

ГЕОТЕХНІЧНА І ГІРНИЧА МЕХАНІКА, МАШИНОБУДУВАННЯ

УДК 622.242/.243

© Кожевников А.А., Филимошенко Н.Т., 2010

А.А. Кожевников, Н.Т. Филимошенко

ИССЛЕДОВАНИЕ АМПЛИТУДНО-ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ИМПУЛЬСНОЙ ПРОМЫВКИ СКВАЖИН

A.A. Kozhevnikov, N.T. Filimonenko

STUDY OF AMPLITUDE-FREQUENCY FEATURE OF PULSED WASHING OF BORE HOLES

Впервые раскрыты параметры, позволяющие описать потоки жидкости применительно к каждому способу симметричной импульсной промывки скважин. Показаны характерные особенности изменения подачи жидкости при импульсной промывке скважин переменным, пульсирующим, прерывистым и реверсивным потоками жидкости. Исследована амплитудно-частотная характеристика переменного, пульсирующего, прерывистого и реверсивного потоков жидкости.

Ключевые слова: классификация, импульс, частота, амплитуда, скважина, промывка, жидкость

Научные исследования, проведенные в последние годы, показали, что импульсная промывка скважин эффективна как в процессе углубки скважины (способствуют лучшему разрушению горной породы породоразрушающим инструментом, повышает эффективность удаления шлама из гидравлического контура скважины), так и вне технологического процесса углубки (улучшает эксплуатационные характеристики скважин при освоении нефтяных месторождений [1–4]). Поэтому не удивительно, что интерес к импульсной промывке скважин возрастает. Ранее авторами впервые приведены способы импульсной промывки скважины применительно к симметричным импульсам подачи, для которых характерно постоянство по времени параметров циклов подачи. Согласно этой классификации импульсная промывка может быть реализована переменным, пульсирующим, прерывистым и реверсивным потоками жидкости.

Однако до настоящего времени не были установлены параметры, которые однозначно характеризовали бы конкретные способы импульсной промывки, устанавливали связь между ними и условия перехода одного способа в другой и, как следствие, не установлены конкретные характеристики потоков жидкости при разных способах импульсной промывки, степень их влияния на ее эффективность. Без этого невозможно системно исследовать импульсную промывку скважин, выбирать актуальные направления совершенствования технологии и технических средств для ее создания.

Цель настоящей статьи – предложить параметры, описывающие характерные особенности потоков

жидкости при симметричной импульсной промывке скважин и исследовать амплитудно-частотную характеристику (АЧХ) каждого ее способа.

Введем следующие коэффициенты, характеризующие импульсную промывку скважины.

1. Коэффициент импульсности $k_{им}$ – это отношение амплитуды изменения подачи жидкости ΔQ к максимальной подаче Q_{max}

$$k_{им} = \Delta Q / Q_{max} \quad (1)$$

2. Коэффициент стационарности $k_{ст}$. Показывает величину отношения минимальной подачи жидкости Q_{min} к максимальной.

$$k_{ст} = Q_{min} / Q_{max} \quad (2)$$

Коэффициент импульсности и коэффициент стационарности – взаимосвязанные между собой параметры, поскольку

$$k_{им} = \Delta Q / Q_{max} = (Q_{max} - 4 Q_{min}) / Q_{max} = 1 - 4 Q_{min} / Q_{max} = 1 - 4 k_{ст}$$

Откуда

$$k_{им} + 4 k_{ст} = 1$$

Коэффициент стационарности также функционально связан с амплитудой подачи жидкости, так как

$$k_{ст} = Q_{min} / Q_{max} = (Q_{max} - \Delta Q) / Q_{max} = 1 - \Delta Q / Q_{max}$$

На рис. 1. приведена закономірність змінення $k_{ст}$ і $k_{им}$ від ΔQ . Исследуем формулу (1).

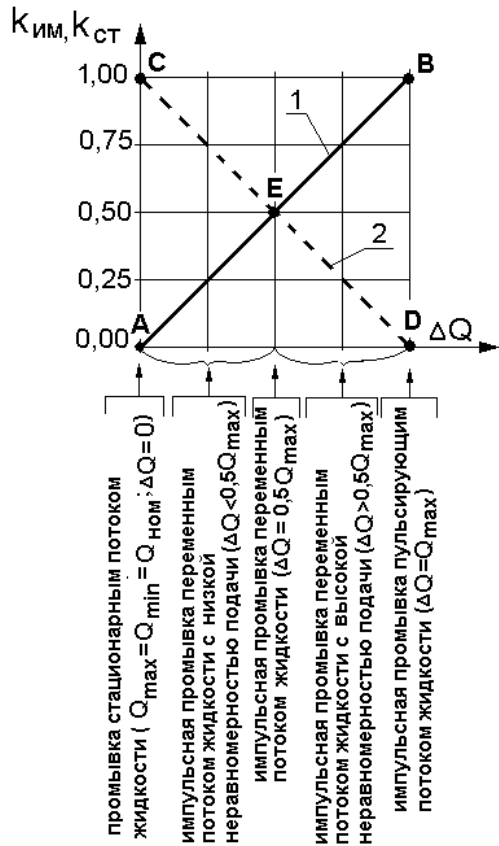


Рис. 1. Зависимости $k_{им}$ и $k_{ст}$ от ΔQ : 1 – $k_{им} = f(\Delta Q)$; 2 – $k_{ст} = f(\Delta Q)$

При $\Delta Q = 0$ имеем $k_{им} = 0/Q_{max} = 0$. При $\Delta Q = Q_{max}$ значение $k_{им} = Q_{max}/Q_{max} = 1$. Изменение $k_{им}$ от 0 до 1 характеризуется графиком 1 $k_{им} = f(\Delta Q)$.

Исследуем формулу (2). При $Q_{min} = 0$ значение $k_{ст} = 0/Q_{max} = 0$. При $Q_{min} = Q_{max}$ величина $k_{ст} = Q_{max}/Q_{max} = 1$. Изменение $k_{ст}$ от 1 до 0 иллюстрируется графиком 2 $k_{ст} = f(\Delta Q)$.

Точка А на графике 1 (в ней $k_{им} = 0$) и точка С на графике 2 (в ней $k_{ст} = 1$) характеризуют промывку скважины *стационарным потоком жидкости*.

С возрастаніем $k_{им}$ от 0 до 0,5 (участок между точками А и Е на графике 1 и убываніем $k_{ст}$ от 1 до 0,5 (участок между точками С и Е на графике 2) промывка скважины из стационарной переходит в *переменную промывку с низкой неравномерностью подачи жидкости*: прямую (рис. 2, а) или обратную (рис. 2, б). При этом $\div Q \{ 1/2 Q_{max}$ или $4 \div Q \{ 41/2 Q_{max}$ соответственно при прямой или обратной промывке.

В точке Е зависимости 1 и 2 пересекаются. Эта точка характеризует *переменную промывку с одинаковым значением $k_{им}$ и $k_{ст}$, равным 0,5*. При этом $\div Q \{ 1/2 Q_{max}$ (для прямой промывки (рис. 2, в)) и $4 \div Q \{ 41/2 Q_{max}$ (для обратной промывки (рис. 2, г)).

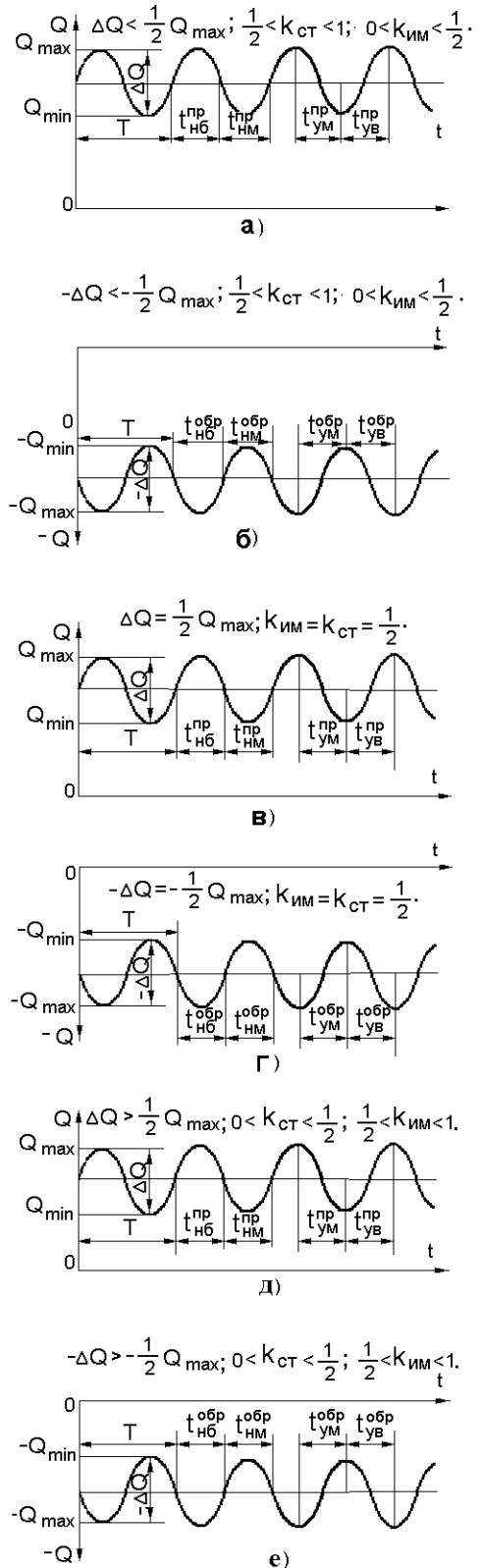


Рис. 2. Импульсная промывка скважины: прямая с низкой неравномерностью подачи (а); обратная с низкой неравномерностью подачи (б); прямая с равной величиной $k_{им}$ и $k_{ст}$ (в); обратная с равной величиной $k_{им}$ и $k_{ст}$ (г); прямая с высокой неравномерностью подачи (д); обратная с высокой неравномерностью подачи (е)

С возрастом $k_{им}$ от 0,5 до 1,0 (участок между точками *E* и *B* на графике 1 и убыванием $k_{см}$ от 0,5 до 0 (участок между точками *E* и *D* на графике 2 (рис. 1) промывка переходит в *переменную с высокой степенью неравномерности подачи* прямую (рис. 2, *д*) или обратную (рис. 2, *е*). Высокая неравномерность подачи будет при условии, когда $\div Q \} 1/2 Q_{max}$ (прямая промывка) или при условии, когда $4 \div Q \} 41/2 Q_{max}$ (обратная промывка).

На рис. 2 кроме типов импульсной переменной промывки показаны также ее фазы за цикл подачи, например: $t_{но}^{пр}$ – фаза наибольшей подачи при прямой промывке; $t_{им}^{обр}$ – фаза наименьшей подачи при обратной промывке; $t_{ув}^{пр}$ – фаза увеличения подачи при прямой промывке; $t_{ум}^{обр}$ – фаза уменьшения подачи при обратной промывке.

В точке *B* на графике $k_{им} = f(\Delta Q)$ (рис.1) $k_{им} = 1$, а в точке *D* на графике $k_{см} = f(\Delta Q)$ $k_{см} = 0$.

Таким образом, точки *B* и *D* характеризуют переход прямой или обратной импульсной переменной промывки соответственно в *прямую пульсирующую* ($\Delta Q = Q_{max}$ (рис. 3, *а*)), или *обратную пульсирующую* ($-\Delta Q = -Q_{max}$ (рис. 3, *б*)).

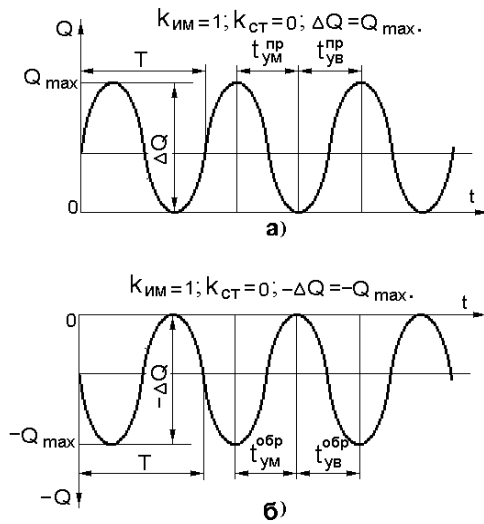


Рис. 3. Пульсирующая промывка скважины: прямая (а); обратная (б)

С появлением пауз между импульсами подачи жидкости импульсная промывка становится *прерывистой*. Введем коэффициент, характеризующий импульсную прерывистую промывку скважины.

3. Коэффициент прерывистости $k_{пр}$ показывает величину отношения продолжительности паузы между подачей жидкости $t_{паузы}$ ко времени подачи $t_{подачи}$

$$k_{пр} = t_{паузы} / t_{подачи} \quad (3)$$

Исследуем формулу (3). На рис. 4 показана закономерность изменения $k_{пр}$ от $t_{паузы}$.

В точке *A* на графике $k_{пр} = f(t_{паузы})$ значение $k_{пр}$ равно 0, поскольку $t_{паузы} = 0$. Это характеризует переход от прерывистой промывки скважины в пульсирующую прямую (рис. 3, *а*) или обратную (рис. 3, *б*) промывку.

С возрастом $k_{пр}$ от 0 до 1,0 (участок от точки *A* до точки *B* на графике $k_{пр} = f(t_{паузы})$) (рис. 4) промывка переходит от пульсирующей в *прямую малопрерывистую* (рис. 5, *а*) или *обратную малопрерывистую* (рис. 5, *б*). На этом участке $t_{паузы} < t_{подачи}$.

В точке *B* (рис. 4) $k_{пр} = 1$, поскольку $t_{паузы} = t_{подачи}$. Эта точка соответствует переходу малопрерывистой промывки в прерывистую прямую (рис. 5, *в*) или обратную (рис. 5, *г*) с равным значением $t_{паузы}$ и $t_{подачи}$.

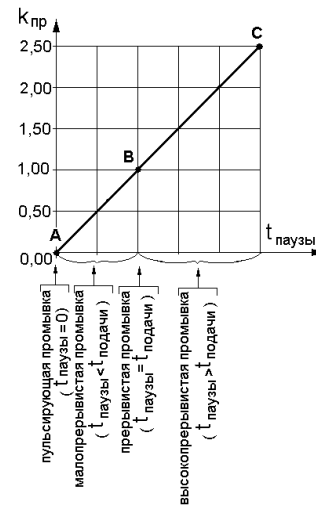


Рис. 4. Зависимость $k_{пр} = f(t_{паузы})$

При дальнейшем возрастании $k_{пр}$ от 1,0 (участок от точки *B* до точки *C* (следует отметить, что точка *C* на прямой, отражающей $k_{пр} = f(t_{паузы})$, не ограничивает значение $k_{пр}$ (рис. 4)) промывка становится *высокопрерывистой прямой* (рис. 5, *д*) или *высокопрерывистой обратной* (рис. 5, *е*). На этом участке $t_{паузы} > t_{подачи}$.

Следующий из анализируемых способов импульсной промывки – *реверсивный*. Характеристика импульсных реверсивных промывок показана на рис. 6.

При наличии импульсной промывки скважин с реверсивным потоком жидкости, последний в течение периода изменения подачи T от Q_{max} до $-Q_{max}$ изменяет свое направление. Отсутствие паузы между реверсированием потока жидкости характерно для *непрерывно-реверсивной промывки* (рис. 6, *а*).

В том случае, когда после цикла подачи T следует пауза (при симметричной промывке продолжительность паузы одинакова), то это признак *реверсивно-прерывистой промывки* (рис. 6, *б*).

Если пауза следует между подачей жидкости в прямом и обратном направлении, то такая промывка называется *прерывисто-реверсивная* (рис. 6, *в*).

Введем параметры, которые характеризуют реверсивную промывку скважины.

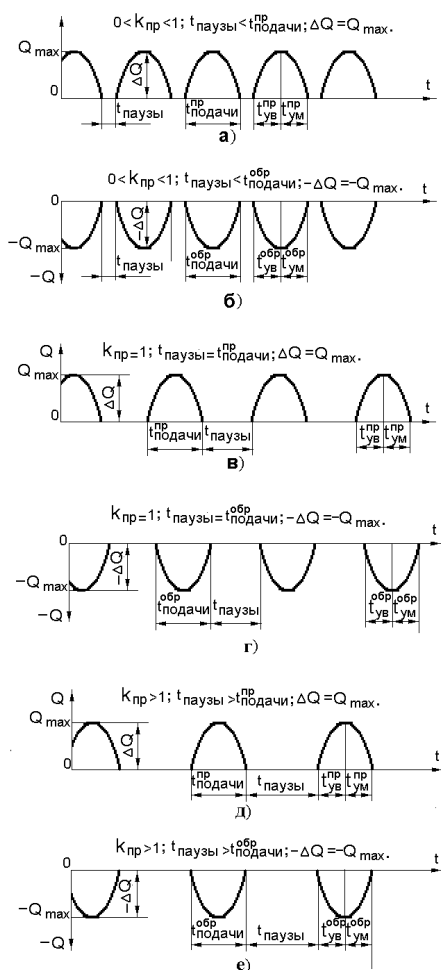


Рис. 5. Прерывистая промывка скважины: прямая малочастотная (а); обратная малочастотная (б); прямая прерывистая с равной величиной $t_{\text{паузы}}$ и $t_{\text{подачи}}$ (в); обратная прерывистая с равной величиной $t_{\text{паузы}}$ и $t_{\text{подачи}}$ (г); прямая высокочастотная (д); обратная высокочастотная (е)

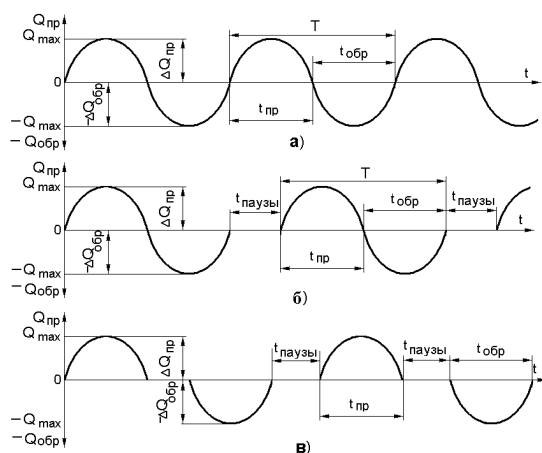


Рис. 6. Характеристика импульсных реверсивных промывок: непрерывно-реверсивная (а); реверсивно-прерывистая (б); прерывисто-реверсивная (в)

4. Коэффициент реверсивности по времени $k_{\text{рев}}^t$ показывает величину отношения продолжительности подачи жидкости в прямом $t_{\text{пр}}$ и обратном $t_{\text{обр}}$ направлениях

$$k_{\text{рев}}^t = t_{\text{пр}} / t_{\text{обр}} \quad (4)$$

Исследуем формулу (4). На рис. 7 показана закономерность изменения $k_{\text{рев}}^t$ от $t_{\text{пр}}$.

Точка А на графике $k_{\text{рев}}^t = f(t_{\text{пр}})$ характеризует прерывистую обратную промывку. В ней $k_{\text{рев}}^t = 0$, поскольку $t_{\text{пр}} = 0$.

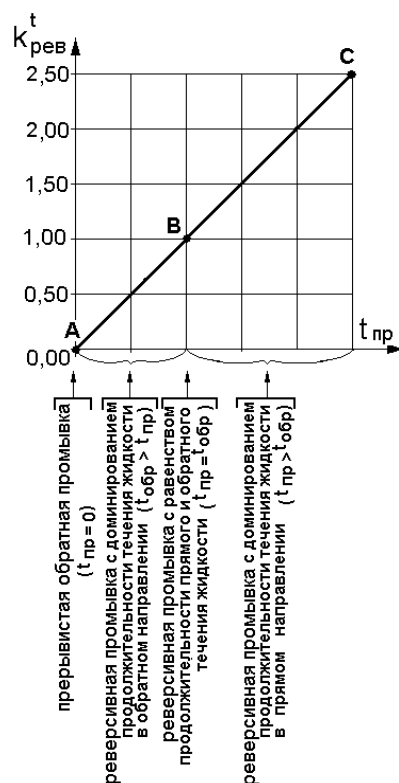


Рис. 7. Зависимость $k_{\text{рев}}^t = f(t_{\text{пр}})$

С увеличением $k_{\text{рев}}^t$ от 0 до 1,0 (участок между точкой А и В на прямой, отражающей $k_{\text{рев}}^t = f(t_{\text{пр}})$), промывка переходит от прерывистой обратной в реверсивную с доминированием обратного направления. На этом участке $t_{\text{обр}} > t_{\text{пр}}$.

В точке В на графике $k_{\text{рев}}^t = f(t_{\text{пр}})$ (рис. 7) значение $k_{\text{рев}}^t$ становится равным единице, поскольку $t_{\text{пр}} = t_{\text{обр}}$, что характерно для реверсивной промывки с равенством продолжительности течения жидкости в прямом и обратном направлениях.

При дальнейшем возрастании $k_{\text{рев}}^t$ от 1,0 (участок от точки В до точки С (точка С на прямой, отражающей

шей $k_{рев}^t = f(t_{np})$), не ограничивает значение $k_{рев}^t$) в реверсивной промывке доминирует прямое направление течения жидкости ($t_{np} > t_{обр}$).

5. Коэффициент реверсивности по подаче $k_{рев}^Q$.

Показывает величину отношения подачи жидкости в прямом Q_{np} и обратном $Q_{обр}$ направлениях

$$k_{рев}^Q \mid Q_{np} / Q_{обр} \cdot \tag{5}$$

Исследуем формулу (5). На рис. 8 показана закономерность изменения $k_{рев}^Q$ от Q_{np} .

Точка А на зависимости $k_{рев}^Q = f(Q_{np})$ соответствует прерывистой обратной промывке. В ней $k_{рев}^Q = 0$, поскольку $Q_{np} = 0$.

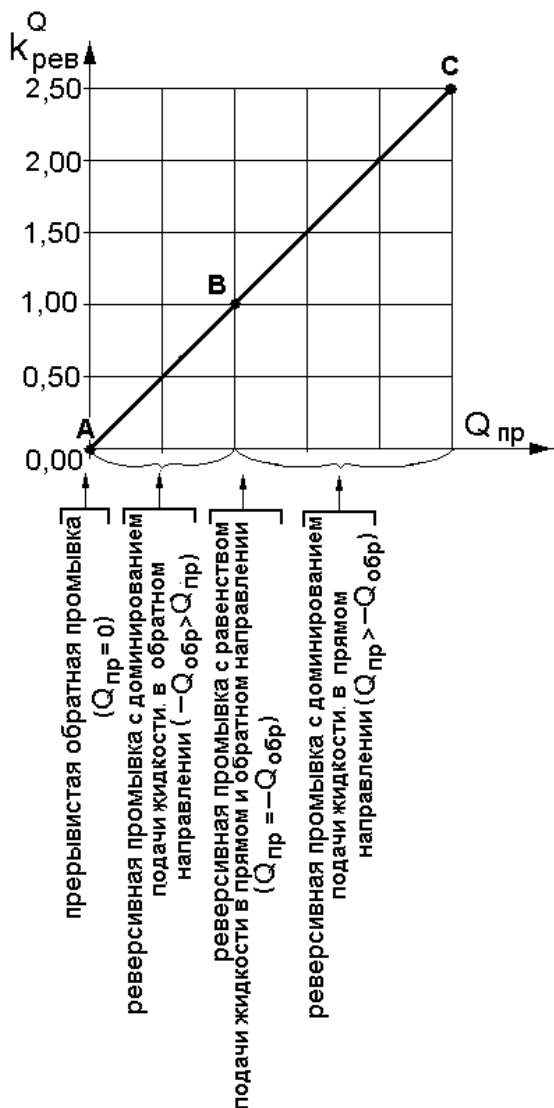


Рис. 8. Зависимость $k_{рев}^Q = f(Q_{np})$

С увеличением $k_{рев}^Q$ от 0 до 1,0 (участок от точки А до точки В на графике $k_{рев}^Q = f(Q_{np})$), прерывистая обратная промывка переходит в реверсивную с доминированием подачи жидкости в обратном направлении. На этом участке $Q_{обр} > Q_{np}$.

В точке В (рис. 8) $k_{рев}^Q = 1$, поскольку $Q_{обр} = Q_{np}$ и поток становится реверсивный с равенством подачи жидкости в прямом и обратном направлениях.

При дальнейшем возрастании $k_{рев}^Q$ от 1,0 (участок от точки В до точки С (точка С на графике $k_{рев}^Q = f(Q_{np})$), не ограничивает значение $k_{рев}^Q$), в реверсивной промывке доминирует подача жидкости в прямом направлении ($Q_{np} > Q_{обр}$).

Таким образом, реверсивность реверсивной промывки характеризуют два параметра: $k_{рев}^t$ и $k_{рев}^Q$. На рис. 9 показаны типы импульсной реверсивной промывки скважины.

В таблице приведены способы, схемы и параметры импульсных промывок скважины.

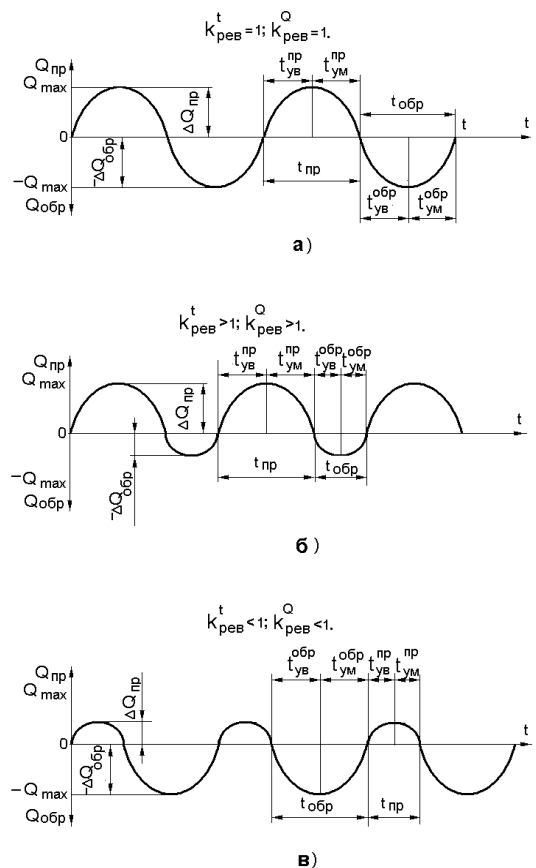


Рис. 9. Реверсивная промывка скважины: с равенством времени и подачи жидкости в прямом и обратном направлениях (а); с доминированием времени и подачи жидкости в прямом направлении (б); с доминированием времени и подачи жидкости в обратном направлении (в)

Таблица

 Способы, схемы и параметры
импульсных промывок скважины

Способ промывки	Схема промывки	Параметры промывки
Переменная с низкой неравномерностью подачи	Прямая	$0 < k_{им} < 1/2; 1/2 < k_{см} < 1; \Delta Q < 0,5 Q_{max}$
	Обратная	$0 < k_{им} < 1/2; 1/2 < k_{см} < 1; -\Delta Q < -1/2 Q_{max}$
Переменная с равной величиной $k_{им}$ и $k_{см}$	Прямая	$k_{им} = k_{см} = 1/2; \Delta Q = 1/2 Q_{max}$
	Обратная	$k_{им} = k_{см} = 1/2; -\Delta Q = -1/2 Q_{max}$
Переменная с высокой неравномерностью подачи	Прямая	$1/2 < k_{им} < 1; 0 < k_{см} < 1/2; \Delta Q > 0,5 Q_{max}$
	Обратная	$1/2 < k_{им} < 1; 0 < k_{см} < 1/2; -\Delta Q > -1/2 Q_{max}$
Пульсирующая	Прямая	$k_{см} = 0; k_{им} = 1; \Delta Q = Q_{max}$
	Обратная	$k_{см} = 0; k_{им} = 1; -\Delta Q = -Q_{max}$
Малопрерывистая	Прямая	$0 < k_{np} < 1,0; t_{наузы} < t_{подачи}^{np}; \Delta Q = Q_{max}$
	Обратная	$0 < k_{np} < 1,0; t_{наузы} < t_{подачи}^{обр}; -\Delta Q = -Q_{max}$
Прерывистая с равной величиной $t_{наузы}$ и $t_{подачи}$	Прямая	$k_{np} = 1,0; t_{наузы} = t_{подачи}^{np}; \Delta Q = Q_{max}$
	Обратная	$k_{np} = 1,0; t_{наузы} = t_{подачи}^{обр}; -\Delta Q = -Q_{max}$
Высокопрерывистая	Прямая	$k_{np} > 1,0; t_{наузы} > t_{подачи}^{np}; \Delta Q = Q_{max}$
	Обратная	$k_{np} > 1,0; t_{наузы} > t_{подачи}^{обр}; -\Delta Q = -Q_{max}$
Реверсивная с равенством времени и подачи жидкости в прямом и обратном направлении		$k_{рев}^t = k_{рев}^Q = 1,0; t_{np} = t_{обр}; Q_{np} = Q_{обр}$
Реверсивная с доминированием времени и подачи жидкости в прямом направлении		$k_{рев}^t > 1; k_{рев}^Q > 1,0; t_{np} > t_{обр}; Q_{np} > Q_{обр}$
Реверсивная с доминированием времени и подачи жидкости в обратном направлении		$k_{рев}^t < 1; k_{рев}^Q < 1,0; t_{np} < t_{обр}; Q_{np} < Q_{обр}$

Выводы:

- впервые предложены параметры, описывающие импульсный способ промывки скважин;
- предложенные параметры, позволили охарактеризовать каждый способ импульсной промывки скважин и установить связь между ними;
- исследована АЧХ импульсной промывки скважин с переменным, пульсирующим, прерывистым и реверсивным расходами жидкости.

Список литературы

1. Кожевников А.А. Импульсные технологии бурения геологоразведочных скважин /А.А. Кожевников, С.В. Гошовский, И.И. Мартыненко – К.: УкрГГИ, 2003. – 208 с.
2. Фассахов Р.Х. Энергосбережение в гидроимпульсном воздействии на призабойную зону пласта /Р.Х. Фассахов, И.К. Файзуллин, Я.М. Сахапов и др. // Изв. вузов. Проблемы энергетики. – 2005. – №9–10. – С. 56–60.
3. Тунгусов С.А. Выбор рационального режима работы забойного пульсатора // Инженер-нефтяник. – 2008. – №3. – С. 26–27.
4. Тунгусов С.А. Изучение влияния пульсирующей промывки на вынос шлама при бурении наклонно направленных скважин // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2008. – №5. – С. 18–21.

Вперше розкрито параметри, що дозволяють диференціювати потоки рідини стосовно кожного способу симетричного імпульсного промивання свердловин. Наведено характерні особливості зміни подачі рідини при імпульсному промиванні свердловин змінним, пульсуючим, переривчастим і реверсивним потоками рідини. Досліджена амплітудно-частотна характеристика змінного, пульсуючого, переривчастого і реверсивного потоків рідини.

Ключові слова: класифікація, імпульс, частота, амплітуда, свердловина, промивання, рідина

It has been first exposed parameters allowing differentiating the streams of liquid in relation to every method of the symmetric impulsive washing of mining holes. It has been resulted the characteristic features of change of fluid supply for the impulsive washing of mining holes by means of variable, pulsating, irregular and reversible stream of liquid. The gain-frequency characteristic of variable, pulsating, irregular and reversible stream of liquid has been investigated.

Keywords: classification, impulse, frequency, amplitude, mining hole, washing, liquid

Рекомендовано до публікації д. т. н. В.П. Франчуком 18.05.10