
БЕЗОПАСНОСТЬ КРИТИЧЕСКИ ВАЖНЫХ И ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫХ ОБЪЕКТОВ

УПРАВЛЕНИЕ РИСКАМИ ОТКАЗА ГАЗООЧИСТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

М.Ю. Бирюлев.

Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России.

Е.А. Власов, доктор химических наук.

**Санкт-Петербургский государственный технологический институт
(технический университет).**

В.С. Буркат, кандидат технических наук.

Департамент экологии обособленное подразделение

ООО «РУСАЛ Инженерно-технический центр»

Рассмотрено применение системного анализа безопасности при идентификации неисправностей, выявлении причин неудовлетворительной работы или расчета риска отказа газоочистного оборудования. Проведен анализ деревьев отказов. Разработано дерево отказов «реактора-адсорбера».

Ключевые слова: системный анализ безопасности, риск отказа, деревья отказов

MANAGEMENT OF RISKS OF GAS CLEANING EQUIPMENT FAILURE

M.U. Birulev. Saint-Petersburg university of State fire service of EMERCOM of Russia.

E.A. Vlasov. Saint-Petersburg technological institute (technological university).

V.S. Burkat. Department of ecology «Rusal ITC»

Considers the application of the system safety analysis in the identification of faults, identify the causes of unsatisfactory performance or settlement risk of gas cleaning equipment failure. The analysis of the fault tree is taken. Fault tree of «adsorbing reactor» is developed.

Keywords: system safety analysis, the risk of failure, fault trees

Защита атмосферного воздуха от токсичных компонентов промышленных газовых выбросов (NO_x , SO_2 и SO_3 , CO), содержащихся в дымовых газах агрегатов топливно-энергетического комплекса и выхлопных газах двигателей внутреннего сгорания [1]; от HF, SO_2 , CO , смолистых и полициклических ароматических соединений, в отходящих газах производства электролитического алюминия [2]; от фенолов и крезолов в выбросах нефте- и коксохимических предприятий [3] и др. является приоритетной проблемой любого производственного процесса, обеспечивающего допустимый уровень безопасности производственных объектов, окружающей среды и жизнедеятельности человека.

Применение системного анализа безопасности при идентификации неисправностей, выявлении причин неудовлетворительной работы или расчета риска отказа газоочистного оборудования позволило бы установить причины аварийных ситуаций и разработать предупредительные мероприятия, снижающие вероятность их появления. При этом достигается минимизация объема экспериментальных данных, уменьшение длительности анализа, снижение затрат рабочего времени и повышение точности определения местоположения неисправностей.

Анализ отказов связан с подготовкой причинно-следственных схем, которые отображают взаимосвязь между нарушениями в работе и наблюдаемыми последствиями. При рассмотрении этих методов могут быть выявлены возможные отказы отдельной детали или аппарата, или целой установки газоочистки. На основании проведенной диагностики причин неудовлетворительного функционирования работающей установки можно воздействовать на риск, повышая уровень безопасности [4].

Диагностика неисправностей является эффективным и логическим инженерным методом, который широко используется для идентификации опасностей, анализа надежности и работоспособности различных систем, начиная от стадии ее разработки и проектирования и кончая этапами монтажа, наладки, эксплуатации и ликвидации [4, 5]. Он может быть применен как к отдельным частям, так и ко всей установке в целом.

Анализ отказов оборудования по очистке газовых выбросов от HF и пыли (нерастворимые фториды и глинозем) при получении электролитического алюминия проводили путем построения деревьев причинно-следственных связей (деревьев неполадок или отказов) априорно. Расчет вели в два этапа. Качественный, на котором составляли список возможных видов неполадок с перечислением и оценкой их последствий и количественный, где определяли вероятности неисправностей, приводящих к нежелательному событию, с последующей совместной обработкой для вычисления вероятности отказа газоочистной установки. Для построения дерева неполадок использовали символы событий, логические символы и текстовые блоки:

– «прямоугольник» – событие, возникающее как результат взаимодействия событий, проходящих через логическую ячейку;

– «прямоугольник со штриховкой» – первичное событие (событие, не требующее дальнейшего исследования; это независимое событие, используемое только как входное в логическую ячейку);

– «И» и «ИЛИ» – логические операции, производящие выходные события лишь в том случае, когда имеются все входные события («И»), а также или одно или несколько входных событий («ИЛИ»), соответственно [4–6]. Вероятность реализации операции «И» будет равна произведению вероятностей входных условий, «ИЛИ» – сумме вероятностей минус их произведение.

При рассмотрении работы адсорбционной схемы очистки электролизных газов применили прямой метод, позволяющий изучить причины, чтобы предвидеть последствия. При этом выделены три основных блока, условно названных «промежуточный бункер», служащий для накопления и распределения глинозема; «реактор-адсорбер», в котором происходит сорбция HF частицами глинозема; «рукавный фильтр», очищающий газовый поток от этих частиц, от неполадок в работе которых зависит эффективность пыле- и газоулавливания. Внезапный отказ «промежуточного бункера» связан, как с перерывом в подаче электроэнергии и с разгерметизацией по сварным швам трубопровода подачи воздуха из воздуходувной, необходимого для аэрации глинозема, так и выходом из строя клапанов (линия сжатого воздуха) и запоров (линия свежего глинозема), а также показывающих приборов (уровнемер) и предохранительного клапана. Перечисленные причины нарушают подачу свежего глинозема из бункера в распределительный короб.

Неполадки в работе «реактора-адсорбера» рассмотрены совместно с отказом распределительного короба свежего глинозема, что приводит к остановке оборудования. Отказ «реактора-адсорбера» обусловлен неоптимальной подачей глинозема и уменьшением расхода газа на очистку. В качестве первопричин данных негативных последствий рассмотрены разрыв металлической сетки днища короба свежего глинозема, фильтровального полотна коробов свежего и фторированного глинозема; разгерметизация аэрожелоба по сварным швам; остановка вентиляторов и дымососов; отказ клапанов на линиях подачи сжатого воздуха в аэрожелоб, реактор и распределительный короб свежего глинозема; отказ винтового питателя; выход из строя клапанов с электроприводом и отказ диафрагмы с дифференциальным манометром на линии подачи загрязненного воздуха.

Неполадки в работе «рукавного фильтра» обусловлены разрывом ткани. Первопричинами указанного негативного события являются неоптимальная влажность очищаемого воздуха и глинозема; отказ импульсного механизма регенерации (не работают клапаны на линии сжатого воздуха, поступающего на регенерацию фильтра, а также электропневматические клапаны, остановка вентиляторов); отказ клапана на линии сжатого воздуха, поступающего в пылесборный бункер для выгрузки пыли, и дифференциального манометра.

Дерево отказов «реактора-адсорбера» представлено на рис. 1, под номером события указана вероятность отказа.

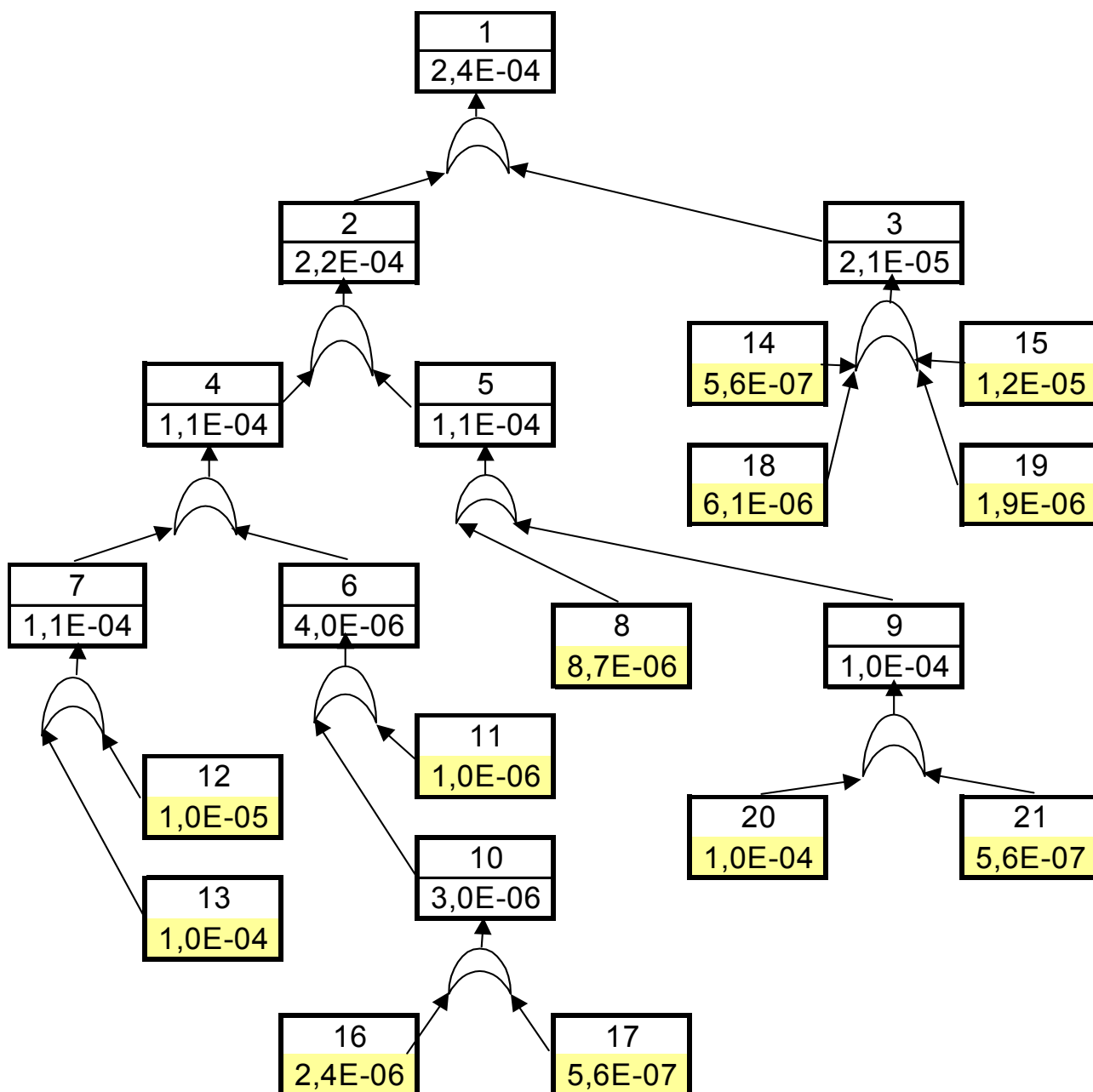


Рис. 1. Дерево отказов «реактора-адсорбера»

- 1 – отказ работы «реактора-адсорбера»;
- 2 – неоптимальная подача глинозема в реактор;
- 3 – уменьшился расход газа на очистку;
- 4 – уменьшилась подача свежего глинозема;
- 5 – отсутствует подача рециркулирующего глинозема;
- 6 – неэффективно работает аэрожелоб свежего глинозема;
- 7 – отказ работы распределительного короба свежего глинозема;
- 8 – отказ работы винтового питателя;
- 9 – отказ работы раздаточного короба фторированного глинозема;
- 10 – нарушена аэрация желоба;
- 11 – разгерметизация желоба;
- 12 – разрыв металлической сетки ложного днища;
- 13, 20 – разрыв фильтровального материала;
- 14, 21 – отказ работы клапана перед реактором;
- 15 – остановка дымососов;
- 16 – остановка вентиляторов;
- 17 – отказ работы задвижки на линии подачи воздуха;
- 18 – отказ работы клапана с электроприводом;
- 19 – неправильные показания дифференциального манометра и диафрагмы.

Первопричины, необходимые для расчета вероятности выхода из строя, взяты из работ [6–8] и часть из них представлена в таблице.

Таблица. Вероятность отказов (P) элементов оборудования

Наименование элементов	$P \cdot 10^6, \text{ч}^{-1}$
Диафрагмы	1,9
Задвижки клапанов	6,1
Клапаны давления	5,6
Клапаны резервуарные	6,9
Клапаны электромагнитные	0,6
Дымососы	12,0
Нагнетатели	2,4
Насос переменной производительности	11,4
Питатели с машинным приводом	8,7
Фильтровальное полотно	110,0
Металлическая сетка	12,0
Регуляторы пневматические	6,6
Трубопроводы	1,1
Предохранительный клапан электрический	0,05

После построения деревьев отказов «реактора-адсорбера» (рис. 1), «рукавного фильтра» и «промежуточного бункера», отображающих комбинации всех возможных маршрутов, которые могут привести к главному негативному событию, были определены вероятности появления различных неисправностей оборудования. Так, например, вероятность события «P(10)» с учетом логической операции «ИЛИ» будет равна: $P(10)=P(16)+P(17)-P(16) \cdot P(17)$.

Результаты численного анализа дерева неполадок основных блоков адсорбционной схемы очистки показывают, что вероятность отказа «промежуточного бункера» равна $2,7 \cdot 10^{-5}$, «рукавного фильтра» – $3,7 \cdot 10^{-4}$, «реактора-адсорбера» – $2,4 \cdot 10^{-4}$, что эквивалентно примерно 0,25; 3 и 2 отказам в год соответственно (рис. 2).

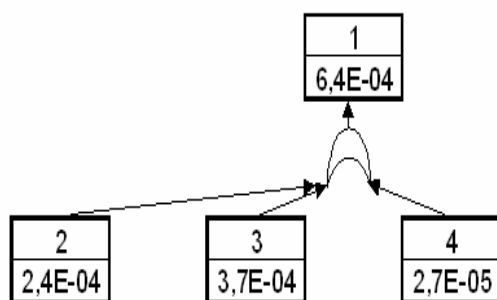


Рис. 2. Дерево отказов установки адсорбционной очистки:

1 – отказ установки очистки; 2 – не работает «реактор-адсорбер»; 3 – неисправен «рукавный фильтр»; 4 – отказ «промежуточного бункера»

Анализ деревьев отказов позволил выявить ряд потенциальных опасностей в работе адсорбционной установки:

- залипание пыли на поверхности ткани «рукавного фильтра» обусловлено применением увлажненного глинозема и влажного воздуха, что стало главными причинами остановки фильтра;

- основной причиной выхода из строя «реактора-адсорбера» является разрыв фильтровального материала (13 и 20, рис. 1), приводящий к нарушению подачи свежего (4) и рециркулирующего (5) глинозема;

- остановка в работе «промежуточного бункера» может быть вызвана разгерметизацией трубопроводов подачи воздуха, однако вероятность реализации данной причины довольно низкая ($1,1 \cdot 10^{-6}, \text{ч}^{-1}$).

При существующем подборе оборудования и технических средств контроля и автоматизации выход из строя установки очистки возможен примерно один раз в пять лет. Для повышения уровня безопасности и с учетом постепенных отказов, вызванных усталостью и старением материалов, изношенностью и коррозией деталей и т.д., происходящих в процессе эксплуатации установки, необходимо резервирование основного оборудования (реактора, рукавного фильтра, бункеров, дымососов, вентиляторов, насосов) и монтажа дублирующей системы транспортировки (аэрожелобов, газоходов, трубопроводов). Последнее эффективно и в случае внезапного отказа единичного оборудования, так как становится невозможным залповый выброс вредных веществ в окружающую среду. При осуществлении планового и аварийного ремонта оборудования следует, в первую очередь, заменить элементы, являющиеся причинами их возможной остановки, а также осуществить монтаж технических средств с большим временем безотказной работы. Прогнозирование отказов элементов газоочистой установки гарантирует невозможность одновременного отказа всей технологической системы.

Литература

1. Ходаков Ю.С. Оксиды азота и теплоэнергетика. Проблемы и решения. М.: ООО «ЭСТ-М», 2001. 416 с.
2. Буркат В.С., Друкарев В.А. Сокращение выбросов в атмосферу при производстве алюминия. СПб.: ООО «Любавич», 2005. 275 с.
3. Пугач Л.И. Энергетика и экология. Новосибирск: Новосибирск. гос. техн. ун-т, 2003. 504 с.
4. Спицын Ю.Г., Яковлев В.В. Оценка риска в социально-экономической и техногенной сферах. СПб.: Нестор, 2000. 60 с.

5. Алымов В.Т., Крапчатов В.П., Тарасова Н.П. Анализ техногенного риска. М.: Круглый год, 2000. 160 с.
6. Хенли Э.Дж., Кумасота Х. Надежность технических систем и оценка риска. М.: Машиностроение, 1984. 482 с.
7. Химмельблау Д. Обнаружение и диагностика неполадок в химических и нефтехимических процессах. Л.: Химия, 1983. 352 с.
8. Справочник по надежности. в 10 т. / под ред. А.И. Абдулевского. М., 1990. Т. 10.