

8. Патент на полезную модель № 57389. МПК F04C 2/00. Насос. Сазонов Ю.А., Заякин В.И. Заявка № 2006106593/22 от 02.03.2006. Оpubл. БИ №28 — 10.10.2006.

9. Патент на полезную модель № 59752. МПК F04D13/10. Ступень погружного многоступенчатого центробежного насоса. Сазонов Ю.А., Заякин В.И. Заявка № 2006124211/22 от 05.07.2006. Оpubл. БИ №36 — 27.12.2006.

10. Патент на полезную модель № 63468. МПК F04D13/10. Ступень погружного многоступенчатого центробежного насоса. Сазо-

нов Ю.А., Балденко Ф.Д., Захаров М.Ю., Заякин В.И., Мохов М.А. Заявка № 2007100010/22 от 09.01.2007. Оpubл. БИ №15. — 27.05.2007.

11. Патент на полезную модель № 66789. МПК F04C 02/00. Насос-диспергатор. Сазонов Ю.А., Балденко Ф.Д., Захаров М.Ю., Заякин В.И., Мохов М.А. Заявка № 2007114031/22 от 16.04.2007. Оpubл. БИ №27 — 27.09.2007.

12. Сазонов Ю.А., Мохов М.А., Захаров М.Ю., Демидова А.А. Исследование насосной техники для добычи нефти в осложненных условиях // Нефть, газ и бизнес —

2011. — № 12. — С. 31–32.

13. Сазонов Ю.А., Муленко В.В., Балака А.Ю. Компьютерное моделирование и развитие методологии конструирования динамических насосов и машин // Территория НЕФТЕГАЗ. — 2011. — №10. — С. 34–36.

14. Сазонов Ю.А., Димаев Т.Н., Казакова Е.С.; Балака А.Ю. Компьютерное моделирование динамических насосов и поиск новых технических решений // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса, №4. — 2011. — С. 18–21.

## Исследования структуры области между каналами перфорации на универсальном компьютерном томографе

К.Ю. Шепель, аспирант; В.И. Исаев, д.т.н., профессор (РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, Россия, г. Москва);

А.Р. Ликатов, к.т.н., зам. генерального директора

(ОАО «ВНИПИвзрывгеофизика», Россия, г. Раменское Московской обл.);

Е.О. Стаценко, оператор, (Казанский (Приволжский) федеральный университет, Россия, г. Казань)

Технология вторичного и последующего вскрытия пласта кумулятивной перфорацией является одним из основных способов создания гидродинамической связи между продуктивным пластом и скважиной. Её использование приводит к увеличению объемов добычи нефти и газа. Поэтому постоянно внедряются новые технологические решения для вторичного и последующего вскрытий. Одно из таких решений предложено в ОАО «ВНИПИвзрывгеофизика» — способ вторичного вскрытия продуктивного пласта перфораторами, конструкция которых предусматривает расположение вертикальных пар зарядов по заданной спирали [1–4]. Это разли-

чие в конструкции расположения зарядов показано на рис. 1.

Опыты, проведенные на испытательной станции ОАО «ВНИПИвзрывгеофизика» в атмосферных условиях [2], показали, что перфораторы с парными зарядами могут конкурировать с перфораторами с одиночными зарядами. Были проведены испытания в сосуде высокого давления (СВД) на мишенях (бетонные образцы цилиндрической формы диаметром 120 мм и длиной 250 мм) при давлении 20 МПа и температуре 20°C. Прочность мишеней на сжатие до начала опытов составляла 53 МПа. Схема расположения пары зарядов во время опытов представлена на рис. 2.

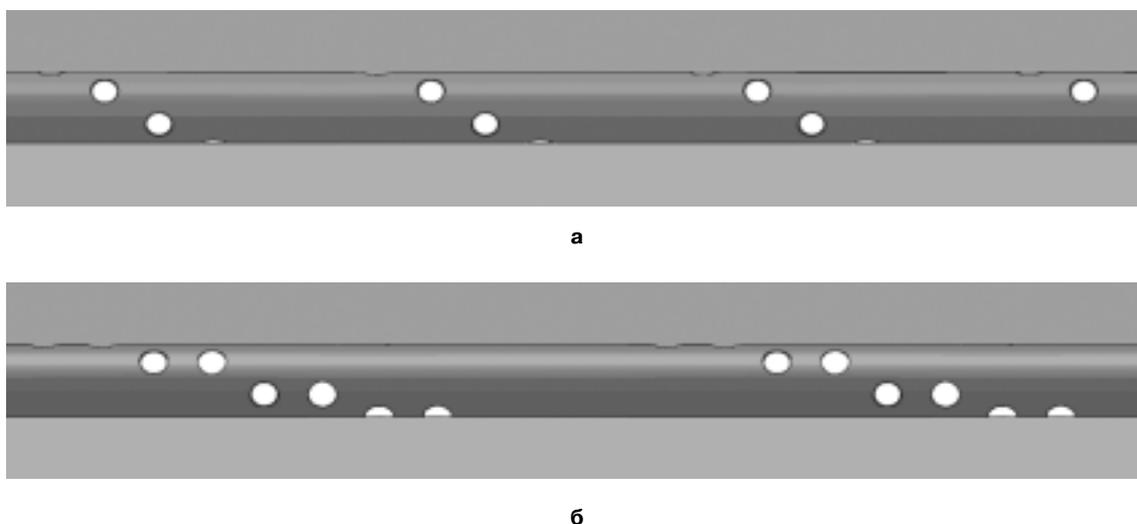


Рис. 1. Различия в конструкциях кумулятивных перфораторов: а — с одиночным расположением зарядов по заданной спирали; б — с парным расположением зарядов по заданной спирали

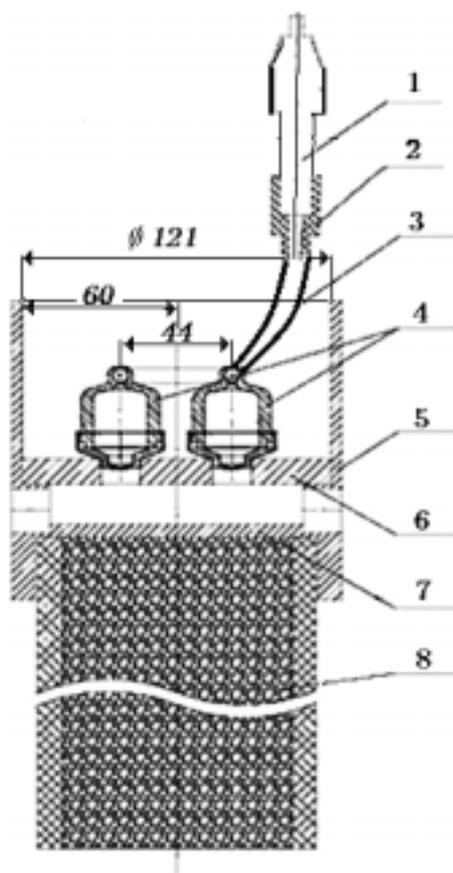


Рис. 2. Схема расположения пары зарядов на бетонной мишени:

- 1 — патрон взрывной; 2 — резиновое уплотнение для фиксации патрона и детонирующего шнура; 3 — детонирующий шнур; 4 — кумулятивные заряды (КЗ); 5 — обойма-центратор; 6 — стальная пластина для крепления КЗ; 7 — стальная пластина, имитирующая стенку обсадной колонны; 8 — бетонная мишень, имитирующая горную породу

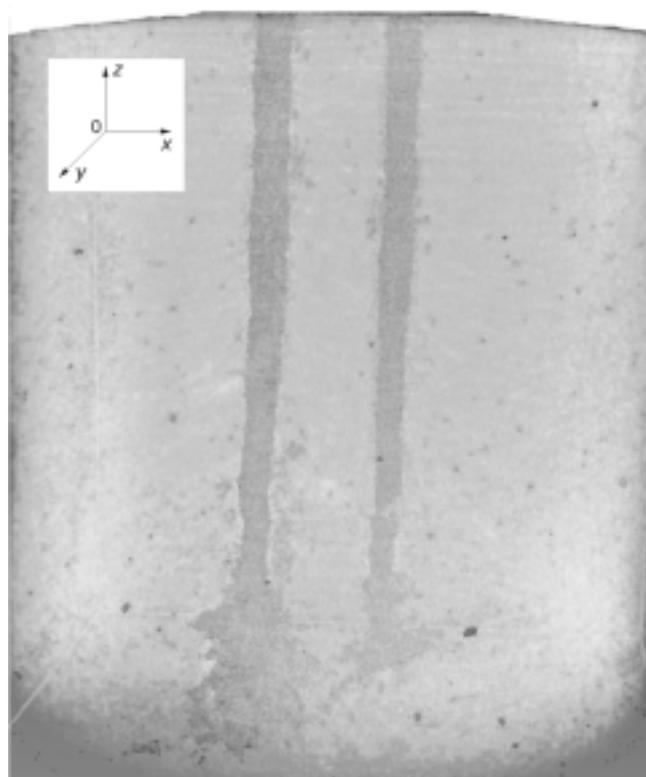


Рис. 4. Одна из картин просвечивания трёхмерного образца

После испытаний из СВД были извлечены бетонные мишени с целью выявления изменения структуры области между каналами перфорации. Исследования проводились на универсальном компьютерном томографе (КТ) V | tome | XS240 (GE Phoenix X-ray) (рис. 3) в лаборатории рентгеновской компьютерной томографии Института геологии и нефтегазовых технологий при Казанском (Приволжском) федеральном университете (ИГиНГТ КФУ).

Томограф V | tome | XS240 (GE Phoenix X-ray) включает две рентгеновские трубки: микрофокусная с максимальным напряжением 240 кВ для просвечивания массивных образцов с размером до 420×240 мм, массой до 10 кг, и нанофокусную с максимальным напряжением 180 кВ для высокоточного исследования образцов. В нашем случае использовалась микрофокусная рентгеновская трубка.

В томограф поочередно были установлены три образца с простреленными каналами. Два образца с парой каналов и один образец с одиночным каналом. После просвечивания образцов с помощью программного обеспечения (ПО) AvizoFire томографа в различных плоскостях сечений была просмотрена их подробная трёхмерная структура (рис. 4).



Рис. 3. Общий вид универсального компьютерного томографа V | tome | XS240 (GE Phoenix X-ray)

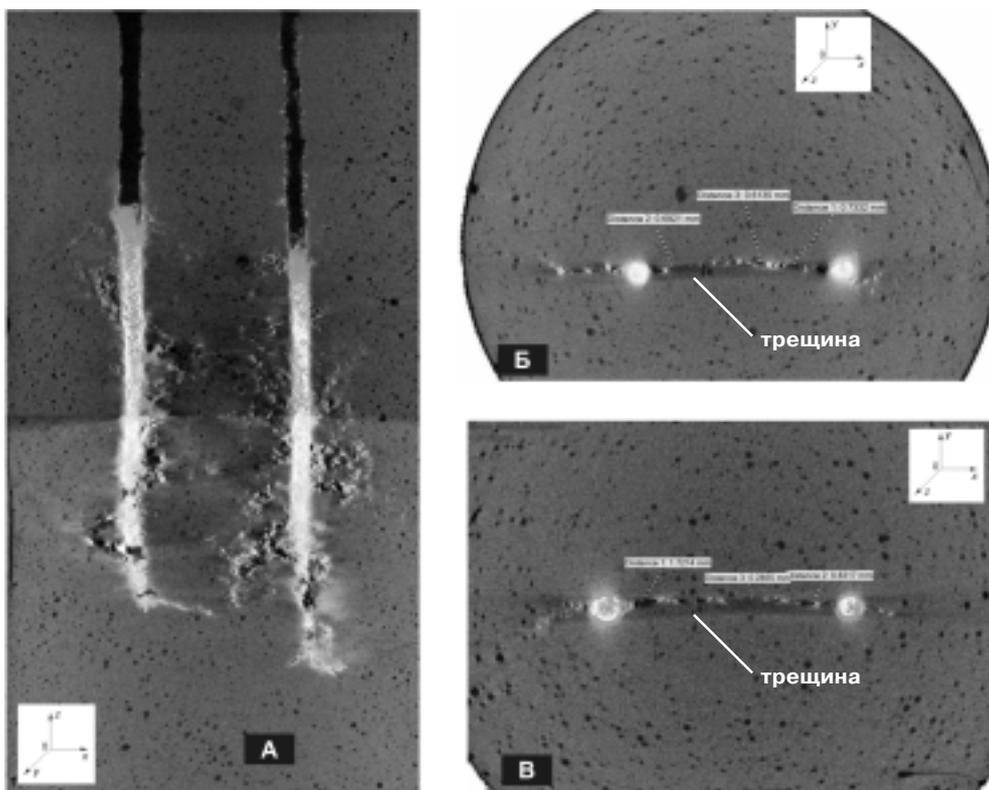


Рис. 5. Пара каналов перфорации и трещина между ними. Образец 1:  
 А — сечение по оси  $Oy$  простреленной мишени вдоль пары каналов;  
 Б, В — поперечное сечение по оси  $Oz$  простреленной мишени на различной высоте образца

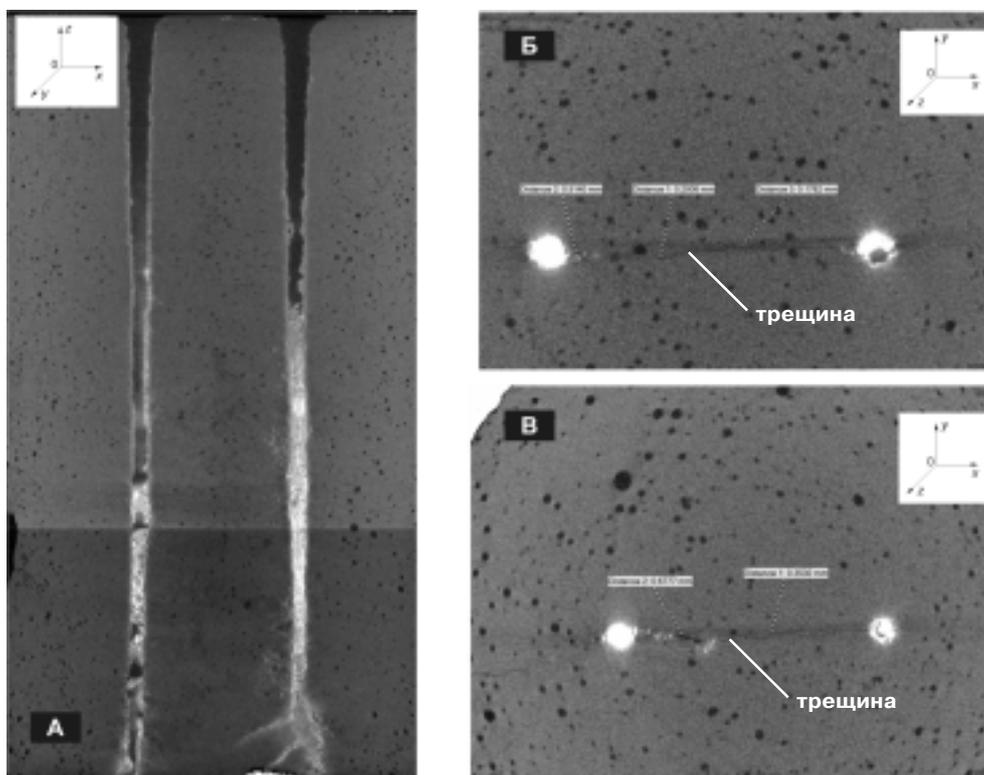


Рис. 6. Пара каналов перфорации и трещина между ними. Образец 2:  
 А — сечение по оси  $Oy$  простреленной мишени вдоль пары каналов;  
 Б, В — поперечное сечение по оси  $Oz$  простреленной мишени

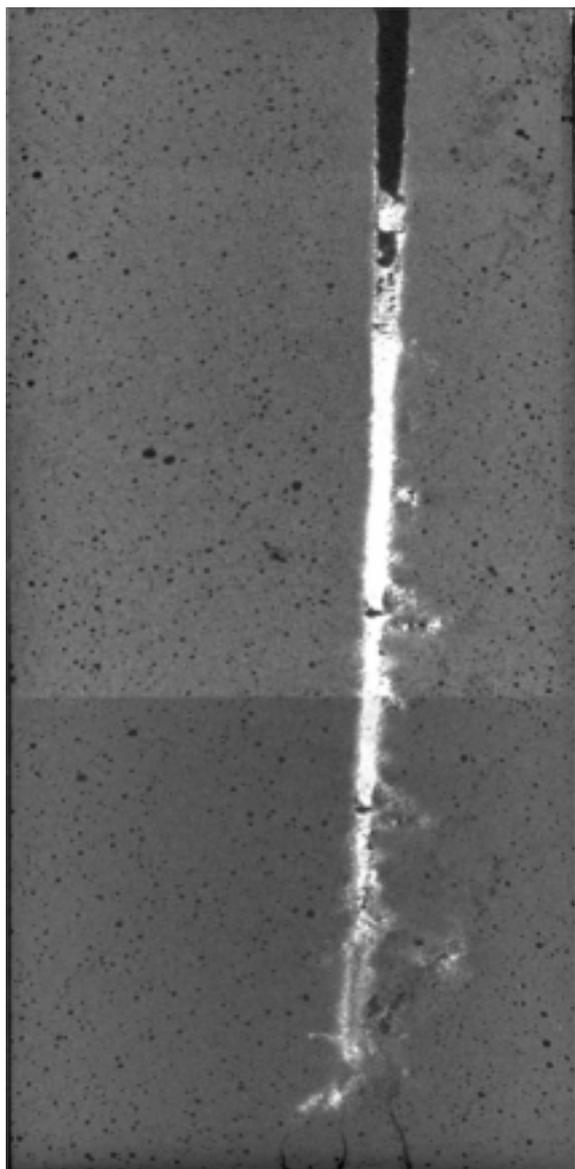


Рис. 7. Канал перфорации и высвеченная структура образца вокруг него. Образец 3

Просвечивание каждого образца проводилось в два этапа. Вначале были получены изображения верхних, а затем нижних частей мишеней (которые на рисунках отличаются оттенком), чтобы иметь представление об изображениях исследуемых образцов по всей длине (рис. 5А, 6А, 7). Это было сделано в связи с определённым размером камеры томографа. Совмещение соответствующих изображений частей между собой произведено с помощью графической программы Paint. На рис. 5А и рис. 6А изображены пары каналов в сечении по оси  $Oy$  простреленного образца. На остальных снимках (рис. 5Б, 5В, 6Б, 6В) в поперечном сечении мишени по оси  $Oz$  на различной длине исследуемых образцов просматриваются линии черного цвета между парами каналов перфорации, заполненные светлыми включениями, которые и являются трещиной, связывающей каналы между собой. Были сделаны замеры

ширины раскрытия трещин в различных сечениях. Например, на рис. 5Б надпись «Distance 1 0,7332 mm» указывает на величину раскрытия трещины 0,7332 мм в соответствующем месте замера 1 (подобный смысл имеют надписи и на рис. 5В, 6Б и 6В).

В опытах получены не только двухмерные снимки заданных сечений просвечиваемого бетонного образца (мишени), простреленного парой кумулятивных зарядов (рис. 5–7), но и трёхмерные картины частей образца с использованием программного обеспечения томографа.

Данные трещины создают взаимосвязь между парой каналов и приводят к увеличению пористости образцов практически по всей их длине, что в реальности, на промысле, способствует увеличению добычи флюида за счет дополнительной области, вовлеченной в фильтрацию. Соответственно, это приводит к повышению коэффициентов продуктивности нефтегазовых скважин.

### ВЫВОДЫ

Экспериментально показано преимущество использования перфораторов с парными зарядами по сравнению с перфораторами с одиночными зарядами в атмосферных условиях и при высоком давлении.

Качественно и количественно исследована структура (изменение пористости, появление трещин) в образцах, простреленных одним и парой зарядов с помощью просвечивания универсальным компьютерным томографом V|tome|XS240 (GE Phoenix X-ray) (рис. 3) в лаборатории рентгеновской компьютерной томографии Института геологии и нефтегазовых технологий при Казанском (Приволжском) федеральном университете совместно с ОАО «ВНИИП-взрывгеофизика».

Предложенный способ вторичного и последующего вскрытия пласта в настоящее время активно внедряется на промыслах как передовая технология интенсификации добычи нефти и газа.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Ликутов А.Р., Шепель К.Ю., Исаев В.И., Сафарханова Л.И. Способ и модель вторичного вскрытия пласта перфорацией // Управление качеством в нефтегазовом комплексе. — 2012. — № 3. — С. 51–55.
2. Шепель К.Ю. Способ вскрытия пласта кумулятивными зарядами. Интерпретация данных лабораторных исследований: Сборник тезисов 67-ой международной молодежной научной конференции «Нефть и газ 2013». Секция 12. Представление научных работ аспирантов. — М.: РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина. 2013. — С. 95.
3. Bell W.T., Sukup R.A., Tariq S.M. Perforating // SPE Monograph Volume 16, Society of Petroleum Engineers, Richardson, T. X, 1995, 102 p.
4. Ликутов А.Р., Меркулов А.А., Шепель Ю.Ю. и др. Способ вскрытия пласта кумулятивными зарядами / Решение о выдаче патента на изобретение по заявке № 2012114231/03 от 12.04.2012.