

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ МЕСТОРОЖДЕНИЯ: МИФ ИЛИ РЕАЛЬНОСТЬ?

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

Введение

Минул полный драматических событий XX век, а с ним и целая эпоха в области добычи нефти и газа. В век нынешний уже успели обозначиться, наряду с несомненными достижениями в теории и практике разработки нефтяных и газовых месторождений, большие упущения и недостатки. Газовики практически полностью игнорировали проблемы нефте- и конденсатоотдачи, оставили в пласте немалые запасы нефти и конденсата в качестве безвозвратных потерь. Совершенно далекими от проблемы газо- и конденсатоотдачи оказались и нефтяники, которые годами сжигали в факелах десятки миллиардов кубометров газа. Большой урон нанесен окружающей среде в районах добычи и транспорта нефти и газа. Нарушена система нормального водоснабжения отдельных регионов вследствие техногенных межпластовых перетоков и утечек нефти и газа, в том числе сероводородсодержащих флюидов. Но все эти негативные моменты меркнут по сравнению с глобальными и региональными экологическими катастрофами, которые могут произойти от негерметичности сотен тысяч ликвидируемых скважин [1, 2, 3].

Застой в научно-техническом прогрессе только усиливался в последние десятилетия. «Катастрофка» привела к тяжелым утратам в нефтегазовом образовании и научных исследованиях [4, 5]. В результате нефтяники и газовики «проспали» революционные преобразования, связанные с внедрением технологий разработки на основе горизонтальных скважин. И это при том, что пионерские работы в области сооружения горизонтальных и многозабойных скважин в 50-х годах прошлого века уже были выполнены А.М. Григоряном, а соответствующие теоретические основы заложены Ю.П. Борисовым, В.П. Пилатовским, В.П. Табаковым, И.А. Чарным, А.М. Пирвердяном.

Сегодня в мире назревает новая волна радикальных преобразований в отрасли, способная коренным образом видоизменить процессы добычи природных углеводородов. К счастью, соответствующие ростки нового имеются и в нашей стране. Поэтому важно все это осознать и развивать. Наше отставание в области процессов извлечения углеводородов нельзя преодолеть в попытке догнать Запад, но можно решить проблему, если обогнать его. По крайней мере, заделы для этого имеются, и прежде всего в

понимании главных и принципиально важных тенденций развития нефтегазовых технологий XXI века.

Особенности нефтегазового недропользования в компьютерной эре

Нефтегазовые технологии XXI века характеризуются целым спектром особенностей, отраженных на приводимом ниже рисунке. Чтобы понять идею в целом, последовательно раскроем отличительные особенности отдельных частей и компонент.



Smart wells

За рубежом все более успешно используется технология создания и сооружения smart wells – «интеллектуальных» скважин [6]. По их образному названию очевидно, что речь идет о скважинах совершенно нового поколения, нового типа. Западные специалисты считают, что прошло или проходит время, когда они могли довольствоваться разовыми замерами лишь забойного, устьевого, затрубного давлений и температур, дебитов по газу, нефти, конденсату и воде (к сожалению, еще не достигнутый нами уровень контроля [4]).

Они ставят задачу, чтобы процесс разработки был бы столь же контролируемым и управляемым, как самолет Боинг-777, или, например, современный нефтеперерабатывающий завод. Здесь каждый элемент и вся система в целом как «на ладони». И ключом к системам разработки будущего являются smart wells. Иначе говоря, контроль и регулирование внутрипластовых и внутрискважинных процессов планируется довести почти до уровня

индивидуальных перфорационных отверстий.

Сегодня уже очевидно, что smart wells будут

- многоствольными, многозабойными,
- многофункциональными,
- всесторонне контролируемые и управляемыми.

Многоствольные скважины (скважинные системы) позволят увеличивать компонентоотдачу пластов, сокращать затраты на освоение месторождений и снижать негативное воздействие на окружающую среду [7, 8].

Многофункциональность подразумевает совмещение процессов закачки газа и воды, совместного отбора газа, нефти, конденсата и воды [7], а также см. статью данного выпуска*. В smart wells планируется забойная сепарация нефти и воды с утилизацией добываемой воды без ее подъема на поверхность [6, 9]. Уже реализованы проекты одновременной добычи нефти из одного интервала и закачки воды – в другой [10].

Значительное продвижение к созданию smart wells представляют разработки Г.С. Абдрахманова (ТатНИПИнефть), которые позволяют избегать спуска промежуточных технических колонн, осуществлять избирательные изоляционные работы в скважинах и т.д. [11].

Smart wells, безусловно, впитают в себя многочисленные технические и технологические приемы утилизации энергии свободного или растворенного газа в процессах добычи жидких пластовых флюидов, предложенные Ж.С. Шайхуловым («Инженерный сервис», г. Нижневартовск).

Многие статьи авторов в данном выпуске: «О представлении скважины в 3D гидродинамической модели», «Вычисление коэффициента проводимости скважинного соединения. Метод Писмена», «Вычисление коэффициента проводимости скважинного соединения наклонной или горизонтальной скважины», «Вычисление коэффициента проводимости скважинного соединения на сетке Вороного» и «Вычисление коэффициента проводимости скважинного соединения – полуаналитический метод Стенфордского университета», «Повышение точности околоскважинного моделирования за счет локального пространственного измельчения сетки», «Вычисление подвижности во вскрытых скважиной интервалах», «Вычисление перепада давления, вызывающего

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

приток/отток в/из скважины» и «Мультисегментная модель скважины» посвящены особенностям моделирования интеллектуальных скважин.

Интеллектуальные модели пласта

В последние годы достигнут большой прогресс в области методов и средств построения трехмерных (3D) геологических моделей. Прежде всего это касается трехмерной сейсмики. Комплексное использование данных 3D сейсмики, кернавого анализа, промысловой геофизики, газогидродинамических исследований скважин при установившихся и не установившихся режимах фильтрации дает информацию для насыщения ею миллионов элементарных ячеек, аппроксимирующих залежь нефти или газа [12]. В результате возникла даже специфическая проблема upscaling'a, связанная с переходом от мелкой геологической сетки к расчетной крупной гидродинамической сетке [13].

В значительной степени благодаря председателю Центральной комиссии по разработке нефтяных и газовых месторождений Министерства природных ресурсов Н.Н. Лисовскому, в нашей стране с 2000 г. началась эра 3D компьютерного моделирования. Этой инициативой он, безусловно, внес огромный инновационный вклад в отечественное нефтегазовое недропользование.

Участие в работе ЦКР Роснедра, в экспертировании проектных документов выявило ошибочность переноса идей и методов докомпьютерной эры в идеологию 3D компьютерного моделирования [14, 15]. Это касается практически всех нефтегазовых дисциплин – физики и петрофизики пласта, интерпретации данных ГИС и ГДИС, подсчета запасов, построения 3D геологических и 3D гидродинамических моделей пластов и др. Выходом из создавшейся ситуации стало обоснование новой Концепции эффективного порового пространства (ЭПП), которая со своими следствиями была одобрена решением ЦКР [14].

В Концепции ЭПП базисными коэффициентами в исходных дифференциальных уравнениях многомерной многофазной не установившейся фильтрации выступают коэффициенты эффективной проницаемости $k_{эф}$ (фазовой проницаемости, например, для нефти при насыщенности остаточной (связанной) водой $S_{во}$) и эффективной пористости $m_{эф}$ (доли объема пор, не занятых связанной водой, в объеме элемента пласта). Эти коэффициенты предложено использовать взамен традиционных неинформативных,

абстрактных коэффициентов абсолютной проницаемости по газу ($k_{абс}$) и открытой пористости (m_o).

Достоинства концепции ЭПП и ее следствия отражены в статьях и книгах [15–42]. В результате стало возможным создавать более реалистичные и достоверные 3D геологические и гидродинамические модели, а значит – осуществлять более надежный прогноз показателей разработки. Но более важно то, что данная концепция позволяет создавать новые технологии разработки [43–65], которые невозможно реализовать в рамках существующих подходов к моделированию.

Соответствующий пласт исследований мало осознан в России и совсем не используется за рубежом. Но достоверное 3D моделирование потенциально дает много преимуществ – более легкую адаптацию истории разработки, ибо сама модель построена на более реалистичных принципах. Таким образом, отсутствие опоры на ЭПП – недостаток современного подхода к интеллектуальной разработке.

Исследование скважин и пластов

Данное направление не случайно выделяется из предыдущего раздела, ибо имеет самодовлеющую ценность. Это промежуточная ступень между статической и динамической моделями месторождения. К сожалению, практически все отечественные научные школы по исследованию скважин и пластов перестали функционировать, а сами исследования на промыслах проводятся в крайне недостаточных объемах, что наносит большой урон соответствующим месторождениям [4, 66].

Теория газогидродинамических исследований скважин и пластов, техническое их сопровождение интенсивно развиваются за рубежом в последние годы. Важным дополнением к ним стали методы 4D сеймики – разновременная 3D сеймика.

Вместе с тем отсутствует еще ясное понимание того, что специально поставленные исследования скважин и пластов могут обеспечивать нас «впередсмотрящей» информацией о будущих процессах, с которыми придется столкнуться на месторождении.

Приведем несколько примеров, взятых нами из [7].

При вводе в разработку уникальной сеноманской водоплавающей залежи Уренгойского месторождения неясен был характер поведения пласта-коллектора при поступлении пластовой воды к забоям скважин. В этой связи было предложено организовать форсированную эксплуатацию пары скважин с соответствующими геофизическими, гидродинамическими и промысловыми наблюдениями. Помимо

информации об устойчивости коллектора, могли быть получены данные об анизотропии пласта, коллекторских свойствах.

Известно, что средняя проницаемость коллекторов Астраханского месторождения составляет около 1 мдарси, а пористость – несколько процентов. Поэтому депрессии на пласт достигают 150 и более атмосфер. В этой связи выпадение конденсата в пласте или призабойной зоне может стать причиной прекращения фильтрационных процессов при газоотдаче пласта около 10%. Для проверки степени опасности фазовых превращений была рекомендована форсированная эксплуатация одной–двух скважин с организацией закачки разных агентов. Это позволило бы заглянуть на несколько лет вперед и выработать стратегию поведения.

Продуктивный пласт Р-1 Юрубчено-Тохомского нефтегазоконденсатного месторождения представлен трещиновато-кавернозными коллекторами. Очевидно, что здесь эксперименты на кернах бессмысленны, ибо они не могут дать ответа на важнейший вопрос о параметре анизотропии пласта, не позволят получить фазовые проницаемости для системы трещин и каверн, поскольку их нельзя извлечь на поверхность. Таким образом, единственный путь – промысловые исследования по закачке порций воды (газа) в нефтенасыщенную зону и/или преждевременное загазование и обводнение 1–2 скважин с последующей интерпретацией получаемой информации.

Все вышеизложенное показывает необходимость шире использовать активные методы изучения и параметров пластов, и процессов, которые в будущем будут иметь место на месторождении. Практикуемые же опытная эксплуатация скважин и опытно-промышленная эксплуатация отдельных участков в условиях рыночной экономики являются весьма дорогостоящими мероприятиями. К тому же, они отодвигают сроки освоения всех ресурсов углеводородов, что негативно сказывается на эффективности проекта в целом.

Сегодня имеется возможность избежать этих финансовых затрат за счет создания и развития нового направления в ГИС (обслуживания нужд проектирования разработки) и за счет активных методов исследования скважин и пластов [67].

На сегодняшний день в ИПНГ РАН разработан целый комплекс технологий исследования скважин и пластов [68–76]. Он позволяет оценивать параметры пласта в пластовых условиях без каких бы то ни было процедур осреднения за счет рассмотрения процессов на уровне, приближающемся к линейным размерам пласта. В процессе

специально организованных исследований удастся определять функции относительных фазовых проницаемостей (коэффициенты вытеснения) вдоль каждого напластования, хотя бы на уровне мониторинга работы нагнетательной скважины. Имеется ряд публикаций о промысловых экспериментах по определению ОФП [72, 74, 75] на ряде месторождений и по 3D гидропрослушиванию на Памятно-Сасовском нефтяном месторождении [71].

Исследованию скважин при интеллектуальной разработке отводится важное место. ГДИС вместе с ГИС могут дать важную информацию о продвижении флюидов в пласте. Кроме того, благодаря аппаратному обеспечению smart wells, за счет малого возмущения дебитов интервалов скважин возможно получение коэффициентов взаимного влияния интервалов скважин, 3D анизотропии, влияния закачки на добычу и т.д.

3D идентификация параметров пласта

Современные методы построения 3D геологических моделей, дополненные методами активной доразведки параметров будущих процессов, практически обеспечивают исключение риска на первых этапах освоения запасов углеводородов.

Однако затем в процессе разработки начинает поступать огромная по масштабам и значимости информация о данных эксплуатации скважин и контроля за протекающими в пласте процессами. Сегодня созданы алгоритмы и программные комплексы, способные решать задачи идентификации параметров пластов в 3D, одно-, двух- и трехфазной постановке [77, 78]. Время же ручной адаптации параметров пласта ушло в прошлое.

Еще в 80-х годах авторы на основе этих средств создали 3D двухфазную (газ–вода) комплексную, адаптирующуюся геолого-математическую модель разработки и эксплуатации Медвежьего газового месторождения [79]. Здесь термин «комплексная» означает совместное рассмотрение системы «пласт – скважины – обустройство промысла». Очень медленно, но в таком же направлении начался процесс создания постояннодействующих моделей ряда нефтяных месторождений страны. Трудно сказать, когда дойдет очередь до остальных сотен месторождений. Тем не менее это столбовая дорога в теории и практике разработки месторождений нефти и газа. К сожалению, здесь, наряду с отмечаемым застоем в недропользовании, 3D обратные задачи и их алгоритмы становятся нерабочими из-за негерметичности немалого числа скважин.

Кроме традиционных работ по идентификации коллекторских свойств пласта [78, 80–84], во время которых определяются коэффициенты пористости и проницаемости по трем координатным осям, функции относительных фазовых проницаемостей, параметры

численных аквиферов Фетковича, в ИПНГ РАН разрабатываются методы геометрической идентификации, с помощью которых удастся оценивать толщины отдельных пропластков, а также площадную конфигурацию, например, водонапорного бассейна [80, 81, 82].

Наиболее важной составляющей выступает геостатистически-согласованная адаптация истории разработки [85–89], когда при решении обратных задач определяются параметры 3D геологической модели – параметры анизотропных фациальных вариограмм, параметры корреляционных зависимостей между пористостью и логарифмом проницаемости.

Регулирование разработки месторождений нефти и газа

Нет надобности убеждать кого-либо в важности данной компоненты будущих нефтегазовых технологий. Именно в нашей стране она была наиболее четко осознана и начала развиваться [90]. Сегодня, благодаря мощному развитию вычислительной техники, задачи регулирования разработки месторождений могут и должны решаться в 3D многофазной постановке [91–95].

Установлено, что многомерные многофазные задачи идентификации параметров пластов и задачи регулирования разработки имеют много общего. И для этих классов задач созданы современные мощные методы теории оптимального управления.

Ряд практических задач, касающихся регулирования дебитов добывающих скважин и расходов нагнетательных скважин с учетом ограничений наземной инфраструктуры в целях максимизации критерия экономической эффективности, решен нами в [91–95]. Это пример задач оптимизации работы скважин в целом. Но возможна постановка аналогичной задачи с поинтервальной оптимизацией работы скважин за счет степени раскрытия управляющих клапанов на забое.

Создание современных, постоянно действующих моделей разработки месторождений нефти и газа невозможно без использования методов теории оптимального управления для решения задач уточнения коллекторских свойств пластов и регулирования процессами извлечения природных углеводородов.

Интеллектуальные технологии разработки месторождений нефти и газа

Специалисты, занимающиеся проблемами разработки на основе горизонтальных скважин (в широком смысле слова), предлагают сегодня разнообразные технологии добычи природных углеводородов. Соответственно, появилась потребность сравнивать результативность применения вертикальных и горизонтальных скважин [96–100] в

системах разработки.

Дополнительная, значительная степень свободы возникает при обращении разработчиков к проблеме газообразных углеводородов, которые до недавнего времени уничтожались на газовых факелах. Оказывается, газовая компонента приводит к удивительным последствиям, позволяя создавать комбинированные, многофункциональные технологии (см. статью данного выпуска*). Приведем ряд примеров, число которых в ближайшее время будет, безусловно, расти.

При проектировании разработки Копанского газоконденсатнонефтяного месторождения был исследован следующий вариант освоения ресурсов углеводородов [101]. Из пласта извлекается нефть вместе с растворенным и попутными газами. Из добываемого газа отделяется конденсат, а часть осушенного газа сжигается на электростанции с целью получения электроэнергии и выхлопных газов. Выхлопные газы закачиваются в газоконденсатную шапку (сайклинг-процесс) для повышения конденсатоотдачи.

Известно, что сайклинг-процесс является одним из эффективных методов повышения конденсатоотдачи пласта. Однако в нашей стране он не реализован ни на одном газоконденсатном месторождении или газоконденсатной шапке. В то же время авторская технология вертикально-латерального сайклинг-процесса, без уведомления, эффективно реализована на уникальном Карачаганакском месторождении [102].

Одна из причин невостребованности сайклинг-процесса в России состоит в дороговизне консервации запасов сухого газа. В рассматриваемой же технологии часть сухого газа подается потребителю. Другая, сжигаемая, часть обеспечивает получение дешевой электроэнергии и достаточного для сайклинг-процесса количества закачиваемого газа: один кубометр метана при сжигании превращается примерно в 10 кубометров выхлопных газов.

Кроме того, проведенные в последние годы лабораторные эксперименты по фильтрации карбонизированной воды выявили возможность низкотемпературного синтеза водорода и углеводородов [103, 104, 105]. Поэтому закачка диоксида углерода в пласт может способствовать увеличению запасов легких углеводородов.

Сегодня в мире появились значительно более эффективные газовые, комбинированные технологии. Рассмотрим некоторые из них.

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

Технология, созданная Norsk Hydro [106], одновременно решает две важные проблемы:

- охрана окружающей среды в связи с ужесточением норм выброса CO_2 в атмосферу,
- повышение нефтеотдачи залежи высоковязкой нефти за счет закачки CO_2 в пласт.

Эта технология заключается в производстве CO_2 и водорода из природного газа, закачке суперкритического CO_2 в пласт и сжигании водорода с целью получения электроэнергии. Очевидно, что в последнем случае продуктом сгорания является вода. Для получения же CO_2 и H_2 используется паровой реформинг.

Альтернативный подход базируется на использовании мембранной технологии для выделения кислорода из окружающего воздуха. Кислород сжигается на электростанции с целью получения электрической энергии и CO_2 . CO_2 закачивается в пласт для повышения нефтеотдачи [107].

Интерес вызывает также отечественная технология, излагаемая в [108].

При обычном сжигании органического топлива содержание CO_2 в выхлопных газах составляет лишь 7–15%, что снижает их эффективность в процессах вытеснения и поддержания пластового давления. Запатентованная технология Р.Б. Ахмедова позволяет доводить содержание CO_2 в выхлопных газах до 95–100%. В отличие от традиционных способов, в этой технологии при сжигании топлива (с целью получения дешевой электроэнергии) в качестве окислителя применяется не воздух, а смесь кислорода с CO_2 . При этом доля кислорода в смеси примерно такая же, как в воздухе. Этим обеспечивается возможность использования серийно выпускаемого теплоэнергетического оборудования. Приоритетность таких технологий будет возрастать вследствие увеличения доли высоковязких нефтей в общем балансе углеводородов.

Излишне здесь доказывать, сколь важен CO_2 для процессов нефтеизвлечения, в особенности высоковязких нефтей. Это связано с высокой растворимостью CO_2 в таких нефтях, что приводит к значительному снижению вязкости и плотности нефти. Приоритетность таких технологий будет возрастать вследствие увеличения доли высоковязких нефтей в общем балансе и по причине неизбежной, всепланетной необходимости сокращения выбросов CO_2 в атмосферу.

Высоковязкие нефти характеризуются малым содержанием растворенного газа. А их вязкости и плотности можно снижать путем принудительного растворения в них либо

попутного, либо стороннего природного газа, причем за счет использования не нагнетательных, а добывающих скважин [109].

Известно, что газ – плохой вытеснитель, и закачивать его в залежи вязких нефтей с целью вытеснения и поддержания давления не очень эффективно, так как вследствие языкообразования происходит преждевременный прорыв газа к эксплуатационным скважинам. Поэтому, например, добываемый попутный газ целесообразно поочередно закачивать в добывающие скважины. В результате дозированной и контролируемой закачки газа происходит растворение его в пластовой нефти. После этого скважина пускается в эксплуатацию с совершенно иными технико-экономическими показателями добычи нефти. При этом указанный процесс дополняется процессом вытеснения нефти, например, водой.

Важными результатами применения рассматриваемых технологий освоения ресурсов природных углеводородов является сокращение негативных выбросов, повышение нефтеизвлечения и полезное использование газовой компоненты. Не меньшую значимость такие технологии представляют с точки зрения сокращения потребных объемов капиталовложений. Как правило, для превращения добываемых газов в товарные продукты требуется сооружение газоперерабатывающего завода, магистрального газопровода, компрессорных станций и т.д. Однако эти объекты являются весьма дорогостоящими, и требуется немалое время для их сооружения, что приводит к консервации запасов нефти и делает, нередко, проект освоения месторождения нерентабельным. Таким образом, трансформация псевдонегативного фактора – газа – в положительный может значительно повысить эффективность освоения ресурсов природных углеводородов.

С учетом вышесказанного, перспективными объектами в отношении новых комбинированных газовых технологий являются залежи нефти в низкопроницаемых, глинизированных коллекторах. Они зачастую характеризуются высокими давлениями и температурами, малыми вязкостями нефти и высокими газовыми факторами. Нетрадиционные газовые технологии здесь способны дать значительные положительные результаты. Применение же заводнения для таких коллекторов создает массу проблем, которые требуется регулярно преодолевать по нескольким направлениям [110].

Осознание важности газовой компоненты, создание специализированных многозабойных скважинных систем позволяет одновременно «вынужденно» достигать

ряда положительных эффектов при разработке нефтегазоконденсатных и газоконденсатнонефтяных месторождений [7, 111]. Так, данная технология

- сокращает затраты на сооружение скважин вследствие совмещения процессов закачки газа и воды в нагнетательных скважинах и совместного отбора газа, нефти, конденсата и воды в эксплуатационных скважинах,

- «вынужденно» и без бурения специальных скважин повышает конденсатоизвлечение из газоконденсатной шапки в результате реализации «медленного» сайклинг-процесса,

- обеспечивает добычу жидких флюидов в режиме фонтанной эксплуатации.

Интересны также подходы, базирующиеся на закачке агентов на основе структурированной воды. Требуется широкое опробование данных способов на промысле.

Думается, что приведенные примеры с разных сторон отражают суть нарождающихся smart-технологий. Как уже было сказано, число их будет увеличиваться во времени, ибо появился новый, все более ужесточающийся прессинг – охрана окружающей среды.

Нетрадиционные методы разведки, контроля и регулирования разработки

В настоящее время возрастает число и значимость людей с экстрасенсорными способностями. Сегодня эта «ненаучная» тема затрагивает все большие стороны человеческой деятельности. К сожалению, значительное число нечистоплотных людей дискредитирует этот важнейший фактор научно-технической революции во всех областях, в том числе и в нефтегазовых отраслях промышленности.

Важной для нас является, в частности, способность отдельных личностей к ясновидению. Научные исследования с неоспоримостью показали, что ясновидящие могут успешно решать задачи поисков и разведки месторождений полезных ископаемых, включая нефть и газ [112]. Для них теряют значение такие факторы, как расстояние до объекта исследования, глубина залегания залежей нефти и газа. Данный вид деятельности отличается высокой результативностью и экономической эффективностью. Так, методология ясновидения помогла бы сэкономить отдельным компаниям сотни миллионов долларов, например, при освоении ресурсов Каспийского шельфа. Фундаментальную роль ясновидение может сыграть в разрешении проблемы негерметичности скважин.

Следует организовать экстрасенсорный мониторинг и регулирование процессов, протекающих в пластах при добыче природных углеводородов. Необходимо выявлять, обучать людей с экстрасенсорными способностями и привлекать их к решению злободневных проблем освоения ресурсов природных углеводородов.

Революционные преобразования в нефтегазовом секторе должны осуществляться как за счет внутриотраслевых исследований, так и путем использования нетрадиционных подходов в фундаментальных и смежных науках.

Наука. Образование. Кадры

Сегодня нефтегазовая наука и образование находятся в плачевном состоянии. Без их возрождения отечественные нефтегазовые отрасли промышленности обречены на жалкое существование. Среди основных проблем можно выделить недостаточную квалификацию специалистов, невостребованность отечественных идей, патентов, ноу-хау, равнодушие российского бизнеса к инновациям. Так, из-за низкой квалификации специалистов «загублено» около 2 млрд долларов на приобретение и освоение импортного оборудования для Астраханского газоперерабатывающего комплекса. Таких примеров немало.

Совершенно уникальными могут и должны стать отечественные ноу-хау в науке и образовании, излагаемые в [3, 113]. Пора отрешиться от Постулата: «этого не может быть потому, что не может быть никогда!».

Вследствие того, что академические, отраслевые НИИ и вузы были отпущены в «свободное плавание», нефтегазовые науки все больше отстают в своем развитии от мировых держав. Число научных работников в нефтегазовой сфере резко сократилось. При этом наши невостребованные таланты успешно помогают различным зарубежным компаниям в их процветании. Как следствие – практически потеряло смысл положение о необходимости научного сопровождения процессов разработки месторождений нефти и газа. Нефтегазовые компании заблуждаются, считая, что НИИ нужны лишь для составления проектных документов. Результаты постоянных и целенаправленных фундаментальных и прикладных исследований являются важной исходной информацией для составления проектных документов.

Авторы настоящей статьи убеждены, что проект разработки месторождения должен быть поистине «произведением искусства», творением Мастера, именным, как проекты уникальных зданий и сооружений. Подходя таким образом, мы в XXI веке вправе

желать и требовать, чтобы проектные документы были красивыми по своей идейной сущности. При этом каждый из них привносит крупницы нового, ноу-хау, патентную новизну. Проекты и сама разработка должны осуществляться чистыми руками и людьми с любящими Мир сердцами [114]. Созидательная, позитивная мыслетворческая деятельность чрезвычайно важна для окружающего Мира, что сторицей оборачивается благодатью для каждого из нас и человечества в целом [115].

Важную роль в революционных преобразованиях играет ЦКР. Однако сегодня эта организация представляет собой согласительную комиссию, в ее составе нет ученых Российской академии наук! Так или иначе, ЦКР должна превратиться в орган Государственной экспертизы, чтобы поставить наши Недра под объективный и эффективный контроль.

Рассматриваемые преобразования, как никогда, нуждаются в квалифицированных кадрах. В настоящее время в стране в разработке находится свыше 1000 месторождений нефти и газа. За каждым из них требуется квалифицированный пригляд на уровне кандидата или доктора наук. Соответственно, минимальная потребность в таких специалистах экспертно оценивается в 1000 человек. К сожалению, столько кандидатов и докторов наук в короткие сроки подготовить невозможно, да и научных школ почти не осталось.

Поскольку отечественные вузы сегодня не способны к подготовке специалистов на современном уровне, можно организовать, например, платную годичную переподготовку инженеров-разработчиков в инженеров-исследователей под эгидой Минэнерго. Для этого следует собрать оставшиеся «еще дышащие» научные кадры со всей страны.

Следует заметить, что авторы давно создали для реализации в отечественном нефтегазовом недропользовании до сих пор невостребованные

- критерий рациональности разработки месторождений нефти и газа,
- клятву разработчиков месторождений нефти и газа, начиная с выпускников вузов.

Выводы

Ситуация с нефтяной и газовой отраслями в стране и на мировом рынке энергоресурсов резко обострилась в последние годы. Исходя из этого главным принципом деятельности нефтегазовых компаний должна стать опора на науку. Ибо наука сегодня, нефтегазовая в том числе, превратилась в мощную производительную силу.

Зарубежные специалисты полагают, что создание и внедрение только smart wells позволит нефтеизвлечению приблизиться к 100% [116]. Это, конечно, здоровый оптимизм, хотя на ряде разрабатываемых крупных месторождений за рубежом предел КИН в 60% уже запланировано достичь и превзойти. Представленная же в настоящей статье совокупность составляющих нефтегазовых технологий следующего века делает КИНовские мечты более реалистичными. Гете сказал: «Надо мечтать о громадном, чтобы сделать просто большое дело». Очевидно, что одной мечты недостаточно, всегда требуется немалый труд для превращения ее в реальность.

Ростки нового пробилась, прорастают. Найдется ли радетьель, садовник? Ибо любые прекрасные побеги погибают, например, от засухи.

Представляется целесообразным создание отечественной программы «Нефтегазовые технологии XXI века». России необходимо иметь мощный научно-технический потенциал, и не в последнюю очередь – в нефтегазовых отраслях промышленности. Повсеместная зависимость нефтяников и газовиков от зарубежных техники, технологий и программных продуктов стратегически не отвечает интересам Родины, отечественных ученых и производителей. Одно маленькое эмбарго может поставить нас на колени.

Ситуация в нефтегазовом недропользовании такая, что авторы предлагают ввести мораторий на добычу нефти и газа в Арктике. Что касается интеллектуальных месторождений, в их реалистичном понимании, то это пока не близкая реальность.

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).

ЛИТЕРАТУРА

1. Закиров С.Н., Закиров Э.С., Индрупский И.М., Аникеев Д.П. Негерметичность скважин – путь к экологической катастрофе // Бурение и нефть. 2016. № 1. С. 60–62.
2. Закиров С.Н., Закиров Э.С., Индрупский И.М., Аникеев Д.П., Лобанова О.А. Остережения от глобальной экологической катастрофы // Энергия: экономика, техника, экология. 2016. № 7. С. 36–41.
3. Закиров С.Н., Закиров Э.С., Индрупский И.М. Глобальные проблемы

человечества и пути их преодоления. М.: Лысенко А.Д., 2017. 155 с.

4. *Закиров С.Н.* Разработка газовых месторождений // Газовая пром-сть. 1998. № 2. С. 35–37.

5. *Закиров С.Н., Закиров Э.С., Индрупский И.М., Аникеев Д.П.* Некоторые проблемы нефтегазового образования // Инновации в разведке и разработке нефтяных и газовых месторождений: Материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 100-летию со дня рождения В.Д. Шашина. Казань, 2016. С. 30–34.

6. *Young T.* Reservoir management in the future // SPE Review. 1997. September. P. 12–16.

7. *Закиров С.Н.* Разработка газовых, газоконденсатных и нефтегазоконденсатных месторождений. М.: Внешторгиздат, 1998. 628 с.

8. *Закиров Э.С., Роцин А.А., Закиров С.Н.* RU 2330156C1. Способ разработки нефтяной залежи многозабойными скважинами. № 2006137425/03; Заявл. 24.10.2006; Опубл. 27.07.2008 // Изобретения. Полезные модели. 2008. Бюл. № 21. – Режим доступа: <http://www1.fips.ru>

9. *Veil J.A., Langhus B.G., Belieu S.* DOWS reduce produced water disposal costs // OGI. 1999. 22 March.

10. *Davies J.* Dual ESP production/injection well at Wytch Farm // SPE Review. 1997. December. P. 16–19.

11. *Ибатуллин Р.Х., Абдрахманов Г.С., Хамизьянов Н.Х., Зайнуллин А.Г., Филиппов В.П., Загидуллин Р.Б., Тимиров А.С.* Крепление зон обвалов профильными перекрывателями при строительстве скважин // Нефть. хоз-во. 1998. № 7. С. 10–12.

12. *Tobias S.* From G&G to S&S: watershed changes in exploration-development work flow // OGI. 1998. 30 November. P. 36–47.

13. *Закиров Э.С.* Upscaling в 3D компьютерном моделировании. М.: ЗАО «Книга и Бизнес», 2007. 344 с.

14. *Закиров С.Н., Индрупский И.М., Закиров Э.С., Аникеев Д.П.* Последствия перехода на концепцию эффективного порового пространства // Нефть. хоз-во. 2008. № 6. С. 105–107.

15. *Закиров С.Н., Закиров Э.С., Индрупский И.М., Аникеев Д.П.* Новая концепция эффективного порового пространства и ее приложения к повышению эффективности разработки газоконденсатных залежей, залежей высоковязкой нефти и нефтяных оторочек

[Электронный ресурс] // Георесурсы, геознергетика, геополитика: Электрон. науч. журн. 2012. № 2(6). 15 с. – Режим доступа: <http://www.oilgasjournal.ru> (Дата обращения 20.09.2018).

16. *Закиров С.Н., Закиров Э.С., Индрупский И.М., Аникеев Д.П., Лобанова О.А., Муслимов Р.Х., Кимельман С.А.* Критерии эффективности и рациональности в нефтегазовом недропользовании (в порядке обсуждения) // Нефт. хоз-во. 2016. № 3. С. 74–77.

17. *Абасов М.Т., Закиров Э.С., Мамедов Э.А.* Переформирование запасов в истощенных залежах нефти // Геология, геофизика и разраб. нефт. и газовых месторождений. 2007. № 5. С. 28–30.

18. *Закиров С.Н., Индрупский И.М., Смоляк С.А., Розман М.С., Закиров Э.С., Аникеев Д.П.* К проблеме экономической оценки извлекаемых запасов углеводородного сырья // Недропользование XXI век. 2015. № 4(54). С. 112–121.

19. *Закиров Э.С., Мамедов Э.А.* Расформирование залежей нефти и газа при техногенных воздействиях // Нефт. хоз-во. 2006. № 11. С. 74–76.

20. *Мамедов Э.А., Ахметзянов А.В., Сальников А.М., Закиров Э.С.* Новый подход к моделированию залежей нефти и газа с наклонными флюидальными контактами // Нефтепромысловое дело. 2016. № 2. С. 35–44.

21. *Закиров С.Н., Закиров Э.С., Индрупский И.М.* О физике и петрофизике пластовых процессов // Теория и практика применения методов увеличения нефтеотдачи пластов: Тез. докл. VI Междунар. науч. симпозиума. М., 2017. С. 40–41.

22. *Закиров С.Н., Индрупский И.М., Закиров Э.С., Фахретдинов Р.Н., Кирсанов Н.Н.* Назревшие проблемы подсчета запасов, 3D компьютерного моделирования и разработки месторождений нефти и газа // Нефт. хоз-во. 2007. № 12. С. 32–36.

23. *Закиров С.Н., Закиров Э.С., Индрупский И.М., Абасов М.Т., Фахретдинов Р.Н., Ипатов А.И., Кирсанов Н.Н.* Проблемы подсчета запасов, разработки и 3D компьютерного моделирования // Нефт. хоз-во. 2007. № 5. С. 66–70.

24. *Булейко В.М., Воронов В.П., Закиров С.Н., Закиров Э.С., Индрупский И.М.* Закономерности поведения углеводородных систем залежей нефти и газа // Доклады АН. 2007. Т. 414, № 6. С. 788–792.

25. *Закиров С.Н., Индрупский И.М., Закиров Э.С., Аникеев Д.П.* Еще раз о концепции ЭПП // Нефт. хоз-во. 2009. № 5. С. 76–80.

26. Закиров С.Н., Закиров Э.С., Индрупский И.М. О регламентирующих документах в нефтегазовом недропользовании // Нефт. хоз-во. 2016. № 10. С. 6–9.
27. Закиров С.Н., Муслимов Р.Х., Индрупский И.М., Закиров Э.С., Смоляк С.А., Розман М.С., Волков Ю.А., Аникеев Д.П., Дубровский Д.А., Баганова М.Н., Цаган-Манджиев Т.Н. Проблемы новой классификации запасов и нефтегазового недропользования // Нефтегазовая вертикаль. 2015. № 22. С. 69.
28. Закиров С.Н., Закиров Э.С., Индрупский И.М. Инновации в разработке месторождений нефти и газа // Вест. РАН. 2012. Т. 82, № 5. С. 425.
29. Закиров С.Н., Индрупский И.М., Закиров Э.С., Аникеев Д.П., Баганова М.Н. Системный подход в нефтегазовой науке. Проблемы и решения [Электронный ресурс] // Георесурсы, геоэнергетика, геополитика: Электрон. науч. журн. 2010. № 1(1). 13 с. – Режим доступа: <http://www.oilgasjournal.ru> (Дата обращения 20.09.2018).
30. Закиров С.Н., Закиров Э.С., Индрупский И.М., Аникеев Д.П., Баганова М.Н. О коэффициентах нефте-, газо-, конденсатоотдачи // Георесурсы. 2015. № 3. С. 24–30.
31. Закиров С.Н., Индрупский И.М., Закиров Э.С., Аникеев Д.П. Нереализованные резервы в нефтегазовом недропользовании Отчизны // Георесурсы. 2015. № 1. С. 33–38.
32. Блинова Е.Ю., Индрупский И.М., Закиров Э.С., Коваленко К.В. Учет неоднородности сжимаемости коллектора при построении гидродинамических моделей продуктивных пластов // Геология, геофизика и разраб. нефт. и газовых месторождений. 2012. № 12. С. 32–35.
33. Закиров С.Н., Индрупский И.М., Закиров Э.С., Аникеев Д.П., Закиров И.С. Концепции эффективного порового пространства и их роль в подсчете запасов углеводородов // Каротажник. 2011. № 7. С. 118–125.
34. Закиров С.Н., Индрупский И.М., Закиров Э.С., Аникеев Д.П. Структуризация и методология подсчета запасов нефти и газа (в порядке обсуждения) // Нефт. хоз-во. 2010. № 6. С. 26–29.
35. Закиров С.Н., Индрупский И.М., Закиров Э.С., Николаев В.А., Закиров И.С., Аникеев Д.П. Современные основы теории и практики разработки месторождений нефти и газа. Ч. 1 [Электронный ресурс] // Георесурсы, геоэнергетика, геополитика: Электрон. науч. журн. 2010. № 2(2). 28 с. – Режим доступа: <http://www.oilgasjournal.ru> (Дата обращения 20.09.2018).

36. Николаев В.А., Закиров С.Н., Закиров Э.С. Новые представления о коэффициенте вытеснения вязких нефтей на основе лабораторных экспериментов // Докл. АН. 2011. Т. 436, № 1. С. 69–71.

37. Закиров С.Н., Индрупский И.М., Закиров Э.С., Аникеев Д.П., Баганова М.Н. К достоверному подсчету запасов углеводородов и построению 3D моделей пластов // Нефть. хоз-во. 2010. № 3. С. 42–47.

38. Закиров С.Н., Закиров Э.С., Муслимов Р.Х., Индрупский И.М., Смоляк С.А., Розман М.С., Волков Ю.А., Аникеев Д.П., Дубровский Д.А., Баганова М.Н., Цаган-Манджиев Т.Н. Болевые проблемы нефтегазового недропользования // Особенности разведки и разработки месторождений нетрадиционных углеводородов: Материалы Междунар. науч.-практ. конф. Казань, 2015. С. 4–8.

39. Закиров С.Н., Индрупский И.М., Закиров Э.С. О целесообразности перехода к концепции эффективного порового пространства в математических моделях многофазной фильтрации // Автоматизация, телемеханизация и связь в нефт. пром-сти. 2011. № 6. С. 41–44.

40. Закиров С.Н., Индрупский И.М., Рощина И.В., Закиров Э.С., Аникеев Д.П. Новая технология вертикально-латерального сайклинг-процесса с использованием горизонтальных скважин [Электронный ресурс] // Георесурсы, геоэнергетика, геополитика: Электрон. науч. журн. 2010. № 1(1). 10 с. – Режим доступа: <http://www.oilgasjournal.ru> (Дата обращения 20.09.2018).

41. Закиров С.Н., Николаев В.А., Закиров Э.С., Индрупский И.М., Рассохин А.С. Нетрадиционные результаты экспериментов по вытеснению вязких нефтей различными рабочими агентами и их обработка [Электронный ресурс] // Георесурсы, геоэнергетика, геополитика: Электрон. науч. журн. 2010. № 2(2). 31 с. – Режим доступа: <http://www.oilgasjournal.ru> (Дата обращения 20.09.2018).

42. Закиров С.Н., Индрупский И.М., Закиров Э.С., Николаев В.А., Закиров И.С., Аникеев Д.П. Современные основы теории и практики разработки месторождений нефти и газа. Ч. 2 [Электронный ресурс] // Георесурсы, геоэнергетика, геополитика: Электрон. науч. журн. 2010. № 2(2). 22 с. – Режим доступа: <http://www.oilgasjournal.ru> (Дата обращения 20.09.2018).

43. Баренбаум А.А., Закиров С.Н., Закиров Э.С., Индрупский И.М., Лукманов А.Р. Интенсификация притока глубинных углеводородов // Докл. АН. 2006. Т. 406, № 2. С. 221–224.

44. *Закиров С.Н., Джафаров И.С., Басков В.Н., Баганова М.Н., Закиров Э.С., Юльметьев Т.И.* Обоснование технологии доразработки месторождения с резко неоднородными коллекторами (на примере Талинского месторождения). М.: Изд. дом «Грааль», 2001. 98 с.

45. *Закиров С.Н., Огнев А.А., Закиров Э.С., Петин В.Ф., Басарыгин Ю.М., Будников В.Ф., Кондрат Р.М.* Технология увеличения газоотдачи и утилизации пластовой воды // Наука и технология углеводородов. 1999. № 2. С. 12.

46. *Булаев В.В., Закиров С.Н., Закиров Э.С.* Освоение ресурсов газонефтяной залежи с высоковязкой нефтью // Доклады АН. 2006. Т. 407, № 3. С. 360–362.

47. *Zakirov S., Yulmetjev T., Zakirov E.* Enhanced oil recovery from oil fields with bottom water // Proceedings of the European Petroleum Conference (EUROPEC). Paris, France, 2000. P. 211–218.

48. *Брусиловский А.И., Закиров С.Н., Чернов Ю.Я., Никулин Б.В., Закиров Э.С.* Оценка дренируемых запасов углеводородов // Фундаментальный базис новых технологий нефтяной и газовой промышленности: Сб. ст. М.: Наука, 2000. С. 237–245.

49. *Закиров С.Н., Назаров У.С., Закиров Э.С., Огнев А., Курязов Э.К.* О вторичной добыче конденсата на месторождении Кокдумалак на основе заводнения пласта // Узб. журн. нефти и газа. 2000. № 2. С. 32–36.

50. *Закиров С.Н., Огнев А.А., Закиров Э.С.* Новые тенденции в подземном хранении газа // Наука и технология углеводородов. 1999. № 5. С. 15–20.

51. *Закиров Э.С., Юльметьев Т.И.* Относительно риска разработки тонких водонефтяных зон горизонтальными скважинами // Геология, геофизика и разраб. нефт. и газовых месторождений. 1997. № 12. С. 7–11.

52. *Закиров С.Н., Закиров Э.С., Фомин Е.Л.* Влияние угла залегания продуктивных отложений на показатели разработки нефтяной залежи // Газовая пром-сть. 2010. № 1. С. 33–36.

53. *Булаев В.В., Закиров С.Н., Закиров Э.С.* Возможность разработки залежи высоковязкой нефти на основе заводнения // Докл. АН. 2006. Т. 407, № 2. С. 208–211.

54. *Закиров С.Н., Закиров И.С., Закиров Э.С., Северинов Э.В., Спиридонов А.В., Шайхутдинов И.К.* Пат. RU 2215128 С1. Способ разработки нефтяного месторождения с неоднородными коллекторами и трудноизвлекаемыми запасами нефти. № 2002126244/03; Заявл. 03.10.2002; Оpubл. 27.10.2003 // Изобретения. Полезные модели. 2003. Бюл. № 30. –

Режим доступа: <http://www1.fips.ru>

55. *Закиров И.С., Закиров С.Н., Закиров Э.С.* Пат. RU 2208140 С1. Способ разработки залежи нефти с низкопроницаемыми коллекторами. № 2002121805/03; Заявл. 15.08.2002; Оpubл. 10.07.2003 // Изобретения. Полезные модели. 2003. Бюл. № 19. – Режим доступа: <http://www1.fips.ru>

56. *Закиров С.Н., Булаев В.В., Закиров Э.С.* Пат. RU 2297524 С2. Способ разработки залежи высоковязкой нефти. № 2005117051/03; Заявл. 03.06.2005; Оpubл. 20.04.2007 // Изобретения. Полезные модели. 2007. Бюл. № 11. – Режим доступа: <http://www1.fips.ru>

57. *Закиров С.Н., Крылов В.А., Закиров Э.С., Будников В.Ф., Петин В.Ф., Басарыгин Ю.М., Аристов В.А.* Пат. RU 2158820 С1. Способ разработки нефтегазовых месторождений. № 99117992/03; Заявл. 18.08.1999; Оpubл. 10.11.2000 // Изобретения. Полезные модели. 2000. Бюл. № 31. – Режим доступа: <http://www1.fips.ru>

58. *Закиров С.Н., Закиров Э.С., Огнев А.А., Петин В.Ф., Макаренко П.П., Будников В.Ф., Кондрат Р.М.* Пат. RU 2126883 С1. Способ разработки месторождений природных газов с неоднородными коллекторами. № 98106395/03; Заявл. 14.04.1998; Оpubл. 27.02.1999 // Изобретения. Полезные модели. 1999. – Режим доступа: <http://www1.fips.ru>

59. *Закиров С.Н., Булаев В.В., Закиров Э.С.* Пат. RU 2295634 С2. Способ разработки газонефтяной залежи с высоковязкой нефтью. № 2005118663/03; Заявл. 16.06.2005; Оpubл. 20.03.2007 // Изобретения. Полезные модели. 2007. Бюл. № 8. – Режим доступа: <http://www1.fips.ru>

60. *Закиров С.Н., Закиров Э.С., Шелемей С.В., Иванов В.В., Долгушин Н.В., Гурленов Е.М., Назаров А.В., Петров Г.В.* RU 2328591 С2. Способ увеличения коэффициента извлечения конденсата. № 2006127175/03; Заявл. 27.07.2006; Оpubл. 10.07.2008 // Изобретения. Полезные модели. 2008. Бюл. № 19. – Режим доступа: <http://www1.fips.ru>

61. *Закиров С.Н., Закиров Э.С., Баганова М.Н.* RU 2313660С2. Способ проведения опытно-промышленной разработки нефтяного месторождения. № 2005137741/03; Заявл. 06.12.2005; Оpubл. 27.12.2007 // Изобретения. Полезные модели. 2007. Бюл. № 36. – Режим доступа: <http://www1.fips.ru>

62. *Закиров С.Н., Закиров Э.С.* RU 2109930С1. Способ разработки газовых месторождений континентального шельфа. № 96101730/03; Заявл. 05.02.1996; Оpubл.

27.04.1998 // Изобретения. Полезные модели. 1998. – Режим доступа: <http://www1.fips.ru>

63. *Дмитриевский А.Н., Закиров С.Н., Закиров Э.С., Индрупский И.М., Закиров И.С., Анিকেев Д.П., Ибатуллин Р.Р., Якубсон К.И.* RU 2513963С1. Способ разработки залежи нефти в отложениях бажендовской свиты. № 2012142692/03; Заявл. 08.10.2012; Оpubл. 20.04.2014 // Изобретения. Полезные модели. 2014. Бюл. № 11. – Режим доступа: <http://www1.fips.ru>

64. *Закиров Э.С., Закиров С.Н., Индрупский И.М.* RU 2342523С2. Способ реализации вертикального заводнения нефтяной залежи. № 2007104999/03; Заявл. 09.02.2007; Оpubл. 27.12.2008 // Изобретения. Полезные модели. 2008. Бюл. № 36. – Режим доступа: <http://www1.fips.ru>

65. *Закиров С.Н., Закиров Э.С.* RU 2264533С2. Способ разработки залежи нефти в карбонатном или терригенном пласте с развитой макротрещиноватостью. № 2004100326/03; Заявл. 13.01.2004; Оpubл. 20.11.2005 // Изобретения. Полезные модели. 2005. Бюл. № 32. – Режим доступа: <http://www1.fips.ru>

66. *Закиров С.Н., Закиров Э.С.* Нефтегазовые технологии XXI века // Наука и технология углеводородов. 1999. № 2. С. 3–9.

67. *Резванов Р.А., Закиров С.Н.* Геофизические исследования скважин и информационное обеспечение проектов разработки месторождений углеводородов // Нефт. хоз-во. 1998. № 12. С. 30–32.

68. *Закиров С.Н., Закиров Э.С.* Пат. RU 2258137 С1. Способ исследования и интерпретации результатов исследований скважины, вскрывшей нефтегазовую залежь. № 2004119525/03; Заявл. 29.06.2004; Оpubл. 10.08.2005 // Изобретения. Полезные модели. 2005. Бюл. № 22. – Режим доступа: <http://www1.fips.ru>

69. *Закиров С.Н., Закиров Э.С., Индрупский И.М., Анিকেев Д.П.* Пат. RU 2213864 С2. Способ исследования и интерпретации результатов исследований скважин и пластов. № 2001132910/03; Заявл. 06.12.2001; Оpubл. 10.10.2003 // Изобретения. Полезные модели. 2005. Бюл. № 28. – Режим доступа: <http://www1.fips.ru>

70. *Цаган-Манджиев Т.Н., Индрупский И.М., Закиров Э.С., Анিকেев Д.П.* Пат. RU 2407889 С1. Способ определения анизотропии проницаемости пласта в лабораторных условиях. № 2009129554/03; Заявл. 03.08.2009; Оpubл. 27.12.2010 // Изобретения. Полезные модели. 2010. Бюл. № 36. – Режим доступа: <http://www1.fips.ru>

71. Закиров С.Н., Закиров Э.С., Индрупский И.М., Левченко В.С., Брадулина О.В., Цаган-Манджиев Т.Н. Вертикальное и 3D гидропрослушивание продуктивных пластов // Новые технологии освоения и разработки трудноизвлекаемых запасов нефти и газа и повышения нефтегазоотдачи: Сб. тр. VII Междунар. технологич. симпозиума. М., 2008. С. 49–63.

72. Индрупский И.М., Закиров Э.С., Аникеев Д.П., Ипатов А.И., Фахретдинов Р.Н., Гуляев Д.Н., Клочан И.П. Определение относительных фазовых проницаемостей в скважинных условиях // Нефт. хоз-во. 2008. № 5. С. 38–42.

73. Закиров Э.С., Тарасов А.И., Индрупский И.М. Новый подход к исследованию газовых скважин и интерпретации получаемых результатов // Газовая пром-сть. 2003. № 9. С. 61–63.

74. Закиров Э.С., Индрупский И.М., Васильев И.В., Аникеев Д.П., Цаган-Манджиев Т.Н., Родионов А.Е., Лачугин Д.С., Афанасьев В.С., Афанасьев С.В., Антонович А.А. Проведение комплексных исследований по оценке относительных фазовых проницаемостей для нефти и воды и коэффициента вытеснения в условиях аномально низкой приемистости пласта (часть 1) // Нефт. хоз-во. 2016. № 9. С. 56–60.

75. Zakirov S.N., Indrupskiy I.M., Zakirov E.S., Anikeev D.P., Tsagan-Mandjiev T.N., Vasiliev I.V., Severinov E.V., Gaidukov L.A., Rodionov A.E., Lachugin D.S. Well test for in-situ determination of oil and water relative permeabilities // Society of Petroleum Engineers SPE Russian Oil and Gas Exploration and Production Technical Conference and Exhibition. S.I. 2012. P. 1861–1877.

76. Закиров С.Н., Закиров Э.С., Мамедов З.Т. К достоверной интерпретации результатов гидродинамических исследований скважин // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2010. № 10. С. 33–37.

77. Закиров И.С. Уточнение модели пласта по фактическим данным разработки месторождения // Геология нефти и газа. 1997. № 11. С. 43–48.

78. Закиров Э.С. Трехмерные многофазные задачи прогнозирования, анализа и регулирования разработки месторождений нефти и газа. М.: Изд. дом «Грааль», 2001. 303 с.

79. Закиров С.Н., Колбиков С.В., Палатник Б.М. Комплексные адаптирующиеся геолого-промысловые математические модели разработки газовых месторождений // Тр. МИНГ им. И.М. Губкина. М., 1989. Вып. 214. С. 85–98.

80. *Zakirov I., Zakirov E.* Aquifer configuration estimation through inverse problem solution. // Paper SPE 51926 prepared for presentation at the 15th Reservoir Simulation Symposium. Houston, Texas, USA, 14–17 February 1999. 2 p.

81. *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 4th European Conference on the Mathematics of Oil Recovery. Roros, Norway, 7–10 June 1994. 10 p.

82. *Закиров Э.С.* Идентификация размеров и конфигурации водоносного пласта по данным разработки залежи нефти или газа // Наука и технология углеводородов. 2001. № 2. С. 71.

83. *Закиров И.С., Hauenherm W., Закиров Э.С., Zipper H.* History matching подземного хранилища Lauchstaedt // Газовая пром-сть. 1997. № 10. С. 50–53.

84. *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.

85. *Zakirov E.S., Indrupskiy I.M., Lubimova O.V., Shiriaev I.M.* Geostatistically-consistent history matching // Proceedings of ECMOR XIV – 14th European Conference on the Mathematics of Oil Recovery. Catania, Italy, 8–11 September 2014. Vol. 2. P. 902–915.

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

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

88. *Закиров Э.С., Закиров С.Н., Индрупский И.М., Любимова О.В., Аникеев 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.

89. *Закиров Э.С., Любимова О.В., Индрупский И.М., Аникеев Д.П.* Эффективные алгоритмы уточнения пространственного распределения фаций в задаче автоматизированной адаптации 3D гидродинамической модели пласта // Суперкомпьютерные технологии в нефтегазовой отрасли. Математические методы,

программное и аппаратное обеспечение: Материалы науч.-практ. конф. М., 2017. С. 165–171.

90. *Берцанский Л.М., Кулибанов В.Н., Мееров В.Н., Першин О.Ю.* Управление разработкой нефтяных месторождений. М.: Недра, 1983. 309 с.

91. *Закиров И.С., Закиров Э.С.* Регулирование разработки месторождений природных углеводородов // Газовая пром-сть. 1997. № 7. С. 68–71.

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

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

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

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

96. *Закиров Э.С.* Горизонтальные и вертикальные скважины в системах поддержания пластового давления в слоисто неоднородных коллекторах // Газовая пром-сть. 1996. № 7–8. С. 55–57.

97. *Закиров Э.С.* 3D многофазные фильтрационные задачи для анизотропных коллекторов // Наука и технология углеводородов. 2001. № 1. С. 62.

98. *Zakirov S.N., Zakirov E.S.* Pseudo-horizontal well: alternative to horizontal and vertical wells // Proceedings of the 2nd International Conference on Horizontal Well Technology. Calgary, Alberta, Canada. 1996. P. 433–439.

99. *Закиров Э.С.* Горизонтальные скважины в слоисто-неоднородных коллекторах // Газовая пром-сть. 1996. № 5–6. С. 71–73.

100. *Закиров Э.С.* К эффективной разработке слоисто-неоднородных коллекторов // Геология нефти и газа. 1996. № 9. С. 38–42.

101. *Перепеличенко В.Ф.* Компонентоотдача нефтегазоконденсатных залежей. М.: Недра, 1990. 272 с.

102. *Кусанов Ж.К.* Особенности разработки Карачаганакского месторождения // Нефт. хоз-во. 2011. № 6. С. 100–103.
103. *Семенов А.П., Закиров Э.С., Климов Д.С.* Сравнительные лабораторные исследования процессов геосинтеза на модельных образцах геологических сред // Технологии нефти и газа. 2014. № 4(93). С. 33–37.
104. *Семенов А.П., Закиров Э.С., Климов Д.С.* Взаимодействие сланцевых отложений с карбонизированной водой и диоксидом углерода // Технологии нефти и газа. 2014. № 3(92). С. 47–52.
105. *Barenbaum A.A., Zakirov S.N., Zakirov E.S., Klimov D.S., Serebryakov V.A.* Physical and chemical processes during the carbonated water flooding in the oilfields // SPE Russian Petroleum Technology Conference 2015. Society of Petroleum Engineers. 2015. Vol. 3. P. 2091–2108.
106. CO₂ injection studied for Norwegian field // OGI. 1998. 19 October. P. 85.
107. Aker unveils low-CO₂ natural gas-fired power process // OGI. 1999. 15 March.
108. *Ахмедов Р.Б.* Автономное энергоснабжение нефтяных месторождений с попутным производством CO₂ с целью повышения нефтеотдачи и улучшения экологии // Нефт. хоз-во. 1998. № 9–10, С. 46–48.
109. *Закиров С.Н., Брусилковский А.И., Закиров Э.С., Надирадзе А.Б.* RU 2132937C1. Способ разработки месторождений с нефтями повышенной вязкости. № 98116623/03; Заявл. 09.09.1998; Оpubл. 10.07.1999 // Изобретения. Полезные модели. 1999. – Режим доступа: <http://www1.fips.ru>
110. *Хавкин А.Я., Кашавцев В.Е., Фаткуллин А.А.* Особенности освоения низкопроницаемых глинистых коллекторов нефти в условиях шельфа Вьетнама // Нефт. хоз-во. 1998. № 9–10. С. 21–24.
111. *Закиров С.Н., Закиров Э.С.* Пат. RU 2112868 C1. Способ разработки нефтегазовых залежей. № 97114681/03; Заявл. 08.09.1997; Оpubл. 10.06.1998 // Изобретения. Полезные модели. 1999. – Режим доступа: <http://www1.fips.ru>
112. *Наливкин В.Д., Уваров Л.А.* Возможность использования ясновидения при прогнозировании нефтеносности структур и проектируемых скважин // Геология нефти и газа. 1993. № 4. 6 с.
113. *Закиров С.Н., Закиров Э.С., Индрупский И.М.* Абсолютные истины мироздания и нового миропонимания. М.: Лысенко А.Д., 2018. 270 с.

114. Учение жизни на основе посланий Учителей / Составитель С.Н. Закиров. М., 2000, 247 с.

115. *Закиров С.Н.* Экология окружающего мира // Перспективы развития экологического страхования в газовой промышленности: Сб. ст. ВНИИГАЗа. М.: ГЕОС, 1998. 10 с.

116. *Robinson C.E.* Overcoming the challenges associated with the life-cycle management of multilateral wells: assessing moves towards the «Intelligent completion» // SPE paper prepared for presentation at the Offshore Europe Conference. Aberdeen, United Kingdom. 9–12 September 1997. 8 p.