

УДК 622.276.6

**ОПЫТ КОНСТРУИРОВАНИЯ И ПРОМЫШЛЕННОГО
ПРИМЕНЕНИЯ РОТАЦИОННЫХ ПУЛЬСАТОРОВ
НА НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

Д.В. Ткачѐв

(БелНИПИнефть)

В.М. Ткачѐв, А.М. Селютин

(ГГТУ им. П.О. Сухого)

Разработка оборудования и технологии для струйно-импульсного воздействия на пласт с применением ротационного пульсатора относится к одному из наиболее перспективных физико-химических методов воздействия на пласт.

Обработку призабойной зоны нефтедобывающих скважин высоконапорными струями рабочей жидкости с помощью ротационных пульсаторов проводят с целью повышения вероятности совпадения струи бьющей в тупик с перфорационным каналом. Подобные устройства преобразуют стационарный поток технологической жидкости в пульсирующий, усиливающий гидромониторный эффект затопленных струй. Для достижения данного эффекта авторами статьи исследования велись в двух направлениях: разработка устройства в его классическом варианте – ротационный пульсатор с наличием вращающейся головки, с рабочими соплами и устройства с минимальным наличием подвижных элементов, позволяющих получить конусообразное вращение струи рабочей жидкости и достичь обработки зоны перфорации без осевого перемещения пульсатора.

Так как пульсатор работает в условиях агрессивной и абразивной среды, то устройство должно содержать минимальное количество трущихся кинематически связанных элементов. Из этих соображений предложена следующая конструкция пульсатора с вращающейся струей [1, 2] (рисунок 1), которая является модернизацией ранее разработанного и использовавшегося на месторождениях РУП «Производственное объединение «Белоруснефть» оборудование [3, 4].

Предлагаемая конструкция пульсатора работает следующим образом. Рабочая жидкость под заданным давлением в корпусе, присоединяемом к НКТ, разделяется на два гидравлически связанных потока. Первый поток через тангенциальные каналы подается в камеру завихрения, в которой на наклонных пазах шпил возникают турбулентности течения, повышающие степень кавитации. При попадании рабочей жидкости в конфузур происходит ускорение ее потока, а в области сужения – разрыв сплошности с образованием парогазовых кавитационных пузырьков, переносимых потоком в резонансную камеру. В резонансной камере

происходит усиление пульсаций давления. Парогазовые пузырьки через диффузор выносятся в скважинное пространство, где, попадая в область повышенного давления, схлопываются, создавая импульсы давления, которые воздействуют на стенки скважины. Второй поток через кольцевой зазор между корпусом и пульсатором и далее через тангенциальные каналы соединяется с резонансной камерой, вызывая перемещение шарового тела качения по кольцевой беговой дорожке, расположенного в резонансной камере. Струя рабочей жидкости в процессе огибания шарика, вращающегося по беговой дорожке в резонансной камере и частично перекрывающего выходное отверстие на выходе из пульсатора, будет отклоняться от вертикали, обеспечивая ударное воздействие на стенки скважины и повышая амплитуду пульсаций давления.

Качественная картина распределения расчетного давления в скважине при работающем пульсаторе, представленная на рисунке 2, наглядно отражает ожидаемый результат.

Промысловые работы с применением модернизированного пульсатора-кавитатора проходили на нефтяных скважинах белорусского региона: скв. 135 Мармовичского месторождения с целью интенсификации при-

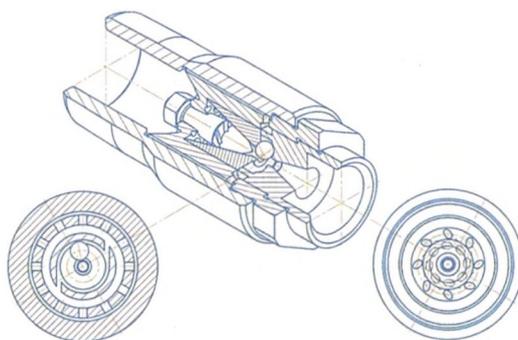


Рисунок 1. – Конструкция пульсатора с вращающейся струей

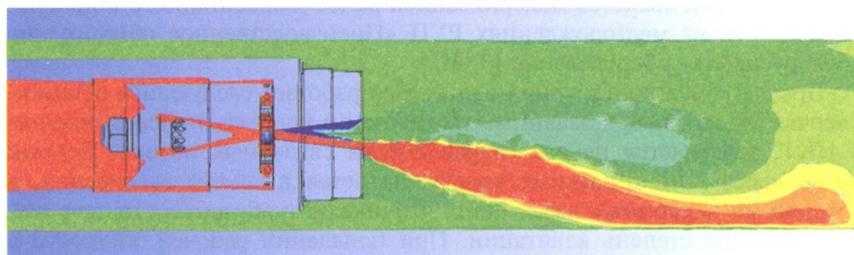


Рисунок 2. – Качественная картина распределения давления в скважине при работающем пульсаторе

тока (прирост коэффициента продуктивности составил 70 %) и скв. 32 Речицкого месторождения при проведении работ по отсечению нижележащего горизонта. Также успешно выполнены работы на двух скважинах Ярактинского нефтегазоконденсатного месторождения для ООО «Иркутская нефтяная компания».

В специализированной литературе и патентных источниках приводятся в основном конструкции ротационных пульсаторов, работоспособность которых обеспечивается при расходах рабочей жидкости в десятки литров в секунду, что неприемлемо при использовании химреагентов и кислот.

Одним из опробованных вариантов ротационного пульсатора был пульсатор, сконструированный по типу многосекционного турбобура. Однако в процессе производства и последующих испытаниях выявился ряд существенных недостатков такого устройства. В приборе развивается значительное осевое усилие. При этом возникает момент сил трения, превышающий момент кручения, развиваемый турбинным аппаратом.

Прорабатывался также вариант пульсатора, принцип работы которого основан на действии реактивной силы истекающей тангенциально струи рабочей жидкости. Несмотря на полученную значительную величину вращающего момента, для рассматриваемой конструкции характерен перепад давления. Это подтверждает и величина расхода рабочей жидкости. К недостаткам подобного рода конструкций следует отнести высокие скорости истечения рабочей жидкости из отверстий барабана, которые будут создавать развитую кавитацию на внутренней стенке пульсатора и, соответственно, быстрый износ рабочих поверхностей.

С учетом недостатков, выявленных в конструкции, описанных выше, был предложен вариант исполнения пульсатора с турбинным колесом.

Предлагаемая конструкция пульсатора представлена на рисунке 3. Далее приведен принцип работы пульсатора.

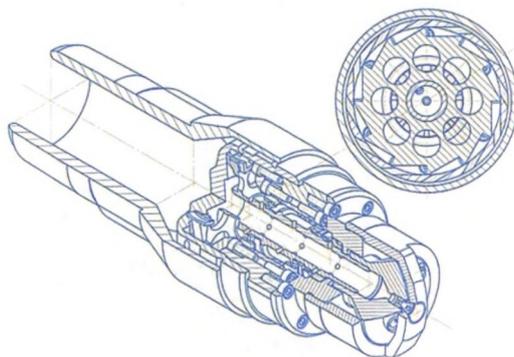


Рисунок 3. – Конструкция ротационного пульсатора с приводом от турбинного колеса

Нагнетаемая жидкость поступает к пульсатору по колонне НКТ и по тангенциально расположенным отверстиям подводится к лопаткам турбинного колеса. Поток жидкости образует крутящий момент на турбинном колесе и приводит его во вращение. Турбинное колесо через вал связано с корпусом форсунок. Нагнетаемая жидкость, после взаимодействия с лопатками турбинного колеса через вал направляется в корпус форсунок. Истекающая из форсунок жидкость распыляется струями. Все струи образуют распыляющиеся факелы с образованием эффекта кавитации. Струи от трех боковых форсунок периодически прерываются при прохождении скобы прерывателя. Это обеспечивает низкочастотные колебания давления истекающей жидкости. Центральная форсунка выпускает непрерывную струю, что обеспечивает отсутствие гидроударов в устройстве.

При разработке пульсатора ротационного было выполнено численное моделирование гидродинамических процессов в камере ротационного пульсатора. Анализ профиля скоростей течения рабочей жидкости (рисунок 4) показал невысокие гидравлические сопротивления на пульсаторе. Для оценки гидравлического сопротивления корпус форсунок с установленными форсунками и скобой были исключены из рассматриваемой модели. В результате расчета было установлено, что вращающий момент составил $65 \text{ Н}\cdot\text{м}$, осевая сила – 380 Н [5].

Испытания оборудования и технологии были проведены на трех скважинах НГДУ «Речицанефть»: 5п и 3 Западно-Сосновского и 25 Чкаловского месторождений. Работы по интенсификации притока на данных объектах проводили по технологии обработки пласта кислотной компо-

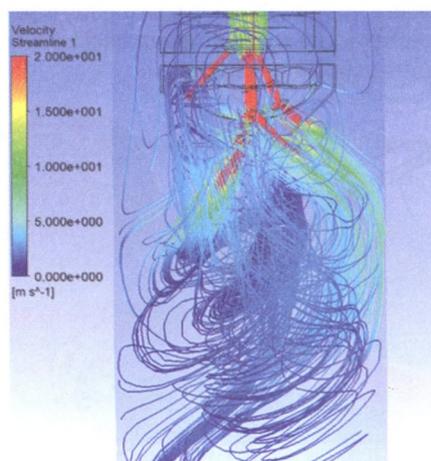


Рисунок 4. – Линии тока в моделируемой области пульсатора (расход 4 кг/с), м/с

зией с ПАВ на компоновке без пакера, при этом пульсатор устанавливали над интервалами с наименьшей проницаемостью пласта. В процессе кислотной стимуляции пласта в струйно-импульсном режиме расход нагнетания рабочего раствора в пласт по объектам составлял от 3 до 6 л/с, при этом перепад давления на пульсаторе составил не более 7 МПа. Суммарно после проведения трех операций через пульсатор было прокачено 60 м³ 15-18 % соляно-кислотного раствора при устьевом давлении 2-12 МПа.

Ревизия ротационного пульсатора после интенсифицирующего воздействия показала минимальный износ его конструктивных элементов: незначительно увеличился диаметр тангенциальных отверстий обтекателя на 1,5...2,0 мм, а также были отмечены следы коррозионного воздействия кислотным составом на корпус обтекателя. Т.е. можно говорить о том, что ресурс устройства составит не менее пяти скважино-операций при аналогичных объемах и режимах закачки, а также коррозионной активности рабочей жидкости (кислотного состава) [5].

Анализ результатов выполненных работ показал достаточно высокую эффективность работ как в плане получения дополнительной добычи нефти, так и в плане времени проведения работ: на весь комплекс работ, учитывая работы по переходу на вышележащий горизонт, затрачено от 5 до 9 сут/скв. По состоянию на 01.08.2021 дополнительная добыча нефти от работ по интенсификации притока (два объекта воздействия) уже составила 4482 т.

Таблица 1. – Показатели эффективности работ по технологии струйно-импульсного воздействия на скважинах РУП «Производственное объединение «Белоруснефть» (на 01.01.2021)

Скважина, месторождение	Дата выполнения ремонта	Базовый дебит/плановый прирост дебита нефти, т/сут	Показатели эффективности в год внедрения				
			Доп. добыча нефти, т	Длительность эффекта, сут	Прирост дебита нефти, т/сут	Дебит нефти, т/сут	Увеличение продуктивности (ΔКпр), %
5п, Западно-Сосновское	22.12.2019-01.01.2020	0/5	1450	331,3	4,38	4,38	
3, Западно-Сосновское	09.03.2020-13.03.2020	1,22/3	668	246,6	2,71	3,93	132
25, Чкаловское	20.04.2020-27.04.2020	2,11/7	1808	207,3	8,72	10,83	380
ИТОГО			3926				

Таким образом, данная технология как на этапе ОПИ, так и при промышленном применении, зарекомендовала себя как высокоэффективная и низкочатратная, при реализации используется стандартный набор нефтепромыслового оборудования. Технология может эффективно применяться на нефтедобывающих предприятиях при проведении геолого-технических мероприятий для повышения продуктивности скважин как на этапе освоения, так и при последующей стимуляции пластов в процессе эксплуатации при снижении добычных возможностей.

Список литературы

1. Устройство для гидродинамической кавитационной обработки скважин: полез. модель ВУ 11968U / А.В. Серебренников, А.Н. Цыбранков, Д.В. Ткачев, В.М. Ткачев, А.М. Селютин. – Опубл. 30.04.2019.
2. Пристрій для гидродинамічної кавітаційної обробки свердловини: пат. UA 122186 / А.В. Серебренников, А.Н. Цыбранков, Д.В. Ткачев, В.М. Ткачев, А.М. Селютин. – Публ. 25.09.2020.
3. Разработка оборудования и технологии для кавитационно-импульсного воздействия на пласт в условиях нефтяных месторождений компании «Белоруснефть» / Д.В. Ткачев, А.В. Серебренников, В.М. Ткачев // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса: науч.-техн. журн. – 2016. – № 3. – С. 63-67.
4. Устройство для гидродинамической кавитационной обработки скважин: пат. ЕА 028724 / А.В. Серебренников, Д.В. Ткачев, В.М. Ткачев и др. – Опубл. 29.12.2017.
5. Инновационный подход повышения эффективности химического воздействия на пласт в условиях месторождений Республики Беларусь / Д.В. Ткачев, А.И. Гавриленко, П.М. Галко, Н.О. Баранова // Современные проблемы машиноведения: материалы XIII Междунар. науч.-техн. конф. (науч. чтения, посвящ. 125-летию со дня рождения П.О. Сухого), Гомель, 22 окт. 2020 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Гомел. гос. техн. ун-т им. П.О. Сухого, Филиал ПАО «Компания «Сухой» ОКБ «Сухого»; под общ. ред. А.А. Бойко. – Гомель : ГГТУ им. П.О. Сухого, 2020. – С. 218-221.