

Экспериментальное исследование энергии пульсирующих потоков для повышения эффективности разрушения горных пород при бурении скважин

Р. С. Яремийчук, Я. Н. Фемяк, В. Р. Возный
Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа

При единичном акте разрушения породы на образование трещины расходуется только 8–12% подведенной энергии, для полного достижения трещины конечной глубины (и с частичным деформированием урезанного конуса) необходимо затратить еще 10–12%, а для скалывания консоли — 6–8% общей энергии. Остальные 68–76% энергии расходуются на раздавливание урезанного конуса, упругой деформации пространства и скалывающихся частиц, трение на поверхностях и т. д. Максимальную часть подведенной энергии составляет энергия упругой деформации породы, которая практически не принимает участия в образовании объема разрушения. Современный процесс разрушения породы буровым долотом с энергетической точки зрения является крайне неэффективным. Снизить энергетические затраты можно только тогда, когда будут созданы условия для одновременного разрушения ядра и разделяющей консоли, снижения модуля упругости породы в зоне разрушения, снижения упругих деформаций, а также направленного развития магистральных трещин. Известные нам сегодня технологии и технические средства разрушения горных пород при бурении исчерпали свои потенциальные возможности. Академик РАН профессор Р. Ф. Ганиев предложил использовать пульсационно-волновые технологии для воздействия на призабойную зону скважин с целью интенсификации потока флюидов из пласта. Сущность этого метода состоит в том, что с помощью специальных устройств-пульсаторов в жидкости создаются импульсы давлений различной частоты и амплитуды. Эти технологии развиты в дальнейшем в работах Л. Х. Ибрагимова. Применительно к бурению скважин в России опубликован ряд работ на эту тему [1, 2], а в последние годы в Украине опубликованы результаты исследований кавитационных явлений в работах [3–5]. Механизм формирования импульсов давления связан с высокой энергией скоростных пульсирующих турбулентных струй в каналах и насадках пульсирующего устройства. Одним из механизмов возникновения пульсации являются вихревые камеры, в которых при прохождении рабочей жидкости выделяются

из нее пузырьки газа, а на выходе из камеры при прохождении жидкости через конфузор эти пузырьки под воздействием внешнего давления лопаются. Время существования каверн и газовых пустот определяется скоростным напором жидкости на выходе из вихревой камеры. Таким образом, принцип работы вихревых генераторов базируется на создании вращающегося потока жидкости. При высокой скорости вращения поток жидкости сначала закручивается, потом сужается. В процессе сужения потока значительно возрастает окружная составляющая скорости, возникают центробежные силы, которые создают в выходном канале насадки тонкую пленку кольцевой формы сечения. Эта пленка, выходя из насадки, распадается на мелкие капельки. Вдоль оси насадки создается воздушный вихрь, аналогично вихревой воронке, образующейся при вытекании закрученной жидкости из емкости через отверстие. Таким образом, выходное отверстие насадки заполнено кольцевым потоком только на периферии, а центральная (осевая) часть сечения занята воздушным вихрем с давлением меньше атмосферного. При выходе пузырьков в зону положительного давления, происходит изменение давления в потоке рабочей жидкости. В США в 1974 г. проведены исследования влияния кавитационных явлений при прокачке в потоке буровой жидкости специальных пустотелых капсул, лопающихся при контакте с разрушающейся породой. В 1977 г. опубликован на конференции в Хьюстоне доклад о результатах лабораторных исследований новых типов долот, использующих кавитационные явления. Представителями фирмы Hidronatics and National Lead Nyscolog отмечалось, что при испытании долот в лабораторных условиях были получены лучшие показатели их работы, чем при бурении долотами с гидромониторными насадками. Однако конкретных сведений о конструкциях кавитационных камер, величинах амплитуд пульсации давления, их частоты, о величине срабатываемого перепада давления, а также характера пульсации в литературных источниках мы не нашли.

Нами разработан гидродинамический пульсатор [6], в котором рабочая жидкость вводится

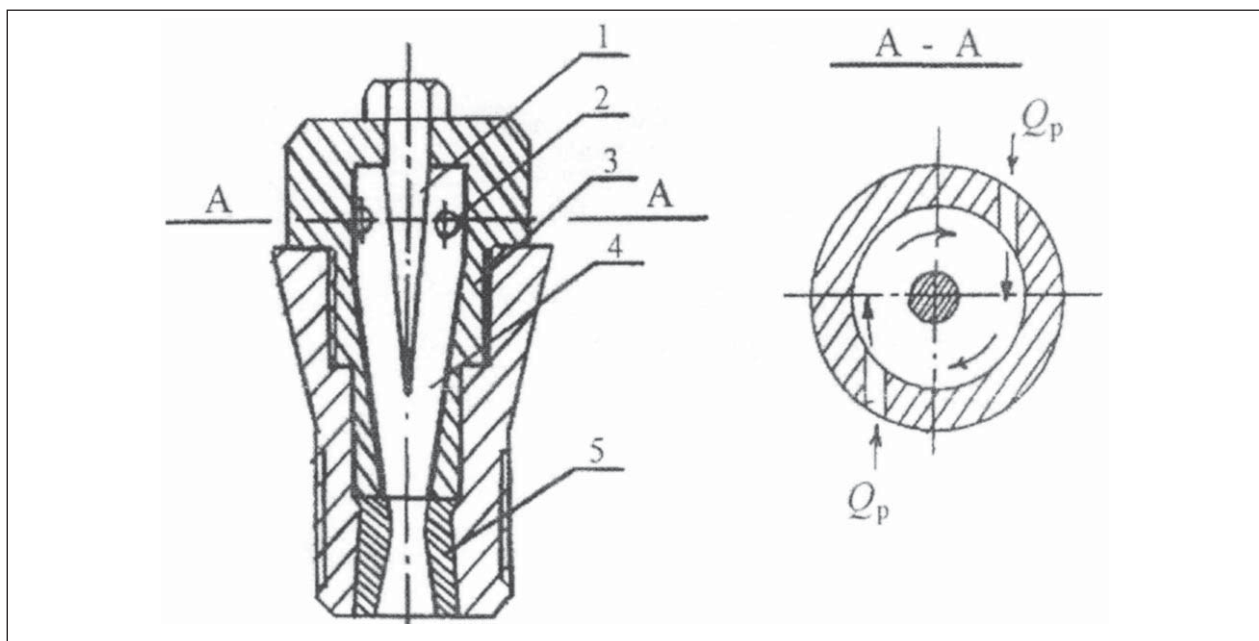


Рис. 1. Схема гидродинамического пульсатора: 1 — шпиль-отражатель; 2 — отверстия вхождения жидкости; 3 — головка камеры завихрения; 4 — камера вихревая; 5 — насадка

в камеру завихрения через тангенциальные отверстия, а раскрученный поток под действием центробежных сил и перепада давления непрерывно вытекает в кольцевой конфузорный канал (рис. 1). Движение потока рабочей жидкости в насадке пульсатора происходит с наращиванием скорости вплоть до отрыва потока от стенок насадки, образования пузырьков и каверн вплоть до их схлопывания. Особенностью конструкции гидродинамического пульсатора является сменная гидродинамическая насадка, профиль кото-

рой может быть расширенным, может образовываться коноидальной, конической плоскостями с различными раскрытиями и длинами.

На рис. 2 показана схема экспериментальной установки для создания пульсационного потока. На рис. 2, а в камере находится только пульсатор, а на рис. 2, б установлено после пульсационной камеры сопло Лавали с одинаковым проходным сечением.

Экспериментальные исследования проводились с использованием насосного агрегата

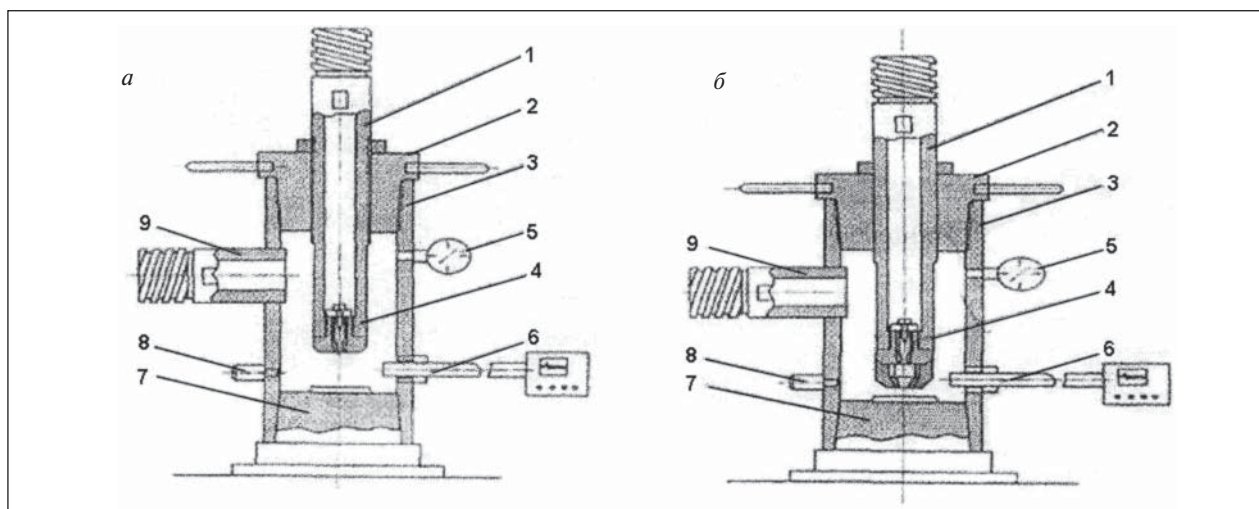


Рис. 2. Схема установки для проведения экспериментальных исследований работы гидродинамического устройства пульсатора: 1 — шток; 2 — крышка; 3 — корпус; 4 — гидродинамический пульсатор; 5 — манометр; 6 — датчик давления; 7 — дно; 8 — предохранительный клапан; 9 — выкидная линия

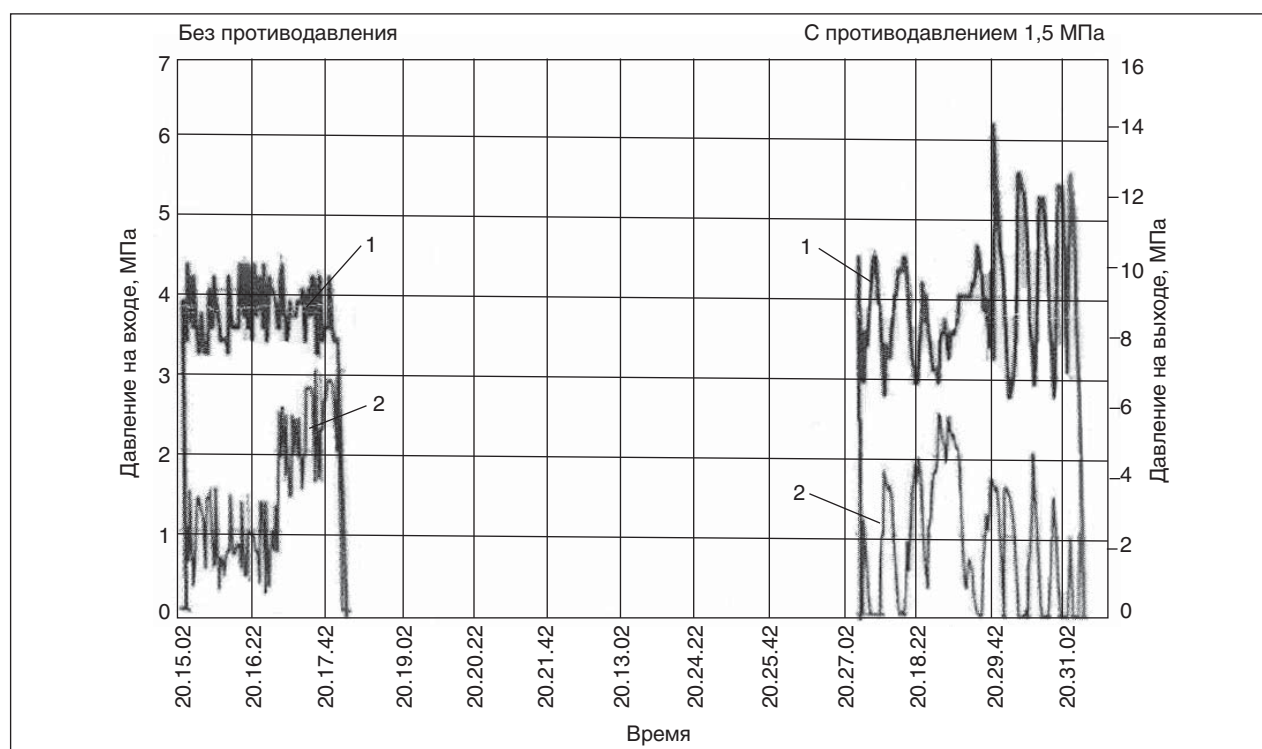


Рис. 3. Результаты работы пульсатора с диаметром насадки 4 мм на буровом растворе: 1 — давление на входе; 2 — давление на выходе

4АН-700 и американской станции контроля гидроразрыва пластов фирмы Kenworth. Насосный агрегат подает рабочую жидкость в камеру пульсатора, а затем возвращается на прием насоса по схеме круговой циркуляции. В процессе исследований измерялось давление на входе в пульсатор и после пульсатора в автономном режиме через датчики высоких давлений типа «Viatron Model 5093 BPG AW 200». Давление на входе пульсатора регулировалось агрегатом исходя из его рабочих способностей, а давление на выходе — дроссельным краном.

Целью исследований было: 1) установить, возникает ли пульсация давлений после прохождения потока рабочей жидкости через гидромониторную насадку; 2) определить амплитуду и частоту колебаний давления после прохождения жидкости через гидродинамический пульсатор при отсутствии давления на выходе из пульсатора и при наличии давления; 3) определить характер пульсации после прохождения рабочей жидкости через пульсатор. Экспериментально подтверждено, что пульсация жидкости после ее хождения через обычную гидромониторную насадку не происходит.

На рис. 3 представлены записанные давления на входе в пульсатор и на выходе из пульсационной камеры. На рис. 4 представлены

записи тех же давлений, но после прохождения рабочей жидкости через пульсатор и установленную за ним гидромониторную насадку, как это показано на рис. 2, б. Для оценки характера изменения давления на дно корпуса на выходе из сопел устанавливались стеклянные пластинки толщиной 4 мм. После прохождения рабочей жидкости через гидромониторную насадку стеклянная пластинка была полностью разрушена гидромониторной струей. После прохождения рабочей жидкости через пульсационную камеру стеклянная пластинка оказалась не разрушенной, а только слегка вогнутой в сторону пульсатора.

Таким образом, исследованиями установлено, что после прохождения рабочей жидкости через пульсатор формируется пульсирующий поток с амплитудой до 6 МПа и частотой от 1 до 20 Гц. Характер пульсации состоит в уменьшении давления на величину амплитуды. Именно этот последний фактор объясняет увеличение скорости бурения при установке в долоте пульсационных устройств. С другой стороны, исследования показали, что пульсации потока сохраняются при прохождении пульсирующей жидкости через гидромониторную насадку.

С целью проверки возможности использования кавитационной пульсации нами [6] было

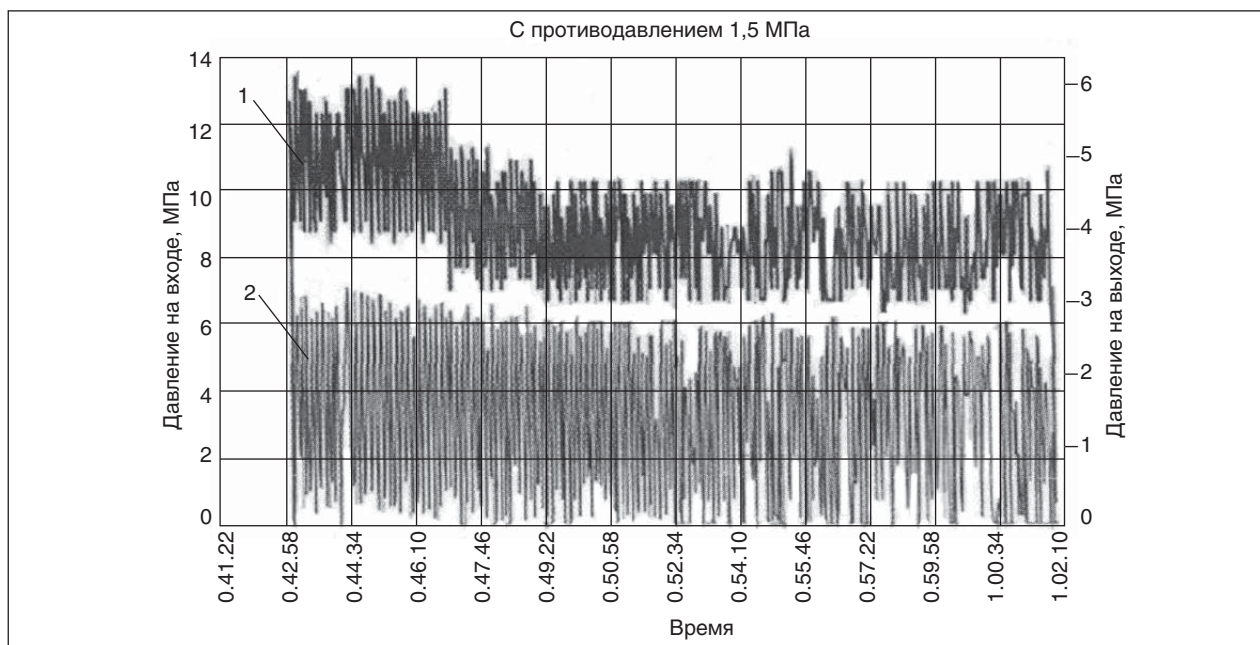


Рис. 4. Результати дослідження роботи «пульсатор + гідромониторна насадка» з діаметром насадки 14 мм на буровому розв'язу: 1 — тиск на вході; 2 — тиск на виході

ізготовлено тріхлопатне долото і проведені його іспитання. Вони показали збільшення проходки на долото в 3,4 рази по порівнянню з шарошечним долотом і в 2,12 рази по порівнянню з серійним лопатним долотом. Механічна

швидкість буріння збільшена в 1,15 і в 1,56 рази, відповідно. Нами початі роботи по порівняльному іспитанню долот з кавітаційною пульсацією в широкіх промислових умовах.

Література

1. Ганієв Р. Ф., Блінков О. Г., Іщук А. Г., Анохін К. П. Перспективи і застосування хвильових генераторів для підвищення швидкості проходки при бурінні скважин // Проблеми бурового породорозрушаючого інструмента: збірник доповідей Всеросійського науково-практичного симпозиуму. — Самара СГТУ, 1999. — С. 27–31.
2. Іванников В. І., Іванников І. В. Кавітація і можливості її застосування при бурінні, оснастці і експлуатації скважин // Стrojительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. — 2002. — №12. — С. 5–11.
3. Яремійчук Р. С., Фемяк Я. С. Інтенсифікація процесу руйнування гірських порід під час буріння свердловин в наслідок дії ультразвукової кавітації // Нафтова і газова промисловість. — 2000. — №3. — С. 15–16.
4. Яремійчук Р. С., Фемяк Я. М., Якименко Я. Я. Руйнування гірських порід при кавітаційному бурінні свердловин // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. Серія: буріння нафтових і газових свердловин. — Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2000. — Вид. 36. — Т. 2. — С. 33–37.
5. Паневник О. В., Яремійчук Р. С. Дослідження кавітаційних характеристик струминних свердловинних апаратів // Розвідка та розробка нафтових і газових свердловин. — 1995. — Вип. 32. — С. 80–85.
6. Патент України №43637А, МКИ 21В-10/42. Бурове тріхлопатне долото. Яремійчук Р. С., Расторгуєв О. М., Фемяк Я. М., Баранецький М. В., Шандровський Т. Р. Заявл. 18. 04. 2001; опублік. 17. 12. 2001, Бюлл. №11.