

Tu A 11

## On the Selection of the Optimal Mode of the Wave Stimulation in Oil Production

E.A. Marfin\* (KazanSC RAS, KFU), A.A. Abdrashitov (KazanSC RAS) & Y.I. Kravtsov (KazanSC RAS)

### SUMMARY

---

The work dedicated to the problem mode selection of the wave stimulation to improve the efficiency of oil extraction. The method of combining with wave action by SAGD with two-wellheads reviewed. The process of formation of standing waves in the injection well and the energy propagation of elastic vibrations into a producing reservoir through the wall of the well is investigated. The existence range of the exposure frequency, at which there is minimal absorption of elastic waves, is set. It is shown that with increasing distance from the injection well a value optimum frequency shifts downwards. Obtained results may be the basis for selecting the optimal frequency wave stimulation.

## **Введение**

Эффективность разработки нефтяных месторождений может быть повышена за счет совмещения волнового воздействия на продуктивные пласты с применяемыми методами увеличения нефтеотдачи [1-2]. Промысловый эксперимент, проводимый авторами на протяжении ряда лет и основанный на комбинировании волнового воздействия с внутрипластовым горением, свидетельствует о значительном повышении показателей добычи [2]. Волновое воздействие может осуществляться с использованием наземных или скважинных генераторов упругих колебаний [3-4]. При этом отмечается, что эффективность такого воздействия зависит от ряда факторов, таких как: степень выработки пласта, фильтрационные свойства коллекторов, физические свойства пластовых флюидов, но, главным образом, от режима воздействия, который определяется амплитудно-частотными характеристиками используемых генераторов колебаний упругих волн.

Многочисленные исследования, обзор результатов которых представлен в работе [4], свидетельствуют о том, что в результате воздействия упругими волнами интенсифицируются практически все физико-химические процессы, протекающие в продуктивных пластах. Среди явлений, от которых сильно зависит процесс добычи углеводородов, следует отметить такие как: увеличение проницаемости продуктивных пластов, изменение реологических свойств пластовых флюидов, выделение растворенных в нефти газов и другие.

Практическая реализация волнового воздействия на пласт сдерживается необходимостью решения ряда задач. Главным образом, это разработка генераторов упругих колебаний с необходимыми амплитудно-частотными характеристиками. В работе [5] предлагается метод оптимизации геометрических параметров проточного излучателя колебаний на базе резонатора Гельмгольца, который может быть использован в качестве устройства волнового воздействия на продуктивный пласт. Разработанный метод позволяет проектировать устройства, настроенные на определенные частоты. Кроме того, при разработке устройств необходимо учитывать частотные характеристики скважины, в которой они размещаются. Некоторые теоретические изыскания в этой части при совмещении волнового и теплового воздействия на пласт сделаны в работе [6]. Показано, что при оптимальном выборе частоты генерируемых колебаний и местоположения излучателя в скважине можно добиться значительных результатов. В работе [7] предложен метод выбора частоты воздействия на пласт на основе спектрального анализа фильтрационных шумов в продуктивных пластах.

Настоящая работа посвящена рассмотрению особенностей применения скважинных генераторов и анализу факторов влияющих на эффективность волнового воздействия на пласт.

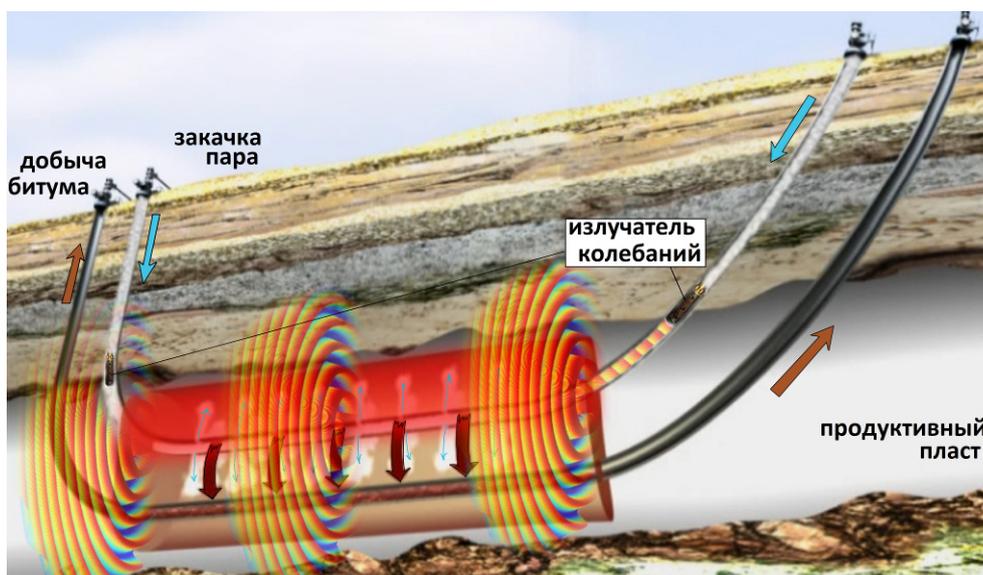
## **Метод волнового воздействия на пласт**

Скважинная добыча высоковязких нефтей и природных битумов невозможна без применения тепловых методов воздействия на продуктивный пласт. Это обусловлено необходимостью повышения текучести густых углеводородов. Нагнетание в пласт теплоносителя (пар, горячая вода, парогаз и др.) позволит увеличить температуру нефти и снизить ее вязкость. Использование волнового воздействия совместно с тепловыми методами позволит существенно повысить эффективность добычи нефти. В качестве примера рассмотрим совмещение метода паро-гравитационного дренажа (SAGD) с волновым воздействием. В патенте [7], взятом за основу, описана технология паро-гравитационного дренажа, реализуемую на Ашалчинском месторождении Республики Татарстан. Задача состоит в разработке способа совмещения этой технологии с волновым воздействием и выборе оптимального режима воздействия, обеспечивающего максимальную интенсивность колебаний в продуктивном пласте, которая определяется их амплитудой.

Предложенный авторами изобретения [8] способ добычи высоковязкой нефти состоит в том, что в интервале продуктивного пласта прокладывают пару двухустьевых горизонтальных

скважин, одну над другой, состоящих каждая из двух вертикальных стволов, соединенных между собой горизонтальным участком. Двухствевая нагнетательная скважина строится вдоль свода продуктивного пласта, а добывающая двухствевая скважина вдоль подошвы пласта. Для первоначального прогрева пласта подают пар по обеим скважинам. При этом создают проницаемую зону между скважинами и паровую камеру над нагнетательной скважиной. После этого, подачу пара по добывающей скважине прекращают и осуществляют по ней извлечение расплавленной нефти. Подачу пара по нагнетающей скважине продолжают в течение периода добычи. Недостатком такого способа представляется защемление части нефти в поровых каналах пласта образующимся конденсатом воды и, в результате этого, неполное извлечение нефти.

Повысить эффективность вышеизложенного способа добычи предлагается за счет совмещения SAGD с волновым воздействием на продуктивный пласт. Для этого на обоих концах насосно компрессорных труб (НКТ) нагнетательной скважины, сразу за пакерами, размещают проточные генераторы упругих колебаний, направленные друг к другу. Эффективность предлагаемых генераторов определяется тем, что, не усложняя существующую систему, для возбуждения колебаний давления используется незначительная часть кинетической и потенциальной энергии самого потока теплоносителя. В данном случае создается объемный полуволновой резонатор из горизонтального участка обсадной трубы, заключенного между проточными генераторами. Закачивая пар в нагнетательную скважину по НКТ и прокачивая весь пар через проточные генераторы, в потоке пара возбуждаются упругие колебания на одной из собственных частот объемного резонатора. Схема реализации предлагаемого способа представлена на рисунке 1. Регулировка частоты генерации упругих колебаний осуществляется изменением давления подачи пара по каждой НКТ отдельно. При этом в объемном резонаторе формируется система бегущих навстречу друг другу волн.



**Рисунок 1** Схема реализации волнового воздействия на продуктивный пласт.

Рассмотрим процесс распространения энергии упругих волн из скважины в пласт. При работе генераторов в скважине изменяется давление с частотой генерируемых колебаний. Изменение давления в скважине относительно среднего значения на величину амплитуды колебаний  $p$  приведет к радиальному перемещению наружной поверхности обсадной колонны скважины:

$$u = \left( \frac{2r_1^2}{r_2^2 - r_1^2} \right) \frac{p}{E} \quad (1)$$

где  $E$  – модуль Юнга материала обсадной колонны скважины (для стали  $E=210$  ГПа);  $r_1$ ,  $r_2$  – внутренний и наружный радиусы скважины.

В свою очередь, перемещение наружной поверхности обсадной колонны, контактирующей с окружающей средой, приводит к генерации цилиндрических упругих волн с амплитудой равной:

$$p_k = i\omega\rho c \quad (2)$$

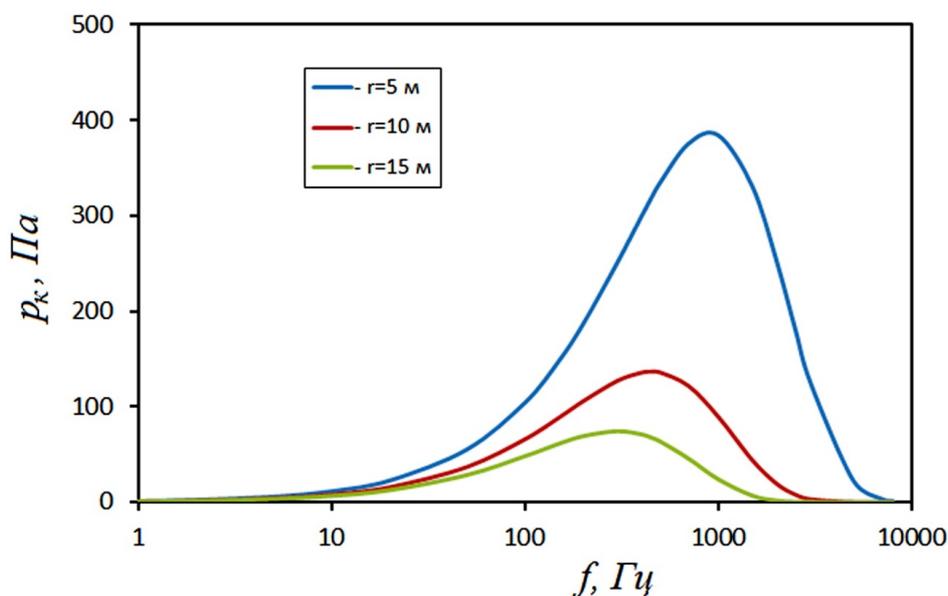
где  $\omega$  – циклическая частота,  $c^{-1}$ ;  $\rho$  – плотность окружающей среды,  $kg/m^3$ ;  $c$  – скорость звука в среде,  $m/s$ .

При распространении генерируемых цилиндрических волн вглубь пласта, их амплитуда снижается с увеличением расстояния  $r$  от скважины, согласно формуле:

$$p_k(r) = p_k \frac{1}{\sqrt{r}} e^{-\alpha r} \quad (3)$$

где  $\alpha$  – коэффициент затухания упругих волн в продуктивном пласте,  $m^{-1}$ .

Полученные уравнения позволяют оценить амплитуду колебаний в продуктивном пласте на различном удалении от нагнетательной скважины. На рисунке 2 представлены результаты расчета распределения амплитуды колебаний для продуктивного пласта Ашальчинского месторождения. Значение амплитуда колебаний генерируемых в нагнетательной скважине выбрано равным 0,01 МПа. Очевидно, что с увеличением расстояния от нагнетательной скважины амплитуда существенно снижается. Однако следует отметить также «резонансный» характер процесса распространения колебаний из скважины в пласт. На рисунке 2 также видно, что существуют определенные частоты колебаний, на которых амплитуда в глубине пласта имеет максимальные значения.



**Рисунок 2** Частотная зависимость амплитуды колебаний в пласте на различных расстояниях от нагнетательной скважины.

Расчетные данные свидетельствуют также о том, что с увеличением расстояния от нагнетательной скважины оптимальная частота смещается в сторону уменьшения. Это означает, что на начальном этапе разработки месторождения, когда фронт вытеснения находится ближе к нагнетательной скважине, наиболее эффективным будет воздействие на больших частотах (порядка кГц). В процессе выработки пласта граница вытеснения распространяется вглубь пласта от нагнетательной скважины, и тогда необходимы низкие

частоты (порядка сотен Гц). Таким образом, полученные результаты могут быть основой для выбора оптимальной частоты волнового воздействия на пласт.

### Выводы

В работе предложен способ совмещения волнового воздействия с технологией парогравитационного воздействия на пласт в условиях двухустьевых горизонтальных скважин. Рассмотрен процесс формирования в нагнетательной скважине стоячих волн и распространения энергии упругих колебаний в продуктивный пласт через стенку скважины. Установлено существование диапазона частоты воздействия, при которых происходит минимальное поглощение упругих волн. Показано, что с увеличением расстояния от нагнетательной скважины значение оптимальной частоты смещается в сторону уменьшения. Полученные результаты могут быть основой для выбора оптимальной частоты волнового воздействия на пласт.

### Благодарности

Публикация тезисов докладов осуществлена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Республики Татарстан в рамках научного проекта №15-48-02212.

### Список литературы

1. Marfin, E.A. and Abdrashitov, A.A. [2014] Extraction of heavy oil at thermal-wave impact on the producing formation. *6<sup>th</sup> EAGE Saint Petersburg International Conference & Exhibition – Geosciences – Investing in the Future*, ThP04, 607-611.
2. Marfin, E.A., Kravtsov, Y.I., Abdrashitov, A.A., Gataullin, R.N. and Galimzyanova, A.R. [2015] Elastic-Wave Effect on Oil Production by In Situ Combustion: Field Results. *Petroleum Science and Technology*, **33**(15-16), 1526-1532.
3. Kuznetsov, O.L., Simkin, E.M., Chilingar, G.V., Gorfunkel, M.V., and Robertson, Jr.J.O. [2002] Seismic techniques of enhanced oil recovery: Experimental and field results. *Energy Sources*, **24**(9), 877-890.
4. Beresnev, I.A., and Johnson, P.A. [1994] Elastic-wave stimulation of oil production: A review of methods and results. *Geophysics*, **59**(6), 1000-1017.
5. Marfin, E.A., and Kravtsov, Y.I. [2005] Choice of optimum geometrical parameters of a radiator on the basis of a Helmholtz resonator. *Izvestiya Akademii Nauk. Energetika*, **6**, 108-113.
6. Gataullin, R.N., Kravtsov, Y.I., and Marfin, E.A. [2013] Intensification the process of hard to recover hydrocarbons reserves extraction by integrated heat-wave influence on layer. *Neftyanoe khozyaistvo – Oil Industry*, **1**, 90-93.
7. Marfin, E.A., Kravtsov, Y.I., Abdrashitov, A.A. and Metelev, I.S. [2015] Intensification of oil production under vibration impact on the producing formation. *Geomodel 2015 - 17th science and applied research conference on oil and gas geological exploration and development*. Tu0111.
8. Хисамов, Р.С., Абдулмазитов, Р.Г., Ибатуллин, Р.Р., Валовский, В.М. и Зарипов, А.Т. Способ разработки нефтебитумной залежи. Патент на изобретение RUS 2287677 от 16.12.2005.