

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 621.039.75

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ИЗЛИВА ТОКСИЧНЫХ ЖИДКОСТЕЙ НА ПОВЕРХНОСТЬ ИЗ НАГНЕТАТЕЛЬНЫХ СКВАЖИН ПРИ РАЗГЕРМЕТИЗАЦИИ

Приходько Н.К., Латышев В.Е. (ОАО «ВНИПИпромтехнологии», г. Москва)

В настоящее время широко используется подземное захоронение в глубоко залегающие горизонты биологически опасных жидких стоков (промстоков), например, радиоактивных или содержащих высокотоксичные химические вещества [1, 2]. Обычно токсичные промстоки закачивают под избыточным давлением через нагнетательные скважины, оборудованные устьевой арматурой на соответствующее рабочее давление. При эксплуатации нагнетательной скважины есть вероятность аварийной разгерметизации ее устьевой арматуры. При разгерметизации будет происходить излив токсичной жидкости на поверхность, что приведет к загрязнению почвы и грунтовых вод. Чтобы исключить или минимизировать ущерб окружающей среде, необходимо принимать срочные технологические действия. Спуск пакера в скважину для перекрытия потока или другие технические действия при избыточном давлении исключаются, поскольку это приведет не только к загрязнению устьевой площадки, но и персонала ремонтной бригады. В настоящем сообщении излагается простой и безопасный способ предотвращения загрязнения окружающей среды при аварийной разгерметизации нагнетательной скважины.

Разгерметизация нагнетательной скважины может быть полной или частичной. При полной разгерметизации устье скважины полностью разрушается, излив жидкости идет по всему сечению ствола. Полное разрушение устья скважины возможно в случае аварийного падения на скважину летательного аппарата: самолета или вертолета. Однако вероятность наступления такого события чрезвычайно мала, и этот вариант здесь не рассматривается.

При частичной разгерметизации, например, повреждаются уплотнительные элементы во фланцевых соединениях центральной задвижки устьевой арматуры или образуется свищ в теле металла вследствие коррозии. В этом случае расход излива жидкости ограничен и будет определяться степенью повреждения устьевого оборудования. При частичной разгерметизации часть токсичных отходов начнет изливаться

под избыточным давлением на поверхность. Излив будет продолжаться даже при полной остановке закачки промстоков до тех пор, пока не восстановится пластовое давление. Продолжительность излива может составлять от нескольких часов до нескольких суток в зависимости от суммарного объема закачанных промстоков и текущего избыточного давления в рабочем горизонте. Выполнение ремонтных работ будет невозможно почти до полного прекращения излива.

При частичной разгерметизации нагнетательной скважины можно избежать загрязнения поверхности токсичными промстоками посредством закачки в скважину нейтральной жидкости, например, пресной воды. Для этого должна быть предусмотрена возможность переключения приема насоса на закачку нейтральной жидкости (пресной воды или рассола). Время кратковременной закачки, необходимое для заполнения ствола скважины до забоя с расходом Q , $t_3 = V/Q$. Однако следует учитывать, что за время заполнения эксплуатационной колонны расчетным объемом нейтральной жидкости на нужную глубину часть ее будет продолжать изливаться из скважины с расходом q_n . Тогда время закачки с учетом излива может быть рассчитано по формуле $t = t_3 + t_3 q_n / Q$. За время дополнительной закачки еще часть нейтральной жидкости выльется из скважины и т.д. Полное время закачки с учетом постоянного излива может быть определено по формуле, имеющей вид бесконечного сходящегося ряда, каждый последующий член которого будет меньше предыдущего:

$$T = t_3 + \frac{t_3 q_n}{Q} + \frac{t_3 q_n^2}{Q^2} + \frac{t_3 q_n^3}{Q^3} + \dots + \frac{t_3 q_n^n}{Q^n}$$

или

$$T = t_3 \left(1 + \frac{q_n}{Q} + \frac{q_n^2}{Q^2} + \frac{q_n^3}{Q^3} + \dots + \frac{q_n^n}{Q^n} \right).$$

Поскольку ряд является сходящимся, можно определить его сумму по формуле

$$S = \lim_{n \rightarrow \infty} S_n = \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{t_3 - t_3 (q/Q)^{n+1}}{1 - (q/Q)} =$$

$$= \frac{t_3}{1 - (q/Q)} - t_3 \lim_{n \rightarrow \infty} \frac{(q/Q)^{n+1}}{1 - (q/Q)} = \frac{t_3}{1 - (q/Q)},$$

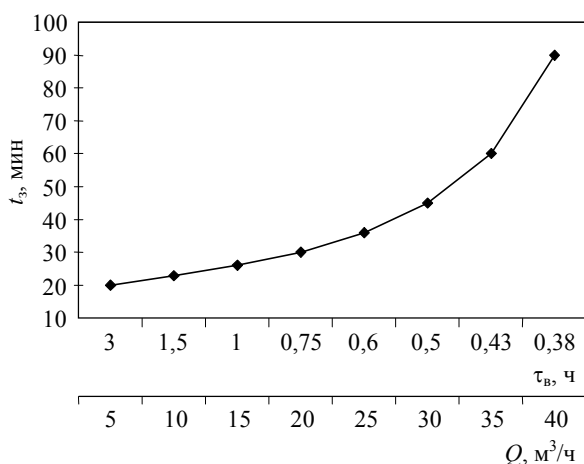
поскольку $\lim_{n \rightarrow \infty} (q/Q)^{n+1} = 0$ при $|q/Q| < 1$.

Расчеты, приведенные в таблице, выполнены при расходе закачки нейтральной жидкости $50 \text{ м}^3/\text{сут}$, объеме ствола скважины глубиной 1900 м 15 м^3 .

Расчетное время закачки нейтральной жидкости при разном расходе излива токсичных протоктоков из скважины

Излив		Время закачки жидкости с учетом излива, мин
Расход, $\text{м}^3/\text{ч}$	Время, мин	
5	180	20
10	90	23
15	60	26
20	45	30
25	36	36
30	30	45
35	25,8	60
40	22,8	90

Предположим, что расход излива не превышает $20 \text{ м}^3/\text{ч}$. По таблице находим, что нейтральная жидкость расходом $50 \text{ м}^3/\text{ч}$ должна закачиваться в течение не менее 30 мин, затем возобновляться через 45 мин. Целесообразно периодически оценивать расход излива, который может изменяться с течением времени, и корректировать продолжительность кратковременных закачек. Еще более удобно пользоваться номограммой, построенной по данным таблицы (см. рисунок).



Оценка времени закачки нейтральной жидкости и времени ожидания при разном расходе излива

Кратковременные закачки нейтральной жидкости (пресной воды) должны продолжаться до снижения давления на устье нагнетательной скважины до $1,5\text{—}2 \text{ МПа}$. После этого в скважину закачивается порция рассола в объеме ствола скважины, что позволит снизить давление на устье до нуля, после чего можно будет приступить к ремонтным работам.

Излившаяся нейтральная жидкость будет аккумулирована в обваловке скважины и после ремонта вновь закачана в нагнетательную скважину. Причем даже если объем излившейся нейтральной жидкости будет превышать объем обваловки и часть жидкости выльется за ее пределы, это не повлечет загрязнения окружающей среды.

Объем обваловки вокруг нагнетательной скважины должен рассчитываться на случай полной разгерметизации скважины. Расчет количества излившейся жидкости при полной разгерметизации скважины может быть рассчитан по формуле с обращением к специальным табулированным таблицам функций Бесселя [3]

$$Q = 2\pi \frac{\varepsilon_{\text{ср}} R_n^2}{\kappa} \sum_{m=1}^n \bar{Q}(\tau_n - \tau_m) \delta P_m - q_0 t,$$

где $\varepsilon_{\text{ср}}$ — средний коэффициент гидропроводности рабочего горизонта, $\text{м}^3/(\text{МПа} \cdot \text{с})$; R_n — приведенный радиус скважины, определяемый по результатам гидродинамических исследований, м; $\bar{Q}(\tau) =$

$$= \frac{4}{\pi^2} \int_0^\infty \frac{1 - \exp(-u^2 \tau)}{u^3 [I_0^2(u) + Y_0^2(u)]} du \text{ — безразмерная табули-$$

рованная функция; $\tau = \kappa t / R_n^2$ — безразмерное время; I_0, Y_0 — функции Бесселя нулевого порядка первого и второго рода; κ — коэффициент пьезопроводности, $\text{м}^2/\text{с}$; τ_n, τ_m — безразмерное время на начало и конец выделенного интервала давления на кривой восстановления давления; δP_m — перепад давления в каждом шаге (интервале), на которые разбивается кривая восстановления пластового давления, МПа; q_0 — усредненный дебит, с которым работала нагнетательная скважина с начала эксплуатации до остановки (до разгерметизации), $\text{м}^3/\text{с}$.

Первоначально кривую восстановления пластового давления разбивают на отдельные элементарные интервалы, для которых определяют соответствующее безразмерное время на начало и конец выделенного интервала и по табулированным таблицам находят $\bar{Q}(\tau)$. Затем по формуле рассчитывают ΔQ и суммируют полученные значения.

Расчеты выполняются шагами на ЭВМ с использованием кривой восстановления пластового давления, полученной при гидродинамических исследованиях в нагнетательной скважине. Так, расчеты, выполненные по объекту «Кама-1», где закачивают

промстоки расходом 700 м³/сут в течение 27 лет, показали, что объем обваловки должен быть не менее 680 м³.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рыбальченко А.И. Глубинное захоронение жидких радиоактивных отходов М.: ИздАт, 1994.

2. Приходько Н.К., Васильев А.П. Подземное захоронение промстоков через укрупненные скважины, сооруженные с использованием подземных ядерных взрывов. М.: ИздАт, 2007.
3. Пермяков И.Г., Саттаров М.М., Генкин И.Б. Методика анализа разработки нефтяных месторождений. М.: Гостоптехиздат, 1962.

Поступило в Редакцию 12.03.12

УДК 621.039.516.2:621.039.515

ШУМОВАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПЕРЕХОДНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАПАЗДЫВАЮЩИХ НЕЙТРОНОВ

Юферов А.Г. (ГНЦ РФ — ФЭИ им. А.И. Лейпунского, г. Обнинск)

Адекватная настройка реактиметров является важным условием безопасной эксплуатации ЯЭУ. Обычная практика адаптации предусматривает численную оценку изменения изотопного состава ядерного реактора для определения параметров кинетики, входящих в уравнение реактиметра. Но это требует, в свою очередь, обоснования адекватности применяемой расчетной модели. Поэтому представляют интерес экспериментальные методы, позволяющие идентифицировать параметры реактиметра в эксплуатационных режимах реактора [1, 2]. В настоящем сообщении рассмотрена возможность адаптации реактиметра в стационарных условиях работы реактора путем анализа шумов мощности без применения специальных возмущающих сигналов.

Шумовая идентификация давно используется для оценки отдельных параметров, входящих в дифференциальные уравнения точечной кинетики [3, 4]. Применительно к настройке реактиметра удобнее использовать интегральное уравнение кинетики для скорости изменения мощности

$$\dot{v}(t) = - \int_0^t v(t-\tau)h(\tau)d\tau + r(t)n(t) + Q(t), \quad (1)$$

поскольку здесь идентифицируется только переходная характеристика запаздывающих нейтронов (аппаратурная функция реактиметра) $h(\tau)$.

В уравнении (1) $n(t)$ — мощность реактора; $r = \rho/\Lambda = 1/\Lambda - 1/\ell$ — реактивность в Λ -шкале; Λ — время генерации; ℓ — время жизни мгновенных нейтронов; Q — интенсивность источника. Это уравнение непосредственно следует из классических уравнений кинетики реактора, однако имеет более простую структуру. Это обусловлено введением Λ -шкалы реактивности и интеграла запаздывающих нейтронов $I_{\text{з.н}}(t) = \int_0^t v(t-\tau)h(\tau)d\tau$. В уравнении исключены из явного рассмотрения время генерации и

время жизни мгновенных нейтронов, а также параметры запаздывающих нейтронов, фигурирующие в теоретическом выражении для переходной характеристики:

$$h(\tau) = (\beta_{\text{эф}}/\Lambda) H(\tau) = (\beta_{\text{эф}}/\Lambda) \sum a_j \exp(-\lambda_j \tau). \quad (2)$$

Выражение для реактивности $r(t)$ (уравнение реактиметра) следует из уравнения (1) очевидным образом.

Дискретизация уравнения (1) для стационарного состояния реактора приводит к авторегрессионному уравнению для отсчета мощности

$$n_{k+1} = - \sum_{l=0}^m n_{k-l} c_l + \xi_k, \quad (3)$$

коэффициенты которого c_l и необходимо идентифицировать. При известных коэффициентах c_l уравнение (1) может непосредственно использоваться для численного моделирования кинетики или как уравнение реактиметра

$$r_k = \left(n_{k+1} + \sum_{l=0}^m n_{k-l} c_l \right) / n_k.$$

Согласно уравнению (1) коэффициенты c_l являются отсчетами производной переходной характеристики (2) и связаны с параметрами запаздывающих нейтронов:

$$c_l = \sum_{j=1}^J A_j q_j^l, \quad (4)$$

где $A_j = T(\beta_{\text{эф}}/\Lambda)(q_j - 1)a_j$; $q_j = \exp(-\lambda_j T)$; a_j — доля j -й группы запаздывающих нейтронов; λ_j — постоянная распада; J — число групп; T — шаг дискретизации. Соотношение (4) позволяет проверить адекватность априорных значений параметров запаздывающих нейтронов, закладываемых в конструкцию реактиметра.