

УДК 622.276.6

Халимов Э.М.

## ИННОВАЦИОННОЕ РАЗВИТИЕ ТЕХНОЛОГИИ РАЗРАБОТКИ НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ\*

*Известно более 3 000 технологий добычи, методов и способов воздействия на пласты, направленных на интенсификацию добычи нефти и повышение коэффициента нефтеотдачи (КИН).*

*В условиях дефицита ресурсной базы объективно возросла потребность в новых технологиях повышения нефтеотдачи. Кардинальные сдвиги в этой области связаны с принципиально новыми информационными технологиями, новыми подходами к изучению детального строения нефтегазовых объектов на основе современных достижений науки и техники.*

*В новых условиях недропользования и при сохранении государственной собственности на полезные ископаемые в недрах действенным рычагом управления рациональной разработки являются принуждение недропользователей к применению методов повышения нефтеотдачи через проектные документы, рассматриваемые и контролируемые государственными структурами.*

*Дальнейшее развитие инноваций в области разработки нефтяных месторождений связано с повышением научно-технического уровня обоснованности экономически эффективного применения методов улучшения нефтеотдачи (МУН), привлечением к планированию и проектированию современных более совершенных методик расчёта, менее затратных и более эффективных технологий. Лишь при выполнении этого условия можно рассчитывать на гармонизацию интересов недропользователей и государства в деле рационального недропользования.*

**Ключевые слова:** технология повышения нефтеотдачи; нефтяные месторождения; добыча нефти.

Успешное развитие отечественной нефтедобывающей промышленности, достижение ею передовых рубежей в мировой экономической системе во многом обусловлено реализацией в широких масштабах новых технологий разработки и добычи нефти нефтяных месторождений.

Государственная политика в области технологии эксплуатации нефтяных месторождений формировалась в конце 40-х и начале 50-х годов прошлого столетия. Определяющими при выборе систем разработки месторождений явились идеи отечественных ученых, основанные на теоретических представлениях о механизме поршневого вытеснения нефти водой в однородных пластах.

Огромным преимуществом государства являлась возможность централизованно с самого начала эксплуатации планировать и осуществлять единую для месторождений и

---

\* По материалам доклада на 8-ом Петербургском Международном Форуме ТЭК (8-10 апреля 2008 г.)

регионов согласованную программу работ для всего цикла нефтяного производства, оптимизированную на длительный период (десятки лет).

Высокие показатели динамики развития отечественной нефтяной промышленности обусловлены не только увеличением числа производственных объектов, но и совершенствованием техники и технологии добычи нефти, оптимизацией производственных процессов. Бурный рост нефтедобычи в середине прошлого века был во многом связан не только с открытием и вводом в разработку крупных месторождений, но и с массовым освоением нового для отечественной промышленности метода – нагнетания воды в продуктивные пласты [Халимов, 2001].

Развитие нефтяной промышленности сопровождалось планомерным совершенствованием систем заводнения применительно к различным природно-геологическим условиям. Применение заводнения на крупных нефтяных месторождениях позволило вести добычу нефти по стране высокими темпами, существенно повысить нефтеотдачу пластов по сравнению с естественными режимами растворенного газа и гравитационным.

Внедрение систем заводнения в сочетании с редкой сеткой скважин на первом этапе обеспечило получение высоких технико-экономических показателей. Широкое применение заводнения определило развитие отечественной теории разработки нефтяных месторождений, а многолетняя практика дала богатый материал не только для проверки теоретических представлений, но и выявления преимуществ и недостатков метода в различных природных условиях.

Для нефтегазового производства характерно творческое и новаторское отношение к технике и технологии разработки нефтяных месторождений. Вопросам развития теории и практики разработки нефтяных месторождений всегда уделяли исключительное внимание. Выполнен огромный объем научно-исследовательских, экспериментальных и опытно-промышленных работ. Известно, что за последние 30 лет в отрасли проведено более 1200 крупных опытно-промышленных работ на месторождениях по совершенствованию технологий извлечения нефти из пластов.

К настоящему времени создано и реализовано большое число разнообразных систем разработки, различающихся видом заводнения (законтурное, приконтурное, блоковое, площадное, избирательное и др.), плотностью сеток и геометрией расстановки эксплуатационных и нагнетательных скважин, интенсивностью закачки (давлением нагнетания), способом и режимом эксплуатации скважин и т. д.

В далеко неполном перечне - более 3 000 технологий добычи, методов и способов воздействия на пласты, направленных на интенсификацию добычи нефти и повышение коэффициента нефтеотдачи. Наиболее известные - приведены в табл. 1 - 3. Механизм их влияния базируется на физических, механических и химических воздействиях на коллекторы, содержащих углеводородное сырьё, на нефть и газ, улучшающих условия притока пластовых флюидов в призабойную зону скважин. Их эффективность меняется в зависимости от природных характеристик и условий разработки.

Таблица 1

**Способы (методы) разработки нефтяных месторождений**

<b>Группа способов (методов)</b>	<b>Способ</b>	<b>Метод добычи</b>
<b>Открытые</b>	<b>Очистной (карьерный)</b>	<b>Создание горных выработок под открытым небом. Добыча нефтеносной породы с последующим отделением и отмывом нефти от горной породы.</b>
	<b>Шахтный</b>	<b>Создание подземных горных выработок и дренирование нефтенасыщенных пластов подземными скважинами.</b>
<b>Дренирование с помощью скважин, пробуренных с поверхности земли</b>	<b>Использование естественной пластовой энергии</b>	<b>Активной водонапорной</b>
		<b>Упругой энергии</b>
		<b>Энергии растворенного газа</b>
		<b>Газовой шапки</b>
	<b>Энергии гравитационных сил</b>	
	<b>Дополнение естественной пластовой энергии искусственной</b>	<b>Закачки воды в различных модификациях (метод ППД)</b>

В стране накоплен богатый опыт применения методов воздействия на пласты при разработке нефтяных месторождений. Большую роль в активизации работ в 1970-1980 гг. принадлежит Государственной программе по «наиболее полному извлечению нефти из недр», принятой в 1976 г. Наиболее важным практическим результатом этого периода исследований является проведение широких опытно-промышленных работ по апробации методов увеличения нефтеотдачи (МУН), разработанных на базе теоретических и лабораторных исследований. Уже к началу 1990 г. имелся опыт апробации в промысловых условиях тепловых, газовых и химических методов на 365 участках 150 месторождений страны в различных геолого-промысловых условиях.

Таблица 2

**Принципиальная систематика технологий интенсификации притоков нефти из скважин (стимуляции, обработок призабойных зон)**

№ п/п	Группа	Технологии
1	Разрушения продуктивных коллекторов	Гидроразрыв пластов
		Взрывы (подземные ядерные взрывы, с применением твердых и жидких ВВ)
		Взрыв вовнутрь (эмплотия)
2	Увеличения охвата дренированием	Бурения боковых стволов
3	Физико-гидродинамическая	Волновые
		Форсированные отборы жидкости
4	Химическая	Кислотные обработки в различных модификациях (термокислотные и др.)
		Обработка растворами ПАВ, растворителями
		Осадкогелеобразующие технологии
5	Тепловая	Обработки призабойной зоны различными теплоносителями
6	Микробиологическая	Способы обработки призабойной зоны введением в пласты бактериальных культур с микроорганизмами

Таблица 3

**Классификация методов увеличения нефтеотдачи**

№ п/п	Группа методов	Методы
1	Физико-химического заводнения	Заводнение с применением ПАВ
		Полимерное заводнение
		Мицеллярное заводнение
2	Газовых методов	Закачка углеводородов
		Закачка дымовых газов
		Закачка CO <sub>2</sub>
		Закачка азота
		Закачка жидких растворителей
3	Тепловая	Вытеснение нефти теплоносителями
		Воздействие с помощью внутрипластовых экзотермических окислительных реакций
4	Микробиологическая	Введение в пласт бактериальной продукции (БП)
		Образование БП в нефтяном пласте
5	Комбинированная (улучшенных МУН)	Сочетание элементов групп 1-4 с современными техническими средствами и способами (горизонтальных скважин и др.)
		Уплотнение сетки скважин

Реальные результаты работ в ряде случаев не оправдали радужных ожиданий. Оценка технологической эффективности оказалась ниже прогнозной, а затраты и трудоёмкость работ оказались значительными. Выявились недостатки проектирования работ, несовершенство приборов и оборудования. Тормозом развития работ являлись дефицит необходимых реагентов и материалов.

Тем не менее, по результатам работ на ряде крупных месторождений отмечена позитивная тенденция повышения коэффициента нефтеотдачи (КИН) за счёт увеличения масштабов МУН.

После отказа государства от централизованного управления экономикой резко сократились объемы работ, направленные на повышение нефтеотдачи. Объём реальных объёмов МУН стал жёстко контролироваться экономическими условиями, конъюнктурой рынка и целиком определяется нефтяными компаниями – владельцами лицензий.

Развитие нефтедобычи в России в последнее десятилетие характеризовалось:

1. увеличением интенсивности добычи нефти за счёт интенсификации традиционных технологий под влиянием конъюнктуры мирового рынка, роста цены на нефть;
2. ускоренным сокращением объёма разведанных запасов нефти в результате высокой добычи и снижения объёмов геологоразведочных работ.

В условиях дефицита ресурсной базы объективно возросла потребность в новых технологиях повышения нефтеотдачи. Представляется, что кардинальные сдвиги в этой области связаны с принципиально новыми информационными технологиями, новыми подходами к изучению детального строения нефтегазовых объектов на основе современных достижений науки и техники.

В новых условиях недропользования и при сохранении государственной собственности на полезные ископаемые в недрах действенным рычагом управления рациональной разработки являются **принуждение недропользователей к применению методов повышения нефтеотдачи через проектные документы, рассматриваемые и контролируемые государственными структурами. Такое принуждение со стороны государства необходимо в связи с тем, что интересы недропользователей и государства расходятся в подходе к вопросу о рациональности разработки, полноте выработки пластов.**

В последние годы проекты разработки, апробируемые ЦКР Роснедра, предусматривают испытание и/или применение МУН. К сожалению, даже утверждённые проектные сценарии и решения на практике используются не в полном объёме (табл. 4). Это

также снижает возможный потенциал прироста КИН.

Таблица 4

**Трансформация практики выполнения проектов разработки  
под влиянием либерализации недропользования**

<b>Параметры</b>	<b>До реформы</b>	<b>После реформы</b>
<b>Исполнение проектных показателей</b>	<b>Обязательное соблюдение проектного документа, утвержденного ЦКР</b>	<b>Проектный документ имеет рекомендательный характер</b>
<b>Коэффициент использования добывающих скважин</b>	<b>Поддержание <math>K_{идс}</math> на уровне 0,95-0,98</b>	<b>Низкий <math>K_{идс}</math>. Преимущественная эксплуатация пробуренного высокодебитного фонда</b>
<b>Режим отборов жидкости из пласта (залежи)</b>	<b>Соблюдение проектного режима</b>	<b>Сокращение отборов жидкости вплоть до остановки высокообводненных скважин</b>
<b>Режим работы добывающих скважин</b>	<b>Соблюдение проектного режима по всему фонду (<math>R_{пл.}</math>, <math>R_{заб.}</math>)</b>	<b>Интенсификация добычи нефти по высокодебитному фонду</b>
<b>МУН</b>	<b>Плановое внедрение МУН в соответствии с Государственной Программой</b>	<b>Отказ от планового внедрения МУН Переход на интенсификацию добычи нефти преимущественно из высокодебитных скважин</b>
<b>Бурение скважин</b>	<b>Выполнение предусмотренных проектами объемов и сроков бурения скважин</b>	<b>Активность бурения поставлена в зависимость от конъюнктуры рынка</b>
<b>Исследование нефтепромысловых скважин</b>	<b>Преимущественно соблюдение Регламента</b>	<b>Соблюдение регламента - исключение</b>

Проектирование разработки осуществляется на основе современного пластового моделирования и с учётом всего мирового арсенала методов увеличения нефтеотдачи и способов интенсификации [Методические указания..., 2003]. Несовершенство проектных документов, тем не менее, является одной из причин, тормозящих прогресс в области инноваций.

Несовершенство моделирования и расчётов обусловлено недостаточностью информационной базы. Слабость информационной базы в свою очередь связана с недостаточной разрешающей способностью монометода сейморазведки при решении геологических задач по детальному изучению геологической среды, приводящей к неопределенности геологической модели

Использование данных сейсморазведки для построения детальных геологических и фильтрационных моделей нередко приводит к ошибочным и малодостоверным результатам [Сейсмическая стратиграфия, 1982].

Для построения детальных геологических и фильтрационных моделей недостаточно информативны даже данные разведочного бурения. По данным керна (даже при хорошем его выносе) и ГИС хорошего качества освещается лишь ничтожно малая часть объёма, недостаточная для описания всей залежи.

Межскважинное пространство, охватывающее основной объём залежи, остаётся без достоверной информации. Между тем в пределах этого пространства от ячейки к ячейке происходят, неподдающиеся строгому математическому описанию изменения характеристик фильтрационных параметров пластов, знание которых необходимо для управления процессом извлечения.

Современные геологические и фильтрационные модели, построенные на базе низкоразрешающих информационных методов изучения глубокозалегающих пластов, пригодны лишь для качественной относительной оценки возможных сценариев разработки на ранней стадии освоения месторождений. Объекты, находящиеся в зрелой стадии разработки, нуждаются в фильтрационных моделях, позволяющих рассчитывать динамику показателей с большой точностью на длительный период (иногда на 100 лет и более) до достижения конечной нефтеотдачи). Это необходимо, чтобы с удовлетворительной точностью оценить экономическую эффективность и выбрать наиболее предпочтительные среди технологий и способов воздействия на пласт.

Наблюдающееся замедление процесса в нефтедобыче связано и с отставанием прикладной науки в области подземной гидродинамики и разработке месторождений. Несмотря на большой практический опыт и объём экспериментальных и теоретических исследований, остаются дискуссионными актуальные для практики вопросы. Много лет обсуждаются вопросы зависимости нефтеотдачи от темпа разработки, от форсировки отбора жидкости, от плотности сетки скважин. Нет единства в вопросе о влиянии гидроразрыва на нефтеотдачу.

К сожалению, не на все эти и другие практически важные для практики вопросы можно получить ответы из фундаментальных исследований, в том числе и западных ученых [Косентино, 2007]. Без возрождения серьёзных собственных научных исследований, постановки специальных экспериментальных, опытно-промышленных и конструкторских работ, без обобщенного опыта разработки не мыслим прогресс в важнейшем звене

нефтегазового производства – технологии извлечения нефти из глубокозалегающих пластов.

Предстоит повысить уровень проектирования разработки. Пока результаты технологических расчётов на основе пластового моделирования следует скорее рассматривать как относительные, а не абсолютные. Моделирование всегда связано с некоторой степенью неопределённости (недостаток знаний о геологической модели, осреднение параметров, процедура адаптации и др.). Точность получаемых результатов зависит от качества и количества имеющихся входных данных («Мусор на входе, мусор на выходе»).

Повышение роли инновационных технологий в проектировании разработки месторождений требует фундаментальных исследований по механизму нефтеотдачи в пластовых условиях и кардинальных перемен в полноте информационной базы.

**ВЫВОД.** Дальнейшее развитие инноваций в области разработки нефтяных месторождений связано с повышением научно-технического уровня обоснованности экономически эффективного применения МУН, привлечением к планированию и проектированию современных более совершенных методик расчёта, менее затратных и более эффективных технологий. Лишь при выполнении этого условия можно рассчитывать на гармонизацию интересов недропользователей и государства в деле рационального недропользования.

#### Литература

*Косентино Л.* Системные подходы к изучению пластов. Москва-Ижевск, 2007. 400 с.

Методические указания по созданию постоянно действующих геолого-технологических моделей нефтяных и газонефтяных месторождений (Ч. 1. Геологические модели). – М.: ОАО «ВНИИОЭНГ», 2003. 164 с.

Сейсмическая стратиграфия. Под ред Ч.Е. Пейтона. М.: Мир, 1982. с. 846.

*Халимов Э.М.* Геотехнологии разведки и разработки нефтяных месторождений. М.: ИГиРГИ, 2001. 656 с.