

*Я.И. Кравцов, Е.А. Марфин, Э.А. Буторин, Р.Н. Гатауллин*  
 Исследовательский центр проблем энергетики КазНЦ РАН, Казань  
 kravstov@mail.knc.ru, marfin@mail.knc.ru

## **О ПРОЦЕССАХ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ МЕХАНИЗМ ИНТЕГРИРОВАННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА НЕФТЯНОЙ ПЛАСТ**

В работе рассмотрены вопросы повышения эффективности интегрированного воздействия на процесс извлечения нефти из недр. Определены направления исследований и пути совершенствования процесса добычи.

*Ключевые слова:* нефть, пласт, интегрированное воздействие, излучатель, колебания.

### **1. Введение**

Обеспечение сырьевой базы нефтяной промышленности является основой ее развития. При этом прирост запасов, в первую очередь, должен быть обеспечен за счет увеличения коэффициента нефтеотдачи. Вместе с тем, современное состояние нефтедобывающей отрасли таково, что значительная доля трудноизвлекаемых запасов, а также высокий коэффициент обводненности диктует необходимость совершенствования методов добычи. При этом решение проблемы осложняется, во-первых, тем, что свойства нефти, геолого-физические характеристики месторождений существенно различаются. Во-вторых, в процессе разработки нефтяных месторождений эти показатели кардинально меняются, что в совокупности влечет за собой значительное снижение эффективности поначалу удачно выбранных методов и режимов добычи.

Таким образом, решение проблемы рентабельного освоения располагаемых запасов нефти связано с разработкой концептуально нового подхода к выбору методов и средств воздействия на процессы, протекающие в продуктивных пластах.

### **2. Интегрированные методы воздействия на процесс извлечения нефти**

В основу интегрированного воздействия на процесс извлечения углеводородов из недр положено явление интенсификации различных процессов в поле упругих колебаний (Алемасов и др., 2001).

Изучением вопросов волнового воздействия на нефтяные пласты занимаются как ученые страны (Институт физики Земли РАН, ВНИИнефть и др.), так и за рубежом. Значительные результаты в этой области достигнуты Вахитовым Г.Г., Гадиевым С.М., Ганиевым Р.Ф., Дыбленко В.П., Ефимовой С.А., Камаловым Р.Н., Кузнецовым О.Л., Муфазаловым Р.Ш., Николаевским В.Н., Симкиным Э.М., Сургучевым М.Л., Туфановым И.А., Шарифуллиним Р.Я., Хавкиным А.Я. и др.

При исследовании колебаний обнаружены следующие явления (Дыбленко и др., 2000; Кузнецов, Ефимова, 1983):

- упругие низкочастотные колебания ускоряют процесс релаксации механических напряжений;
- при воздействии высокоамплитудными колебаниями происходит необратимое увеличение абсолютной проницаемости насыщенных пористых сред;
- изменяются реологические свойства вязкоупругих и вязкопластичных неньютоновских жидкостей. Наблюдается снижение вязкости среды (до 30%), которое восстанавли-

вается после воздействия упругими колебаниями;

- наложение волнового поля приводит к дегазации пластовых жидкостей как при высоких, так и при низких частотах;
- повышается эффективная температуропроводность;
- наблюдается внутрислоевая конвекция;
- изменяются условия фазового перехода в системах нефть – газ, гидраты – газ;
- при наложении интенсивных колебаний на порядок увеличивается скорость фильтрации;
- уменьшается гистерезис процесса смачивания;
- происходит более интенсивное и глубокое проникновение жидкостей в узкие щели и капилляры;
- интенсифицируются процессы капиллярной пропитки;
- изменяется фазовая проницаемость нефти и воды;
- возрастает степень вытеснения нефти из пористой среды.

Кроме того, получены данные, свидетельствующие об интенсификации различных химических реакций в волновом поле. Так, в частности, наложение волнового поля значительно интенсифицирует процесс горения.

Одновременно установлено, что эффективность использования волнового поля для увеличения нефтеотдачи зависит как от частоты возбуждаемых колебаний, так и от амплитуды. При этом установлено, что существует определенный диапазон этих параметров, за пределами которого интенсификация определяющих процессов не наблюдается. Например, лабораторные исследования показали, что при низкой интенсивности колебаний влияние упругих волн на процесс фильтрации не происходит. При очень высоких амплитудах колебаний наблюдаются явления, которые приводят к ухудшению состояния и снижению показателей добычи.

Построение полной картины влияния волнового воздействия на пласт практически невозможно. Но сам факт влияния упругих волн на фильтрацию флюидов бесспорен и имеет явные перспективы. Поэтому в отсутствие полной теории актуальным является выделение в конкретных ситуациях доминирующего механизма воздействия.

Анализ явления позволяет сделать следующие выводы:

1. Применяемые методы извлечения эффективны при воздействии на определяющие факторы процесса. Поэтому в процессе разработки месторождений и их эволюции эффективность воздействия снижается.

2. С помощью волнового воздействия могут быть интенсифицированы многие из реализуемых при добыче процессов: гидродинамические, физико-химические, теплообмен и т.д. Вопрос, следовательно, состоит в выявлении доминирующих факторов, механизма и оптималь-

ных режимов воздействия.

3. Для осуществления подобной технологии необходимо установить факторы, определяющие эффективность изначальной технологии добычи, определить оптимальный режим волнового воздействия на внутрипластовые процессы и создать технические средства его реализации. Для определения оптимального режима необходимо, чтобы в определенной области продуктивного пласта, где происходят те или иные процессы, амплитудно-частотные характеристики волнового поля соответствовали заданному диапазону.

Так при паротепловом воздействии определяющими факторами являются температура нагрева флюида в пласте и охват последнего, а определяющим механизмом – процесс теплообмена, от которого, в совокупности, и зависит эффект воздействия. Следовательно, оптимальный режим волнового воздействия (частота, амплитуда акустических колебаний и их изменение в процессе разработки пласта) и, в итоге, успешность интегрированного воздействия определяется тем, сколь значительно интенсифицируется процесс теплообмена в продуктивном пласте.

При внутрипластовом горении определяющим фактором является количество теплоты, выделяющейся при нагнетании в пласт окислителя (воздуха). Определяющим механизмом – процесс горения. И, следовательно, при формировании в зоне внутрипластового горения волнового поля оптимальный режим определяется тем, насколько интенсивно протекает процесс горения.

Еще в большей мере различаются определяющие факторы: механизм и оптимальный режим интегрированного воздействия при совмещении других технологий.

Решение названных задач при совмещении различных технологий на разных стадиях разработки месторождений является основополагающим условием обеспечения эффективности и достижения синергетического эффекта.

### 3. Технологическая схема. Методы интегрированного воздействия

Сущность метода интегрированного воздействия авторами исследована на примере разработки Мордово-Кармальского месторождения природных битумов (ОАО «Татнефть»). При этом рассмотрено совмещение процессов внутрипластового горения и волнового воздействия на зону горения и фронт вытеснения. В изначальном процессе определяющим фактором являлся процесс горения. Как следует из представленной на Рис. 1 технологической схемы, в центре разрабатываемого участка расположена нагнетательная скважина, по которой

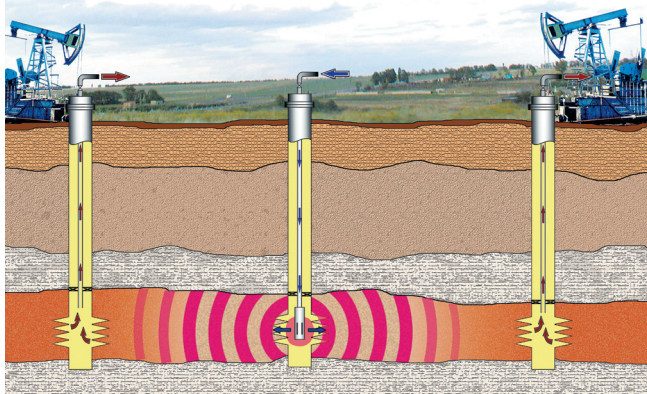


Рис. 1. Технологическая схема интегрированного воздействия на пласт.

нагнетается в пласт воздух для поддержания процесса горения. По периферии участка размещены добывающие скважины, к которым продуктами сгорания вытесняется пластовый флюид. На забое нагнетательной скважины располагается излучатель колебаний давления, с помощью которого в пласте формируется волновое поле. Как установлено испытаниями интегрированного воздействия определяющими факторами являются процессы смешения, горения и теплопереноса.

Режим волнового воздействия соответствует структурному уровню влияния на среду (частота колебаний  $f = 250 - 3000$  Гц). Возбуждение колебаний давления в потоке нагнетаемого в пласт воздуха осуществляется в специально созданных технических средствах за счет преобразования части энергии потока в энергию колебаний. При этом в пласте интенсифицируются процессы горения и теплообмена, повышается эффективность теплофизического воздействия. Последнее расширяет зону влияния (охват пласта), повышает подвижность флюида и, в итоге, интенсифицирует процесс фильтрации. В результате суммарный эффект интегрированного воздействия значительно превосходит сумму эффектов раздельного применения методов – достигается синергетический («сверхсуммарный») эффект воздействия.

### 4. Технические средства

Проведенные авторами исследования позволили создать оригинальные технические средства интегрированного воздействия. Апробация предложенных технологии и технических средств на промысле подтвердила их эффективность.

Основные достоинства предложенных устройств: 1. Возможность формирования с их помощью в пласте и призабойной зоне волнового поля во всех случаях нагнетания в пласт сжимаемой и несжимаемой жидкостей и, благодаря этому – обеспечения эффективности интегрированного воздействия; 2. Конструктивная и технологическая простота совмещения технологий; 3. Отсутствие в устройстве подвижных элементов, что позволяет обеспечить высокую надежность и большой ресурс эксплуатации; 4. Исключена потребность в дополнительном источнике энергии для формирования в пласте волнового поля: используется незначительная часть (5 – 10 %) энергии потока нагнетаемой в пласт жидкости. Тем самым достигается высокая степень энергосбережения; 5. Обеспечен широкий диапазон значений частоты и амплитуды колебаний.

### 5. Результаты промышленной апробации

Удачно решенные задачи выбора объекта интегрированного воздействия, разновидностей совмещаемых методов и режимов воздействия, а также создание оригинальных технических средств их реализации позволили достичь синергетического эффекта их применения (Муслимов и др., 2003). Результаты промышленных исследований показали, что даже при оптимальном режиме внутрипластового горения дебит скважин не превышает 1 тонны в сутки. Наложение на зону внутрипластового горения волнового поля, характеризуемого частотой колебаний давления 1000 Гц, позволило повысить дебит 3-кратно, а при частоте колебаний давления 2000 Гц дебит скважин повысился 6-кратно.

Показательно также, что во всех рассмотренных случаях прослеживается режим оптимального расхода воздуха, при котором достигается максимальный дебит скважин.



Наблюдаемая зависимость эффективности процесса от характеристик волнового поля подтверждает предположение о влиянии частоты и амплитуды колебаний на протекающие внутри пласта процессы. Важным при этом является исследование процесса распространения упругих волн из скважины в пласт и в самом пласте. Наличие резонанса в технических системах (НКТ, перфорированная обсадная колонна и др.) и резонансное поглощения колебаний в значительной мере меняет характеристики поля в зоне воздействия (Марфин, Кравцов, 2007). Аналитически определенные частотные характеристики перфорированной обсадной колонны скважины позволяют оценить потери энергии волн при распространении в системе «скважина-пласт». Для подтверждения полученных данных необходимо проведение экспериментальных исследований.

### Заключение

1. Наиболее перспективным направлением совершенствования процесса добычи углеводородов представляется применение интегрированных методов воздействия на продуктивные пласты. Благодаря интенсификации внутриволновых процессов и оптимизации условий применения метода может быть достигнут сверхсуммарный (синергетический) эффект.

2. Интегрированное воздействие представляет собой сложный наукоемкий процесс, эффективность применения которого зависит от понимания механизма воздействия на пласт совмещаемых технологий, выявления доминирующих факторов и режимов воздействия, а также механизма взаимовлияния. При этом необходимо учитывать, что оптимальное сочетание последних меняется в процессе эволюции пласта. Установлением всей совокупности доминирующих факторов и определяется успешность применения интегрированных методов воздействия.

3. Как следует из изложенного, для достижения необходимого уровня успешности и рентабельности интегрированных методов при их применении в осложненных геолого-промысловых условиях эксплуатации скважин, необходимо проведение целого ряда теоретических, лабораторных и промысловых исследований, а также выполнение конструкторских и технологических изысканий.

\* Работа выполнена при поддержке Фонда содействия отечественной науке, Российского фонда фундаментальных исследований (грант №06-08-01398-а) и гранта Президента Российской Федерации (№НШ-4334.2008.8).

### Литература

Алемасов В.Е., Кравцов Я.И., Муслимов Р.Х., Хавкин А.Я. Комбинированные энергосберегающие технологии разработки трудноизвлекаемых запасов нефти и природных битумов. *Материалы докладов Российского национального симпозиума по энергетике*. Казань: Изд-во КГЭУ. Т.2. 2001. 342-344.

Дыбленко В.П., Камалов Р.Н., Шарифуллин Р.Я., Туфанов И.А. *Повышение продуктивности и реанимация скважин с применением виброволнового воздействия*. М.: ООО «Недра-Бизнес-центр». 2000. 381.

Кузнецов О.Л., Ефимова С.А. *Применение ультразвука в нефтяной промышленности*. М.: Недра. 1983. 286.

Муслимов Р.Х., Волков Ю.В., Хавкин Ф.Я., Петраков А.М., Алемасов В.Е. и др. Анализ эффективности термоволнового воздействия на Мордово-Кармальском месторождении. *Бурение и нефть*. № 1. 2003. 18-22.

Марфин Е.А., Кравцов Я.И. Резонансные характеристики перфорированной обсадной колонны скважины. *Труды Академэнерго*. Казань. №2. 2007. 120-131.

Казань: Изд-во Казанск. гос. ун-та. 2007. 320 с.

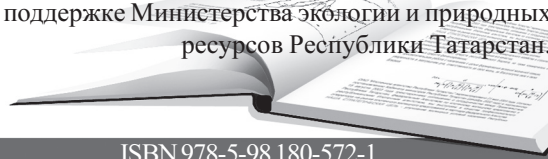
## Методы прогноза, поиска и разведки нефтяных и газовых месторождений

Учебное пособие

Р.Х. Муслимов, В.В. Ананьев,  
В.М. Смелков, Р.К. Тухватуллин

В учебном пособии описаны принципы прогнозирования и основные критерии оценки нефтегазоносности недр. Рассмотрены две основные теории происхождения нефти и газа: осадочно-миграционная и абиогенная, являющиеся основой прогноза нефтегазоносности недр, приведены различия и новейшие достижения в области развития этих теорий. Даны представления о рациональной последовательности стадий поисково-разведочного процесса на нефть и газ. Описаны методы поисков и разведки нефтяных и газовых месторождений, применяемых на различных стадиях поисково-разведочного процесса. Рассмотрены принципы организации и геолого-экономической оценки геолого-разведочных работ на нефть и газ.

Пособие разработано и издано при финансовой поддержке Министерства экологии и природных ресурсов Республики Татарстан.



ISBN 978-5-98 180-572-1

Kravtsov J.I., Marfin E.A., Butorin E.A., Gataullin R.N. **About the processes determining the mechanism of integrated influence on an oil formation.**

In paper the problems of a heightening of performance of the integrated affecting on the process of withdrawal of oil from bowels are reviewed. The directions of studies and path of perfecting of the process of a mining are determined.

*Key words:* oil, layer, integrated influence, oscillator, fluctuations.

*Яков Исаакович Кравцов*

докт. техн. наук, зав. Лабораторией основ энергоэффективных технологий восполнения природных топлив Исследовательского центра проблем энергетике КазНЦ РАН

*Евгений Александрович Марфин*

к.т.н., научный сотрудник Лаборатории основ энергоэффективных технологий восполнения природных топлив

*Эдуард Афанасьевич Буторин*

канд. техн. наук, в.н.с. Лаборатории основ энергоэффективных технологий восполнения природных топлив

*Рустем Наилевич Гатауллин*

младший научный сотрудник Лаборатории основ энергоэффективных технологий восполнения природных топлив

Исследовательский центр проблем энергетике КазНЦ РАН. 420111, Казань, ул. Лобачевского, д. 2/31, а/я 190.

Тел./Факс: (843) 292-75-05/92-77-45