

УДК 629.764.07/.08

Канд. техн. наук Г. Л. Поздеев,
Е. М. Березина

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЖИДКОСТНОГО МЕТОДА НЕЙТРАЛИЗАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ

Приведена формула оценки завершенности процесса нейтрализации, позволяющая определить эффективность метода для конкретных элементов оборудования, загрязненных в конкретных условиях эксплуатации.

Наведено формулу оцінювання завершеності процесу нейтралізації, яка дозволяє визначити ефективність методу для конкретних елементів обладнання, забруднених у конкретних умовах експлуатації.

The formula is presented to evaluate neutralization process completeness that allows determining the effectiveness of method for specific equipment elements contaminated in specific operating conditions.

Компоненты высококипящих ракетных топлив (КРТ) тетроксид диазота (окислитель) и несимметричный диметилгидразин – НДМГ (горючее) являются сильнодействующими ядовитыми веществами, отнесенными к первой (самой высокой) группе опасности (для горючего) и второй (для окислителя). Элементы оборудования систем и агрегатов КРК, контактирующие в процессе эксплуатации с КРТ (это в основном топливные баки ракет и космических аппаратов, системы и агрегаты заправки, системы сбора и нейтрализации паров и промстоков, различные системы и средства нейтрализации оборудования), загрязняются КРТ. В случае снятия их с эксплуатации для временного хранения, ремонта или утилизации необходимо подвергнуть оборудование процессу нейтрализации для снижения степени его загрязнения вредными веществами до предельно допустимых концентраций.

Предельно допустимые концентрации (ПДК) устанавливаются нормативными документами [1] и соответствуют такой степени загрязнения, при которой с загрязненными элементами можно работать в закрытом помещении без средств защиты в течение рабочего дня.

Для оценки степени очистки элемента оборудования в ходе его нейтрализации можно использовать в качестве критерия завершения процесса показатель качества

нейтрализации Q . Показатель качества нейтрализации Q рассматривается как отношение предельно допустимой (минимальной) концентрации загрязняющего вещества q_{\min} к достигнутой концентрации q :

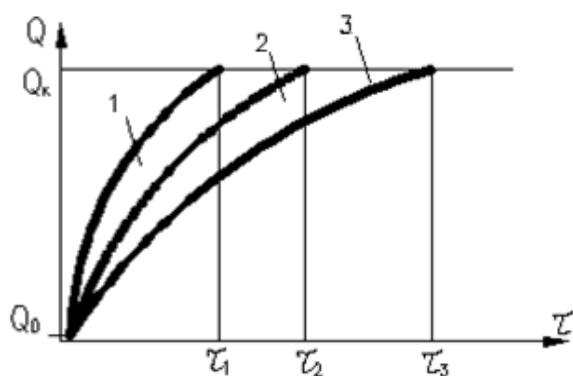
$$Q = q_{\min} / q. \quad (1)$$

Можно утверждать, что априори всегда известны два значения показателя качества:

– $Q_0 \approx 0$ – начальное значение, при котором $q_0 \gg q_{\min}$, где q_0 – начальное загрязнение элемента, подлежащего нейтрализации (может быть на уровне наличия жидкой фазы загрязнителя);

– $Q_k = 1$ – конечное значение, при котором (по определению) достигается в результате нейтрализации предельно допустимая концентрация загрязнителя, т.е. $q_k = q_{\min}$.

Изменение показателя качества в процессе нейтрализации показано на рисунке (график $Q = f(\tau)$).



Характер каждой функции $Q = f(\tau)$ определяется многими факторами, которые, как правило, не известны априори и могут быть установлены только опытным путем для конкретных условий эксплуатации конкретного элемента оборудования: типом загрязнителя (окислитель, горючее), продолжительностью контакта нейтрализуемой поверхности с загрязнителем, конструктивными особенностями нейтрализуемого элемента и др.

Известно, что окислитель и горючее обладают различной проникающей способностью в микроструктуру металла (проникающая способность горючего НДМГ выше). Кроме того, чем дольше находится поверхность в контакте с компонентом топлива, тем глубже КРТ проникает в микроструктуру металла и тем труднее извлечь его оттуда. Наличие в элементе тупиковых зон (например, наличие в клапане сальфонного уплотнения) существенно затрудняет нейтрализацию этого элемента.

Если принять, что кривые 1, 2, 3 (рисунок) касаются одного и того же элемента, загрязненного в одних и тех же условиях, то их отличие определяется особенностями применяемого метода и параметрами нейтрализации.

Для нейтрализации оборудования могут быть использованы физические и химические методы. К физическим относятся такие методы, которые позволяют обезвредить загрязненную поверхность путем воздействия на нее физических факторов (промывка водой, продувка газом, вакуумирование, испарение жидкой фазы загрязнителя и др.). К химическим относятся методы, предусматривающие воздействие на загрязненную поверхность химических

веществ, вступающих с загрязняющим веществом (КРТ) в химические реакции с образованием нейтральных веществ. Для нейтрализации элементов оборудования, которые могут быть повторно использованы для заправки летательных аппаратов, применение химических методов недопустимо, так как на поверхности нейтрализованного элемента могут оставаться продукты нейтрализации, влияющие на качество КРТ. Поэтому химические методы используются только для нейтрализации элементов оборудования, подлежащих утилизации.

К физическим методам нейтрализации относятся жидкостный, термовакуумный, пароконденсационный, парогазовый, газовый методы и их комбинации. Все эти методы в той или иной степени апробированы на заправочно-нейтрализационных станциях КРК и специальных объектах при нейтрализации ракет, снятых с эксплуатации.

Для каждого метода нейтрализации определена преимущественная область его применения.

Пароконденсационный метод широко используется для нейтрализации баков ракет, термовакуумный — для нейтрализации баков космических аппаратов, выдерживающих глубокий вакуум. Жидкостный и газовый методы используются в основном для нейтрализации съемных элементов оборудования наземного комплекса, контактирующих с КРТ. Для каждого метода используется специфическое технологическое оборудование.

Если кривые 1, 2, 3 (рисунок) получены для трех различных методов нейтрализации, то продолжительность нейтрализации τ ($\tau_1 > \tau_2 > \tau_3$) не является исчерпывающим критерием качества нейтрализации, поскольку для каждого метода характерны дополнительные критерии, которые и определяют качество нейтрализации (например, стоимость оборудования, состав и габаритно-массовые характеристики технологического оборудования, количество образующихся промстоков, энергопотребление, запасы сжатых газов и др.). Наиболее распространенным методом

нейтрализации является жидкостный метод, осуществляемый путем полной заливки водой полости нейтрализуемого элемента либо путем непрерывной проливки полости водой [2]. После того, как внутренняя полость элемента полностью освобождена от загрязняющей жидкости, в поверхностях микроструктуры металла остается определенное количество жидкой фазы загрязнителя, а непосредственно на поверхности – жидкая микроскопическая пленка загрязнителя. При жидкостном методе нейтрализации удаление загрязняющей жидкости из микротрещин происходит в основном за счет молекулярной диффузии. Масса загрязняющего вещества, которое можно отвести от нейтрализуемой поверхности за счет молекулярной диффузии, определяется из выражения [3]

$$G = -DF \frac{dc}{dx} \tau, \quad (2)$$

где G – масса отводимого загрязняющего вещества;

D – коэффициент молекулярной диффузии;

F – площадь нейтрализуемой поверхности;

$\frac{dc}{dx}$ – концентрационный напор;

τ – время нейтрализации.

Основной движущей силой процесса молекулярной диффузии является концентрационный напор $\frac{dc}{dx}$. Поскольку поверх-

ностная жидкая пленка загрязнителя обладает большим концентрационным сопротивлением, то ее наличие существенно замедляет процесс нейтрализации. Поэтому эффективный процесс нейтрализации должен быть организован таким образом, чтобы жидкая микроскопическая пленка загрязнителя на поверхности нейтрализуемого элемента разрушилась и процесс молекулярной диффузии загрязняющей жидкости происходил непосредственно в потоке нейтрализующего вещества, в котором концентрация загрязняющего вещества минимальна. При этом concentraци-

онный напор будет максимальным. В работе [4] показано, что такой поток жидкости должен быть турбулентным с критерием $Re > 8000$. Реализация способа полной заливки значительно удлиняет процесс

нейтрализации ($\frac{dc}{dx}$ – минимальная величина), но позволяет сократить количество образующихся промстоков, а реализация способа проливки позволяет сократить (при определенных параметрах проливки) время нейтрализации, но увеличивает количество образующихся промстоков, которые, в свою очередь, необходимо утилизировать.

В настоящее время для утилизации промстоков в ракетной технике используется ряд агрегатов на основе циклонных печей, в которых проводится сжигание промстоков в атмосфере кислорода воздуха и керосина (агрегаты 11Г426, 11Г427, «Андерсен» и др.) [5]. Производительность указанных агрегатов сравнительно невелика (200...500 кг/ч), при этом в продуктах сгорания могут присутствовать экологически вредные вещества (диметиламин, формальдегид, окислы азота, пары синильной кислоты и др.). Как вариант, можно не утилизировать промстоки непосредственно при нейтрализации, а накапливать их в специальных резервуарах большого объема с последующей утилизацией химическими методами. Однако в этом случае потребуются дополнительное оборудование и большое количество химических реагентов.

Учитывая изложенные обстоятельства, при выборе способа (полной заливки, проливки) и параметров жидкостного метода нейтрализации следует стремиться к уменьшению количества промстоков.

Количество образующихся промстоков является показателем совершенства (или эффективности) жидкостного метода нейтрализации, т.е. чем меньше промстоков образуется при нейтрализации данного элемента оборудования до ПДК, тем более эффективным является жидкостный метод нейтрализации для данного элемента. Время нейтрализации является эксплуата-

ционным показателем эффективности метода нейтрализации, т.е. чем быстрее завершается нейтрализация одного элемента, тем большее количество элементов оборудования может быть нейтрализовано в течение рабочего дня.

На основании изложенного может быть представлена формула оценки эффективности жидкостного метода нейтрализации

$$E = \frac{Q}{W\tau}, \quad (3)$$

где E – эффективность метода;
 Q – достигнутое качество нейтрализации;
 W – объем образующихся промстоков;
 τ – время нейтрализации.

Поскольку значению ПДК соответствует $Q = 1$, для полной нейтрализации элемента формула (3) преобразуется к такому виду:

$$E = \frac{1}{W\tau}. \quad (4)$$

Рассчитать эффективность E из выражения (4) заранее (на стадии проектных проработок) практически невозможно, поскольку показатели W и τ являются неизвестными функциями случайных эксплуатационных факторов, которые проявляются только в процессе эксплуатации элемента. Например, тот или иной элемент системы заправки КРТ (клапан, металлорук и пр.) может находиться под воздействием жидкой фазы КРТ либо паров КРТ, может выйти из строя через час и потребовать нейтрализации либо эксплуатироваться годами.

В то же время формула (4) может быть использована при экспериментальной оценке эффективности нейтрализации элемента оборудования, загрязненного в одних и тех же условиях, при проведении нейтрализации различными способами жидкостного метода и при различных параметрах, т.е. для экспериментального установления наиболее эффективного способа и наиболее эффективных параметров.

Из выражения (4) следует выражение для оценки завершенности процесса нейтрализации элемента оборудования жидкостным методом

$$\Delta E = \frac{\Delta Q}{\Delta W \Delta \tau}, \quad (5)$$

где ΔE – изменение эффективности процесса нейтрализации;
 ΔQ – изменение качества нейтрализации;
 ΔW – изменение количества промстоков;
 $\Delta \tau$ – промежуток времени между двумя контрольными измерениями концентрации загрязняющего вещества.

В случае, когда $\Delta \tau = \text{const}$, $\Delta W = \text{const}$, выражение (5) может быть преобразовано к такому виду:

$$\frac{\Delta E_{\tau}}{\Delta E(\tau + \Delta \tau)} = \frac{\Delta Q_{\tau}}{\Delta Q(\tau + \Delta \tau)}. \quad (6)$$

Отсюда следует, что изменение эффективности нейтрализации между двумя измерениями равно изменению качества нейтрализации, рассчитанному по формуле (1). Полученные результаты могут быть положены в основу оценки результатов нейтрализации загрязненного элемента и принятия решения о целесообразности продолжения таких испытаний.

Выводы

1. Изложенные зависимости могут быть использованы для объективной оценки результатов опытных испытаний по способу жидкостной нейтрализации и выбора параметров нейтрализации. Следует иметь в виду, что полученные результаты будут справедливы только для конкретного испытуемого элемента, загрязненного в конкретных условиях эксплуатации.

2. Представляет большой практический интерес систематизация результатов нейтрализации различных стандартных элементов оборудования, контактирующих с КРТ (кла-

паны различных конструкций, гибкие трубопроводы, фильтры, насосы, переходники, заглушки и прочее), либо организация специальных испытаний с последующим табулированием результатов нейтрализации в виде критерия эффективности.

Список использованной литературы

1. ГОСТ 12.1.014-84. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны. – 7 с.

2. Оценка методов и технологий нейтрализации съемных элементов НТО КРК при обеспечении их полной нейтрализации на СЗ ТК КА и ГБ: Техн. отчет. Циклон-4.21.17493.101 ОТ. – С. 9-11.

3. Касаткин А. Г. Основные процессы и аппараты химических технологий. – М.: Госхимиздат, 1960. – 829 с.

4. Тимеркеев Р. Г., Сапожников В. М. Промышленная чистота и тонкая фильтрация рабочих жидкостей летательных аппаратов. – М.: Машиностроение, 1986. – 152 с.

5. Степанов М. И. Комплексы заправки ракет и космических аппаратов / М. И. Степанов. – СПб.: РУСЛО, 2002. – С. 247-251.

Статья поступила 20.12.2016