные системы, микропроцессорная или программируемая бытовая электроника, мини-ЭВМ, основные ЭВМ, и тому подобное. Любое число вычислительных устройств и компьютерных сетей являются подходящими для использования с настоящим изобретением. Данное изобретение может быть применено в средах распределенных вычислений, где задачи выполняются дистанционно обрабатывающими устройствами, которые объединены через сеть связи. В среде распределенных вычислений программные модули могут быть расположены как на локальных, так и на удаленных запоминающих устройствах ЭВМ, включая накопительные запоминающие устройства. Настоящее изобретение может, таким образом, быть реализовано с использованием различного аппаратного обеспечения, программного обеспечения или их сочетания, в вычислительном устройстве или другой системе обработки.

Со ссылкой на Фиг. 8, функциональная схема иллюстрирует некоторый вариант осуществления системы для реализации настоящего изобретения на компьютере. Система включает в себя вычислительный блок, иногда названный вычислительной системой, который содержит запоминающее устройство, прикладные программы, клиентский интерфейс, видеоинтерфейс, и обрабатывающий модуль. Вычислительный блок является только некоторым примером подходящей вычислительной среды и не предназначен предлагать какие-либо ограничения относительно объема использования или функциональных возможностей данного изобретения.

Запоминающее устройство, в первую очередь, хранит прикладные программы, которые также могут быть описаны как программные модули, содержащие команды, исполняемые компьютером, выполняемые вычислительным блоком для реализации настоящего изобретения, описанного в настоящем документе и показанном на Фиг. 2. Запоминающее устройство таким образом, содержит модуль оценки момента прорыва флюида, который обеспечивает способ, показанный и описанный со ссылкой на Фиг. 1, и объединяет функциональные возможности из оставшихся прикладных программ, показанных на Фиг. 8. Модуль оценки момента прорыва флюида, к примеру, может

быть использован для исполнения многих из функций, описанных со ссылкой на способ 100 на Фиг. 1. Интерактивная среда Decision Space® может быть использована, к примеру, в качестве интерфейсного приложения для реализации модуля оценки момента прорыва флюида и использовать результаты способа 100 на Фиг. 1.

5 Хотя вычислительный блок показан как имеющий обобщенное запоминающее устройство, вычислительный блок обычно включает в себя различные машиночитаемые носители. В качестве примера, а не ограничения, машиночитаемый носитель может содержать запоминающее устройство ЭВМ. Запоминающее устройство ЭВМ может включать в себя запоминающее устройство ЭВМ в виде энергозависимого и/или  
10 энергонезависимого запоминающего устройства, такого как постоянное запоминающее устройство (ПЗУ) и оперативное запоминающее устройство (ОЗУ). Базовая система ввода/вывода (BIOS), содержащая базовые подпрограммы, которые помогают передавать информацию между элементами в вычислительном блоке, например, во время запуска, обычно содержится в ПЗУ. ОЗУ обычно содержит данные и/или  
15 программные модули, которые немедленно доступны и/или в настоящий момент обрабатываются обрабатывающим модулем. В качестве примера, а не ограничения, вычислительный блок включает в операционную систему прикладные программы, другие программные модули и данные программ.

Компоненты, показанные в запоминающем устройстве, могут также быть включены  
20 в другую съемную/несъемную энергозависимую/энергонезависимую среду компьютерного хранения или они могут быть реализованы в вычислительном блоке через прикладной программный интерфейс ("API") или облачные вычисления, которые могут располагаться на отдельном вычислительном блоке, подключенном к вычислительному блоку через вычислительное устройство или сеть передачи данных.  
25 Только для примера, накопитель на жестком диске может читать с или записывать на несъемный энергонезависимый магнитный носитель, накопитель на магнитных дисках может читать с или записывать на съемный, энергонезависимый магнитный диск, а накопитель на оптических дисках может читать с или записывать на съемный, энергонезависимый оптический диск, такой как CD-ROM или другой оптический  
30 носитель. Другие съемные/несъемные, энергозависимые/энергонезависимые среды компьютерного хранения, которые могут быть использованы в примерной операционной среде, могут включать в себя, но не ограничиваться этим, кассеты с магнитной лентой, карты флэш-памяти, универсальные цифровые диски, цифровые видеоленты, твердотельные ОЗУ, твердотельные ПЗУ и так далее. Устройства и сопутствующие им  
35 среды компьютерного хранения, рассмотренные выше, обеспечивают хранение машиночитаемых команд, структур данных, программных модулей и других данных для вычислительного блока.

Пользователь может вводить команды и информацию в вычислительный блок через пользовательский интерфейс, который может быть устройствами ввода, такими как  
40 клавиатура и позиционирующее устройство, обычно называемый "мышь", шаровой указатель или сенсорная панель. Устройства ввода могут включать в себя микрофон, рычажный указатель, антенну спутниковой связи, сканер и тому подобное. Эти и другие устройства ввода часто подключают к обрабатывающему модулю через системную шину, но они могут быть подключены через другой интерфейс и шинные структуры,  
45 такие как порт параллельного ввода-вывода или универсальная последовательная шина (USB).

Монитор или другой вид устройства отображения может быть подключен к системной шине через интерфейс, такой как видеоинтерфейс. Графический интерфейс пользователя

("GUI") может также быть использован с видеоинтерфейсом для приема команд от пользовательского интерфейса и передачи команд в обрабатывающий модуль.

Дополнительно к монитору, компьютеры могут также включать в себя другие периферийные устройства вывода, такие как акустическая система и печатающее устройство, которые могут быть подключены через интерфейс выходных периферийных устройств.

Несмотря на то, что многие другие внутренние компоненты вычислительного блока не показаны, специалисты в данной области техники признают, что подобные компоненты и их схема соединений являются хорошо известными.

Хотя настоящее изобретение было описано применительно к настоящим предпочтительным вариантам осуществления, специалисты в данной области техники поймут, что это не предназначено для ограничения данного изобретения этими вариантами осуществления. Из этого следует, что предполагается, что различные альтернативные варианты осуществления и модификации могут быть сделаны к раскрытым вариантам осуществления, не покидая сущность и объем данного изобретения, определенные прилагаемой формулой изобретения и ее эквивалентами.

### Формула изобретения

1. Способ оценки момента прорыва флюида в добывающей скважине на основании данных моделирования распространения флюида, содержащий:

идентификацию данных отслеживания линии тока;

вычисление среднего времени пробега линии тока в каждой ячейке сети на основании данных отслеживания линии тока;

идентификацию кратчайшей или быстреей линии тока для добывающей скважины, используя среднее время пробега линии тока в каждой ячейке сети;

вычисление среднего времени пролета для кратчайшей или быстреей линии тока через каждую пересекаемую ячейку сети, используя процессор вычислительной машины; и

оценку момента прорыва флюида в добывающей скважине, используя данные моделирования распространения флюида и среднее время пролета для кратчайшей или быстреей линии тока.

2. Способ по п. 1, в котором данные моделирования распространения флюида содержат момент вторжения флюида, представленный числом повторений моделирования, необходимых для достижения флюидом добывающей скважины от нагнетательной скважины через одну или более ячеек сети, представляющих собой модель свойств пласта.

3. Способ по п. 1, в котором данные отслеживания линии тока содержат число сегментов линии тока, пересекающих каждую ячейку сети, время пробега для каждого сегмента линии тока в каждой ячейке сети, индексы для каждой ячейки сети и общее число ячеек сети, пересекаемых всеми линиями тока, соединяющими нагнетательную скважину с добывающей скважиной.

4. Способ по п. 3, в котором среднее время пробега линии тока в каждой ячейке сети вычисляют по формуле

$$\bar{\tau} = \frac{1}{N_{SLN}} \sum_{n=1}^{N_{SLN}} \tau \left( \psi_{m,n}^{i,j,k} \right), \quad (2)$$

где  $N_{SLN}$  является числом сегментов линий тока, пересекающих каждую ячейку сети,

а  $\partial\tau\left(\psi_{m,n}^{i,j,k}\right)$  является временем пробега для каждого сегмента линий тока в каждой ячейке сети.

5 5. Способ по п. 1, в котором кратчайшая или быстреешая линия тока для добывающей скважины представляет собой линию тока с наименьшей суммой средних времен пробега линии тока в ячейках сети, пересекаемых линией тока между нагнетательной скважиной и добывающей скважиной.

10 6. Способ по п. 5, в котором среднее время пролета для кратчайшей или быстреешей линии тока вычисляют по каждой пересекаемой ячейке сети, используя наименьшую сумму средних времен пробега линии тока для кратчайшей или быстреешей линии тока и общее число ячеек сети, пересекаемых кратчайшей или быстреешей линией тока.

7. Способ по п. 6, в котором среднее время пролета для кратчайшей или быстреешей линии тока вычисляют по формуле

$$15 \quad \langle TOF \rangle^{\min} = \frac{1}{N_{GC}^{\min}} \sum_{u=1}^{N_{GC}^{\min}} \partial\tau_u^{\min},$$

где  $N_{GC}^{\min}$  представляет собой общее число всех ячеек сети, пересекаемых кратчайшей или быстреешей линией тока,  $\partial\tau_u^{\min}$  представляет собой наименьшую сумму средних  
20 времен пробега для кратчайшей или быстреешей линии тока, а  $u$  представляет собой число пробегов по всем индексам ячеек сети, пересекаемых кратчайшей или быстреешей линией тока.

8. Способ по п. 2, в котором момент прорыва флюида в добывающей скважине оценивают по формуле

$$25 \quad T^{BT} = \langle TOF \rangle^{\min} \cdot \frac{t_{INV}^{i,j,k}}{N_p} \cdot \frac{N_{SLN}^m}{N_{xyz}},$$

где  $N_{xyz}$  и  $N_p$  представляют собой общий размер модели свойств пласта и общее  
30 число добывающих скважин соответственно,  $\langle TOF \rangle^{\min}$  представляет собой среднее время пролета для кратчайшей или быстреешей линии тока,  $N_{SLN}^m$  представляют собой общее число ячеек сети, пересекаемых всеми линиями тока, соединяющими нагнетательную скважину с добывающей скважиной, а  $t_{INV}^{i,j,k}$  представляют собой время  
35 вторжения флюида.

9. Способ по п. 1, дополнительно содержащий повторение этапов по п. 1 для каждой добывающей скважины.

10. Способ по п. 1, в котором модель свойств пласта является моделью проницаемости.

40 11. Устройство постоянного хранения, материально несущее исполняемые компьютером команды для оценки момента прорыва флюида в добывающей скважине на основании данных моделирования распространения флюида, команды исполняют для реализации:

идентификации данных отслеживания линии тока;

45 вычисления среднего времени пробега линии тока в каждой ячейке сети на основании данных отслеживания линии тока;

идентификации кратчайшей или быстреешей линии тока для добывающей скважины, используя среднее время пробега линии тока в каждой ячейке сети;

вычисления среднего времени пролета для кратчайшей или быстреей линии тока через каждую пересекаемую ячейку сети; и

оценки момента прорыва флюида в добывающей скважине, используя данные моделирования распространения флюида и среднее время пролета для кратчайшей или быстреей линии тока.

12. Устройство носителя программы по п. 11, в котором данные моделирования распространения флюида содержат момент вторжения флюида, представленный числом повторений моделирования, необходимых для достижения флюидом добывающей скважины от нагнетательной скважины через одну или более ячеек сети, представляющих собой модель свойств пласта.

13. Устройство носителя программы по п. 11, в котором данные отслеживания линии тока содержат число сегментов линии тока, пересекающих каждую ячейку сети, время пробега для каждого сегмента линии тока в каждой ячейке сети, индексы для каждой ячейки сети и общее число ячеек сети, пересекаемых всеми линиями тока, соединяющими нагнетательную скважину с добывающей скважиной.

14. Устройство носителя программы по п. 13, в котором среднее время пробега линии тока в каждой ячейке сети вычисляют по формуле

$$\partial \bar{\tau} = \frac{1}{N_{SLN}} \sum_{n=1}^{N_{SLN}} \partial \tau \left( \psi_{m,n}^{i,j,k} \right), \quad (2)$$

где  $N_{SLN}$  является числом сегментов линий тока, пересекающих каждую ячейку сети,

а  $\partial \tau \left( \psi_{m,n}^{i,j,k} \right)$  является временем пробега для каждого сегмента линий тока в каждой ячейке сети.

15. Устройство носителя программы по п. 11, в котором кратчайшая или быстреей линия тока для добывающей скважины представляет собой линию тока с наименьшей суммой средних времен пробега линии тока в ячейках сети, пересекаемых линией тока между нагнетательной скважиной и добывающей скважиной.

16. Устройство носителя программы по п. 15, в котором среднее время пролета для кратчайшей или быстреей линии тока вычисляют по каждой пересекаемой ячейке сети, используя наименьшую сумму средних времен пробега линии тока для кратчайшей или быстреей линии тока и общее число ячеек сети, пересекаемых кратчайшей или быстреей линией тока.

17. Устройство носителя программы по п. 16, в котором среднее время пролета для кратчайшей или быстреей линии тока вычисляют по формуле

$$\langle TOF \rangle^{\min} = \frac{1}{N_{GC}^{\min}} \sum_{u=1}^{N_{GC}^{\min}} \partial \tau_u^{\min},$$

где  $N_{GC}^{\min}$  представляет собой общее число всех ячеек сети, пересекаемых кратчайшей или быстреей линией тока,  $\partial \tau_u^{\min}$  представляет собой наименьшую сумму средних времен пробега для кратчайшей или быстреей линии тока, а  $u$  представляет собой число пробега по всем индексам ячеек сети, пересекаемых кратчайшей или быстреей линией тока.

18. Устройство носителя программы по п. 12, в котором момент прорыва флюида в добывающей скважине оценивают по формуле

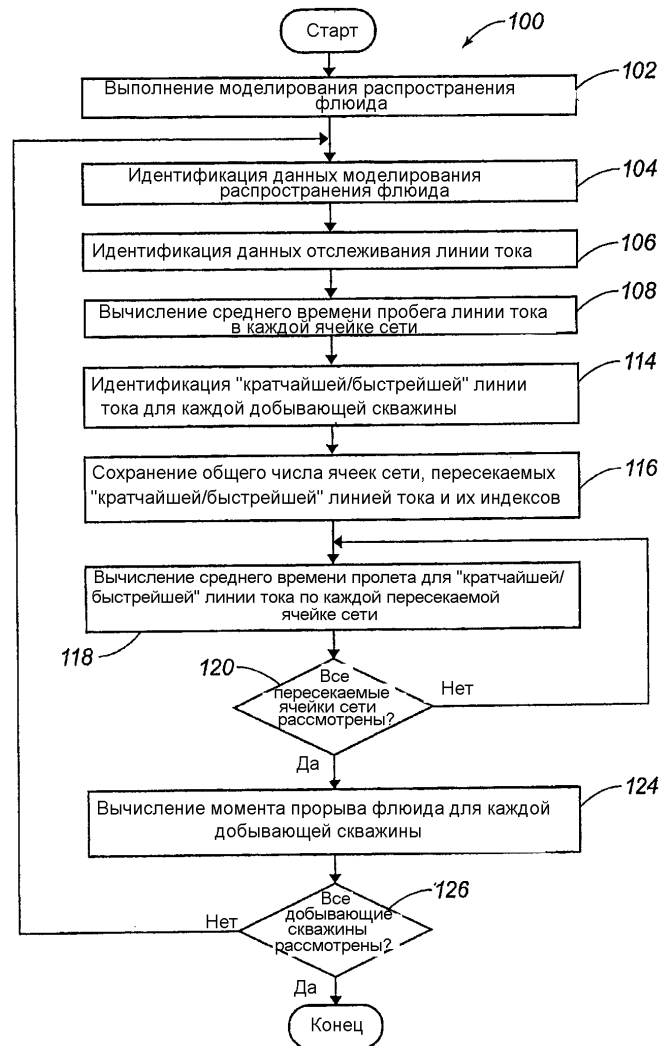
$$T^{BT} = \langle TOF \rangle^{\min} \cdot \frac{t_{INV}^{i,j,k}}{N_p} \cdot \frac{N_{SLN}^m}{N_{xyz}},$$

где  $N_{xyz}$  и  $N_p$  представляют собой общий размер модели свойств пласта и общее  
 5 число добывающих скважин соответственно,  $\langle TOF \rangle^{\min}$  представляет собой среднее  
 время пролета для кратчайшей или быстреей линии тока,  $N_{SLN}^m$  представляют собой  
 общее число ячеек сети, пересекаемых всеми линиями тока, соединяющими  
 10 нагнетательную скважину с добывающей скважиной, а  $t_{INV}^{i,j,k}$  представляют собой время  
 вторжения флюида.

19. Устройство носителя программы по п. 11, дополнительно содержащее повторение  
 этапов по п. 1 для каждой добывающей скважины.

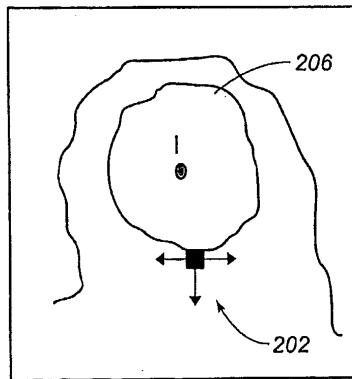
20. Устройство носителя программы по п. 11, в котором модель свойств пласта  
 15 является моделью проницаемости.



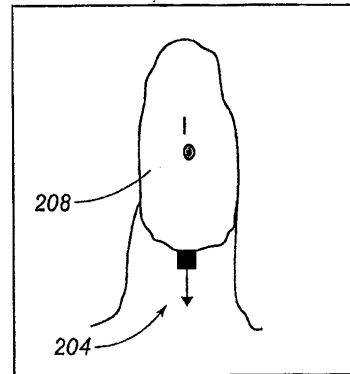


ФИГ.1

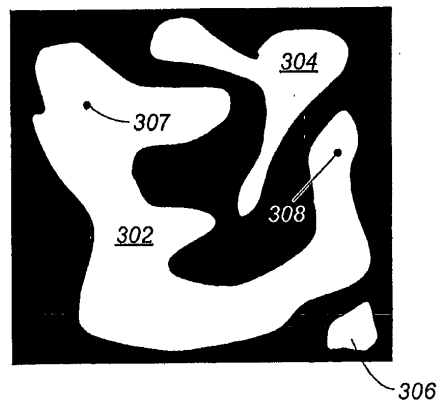
2/5



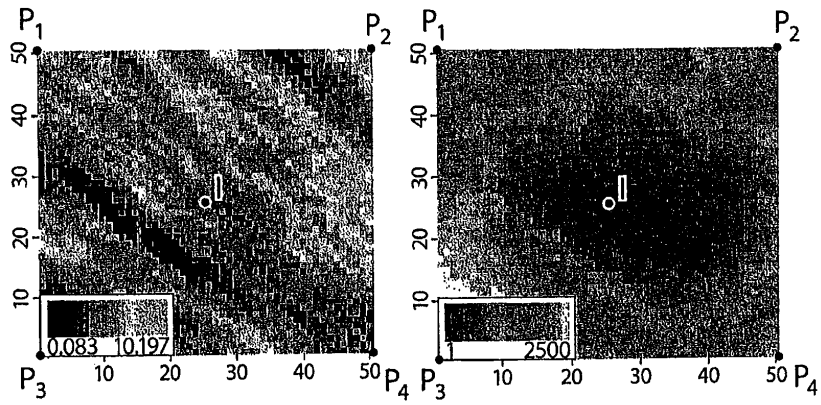
ФИГ.2А



ФИГ.2В

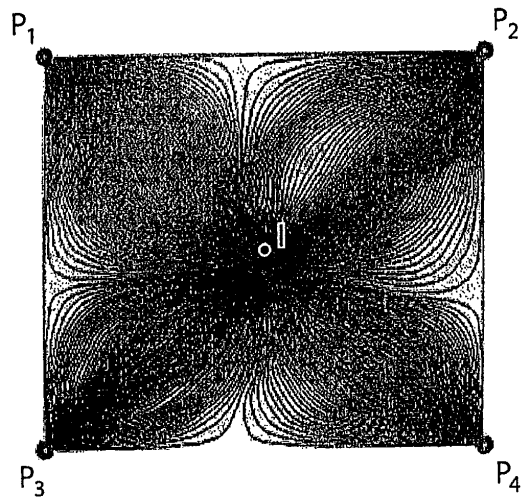


ФИГ.3



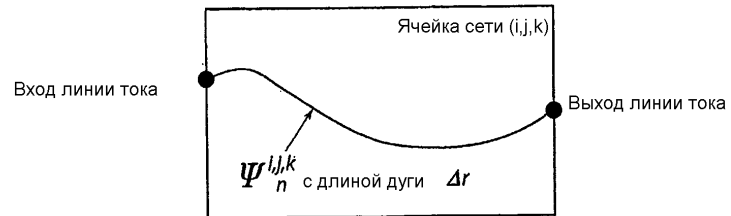
ФИГ.4А

ФИГ.4В

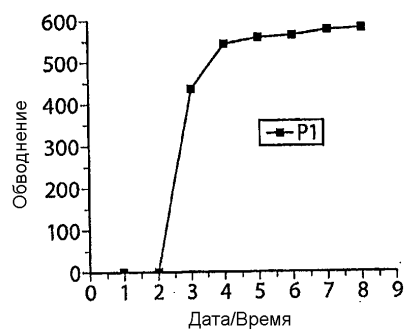


ФИГ.5

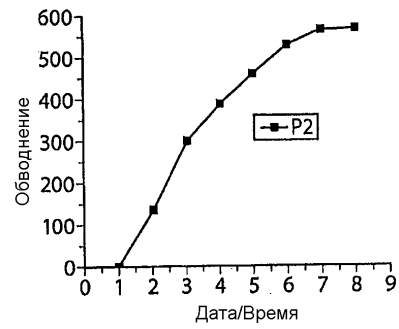
4/5



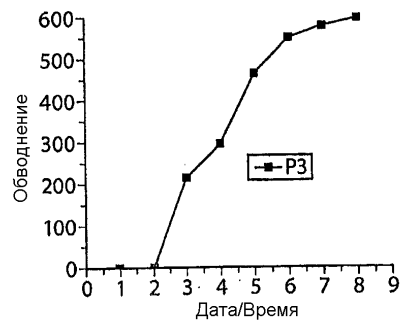
ФИГ.6



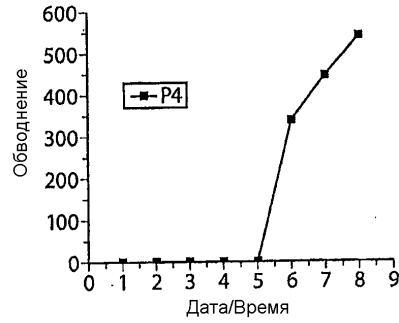
ФИГ.7А



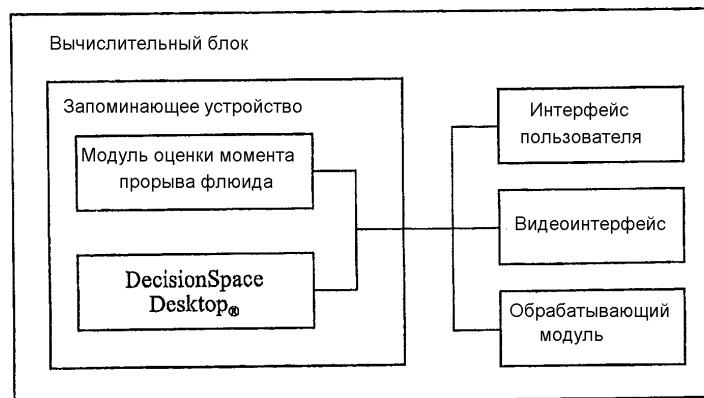
ФИГ.7В



ФИГ.7С



ФИГ.7D



ФИГ.8