



УДК 622.279.23/4.001.57

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ОПРОБОВАНИЯ И ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ВЫРАБОТКИ ЗАПАСОВ НЕФТИ В ЛИНЗОВИДНЫХ КОЛЛЕКТОРАХ

RESEARCH OF FEATURES OF APPROBATION AND FOLLOWING OIL RESERVES IN LINZEDIC COLLECTORS

Головин Никита Анатольевич

магистрант,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
beast8068@mail.ru

Малышев Виктор Леонидович

кандидат физико-математических наук, доцент,
доцент кафедры разработка и эксплуатация
газовых и нефтегазоконденсатных месторождений,
Уфимский государственный нефтяной
технический университет
victor.l.malyshev@gmail.com

Аннотация. В рамках данной научной статьи исследуются особенности разработки линзовидной залежи нефти, окруженной «неколлектором». Представлены результаты гидродинамического моделирования по влиянию формы линзы, абсолютной проницаемости окружающего линзу коллектора, проницаемости линзы, технологического режима работы скважины, значения давления насыщения нефти газом на нефтеизвлечение.

Ключевые слова: линзовидный коллектор, забалансовые запасы нефти, нефтеизвлечение, гидродинамическое моделирование.

Golovin Nikita Anatolyevich

Graduate Student,
Ufa State Petroleum Technological University
beast8068@mail.ru

Malyshev Victor Leonidovich

Candidate of Physical
and Mathematical Sciences,
Associate professor,
Associate professor of Department
Development and exploitation
of gas and oil and gas condensate fields,
Ufa State Petroleum Technological University
victor.l.malyshev@gmail.com

Annotation. Within this scientific article features of development of a linszovidny deposit of the oil surrounded with «not collector» are investigated. Results of hydrodynamic modeling on influence of a form of a lens, absolute permeability of the collector surrounding a lens, permeability of a lens, a technological operating mode of the well, value of pressure of saturation of oil by gas on petroextraction are presented.

Keywords: lentiform reservoir, non-commercial oil in place, oil recovery, hydrodynamic modeling.

На современном этапе развития нефтегазовой промышленности повсеместно наблюдается ухудшение структуры запасов углеводородов. Прежде всего данный факт связан с тем, что в разработку вовлекаются месторождения с трудно извлекаемыми запасами, которые характеризуются: аномальными свойствами насыщающих продуктивный пласт флюидов, ультранизкопроницаемыми коллекторами (сланцами), высокой слоистой и зональной неоднородностью фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС) по пласту.

Существует мнение, что большинство залежей углеводородов представлены линзовидными коллекторами. Выбор условия отнесения к тому или иному типу коллектора зависит, прежде всего, от граничных значений ФЕС и значения насыщенности [1]. Вопрос подсчета запасов углеводородов, а также изучение особенностей разработки линзовидных коллекторов на сегодняшний день становится очень важным. Это связано, прежде всего, с неучетом запасов, которые находятся в так называемых «неколлекторах». На самом деле, факт причисления запасов «неколлекторов» к некондиционным могут существенно сказываться на результаты опробования разведочных скважин, и соответственно, последующей разработке линзовидного коллектора. Вопросам разработки линзовидных коллекторов посвящено достаточно большое количество работ [2–5].

В рамках возникшей в начале 21 века и сложившейся на данный момент концепции эффективного порового пространства (ЭПП) принимается, что фильтрационные процессы в пласте происходят лишь в так называемом эффективном поровом объеме. Неэффективный объем пласта при геологическом моделировании, и соответственно, гидродинамическом – не участвует ни в подсчете запасов, ни в проектировании и разработке залежи углеводородов.

В рамках данной научной статьи исследуются особенности разработки линзовидной залежи нефти, окруженной «неколлектором» (ультранизкопроницаемым коллектором). Данная ситуация мо-



жет иметь место как в случае линзы нефти в окружении «неколлектора», так и на месторождениях с высокой неоднородностью ФЕС. Поставлена задача исследования влияния формы линзы, абсолютной проницаемости окружающего линзу коллектора, абсолютной проницаемости линзы, технологического режима работы скважины, значения давления насыщения нефти газом на нефтеизвлечение.

Расчеты проводятся с применением гидродинамического симулятора ROXAR Tempest More [6]. Свойства моделируемого пласта представлены в таблице 1, зависимость свойств флюидов от давления показаны на рисунке 1. В гидродинамической модели на работу скважины были наложены следующие ограничения:

- начальные дебиты нефти скважины 200 м³/сут;
- пласт вскрыт на всю толщину;
- время расчета составляет 50 лет;
- ограничение по забойному давлению не менее 50 атм.

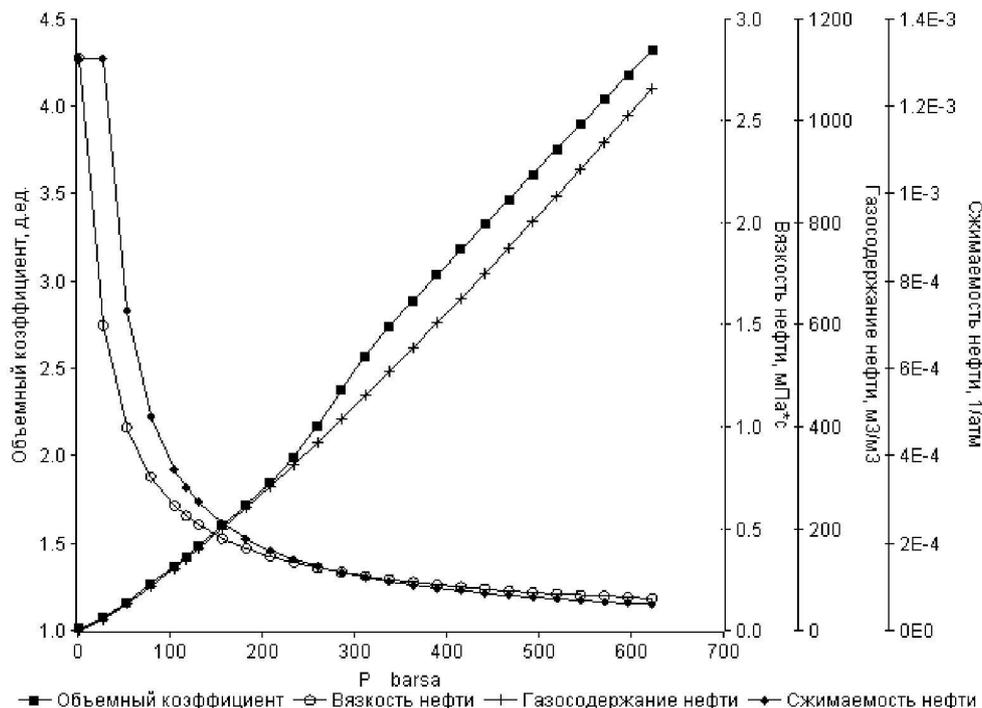


Рисунок 1 – Зависимость свойств нефти от давления

Графики относительных фазовых проницаемостей в системе нефть-вода приведены на рисунке 2.

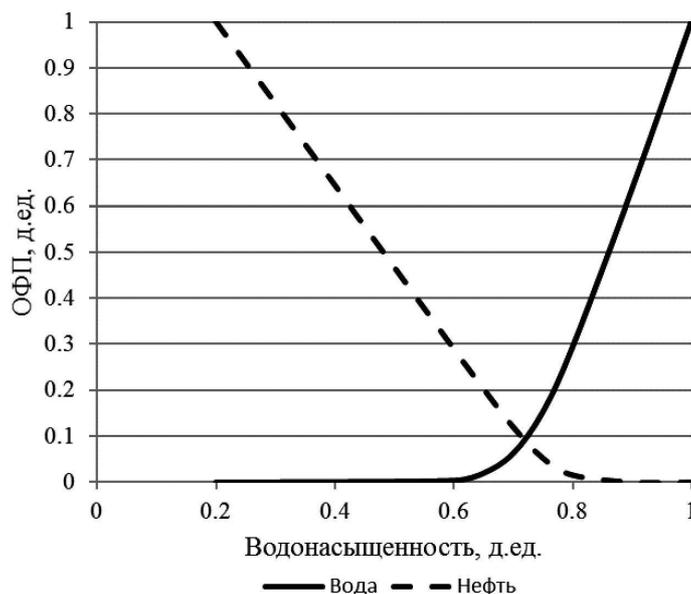


Рисунок 2 – ОФП в системе нефть-вода

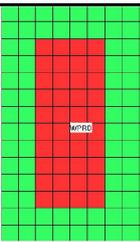
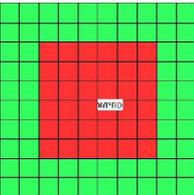
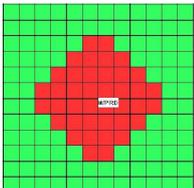


Таблица 1 – Исходные данные для построения гидродинамической модели

Параметр	Значение
Геометрические размеры модельного участка пласта	5000×10000×20 м
Размер сетки модели	50×100×20 ячеек
Характеристика коллектора	Однородный, изотропный
Глубина залегания кровли пласта	2500 м
Водонефтяной контакт	отсутствует
Коэффициент пористости	10 %
Коэффициент начальной нефтенасыщенности (линзы)	0,8 д.ед.
Коэффициент начальной нефтенасыщенности (коллектора)	0,5 д.ед.
Абсолютная проницаемость (линзы)	500 мД
Абсолютная проницаемость (коллектора)	варьируемый параметр
Начальное пластовое давление	250 атм
Давление насыщения нефти газом	150 атм
Сжимаемость породы	$1,5 \times 10^{-4}$ 1/атм
Пластовая температура	313 К
Плотность нефти	800 кг/м ³
Вязкость нефти в пластовых условиях	0,3 мПа·с
Газосодержание нефти	360 м ³ / м ³
Объемный коэффициент нефти	2,192 д.ед.
Плотность воды в пластовых условиях	1100 кг/м ³
Плотность воды в поверхностных условиях	1100 кг/м ³
Вязкость воды в пластовых условиях	0,8 мПа·с
Сжимаемость воды	$3,4 \times 10^{-4}$ 1/атм

В работе рассмотрены различные реализации формы линзы на гидродинамической модели (таблица 2). Стоит отметить, что начальные геологические запасы по всем 3 формам линз одинаковые – 493,45 тыс. м³.

Таблица 2 – Различные формы линзы

Описание	Форма линзы (3D)
Прямоугольная форма	
В форме квадрата	
Ромбовидная (круглая форма)	



Первая группа исследований заключается в анализе влияния проницаемости окружающего линзу нефти пласта. Рассматриваются различные значения абсолютной проницаемости: 0 мД, 0,01 мД, 0,1 мД, 0,5 мД, 1 мД. Расчеты проводятся для 3 рассматриваемых форм линзы. Результаты моделирования представлены на рисунке 3.

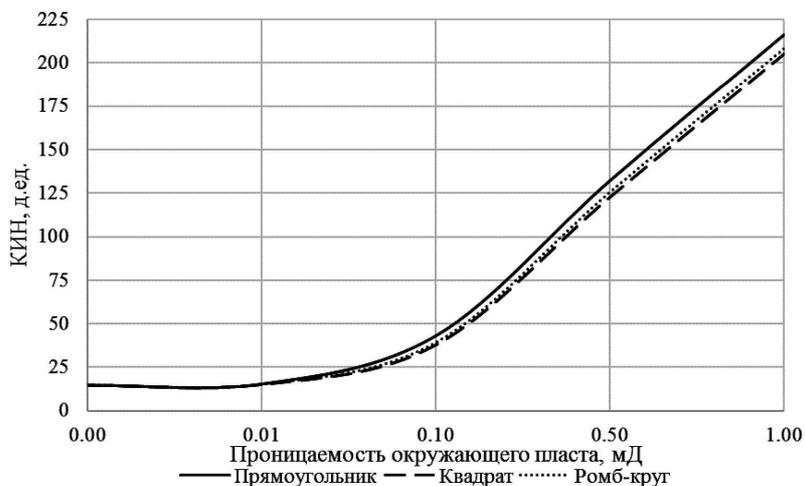


Рисунок 3 – График зависимости КИН от проницаемости окружающего пласта для различных форм линзы нефти

Анализ результатов показывает, что:

- при значении абсолютной проницаемости окружающего пласта до 0,01 мД КИН составляет 15 %; т.е. происходит частичная выработка запасов линзы нефти, которая ограничивается режим падением пластового давления, а также неизбежным выделением растворенного газа из нефти;

- с повышением абсолютной проницаемости до 0,1 мД КИН повышается на 28 % (по сравнению с проницаемостью 0,01 мД практически в 3 раза); данный факт объясняется достаточно большим притоком нефти из-за контура рассматриваемой линзы;

- при достижении проницаемости до 1 мД КИН составляет 215 %;

- необходимо отметить, что в случае прямоугольной (вытянутой) формы линзы КИН в целом выше на 12 % (сравнивая с квадратной формой линзы); связано это с тем, что в условиях абсолютной проницаемости пласта 1 мД начинают влиять размеры области дренирования скважины; в случае прямоугольной формы область дренирования будет из себя представлять эллипс, в случае квадратной формы – окружность;

- очевидно, что в случае не учета так называемых забалансовых запасов нефти (в условиях не-коллектора) за счет низкой проницаемости коллектора (к примеру, ниже 0,1 мД), проектирование разработки будет в целом неверным.

Дополнительно к этому была поставлена задача выяснить, в коллекторах с какой абсолютной проницаемостью эффект от забалансовых запасов будет больше. Для этого проведен отдельный расчет с абсолютной проницаемостью линзы 10 мД (рис. 4).

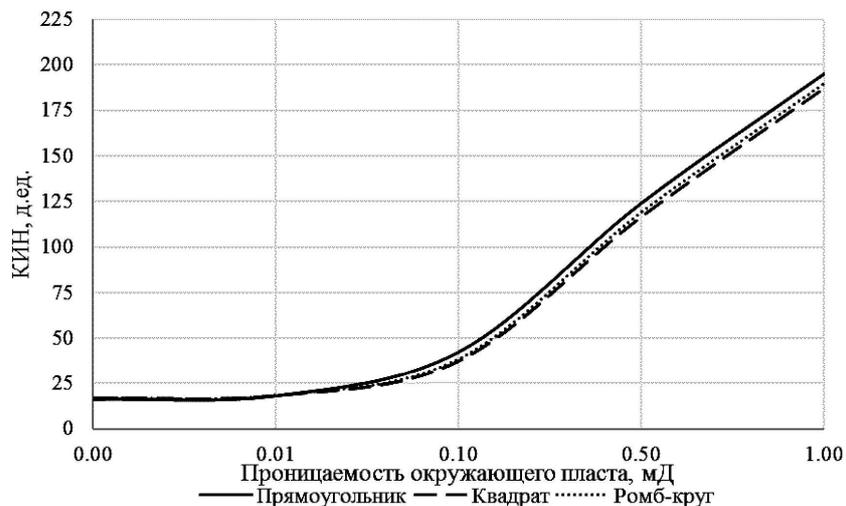


Рисунок 4 – График зависимости КИН от проницаемости окружающего пласта для различных форм линзы нефти при значении проницаемости пласта 10 мД



Из графика, представленного на рисунке 4, видно, что:

– с увеличением абсолютной проницаемости линзы, КИН также возрастает (к примеру при значении проницаемости окружающего пласта 1 мД для прямоугольной формы линзы КИН составляет 217 % против 195 %); причем разница между КИН становится тем больше, чем больше проницаемость окружающего пласта; данный факт связан с тем, что с увеличением проницаемости линзы увеличивается также пьезопроводность, соответственно на всей площади линзы наблюдается более сильная «просадка» пластового давления, и более интенсивное выделение растворенного газа из нефти; это приводит к резкому уменьшению дебита нефти с одновременным увеличением газового фактора;

– в целом можно отметить, что в случае проектирования месторождений, представленных более высокопроницаемыми линзовидными коллекторами, вопрос рассмотрения забалансовых запасов нефти «неколлекторов» становится более существенным.

Следующая группа задач заключается в анализе технологического режима работы скважины, вскрывшей линзу нефти (а именно ограничение на забойное давление). В ходе экспериментов на гидродинамической модели просчитаны 4 варианта забойного давления: 50 атм, 100 атм, 150 атм и 200 атм. Расчеты по влиянию забойного давления проводятся при значении абсолютной проницаемости окружающего линзу коллектора 1 мД для прямоугольной формы линзы. Результаты расчетов объединены в графики динамики КИН и дебитов нефти (рис. 5).

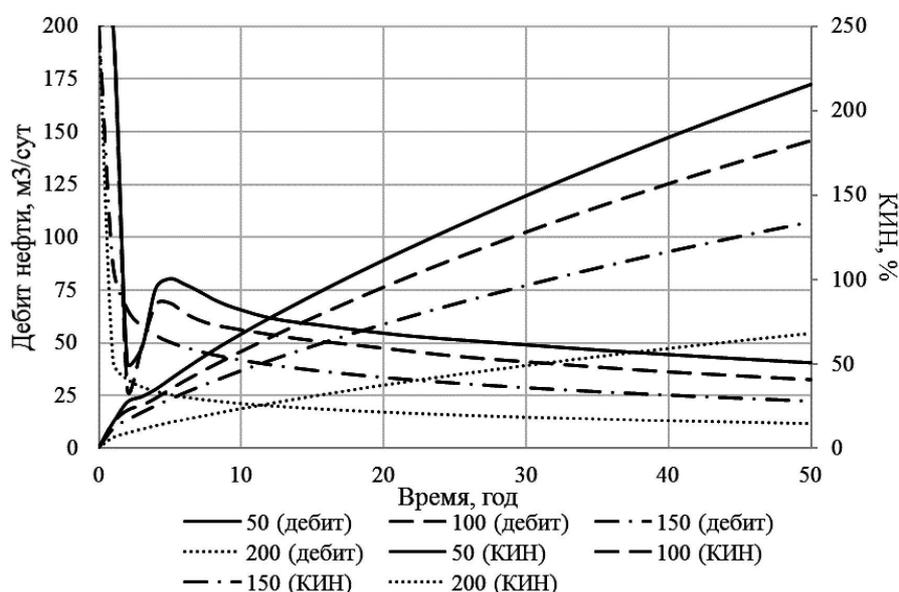


Рисунок 5 – Динамика КИН и дебита нефти при различных забойных давлениях

Как видно из графиков на рисунке 5, технологический режим работы скважины в значительной степени влияет на показатели разработки. Причем наблюдается интересный феномен – при забойном давлении, равном 50 и 100 атм, дебит нефти снижается, и достигая определенного предела, начинает увеличиваться [1]. Данный феномен объясняется тем, что на начальном этапе в пласте происходит резкое снижение пластового давления и разгазирование нефти (соответствующий рост газового фактора можно проследить из рисунка 6), и появляется условие притока запасов нефти «неколлектора» в линзу, т.е. происходит некоторый приток нефти в «укрупненную скважину» (и соответствующее увеличение дебитов нефти).

С выявленным феноменом можно столкнуться, в частности, при осуществлении разведочных работ (при опробовании скважины). При этом может быть допущена достаточно серьезная ошибка. При опробовании скважины бригада, осуществляющая работы, стремится выйти на наибольшие значения дебитов нефти, соответственно этот процесс будет проходить при максимально возможных депрессиях на пласт, вследствие этого дебиты нефти будут намного интенсивнее падать. Очевидно, можно сделать вывод, что пробуренная разведочная скважина вскрыла линзовидный коллектор, запасы нефти из которой практически сразу истощились (наблюдается резкое уменьшение дебитов). Но следует понимать, что в случае окружения линзы «неколлекторами» с проницаемостью, например, 1 мД, к линзе (как к укрупненной скважине) начинает с определенного момента времени притекать достаточно большое количество нефти.

Третья группа задач заключается в анализе влияния значения давления насыщения нефти газом на показатели разработки линзовидного коллектора. Расчеты проводились при значении абсолютной проницаемости окружающего линзу коллектора 1 мД для линзы прямоугольной формы. Рас-



смотрены 5 значений давления насыщения нефти газом: 60 атм, 90 атм, 120 атм, 150 атм и 180 атм. Результаты объединены в графики динамики газового фактора и КИН (рис. 6).

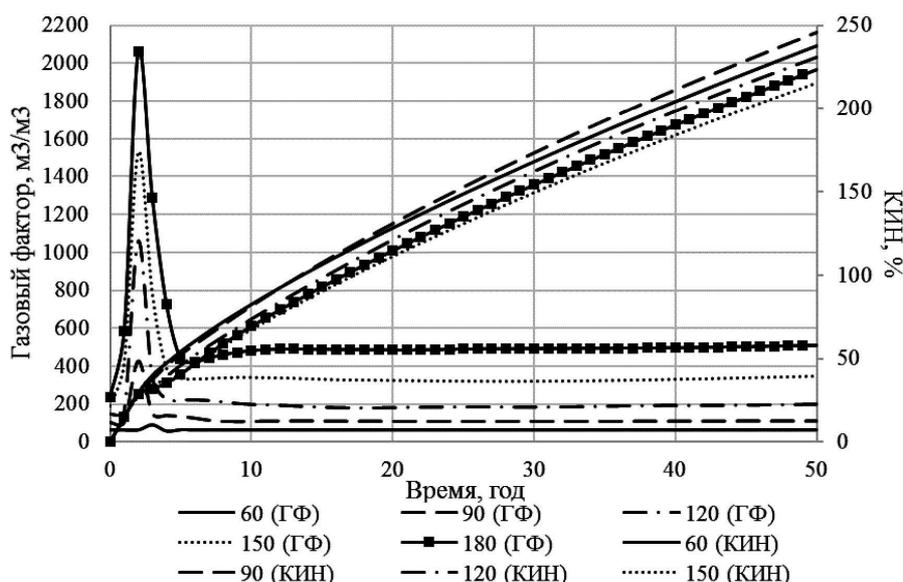


Рисунок 6 – Динамика КИН и текущего газового фактора

Анализ результатов позволяет сделать следующие выводы:

- чем меньше значение давления насыщения, тем больших значений;
- стоит отметить, что при прочих равных условиях, в рамках осуществления опробования скважины, с увеличением значения давления насыщения нефти газом, будет возрастать вероятность сделать вывод о том, что запасы в линзе нефти являются некондиционными (темп снижения дебитов нефти на начальном этапе будет тем выше, чем выше давление насыщения нефти газом).

Выводы

- При значении абсолютной проницаемости окружающего пласта до 0,01 мД КИН составляет 15 %; с повышением абсолютной проницаемости до 0,1 мД и КИН повышается на 28 % (по сравнению с проницаемостью 0,01 мД практически в 3 раза);
- необходимо отметить, что в случае прямоугольной (вытянутой) формы линзы КИН в целом выше на 12 % (сравнивая с квадратной формой линзы);
- очевидно, что в случае не учета так называемых забалансовых запасов нефти (в условиях неколлектора) за счет низкой проницаемости коллектора (к примеру, ниже 0,1 мД), проектирование разработки будет в целом неверным;
- с увеличением абсолютной проницаемости линзы, КИН также возрастает, причем разница между КИН становится тем больше, чем больше проницаемость окружающего пласта; можно отметить, что в случае проектирования месторождений, представленных более высокопроницаемыми линзовидными коллекторами, вопрос рассмотрения забалансовых запасов нефти «неколлекторов» становится более существенным;
- технологический режим работы скважины в значительной степени влияет на показатели разработки;
- наблюдается интересный феномен – при забойном давлении, равном 50 и 100 атм, дебит нефти снижается, и достигая определенного предела, начинает увеличиваться;
- при прочих равных условиях, в рамках осуществления опробования скважины, с увеличением значения давления насыщения нефти газом будет возрастать вероятность сделать вывод о том, что запасы в линзе нефти являются некондиционными.

Литература:

1. Закиров С.Н., Закиров Э.С., Контарев А.А. Возможность выработки забалансовых запасов нефти и газа в линзовидных коллекторах // Газовая промышленность. – 2014. – № 3. – С. 28–31.
2. Закиров С.Н. Трудноизвлекаемые запасы нефти и критерий рациональности // Георесурсы. – 2014. – № 4. – С. 16–19.
3. Закиров С.Н., Контарев А.А. Разработка линзовидных коллекторов / Сборник: Применение методов математического моделирования и информатики для решения задач газовой отрасли. – Газпром ВНИИГАЗ, 2012. – С. 73–77.



4. Закиров С.Н., Контарев А.А., Кнышенко А.Г. Интенсификация выработки запасов нефти в линзовидных коллекторах // Нефтяное хозяйство, 2006. – № 12. – С. 24–26.
5. Каюмов М.Ш., Салихов М.М., Владимиров И.В. Стратегия выработки запасов нефти, сосредоточенных в застойных областях месторождений, находящихся на заключительной стадии разработки // Нефтепромысловое дело, 2005. – № 8. – С. 10–16.
6. MORE 6.7 Technical Reference. – ROXAR, 2011, 152 p.

References:

1. Zakirov S.N., Zakirov E.S., Kontarev A.A. A possibility of development of off-balance reserves of oil and gas in linzovidny collectors // the Gas industry. – 2014. – No. 3. – P. 28–31.
2. Zakirov S.N. Hardly removable reserves of oil and criterion of rationality // Georesursa. – 2014. – No. 4. – P. 16–19.
3. Zakirov S.N., Kontarev A.A. Development of linzovidny collectors / Collection: Application of methods of mathematical modeling and informatics for the solution of problems of gas industry. – Gazprom VNIIGAZ, 2012. – P. 73–77.
4. Zakirov S.N., Kontarev A.A., Knyshenko A.G. Intensifikation of development of reserves of oil in linzovidny collectors // Oil economy, 2006. – No. 12. – P. 24–26.
5. Kayumov M.Sh., Salikhov M.M., Vladimirov I.V. The strategy of development of the reserves of oil concentrated in stagnant areas of the fields which are at a final stage of development // Oil-field business, 2005. – No. 8. – P. 10–16.
6. MORE 6.7 Technical Reference. – ROXAR, 2011, 152 p.