

УДК 662.004.5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ЭЛЕМЕНТОВ ХИМИЧЕСКОГО  
ОБОРУДОВАНИЯ С УЧЕТОМ ДЕЙСТВУЮЩИХ НАГРУЗОК

Топоров А.А., Калиниченко Р.С., Акусова А.А., Алексеева О.Е., Третьяков П.В.  
(ДонНТУ, Донецк, Украина)

*При расчетах гамма-процентного ресурса оборудования химико-технологических комплексов предлагается учитывать действующие нагрузки, а также возникающие механические напряжения.*

В современных условиях повышаются требования к качеству и уровню проектирования объектов химических производств. Особенно это требование ужесточается в плане повышения надежности и уровня техногенной безопасности [1].

В качестве объекта исследования рассмотрим производство сульфата аммония, которое является одним из типовых для химических производств. В производстве сульфата аммония главным технологическим процессом является сушка [2], при которой происходит удаления влаги из материала.

Для сушки сульфата аммония наибольшее распространение получили три типа сушильных устройств: барабанные сушилки, вибрационный транспортер и сушилки с кипящим слоем. В сушилках с кипящим слоем обеспечивается тесный контакт материала с теплоносителем и высокий термический коэффициент полезного действия. При сравнительно небольших габаритах они обладают высокой производительностью и менее других чувствительны к подливам с центрифуг.

В оборудовании на ряду с технологическими процессами (сушка, тепло- и массоперенос) неизбежно возникают деградационные процессы. Среди деградационных процессов можно выделить такие процессы как абразивный износ деталей, возникающий при трении рабочей среды о поверхности деталей и узлов, а так же коррозионный износ, связанный с коррозионноактивностью рабочей среды. Кроме того, так же возникают процессы износа в узлах трения, которые значительно усугубляются при попадании сульфата аммония на контактирующие поверхности. При этом оборудование работает при повышенных температурах рабочей среды ( $130^{\circ}\text{C}$ ), что интенсифицирует не только технологические процессы, но и деградационные.

Таким образом, с эксплуатацией оборудования с кипящим слоем связано возникновение ряда опасностей, которые могут исходить как от перерабатываемого сырья, процессов протекающих в агрегате, так и самого агрегата. Важной задачей обеспечения заданного уровня надежности и техногенной безопасности на этапе проектирования является учет не только технологических, но и деградационных процессов.

Одним из основных показателей надежности является остаточный гамма-процентный ресурс [3]. С заданным интервалом времени диагностирования и определяют геометрические параметры (как правило это толщина наиболее деградируемого элемента) в нескольких контрольных точках, которые используются в качестве основных параметров с расчетом остаточного срока службы.

Так как в сушилках происходит целый ряд деградационных процессов предлагается использовать не геометрический показатель (толщину), а функцию от него, отражающую работоспособность агрегата (например, величина действующего напряжения).

Приведем пример расчета гамма-процентного остаточного ресурса для стенки корпуса агрегата [3]. Номинальная толщина стенки корпуса  $S_n = 10$  мм. Проведено

диагностирование через  $t$  лет после начала эксплуатации. Отбраковочная толщина стенки сушилки  $S_r$ .

Таблица 1 – Геометрические показатели.

к	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$S_{нк},$ мм	$S_{нк1}$	$S_{нк2}$	$S_{нк3}$	$S_{нк4}$	$S_{нк5}$	$S_{нк6}$	$S_{нк7}$	$S_{нк8}$	$S_{нк9}$	$S_{нк10}$	$S_{нк11}$
$S_k,$ мм	$S_{к1}$	$S_{к2}$	$S_{к3}$	$S_{к4}$	$S_{к5}$	$S_{к6}$	$S_{к7}$	$S_{к8}$	$S_{к9}$	$S_{к10}$	$S_{к11}$

$$t_{осм} = t_0 \cdot (\gamma_{расч}^{1/m} - 1)$$

$$\gamma_{расч} = \frac{[Q]_{cp} \cdot Q_{cp} - U_r \cdot \sqrt{Q_0^2} \cdot [Q]_{cp}^2 + \alpha_0^2 \cdot (Q_{cp}^2 - U_r^2 \cdot Q_0^2)}{Q_{cp}^2 - U_r^2 \cdot Q_0^2}$$

$$\Gamma = \frac{\gamma}{100} \cdot \Phi(\cdot)$$

где  $D[Q]$  – дисперсия относительного износа

$$[Q]_{cp} = 1 - \frac{S_r}{S_n}$$

$$Q_{cp}^* = Q_{cp} + U_q \cdot \frac{Q_0}{\sqrt{N-2}}$$

$$Q_0^* = Q_0 + U_q \cdot \frac{Q_0}{\sqrt{2 \cdot N - 8}}$$

где  $U_q$  – квантиль нормального распределения. Выбирается исходя из значения  $q$ , при  $q=0,95$  и  $\square=95\%$ :  $U_q=1,65$ ;

$Q_0$  – Среднее квадратическое отклонение относительного износа

$$Q_0 = \sqrt{\alpha_0^2 - \alpha_0^2}$$

$$Q_{cp} = \frac{1}{N_i} \cdot \sum_{k=1}^N Q_k$$

$$\alpha_0 = \sqrt{\frac{1}{N-1} \cdot \sum_{k=1}^N \left( \frac{Q_k^2 - \alpha_0^2}{t_i^{2m}} - V_{cp}^2 \right)}$$

где  $N$  – количество замеров;

$V_{cp}$  – скорость износа:

$$V_{cp} = \frac{Q_{cp}}{t_0^m}$$

где  $t_0$  – время эксплуатации элемента на момент диагностирования, год;

$\square_0$  – начальное среднеквадратическое отклонение толщины стенки,  $\square_0=0,05$ ;

$t_i$  – время диагностирования, когда проводился  $k$  – тый замер толщины стенки

$$Q_k = 1 - S_k / S_{нк}$$

где  $Q_k$  – износ в  $k$  – точке;

$S_k$  – текущая толщина стенки в месте  $k$  – того замера, мм;

$S_{нк}$  – номинальная толщина стенки диагностируемого элемента, мм.

В результате расчета определяется остаточный ресурс.

Для химических производств использование в методике расчета гамма-

процентного ресурса изменения толщины стенки не является достаточным, так как одновременно параллельно могут протекать несколько деградиационных процессов. Поэтому в расчете предлагается использовать функцию от толщины, например, действующие напряжения или работоспособность. При расчете напряжения, момент сопротивления является функцией от толщины стенки:

$$\sigma = f(P, W, \rho)$$

$$W = f(s)$$

Модернизация данных методик позволит прогнозировать ресурс всего агрегата [4,5].

В качестве примера приведем расчет гамма-процентного остаточного ресурса для стенки корпуса сушилки сульфата аммония. Проведено диагностирование стенки корпуса сушилки сульфата аммония в кипящем слое с номинальной толщиной стенки  $S_n = 10$  мм.

Аналогично приведенному примеру проведено диагностирование следующих элементов: стенка корпуса сушилки, вал установки натяжной, труба вала разбрасывателя, шпильки. Результаты приведены в таблице:

Таблица 2 – Толщина корпуса в выбранных точках

	к	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Стенка корпуса	$S_{нк}$ , мм	10	10	12	10	10	12	10	10	12	10	10
	$S_k$ , мм	7,3	9,2	10,1	8,0	7,8	11,0	7,7	8,5	9,4	7,9	9,5
Вал установки натяжной	$S_{нк}$ , мм	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60
	$S_k$ , мм	56,8	57,3	57,1	56,9	57,1	57,2	57,5	57,5	57,4	57,1	56,8
Труба вала разбрасывателя	$S_{нк}$ , мм	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25
	$S_k$ , мм	23,5	23,6	23,5	23,6	23,4	23,5	23,2	23,5	23,2	23,5	23,1
Шпилька	$S_{нк}$ , мм	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
	$S_k$ , мм	6,9	7,2	7,1	7,0	6,8	6,7	6,7	6,5	6,8	6,9	6,5

Требуется определить нижнюю интервальную оценку гамма-процентного

остаточного ресурса на примере корпуса сушилки.

Отбраковочная толщина стенки корпуса сушилки  $S_r = 6,0$  мм.

Согласно рекомендациям, принимаем значения регламентированной надежности  $\gamma = 95\%$  и односторонней доверительной вероятности  $q = 0,95$ .

Принимается линейная модель износа с показателем степени

$$m = 1,0$$

Последовательность расчета остаточного ресурса.

По приведенным в таблице данным подсчитаем износ в каждой точке:

$$Q_k = 1 - S_k / S_{nk}$$

Затем подсчитываются средние значения утонения стенки и его среднее квадратическое отклонение:

$$Q_{cp.} = 0,17 \text{ и } \sigma = 0,068.$$

Таблица 3 – Выбор вероятности

Нагреваемый продукт	Регламентированная вероятность $\gamma$ , %.	Доверительная вероятность, $q$
Высокоопасные вещества 1, 2, 3 классов и сжиженные углеводородные газы	99	0,99
Взрыво и пожароопасные вещества легковоспламеняющиеся жидкости (ЛВЖ) и горючие жидкости (ГЖ) с $P > 2,5$ Мпа, $T \geq 300$ °С	95	0,95
легковоспламеняющиеся жидкости (ЛВЖ) и горючие жидкости (ГЖ) с $P \leq 2,5$ Мпа, $T \leq 250$ °С	90	0,90
Трудногорючие (ТГ) и негорючие (НГ) вещества	80	0,80

Находим среднее квадратическое отклонение относительного износа  $Q_d$ .

$$Q_d = \sqrt{0,068^2 - 0,05^2} = 0,047$$

Определим верхние интервальные значения среднего износа и его среднеквадратического отклонения:

$$Q_{cp}^* = 0,17 + 0,047 \cdot \frac{1,65}{\sqrt{9}} = 0,195$$

$$Q_d^* = 0,047 \left(1 + \frac{1,65}{\sqrt{14}}\right) = 0,067$$

Определяется среднее значение допустимого относительного износа:

$$[Q]_{cp} = 1 - \frac{6}{10} = 0,4$$

Значение  $D[Q] = \sigma = 0,05$ . Для определения  $\Gamma$  вначале определим аргумент функции  $\Phi$  который является ее квантилем:

$$\Phi = \frac{0,4 - 0,195}{\sqrt{0,05^2 + 0,067^2}} = 2,45$$

По [6] находим значение функции  $\Phi(\cdot)$  при величине квантиля 2,45:  $\Phi(\cdot) = 0,993$ .

$$\Gamma = \frac{95}{100} \cdot 0,993 = 0,943$$

По табл. 3 соответствующий квантиль  $U_r = 1,59$ . Далее находится параметр  $\gamma_{расч}$ :

$$\gamma_{расч} = 1,254$$

Нижняя интервальная оценка – процентного остаточного ресурса равна:

$$t_{ocm} = 15 \cdot (1,254^{1/1} - 1) = 25$$

Результат для остальных элементов приведен на диаграмме (рис. 1):

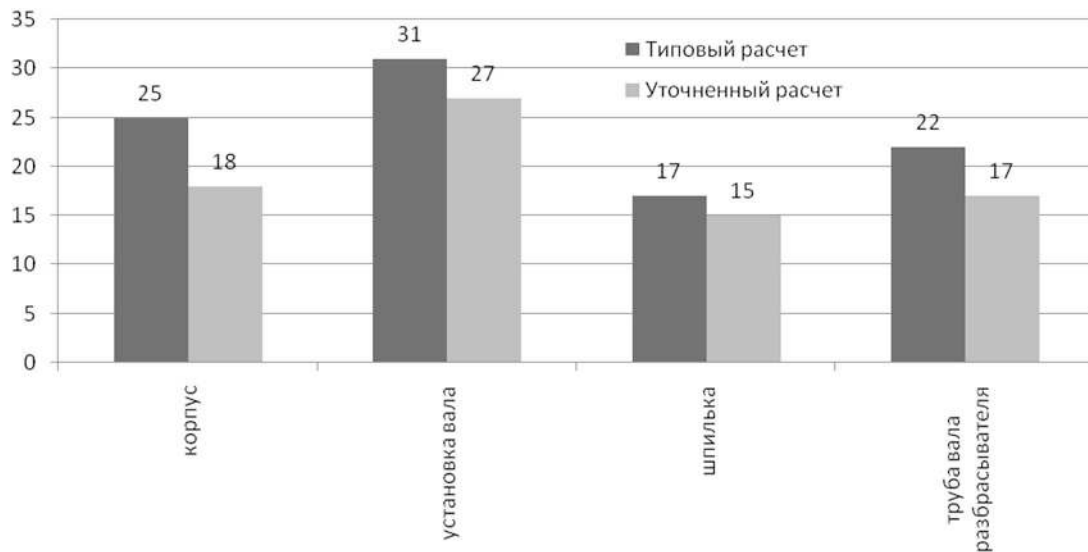


Рисунок 1- Остаточный ресурс элементов сушилки с кипящим слоем

Таким образом, выполнен расчет гамма-процентного ресурса элементов сушилки сульфата аммония с кипящим слоем по типовой методике. А так же проведен расчет по уточненной методике, где в расчете использовались действующие напряжения, при этом гамма-процентный ресурс оказался меньше, чем при типовом расчете. То есть предложенная уточненная методика, учитывающая действующие нагрузки и возникающие напряжения позволяет определять остаточный ресурс оборудования для наихудшего случая, т.е. является более полной.

На основе методики определения гамма-процентного ресурса была составлена блок-схема и составлен код программы в среде Microsoft Visual Basic. [7]

#### Список литературы:

1. Система расчета опасности оборудования с учетом его износа. Топоров А.А., Акусов В.В., Локтионова А.А., VI международная научно-практическая конференция «Экологические проблемы промышленных мегаполисов» М.:МГУИЭ, 2009. с. 124-128.
2. Лазорин С.Н., Стеценко Е.Я. Производство сульфата аммония на коксохимических заводах. – Металлургия, М., 1965г.
3. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. ГОСТ 27.002-89.
4. Анализ влияния конструктивных факторов на состояние объекта. В.В.Акусов, А.А. Локтионова, VIII Міжнародна наукова конференція аспірантів і студентів «Охорона навколишнього середовища та раціональне використання природних ресурсів», 2009.с.125-126.
5. Системный подход при анализе тепловых агрегатов. Р.С.Калиниченко, А.А.Топоров, VIII Міжнародна наукова конференція аспірантів і студентів «Охорона навколишнього середовища та раціональне використання природних ресурсів», 2009.с.151-152.
6. Климов А.М., Брянкин К.В. Надежность технологического оборудования. Издательство ТГТУ Тамбов 2008г.
7. Гарбер Г.З. Основы проектирования на Visual Basic. М. Салон-пресс – 2008г.