DOI: 10.17122/ntj-oil-2019-4-19-28

УДК 532.5:553.98:622.676

С.А. Баталов, В.Е. Андреев (Государственное автономное научное учреждение «Институт стратегических исследований Республики Башкортостан», г. Уфа, Российская Федерация), **В.М. Лобанков** (Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Российская федерация), **Г.С. Дубинский, Р.Р. Хузин** (Государственное автономное научное учреждение «Институт стратегических исследований Республики Башкортостан», г. Уфа, Российская Федерация)

ЭКСТРЕМАЛЬНОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКОЙ НЕФТЕИЗВЛЕЧЕНИЯ ПО ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИМ ДАНЫМ. ЧАСТЬ 2. СИНТЕЗ ПОДСИСТЕМЫ ОПТИМИЗАЦИИ НЕФТЕВЫТЕСНЕНИЯ

Sergey A. Batalov, Vadim E. Andreev (Institute of Strategic Researches of Bashkortostan Republic, State Autonomous Scientific Department, Ufa, Russian Federation), **Valeriy M. Lobankov** (Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian Federation), **Gennadiy S. Dybinskiy, Rinat R. Khuzin** (Institute of Strategic Researches of Bashkortostan Republic, State Autonomous Scientific Department, Ufa, Russian Federation)

EXTREME REGULATION OF OIL TREATMENT DYNAMICS UNDER GEO-GEOPHYSICAL DATA. PART 2. SYNTHESIS OF AN OPTIMIZATION SUBSYSTEM OF THE OIL EXPRESSION

Введение

В статье рассматривается метод наиболее полной выработки продуктивных залежей на основе избирательного режима нефтевытеснения в продолжение работы [1].

Background

The article discusses the method of the most complete development of productive deposits based on the selective regime of oil displacement in the continuation of work [1].

Цели и задачи

Повышение нефтеотдачи пласта при уточнении функционала оптимизации и коэффициента нефтевытеснения в подсистеме с параметрической инвариантностью по отношению к влияющим факторам.

Результаты

Синтез подсистемы оптимизации осуществляется на основе проектирования процессов слежения и стабилизации при согласовании найденного функционала оптимизации с предварительно определенным коэффициентом усиления нефтевытеснения в нормальных условиях функционирования. Повышение устойчивости подсистемы достигается за счет синтеза в параметрической инвариантности по отношению к непредсказуемым комплексам влияющих факторов со стороны эксплуатационных объектов залежи, а также погрешностей геологического прогнозирования и геофизических средств измерений.

Aims and Objectives

Enhance oil recovery while refining the optimization functional and oil displacement coefficient in a subsystem with parametric invariance with respect to influencing factors.

Results

The optimization subsystem is synthesized in the design of tracking and stabilization processes when matching the found optimization functional with a predetermined oil displacement gain factor under normal operating conditions. An increase in the stability of the subsystem is achieved by synthesizing in parametric invariance with respect to unpredictable complexes of influencing factors from the side of operational deposits, as well as errors in geological forecasting and geophysical measurement tools.

Ключевые слова: подсистема оптимизации нефтевытеснения; геолого-геофизические исследования; скважина; дебиты; погрешности измерений

Key words: oil displacement optimization subsystem; geological and geophysical studies; well; flow rates; measurement errors

Введение

Данная работа - завершающая по результатам совмещения процессов оптимизации нефтевытеснения и экстремального регулирования при исследованиях и перенаправлении непродуктивных траекторий каналов выработки пластов (КВП) [1].

В отведенных подциклах нефтеизвлечения реализуется фильтрация флюидов в продуктивном пласте [2] с определенными диапазонами давлений поддержания пласта, учитывая вторичные и третичные методы воздействия на него [3]. При этом для установки дожимной автоматики системы поддержания пластовых давлений (СППД) используются параметры переключаемых поддиапазонов закачиваемых дебитов рабочих

агентов (воды), что слабо отвечает условиям полной выработки пласта.

С точки зрения современной теории управления [4], наиболее актуальным в использовании является алгоритм пропорционально-интегрального управления закачиваемых дебитов воды [5, 6]. При этом задача оптимизации нефтевытеснения сводится к условиям синтеза алгоритма управления СППД в пространстве состояний.

Решение задач устойчивости процесса нефтевытеснения требует определения условий достижения параметрической инвариантности подсистемы оптимизации нефтевытеснения (ПСОН) по отношению к непредсказуемым комплексам влияющих факторов.

Допустимые погрешности закачиваемых дебитов воды в КВП можно определить

на основе метрологических исследований используемой геофизической аппаратуры [7]. Найденные решения задач интеграции подсистемы экстремального регулирования (ПСЭР) с ПСОН [8] способствуют физической реализации метатехнологии добычи углеводородов [9].

Исходя из выделенных задач исследования, целями работы являются определение функционала оптимизации в условиях уточнения структуры ПСОН и достижение параметрической инвариантности по отношению к комплексам влияющих факторов. Решения указанных задач и выполнение цели исследований основаны на методах нефтепромысловой геологии, геофизики, метрологии и управления.

Определение структуры ПСОН в модели пространства состояний

В исходном представлении ПСОН можно рассматривать в различных классах систем геолого-технологических комплексов (ГТК):

- 1) системах с постоянной настройкой (без адаптации);
- 2) адаптивных системах, позволяющих автоматически определять необходимую информацию о текущем управляемом процессе и в нужном направлении изменять структуру и параметры системы.

Оптимизационные методы применяются при выражении главной цели в виде минимизируемого функционала или целевой функции.

Функционалы и целевая функции, выражающие цель управления и ограничений на используемые величины параметров, определяются как критерии оптимизации.

Автоматическую систему дожимного насосного оборудования, которая обеспечивает оптимальные показатели качества работы при заданных условиях (критериях оптимизации), можно определить как оптимальную ПСОН.

При совмещении такой подсистемы с ПСЭР необходимо сначала задать описание ее исходных требований в виде показателей качества системы, например допустимых

значений статической, динамической и средней квадратической ошибок ПСОН. Это выполняется на основе известных значений характеристик управляющих и возмущающих воздействий.

Синтез оптимальных систем сводится к решению двух основных типов задач.

В *задачах первого типа* предполагают, что структурная схема системы известна, и необходимо лишь найти оптимальные значения ее параметров, обеспечивающих экстремальное значение выбранного критерия оптимальности. Они выполняются в методиках выбора оптимальных регулируемых параметров из условия минимума интегральных оценок при заданном начальном состоянии системы, минимума суммарной среднеквадратической ошибки при случайных воздействиях.

В *задачах второго типа* система неизвестна, и необходимо определить ее структурную схему и значения параметров, обеспечивающих экстремум принятого критерия оптимальности.

В этих задачах синтеза ПСОН характеристики воздействий и параметров объектов управлений (ОУ) известны и не изменяются в процессе работы или их изменения являются допустимыми.

Исходя из этого, можно ограничиться найденными расчетными значениями параметров. В данном случае статические и динамические характеристики систем и их внешние воздействия при работе изменяются в больших пределах непредвиденным образом.

В детерминированном подходе, когда в уравнениях объекта пренебрегают внешними возмущениями, наиболее быстрое затухание вектора состояния (пластового давления) обеспечивает матрица передачи наблюдающего устройства в виде

$$K(t) = M_n^{-1}(t, t_0) C^T(t). \quad (1)$$

Если объект не обладает свойством полной наблюдаемости, то в выражении (1) вместо истинной обратной матрицы M_n^{-1} можно использовать псевдообратную матрицу (в смысле Пенроуза).

В случае стохастического объекта оценка состояния $\tilde{x}(t)$ может быть получена в результате решения задачи фильтрации, например, на основе применения процедуры Бьюиса-Калмана, чем можно пренебречь для процесса нефтевытеснения.

Математические методы, получившие развитие в теории линейной оптимальной фильтрации, применяются и в решении оптимизационных задач благодаря сформулированному Калманом принципу двойственности. Для двойственной системы из анализа исходной задачи получается решение при следующих выполняемых операциях: обращения времени; перестановок входной и выходной матриц; транспонирования матриц A , B и C .

Например, исходную систему в пространстве состояний можно определить как двойственную по уравнениям

$$\dot{x}_D(t) = A^T x_D(t) + C^T u_D(t); \quad (2, а)$$

$$y_D(t) = C x_D(t), \quad (2, б)$$

где $x_D(t)$, $u_D(t)$, $y_D(t)$ - векторы состояния, входные и выходные переменные двойственной системы.

В зависимости от применяемого вида критерии оптимальности системы с постоянной настройкой классифицируются следующим образом:

1) системы оптимальные по быстродействию, где критерием оптимальности является минимум длительности переходного процесса;

2) системы оптимальные по точности, в которых критерий оптимальности - минимум ошибки или минимум какой-то функции от ошибки.

В общем виде синтез оптимальных систем начинается с выбора критерия оптимальности, общей формой которого является квадратичный функционал.

На основе этого были определены последовательности решения задач синтеза систем стабилизации и слежения без учета влияющих факторов [6].

Но для реализации сложных технологий нефтеизвлечения [7] необходимо учитывать непредсказуемые изменения геолого-

геофизических параметров пластов [2, 8]. Поэтому необходимо проведение комплексного метода структурного и параметрического синтеза ПСОН.

Синтез ПСОН как обобщенного настраиваемого объекта

В связи с тем, что основной задачей ПСОН является стабилизация и слежение за глубинными скважинными дебитами нагнетаемых рабочих агентов (воды), то ее структуру для формализации удобно представить беспоисковой адаптивной системой регулирования.

На рисунке 1 представлена обобщенная структурная схема ПСОН в виде обобщенного настраиваемого объекта [4].

В приведенной схеме используются следующие обозначения:

УГП - управляющий гидравлический привод, обеспечивающий отображение входного сигнала $Q_n(t)$ для номинальной входной величины дебита рабочего агента в Установку нагнетательную объемную регулируемую (УНОР);

УНУ - управляемая насосная установка в виде объекта управления (ОУ);

ИУС - информационно-управляющая система в совокупности датчиков давления, расхода и температуры, а также управляющего контроллера;

МЭЗ - модель эталонных значений;

ВМЗ и ВТЗ - вычислители модельных (Q_m) и текущих (Q_m) значений дебитов;

БНК - блок настройки коэффициентов.

При этом изменения управляемого сигнала $u(t)$ можно обеспечить за счет непрерывного регулирования задаваемых значений дебитов УНУ с целью их стабилизации на выходах УНОР, устья скважины и скважинных интервалах перфораций (приемистостей) в виде $y(t)$. К непосредственно измеряемым физическим величинам в ИУС относятся перепад давлений на УНОР и расход рабочего давления (воды) в функциях дебитов, как на выходе установки, так и на устьевом трубопроводе и в глубинном интервале приемистости водонагнетательной скважины.

Рисунок 1. Обобщенная структурная схема ПСОН

При закачивании под номинальным значением давления эксплуатации пласта порций трассирующих меток (например очищенной и сырой нефти) требуется дополнительное введение в ИУС датчиков влажности, а также аппаратуры радиоактивного контроля (например при закачке радиоизотопов) и др.

Аналогично могут быть измерены дебиты как входные и выходные переменные дополнительных функций температуры закачиваемого рабочего агента (воды) и порций трассирующих меток.

Помимо вышеуказанной УНУ, а также датчиков ИУС, совокупность остальных блоков можно причислить к регулятору ОУ.

При этом *основное предназначение МЭЗ* заключается в следующем.

Пусть для продуктивного пласта на стадии опытно-промышленной эксплуатации при плоскорадиальной фильтрации флюидов в его вскрывающих скважинах найдены на основе технологий базовых гидродинамических исследований (КВД, КПД и др.) следующие параметры.

Для упругого функционирования выделяются следующие величины поддержания пластовых давлений:

$$P_{\text{экс.н}} \approx 18,0 \text{ МПа}$$

$$(\text{при } Q_{\text{экс.н}} \approx 20 \text{ м}^3/\text{сут});$$

$$P_{\text{экс.мин}} \approx 16,0 \text{ МПа}$$

$$(\text{при } Q_{\text{экс.мин}} \approx 18 \text{ м}^3/\text{сут});$$

$$P_{\text{экс.мах}} \approx 22,0 \text{ МПа}$$

$$(\text{при } Q_{\text{экс.мах}} \approx 24 \text{ м}^3/\text{сут}).$$

Таким образом, на ранней стадии разработки пласта с трубопроводной нитки батареи кустовой насосной станции подается постоянно на входной трубопровод УНУ (условно не указанный на чертеже) дебит закачиваемой воды (при $Q_{\text{экс.мах}} = 25 \text{ м}^3/\text{сут}$).

Величина такого модельного дебита достаточна в реализации оптимального управления процессом нефтевытеснения под номинальным давлением эксплуатации и предварительных исследований ($P_{\text{экс.н}}$) [10], реализуемых в разделяемых движениях [4].

На промежуточной стадии разработки пласта с трубопроводной нитки батареи кустовой насосной станции также подается постоянно на входной трубопровод УНУ дебит закачиваемой воды при $Q_{\text{экс. max}} = 25 \text{ м}^3/\text{сут}$.

Разница заключается лишь в том, что к ПСОН подключается ПСЭР для реализации предварительных гидроимпульсных исследований в экстремальном упругом режиме работы продуктивного пласта.

На поздней стадии разработки пласта с трубопроводной нитки батареи кустовой насосной станции подается постоянно на входной трубопровод УНУ дебит закачиваемой воды при $Q_{\text{экс. max}} = 500 \text{ м}^3/\text{сут}$ для одновременной реализации оптимизационного режима ПСОН и уточненных гидроимпульсных исследований в ПСЭР.

На поздних этапах поздней и завершающей стадий разработки пласта с трубопроводной нитки батареи кустовой насосной станции подается постоянно на входной трубопровод УНУ дебит закачиваемой воды при $Q_{\text{экс. max}} \approx 1000 \text{ м}^3/\text{сут} < Q_{\text{гидроразр.}}$ для одновременной реализации оптимизационного режима ПСОН, а также доопределяемых гидроимпульсных исследований непродуктивных участков пласта и его тампонирувания в ПСЭР с целью перенаправления фильтрующихся потоков [9].

Однако наличие большого количества влияющих факторов на процессы слежения и стабилизации при оптимизации управления дебитами вызывают необходимость использования математического аппарата теории инвариантности в процессе синтеза ПСОН.

Исходя из перечисленных условий, усугубляется необходимость синтеза ПСОН на основе параметрической формы инвариантности по отношению к комплексам влияющих факторов.

Синтез ПСОН в параметрической инвариантности

Совокупность перечисленных блоков ПСОН позволяет рассматривать ее структуру как обобщенный настраиваемый объект (ОНО).

Пусть нестационарный объект совместно с исполнительными механизмами описывается уравнением состояния:

$$\dot{x} = A(t)x + D(t)\eta + C(t)f, \quad (3)$$

где $x=[x_1...x_n]^T$, $\eta=[\eta_1...\eta_m]^T$, $f=[f_1...f_n]^T$ - векторы состояния, входных координат исполнительных механизмов и неинформативных возмущающих воздействий (факторов) соответственно;

$A(t)$, $D(t)$, $C(t)$ - матрицы с переменными коэффициентами при размерности $n \times n$, $n \times m$, $n \times r$ соответственно.

Исходя из этого, требуется синтезировать ОНО из условия (3) в стационарном виде:

$$\dot{x} = A^0x + B^0u, \quad (4)$$

где $u=[u_1...u_n]^T$ - вектор управления;

A^0 , B^0 - матрицы стационарного вида с размерностями $n \times n$ и $n \times m$, $n \times r$, коэффициенты которых соответствуют номинальным параметрам (дебитов) ОУ или выбираются на этапе синтеза управления u .

Исходя из этого, можно представить матрицы $A(t)$, $D(t)$, $C(t)$ в следующем виде:

$$\begin{aligned} A(t) &= A^0 + \Delta A(t), \quad C(t) = \Delta C(t), \\ D(t) &= D^0 + \Delta D(t), \end{aligned} \quad (5)$$

где A^0 , B^0 - постоянные матрицы, коэффициенты которых соответствуют номинальному режиму работы объекта;

$\Delta A(t)$, $\Delta D(t)$, $\Delta C(t)$ рассматриваются как матрицы управления u .

Для решения поставленной задачи предполагается, что матрица $(E + D^{0+} \Delta N)$ является неособенной (где E - единичная матрица), и тогда уравнение для корректирующих контуров ОНО можно выбрать в виде

$$\eta = D^{0+} (D_1^0 u - \Delta Kx - \Delta N\eta - \Delta Rf), \quad (6)$$

где D^{0+} - псевдообратная матрица размерами $m \times n$ для D^0 ;

D_1^0 - постоянная матрица размерами $n \times m$, коэффициенты которой подлежат выбору;

ΔK , ΔN и ΔR - матрицы перестраиваемых коэффициентов с размерностями $n \times n$ и $n \times m$, $n \times r$ соответственно.

Выполняемые условия параметрической инвариантности и инвариантности системы относительно влияющих факторов f реализуются по выражениям (3) и (6). Поэтому ПСОН можно описать уравнением (4), и тогда получаются соотношения

$$\begin{aligned} D^0 D^{0+} + \Delta K &\equiv \Delta A(t), \quad D^0 D^{0+} + \Delta N \equiv D(t), \\ D^0 D^{0+} + \Delta R &\equiv \Delta C(t), \quad D^0 D^{0+} + D_1^0 \equiv B^0. \end{aligned} \quad (7)$$

Исходя из этого, уравнения (4) и (5) определяют структуру корректирующих контуров ОНО, а задачей адаптации является перестройка коэффициентов ΔK , ΔN , ΔR для обеспечения требуемой точности по выражениям (5).

Если D^0 имеет ранг $rD = n$, то в качестве D^{0+} можно выбрать $D^{0+} = D^{0T} (D^0 D^{0T})^{-1}$, где $D^0 D^{0T}$ - неособенная матрица (имеющая обратную матрицу).

Исходя из этого $D^0 D^{0+} = E$, и тогда соотношения (5) принимают следующий вид:

$$\begin{aligned} \Delta K &\equiv \Delta A(t), \quad \Delta N \equiv \Delta D(t), \\ \Delta R &\equiv \Delta C(t), \quad D_1^0 \equiv B^0. \end{aligned} \quad (8)$$

Таким образом, получение желаемых динамических свойств ПСОН требует большого объема априорной и текущей информации.

Кроме того, полная компенсация координатных возмущений при эксплуатации УНОР [1] требует высокого быстродействия и больших мощностей.

Тогда $C(t) = C^0 + \Delta C(t)$, где C^0 определяется допустимой мерой воздействия воз-

мущений $f(t)$ на выход системы, а $\Delta C(t)$ компенсируется средствами параметрической настройки.

Обсуждение результатов

Представленное направление придания ПСОН желаемых динамических свойств требует большого объема априорной и текущей информации. В этом случае необходимо знание формы (порядка) уравнений. Для компенсации параметрических возмущений, казалось бы, требуется многопараметрическая идентификация. Но в данном направлении имеются алгоритмы настройки на основе задания функции Ляпунова, при которых идентификация совмещается с настройкой. Эти алгоритмы позволяют устранить выявленный недостаток при аналогичном применении к идентификации с адаптивной моделью. Они могут использоваться в качестве проверочных применительно к представленному методу синтеза в параметрической форме инвариантности.

Выводы

1. Для рассматриваемой ПСОН с оценочными расчетами в качестве критерия оптимизации используется квадратичная форма функционала качества. Тогда для решения оптимизационной задачи стабилизации закачиваемых в пласт дебитов воды можно использовать принцип максимума Понтрягина.

2. Для данной постановки определение режима слежения ПСОН в пространстве состояний задается решением матричного уравнения Риккати [4]. Это обеспечивает определение ориентировочной оценки коэффициентов усиления нефтевытеснением ПСОН без учета влияющих факторов.

3. Реальные параметры настройки ПСОН можно определить только в условиях параметрической инвариантности по отношению к непредсказуемым комплексам влияющих факторов.

4. Разработанный метод интеграции ПСОН и ПСЭР обеспечивает наиболее полную физическую реализуемость метатехнологии добычи нефти как в индивидуальном

объеме эксплуатационного объекта, так и по площади всей залежи при максимизации коэффициента нефтеизвлечения.

Описание ПСОН в пространстве состояний обеспечивает выполнение методов расчета принципов системной организации (управляемости, наблюдаемости и др.) и фундаментальных свойств (устойчивости и

качества) СППД непосредственно в программной среде MatLab [4].

Существенно, что разработанный метод интеграции систем экстремального регулирования динамикой процессами нефтеизвлечения можно использовать в различных областях управления технологическими процессами и экспериментальной физики.

Список литературы

1. Баталов С.А., Андреев В.Е., Лобанков В.М., Дубинский Г.С., Хузин Р.Р. Экстремальное регулирование процессом нефтеизвлечения по геолого-геофизическим данным. Часть 1. Синтез подсистемы экстремального регулирования // Проблемы сбора, подготовки, транспорта нефти и нефтепродуктов. 2019. Вып. 4 (120). С. 9-18.
2. Barenblatt G.I., Entov V.M., Ruzhik V.M. *Theory of Fluid Flows through Natural Rocks*. London: Kluwer Academic Publishers, 1990. 395 p.
3. Андреев А.В., Дубинский Г.С., Мухаметшин В.В. Технологии интенсификации притока из сложно-построенных карбонатных пластов на основе кислотного воздействия. Уфа: УГНТУ, 2016. 182 с.
4. Баталов С.А. Автоматическое управление техническими системами. Уфа: УГАЭС, 2007. 300 с.
5. Barnea D., Taitel Y. Structural and Interfacial Stability of Multiple Solutions for Stratified Flow // *Int. J. Multiphase Flow*. 1992. Vol. 18. No. 6. P. 821-830.
6. Batalov S.A. Modeling of the Initial Adjustment Parameters of Petroleum Recovery Control Systems. Part 1. Degrees of Detail and Formulation of Models of Vectors of Variables with Disturbances // *Chemical and Petroleum Engineering*. 2018. No. 52 (3). P. 231-236. New York. DOI: 10.1007/s10556-016-0180-y. URL: <http://link.springer.com/article/10.1007/s10556-016-0180-y>. (дата обращения: 15.05.2018).
7. Лобанков В.М. Основы метрологии геофизических измерений. Градуировка, калибровка и поверка скважинной геофизической аппаратуры. Уфа: Новый стиль, 2009. 152 с.
8. Баталов С.А., Андреев В.Е., Дубинский Г.С. Особенности разработки метатехнологии сланцевых углеводородов // Практические аспекты нефтепромысловой химии: матер. VII Междунар. науч.-практ. конф. Уфа: Академия наук Республики Башкортостан, 2017. С. 1-3.
9. Пат. 2628343 РФ, МКИ Е 21 В 43/20. Способ выработки пластов с трудноизвлекаемыми запасами углеводородов / С.А. Баталов, В.Е. Андреев, Г.С. Дубинский, Р.Р. Хузин. 2015126116, Заявлено 30.06.2015, Опубл. 16.08.2017. Бюл. 23

References

1. Batalov S.A., Andreev V.E., Lobankov V.M., Dubinskii G.S., Khuzin R.R. Ekstremal'noe regulirovanie protsessom nefteizvlecheniya po geologo-geofizicheskim dannym. Chast' 1. Sintez podsistemy ekstremalnogo regulirovaniya [Extreme Regulation of Oil Treatment Dynamics under Geo-Geophysical Data. Part 1. Synthesis of an Extreme Regulation Subsystem]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefi i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2019, No. 4 (120), pp. 9-18. [in Russian].
2. Barenblatt G.I., Entov V.M., Ruzhik V.M. *Theory of Fluid Flows through Natural Rocks*. London, Kluwer Academic Publishers, 1990. 395 p.
3. Andreev A.V., Dubinskii G.S., Mukhametshin V.V. *Tekhnologii intensifikatsii pritoka iz slozhno-postroennykh karbonatnykh plastov na osnove kislotnogo vozdeistviya* [Acid-Based Technologies for Inflow Stimulation from Structurally Complex Carbonate Formations]. Ufa, USPTU, 2016. 182 p. [in Russian].
4. Batalov S.A. *Avtomaticheskoe upravlenie tekhnicheskimi sistemami* [Automatic Control Technology Systems]. Ufa, UGAES, 2007. 300 p. [in Russian].
5. Barnea D., Taitel Y. Structural and Interfacial Stability of Multiple Solutions for Stratified Flow. *Int. J. Multiphase Flow*, 1992, Vol. 18, No. 6, pp. 821-830.
6. Batalov S.A. Modeling of the Initial Adjustment Parameters of Petroleum Recovery Control Systems. Part 1. Degrees of Detail and Formulation of Models of Vectors of Variables with Disturbances. *Chemical and Petroleum Engineering*, 2018, No. 52 (3), pp. 231-236. New York. DOI: 10.1007/s10556-016-0180-y. Available at: <http://link.springer.com/article/10.1007/s10556-016-0180-y>. (accessed 15.05.2018).
7. Lobankov V.M. *Osnovy metrologii geofizicheskikh izmerenii. Graduirovka, kalibrovka i poverka skvazhinnoi geofizicheskoi apparatury* [Fundamentals of Metrology Geophysical Measurements. Graduation, Calibration and Calibration of Downhole Geophysical Equipment]. Ufa, New Style, 2009. 152 p. [in Russian].

8. Batalov S.A., Andreev V.E., Dubinskii G.S. *Osobennosti razrabotki metatekhnologii slantsevykh uglevodorodov* [Features of the Development of Shale Hydrocarbons Metatekhnologii]. Ufa, Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan, 2017. pp. 27-32. [in Russian].

9. Batalov S.A., Andreev V.E., Dubinsky G.S., Khuzin R.R. *Sposob vyrabotki plastov s trudnoizvlekaemymi zapasami uglevodorodov* [Method of Producing Seams with Hard-To-Recover Hydrocarbon Reserves]. Patent RF, No. 2628343, 2017. [in Russian].

Авторы

• Баталов Сергей Алексеевич, канд. техн. наук, доцент
Государственное автономное научное учреждение «Институт стратегических исследований Республики Башкортостан»
Центр исследования реального сектора экономики
Ведущий научный сотрудник лаборатории нефтегазовых исследований
Российская Федерация, 450075, г. Уфа, пр. Октября, 129/3
тел. (347) 284-36-95
e-mail: geoavtsyst@mail.ru

• Андреев Вадим Евгеньевич, д-р техн. наук, профессор
Государственное автономное научное учреждение «Институт стратегических исследований Республики Башкортостан»
Центр исследования реального сектора экономики
Заведующий лабораторией нефтегазовых исследований
Российская Федерация, 450075, г. Уфа, пр. Октября, 129/3
Уфимский государственный нефтяной технический университет
Профессор кафедры «Геология и разведка нефтяных и газовых месторождений»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1
тел. (347) 284-36-95
e-mail: intnm@ya.ru

• Лобанков Валерий Михайлович, д-р техн. наук, профессор
Уфимский государственный нефтяной технический университет
Заведующий кафедрой «Геофизика»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1
e-mail: VM@mail.ru

The Authors

• Batalov Sergey A., Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor
Institute of Strategic Researches of Bashkortostan Republic,
State Autonomous Scientific Department
Centre of Real Sector of Economics
Leading Researcher of Oil and Gas Research Laboratory
129/3, October ave., Ufa, 450075,
Russian Federation
tel: (347) 284-36-95
e-mail: geoavtsyst@mail.ru

• Andreev Vadim E., Doctor of Engineering Sciences, Professor
Institute of Strategic Researches of Bashkortostan Republic,
State Autonomous Scientific Department
of Centre of Real Sector of Economics
Head of Oil and Gas Research Laboratory
129/3, October ave., Ufa, 450075,
Russian Federation
Ufa State Petroleum Technological University
Professor of Geology and Exploration of Oil and Gas Field Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation
tel: (347) 284-36-95
e-mail: intnm@ya.ru

• Lobankov Valeriy M., Doctor of Engineering Sciences, Professor
Ufa State Petroleum Technological University
Head of Geophysics Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation
e-mail: VM@mail.ru

• Дубинский Геннадий Семенович, канд. техн. наук, доцент
Государственное автономное научное учреждение «Институт стратегических исследований Республики Башкортостан»
Центр исследования реального сектора экономики
Ведущий научный сотрудник лаборатории нефтегазовых исследований
Российская Федерация, 450075, г. Уфа, пр. Октября, 129/3
Уфимский государственный нефтяной технический университет
Доцент кафедры «Геология и разведка нефтяных и газовых месторождений»
Российская Федерация, 450062, г. Уфа, ул. Космонавтов, 1
тел. (347) 284-36-95
e-mail: intnm@ya.ru

• Хузин Ринат Раисович, доктор технических наук
Государственное автономное научное учреждение «Институт стратегических исследований Республики Башкортостан»
Главный научный сотрудник
Российская Федерация, 450075, г. Уфа, пр. Октября, 129/3
e-mail: intnm@ya.ru

• Dubinskiy Gennadiy S., Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor
Institute of Strategic Researches of Bashkortostan Republic,
State Autonomous Scientific Department
Centre of Real Sector of Economics
Leading Researcher of Oil and Gas Research Laboratory
129/3, October ave., Ufa, 450075,
Russian Federation
Ufa State Petroleum Technological University
Assistant Professor of Geology and Exploration of Oil and Gas Field Department
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,
Russian Federation
tel: (347) 284-36-95
e-mail: intnm@ya.ru

• Khuzin Rinat R., Doctor of Engineering Sciences
Institute of Strategic Researches of Bashkortostan Republic,
State Autonomous Scientific Department
Chief Researcher
129/3, October ave., Ufa, 450075,
Russian Federation
e-mail: intnm@ya.ru