



ОСОБЕННОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЫСОКОАМПЛИТУДНЫХ КОРОТКИХ ИМПУЛЬСОВ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО ДАВЛЕНИЯ НА ПЕРФОРАЦИОННЫЕ КАНАЛЫ

А. М. Свалов

Институт проблем нефти и газа Российской Академии Наук, Москва, Россия

Features of the impact of high-amplitude short pulses of hydrodynamic pressure on perforation channels

A. M. Svalov

Oil and Gas Research Institute RAS (OGRI RAS), Moscow, Russia

ABSTRACT

The features of the impact of high-amplitude short pressure pulses on perforation channels in the bottomhole zone of the well are analyzed. It is shown that in the channels formed in the rock with the use of cumulative perforation and having a conical shape, there is an increase in pressure pulses when a certain condition is fulfilled, which limits the duration of this pulse. It has been established that in the negative phase of the pressure pulse, destruction of the cured rock layers adjacent to the walls of the perforation channel can occur, which improves the filtration-capacitive properties of the bottomhole zone of the well. It is shown that when using explosive charges of low mass, pressure pulses are formed with parameters similar to those of pulses generated by electric discharges in the wellbore. To apply the technology of explosive action with low-mass charges on the bottomhole zone, the standard equipment used for cumulative perforation of wells can be used. A method for screening pressure pulses is proposed, which increases the effectiveness of their impact on the bottomhole zone of the well and simultaneously reduces the excessive load on the casing pipes above the productive formation.

KEYWORDS

Bottomhole zone of a well;
Perforation channels;
Electric discharge impact;
Low-mass charges;
Reflecting screen.

© 2022 «OilGasScientificResearchProject» Institute. All rights reserved.

Воздействие импульсами гидродинамического давления на призабойные зоны скважин широко применяется в нефтепромысловой практике как способ улучшения фильтрационно-емкостных свойств этой зоны за счет очистки ее порового пространства от оседающих в нем микрочастиц, для дополнительного растрескивания породы, для снижения вязкости пластового флюида и т.д. К технологиям такого рода можно отнести технологию электроразрядного воздействия, которая характеризуется высокими амплитудами гидродинамических импульсов (~ 20 МПа) и малой длительностью импульсов давления ~ 50 - 60 мкс [1,2] в зоне перфорационных отверстий обсадной трубы. Необходимо, тем не менее, отметить, что при более точных экспериментальных измерениях параметров электроразрядов в жидкой среде длительность основного импульса давления определена как более малая величина ~ 10 мкс [3]. Такие экстремальные значения параметров гидродинамических импульсов в стволе скважины, инициируемых электрическими разрядами в интервале продуктивного пласта, предопределяют и

некоторые особенности их воздействия на перфорационные каналы в призабойной зоне скважины, анализ которых с физико-механических позиций представлен ниже. Будет показано также, что аналогичных параметров воздействия на призабойную зону скважины можно ожидать и при использовании зарядов взрывчатых веществ малой массы.

При анализе механизмов воздействия высокоамплитудных коротких импульсов давления на перфорационные каналы следует отметить, что каналы, образующиеся в породе при кумулятивной перфорации призабойной зоны скважины, по форме близки к коническим полостям с уменьшающимся диаметром по мере удаления от стенки скважины вглубь породы. Это обстоятельство теоретически обуславливает рост амплитуды P волнового импульса по мере его приближения к вершине конуса $x = 0$ по закону [4]

$$P \sim \frac{F(x + c_0 t)}{x} \quad (1)$$

где F – некоторая функция, соответствующая изменению амплитуды давления во времени t на входе в коническую полость, то есть, в месте расположения перфорационного отверстия в обсадной колонне труб. Здесь x – линейная

*E-mail: svalov@ipng.ru

<http://dx.doi.org/10.5510/OGP20220100630>

координата вдоль перфорационного канала, c_0 - скорость звука в жидкости, заполняющей этот канал.

Формулой вида (1) в [4] описано распространение акустической волны при ее движении к центру шара, но, поскольку конус с жесткими границами является составной частью шара, то эта формула будет справедлива и для конической полости. Вместе с тем, следует подчеркнуть, что формально из формулы (1) следует, что амплитуда волны в точке $x = 0$ обращается в бесконечность, поэтому акустическое приближение, то есть, условие относительной малости амплитуды в сравнении с величиной модуля E объемного сжатия жидкости (для воды $E \sim 2 \cdot 10^3$ МПа, для нефти $E \sim 1 \cdot 10^3 - 2 \cdot 10^3$ МПа) формально перестает быть справедливым. В то же время, учитывая, что реальный радиус затупления перфорационного канала в конечной точке $x = 0$ измеряется одним-двумя миллиметрами, а характерный диаметр перфорационного канала на его входе равен примерно 1 см, то максимально возможный коэффициент увеличения амплитуды импульса давления при его распространении по каналу, практически будет ограничен 3-5 единицами.

Более того, формула (1) справедлива для конуса с абсолютно жесткими стенками, в действительности же, по мере продвижения импульса гидродинамического давления вдоль перфорационного канала происходит его взаимодействие с породой, жесткость которой, очевидно, конечна, и, кроме того, необходимо учитывать и то обстоятельство, что амплитуда импульса уменьшается из-за существования фильтрационных потоков жидкости из канала в породу через его пористые стенки.

Таким образом, приведенная формула (1) в действительности свидетельствует, главным образом, о существовании фактора усиления импульса давления при его движении по сужающемуся перфорационному каналу, что важно для повышения эффективности воздействия на породу, но реальную величину усиления импульса эта формула описывает лишь приблизительно.

При этом существенно, что формула (1) описывает характер изменения давления в импульсе, распространяющимся по каналу в виде бегущей волны, то есть, волны, в которой не учитывается взаимодействие отраженной от точки $x = 0$ волны с входным отверстием ($x = L$, где L - длина перфорационного канала) в обсадной трубе. В действительности при взаимодействии с входным отверстием в канал, то есть, со стволом скважины, эта отраженная от вершины конуса волна, отражается от входной точки $x = L$ уже в виде обращенной волны - волны с амплитудой другого знака, ослабляющей первичную волну при распространении этой вторичной волны по перфорационному каналу. Отсюда следует, что если длительность T импульса давления во времени достаточно велика, то фактор ослабления этого импульса за счет его непрерывного отражения от ствола скважины приведет к исчезновению явления усиления импульса при его приближении к точке $x = 0$. В случае очень большой длительности импульса давление в точке $x = 0$ в каждый момент времени будет практически равно давлению на входе в перфорационный канал в точке $x = L$.

Из вышесказанного следует важный вывод, заключающийся в том, что ослабления импульса давления в результате его отражения от входной точки $x = L$ происходить не будет, если длительность T импульса давления

будет удовлетворять условию

$$T < \frac{2 \cdot L}{c_0} \quad (2)$$

Другими словами, для действия фактора усиления импульса давления при приближении его к конечной точке конуса необходимо, чтобы длительность T импульса была достаточно короткой и взаимодействие импульса со стволом скважины уже не влияло на максимальную величину его амплитуды в конечной точке канала.

Если принять за характерную длину перфорационного канала величину $L \sim 30$ см, а скорость звука c_0 в воде, равной 1.5 км/с, или в нефти, равной ~ 1.4 км/с, то условие (2) приведет к следующему ограничению на длительность импульса давления - $T < \sim 400$ мкс. Выполнение этого условия означает, что импульс давления будет распространяться по перфорационному каналу без снижения его амплитуды за счет его взаимодействия со стволом скважины. Очевидно, что длительность импульсов давления, инициируемых электроразрядом в стволе скважины ($T < 10$ мкс), вполне удовлетворяет этому условию.

Из вышесказанного анализа особенностей распространения импульсов давления по перфорационному каналу следует важный вывод. Как было отмечено выше, импульс сжатия, отраженный от острия конической полости, и затем вторично отраженный от входной точки в канал $x = L$, будет распространяться по каналу к его острию уже в виде импульса разрежения с той же амплитудой, что и в исходной волне сжатия. Это означает, что даже единичная волна сжатия (ударная волна сжатия), инициируемая электроразрядом в стволе скважины, распространяясь по каналу, после вторичного отражения от входной точки преобразуется в волну разрежения (ударную волну разрежения), распространяющуюся по каналу практически с той же амплитудой, что и в исходной волне сжатия. Таким образом, при электроразряде в стволе скважины, при выполнении условия (2), независимо от процесса формирования волн разрежения, обусловленных пульсациями газового пузыря, образующегося в зоне разряда, в перфорационном канале будут периодически формироваться волны разрежения за счет эффекта отражения исходной волны сжатия от входа в этот канал. Это обстоятельство, как будет показано ниже, играет особую роль в процессах взаимодействия высокоамплитудных импульсов давления с породой на стенках перфорационного канала.

Дело в том, что взаимодействие высокоамплитудных коротких импульсов разрежения давления со стенками перфорационных каналов может приводить к развитию растягивающих напряжений значительной величины в некоторой, относительно малой, окрестности этих стенок, что может приводить к разрушению породы в окрестности каналов. Разрушение и удаление закольматированных слоев породы, прилегающих к стенкам каналов, обуславливает, в свою очередь, увеличение фильтрационной проводимости призабойной зоны скважины. При этом механизм развития разрушающих напряжений вблизи стенок перфорационных каналов выглядит следующим образом.

Снижение гидродинамического давления в перфорационном канале сопровождается снижением порового давления и в породе вблизи стенок этого канала, а также снижением напряжений в скелете пористой среды на

значительно большей глубине. Это обусловлено тем, что процесс снижения напряжений в породе распространяется по ней со скоростью звука, оцениваемого в породах-коллекторах величиной ~ 2 км/с, что на расстояниях, измеряемых миллиметрами, существенно выше скорости распространения фильтрационных возмущений.

Так, например, за характерное время полупериода импульса давления $\Delta t = 0.5T$, генерируемого электроразрядом и равном ~ 5 мкс, волна напряжения в породе распространится вдоль радиуса, отсчитываемого от оси перфорационного канала, на расстояние $\Delta r_{\text{зар}}$ равное ~ 1 см. При этом фильтрационное возмущение за то же время распространится на расстояние $\Delta r_{\text{ф}}$, определяемое формулой $(\Delta r_{\text{ф}})^2 \sim \chi \cdot \Delta t$, что при значениях коэффициента пьезопроводности χ в закольматированной породе в окрестности стенок перфорационного канала, оцениваемых величинами $\sim 10^2 - 10^3$ см²/с, составит величину $\Delta r_{\text{ф}} \sim 0.2 - 0.7$ мм.

Таким образом, напряжение в породе на расстоянии первых миллиметров от стенки канала за время Δt снижается до значений давления в канале, в то время как поровое давление в этой области понизится значительно позднее. Отсюда следует, что в породе вблизи стенок перфорационных каналов при воздействии на них волн разрежения возникают растягивающие эффективные напряжения, величина которых определяется разностью полного напряжения в породе и порового давления. Качественные оценки показывают, что при амплитудах импульсов давления, генерируемых электроразрядом в стволе скважины и измеряемых величинами ~ 20 МПа, эффективные растягивающие напряжения в фазе разрежения этих импульсов на расстоянии первых миллиметров от стенок перфорационных каналов могут достигать нескольких десятков атмосфер, что способствует отрыву частиц породы от стенок каналов и, соответственно, к увеличению проходных сечений этих каналов. При этом описанное выше явление усиления импульса в канале конической формы будет повышать эффективность этого процесса.

Таким образом, проведенный анализ показывает, что длительность и амплитуда импульсов давления, генерируемых электроразрядом, удовлетворяют описанным выше условиям их эффективного воздействия на перфорационные каналы скважины. Вместе с тем, в скважинных электроразрядных устройствах [1, 2] технически сложно добиться существенного изменения параметров инициируемых ими импульсов давления. По этой причине ниже рассматриваются возможности применения других, взрывных технологий для генерирования подобных высокоамплитудных коротких импульсов гидродинамического давления в стволе скважины, в которых варьирование параметрами импульса может быть осуществлено простым изменением массы. Для количественных оценок параметров ударных волн, распространяющихся в воде при взрыве зарядов небольшой массы, и сопоставления их с импульсами давления, генерируемыми электроразрядом, воспользуемся аналитическими соотношениями, полученными в [5] для ударных волн относительно небольшой амплитуды, находящейся в пределах 25 - 30 МПа, при условии достаточно большого удаления этих ударных волн от места их инициирования.

Согласно этим соотношениям амплитуда P_{y0} ударной

волны, распространяющейся в воде от круглого заряда взрывчатого вещества (тротила) с радиусом r_0 с высокой точностью описывается формулой вида (в системе СИ):

$$P_{y0} = \frac{k}{r} \cdot \frac{1 + \frac{4(\ln r)^{0.5}}{r}}{(1.15 \cdot \ln r - 0.5)^{0.5}} \quad (3)$$

Здесь $k = 1.62 \cdot 10^{10}$ Па, r – безразмерное радиальное расстояние от центра заряда до фронта ударной волны, за линейный обезразмеривающий параметр принят радиус заряда r_0 . Масса тротилового заряда m связана с его радиусом формулой [5]:

$$r_0 = a \cdot m^{1/3} \quad (4)$$

где $a = 0.053$ м/кг^{1/3}.

Изменение гидродинамического давления P со временем t после прохождения ударной волны через данную точку при $t = 0$ согласно [5], вполне удовлетворительно описывается формулой

$$P = P_{y0} \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \quad (5)$$

где τ – параметр с размерностью времени, определяющий характерную ширину ударного импульса давления. Для определения величины τ в [5] получена следующая формула:

$$c_0 \frac{\tau}{r_0} = 1.11 \cdot \frac{1.73 \cdot \ln(p_0 / P_{y0}) - 1}{[\ln(p_0 / P_{y0}) - 0.5]^{0.5}} \quad (6)$$

где $p_0 = 1.7 \cdot 10^{10}$ Па.

Как установлено в [5], сопоставление формул (3) и (6) с экспериментальными данными [6] показывает их хорошее согласие, в пределах нескольких процентов, при $r > 40$, при меньших значениях r формулы (3) и (6) дают несколько завышенные значения P_{y0} и τ . Так, при $r = 30$ значение P_{y0} , рассчитываемое по формуле (3), будет превышать экспериментальное значение по данным [6] примерно на 15%, при этом значение τ , рассчитываемое по формуле (6), будет выше экспериментального значения на несколько процентов ($\sim 4\%$). Таким образом, можно заключить, что приведенные формулы (3), (6) дают хорошее качественное и количественное согласие с экспериментальными данными в диапазоне значений r , достаточном для целей дальнейшего анализа.

Для оценки энерговыделения при электроразряде в стволе скважины воспользуемся результатами [7], согласно которым при единичном электроразряде энергия, идущая на формирование импульса давления, оценивается величиной ~ 282 Дж, что составляет 0.0674 от энергии, выделяемой одним граммом тротила. Из формулы (4) следует, что эквивалентный по мощности заряд тротила будет иметь радиус $r_0 = 2.157$ мм.

Если внутренний радиус обсадной трубы в скважине, равный 65 мм, принять за характерное расстояние от зоны электроразряда в стволе до перфорационного отверстия, то есть, до входа в перфорационный канал, то из формулы (3) для амплитуды ударной волны на входе в канал ($r = 30.13$) получим оценку $P_{y0} \approx 36.2$ МПа, а с учетом указанной выше понижающей поправки $\sim 15\%$ реальное значение амплитуды будет оцениваться величиной $P_{y0} \approx 30$ МПа. Формула (5), определяющая характерное время τ затухания ударной волны за ее фронтом, при $c_0 = 1500$ м/с приводит в данном случае к значению $\tau = 4.9$ мкс, а с учетом понижающей поправки к значению $\tau \approx 4.7$ мкс.

Для сопоставления полученных величин с экспериментальными данными, относящимися к электроразрядному инициированию импульсов давления, будем использовать результаты [3], где представлены измеренные с достаточно высокой точностью функции давления от времени при электроразрядах в нефти в лабораторных условиях.

Максимальная амплитуда импульсов давления по данным [3] составила ~ 20 МПа, что меньше оценки этой величины (~ 30 МПа), полученной выше на основе аналитических соотношений [5]. Отметим, что аналогичные завышенные теоретические оценки были получены и в [7]. Причиной такого расхождения являются упрощающие предположения в [5], сделанные для получения простых для анализа формул вида (3)-(6). К таким упрощающим предположениям относится условие достаточной удаленности ударной волны от места ее инициирования, при которой можно пренебречь влиянием динамики газового пузыря в центре взрыва. Кроме того, в аналитических выкладках ударная волна представляется в виде поверхности разрыва (скачка гидродинамического давления), в то время как в реальности этот скачок импульса давления имеет достаточно «размазанную» форму [3]. Помимо этого, причиной завышения теоретически прогнозируемой амплитуды импульса давления послужила, вероятно, завышенная оценка доли энергии, выделяемой при электроразряде и идущей на формирование импульса давления, полученная в [7].

Тем не менее, поскольку целью проводимого здесь анализа является не точное прогнозирование параметров импульсов давления, инициируемых электроразрядами и взрывными процессами в жидкости, а их сопоставление, можно считать, что прогнозные теоретические величины амплитуды импульса давления при взрыве заряда с таким же энерговыделением, что и при электроразряде, в качественном отношении вполне удовлетворительно совпадают с лабораторными данными [3].

Для сопоставления времени $\tau_{эк}$ затухания давления за ударной волной, описываемого формулой (6), с аналогичным показателем, полученным в лабораторных условиях, будем использовать следующий метод. Необходимо учитывать, что форма импульса давления, измеряемого в эксперименте, отличается от теоретической экспоненциальной зависимости (5) поскольку, как уже указывалось выше, при аналитическом описании [5] взрывного процесса ударная волна представляется поверхностью разрыва, в реальности же фронт ударной волны в определенной мере «размазан» [3]. По этой причине более корректно вместо ширины импульса давления, получаемого в эксперименте, определять по левой ветви импульса темп его уменьшения во времени, а именно, определять интервал времени $\tau_{эк}$, в течение которого давление от своего максимального значения уменьшится в $e \approx 2.7$ раза, что позволит сравнить эту величину с характерным временем τ теоретической экспоненциальной зависимости (5).

Обработка кривых импульсов давления при электроразряде [3] показала, что величина $\tau_{эк}$, определенная описанным способом, находится в интервале значений 3.5 – 4 мкс, который можно считать достаточно близким к величине $\tau = 4.7$ мкс, следующей из формулы (6).

Таким образом, проведенное сопоставление параметров импульсов давления, генерируемых электроразря-

дом в стволе скважины и импульсами давления, создаваемых при взрыве зарядов соответствующей массы, показывает, что параметры этих импульсов вполне сопоставимы по величине и это означает, что и эффективность воздействия этих импульсов на перфорационные каналы в призабойной зоне скважины будет аналогичной.

При этом важно подчеркнуть, что, как указывалось выше, величина энергии, идущей на формирование импульса давления при электроразряде [6], равна (или меньше) энергии, выделяемой при взрыве заряда тротила с массой $m = 0.0674$ г. Отметим, что при проведении стандартной технологии кумулятивной перфорации скважин в ее стволе одновременно взрывается несколько десятков и более зарядов, имеющих значительно большую массу, измеряемой десятками граммами и более. Отсюда следует, что для создания высокоамплитудных коротких импульсов давления в стволе скважины вместо электроразрядных устройств с той же или даже более высокой эффективностью могут использоваться заряды (не кумулятивного действия) взрывчатых веществ с малой массой на базе стандартного оборудования, применяемого при проведении кумулятивной перфорации скважин. Важно, что с учетом малой массы используемых зарядов существуют возможности повышения эффективности таких технологий, так, например, для увеличения амплитуды импульса давления технологически вполне допустимо в несколько раз или даже на порядок увеличить массу этих зарядов или выбрать другой тип взрывчатого вещества.

Вместе с тем, необходимо подчеркнуть, что применение технологий высокоамплитудных воздействий на призабойную зону скважины может приводить и к негативным последствиям, таким, как потеря герметичности ее цементной оболочки. Дело в том, что импульсы давления воздействуют не только на перфорационные каналы, но и, распространяясь по стволу скважины, создают избыточные нагрузки на обсадную колонну и затрубное пространство скважины. Для предотвращения такого рода осложнений может быть предложен следующий способ [8].

Согласно этому способу в стволе скважины выше места расположения электроразрядного устройства или зарядов взрывчатого вещества устанавливается отражающий экран с диаметром, близким к диаметру скважины. При этом импульсы давления будут, с одной стороны, отражаться от экрана в продуктивный интервал, повышая тем самым эффективность обработки призабойной зоны, а с другой стороны, в ствол, расположенный выше экрана, будет уходить существенно ослабленный импульс давления, что будет снижать избыточную нагрузку на обсадные трубы. В [8] показано, что если высота отражающего экрана h достаточно велика для того, чтобы импульс давления полностью отражался от нижней кромки экрана за время, в течение которого импульс по зазору между экраном и стенкой обсадной трубы пройдет расстояние до верхней кромки экрана и, отразившись от нее с обратным знаком, придет к нижней кромке, то такой экран с позиций процесса отражения от него импульса давления может рассматриваться как бесконечно-протяженный по вертикали. Условием, определяющим эту минимальную высоту экрана будет условие

$$2 \cdot h = c_0 \cdot T$$

где c_0 – скорость звука в скважинной жидкости, T – дли-

тельность импульса давления.

Для высокоамплитудных коротких импульсов, рассмотренных выше, при $T \sim 10$ мкс, $c_0 \sim 1500$ м/с толщины экрана, равной $\sim 7 - 8$ мм, согласно приведенной формуле, будет достаточно для того, чтобы импульс давления отразился от него, как от бесконечно-протяженного по высоте. Оценки, проведенные в [8], показывают, что если зазор по радиусу между экраном, например, металлическим диском, и обсадной трубой будет равен 3 мм, то степень отражения импульса давления от такого экрана будет достигать 90%, соответственно, лишь 10% импульса будут создавать избыточную нагрузку на обсадные трубы выше места установки экрана.

Таким образом, в заключение можно сделать вывод о том, что проведенные исследования позволили установить, что эффект от воздействия электроразрядов в

стволе скважины на перфорационные каналы аналогичен эффекту от воздействия зарядов взрывчатого вещества малой массы. Для реализации технологии воздействия такими зарядами на призабойную зону скважины может быть использовано стандартное оборудование, применяемое при кумулятивной перфорации скважин, с установкой на нем десятков и более зарядов малой массы вдоль обрабатываемого интервала продуктивного пласта. При этом эффективность воздействия на призабойную зону скважины за счет многократного отражения импульсов давления может быть существенно увеличена при установке отражающего экрана – металлического диска с толщиной в пределах 1 см, который, кроме того, будет существенно снижать нагрузку на ствол скважины выше продуктивного пласта при инициировании взрывных процессов.

Литература

1. Гулий, Г. А. (1990). Научные основы разрядно-импульсных технологий. Киев: Наукова думка.
2. Молчанов, А. А. (1995, апрель). Прогрессивные технологии, обеспечивающие дополнительное извлечение нефти и газа. Топливо-энергетические ресурсы России и других стран СНГ. Материалы международного симпозиума. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский горный институт.
3. Агеев, П. Г., Агеев, Н. П., Пашенко, А. Ф. и др. (2019). Экспериментальные исследования плазменно-импульсного воздействия на интенсивность пульсаций давления в обрабатываемой среде. *Проблемы машиностроения и надежности машин*, 2, 106–112.
4. Ландау, Л. Д., Лифшиц, Е. М. (1988). Теоретическая физика. Т.6. Гидродинамика. Москва: Наука.
5. Христианович, С. А. (1981). Механика сплошной среды. Москва: Наука.
6. Коул, Р. (1950). Подводные взрывы. Москва: Издательство иностранной литературы.
7. Пашенко, А. Ф., Агеев, П. Г. (2015). Плазменно-импульсная технология повышения нефтеотдачи: оценка параметров механического воздействия. *Наука и техника в газовой промышленности*, 3 (63), 17–26.
8. Свалов, А. М. (2017). Новый подход к применению технологий электроразрядного воздействия на призабойные зоны скважин. *Технологии нефти и газа*, 5, 24–29.

References

1. Gulyi, G. A. (1990). Scientific foundation of discharge-pulse technologies. Kiev: Naukova dumka.
2. Molchanov, A. A. (1995, april). Progressivnyye tekhnologii, obespechivayushchie dopolnitel'noe izvlechenie nefiti i gaza. Toplivno-energeticheskie resursy Rossii i drugih stran SNG. Materialy mezhdunarodnogo simpoziuma. Sankt-Peterburg: Sankt-Peterburgskij gornyj institut.
3. Ageev, P. G., Ageev, N. P., Pashchenko, A. F., et al. (2019). Experimental study of plasma-impulse impact: intensity of pressure pulsations in the medium processed. *Journal of Machinery Manufacture and Reliability*, 48(2), 184-189.
4. Landau, L. D., Lifshitz, E. M. (1988). Theoretical physics. Vol. 6. Hydrodynamics. Moscow: Nauka.
5. Khristianovich, S. A. (1981). Continuum mechanics. Moscow: Nauka.
6. Koul, R. (1950). Podvodnyye vzryvy. Moskva: Izdatel'stvo inostrannoj literatury.
7. Pashchenko, A. F., Ageev, P. G. (2015). Plazmenno-impul'snaya tekhnologiya povysheniya nefteotdachi: ocenka parametrov mekhanicheskogo vozdeystviya. *Nauka i Tekhnika v Gazovoj Promyshlennosti*, 3 (63), 17–26.
8. Svalov, A. M. (2017). Novyj podhod k primeneniyu tekhnologij elektrorazryadnogo vozdeystviya na prizabojnyye zony skvazhin. *Tekhnologii Nefti i Gaza*, 5, 24-29.

Особенности воздействия высокоамплитудных коротких импульсов гидродинамического давления на перфорационные каналы

A. M. Svalov

Институт проблем нефти и газа
Российской Академии Наук, Москва, Россия

Реферат

Анализируются особенности воздействия высокоамплитудных коротких импульсов давления на перфорационные каналы в призабойной зоне скважины. Показано, что в каналах, образующихся в породе при применении кумулятивной перфорации и имеющих конусообразную форму, происходит усиление импульсов давления при выполнении определенного условия, ограничивающего длительность этого импульса. Установлено, что в отрицательной фазе импульса давления может происходить разрушение закольматированных слоев породы, прилегающих к стенкам перфорационного канала, что улучшает фильтрационно-емкостные свойства призабойной зоны скважины. Показано, что при применении взрывных зарядов малой массы формируются импульсы давления с параметрами, аналогичными параметрам импульсов, генерируемых электроразрядами в стволе скважины. Для применения технологии взрывного воздействия зарядами малой массы на призабойную зону может быть использовано стандартное оборудование, применяемое при кумулятивной перфорации скважин. Предложен способ экранирования импульсов давления, увеличивающий эффективность их воздействия на призабойную зону скважины и одновременно снижающий избыточную нагрузку на обсадные трубы выше продуктивного пласта.

Ключевые слова: призабойная зона скважины; перфорационные каналы; электроразрядное воздействие; заряды малой массы; отражающий экран.

Hidrodinamiki təzyiğin yüksək amplitudalı qısa impulslarının perforasiya kanallarına təsirinin xüsusiyyətləri

A. M. Svalov

Rusiya Elmlər Akademiyasının Neft və Qaz
Problemləri İnstitutu, Moskva, Rusiya

Xülasə

Quyunun quyudibi zonasında yüksək amplitudalı qısa təzyiqli impulslarının perforasiya kanallarına təsirinin xüsusiyyətləri təhlil edilmişdir. Göstərilmişdir ki, kumulyativ perforasiyanın tətbiqi zamanı süxurda əmələ gələn və konusşəkilli formaya malik kanallarda təzyiqli impulsun müddətini məhdudlaşdıran müəyyən şərt yerinə yetirildikdə həmin impulsun güclənməsi baş verir. Müəyyən edilmişdir ki, təzyiqli impulsun mənfi fazasında perforasiya kanalının divarlarına bitişik kolmatasiya olunmuş süxur laylarının dağılması baş verə bilər ki, bu da quyudibi zonasının süzülmə-tutum xüsusiyyətlərini yaxşılaşdırır. Göstərilmişdir ki, kiçik kütləli partlayıcı yüklərin tətbiqi zamanı parametrləri quyuyu lüləsində elektrik boşalmaları nəticəsində yaranan impulslara oxşar təzyiqli impuls əmələ gəlir. Quyudibi zonaya kiçik kütləli yüklərlə partlayıcı təsir texnologiyasının tətbiqi üçün quyuların kumulyativ perforasiyasında tətbiq olunan standart avadanlıqdan istifadə oluna bilər. Təzyiqli impulsun ekranlanması üsulu təklif olunur. Bu üsul təzyiqli impulsun quyudibi zonaya təsirinin effektivliyini artırır, məhsuldar laydan yuxarıdakı quyuyucu boru kəmərlərinə düşən artıq yükü isə azaldır.

Açar sözlər: quyudibi zona; perforasiya kanalları; elektrik boşalması ilə təsir; kiçik kütləli yüklər; əks etdirən ekran.