

## ОТ РЕДАКТОРА ВЫПУСКА

Э.С. Закиров  
ИПНГ РАН, e-mail: ezakirov@ogri.ru

Интеллектуализация нефтегазодобычи привлекает все более возрастающее во времени внимание промышленности. Разработка интеллектуальных систем приводит к широкому внедрению средств автоматизации (датчики, роботы и цифровые технологии). Однако совсем не очевидно, что для человечества в целом последствия автоматизации станут однозначно положительными. Ибо значительная его часть может оказаться «не у дел», поскольку большинство существующих профессий может просто исчезнуть в силу замены человеческого труда роботизированными комплексами. Как минимум, рискующим потерять работу людям придется проходить профессиональную переподготовку. Свои рабочие места смогут сохранить только обладатели достаточно редких специальностей. Ввиду подобных изменений на рынке труда необходимо принятие законодательства о всеобщем гражданском гарантированном базовом доходе.

Текущий выпуск журнала посвящен комплексному освещению проблемы «цифрового топливно-энергетического комплекса (ТЭК)», а именно – интеллектуальной разработке месторождений нефти и газа. В литературе нет четкого, устоявшегося определения данному понятию. Поэтому предложим свое. Под интеллектуальной разработкой (в зарубежной литературе используется термин «разработка в замкнутом цикле», см. статью\* данного выпуска и [1]) мы понимаем такую систему разработки месторождения природных углеводородов, которая опирается на использование скважин с интеллектуальным заканчиванием, сбор и обработку первичной информации от интеллектуальных датчиков, ассимиляцию всех замеренных данных в 3D гидродинамической модели, регулирование (оптимизацию) режимов работы скважин и технологии разработки в целом с целью максимизации экономического критерия за рассматриваемый и конечный периоды разработки месторождения. Но истинно интеллектуальной разработкой может стать только с созданием и применением многофункциональных технологий, позволяющих одновременно достигать нескольких

---

\*См. статью Закиров Э.С., Закиров С.Н., Индрупский И.М., Любимова О.В., Аникеев Д.П., Ширяев И.М., Баганова М.Н. «Управление разработкой нефтегазового месторождения в замкнутом цикле» в данном выпуске.

целей\*. Главнейшая из них – наиболее полное извлечение полезных компонентов, вне зависимости от того, в каком фазовом состоянии они представлены. Современная интеллектуализация, в основном, касается управления задвижками скважин. Переход на новые системы разработки, определение мест бурения уплотняющих скважин, перевод скважин из добывающих в нагнетательные, смена рабочего агента для повышения степени вытеснения нефти сегодня – все эти актуальные задачи находятся вне сферы интересов интеллектуальной разработки. В этом смысле разработка остается низкоинтеллектуальной и место эксперта в системе остается вакантным.

Немалое значение имеют и вопросы умной утилизации попутно добываемой воды. Самостоятельными являются проблемы своевременного внедрения рождающихся инноваций, недопущения глобальных экологических катастроф в результате упущений во время ликвидационных работ.

Как видим, тема выпуска является широкой, мультидисциплинарной. Один из возможных взглядов на проблему с позиций высокого уровня абстракции представлен в обзорной статье\*\*. Данная статья важна с точки зрения постановки самого широкого и глубокого понимания сути рассматриваемой проблемы. Реализация указанного подхода представлена в другой статье\*\*\* применительно к островам Курильской гряды.

В содержание журнала включены статьи, посвященные оснащению скважин интеллектуальными устройствами, интеллектуальному заканчиванию скважин\*\*\*\*, применению интеллектуальных систем на практике\*\*\*\*\*, интеллектуальной геофизике и

---

\*См. статью *Закиров С.Н., Закиров Э.С.* «Многофункциональные технологии разработки месторождений нефти и газа» в данном выпуске.

\*\*См. статью *Дмитриевский А.Н., Еремин Н.А.* «Цифровая модернизация нефтегазовой экосистемы – 2018» в данном выпуске.

\*\*\*См. статью *Дмитриевский А.Н., Еремин Н.А., Шабалин Н.А.* «Инновационные подходы к освоению Срединно-Курильского морского нефтегазоносного района» в данном выпуске.

\*\*\*\*См. статью *Закиров Э.С., Закиров С.Н., Индрупский И.М., Анিকেев Д.П.* «Интеллектуальные скважины: преимущества и проблемы» в данном выпуске.

\*\*\*\*\*См. статьи:

*Закиров Э.С., Закиров С.Н., Индрупский И.М., Анিকেев Д.П.* «Применение интеллектуальных скважин в системах разработки нефтяных и газовых месторождений»;

*Закиров Э.С., Закиров С.Н., Индрупский И.М., Анিকেев Д.П.* «Умное заканчивание стингером и перемещение точки притока флюида как альтернатива пассивных и активных устройств при разработке тонких нефтяных оторочек»;

*Закиров Э.С., Закиров С.Н., Индрупский И.М., Анিকেев Д.П.* «Выбор между пассивными и активными управляющими притоком устройствами при заканчивании интеллектуальной скважины» в данном выпуске.

исследованию скважин\*, 3D моделированию\*\*. Статья\*\*\* представляет собой полезный обзор состояния дел в сфере цифровизации газовой отрасли России. На фоне сопоставления с международными достижениями она представляет дополнительный интерес. В публикации\*\*\*\* обсуждаются аспекты обучения в сетевом университете.

Специалисты различных направлений могут использовать данный выпуск в качестве справочного пособия начального уровня. В дальнейшем планируется сделать регулярными выпуски журнала, посвященные интеллектуальной разработке, интеллектуальному и цифровому ТЭК. В связи с этим будут открыты новые подрубрики, освещающие различные аспекты интеллектуализации поиска, разведки, добычи, транспортировки, переработки нефти и газа. Редакция приглашает профессионалов стать авторами и участниками дискуссии по заявляемому кругу вопросов.

Изложение отдельных вопросов носит независимый характер. В своих статьях авторы дают минимальное количество ссылок, ограничиваясь указанием в основном на собственные работы. При этом даны не все ссылки на современную литературу, ибо часто

---

\*См. статьи:

*Аникеев Д.П., Цаган-Манджиев Т.Н.* «Определение анизотропии проницаемости по результатам гидродинамических исследований скважин»;

*Закиров С.Н., Аникеев Д.П.* «Технологии исследования скважин и алгоритмы интерпретации результатов»;

*Бугаёв А.С., Петров И.Б., Голубев В.И., Войнов О.Я., Фаворская А.В.* «Переход к упругому приближению в задачах построения миграционных изображений геологических сред»;

*Ипатов А.И., Кременецкий М.И., Каешков И.С., Буянов А.В.* «Стационарный мониторинг геофизических параметров при контроле разработки месторождений. Возможности, проблемы и перспективы использования»;

*Гончарова Ю.А., Индрунский И.М.* «Применение машинного обучения в обратной задаче двухфазной фильтрации» в данном выпуске.

\*\*См. статьи:

*Закиров Э.С., Закиров С.Н., Индрунский И.М., Аникеев Д.П.* «О представлении скважины в 3D гидродинамической модели»;

*Закиров Э.С., Закиров С.Н., Индрунский И.М., Аникеев Д.П.* «Вычисление подвижности во вскрытых скважиной интервалах»;

*Закиров Э.С., Закиров С.Н., Индрунский И.М., Аникеев Д.П.* «Вычисление перепада давления, вызывающего приток/отток в/из скважины»;

*Закиров Э.С., Закиров С.Н., Индрунский И.М., Аникеев Д.П.* «Мультиотрезочная модель скважины»;

*Закиров Э.С., Закиров С.Н., Индрунский И.М., Любимова О.В., Аникеев Д.П., Ширяев И.М., Баганова М.Н.* «Управление разработкой нефтегазового месторождения в замкнутом цикле»;

*Закиров Э.С., Закиров С.Н., Индрунский И.М., Аникеев Д.П.* «Обратные задачи по идентификации параметров пласта (задачи history matching)»;

*Закиров Э.С., Закиров С.Н., Индрунский И.М., Аникеев Д.П.* «Регулирование разработки нефтяных и газовых месторождений»;

*Четверушкин Б.Н., Люпа А.А., Трапезникова М.А., Чурбанова Н.Г.* «Моделирование многофазных течений в подземном пространстве на суперкомпьютерах с применением явных разностных схем» в данном выпуске.

\*\*\* См. статью *Столяров В.Е., Басниева И.К., Еремин Н.А., Еремينا И.А., Краус З.Т., Сарданашвили О.Н., Юфин П.А.* «Цифровизация технологий добычи газа» в данном выпуске.

\*\*\*\* См. статью *Кожевников Н.А., Пустовой Т.В., Еремин Н.А.* «Сетевой университет» в данном выпуске.

она безбрежна. Несмотря на это, читатель сможет без труда отыскать интересующие его работы, например за счет переписки с авторами соответствующих статей.

В настоящее время решение вопроса интеллектуализации нефтегазовой отрасли связано в основном с созданием датчиков и оборудования для заканчивания. Казалось бы, это наиболее продвинутой частью интеллектуальной разработки. Однако, как показывает публикация\*, вопрос точности производимых измерений параметров многофазной продукции остается до сих пор нерешенным, несмотря на заверения производителей оборудования.

Но более важным является следующее обстоятельство. Основой интеллектуальной разработки, производительной силой в понимании «классиков марксизма», становится 3D моделирование. Именно поэтому в значительной мере предлагаемый читателю выпуск журнала посвящен вопросам математического моделирования. Ибо появление длинных, высокопроизводительных интеллектуальных скважин требует совершенствования методологии моделирования сложных скважин с датчиками и управляемыми устройствами, что дает новые возможности для исследования скважин и пластов без остановки скважин.

Статья\*\* рассматривает новые способы обработки сейсмических данных для восстановления положения отражающих горизонтов.

Исследование скважин по технологиям, рассмотренным в статьях\*\*\*, позволяет определять важнейшие параметры пласта: анизотропию проницаемости как соотношение вертикальной проницаемости к горизонтальной, а также функции относительных фазовых проницаемостей на масштабе пласта вместо точечных определений на кернах. В работе\*\*\*\* рассматривается вопрос замены математической модели специализированного исследования\*\*\*\*\* нейронной сетью с целью ускорения процесса адаптации модели.

---

\*См. статью *Аникеев Д.П., Закиров Э.С.* «Особенности контроля многофазного притока в вертикальных скважинах» в данном выпуске.

\*\*См. статью *Бугаёв А.С., Петров И.Б., Голубев В.И., Войнов О.Я., Фаворская А.В.* «Переход к упругому приближению в задачах построения миграционных изображений геологических сред» в данном выпуске.

\*\*\*См. статьи:

*Аникеев Д.П., Цаган-Манджиев Т.Н.* «Определение анизотропии проницаемости по результатам гидродинамических исследований скважин»;

*Закиров С.Н., Аникеев Д.П.* «Технологии исследования скважин и алгоритмы интерпретации результатов» в данном выпуске.

\*\*\*\*См. статью *Гончарова Ю.А., Индрупский И.М.* «Применение машинного обучения в обратной задаче двухфазной фильтрации» в данном выпуске.

\*\*\*\*\*См. статью *Закиров С.Н., Аникеев Д.П.* «Технологии исследования скважин и алгоритмы интерпретации результатов» в данном выпуске.

Статья\* представляет значительный интерес из-за наглядной демонстрации возможностей современной геофизики по контролю притока за счет размещения оптоволокну в скважине. Пусть в этой статье интерпретация осуществляется до некоторой степени вручную, зато этот подход в случае автоматизации и повсеместной реализации даст информационную возможность «зрячего» управления добычей и закачкой.

Статья\*\* демонстрирует возможности оптических методов при строительстве хранилища в вечной мерзлоте. И пусть методы исследования и постановка задачи далековаты от интеллектуальной добычи, но данная статья важна привлечением дополнительного внимания к возможностям, предоставляемым оптическими методами. Сегодня они используются недостаточно активно, в основном, в многофазных расходомерах. А при расширенном применении они способны дать много новой полезной информации [2].

Все реализуемые на практике компоновки внутрискважинного оборудования следует учитывать в 3D гидродинамических моделях в целях последующего проведения адресной адаптации моделей к накапливаемой истории разработки. А на основе адаптированной, максимально отражающей процессы в пласте, 3D гидродинамической модели следует осуществлять оптимизацию добычи за счет регулирования степени раскрытия управляющих клапанов, забойных давлений в добывающих и нагнетательных скважинах (см. статью\*\*\* и [3]). В этом, собственно, и состоит понятие управления разработкой в замкнутом цикле: непрерывный процесс – адаптация и регулирование на основе 3D адресной модели (см. статью\*\*\*\* и [1]). Авторы показывают различные подходы, позволяющие добиться положительной обратной связи от идентификации для оптимизации экономического критерия качества.

При этом мы не слишком различаем 3D геологическую и 3D гидродинамическую модели. В том смысле, что переход от 3D геологической к 3D гидродинамической модели

---

\*См. статью *Ипатов А.И., Кременецкий М.И., Каешков И.С., Буянов А.В.* «Стационарный мониторинг геофизических параметров при контроле разработки месторождений. Возможности, проблемы и перспективы использования» в данном выпуске.

\*\*См. статью *Вульфсон А.Н., Бородин О.О.* «Лучевой метод геометрической оптики и перемещение фронта размывания при формировании объема подземного резервуара» в данном выпуске.

\*\*\*См. статью *Закиров Э.С., Закиров С.Н., Индрупский И.М., Аникеев Д.П.* «Регулирование разработки нефтяных и газовых месторождений» в данном выпуске.

\*\*\*\*См. статью *Закиров Э.С., Закиров С.Н., Индрупский И.М., Любимова О.В., Аникеев Д.П., Ширяев И.М., Баганова М.Н.* «Управление разработкой нефтегазового месторождения в замкнутом цикле» в данном выпуске.

считаем проведенным максимально корректным образом [4], с сохранением неоднородности фильтрационно-емкостных свойств.

В выпуске представлен ряд инновационных предложений в области 3D гидродинамического моделирования. В статье\* предлагается использовать явные схемы при решении прямых задач. Это значительный теоретический и практический шаг вперед, ибо со времен классической книги [5] считалось, что многофазные задачи фильтрации могут решаться лишь полностью неявным или явно-неявным образом, с обязательным требованием минимально определять хотя бы давление по неявной схеме.

Относительно необходимости улучшения моделирования скважин сложной траектории, особенно с управляющими устройствами, следует отметить следующее. В силу сильнейшей разномасштабности линейных размеров месторождения (характерных размеров ячеек пространственной разностной сетки) и диаметра реальной скважины в пласте сама скважина моделируется источником или стоком (см. статью\*\*) без явного представления ее линейных размеров. Этот член источника/стока представляет собой произведение трех сомножителей – коэффициента проводимости скважинного соединения, коэффициента подвижности и перепада давления. При этом увеличенная длина и повышенный дебит в скважине могут вызывать ряд эффектов. Во-первых, вследствие неоднородности коллекторских свойств пород различные части скважины имеют различную продуктивность. На продуктивность интервала влияют соседние части скважины, а при выводе формулы для расчета коэффициента проводимости скважинного соединения предполагается его изолированность, удаленность от других продуцирующих частей скважины. Поэтому от точности расчета коэффициента проводимости скважинного соединения зависит точность расчета притока к отдельным частям скважины. Во-вторых, возможно возникновение перетоков по стволу скважины (у многозабойной скважины возможны перетоки между стволами), когда часть интервалов скважины добывает из пласта флюиды, а часть осуществляет закачку добываемой смеси в пласт. Значит, необходимо значимо улучшить описание флюидального состава в каждой части ствола скважины. Раньше симуляторы оперировали суммарным составом на весь ствол скважины, что становится грубым для длинной интеллектуальной скважины. В-третьих,

---

\*См. статью *Четверушкин Б.Н., Люпа А.А., Трапезникова М.А., Чурбанова Н.Г.* «Моделирование многофазных течений в подземном пространстве на суперкомпьютерах с применением явных разностных схем» в данном выпуске.

\*\*См. статью *Закиров Э.С., Закиров С.Н., Индрунский И.М., Аникеев Д.П.* «О представлении скважины в 3D гидродинамической модели» в данном выпуске.

из-за роста дебитов необходимо учитывать различные потери давления вдоль траектории скважины ввиду неравномерности притока к горизонтальной скважине (эффект пятка–носок – когда приток к пятке существенно больше притока к носку). Соответственно, различные части ствола скважины могут продуцировать неодинаково даже в однородном пласте.

Выпуск содержит подробный обзор способов вычисления всех сомножителей в формуле расчета дебита скважины. В работах\* описываются особенности вычисления коэффициента проводимости скважинного соединения. Из них первая в списке работа – обзорная, обязательная к прочтению для желающих разобраться в сути вопроса. А остальные статьи рассматривают более частные нюансы вычисления соответствующих коэффициентов. Но с работой, представляющей полуаналитический метод Стенфордского университета, рекомендуется ознакомиться в силу конструктивности метода преодоления основных проблем при вычислении коэффициента проводимости скважинного соединения. Последняя в данном списке статья актуальна для людей, осуществляющих моделирование работы реальной интеллектуальной скважины.

При работе длинной скважины в силу неравномерности профиля притока и негоризонтальности траектории скважины возможно возникновение перетоков по стволу скважины или между стволами многозабойной скважины. Вычисление соответствующих перетоков требует улучшенного описания состава закачиваемого в пласт флюида (см. статью\*\*), поскольку он берется не с поверхности, а представляет собой смесь добываемой продукции из предыдущих интервалов скважины.

---

\*См. статьи:

*Закиров Э.С., Закиров С.Н., Индрупский И.М., Аникеев Д.П.* «О представлении скважины в 3D гидродинамической модели»;

*Закиров Э.С., Закиров С.Н., Индрупский И.М., Аникеев Д.П.* «Вычисление коэффициента проводимости скважинного соединения. Метод Писмена»;

*Закиров Э.С., Закиров С.Н., Индрупский И.М., Аникеев Д.П.* «Вычисление коэффициента проводимости скважинного соединения наклонной или горизонтальной скважины»;

*Закиров Э.С., Закиров С.Н., Индрупский И.М., Аникеев Д.П.* «Вычисление коэффициента проводимости скважинного соединения на сетке Вороного»;

*Закиров Э.С., Закиров С.Н., Индрупский И.М., Аникеев Д.П.* «Вычисление коэффициента проводимости скважинного соединения – полуаналитический метод Стенфордского университета»;

*Закиров Э.С., Закиров С.Н., Индрупский И.М., Аникеев Д.П.* «Повышение точности околоскважинного моделирования за счет локального пространственного измельчения сетки» в данном выпуске.

\*\*См. статью *Закиров Э.С., Закиров С.Н., Индрупский И.М., Аникеев Д.П.* «Вычисление подвижности во вскрытых скважиной интервалах» в данном выпуске.

Не менее сложный вопрос связан с вычислением перепада давления при вычислении дебитов компонентов скважинного интервала. Соответствующая статья\* кратко касается этого важного вопроса.

Кроме вопросов вычисления продуктивности скважины, интерес представляют также вопросы учета реальной топологии связей вскрываемых скважиной интервалов, взаимодействия с внутрискважинным оборудованием. Все эти вопросы систематически рассматриваются в статье\*\*, посвященной мультисегментной модели скважины, ставшей промышленным стандартом при моделировании интеллектуальных скважин.

Адаптации истории разработки в геологически согласованной постановке посвящены публикации\*\*\*. Можно рекомендовать публикации [1, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13] по другим вопросам history matching. Ибо кроме традиционных множителей на пористость и проницаемость, в данной зоне пласта возможно решение задач геометрической идентификации (по вертикали и по площади). Кроме того, возможна оценка коэффициентов функциональной зависимости относительных фазовых проницаемостей, свойств водоносного горизонта (как сеточного, так и аналитического, например, типа Фетковича). Поэтому при решении обратных задач широк спектр оцениваемых параметров. Инженер (или автоматизированная система) должен идентифицировать наиболее неопределенные параметры.

Статьи\*\*\* преодолевают разрыв между методами 3D геологического и 3D гидродинамического моделирования, оперируя параметрами 3D геологического моделирования при адаптации истории разработки. Тем самым сохраняется непрерывность связи между представителями различных дисциплин. Две последние из данного списка статей опираются на использование безградиентных методов поиска экстремума, описывая особенности их применения к реальным задачам.

---

\*См. статью *Закиров Э.С., Закиров С.Н., Индрупский И.М., Аникеев Д.П.* «Вычисление перепада давления, вызывающего приток/отток в/из скважины» в данном выпуске.

\*\*См. статью *Закиров Э.С., Закиров С.Н., Индрупский И.М., Аникеев Д.П.* «Мультисегментная модель скважины» в данном выпуске.

\*\*\*См. статьи:

*Закиров Э.С., Закиров С.Н., Индрупский И.М., Аникеев Д.П.* «Обратные задачи по идентификации параметров пласта (задачи history matching)»;

*Ширяев И.М., Индрупский И.М., Закиров Э.С.* «Исследование особенностей геологически согласованной адаптации гидродинамических моделей. Часть 1. Безградиентные методы оптимизации»;

*Ширяев И.М., Индрупский И.М., Закиров Э.С.* «Исследование особенностей геологически согласованной адаптации гидродинамических моделей. Часть 2. Опорные точки» в данном выпуске.

Обсуждению задач регулирования процесса разработки посвящена работа\* данного номера. Другие работы по этому направлению представлены в публикациях [14, 15, 16, 17, 18]. Они отражают поиск решения задач оптимизации процесса разработки за счет распределения дебитов добывающих и расходов нагнетательных скважин с сохранением ограничений поверхностной инфраструктуры.

Таким образом, научная компонента для прорыва в интеллектуальной разработке месторождений создана и описана. Она заключается в математическом обеспечении автоматизированной адаптации истории разработки и последующего регулирования, а также специализированных способов исследования скважин и пластов. Остается довести эти новации до коммерческого уровня применения. А необходимость создания многофункциональных технологий разработки (см. статью\*\*) оставляет возможность инженерам-разработчикам сохранить свои рабочие места.

*Статья написана в рамках выполнения государственного задания(тема «Научное обоснование новых экологически чистых технологий разработки месторождений углеводородов в сложных горно-геологических условиях на основе 3D-компьютерных экспериментов», № АААА-А16-116022510270-1).*

#### БЛАГОДАРНОСТИ

Редактор выпуска выражает свою признательность Б.Н. Чигареву за идею создания данного тематического выпуска журнала и настойчивость в инициировании его публикации. Редактор также сердечно благодарит Т.Г. Дацко и Э.С. Аникееву за неоценимый вклад в подготовку данного номера журнала. Отдельную благодарность заслуживает их неформальное отношение к работе, кропотливое редактирование статей выпуска. Особенная благодарность Т.Г. Дацко за трепетное обращение с авторским текстом и кропотливую работу с литературой. Ее помощь в финальном виде номера невозможно переоценить.

Редактор также выражает свою признательность В.Б. Чигареву за размещение номера в сети Интернет, Н.В. Соколовой – за неформальное, творческое редактирование аннотаций.

---

\*См. статью *Закиров Э.С., Закиров С.Н., Индрунский И.М., Аникеев Д.П.* «Регулирование разработки нефтяных и газовых месторождений» в данном выпуске.

\*\*См. статью *Закиров С.Н., Закиров Э.С.* «Многофункциональные технологии разработки месторождений нефти и газа» в данном выпуске.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Закиров Э.С., Закиров С.Н., Индрупский И.М., Любимова О.В., Анিকেев Д.П., Ширяев И.М., Баганова М.Н.* Оптимальное управление разработкой месторождения в замкнутом цикле // Статья SPE-176642-RU, представленная на Российской нефтегазовой технической конференции SPE, 26–28 октября 2015, Москва, Россия. 31 с.
2. *Василенко П.А., Корниенко С.Г., Примерова О.В.* Определение массовых долей нефти и газового конденсата в продукции нефтегазоконденсатных скважин методом ИК-спектromетрии // Журнал аналитической химии. 2018. Т. 73, № 8. С. 613–621.
3. *Закиров Э.С.* Трехмерные многофазные задачи прогнозирования, анализа и регулирования разработки месторождений нефти и газа. М.: Изд. дом «Грааль», 2001. 303 с.
4. *Закиров Э.С.* Upscaling в 3D компьютерном моделировании. М.: ЗАО «Книга и бизнес», 2007. 344 с.
5. *Peaceman D.W.* Fundamentals of numerical reservoir simulation. Amsterdam: Elsevier, Developments in Petroleum Science. 1977. Vol. 6. 191p.
6. *Palatnik B.M., Aanonsen S.I., Zakirov I.S., Zakirov E.S.* New technique to improve the efficiency of history matching of full-field models // Proceedings of the 4<sup>th</sup> European Conference on the Mathematics of Oil Recovery. Roros, Norway, 7–10 June 1994. 10 p.
7. *Zakirov I.S., Zakirov E.S.* Aquifer configuration estimation through inverse problem solution // Proceedings of the 15<sup>th</sup> Symposium on Reservoir Simulation. Houston, Texas, USA, 1999. P. 343–344.
8. *Закиров Э.С.* Идентификация размеров и конфигурации водоносного пласта по данным разработки залежи нефти или газа // Наука и технология углеводородов. 2001. № 2. С. 71.
9. *Закиров И.С., Hauenherm W., Закиров Э.С., Zipper H.* History matching подземного хранилища Lauchstaedt // Газовая промышленность. 1997. № 10. С. 50–53.
10. *Zakirov I.S., Astl A., Zakirov E.S., Schweng K.* History matching for Lauchstädt underground gas storage // Paper SPE 39994 prepared for presentation at the Gas Technology Symposium. Calgary, Alberta, Canada. 15–18 March 1998. 10 p.
11. *Zakirov E.S., Indrupskiy I.M., Lubimova O.V., Shiriaev I.M.* Geostatistically-consistent history matching // Proceedings of ECMOR XIV – 14<sup>th</sup> European Conference on the Mathematics of Oil Recovery. Catania, Italy, 8–11 September 2014. Vol. 2. P. 902–915.

12. *Zakirov E.S., Indrupskiy I.M., Shiryaev I.M., Lyubimova O.V., Anikeev D.P.* Advanced geologically-consistent history matching and uncertainty evaluation // Proceedings of ECMOR XV – 15<sup>th</sup> European Conference on the Mathematics of Oil Recovery. Amsterdam, the Netherlands. 29 August–1 September 2016. 26 p.

13. *Закиров Э.С., Индрупский И.М., Любимова О.В., Ширяев И.М., Аникеев Д.П.* Согласованная адаптация геостатистических моделей залежей нефти и газа // Доклады Академии наук. 2017. Т. 476, № 4. С. 421–425.

14. *Zakirov I.S., Aanonsen S.I., Zakirov E.S., Palatnik B.M.* Optimizing reservoir performance by automatic allocation of well rates // Proceedings of the 5<sup>th</sup> European Conference on the Mathematics of Oil Recovery. Leoben, Austria, 1996. P. 375–384.

15. *Zakirov E.S., Zakirov I.S.* Optimal production management of multilayered fields // Proceedings of the ECMOR VIII – 8<sup>th</sup> European Conference on the Mathematics of Oil Recovery. Freiberg, Germany, 3–6 September 2002. 8 p.

16. *Закиров И.С., Закиров Э.С.* Регулирование разработки месторождений природных углеводородов // Газовая промышленность. 1997. № 7. С. 68–71.

17. *Закиров Э.С.* Регулирование процесса разработки нефтяных оторочек // Наука и технология углеводородов. 2000. № 1. С. 64–70.

18. *Закиров Э.С., Мангазеев В.П., Закиров И.С.* Регулирование разработки многопластовых месторождений // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2002. № 5. С. 73–78.