

Промысловые испытания волнового воздействия на процесс добычи нефти на Первомайском месторождении

В статье представлены результаты испытаний воздействия полем упругих колебаний на процесс добычи нефти на двух участках Первомайского месторождения. Волновое воздействие осуществлялось через нагнетательную скважину с помощью проточного гидродинамического излучателя. Положительный эффект воздействия проявился в увеличении дебита скважин по нефти и снижении обводненности извлекаемой продукции. На одном участке в результате воздействия упругими волнами увеличилась приемистость нагнетательной скважины.

Ключевые слова: нефтеотдача, волновое воздействие, скважина, гидродинамический излучатель, дебит нефти, обводненность, упругие колебания.

Введение

В процессе добычи в недрах остаются значительные запасы нефти. Применяемые методы увеличения нефтеотдачи пластов предполагают закачку в пласт воды, пара, газа, химических реагентов (ПАВ, гелей и др.), а также гидроразрыв пласта и внутрипластовое горение. В наиболее успешных случаях нефтеотдача достигает 50-70%. Однако, у каждого из этих методов увеличения нефтеотдачи имеются некоторые ограничения и нежелательные побочные явления. Так, многие методы являются дорогостоящими, на время обработки другими необходимо приостанавливать добычу, возможны вредные экологические последствия. Таким образом, повышение эффективности процесса извлечения нефти представляется основной задачей нефтедобывающей промышленности.

Для решения отмеченных проблем предлагаются различные способы. Одним из наиболее перспективных методов представляется воздействие упругими волнами (Алемасов и др., 2004; Дыбленко и др., 2000). Воздействие упругими волнами на продуктивный пласт позволяет повысить эффективность обычных методов увеличения нефтеотдачи.

Исследования по интенсификации добычи нефти за счет использования упругих волн начались с середины XX века. В работе (Beresnev & Johnson, 1994) представлен широкий обзор методов использования упругих волн при добыче нефти как в промысловых, так и лабораторных условиях. На основе анализа более сотни публикаций и исследований, выполненных в основном в России и США во второй половине XX века, авторы обзора отмечают, что для широкомасштабного индустриального внедрения метода воздействия упругими волнами необходимо глубокое исследование механизма процесса.

За последующие 20 лет нефтяная наука значительно продвинулась в понимании механизма воздействия и практической реализации метода. Так, если ранее процент успешных обработок составлял 40-50%, то в настоящее время он достигает 60-80%.

Важной проблемой реализации метода воздействия является создание эффективных технических средств, предназначенных для возбуждения в пласте упругих волн. Формирование волнового поля осуществляется двумя способами: 1) виброисточниками, передающими энергию колебаний в нефтяной пласт с земной поверхности через толщу

вышележащих горных пород; 2) воздействие через призабойную зону скважины скважинными виброисточниками или поверхностными с передачей энергии на призабойную зону через волноводы. По принципу действия виброисточники разделяются на электромеханические, гидравлические, гидроимпульсные, электрогидравлические, электромагнитные, магнитострикционные, пьезокерамические. Каждый из них работает в определенном частотном и амплитудном диапазоне. Частотный спектр перечисленных устройств занимает диапазон от тысячных долей герц до десятков кГц. Амплитуда колебаний давления достигает десятков МПа. Вопрос выбора необходимого устройства воздействия и соответственно амплитудно-частотного диапазона до сих пор является открытым.

В статье представлен анализ результатов промысловых испытаний воздействия на процесс добычи упругими волнами, проведенных в 2007 г. на участках Первомайского месторождения НГДУ «Прикамнефть» ОАО «Татнефть».

Первомайское месторождение открыто в 1958 г. и введено в промышленную разработку в 1964 году; расположено в северо-восточной части Республики Татарстан. В настоящее время месторождение находится на поздней стадии разработки. Пробуренный фонд составляет 488 скважин, из которых нефть дают 213, при этом под закачкой находятся 109 скважин. Разработка ведется механизированным способом (43% – ЭЦН, 57% – ШГН). К 2007 году с начала разработки отобрано около 50 млн. т нефти. Обводненность извлекаемой продукции месторождения составляет 90%.

Продуктивный пласт характеризуется следующими показателями: средняя глубина залегания – 1660 м; эффективная нефтенасыщенная толщина – 7,5 м, пористость песчаного коллектора – 20%, проницаемость – 0,789 мкм², начальное пластовое давление – 16,6 МПа, начальная пластовая температура – 36 °С, вязкость нефти в пластовых условиях – 23,3 мПа*с, плотность нефти в пластовых условиях – 0,869 т/м³, массовое содержание серы – 2,1%, парафинов – 3,5%, вязкость воды в пластовых условиях – 1,7 мПа*с, плотность воды в пластовых условиях – 1,16 т/м³.

Используемым устройством для возбуждения упругих волн в скважине является проточный излучатель на основе резонатора Гельмгольца (конструкция Исследовательского центра проблем энергетики КазНЦ РАН). Функционально излучатель представляет собой цилиндричес-

кую камеру с двумя круглыми отверстиями – соплами, расположенными соосно на двух противоположных стенках камеры. Струя рабочего агента, протекающая через эти отверстия, проходит через камеру. В результате гидродинамических эффектов в камере происходит генерация мощных импульсов давления. Проведенными ранее (Марфин и др., 2005) в стендовых условиях экспериментальными исследованиями выявлены закономерности процесса генерации колебаний от давления и расхода жидкости.

Излучатели размещались на конце насосно-компрессорной трубы в нагнетательных скважинах на уровне продуктивных пластов, которые разрабатываются с применением заводнения. Частота генерируемых колебаний составляла 7 кГц, амплитуда колебаний – 0,1 МПа. Выбор частоты воздействия основан на результатах исследований фильтрационных шумов, выполняемых совместно с кафедрой радиоэлектроники Казанского федерального университета.

Волновое воздействие осуществлялось с момента установки устройств в декабре 2006 г. (в скв. №534 и №1539) на протяжении 6 месяцев. Результаты воздействия оценивались на основе анализа наблюдений за показателями добычи реагирующих добывающих скважин и режима работы нагнетательных скважин. Эти показатели сравнивались с предшествующими за 12 месяцев данными.

Характеристика	Добывающие скважины				
	139	1422	743	1361	726
Расстояние от нагнетательной скважины, м	500	500	500	750	820
Тип насоса	ЭЦН М5-60-1200	ЭЦН А5-30-1050	ШГН 25-225-ТНМ-11-4	ШГН 25-175-ТНМ-11-4	ШГН НН-2Б-32
Производительность насоса, м ³ /с	60,0	30,0	13,5	4,6	4,6
Пластовое давление, МПа	19,0	13,7	17,2	12,5	10,4
Дебит нефти до воздействия, т/сут	0,68	5,26	1,28	1,63	2,37
Дебит нефти во время воздействия, т/сут	1,51	5,29	1,43	1,80	2,47
Дебит нефти после воздействия, т/сут	1,32	5,86	1,23	1,84	2,42
Обводненность до воздействия, %	99,2	86,8	95,8	77,3	7,87
Обводненность во время воздействия, %	98,4	86,6	97,9	76,7	5,7
Обводненность после воздействия, %	98,9	82,8	96,4	77,5	4,9

Табл. 1. Характеристики добывающих скважин на уч. № 534.

Характеристика	Добывающие скважины			
	523	1409	721	492
Расстояние от нагнетательной скважины, м	875	750	870	250
Тип насоса	ШГН 20-175 ТНМ-11-4	ШГН 25-125 ТНМ-11-4	ЭЦНМ 5-20-1200	ШГН 20-125 ТНМ-11-4
Производительность, м ³ /с	19,8	4,6	20,0	9,2
Пластовое давление, МПа	15,4	10,5	16,7	12,3
Дебит нефти до воздействия, т/сут	8,41	2,2	6,38	1,21
Дебит нефти во время воздействия, т/сут	11,31	1,13	6,06	1,21
Дебит нефти после воздействия, т/сут	8,97	0,78	6,04	1,23
Обводненность до воздействия, %	10,8	82,2	73,0	79,7
Обводненность во время воздействия, %	3,71	70,66	77,46	78,5
Обводненность после воздействия, %	7,78	76,1	79,95	81,43

Табл. 2. Исходные характеристики добывающих скважин на уч. № 1539.

В таблицах 1 и 2 представлены средние значения характеристик добывающих скважин, реагирующих на нагнетательные, полученные в 2006-2007 гг. до и после воздействия упругими волнами.

Показатели добычи определялись суммой добытой нефти по скважинам. Средние значения дебита нефти на участке №543: до воздействия – 11,23 т/сут, при воздействии – 12,50 т/сут, после воздействия – 13,05 т/сут. Средняя обводненность извлекаемой продукции составила: до воздействия – 93,2%, при воздействии – 94,16%, после воздействия – 92,03%.

Во время испытаний произошли изменения приемистости нагнетательной скважины №543. Так до воздействия она составляла – 0,72 т/сут·МПа, при воздействии – 6,73 т/сут·МПа, после воздействия – 6,55 т/сут·МПа. Важно отметить, что на участке в 2006 году в пласт закачали 2,9 тыс. т жидкости, а извлекли – 60,4 тыс. т. Материальный баланс не сохранялся вследствие малой приемистости нагнетательной скважины. В 2007 году за 9 месяцев закачали в пласт 21,3 тыс. т жидкости, а извлекли 53,8 тыс. т. В результате воздействия приемистость нагнетательной скважины значительно увеличилась.

Таким образом, на участке №543 эффект воздействия упругими волнами проявился в увеличении дебита нефти и увеличении приемистости нагнетательной скважины. Обводненность практически не изменилась.

Средние значения дебита нефти на участке №1539: до воздействия – 18,2 т/сут, при воздействии – 19,73 т/сут, после воздействия – 17,03 т/сут. Средние значения обводненности составили: до воздействия – 67,32%, при воздействии – 59,04%, после воздействия – 65,78%.

На участке №1536 разработка велась в более щадящем режиме в сравнении с участком №534. В 2006 году в пласт закачено 20,6 тыс. т жидкости, а добыто 20,3 тыс. т. В 2007 году за 10 месяцев закачали в пласт 16,32 тыс. т жидкости, а извлекли 16,33 тыс. т. При этом значение приемистости нагнетательной скважины составило: до воздействия – 5,75 т/сут·МПа, при воздействии – 5,30 т/сут·МПа, после воздействия – 4,64 т/сут·МПа.

Изменение зависимости накопленной добычи нефти от накопленной закачки в пласт воды в результате волнового воздействия представлено на рис. 1. График свидетельствует о том, что в результате наложения волнового поля темп отбора добычи нефти изменился.

На основе обработанных данных построена зависимость накопленной дополнительной добычи нефти за счет воздействия на продуктивный пласт упругими волнами (Рис. 2).

Полученные графические зависимости накопленной добычи нефти по времени свидетельствуют о том, что каждый участок по-своему реагирует на воздействие упругими волнами. Это объясняется тем, что участок №534 находится на более поздней стадии выработки пласта, чем участок №1539. Тем не менее, важным обстоятельством является тот факт, что эффект от воздействия наблюдается.

Заключение

Таким образом, как показали промысловые исследования, воздействие упругими волнами оказывает влияние на процесс добычи нефти. В первую очередь увеличивается дебит нефти. Эффект воздействия проявляется как в сниже-

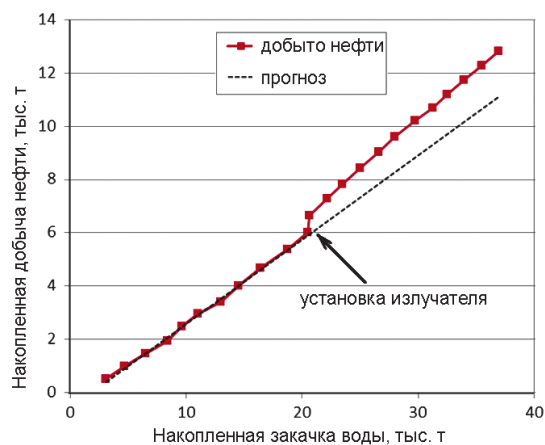


Рис. 1. Изменение зависимости накопленной добычи нефти от накопленной закачки в пласт воды в результате волнового воздействия.

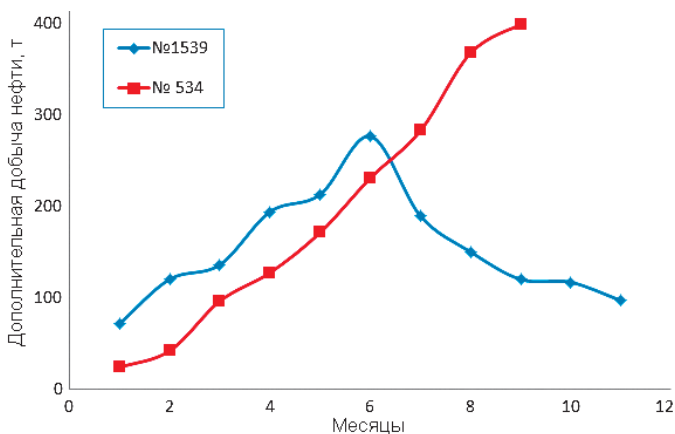


Рис. 2. Зависимость дополнительной добычи нефти от времени после начала волнового воздействия.

нии обводненности извлекаемой продукции, так и увеличении проницаемости нагнетательных скважин. После прекращения воздействия наблюдаемый эффект может продолжаться еще несколько месяцев. Разработанный излучатель упругих волн подтвердил свою работоспособность.

* Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Республики Татарстан (грант №13-08-97078).

Литература

Igor A. Beresnev & Paul A. Johnson. Elastic-wave stimulation of oil production: A review of methods and results. *Geophysics*. Vol. 59. №6. Pp. 1000-1017.

Алемасов В.Е., Кравцов Я.И., Муслимов Р.Х. Комбинированное воздействие на продуктивные пласты как способ достижения синергетического эффекта. *Бурение и нефть*. 2004. № 12. С. 9-11.

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

Марфин Е.А., Кравцов Я.И. Выбор оптимальных геометрических параметров излучателя на основе резонатора Гельмгольца. *Известия РАН. Энергетика*. 2005. № 6. С. 101-106.

Сведения об авторах

Евгений Александрович Марфин – канд.тех.наук, ведущий научный сотрудник лаборатории, старший преподаватель Казанского (Приволжского) федерального университета

Яков Исаакович Кравцов – доктор тех. наук, член-корр. РАЕН, заслуженный энергетик РТ, заведующий лабораторией

Алексей Алланович Абдрашитов – младший научный сотрудник

Гатауллин Рустем Наилевич – канд. тех. наук, научный сотрудник

Исследовательский центр проблем энергетики КазНЦ РАН, Лаборатория Основ энергоэффективных технологий воспроизведения природных топлив

420111, Казань, ул. Лобачевского, д. 2/31. Тел: (843) 292-75-05

Field Tests of Wave Action on Oil Production in the Pervomaysky Field

E.A. Marfin^{1,2}, Ya.I. Kravtsov¹, A.A. Abdrashitov¹, R.N. Gataullin¹

¹Research center for power engineering problems Kazan scientific center Russian Academy of Sciences, Kazan, Russia

²Kazan (Volga region) Federal University, Kazan, Russia, marfin@mail.knc.ru

Abstract. The article deals with the results of impact testing by elastic oscillations field on the oil production at two sites of the Pervomaysky field. Wave action was carried out through the injection well by means of flow hydrodynamic radiator. Positive impact effect became apparent in the well production increase by oil and water cut reduction of extracting product. Injection capability of injection well has increased on one site due to impact by elastic waves.

Keywords: oil recovery, wave action, well, hydrodynamic radiator, oil production rate, water cut, elastic oscillations.

References

Beresnev Igor A. & Johnson Paul A. Elastic-wave stimulation of oil production: A review of methods and results. *Geophysics*. Vol. 59. №6. Pp. 1000-1017.

Alemasov V.E., Kravtsov Ya.I., Muslimov R.Kh. Kombinirovannoe vozdeystvie na produktivnye plasty kak sposob dostizheniya sinergeticheskogo effekta [Combined effect on productive formations as a way to achieve a synergistic effect]. *Burenie i nefi'* [Drilling and oil]. 2004. № 12. Pp. 9-11.

Dyblenko V.P., Kamalov R.N., Sharifullin R.Ya., Tufanov I.A. Povyshenie produktivnosti i reanimatsiya skvazhin s primeneniem

vibrovolnovogo vozdeystviya [Improvement of the effectiveness and wells recovery using vibrowave impact]. Moscow: «Nedra-Biznesstsentr» Publ. 2000. 381 p.

Marfin E.A., Kravtsov Ya.I. Vybora optimal'nykh geometricheskikh parametrov izluchatelya na osnove rezonatora Gel'mgol'tsa [Selection of optimal geometrical parameters of the radiator on the basis of the Helmholtz resonator]. *Izvestiya RAN. Energetika*. [Bulletin of the Russian Academy of the Sciences. Energetics]. 2005. № 6. Pp. 101-106.

Information about authors

Evgeniy A. Marfin – Cand.Sc. (Engineering), Leading researcher, Senior lecturer at Kazan Federal University.

Jakov I. Kravtsov – Dr.Sc. (Engineering), Chief of the Laboratory, corresponding member of Russian Academy of Natural Sciences.

Aleksey A. Abdrashitov – associate researcher.

Rustem N. Gataullin – Cand.Sc. (Engineering), researcher.

Research center for power engineering problems, Kazan scientific center of the Russian Academy of Sciences, Laboratory of Basis of energy efficient extraction technologies of natural fuels.

420111, Kazan, Russia, Lobachevskiy str. 2/31.

Tel: +7(843)273-92-31.