

УДК 662.74

## **АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ХИМИЧЕСКОЙ АППАРАТУРЫ С УЧЕТОМ ДЕГРАДАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ**

Акусова А.А., Алексеева О.Е., Топоров А.А., Парфенюк А.С., Калиниченко Р.С.,  
Боровлев В.Н.  
(ДонНТУ, г.Донецк)

*The influence of technological and degradation chemical equipment failures is considered. The analysis of reliability of a dryer with a fluidized bed is carried out.*

Химическое производство представлено многообразием технологического оборудования, в котором протекают различные технологические процессы, такие как механические, гидромеханические, тепловые, массообменные, химические. Совокупность взаимосвязанных процессов и аппаратов, функционирование которых направлено с целью переработки сырья в продукты потребления и побочные продукты образует химико-технологическую систему [1].

Одним из основных требований, предъявляемых к технологическому оборудованию, является обеспечение его надежности – свойства сохранять в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции. Выход параметров за заданные рамки приводит к отказу оборудования и т.о. отказу технологической системы в целом. Отказы оборудования можно разделить на первичные; связанные с нарушением технологических параметров отказы; связанные с протеканием деградационных процессов отказы [2].

К основным деградационным процессам можно отнести износ в парах трения, коррозия под действием рабочих и окружающих сред; образование отложений, нагаров, накипи, закоксовываний, изменения свойств конструкционных материалов вследствие старения, изменения размеров и форм деталей из-за деформации и т.д. В основном изменение параметров, вследствие протекания деградационных процессов, не происходит мгновенно, а происходит медленное, постепенное изменение параметров оборудования. Поэтому при своевременном диагностировании и расчете остаточного ресурса элементов, подверженных воздействию деградационных процессов, позволяет провести своевременное техническое обслуживание и ремонт, т.е. недопущение возникновения внезапного отказа и непредвиденных последствий [3].

При этом необходимо учитывать, что технологические и деградационные процессы взаимосвязаны, и отказы оборудования зачастую происходят по ряду причин одновременно [3].

Возникает необходимость обеспечения заданного уровня надежности, с учетом не только технологических, но и деградационных процессов. Одним из методов исследования и определения надежности оборудования является метод дерева отказов [2], который позволяет качественно и количественно оценить надежность технологического оборудования на основе анализа его возможных отказов.

Построение деревьев отказов позволяет более явно представить взаимосвязь между технологическими и деградационными отказами, выявить наиболее слабые места в конструктивном и технологическом плане, определить мероприятия по повышению надежности и обосновать их необходимость и целесообразность.

Рассмотрим построение дерева отказов с учетом технологических и деградационных процессов, на примере сушилки с кипящим слоем производства сульфата аммония.

Завершающим событием является отказ производства сульфата аммония, т.к. неисправность сушилки приводит к остановке выпуска готовой продукции. Готовой продукцией цеха является сульфат аммония влажностью 0,3 %, а до сушилки влажность продукта составляет 6-8%.

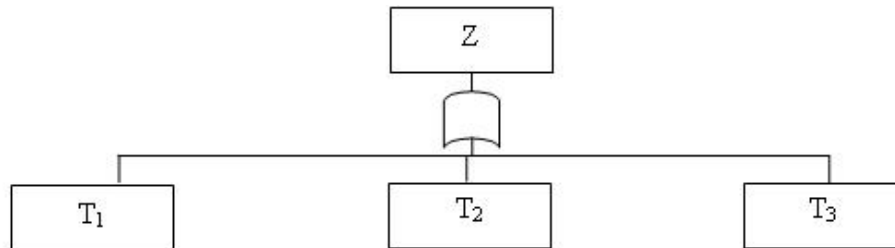


Рисунок 1 - Структура дерева отказов сушилки в кипящем слое

Отказ производства сульфата аммония Z, связанный с невыполнением основных функций сушилки сульфата аммония с кипящим слоем, произойдет при наступлении одного из следующих событий: нарушение подачи сырья T<sub>1</sub>, нарушение кипящего слоя из-за подачи воздуха T<sub>2</sub>, нарушение выгрузки сырья T<sub>3</sub>. Т.о., отказ производства сульфата аммония может быть представлен в виде булевого тождества:

$$Z = T_1 \cup T_2 \cup T_3$$

Событие «нарушение подачи сырья» T<sub>1</sub> произойдет (при условии, что материал в приемный бункер подается), если материал не выдается из бункера F<sub>1</sub>, нарушена выдача материала из питателя F<sub>2</sub>, отказ разбрасывателя F<sub>8</sub>.

В свою очередь промежуточное событие F<sub>1</sub> произойдет в результате наступления событий G<sub>1</sub> - «сводообразование» и G<sub>2</sub> - «неисправность бункера».

Событие «сводообразование» G<sub>1</sub> произойдет при наступлении одновременно двух событий налипание материала - A<sub>1</sub> и отказ сводобрушителя - A<sub>2</sub>. Детальный анализ причин отказа сводобрушителя (вибратора) не был включен в исследование.

Событие G<sub>2</sub> произойдет, если произойдет одно из событий: A<sub>3</sub> – отказ бункера из-за коррозии; A<sub>4</sub> – разрушение в результате превышения допустимых нагрузок.

Событие «нарушение работы питателя» выдача материала из питателя F<sub>2</sub> произойдет, если откажет питатель G<sub>3</sub> или произойдет отказ привода питателя G<sub>4</sub>.

Для промежуточного события G<sub>3</sub> – «отказ питателя» исходными событиями следует считать отказ в результате налипания материала A<sub>5</sub>; отказ в результате коррозии A<sub>6</sub>; отказ в результате превышения допустимых нагрузок A<sub>7</sub>; отказ крепления лопатей (болтового соединения) A<sub>8</sub>.

Для промежуточного события G<sub>4</sub> – «отказ привода питателя» исходными событиями являются отказ электродвигателя A<sub>9</sub>; отказ подшипников A<sub>10</sub>; отказ редуктора A<sub>11</sub>.

Отказ разбрасывателя F<sub>8</sub> произойдет при отказе цепной передачи A<sub>43</sub>, отказе шпильки A<sub>44</sub>, отказ цепи A<sub>45</sub>.

Таким образом, событие T<sub>1</sub> можно представить в виде выражения:

$$T_1 = ((A_1 \cap A_2) \cup (A_3 \cup A_4)) \cup ((A_5 \cup A_6 \cup A_7) \cup (A_8 \cup A_9 \cup A_{10} \cup A_{11})) \cup ((A_{43} \cup A_{44} \cup A_{45}))$$

Событие «нарушение кипящего слоя из-за нарушения подачи теплоносителя» T<sub>2</sub> произойдет при возникновении одного из промежуточных событий «нет подачи теплоносителя» – F<sub>3</sub> или «увеличение сопротивления потока теплоносителя» – F<sub>4</sub> (рис.3).

Событие F<sub>3</sub> – «нет подачи теплоносителя» - произойдет при отказе газодувки A<sub>12</sub> или при отказе подающего трубопровода A<sub>13</sub>.

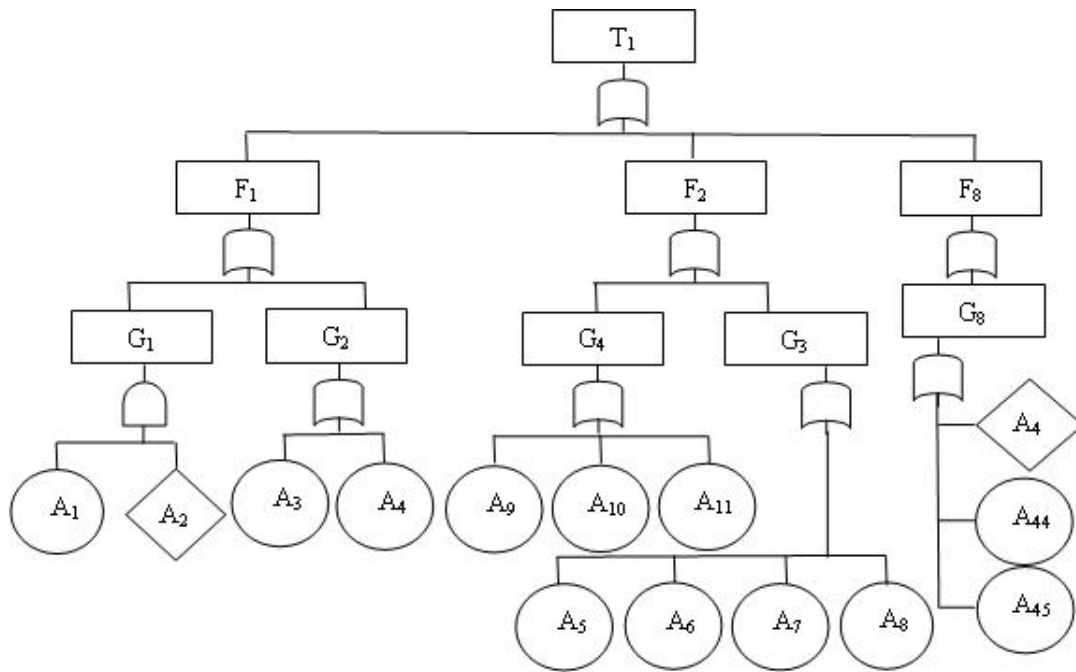


Рисунок 2 - Структура дерева отказов сушилки в кипящем слое из-за нарушения подачи сырья

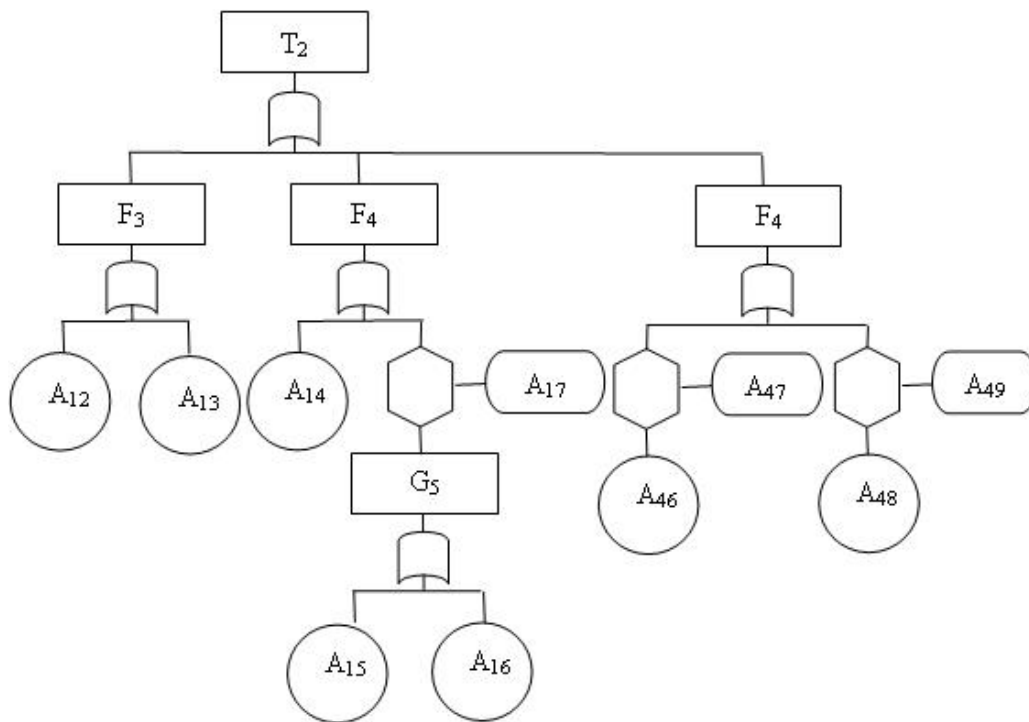


Рисунок 3 - Структура дерева отказов сушилки в кипящем слое из-за нарушения подачи теплоносителя

Событие  $F_4$  - «увеличение сопротивления потока теплоносителя» - произойдет при отказе сетки  $A_{16}$  либо при засорении распределительной сетки  $A_{14}$  либо распределительной засыпки  $A_{15}$ , при условии не выполнения работ по очистке  $A_{17}$ .

Событие  $F_9$  - «унос материала» - произойдет при увеличении подачи теплоносителя  $A_{46}$  при условии неисправности регулятора теплоносителя  $A_{47}$ , при

увеличении температуры теплоносителя  $A_{48}$  при условии неисправности регулятора температуры  $A_{49}$ .

Тогда, событие  $T_2$  можно представить в виде выражения:

$$T_2 = (A_{12} \cup A_{13}) \cup (A_{14} \cup (A_{15} \cap A_{17}) \cup (A_{16} \cap A_{17}) \cup (A_{46} \cap A_{47}) \cup (A_{48} \cap A_{49}))$$

Нарушение выгрузки сырья  $T_3$  может произойти при возникновении одного из событий:  $F_5$  – отказ транспортера,  $F_6$  – отказ привода питателя и транспортера,  $F_7$  – отказ питателя на выходе (рис.4).

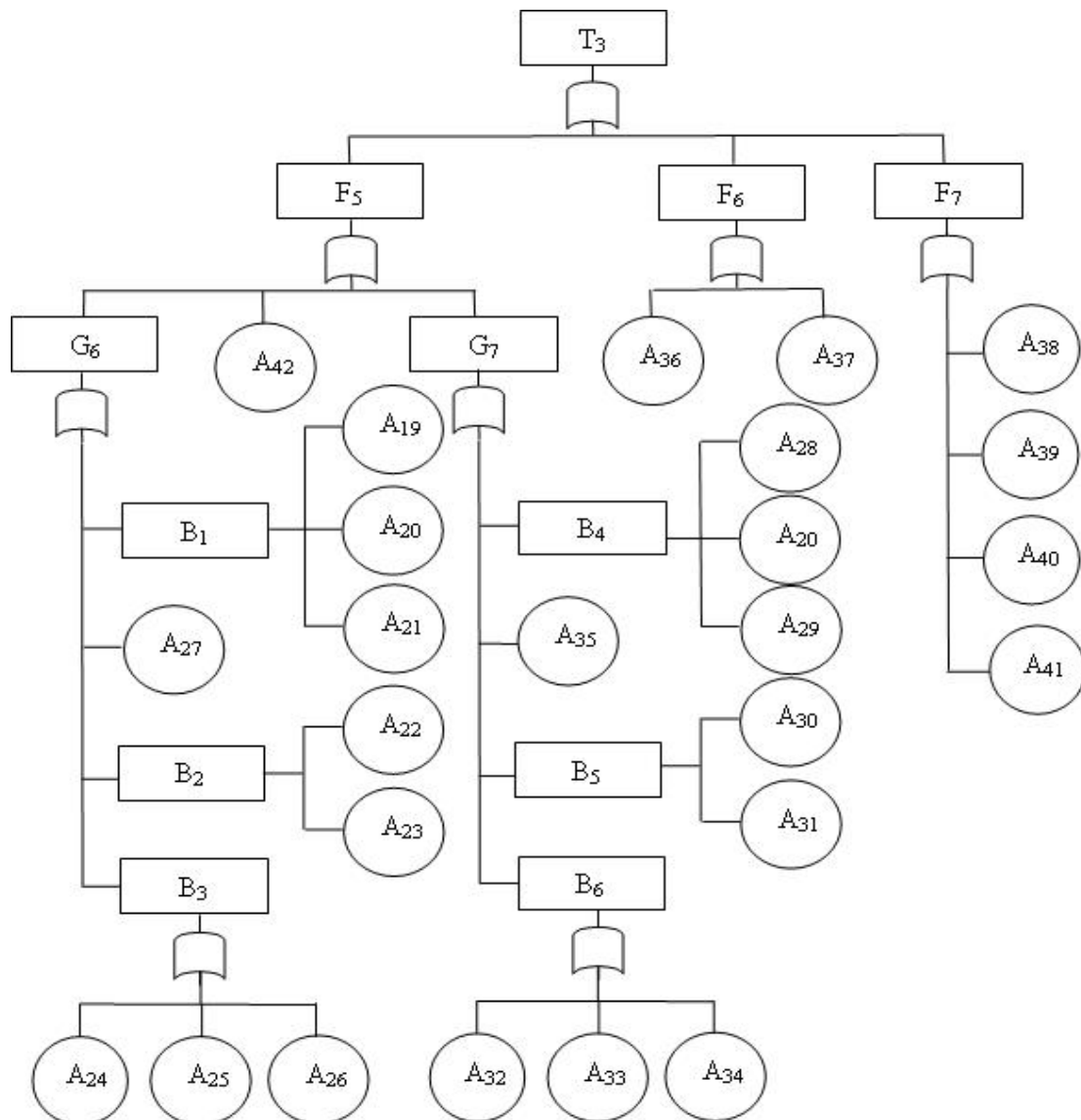


Рисунок 4 - Структура дерева отказов сушилки в кипящем слое из-за нарушения выгрузки сырья

Отказ транспортера  $F_5$  происходит в результате отказа установки вала натяжного  $G_6$ , отказа установки вала приводного  $G_7$  либо при отказе транспортирующей поверхности  $A_{42}$ .

Событие  $G_6$  произойдет при возникновении одного из промежуточных событий отказ подшипников  $B_1$ , отказ вала натяжного  $B_2$ , отказ звездочки  $B_3$  отказ винта натяжного  $A_{27}$ .

Отказ подшипников В<sub>1</sub> произойдет из-за первичного отказа подшипников А<sub>19</sub>, отсутствия смазки А<sub>20</sub> или из-за превышения допускаемой нагрузки А<sub>21</sub>. Отказ вала натяжного произойдет, если произойдет отказ вала из-за коррозии А<sub>22</sub> или из-за превышения допускаемой нагрузки А<sub>23</sub>. Отказ звездочки произойдет в результате исходных событий: срез зуба А<sub>24</sub>, срез шпонки А<sub>25</sub>, отказ кольца А<sub>26</sub>.

Событие G<sub>7</sub> произойдет при возникновении одного из промежуточных событий отказ подшипников В<sub>4</sub>, отказ вала приводного В<sub>5</sub>, отказ звездочки В<sub>6</sub>, отказ цепной передачи А<sub>37</sub>.

Отказ подшипников В<sub>4</sub> произойдет из-за первичного отказа подшипников А<sub>28</sub>, отсутствия смазки А<sub>20</sub> или из-за превышения допускаемой нагрузки А<sub>29</sub>. Отказ вала приводного В<sub>5</sub> произойдет, если произойдет отказ вала из-за коррозии А<sub>30</sub> или из-за превышения допускаемой нагрузки А<sub>31</sub>. Отказ звездочки произойдет в результате исходных событий: срез зуба А<sub>32</sub>, срез шпонки А<sub>33</sub>, отказ кольца А<sub>34</sub>.

Отказ привода питателя и транспортера F<sub>6</sub> – это отказ либо электродвигателя А<sub>35</sub> либо редуктора А<sub>36</sub>.

Для промежуточного события F<sub>7</sub> – «отказ питателя» исходными событиями следует считать отказ в результате налипания материала А<sub>38</sub>; отказ в результате коррозии А<sub>39</sub>; отказ в результате попадания посторонних предметов А<sub>40</sub>; отказ крепления лопастей А<sub>41</sub>.

Тогда T<sub>3</sub> можно представить в виде:

$$T_3 = (((A_{19} \cup A_{20} \cup A_{21}) \cup (A_{22} \cup A_{23}) \cup (A_{24} \cup A_{25} \cup A_{26}) \cup A_{27}) \cup ((A_{28} \cup A_{20} \cup A_{29}) \cup (A_{30} \cup A_{31}) \cup (A_{32} \cup A_{33} \cup A_{34}) \cup A_{35}) \cup A_{36}) \cup (A_{38} \cup A_{39} \cup A_{40} \cup A_{41})$$

Завершающее событие «отказ производства сульфата аммония» представим в виде:

$$Z = (A_1 \cap A_2) \cup A_3 \cup A_4 \cup A_5 \cup A_6 \cup A_7 \cup A_8 \cup A_9 \cup A_{10} \cup A_{11} \cup A_{12} \cup A_{13} \cup A_{14} \cup A_{17} \cup A_{19} \cup A_{20} \cup A_{21} \cup A_{22} \cup A_{23} \cup A_{24} \cup A_{25} \cup A_{26} \cup A_{27} \cup A_{28} \cup A_{29} \cup A_{30} \cup A_{31} \cup A_{32} \cup A_{33} \cup A_{34} \cup A_{35} \cup A_{36} \cup A_{37} \cup A_{38} \cup A_{39} \cup A_{40} \cup A_{41} \cup A_{42} \cup A_{43} \cup A_{44} \cup A_{45} \cup (A_{46} \cap A_{47}) \cup (A_{48} \cap A_{49})$$

Отказ сушилки с кипящим слоем происходит из-за отказов его элементов вследствие протекания деградационных процессов: налипания материала, коррозии, износа трущихся поверхностей, а также нарушения технологических параметров: скорости подачи и выгрузки материала, скорости и температуры холодного и горячего теплоносителя.

Разработанное дерево отказов позволяет в дальнейшем с использованием статистических данных проводить количественный анализ надежности оборудования с учетом деградационных процессов.

**Список литературы:** 1. Топоров А.А., Акусова А.А. Процессный подход к исследованию изменения технического состояния оборудования химических производств. // НЗ4 Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Хімія і хімічна технологія / гол. ред. Башков Е.О. – Донецьк: ДВНЗ “ДонНТУ”, 2010. – Випуск 15 (163), с.153-158. 2. Диллон Б., Сингх Ч. Инженерные методы обеспечения надежности систем: Пер. с англ. – М.: Мир, 1984.- 318 с. 3. Надежность техники. Термины и определения: ГОСТ 2860-94. - [ Действующий от 01.01.1996].- К.: 1994. –25 с.