

Рис. 4. Изменение плотности ( $\rho$ ), приведенной емкости поглощения ( $q$ ) и адсорбционной активности пород ( $A$ ) от пластового давления: соответственно кривые 1, 2, 3

Согласно формуле (12), увеличение пористости пласта-коллектора приводит к снижению его приведенной емкости поглощения. Эта зависимость представлена кривой 2 на рис. 4. С помощью соотношения между приведенной емкостью поглощения и адсорбционной активностью пород, получена кривая 3, отражающая изменение адсорбционной активности пласта в зависимости от порового давления. Видно, что адсорбция пород пласта претерпевает меньшие изменения по сравнению с приведенной емкостью поглощения при эксплуатации газохранилища.

**Выводы.** По результатам проведенных экспериментов и математического моделирования напряженно-деформированного состояния пластов-коллекторов определено, что в процессе закачки и отбора газа из них, возникающие напряжения приводят к изменению их физико-механических свойств. В диапазоне давлений от 0,3 до 2 МПа для условий Приднэпровского гидрогеологического района установлено увеличение объема водоносного пласта на 4%, его пористости на 1% и проницаемости на 4%, что при геологических масштабах адекватно ёмкости газохранилищ, измеряемой 100–400 млн м<sup>3</sup>. При этом плотность пласта может уменьшиться на 2%, а приведенная емкость поглощения и адсорбционная активность пород снизится на 1,5 и 1% соответственно.

Полученные результаты позволяют более точно учитывать фильтрационные свойства пластов-коллекторов и их эффективную емкость при расчетах параметров работы водоносных газохранилищ.

**Список литературы**

1. Инкин А.В. Гидродинамическая модель газохранилища в водоносных пластах Кривбасса // Сб. науч. тр. НГУ. – 2010. – № 34, Т. 2, – С. 216–221.
2. Энциклопедия газовой промышленности: [пер. с франц. / ред. пер. К.С. Басниев]. – М.: акционерное общество „ТВАНТ“, 1994. – 884 с.
3. Желтов Ю.П. Механика нефтегазонаосного пласта – М.: Недра, 1975. – 216 с.
4. Добрынин В.М. Деформации и изменения физических свойств коллекторов нефти и газа – М.: Недра, 1970. – 239 с.
5. Вендельштейн Б.Ю. Исследование разрезов нефтяных и газовых скважин методом собственных потенциалов – М.: Недра, 1966. – 235 с.

Обґрунтовано методичний підхід до чисельної оцінки напружено-деформованого стану гірського масиву в процесі закачування газу у водоносні пласти. На його основі для умов Придніпровського гідрогеологічного району оцінені об'ємна деформація, зміна фізико-механічних та дифузійно-адсорбційних властивостей пласта-коллектора. Отримані результати дозволяють більш точно враховувати фільтраційні властивості та ефективну ємність водоносних газосховищ.

**Ключові слова:** водоносне газосховище, пласт-коллектор, об'ємна деформація

Technical approach to the numerical evaluation of the deflected mode of massif over the period of gas drive to aquifers has been proved. On its basis the volume deformation, physical-mechanical and diffusive-adsorption changes of reservoir properties have been estimated. Received results will allow taking into consideration filtering properties and effective capacity of aquiferous gas-holders.

**Keywords:** aquiferous gas-holder, layer-collector, by volume deformation

Рекомендовано к публикации д.т.н. В.І. Бузило 31.03.10.

УДК 622.242/.243

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

А.А. Кожевников, Н.Т. Филимонок

**СПОСОБИ ІМПУЛЬСНОЇ ПРОМЫВКИ СКВАЖИН**

A.A. Kozhevnikov, N.T. Filimonenko

**WAYS OF IMPULSE WASHING OF WELLS**

Впервые приводится классификация способов импульсной промывки скважин применительно к симметричным импульсам подачи жидкости, а также дифференциация ее частот на базе соизмеримости времени двух процессов: процесса вращения породоразрушающего инструмента и процесса промывки. Приведены возмож-

ные формы импульсов подачи промывочной жидкости. Показаны новые возможности применения предложенной классификации в плане упорядочения классификации устройств, для создания импульсной промывки скважин и конкретизации частотных спектров импульсов подачи, благоприятных для эффективного протекания процессов рабочего цикла сооружения скважины.

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

Технологии бурения с различными сочетаниями постоянных и переменных во времени режимных параметров (осевой нагрузки на породоразрушающий инструмент  $F$ , частоты вращения  $n$ , количества промывочной жидкости, подаваемой на забой скважины  $Q$ ) называются импульсными. Впервые классификация импульсных технологий представлена в работах [1, 2]. Согласно этой классификации импульсные технологии образуют три группы:

- монопараметрические (переменным является один из трех параметров режима бурения:  $F$ ,  $n$  или  $Q$ );
- бипараметрические (переменными являются два параметра режима бурения попарно:  $F$  и  $n$ ,  $n$  и  $Q$  или  $F$  и  $Q$ );
- трипараметрические (переменными являются одновременно три параметра режима бурения:  $F$ ,  $n$ , и  $Q$ ).

Следовательно, технология бурения с переменным расходом жидкости относится к импульсной монопараметрической, бипараметрической или трипараметрической.

Традиционно буровая наука и практика отмечают, что только постоянный расход жидкости  $Q_{ном}$  (рис. 1), рассчитанный применительно к конкретным условиям бурения, создает благоприятные условия для работы породоразрушающего инструмента и эффективной очистки забоя и ствола скважины от шлама.

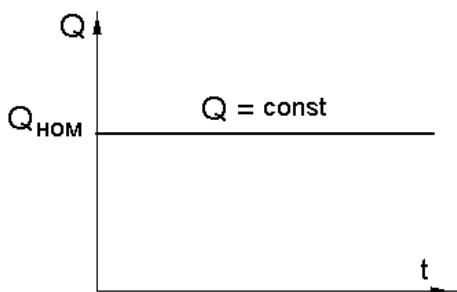


Рис. 1. Зависимость  $Q=f(t)$  при промывке скважины с постоянным расходом жидкости

Однако научные исследования показали, что промывка скважин с переменным расходом жидкости также способствует лучшему разрушению горной породы породоразрушающим инструментом и повышает эффективность удаления шлама из гидравлического контура скважины [3–5].

Известен ряд работ, описывающих положительные результаты использования переменного расхода жидкости для внутрискважинной промывки в условиях водопоглощений, создаваемых погруженными пневматическими вытеснителями [6] и гидравлическими пульсаторами [7].

Известны научные публикации, в которых описан положительный опыт применения нестационарных потоков жидкости с целью повышения продуктивно-

сти, энерго- и ресурсосбережения при эксплуатации нефтяных месторождений [8]. Таким образом, область применения переменного расхода жидкости уже вышла за рамки повышения интенсификации процесса разрушения горной породы, очистки забоя, ствола скважины и распространилась на технологические процессы, не связанные с ее углубкой.

Устройства для создания переменного расхода жидкости имеют разные принципы действия, возбуждаемый ими поток имеет различные амплитудно-частотные характеристики (АЧХ). Однако до настоящего времени нет общепринятой систематизации АЧХ таких потоков и, как следствие, отсутствует классификация способов импульсной промывки скважин.

**Цель настоящей статьи** – предложить классификацию способов импульсной промывки скважин с рассмотрением возможных их амплитуд и частот подачи промывочной жидкости.

На рис. 2 приводятся способы импульсной промывки скважин применительно к симметричным импульсам подачи.

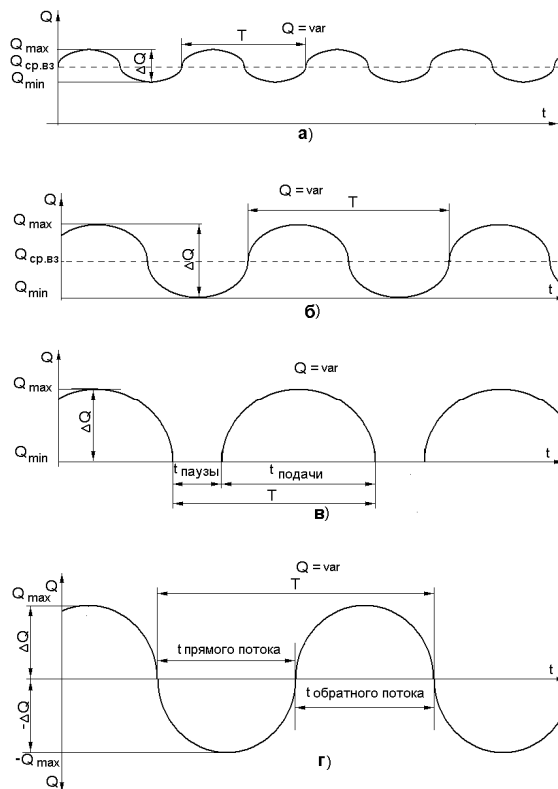


Рис. 2. Способы импульсной промывки скважины применительно к симметричным импульсам подачи с: переменным расходом жидкости (а); пульсирующим расходом жидкости (б); прерывистым расходом жидкости (в); реверсивным расходом жидкости (г)

По амплитуде изменения расхода нестационарного потока жидкости за период  $T$  способы импульсной промывки скважин предлагается разделить на: промывку с переменным (рис. 2, а), пульсирующим (рис. 2, б), прерывистым (рис. 2, в) и реверсивным (рис. 2, з) расходом жидкости.

При импульсной промывке скважины с переменным расходом жидкости (рис. 2, а), амплитуда изменения подачи  $\pm Q$  за период  $T$  будет определяться, как  $\pm Q \mid Q_{max} \ 4 \ Q_{min}$ , где  $Q_{max}$  и  $Q_{min}$  соответственно максимальная и минимальная подачи жидкости за период  $T$ . При этом  $Q_{min} > 0$ .

При импульсной промывке скважин с пульсирующим расходом (рис. 2, б), подача жидкости за период  $T$  варьирует от 0 до  $Q_{max}$ , т.е.  $\pm Q = Q_{max}$ . Средневзвешенная подача  $Q_{cp.вз}$  определяется по формуле:

$$Q_{cp.вз} \mid \frac{\int Q(t)dt}{T}$$

В данном случае  $Q_{cp.вз} \mid 1/2 Q_{max}$ . Пульсации следуют друг за другом без пауз между ними.

Основной из характеристик импульсной промывки скважины с прерывистым расходом жидкости (рис. 2, в) является наличие одинаковых по времени пауз, длительностью  $t_{паузы}$ , между одинаковой по продолжительности подачей жидкости за время  $t_{подачи}$  с переменным расходом, изменяющимся от нуля до  $Q_{max}$ , т.е.  $\pm Q = Q_{max}$ .

При наличии импульсной промывки скважин с реверсивным расходом жидкости, последний в течение периода изменения подачи от  $Q_{max}$  до  $-Q_{max}$  изменяет и свое направление (рис. 2, з). При этом  $Q_{max} = -Q_{max}$ ,  $\pm Q = -\pm Q$ , а продолжительность паузы между реверсированием потока жидкости равна нулю.

В качестве критерия классификации по частоте импульсной промывки скважин предлагается определять соотношение времени двух процессов: процесса вращения инструмента и процесса промывки. В первом подразумевается время оборота коронки или долота  $t_{об}$ . Во втором – время цикла промывки, т.е. период  $T$ .

Время одного оборота зависит от частоты вращения  $t_{об} = 1/n$ , где  $n$  – частота вращения бурового инструмента,  $c^{-1}$ .

Приняв равенство этих двух времен, получим режим импульсной промывки, который можно характеризовать как равновесный, т.е.  $t_{об} = T$ , где  $T$  – время цикла промывки, с. Тогда  $T = 1/n$ .

Частота процесса промывки  $f_n$  в этом случае равна  $1/T$  или  $n$ .

Таким образом, импульсная промывка с равновесной частотой характеризуется условием  $f_n = n$ .

Для других случаев справедливо условие  $f_n = k_f n$ , где  $k_f$  – коэффициент неравномерности по частоте, который определяет уровень соизмеримости частоты импульсов подачи и частоты вращения бурового инструмента, т.е.

$$k_f \mid f_n/n$$

В табл. 1 приведены названия, обозначения и характеристики частот импульсной промывки.

Таблица 1

Параметры импульсной промывки по частоте

Название	Характеристика частоты	
Импульсная промывка с равновесной частотой, $f_p$	$f_p = n, k_f = 1$ . Один импульс подачи промывочной жидкости на один оборот буровой коронки (долота)	
Импульсная промывка с неравновесной частотой	Высокочастотная, $f_{вч}$	$f_{вч} > n, k_f > 1$ . Частота импульсов подачи промывочной жидкости больше частоты вращения буровой коронки (долота)
	Низкочастотная, $f_{нч}$	$f_{нч} < n, k_f < 1$ . Частота импульсов подачи промывочной жидкости меньше частоты вращения буровой коронки (долота)

На рис. 3 приводятся графики импульсной промывки по частоте.

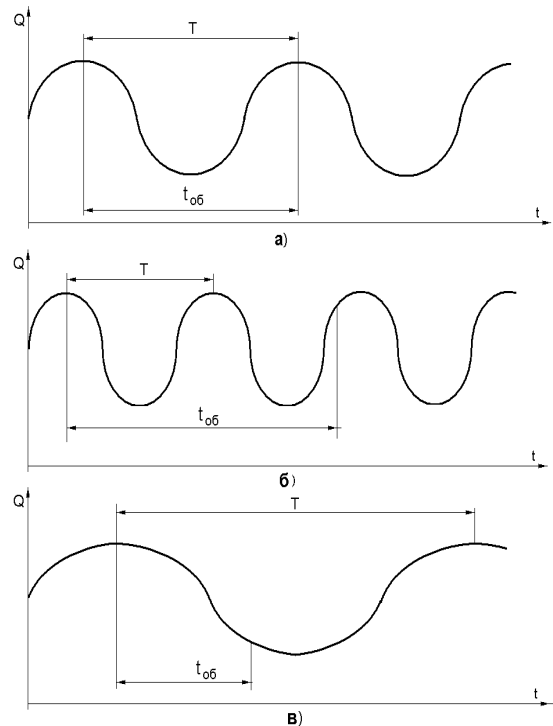


Рис. 3. Графики импульсной промывки по частоте: равновесная (а); высокочастотная (б); низкочастотная (в)

На рис. 3, а приведен график равновесной импульсной промывки. При этом выполняется условие:  $T = t_{об}$ .

На рис. 3, б показано соотношение  $T$  и  $t_{об}$ , характерное для высокочастотной импульсной промывки. При этом  $T = k_t t_{об}$  и  $k_t < 1$ , где  $k_t$  – коэффициент неравномерности по времени, величина которого обратна  $k_f$ , т.е.

$$k_t \mid 1/k_f.$$

На рис. 3, в приведено соотношение  $T$  и  $t_{об}$ , характерное для низкочастотной импульсной промывки. В этом случае  $T = k_t t_{об}$  и  $k_t > 1$ .

Форму импульса подачи жидкости определяет закономерность ее изменения по времени  $Q = f(t)$  на периоде  $T$ . При этом график зависимости  $Q = f(t)$  может состоять из отдельных участков, представляющих собой линейные (рис. 4) и нелинейные функции (рис. 5).

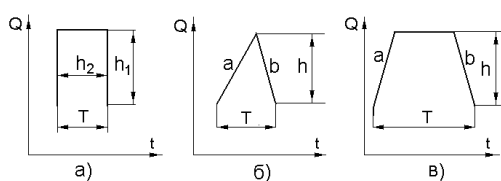


Рис. 4. Импульсы подачи, форму которых формируют линейные функции: прямоугольный (а); треугольный (б); трапециевидный (в)

Применительно к импульсу подачи, форму которого формируют линейные функции, можно выделить прямоугольный (рис. 4, а), треугольный (рис. 4, б) и трапециевидный импульс (рис. 4, в).

Форма импульса подачи прямоугольной формы (рис. 4, а) определяется соотношением длин  $h_1$  и  $h_2$  сторон прямоугольника. Возможны три формы прямоугольного импульса: ( $h_1 = h_2$ ;  $h_1 > h_2$ ;  $h_1 < h_2$ ).

Три вида импульса подачи треугольной формы (рис. 4, б) определяет соотношение длин сторон треугольника ( $a = b$ ;  $a > b$ ;  $a < b$ ). Если одна из боковых сторон треугольника будет равна его высоте  $h$ , то треугольный импульс будет прямоугольным. Следовательно, возможны пять форм импульсов подачи треугольной формы.

Три вида импульса подачи трапециевидной формы (рис. 4, в) также определяет соотношение длин боковых сторон трапеции ( $a = b$ ;  $a > b$ ;  $a < b$ ). Кроме этого, могут быть еще две формы трапециевидного импульса, когда одна из боковых сторон трапеции ( $a$  или  $b$ ) будет равна ее высоте  $h$ . Таким образом, возможны пять форм импульсов подачи трапециевидной формы.

Примеры импульсов подачи, форму которых формируют нелинейные функции, приведены на рис 5.

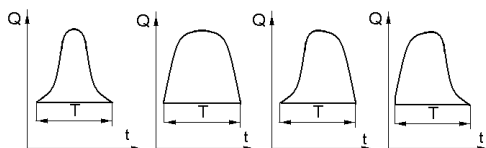


Рис. 5. Импульсы подачи, форму которых формируют нелинейные функции

При этом график зависимости  $Q = f(t)$  могут составлять отдельные участки, представляющие собой стандартные (парабола и др.), а также нестандартные нелинейные функции.

В силу инерционности потока жидкости, вероятность возбуждения импульсов подачи, форму которых формируют линейные функции, очень низка.

Импульсы подачи могут быть симметричной формы (закономерность изменения подачи на следующих друг за другом периодах  $T$  совпадает (рис. 6, а)) и несимметричные (закономерность изменения подачи на следующих друг за другом периодах  $T$  не совпадает (рис. 6, б)).

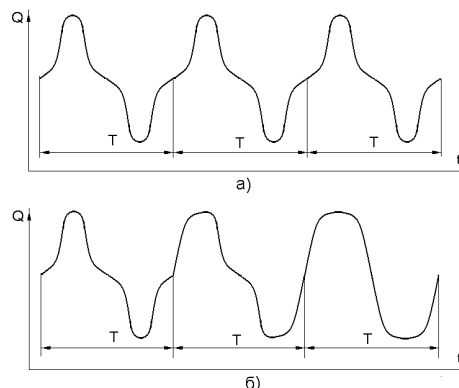


Рис. 6. Симметричность импульсов подачи жидкости при импульсной промывке скважины: симметричные (а); несимметричные (б)

Согласно предложенной классификации следует, что совершенно неправильно промывка скважины погружными пневматическими вытеснителями одинарного действия названа пульсирующей. Также необоснованно эти устройства названы пульсационными насосами, поскольку в их рабочем цикле присутствует пассивная часть, в течение которой происходит заполнение вытеснительной камеры за счет гидростатического давления столба жидкости. При этом циркуляция в пространстве от вытеснительной камеры до забоя отсутствует. Таким образом, нестационарный поток промывочной жидкости, создаваемый погружными пневматическими вытеснителями одинарного действия, носит не пульсирующий, а прерывистый характер. Пульсирующий характер нестационарного потока промывочного действия могут создавать только погружные пневматические вытеснители двойного действия. Они же могут быть названы пульсационными насосами.

**Выводы.** Классификация импульсной промывки скважин позволяет:

- упорядочить названия способов импульсной промывки скважин, создаваемой устройствами разного принципа действия;
- конкретизировать названия и интервалы частотных спектров импульсов подачи при импульсной промывке скважин, в рамках которых наиболее эффективно протекает процесс разрушения горной породы, а также, максимально реализуется важнейшая гидродинамическая функция промывочной жидкост-

ти – очистка забоя, вынос шлама и охлаждение породоразрушающего инструмента;

– внести коррективы в классификацию устройств для создания импульсной промывки скважин, что в свою очередь позволит систематизировать их обзор с целью выявления преимуществ и недостатков, а также путей их усовершенствования.

#### Список литературы

1. Исследование термомеханического разрушения горных пород при разведочном бурении с генерированием тепловой энергии трения; Отчет о НИР/Днепропетровский горный институт /ДГИ/; Руководитель А.А. Кожевников. – № ГР 01850043527; – Днепропетровск, 1986. – 132 с.
2. Кожевников А.А. Импульсные технологии бурения скважин // Тезисы докл. междунар. конф. „Механика горных пород при бурении“. – Грозный, 1992. – С. 43–44.
3. Кожевников А.А. Импульсные технологии бурения геологоразведочных скважин /А.А. Кожевников, С.В. Гошовский, И.И. Мартыненко – К.: УкрГГРИ, 2003. – 208 с.
4. Тунгусов С.А. Выбор рационального режима работы забойного пульсатора // Инженер-нефтяник. – 2008. – №3. – С. 26–27.
5. 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.
6. Филимоненко Н.Т. Методическое пособие по расчету параметров рабочего цикла пульсационного насоса и технологии бурения с его применением – Донецк: Изд-во „Вебер“ (Донецкое отделение), 2009. – 70 с.
7. Егоров Н.Г. Комплекс технических средств для бурения скважин в условиях поглощения и дефицита промывочной жидкости // 3-й междунар. симпозиум по бурению скважин в осложненных условиях. С.–Пб., 1997. – С. 25–29.

8. Фассахов Р.Х. Энергосбережение в гидроимпульсном воздействии на призабойную зону пласта /Р.Х. Фассахов, И.К. Файзуллин, Я.М. Сахапов // Изв. вузов Проблемы энергетики. – 2005. – №9–10. – С. 56–60.

Вперше наведено класифікацію способів імпульсного промивання свердловин стосовно симетричних імпульсів подачі рідини, а також диференціація її частот на основі сумірності часу двох процесів: процесу обертання породоруйнівного інструменту і процесу промивання. Наведено можливі форми імпульсів подачі промивальної рідини. Показано нові можливості застосування запропонованої класифікації щодо впорядкування класифікації приладів для створення імпульсного промивання свердловин і конкретизації частотних спектрів імпульсів подачі, сприятливих для ефективного перебігу процесів робочого циклу спорудження свердловини.

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

For the first time it has been presented the classification of the ways of impulse washing of wells with reference to symmetric pulses of fluid supply, and also differentiation of its frequencies on the baseline of commensurability of time of two processes: the rotation process of the rock destruction tools and the washing process. The possible forms of the pulses of the fluid supply have been given. New possibilities of application of the offered classification to regulate the classification of the devices for the creation of the impulse washing holes and to concretize the frequency content of the impulse feeding which are favorable for an effective processes flowing of the work cycle of the construction of the hole have been presented.

**Keywords:** classification, impulse, frequency, well, washing, fluid

Рекомендовано до публікації д. т. н. В.П. Франчуком 18.04.10

УДК 622.281.76

© Халимендик Ю.М., Бруй А.В., Халимендик В.Ю., 2010

Ю.М. Халимендик, А.В. Бруй, В.Ю. Халимендик

## ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОДДЕРЖАНИЯ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК ДЛЯ ПОВТОРНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Yu.M. Khalimendik, A.V. Brui, V.Yu. Khalimendik

## SUBSTANTIATION OF PARAMETERS OF MINE WORKINGS MAINTENANCE FOR REUSE

Предложен графо-аналитический способ расчета нагрузки на крепь подготовительных выработок. В результате использования предложенного способа, возможно определить необходимый отпор крепи на сопряжении лавы со штреком, на основании которого осуществляется выбор мероприятий по поддержанию выработок для повторного использования. Рассмотренные аналитические исследования апробированы при повторном использовании подготовительных выработок шахт Западного Донбасса. Приведены результаты маркшейдерских замеров в горных выработках.

**Ключевые слова:** подготовительная выработка, лава, крепь, нагрузка, конвергенция