

ЭНЕРГОВООРУЖЕННОСТЬ ВОЛНОВЫХ МЕТОДОВ УВЕЛИЧЕНИЯ НЕФТЕОТДАЧИ

Г.П. Лопухов*, М.В. Маскалев**, Н.Г. Жевнова***
*ООО «Геосейс», **РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, ***БТЭУ

В целях реализации Энергетической стратегии России на период до 2030 года намечено стимулирование эффективного недропользования на основе полного и комплексного извлечения топливно-энергетических ресурсов из недр, увеличения коэффициента извлечения нефти. В качестве приоритетных направлений научно-технического прогресса в энергетическом секторе по направлению «Нефтяной комплекс» выделены следующие направления: 1) увеличение коэффициента извлечения нефти на азрабатываемых и вводимых в разработку месторождениях, в том числе нетрадиционных видов углеводородного сырья – тяжелой (высоковязкой) нефти и природных битумов; 2) внедрение современных методов увеличения нефтеотдачи. Таким образом, масштабное применение методов увеличения нефтеотдачи (МУН) будет определять стратегию развития нефтедобывающих компаний в ближайшей перспективе. Приоритет будет отдан комбинированным технологиям, многофункциональным способам воздействия на пласт, приводящим к наиболее полному извлечению нефти и имеющим выверенную экономическую модель. В условиях ухудшения структуры запасов особую актуальность приобретают работы, связанные с коммерциализацией новых методов увеличения нефтеотдачи, которые доказали свою эффективность на этапе опытно-промысловых работ, но не получили дальнейшего развития в силу того, что их промышленное внедрение требует иного уровня развития соответствующих технических средств. Такое положение дел наблюдается в области волновых методов, которые следует относить к методам увеличения нефтеотдачи.

Академик А.П. Крылов [1] отмечал, что «при сообщении пласту того же вида энергии механизм дренирования не изменяется, а лишь ускоряется процесс эксплуатации. Введение же в пласт энергии другого вида приводит к изменению механизма дренирования и сказывается также на величине конечной отдачи пласта». Исходя из этого определения, к технологиям увеличения нефтеотдачи следует отнести метод вибросейсмического воздействия [2, 3], являющийся разновидностью волновых методов и основанный на закачке энергии инфразвуковых колебаний (10–40 Гц), которую на определенных (доминантных) частотах поглощает, в частности, горная порода нефтяного

пласта, увеличивая свою энергонасыщенность. Подтверждают факты энергонасыщения горной породы нефтяного пласта результаты многочисленных экспериментов по регистрации уровней акустического шума при проведении промысловых работ по вибросейсмическому воздействию на месторождениях Речицкое, Березинское (Беларусь) (рис. 1, 2), Жирновское, Павловское (Россия) и других. Отмеченные факты дегазации, изменения физико-химических свойств пластовых флюидов свидетельствуют о влиянии вибросейсмического воздействия на все компоненты 4-фазной среды, что обеспечивает необходимые условия для комплексирования с другими технологиями, увеличивая их эффективность и переводя технологии интенсификации добычи в разряд технологий повышения нефтеотдачи.

В настоящее время реализацией этого метода занимаются мелкие фирмы, созданные инициативными предпринимателями, что определяет скромные масштабы внедрения. Можно указать на проекты, осуществляемые таким образом в Индонезии, Бразилии, России (Западная Сибирь, Татарстан), Эквадоре, Белоруссии, Китае, США, Канаде. Крупные компании пока только присматриваются к технологиям, использующим для извлечения нефти энергию сейсмических генераторов колебаний. Наибольшего взаимодействия с государственными и частными достаточно крупными компаниями исследователи этого метода добились в США, где подобный проект финансируется Министерством энергетики (DOE), компаниями Seismic Recovery LLC, Phillips Petroleum, Grand Resources.

Следует отметить, что в настоящее время созданы научные основы технологии вибросейсмического воздействия на обводненные нефтяные пласты, проведена успешная апробация модификаций этой технологии на нефтяных месторождениях в разных регионах. Однако при этом была решена задача создания только необходимых условий для перевода этой технологии из разряда внедряемых в разряд повсеместно осваиваемых в нефтяных компаниях, имеющих на балансе месторождения, находящиеся на завершающей стадии разработки. И это предопределяет невысокий интерес компаний к подобным технологиям. Дело в том, что не были решены вопросы создания адаптированных к данной технологии технических средств, способных раскрыть весь потенциал, заложенный в технологиях вибросейсмического воздействия. Это относится и к энерговооруженности метода. В опытно-промысловых работах прошли апробацию различные технические средства, способные генерировать сейсмические колебания, но

предназначенные по своим техническим параметрам для решения задач, не связанных с проблемой повышения нефтеотдачи. Ориентиром для расчета сейсмической мощности устройств, применяемых в технологиях вибросейсмического воздействия на конкретных месторождениях, может служить оценка затрат энергии для извлечения нефти с помощью заводнения на этих месторождениях. Оценим среднюю мощность вибросейсмического воздействия. Для этого следует определить удельный расход энергии на добычу нефти. Для оценок можно взять удельные затраты энергии на добычу при проведении известных МУН – заводнений, термических и газовых методов.

Из [4] можно сделать вывод (табл. 1), что удельные затраты электроэнергии при заводнении составляют 0,3–0,6 ГДж/т в условиях, когда выработка НИЗ составляет 55–60%. При выработке НИЗ менее 25% удельные затраты электроэнергии на добычу нефти составляют примерно 0,14 ГДж/т.

Таблица 1

Организация	Удельные затраты электроэнергии, Дж/т	Примечание
ОАО «Сибнефть–Ноябрьскнефтегаз»	$0,594 \cdot 10^9$	Выработка НИЗ 55%
ООО «Лукойл–Западная Сибирь»	$0,55 \cdot 10^9$	Выработка НИЗ 60%
ТПП «Когалымнефтегаз»	$0,288 \cdot 10^9$	Выработка НИЗ 55%
РУП «ПО Белоруснефть»	$0,085 \cdot 10^9$	Обводнённость 0–27 %

Очевидно, что эти затраты станут только больше при дальнейшей эксплуатации месторождений. Не следует забывать, что коэффициент нефтеотдачи при этом в среднем по месторождениям России составляет 0,3. В Энергетической стратегии впервые приведена динамика роста коэффициента, который в 2030 году должен составить 0,37. Следовательно, стратегические МУН, ориентированные на высокие показатели нефтеотдачи, должны удовлетворять требованиям высокой энерговооруженности. Затраты энергии на реализацию других МУН существенно выше, чем при заводнении. Заметим, что относительно низкие энергозатраты определяют масштабность реализации гидродинамических методов. В табл. 2 приведены удельные затраты энергии на добычу нефти термическими методами, являющимися общепризнанными МУН. При проведении

опытно-промысловых работ на месторождениях США и Венесуэлы (см. табл. 2) удельные затраты энергии при ВДОГ составили 3,4–6,4 ГДж/т [5].

Таблица 2

Месторождения	Израсходовано нефти при ВДОГ, т	Добыто нефти, т	Выделилось энергии при сгорании нефти, Дж	Удельный расход энергии, Дж/т
South-Belridge (USA)	1275	10370	$59,4 \cdot 10^{12}$	$5,72 \cdot 10^9$
Mene-Grunde (Ven)	1400	19210	$65,24 \cdot 10^{12}$	$3,4 \cdot 10^9$
West-Locho (USA)	1,5	11	$69,9 \cdot 10^9$	$6,35 \cdot 10^9$

Из проектов по закачке газа отметим проект ООО «Иркутская нефтяная компания», разрабатывающего Ярактинское нефтегазоконденсатное месторождение. Удельные затраты энергии на добычу нефти должны составить $0,46 \cdot 10^9$ Дж/т. При этом для осуществления этого коммерческого проекта помощь в его финансировании оказали Европейский банк реконструкции и развития и Байкальский банк Сбербанка РФ. Поставщиком оборудования стала американская AG Equipment Company. Этот проект состоялся благодаря программе по ограничению выбросов углеводородных газов в атмосферу.

Экономические показатели внедряемых методов напрямую зависят от состояния их энерговооруженности. Нет оснований рассматривать предлагаемые методы в качестве активных самостоятельных способов добычи, если затраты энергии на их применение составляют тысячные или сотые доли процента от необходимой энергии, используемой в базисном методе. В качестве затрат на реализацию базисного метода следует взять затраты на добычу нефти при заводнении, являющемся наиболее распространенным МУН. Пусть добыча на месторождении в месяц составляет 10000 т, а расход энергии (100%-ная выработка НИЗ) – $0,5 \cdot 10^9$ Дж/т. Тогда мощность вибросейсмической установки (24-часовой период воздействия) составит 1,9 МВт.

Кроме того, опыт проведения промысловых работ показал, что одним из основных критериев успешности является обеспечение высокого темпа закачки волновой энергии в нефтяной пласт с минимальными потерями. Поскольку горные породы, слагающие

нефтяные пласты, избирательно потребляют энергию в частотном диапазоне, необходимо иметь генераторы с перестраиваемой частотой. Такими возможностями обладают вибрационные источники геофизического типа. Поэтому прототипом генератора колебаний в комплексе технических средств вибросейсмического воздействия на нефтяные пласты может стать известный геофизикам вибрационный источник, у которого, впрочем, система управления выполнена без учета требований к высокой степени точности задающего сигнала. Это существенно упрощает систему управления и позволяет использовать при ее создании отечественные системы и комплектующие, что удешевляет источник.

Таким образом, примерная компоновка адаптированного к использованию в технологии вибросейсмического воздействия источника колебаний может быть следующей [2, 3]. Устройство для вибросейсмического воздействия состоит из наземного источника колебаний, который содержит возбудитель вибраций (гидравлический исполнительный механизм) и волноводное устройство, установленное в возбуждающей скважине. Возбудитель вибраций помещен в силовую раму, отцентрированную с помощью демпфирующих устройств относительно устья скважины, и установлен на мобильном транспортном средстве (рис. 3). Поршень возбудителя вибраций связан с верхним концом волновода, элементы которого в резьбовых соединениях связаны замками и отцентрированы относительно стенок возбуждающей скважины. Нижний конец волновода связан с излучателем, установленным в интервале пласта.

Следовательно, возможными путями решения проблемы коммерческого внедрения технологий вибросейсмического воздействия могут быть:

1. Разработка технических средств воздействия с поверхности Земли сейсмической мощностью излучения 1,5–2,0 МВт.
2. Осуществление группирования источников сейсмических колебаний, с тем чтобы набрать необходимую сейсмическую мощность.
3. Применение волноводов для исключения рассеяния энергии в горной породе.

Современное состояние дел в области энерговооруженности технических средств вибросейсмического воздействия при реализации проектов по увеличению нефтеотдачи пластов таково, что максимальная реализованная сейсмическая мощность не превышает 200 кВт. При этом в качестве источников колебаний применялись устройства в одном из вариантов технологии вибросейсмического воздействия с поверхности, созданные для

целей глубинного зондирования Земли. Очевидно, что на первом этапе апробации метода повышения нефтеотдачи путем закачки волновой энергии в пласт такие технические средства и могли быть использованы. На этом этапе одновременно решались научно-исследовательские задачи и изучались возможные экономические риски. Но по своим эксплуатационным параметрам такие источники не могли реализовать весь потенциал, присущий технологии вибросейсмического воздействия. В табл. 4 приведены некоторые технические параметры наиболее совершенных по энерговооруженности генераторов колебаний [6].

Таблица 3

Технические параметры источника	СВ-20/60	ЦВО-100
Номинальное усилие, Н	200000	1000000
Рабочий диапазон частот, Гц	2–60	5,5–8,0
Масса установки, кг	23000	120000
Сейсмическая мощность на плите, кВт	20	100

Из анализа данных следует: чтобы набрать сейсмическую мощность порядка 1 МВт, требуется 50 установок СВ-20/60 и 10 установок ЦВО-100. Следовательно, коммерческие результаты не могли быть реализованы во всех проведенных опытно-промысловых работах, поскольку набрать такое количество источников не представляется возможным. С другой стороны, наиболее мощный источник ЦВО-100 имеет узкий частотный диапазон, который не соответствует оптимальным частотам, на которых следует проводить вибровоздействие.

Реализация группирования источников была осуществлена в проектах 2005–2006 годов на Речицком и Березинском месторождениях. В качестве генераторов сейсмической энергии использовался флот из вибрационных источников СВ-30/120, предназначенных для проведения геофизических работ. Максимальная сейсмическая мощность, которую удалось реализовать, составила 150 кВт. В результате вибросейсмического воздействия на продуктивные пласты, залегающие на глубинах более 2000 м, было получено 5300 т дополнительной добычи нефти. Положительные результаты не впечатлили компанию

«Белоруснефть», и дальнейшие работы, которые предполагали развитие метода в части технического оснащения работ, были приостановлены.

Нашли свое развитие и идеи использования промышленного оборудования для реализации источников колебаний. В частности, в качестве привода устройства использовали электродвигатель станка-качалки за счет отбора части его мощности. В литературе не содержится сведений относительно сейсмической мощности такого устройства, но, очевидно, его мощность не может быть больше мощности типового электродвигателя для привода типового станка-качалки.

В то же время существовали попытки переломить ситуацию и в условиях отсутствия финансирования адекватных технических средств для эффективной реализации технологии вибросейсмического воздействия предложить более совершенные источники колебаний. Речь идет о применении волноводов для доставки энергии колебаний с поверхности прямо в нефтяной пласт, минуя вышележащую толщу пород, совмещенных с наземными источниками. В качестве этих устройств предлагались вначале обычные сваебойки, электро-гидравлические молоты типа МЭМ-2000, предназначенные для дробления горных пород. В этом случае более эффективный вибрационный принцип воздействия был заменен на импульсный, что снизило общую эффективность от внедрения. К примеру, на Жирновском месторождении за год с опытного участка было добыто более 50 тыс. т нефти при плановых около 200 тыс. т.

Таким образом, следует отметить, что дальнейшие успехи в промышленном внедрении волновых технологий связаны с существенным повышением их энерговооруженности, которая напрямую зависит от уровня материальных затрат на их разработку и изготовление. Малые сервисные компании не в состоянии проводить активную внедренческую политику, в отношении современных МУН. Крупные операторы проектов заняты минимизацией производственных процессов.

Итак, для реализации Энергетической стратегии России, увеличения эффективности процесса добычи нефти, уменьшения затрат энергии, идущей на производство нефти на завершающей стадии разработки месторождений должны применяться различные технологии, в том числе и волновые. Но затраты на их реализацию уже не могут быть меньше, чем затраты на добычу нефти в начале разработки. Поэтому не следует ожидать чуда от тех методов, которые требуют для своего внедрения небольшие затраты. Чтобы конкурировать с технологиями, основанными на процессе заводнения, необходимо

предъявить не меньшие возможности по энерговооруженности технологии-претенденту. В этом случае напрямую будут реализованы все достоинства метода повышения нефтеотдачи и исчезнут споры по поводу эффектов от внедрения различных методов, в том числе и волновых, на фоне нестабильной закачки. Тогда можно говорить о коммерческом применении альтернативной технологии разработки, новом методе повышения нефтеотдачи. Для увеличения нефтеотдачи необходимо искать альтернативные способы закачки в пласт других видов энергии, отличных от потенциальной энергии воды, используемой в гидродинамических методах.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Крылов А.П.* и др. Теоретические основы и проектирование разработки нефтяных месторождений. М., 1959.
2. *Лопухов Г.П.* Способ разработки обводненного нефтяного месторождения и устройство для его осуществления: Патент РФ № 2163660, оп. 27.02.2001, бюл. № 6.
3. *Лопухов Г.П.* Способ разработки обводненного нефтяного месторождения и устройство для вибросейсмического воздействия на это месторождение: Патент РФ № 2172819, оп. 27.08.2001, бюл. № 24.
4. *Панарин А.Т., Валитов Ш.М.* Энергетическая составляющая – критерий эффективности разработки нефтяных месторождений // Нефт. хоз-во. 2007. № 12. С. 36–38.
5. *Шейнман А.Б., Малофеев Г.Е., Сергеев А.И.* Воздействие на пласт теплом при добыче нефти. М.: Недра, 1969. 256 с.
6. *Алешин А.С.* и др. Вибрационные источники в проблеме повышения нефтеотдачи // Сейсмическое вибровоздействие на нефтяную залежь. М., 1993. С. 82–100.

ПРИЛОЖЕНИЕ

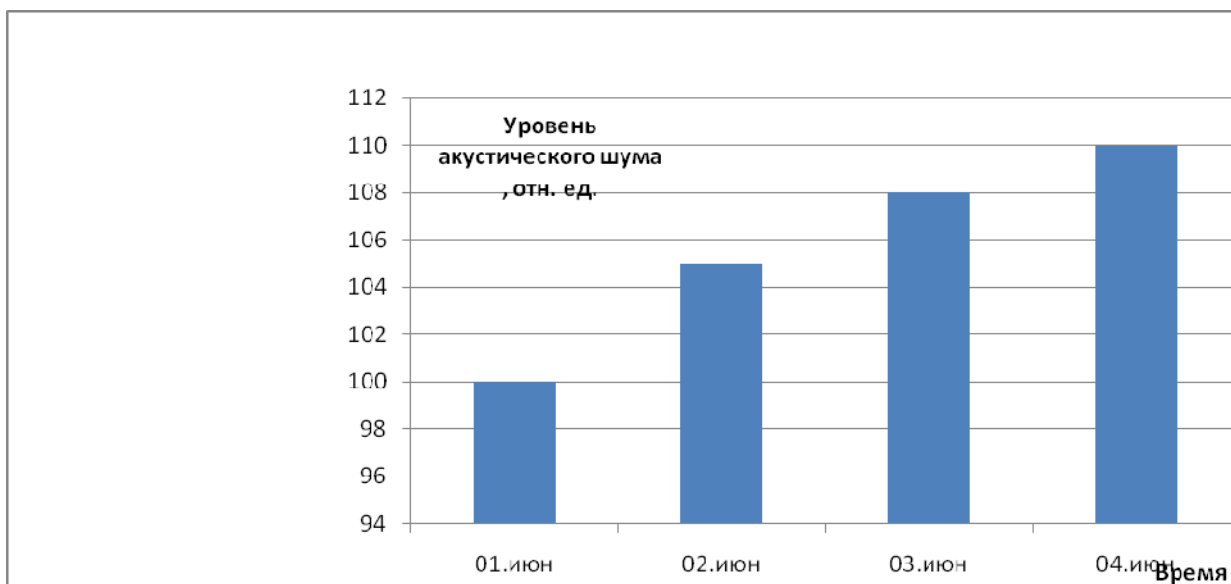


Рис. 1. Изменение уровня акустического шума на Речицком месторождении с 1 по 4 июня 2005 года при проведении вибросейсмического воздействия

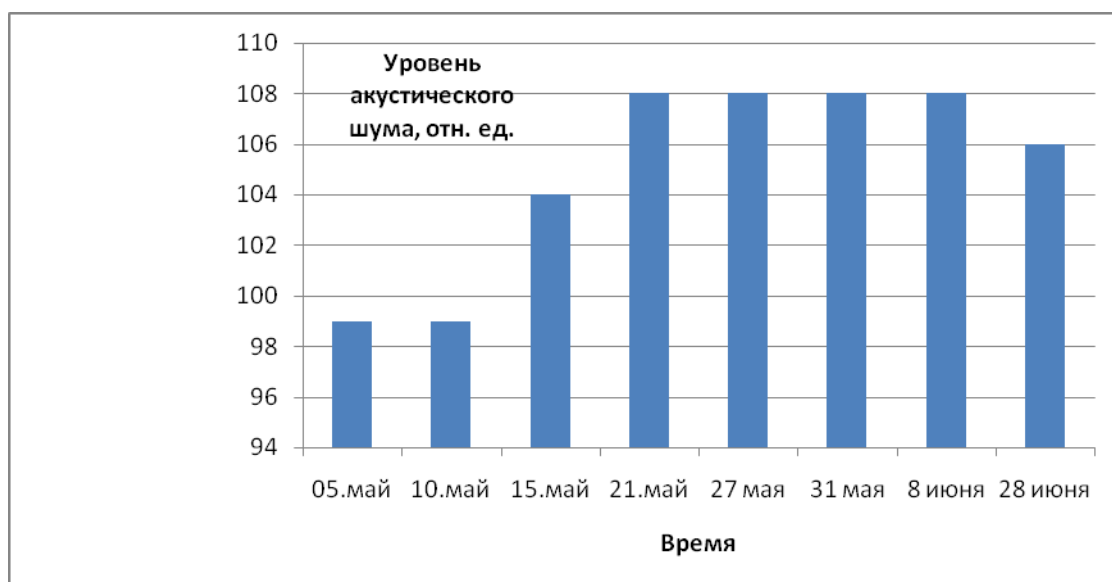


Рис. 2. Изменение уровня акустического шума на Березинском месторождении с 5 мая по 28 июня 2006 года при проведении вибросейсмического воздействия



Рис. 3. Вибросейсмический источник мощностью 1,5 МВт для коммерческих проектов