

В.В.ИВАШЕЧКИН, Б.В.САБАДАХ, Д.А.КОЗЛОВ,
Д.А.ПРОКОПЧУК, канд-ты техн. наук (БПИ)

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ НЕКОТОРЫХ РАЗРУШАЮЩИХ ФАКТОРОВ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО СПОСОБА РЕГЕНЕРАЦИИ ФИЛЬТРОВ СКВАЖИН

Газодинамический способ регенерации фильтров скважин, где в качестве энергосистемы применяется водородно-кислородная смесь стехиометрического состава, основан на импульсном выделении энергии при горении или детонации вышеупомянутой смеси в рабочих камерах, сообщающихся с очищаемым фильтром. При реализации этого способа, как правило, используется газовая смесь, получаемая в зоне самого фильтра электролизом воды.

Для разработки оптимальной технологии очистки фильтров необходимо знать основные разрушающие факторы регенерации, их долю в общей выделенной энергии, а также количественные характеристики каждого в отдельности.

Для понимания процесса очистки фильтра важно представить качественную картину подводного взрыва в открытой снизу цилиндрической камере [1]. При детонации в рабочей камере образуется детонационная волна, которая, двигаясь со скоростью порядка 2800 м/с, падает на границу газ—вода, частично преломляется в воду и распространяется там в виде преломленной ударной волны, а в продуктах реакции — в виде отраженной волны. Преломленная ударная волна имеет длительность, не превышающую нескольких десятков микросекунд.

Преломленная волна наносит по кольматанту кратковременный удар. Удар нарушает сплошность в материале кольматанта, находящегося на фильтре и в призабойной зоне скважины. После излучения ударной волны давление продуктов детонации (перегретых водяных паров) примерно в 20 раз превышает первоначальное, которое в открытых камерах равно гидростатическому. Водяные пары, расширяясь подобно мощному поршню, выталкивают жидкость из камеры. Образующийся поток обладает значительной кинетической энергией, которая, будучи переданной фильтру, очищает последний от кольматанта. Пузырь при расширении переходит в равновесное состояние и начинает схлопываться под действием гидростатического давления. Появляется обратное движение жидкости, в результате чего разрушенный кольматант удаляется из пор и трещин пласта. За время своего существования пузырь претерпевает несколько пульсаций, вызывающих в жидкости знакопеременный гидродинамический поток, волны сжатия и разрежения. Гидродинамические процессы, происходящие в фильтре скважины при горении смеси в рабочей камере, сходны с описанными и отличаются только отсутствием ударной волны.

Таким образом, основными разрушающими факторами при очистке фильтров взрывом газовой смеси являются ударная волна (в случае детонации); гидростатический знакопеременный напор; волны сжатия и разрежения.

Преобразование энергии, выделяющейся при детонации кислородно-водородной смеси, в другие виды энергии можно оценить, пользуясь данными работ [2] и [3].

Энергия, выделяющаяся при детонации газовой смеси, расходуется прежде всего на работу, совершаемую газовым пузырем при расширении, и нагрев продуктов реакции. При расширении газового пузыря энергия расходуется на работу излучаемой преломленной ударной волны (до 0,3 %) и на энергию пульсаций газового пузыря, равную потенциальной энергии продуктов взрыва при их максимальном расширении. Последняя постепенно расходуется на излучение волн сжатия, разрежения и другие потери.

Для нахождения доли начальной внутренней энергии, перешедшей в энергию пульсаций газового пузыря, определим вначале предельно возможную степень его расширения относительно начального объема V_0 при условии адиабатических пульсаций, пренебрегая энергией, уносимой преломленной волной [3]:

$$\frac{V_m}{V_0} - 1 = \frac{p_B}{p_0(k-1)} \left[1 - \left(\frac{V_m}{V_0} \right)^{1-k} \right],$$

где V_m — максимальный конечный объем; p_B — давление взрыва; p_0 — гидростатическое давление; k — показатель адиабаты продуктов взрыва.

Для смеси $2H_2 + O_2$ принимаем $k = 1,21$; p_B в 2 раза меньше давления в точке Жуге, $p_B = p_{ж}/2$, $p_B/p_0 = 9$. При подстановке указанных исходных данных в формулу получаем для указанной смеси предельно возможную степень расширения пузыря $V_m/V_0 = 21$.

Исходя из полученных данных, определяем долю начальной внутренней энергии продуктов, перешедших в энергию пульсаций пузыря:

$$\frac{E_n}{E} = \frac{p_0(V_m - V_0)}{p_B V_0 / (k-1)} \leq 0,47,$$

где E_n — энергия пульсаций газового пузыря; E — начальная внутренняя энергия продуктов.

Получаемое значение является верхней границей, которая может быть достигнута при взрывах достаточно больших объемов (не менее нескольких литров газовой смеси), где потери тепла при расширении невелики. Таким образом, в энергию пульсаций газового пузыря может переходить порядка 47 % начальной энергии. Это количество постепенно расходуется на излучение волн сжатия и разрежения и на другие потери.

Для изучения волн сжатия и разрежения, излучаемых при пульсациях газового пузыря в процессе горения водородно-кислородной смеси, были проведены лабораторные исследования.

Схема опытной установки представлена на рис. 1. Установка состоит из цилиндрического бака 4 (высота 1 м, диаметр 0,8 м), в центральной части которого жестко закреплена фильтровая труба 6 диаметром 0,2 м с дополнительной водоприемной поверхностью из сетчатого полотна галунного плетения. На внутренней поверхности бака уложен слой поролонa 12 для гаше-

на свечу поджига подавался электрический импульс, который поджигал газовую смесь в разгонной трубке. Так как диаметр разгонной трубки, применяемой в экспериментах, был меньше критического и ее длина меньше длины, необходимой для разгона горения до детонационных скоростей, в камере инициировалось взрывное горение. Возникающая при сгорании газовой смеси волна сжатия в воде первоначально воздействовала на запускающий датчик, закрепленный на взрывной камере. Сигнал с этого датчика подавался на вход синхронизации записывающего осциллографа С8-13, находящегося в ждущем режиме запуска развертки. Затем волна сжатия достигала регистрирующего датчика, установленного в стенке фильтровой трубы.

Получаемое на экране изображение переносилось на кальку и расшифровывалось. Регистрирующий датчик имел чувствительный элемент из пьезокерамики ЦТС-19 (цирконата-титана свинца) в форме цилиндра (диаметр 3 мм, высота 19 мм) с наименьшей собственной частотой до 0,3 МГц. Датчик предварительно тарировался методом "скачка давления". При этом измерялось напряжение выходного сигнала [4, 5]. (Погрешность этого метода тарировки, согласно исследованиям автора [6], не превышает 10 %). Скачок давления возникал при хрупком разрушении тонкой титановой мембраны. В результате была зафиксирована линейная зависимость величины сигнала от нагрузки (от 0 до 2 МПа); чувствительность пьезоэлемента составила 5 мВ на 1 кПа.

На рис. 1 показан характерный сигнал давления, фиксируемый пьезоприемником давления на стенке фильтровой трубы. На полученной экспериментальной кривой видны импульсы, вызванные отражениями от стенок перфорированного каркаса и свободной поверхности воды.

В результате проведенных экспериментов выявилась в основном зависимость амплитудно-временных параметров волн давления от энергии, запасаемой в камере постоянного объема. На рис. 2 представлен сигнал давления для взрывного горения газовой смеси. Амплитудные и временные параметры

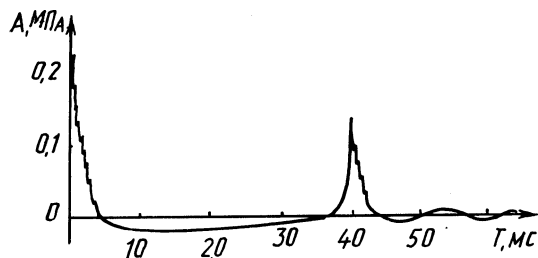


Рис. 2. Типичный сигнал давления, зарегистрированный пьезоэлектрическим датчиком ($E = 4,3 \text{ кДж}$).

определялись непосредственно по сигналу $p(t)$ (амплитуда первого p_1 и второго p_2 пика давления, их длительности T_1 и T_{11} ; амплитуда фазы разрежения $A_{p'}$, длительность $T_{p'}$; период первой пульсации продуктов взрывного горения T_p). Кроме того, вычислялся удельный импульс по фазам сжатия сигнала

$$\text{давления: } I = \int_0^{\tau} p(t) dt.$$

Некоторые экспериментальные результаты представлены на рис. 3. Анализ данных замера амплитудно-временных параметров волн сжатия и разрежения, излучаемых при горении кислородно-водородной газовой смеси в цилиндрической камере объемом 2,1 дм³, показал, что с увеличением энергии импульса, которая определяется количеством запасаемой в рабочей камере газовой смеси, амплитуда I пика давления монотонно возрастает и достигает максимального значения — 0,52 МПа. Период пульсации парогазового пузыря T_p и удельный импульс I , подсчитанный планиметрированием I и II пиков давления, также возрастают при увеличении энергии воздействия.

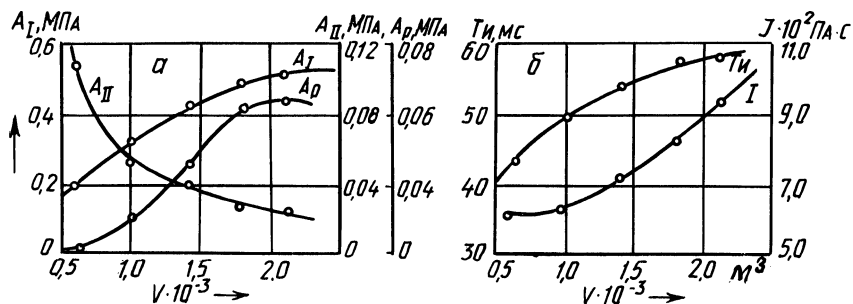


Рис. 3. Зависимость амплитуды первого и второго пиков давления, амплитуды фазы разрежения (а), периода пульсации и удельного импульса (б) от количества газовой смеси.

В то же время амплитуда II пика давления вначале резко, а затем плавно снижается. Это связано с наличием в рабочей камере так называемой "водяной пробки", которая с увеличением количества газовой смеси в камере уменьшается, а также с выбросом части продуктов из рабочей камеры, их дроблением и конденсацией за ее пределами. Расширяющийся паровой пузырь подобно поршню вытесняет воду из полости между рабочей камерой и отражателем, достигая отражателя и стенок фильтра. В результате может произойти дробление парогазового пузыря на отражателе, частичное проникновение его через перфорацию в пласт, а также утечка через кольцевой зазор между камерой и фильтром. При этом возбуждаемый в полости фильтра импульс не концентрируется на регенерируемом участке. Кроме того, в паровом пузыре могут присутствовать атомы кислорода и водорода, которые, попав в пласт в виде пузырьков, остаются там, становясь концентраторами химической коррозии и препятствуя притоку жидкости из пласта.

Вышесказанное позволяет сделать вывод о том, что в рабочей камере целесообразно накапливать такое количество смеси, при котором суммарный объем взрывной камеры и полости, лежащей между ней и отражателем, был не менее объема продуктов реакции в момент их максимального расширения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балашканд М.И., Ловля С.А. Источники возбуждения упругих волн при сейсморазведке на акваториях. М., 1977. — 128 с.
2. Наугольных К.А., Н.А.Рой. Электрические разряды в воде. — М., 1971, с. 154.
3. Попов О.Е., Когарко С.М.

Об одной особенности подводного газового взрыва. — В кн.: Физика горения и взрыв. Новосибирск, 1976, № 4, т. 12, с. 610—614. 4. Б о б б е р Р. Гидроакустические измерения. — М., 1974. — 359 с. 5. Л о г и н о в В.Н. Электрические измерения механических величин. Изд. 2-е, доп. — М., 1976. — 104 с. 6. Б о н д а р е н к о С.И. Пьезоэлектрический датчик для измерения параметров ударных волн в диапазоне давлений ниже 500 МПа. — Тез. докл. 11-го Всесоюзн. симпозиума по импульсным давлениям. — М., 1976, с. 6—7.

УДК 628.543.192

Т.М.ХМЕЛЬНИЦКАЯ, П.П.СТРОКАЧ, канд. техн.
наук (БИСИ), Р.В.ДРОНДИНА, А.М.РОМАНОВ,
канд-ты хим. наук (ИФ АН МССР)

ОЧИСТКА ПОДЗЕМНЫХ ВОД ОТ СЕЛЕНА

Селен относится к числу элементов, строго нормируемых ГОСТ 2874—82 "Вода питьевая" (не более 1 мг/л). Имеющиеся данные по геохимии селена в подземных водах [1—4] указывают на то, что решающий фактор, определяющий его распределение в воде и почве, — это значения окислительно-восстановительного потенциала (Eh). Так как он является неустойчивой величиной, для подземных вод характерно наличие селена в химических соединениях с различной степенью окисления (Se^{2-} , SeO_3^{2-} , SeO_4^{2-}) в зависимости от Eh.

На организм человека очень незначительные концентрации селена действуют целебно. Увеличение же его дозы неблагоприятно влияет на живой мир [1, 5, 6].

До настоящего времени природные подземные воды с повышенным содержанием селена не являлись предметом исследований. В литературе отсутствуют сведения о технологии очистки селеносодержащих вод. Существующая технология требует применения дорогих селективных ионообменных материалов или достижения чрезвычайно низких значений pH, что приводит к необходимости использования громоздкого реагентного хозяйства и коррозионно-устойчивого оборудования [7—8]. Применение существующей технологии особенно затруднительно для обеспечения питьевой водой небольших автономных объектов.

Нами исследована возможность применения электрокоагуляции (ЭК) с последующим отделением коагулянта электрофлотацией (ЭФ) для очистки подземных вод от селена [9].

Опыты проводились на опытной установке (рис. 1) с использованием подземной воды, содержащей 500 мг/л Cl^- -ионов, до 100 мг/л SO_4^{2-} -ионов, 150 мг/л HCO_3^- -ионов, 20 мкг/л общего селена. Через электролизер пропускали 20 л/ч изучаемой воды, расход ее контролировался ротаметром. Опыты проводились при различных значениях плотности тока, pH обрабатываемой жидкости и исходных концентраций Se^{2-} , SeO_3^{2-} , SeO_4^{2-} . Степень очистки оценивали по изменению концентрации селена в исходной и обработанной воде, одновременно контролировалось изменение pH. Концентрацию селена в воде определяли методом атомно-абсорбционной спектрометрии (порог чувствительности — 0,1—0,2 мкг/л).