

УДК 624.042.7

Гидроимпульсная имплозионная обработка призабойной зоны пласта вертикальных, наклонных и горизонтальных скважин

Hydroimpulsive Implosion Processing of Bottomhole Formation Zone of Vertical, Inclined and Horizontal Wells

Ю.А. Бурьян, заведующий кафедрой «Основы теории механики и автоматического управления», профессор, д. т. н., Омский государственный технический университет;
В.Н. Сорокин, профессор кафедры «Основы теории механики и автоматического управления», заведующий научно-исследовательской лабораторией «Волновая механика», доцент, д. т. н., Омский государственный технический университет

Yu. Burian, V. Sorokin

АННОТАЦИЯ

В работе рассмотрены конструкция, особенности технологии и перспективы использования имплозионного генератора импульсов давления с автоколебательным гидроприводом для повышения нефтеотдачи вертикальных, наклонных и горизонтальных скважин.

Ключевые слова: *имплозионный генератор импульсов давления, упругие волны, перепад давления, гидроудар, автоколебательный гидропривод.*

ABSTRACT

The paper considers design features of the technology and prospects of implosion pressure pulse generator with hydraulic self-oscillating drive for enhanced oil recovery vertical, inclined and horizontal wells.

Keywords: *implosion pressure pulse generator, elastic waves, differential pressure, hydroimpact, hydraulic self-oscillating drive.*

В настоящее время многие месторождения находятся на поздней стадии разработки, в связи с чем возникает проблема выработки остаточных извлекаемых запасов. Низкая продуктивность скважин обусловлена многими факторами, в том числе низкими коллекторскими свойствами пласта и ухудшением

фильтрационных характеристик призабойной зоны пласта (ПЗП) в процессе освоения, эксплуатации, засорением щелевых фильтров в горизонтальных стволах. Метод и оборудование, описанные в данной работе, позволяют увеличить коэффициент продуктивности скважины и ускорить выработку запасов. Его



применение возможно там, где другие методы, такие как гидроразрыв пласта (ГРП) с закреплением пропантом, кислотная обработка призабойной зоны (ОПЗ) не эффективны или рискованны.

Обработка призабойной зоны пласта осуществляется при помощи имплозионного устройства. Оно воздействует на пласт путем создания импульсов высокого давления в зоне перфорации с целью повышения нефтеотдачи и приемистости скважин [1, 2].

Суть метода заключается в улучшении фильтрационной характеристики призабойной зоны пласта за счет использования энергии гидравлического удара, который приводит к образованию серии трещин для вертикальных и наклонных скважин и очистке фильтров в горизонтальных стволах.

На рисунке 1 схематично изображено имплозионное устройство многократного действия, применяемое в настоящее время для вертикальных скважин. К цилиндру 2 при помощи переходной втулки крепится патрубок входных окон 6. Другим концом патрубок крепится к колонне НКТ 5. На штанге 3 установлен плунжер 1, который может производить возвратно поступательные движения в вертикальном направлении в цилиндре. В нижней части цилиндра установлен шариковый клапан 4.

Имплозионное устройство работает следующим образом. На колонне НКТ имплозионное устройство опускается в интервал перфорации. Под действием штанг 3 плунжер 1 поднимается вверх. При движении плунжера вверх в камере цилиндра 2 создается разрежение. Это возможно благодаря работе обратного клапана 4, который перекрывает приток флюида к нижней части камеры цилиндра. Над плунжером давление равно гидростатическому давлению в скважине. Таким образом, перепад давлений над и под плунжером может достигать значения 15 МПа и более в зависимости от глубины скважины.

При дальнейшем движении плунжера вверх он выходит в расширенную часть переходной втулки, в этот момент на жидкость,

находящуюся непосредственно над полостью цилиндра, действует данный перепад давления и она устремляется вниз. Перепад давления продолжает ее ускорять и в момент ее встречи с обратным клапаном, она уже обладает высокой скоростью (до 100 м/с) и значительным импульсом. Пройдя имплозионную камеру, столб жидкости преодолевает усилие пружины шарикового клапана, и жидкость через выходные окна устройства устремляется в межтрубное пространство, которое сверху и снизу изолировано пакерами. Кинетическая энергия падающей жидкости переходит в энергию гидравлического удара. Давление в зоне обработки стремительно растет и достигает значения до 150 МПа за 0,05–0,01 с.

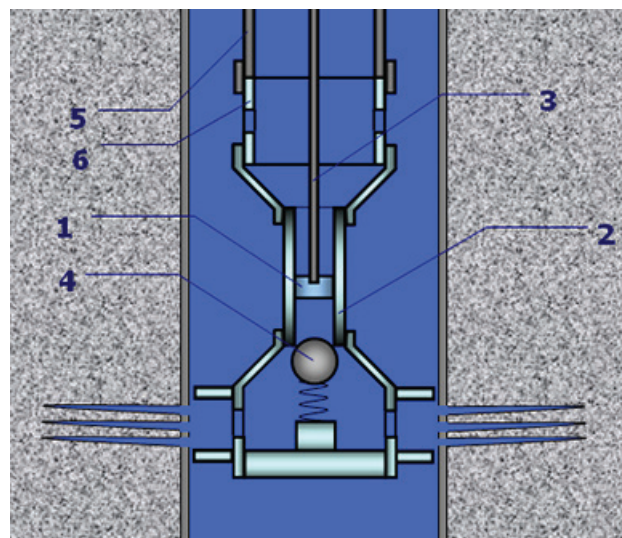


Рисунок 1 – Имплозионный генератор импульсов давления: 1 – плунжер, 2 – цилиндр, 3 – штанга, 4 – обратный клапан, 5 – колонна НКТ, 6 – входные окна

Пластовая жидкость, инициируемая этим давлением, действует на породу пласта. При этом начинают раскрываться существующие, но закрытые трещины, которые берут свое начало от затрубного пространства обсадной колонны, где плотность породы вследствие вымывания меньше, чем в основном массиве. Импульс давления, передаваемый через пластовую жидкость, распространяется с большой скоростью и действует на стенки раскрывающейся трещины как клин. При этом,



распространяясь в направлении наименьшего сопротивления, трещина, на наш взгляд, не будет ориентирована только в вертикальной или в горизонтальной плоскости, а будет похожа на крону дерева. Это происходит еще и потому, что мощность продуктивных пластов колеблется от нескольких метров до нескольких десятков метров и перепад горного давления в верхней части относительно нижней незначителен по сравнению с величиной импульса давления, создаваемого генератором. Таким образом, одиночный импульс давления создает в массиве продуктивного пласта разветвленную сеть трещин, обеспечивающих движение флюидов.

Передний фронт импульса давления, создаваемого генератором, очень крутой, и жидкость действует на стенки трещины как жесткий штамп, движущийся с большой скоростью. В результате такого воздействия происходит переупаковка зерен скелета породы пласта, увеличивающая ширину трещины.

Энергия импульса давления, создаваемого импlosionным устройством, расходуется на раскрытие трещины и переупаковку зерен скелета породы пласта. По мере увеличения расстояния от скважины амплитуда импульса давления постепенно падает, а передний фронт становится менее крутым. Жидкость теряет свою способность к переупаковке зерен скелета породы, однако ее давление превышает горное давление, необходимое для раскрытия трещины, и раскрытие трещины еще некоторое время продолжается. Когда давление жидкости становится равным горному давлению, процесс раскрытия трещины останавливается.

В той области трещины, где под действием импульса давления жидкости происходит переупаковка зерен скелета породы пласта, происходит не полное смыкание стенок трещины, а остаются соединенные между собой мельчайшие полости, соизмеримые с порами между зернами проппанта. Наличие таких полостей увеличивает дренируемость породы коллектора [7].

В рамках исследования эффективности ло-

кального гидроразрыва пласта (ЛГРП) методом импlosionного воздействия на ПЗП, например, на Самотлорском месторождении в СНГДУ-2, были проведены 4 обработки (3 из них в декабре 2007 года и одна в феврале 2008 года) [7]. Обработки проводились на низкодебитных скважинах: с дебитом по жидкости $Q_{ж}$, не превышающим $16 \text{ м}^3/\text{сут.}$, дебит по нефти $Q_{н}$ не превышал 8 т/сут. Ниже в табл. 1 приведены результаты обработок.

Таблица 1 – Режимы скважин до и после гидроимпульсной обработки пласта

Скв.	Куст	Режим до ОПЗ			Режим после ОПЗ			Прирост $Q_{н}$, т/сут	Прирост $Q_{ж}$, м ³ /сут
		$Q_{ж}$, т/сут	$Q_{ж}$, м ³ /сут	%	$Q_{ж}$, т/сут	$Q_{ж}$, м ³ /сут	%		
33398	1766Б	1,7	3,3	38	3,0	5,5	44	1,3	2,2
13775	2172	7,7	16	43	13,1	23,5	34	5,4	7,5
37500	1740	4,5	5,9	10	9,0	11,8	10	4,5	5,9
10719	1009	0,0	0	0	5,0	6	1	5,0	6,0
Средние значения		3,5	6,3	23	7,5	11,7	22,3	4,0	5,4

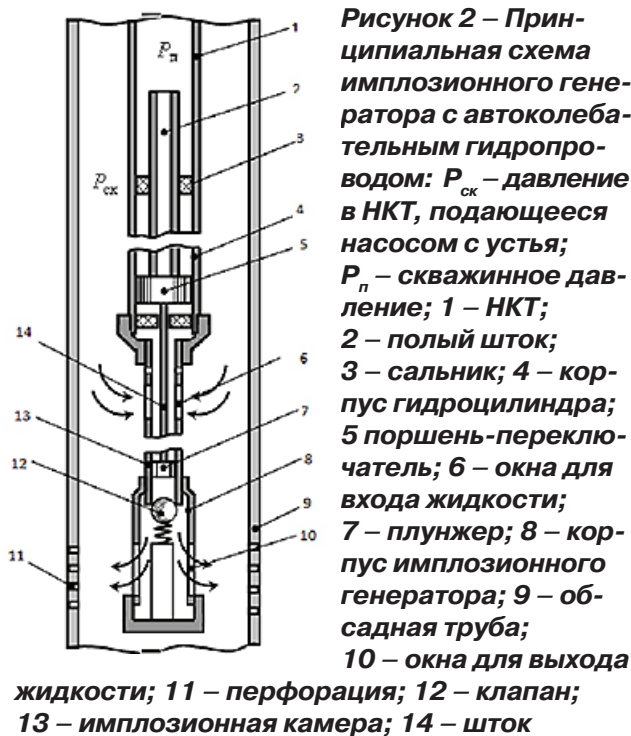
Из таблицы следует, что средний прирост дебита по нефти 4 т/сут.

Подъем плунжера импlosionного генератора в вертикальных скважинах осуществляется стандартными механизмами. Однако способ обеспечения движения плунжера импlosionного генератора с использованием штанг или стального каната имеет ряд недостатков, главным из которых является ограниченность его применения. Штанговый и канатный привод может использоваться в вертикальных скважинах и в скважинах, имеющих небольшой наклон (до 15°). Он не применим в наклонных скважинах из-за значительных сил трения между колонной штанг (канатом) и НКТ, возникающих при подъеме плунжера, которые могут привести к их разрыву, а в горизонтальных скважинах подобный привод вообще применяться не может. Одним из способов решения этой проблемы является использование автоколебательного гидравлического привода для обеспечения движения плунжера импlosionного генератора.

Достоинством такого привода, является то, что автоколебания возникают в системах при



отсутствии внешнего периодического воздействия. Для возникновения автоколебаний в системе необходимо наличие источника энергии и механизма, благодаря которому энергия этого источника превращается в колебательную энергию. Система к тому же должна обладать нелинейностью. Таким образом, устройство не нуждается в системе управления с устья скважины, к нему необходимо подвести рабочую жидкость под давлением и в непосредственной близости от гидроцилиндра (или в нем самом) установить переключатель, который самостоятельно распределяет эти потоки. Принципиальная схема такого устройства показана на рис. 2.



Давление рабочей жидкости с устья скважины по насосно-компрессорным трубам (НКТ) подается в полости гидроцилиндра 4 через поршень-переключатель 5 по полному штоку 2. При движении поршня 5 из нижнего положения вместе с ним перемещается плунжер 7 имплозионной камеры. Клапан 12 при этом закрыт. В имплозионной камере создается разрежение.

После перемещения плунжера выше зоны окон 6 скважинная жидкость под действием

давления с высокой скоростью поступает в имплозионную камеру и движется по ней, создавая гидроудар в зоне перфорации 11. При срабатывании переключателя в поршне 5 движение штока 14 и, соответственно, плунжера 13 периодически повторяется.

Для отладки автоколебательного гидравлического привода был спроектирован и изготовлен испытательный стенд, принципиальная схема которого приведена на рис. 3.

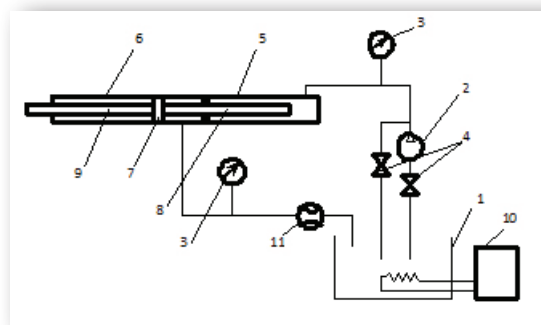


Рисунок 3 – Испытательный стенд: 1 – бак; 2 – гидронасос; 3 – манометры; 4 – задвижки; 5 – труба – имитатор НКТ; 6 – цилиндр; 7 – поршень с переключателем подачи воды в полости цилиндра; 8 – штук полый; 9 – штук; 10 – устройство нагрева и поддержания температуры воды; 11 – расходомер

В НИЛ «Волновая механика» Омского государственного технического университета разработана линейка типоразмеров имплозионных генераторов с автоколебательным гидроприводом, имеющая следующие технические характеристики (табл. 2).

Проведение работ по повышению нефтеотдачи с применением данного устройства целесообразно проводить совместно с ПРС или КРС в следующей последовательности:

1. Установить и спустить на колонне НКТ сборку имплозионного генератора с гидроприводом до продуктивного пласта, установив его на расстоянии 0,5 м от верхнего уровня перфорации.
2. Установить на устье фонтанную арматуру и провести обвязку.
3. Соединить НКТ с насосным агрегатом.
4. Подать давление в НКТ в течение 10 мин.
5. Определить появление гидравлических уда-



Таблица 1 – Режимы скважин до и после гидроимпульсной обработки пласта

Параметры	ВИГ 89/8	ВИГ 89/3,5	ВИГ 73/8	ВИГ 73/3,5	ВИГ 60/8	ВИГ 60/3,5
Диаметр проходного сечения, мм	89	89	73	73	60	60
Длина сборки, м	8	3,5	8	3,5	8	3,5
Диаметр цилиндра гидропривода, мм	57	57	57	57	45	45
Диаметр имплозионной камеры, мм	45	45	45	45	32	32
Длина имплозионной камеры, м	9,5	8,5	3,5	1,5	3,5	1,5
Максимальное давление жидкости в НКТ, МПа	25	25	25	25	25	25
Максимальная температура среды, С	100	100	100	100	100	100
Присоединительная резьба, мм	73	73	73	73	60	60
Нагрузка на НКТ из-за подъема плунжера имплозионного устройства, не более Н	$3,5 \cdot 10^4$	$3,5 \cdot 10^4$	$3,5 \cdot 10^4$	$3,5 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^4$	$2 \cdot 10^4$
Масса сборки, не более, кг	90	40	85	40	54	30
Глубина скважины, км	3	3	3	3	3	3

ров в скважине по резким падениям давления на устье или звуковому эффекту.

6. Опускать колонну НКТ на 1 м, повторяя пп. 4, 5 до прохождения всей толщи пласта.
7. Поднять колонну НКТ, отсоединить сборку имплозионного генератора.
8. Освоить и пустить скважину в эксплуатацию.

В качестве рабочей жидкости может использоваться вода, нефть или дизельное топливо.

Таким образом, проведенные в данной работе исследования показали, что предложенный принцип и конструктивное решение автоколебательного гидравлического привода для скважинных имплозионных устройств может с успехом использоваться в практике повышения нефтеотдачи для вертикальных, наклонных и горизонтальных скважин. ■

ЛИТЕРАТУРА

1. Попов А.А. Ударные воздействия на призабойную зону скважин. – М.: Недра, 1990. – 136 с.
2. Патент RU 2320866. – С.2.
3. Лойцянский Л.Г., Лурье А.И. Курс теоретической механики. – М.: Наука, 1983. – Т.2. – 640 с.
4. Бурьян Ю.А., Сорокин В.Н., Капелюховский А.А., Бекшенев А.С. Виброударный автоколебательный генератор//Омский научный вестник № 3 (70). – Омск, 2008. – С. 75–78.
5. Бакшта Т.М. Машиностроительная гидравлика. – М.: Машиностроение, 1971. – 771 с.
6. Бурьян Ю.А., Сорокин В.Н. Повышение нефтеотдачи методом локального гидроразрыва пласта с использованием имплозионного генератора с автоколебательным гидроприводом. – М.: Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. – 2010. – № 2. – С. 45–47.
7. Бурьян Ю.А., Сорокин В.Н., Лескин Ф.Ю. Локальный гидроразрыв пласта методом имплозионного воздействия. – М.: Нефть и газ. – 2009. – № 3 (75). – С. 53–58.