

СТРУКТУРНО-ЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОКСОВОГО ПРОИЗВОДСТВА

Парфенюк А.С., Парфенюк О.С., Трет'яков П.В., Алексеева О.Е.
(Донецкий национальный технический университет)

Проведено структурно-логическое исследование надежности макросистемы коксового производства на основе древовидной схемы функционирования комплекса, которое позволило разработать математическое описание вероятности возникновения различных событий в процессе работы коксовых батарей и установить уровень значимости различных исходных событий элементарных отказов.

Системное исследование надежности производства предполагает учет человеческого фактора и влияния среды. Применительно к условиям традиционного коксового производства предполагается рассмотрение с позиции теории надежности системы: оператор (машинист) коксовой машины – коксовая машина – батарея коксовых печей – окружающая среда – техническое обслуживание и ремонт оборудования.

Доказана эффективность применения для решения задач надежности сложных систем одного из методов системного исследования – метода дерева отказов (МДО) [1, 2]. Однако, при всех достоинствах системного исследования на основе МДО существенным его недостатком является статичность, т.е. отсутствие реагирования модели на временные изменения, протекающие в системе и элементах в процессе эксплуатации, а также невозможность быстрой перестройки модели при изменении производства, его структуры и состояния. Главное, в МДО отсутствует учет временного фактора и, следовательно, трансформации схемы в новую, т.е. с переходом в новое состояние, и обеспечение учета различных событий и факторов нематериального характера.

Эти недостатки могут быть устранены путем дальнейшего развития МДО и создания на этой основе древовидной схемы надежности функционирования (ДСФ), ориентированной не только на событие отказа. Главной особенностью ДСФ является отсутствие ограничений на ввод в структурно-логическую схему различных элементов, событий, факторов, характеристик и учет их изменения в процессе функционирования. Структура ДСФ может изменяться во времени в зависимости от выполнения системой той или иной операции и в связи с этим появляется возможность рассматривать различные альтернативные события отказов, пути развития цепочки событий в системе. Такой подход к анализу надежности методом ДСФ устраняет недостатки МДО и создает возможность разработки алгоритма управления построением структуры модели, включением в работу самых различных элементов, с определением характеристик надежности элементов, соответствующих их данному временному состоянию и выполняемым функциям. Можно утверждать, что в такой постановке ДСФ является наиболее универсальным для самого широкого класса сложных задач.

Особенности понятия окружающей среды следующие:

- среда – это среда обитания оператора, т.е. это условия работы оператора;
- среда – это атмосфера коксового цеха, как сфера пребывания оператора коксовых печей, батареи, коксовых машин; параметры среды

обусловлены состоянием батареи, влиянием высоких температур, коррозионностью, газопылевыми выбросами.

Процедура построения ДСФ включает следующие этапы:

1. Определение понятий системы, ее границ, иерархической структуры, составление по возможности более полного перечня подсистем, элементов и операций технологического процесса, существенных для решения задачи.

2. Определение понятия отказов и недопустимых состояний системы, подсистем и элементов, составление полного перечня их отказов, наблюдавшихся и вероятных. Эти понятия необходимо увязывать с понятиями отказа производственного процесса.

3. Изучение нежелательных элементарных (исходных) событий, которые приведут к появлению отказа системы с использованием перечней операций подсистем и элементов. В качестве исходных событий желательно выбирать такие, которые обеспечены достаточными данными для получения количественных результатов. Такими данными для первичных событий являются частота отказов, вероятность отказа, коэффициент готовности, интенсивность отказов и т.п.

4. Определение функциональных свойств событий более высокого уровня выявлением причин тех или иных неисправностей и проведение анализа промежуточных событий с целью выявления логической взаимосвязи исходных событий, которые приведут к отказу производственного процесса. Так как не каждое исходное событие может непосредственно привести к завершающему, необходимо определить логическую последовательность промежуточных событий, связывающих исходное событие с завершающим.

5. Построение ДСФ с помощью логических символов и символов событий с учетом всей последовательности логических связей событий, приводящих к отказу системы.

6. Разработка аналитического описания ДСФ с целью определения вероятности появления нежелательного события отказа для рассматриваемой системы.

7. Выполнение анализа надежности системы. Основные результаты анализа заключаются в определении числа минимальных аварийных сочетаний и уровней значимости отказов элементов и в определении количественных характеристик надежности системы.

Для решения поставленных задач были разработаны методики сбора и кодирования информации о надежности применительно ко всем цеховым объектам коксового производства: коксовым машинам, батареям коксовых печей и комплексу оборудования коксового цеха. Были разработаны соответствующие инструкции и классификаторы. Анализ технологической и ремонтной документации по коксовым печам и их элементам показал, что ни один из существующих учетных документов в цехах не удовлетворяет основным требованиям к информации по надежности, т.е. требованиям полноты, непрерывности и достоверности информации. В связи с этим было принято решение в качестве первичного источника информации по надежности ввести в коксовых цехах Авдеевского КХЗ специальные журналы учета технического состояния оборудования.

Журнал данных о техническом состоянии кладки состоит из сводок, на которых схематично изображены под, свод, обе стороны камеры печей. Мастер по обогреву, сотрудник коксохимстанции (лицо, проводящее надзор за кладкой) после каждого осмотра, при заполнении журнала, в клетки, соответствующие месту обнаруженного дефекта, с помощью кода заносит его вид (внешнее проявление).

Сотрудник группы надежности, основываясь на информации, находящейся в журнале, для случая, если дефект не вызвал отказа печи, переносит эти сведения в закодированном виде в сводку данных о техническом состоянии кладки коксовых камер.

Для кодирования информации разработаны классификаторы, позволяющие в числовом коде отказа указать дату, № батареи, камеры, тип и номер элемента системы, его узлов, деталей, внешнее проявление, причину и последствия отказа, продолжительность простоя батареи из-за отказа, трудоемкость и вид ремонта. Классификаторы представляют собой таблицы, в которых каждому признаку отказа соответствует свой код.

Журнал технического учета состояния дверей и анкеража – основной документ при сборе статистических данных об отказах, простоях и ремонтах указанного оборудования. Мастер по анкеражу заносит информацию о техническом состоянии в журнал в виде описания отказа и его параметров. Информация о ремонтах отказавших элементов заносится в журнал бригадиром ремонтников. Основываясь на этих записях, сотрудник группы надежности переносит ее в закодированном виде в сводку данных об отказах элементов анкеража, дверей, служащую для накопления и передачи информации на обработку.

В соответствии с рекомендациями принят план наблюдений *NRT*, при котором отказавшие во время испытаний объекты заменяются новыми и длительность испытаний задается наработкой *T*.

Объем наблюдений, под которым понимают число объектов наблюдения *N* и минимальную продолжительность наблюдений *T*, выбираем исходя из требований оценки показателей надежности с заданной точностью и достоверностью. Исходными данными для расчета являются: доверительная вероятность $\gamma = 0,9$ и предельная относительная ошибка $\delta = 0,15$ оценки показателя.

Продолжительность наблюдений *T* при оценке средней наработки на отказ T_p определяем по формуле:

$$T = \frac{\chi T_p}{N}.$$

Величину χ находим в предположении экспоненциального распределения в зависимости от значений γ и δ .

$$\chi = 114.$$

Число объектов наблюдений принимаем равным удвоенному количеству печей в коксовой батарее, т.е. $N = 130$.

По данным предварительного сбора и обработки информации об отказах элементов анкеража, дверей и кладки (система АДК) коксовых печей их средняя наработка на отказ составила 5 лет. Учитывая это, продолжительность наблюдений составит

$$T = \frac{114 \cdot 5}{130} = 4,4 \text{ года}.$$

Таким образом, минимальная продолжительность наблюдений исходя из требований достоверности оценки показателей надежности должна быть более 5 лет.

Обработку информации с целью установления вида закона отказов элементов системы АДК проводим, используя вариационный ряд наработки на отказ. Для этого зарегистрированные значения наработок t_i табулируем по возрастанию так, что

$$t_1 < t_2 < \dots < t_{n-1} < t_n.$$

Полученный вариационный ряд разбиваем на интервалы. Величину интервала определяем по эмпирической формуле

$$\Delta t = \frac{t_n - t_1}{1 + 3,332 \sqrt[n]{n}},$$

где t_n, t_1 – соответственно максимальная и минимальная реализации наработки на отказ;

n – общее число реализаций.

Статистическую функцию распределения отказов получаем в результате последовательного вычисления частоты $\frac{n_1}{n}$, накопленной частоты $\sum \frac{n_i}{n}$ и эмпирической плотности вероятности $\frac{n_1}{n \cdot \Delta t}$.

Выбор теоретического закона распределения отказов проводим на основе проверки согласия эмпирического распределения с теоретическим по критерию Бернштейна D для следующих законов: экспоненциального, логарифмически-нормального, гамма-нормального, нормального, Вейбулла, Релея и Лапласа-Шарлье.

$$D = \frac{1}{S} \sum \frac{m_i - m_i^o}{m_i^o \left(1 - \frac{m_i^o}{n}\right)},$$

где m_i, m_i^o – эмпирическая и теоретическая частота по интервалам соответственно;

S – число интервалов, на которые разбит вариационный ряд наработок.

Чем ближе значение критерия к единице, тем лучше согласуются опытные данные с теоретическим законом распределения.

Номенклатуру показателей надежности, подлежащих нормированию и контролю в условиях эксплуатации, для элементов системы принимаем в соответствии с рекомендациями [3 – 6]:

- коэффициент сохранения эффективности функционирования $K_{эф}$;
- показатели долговечности.

Для оценки коэффициента сохранения эффективности функционирования используем частный случай этого показателя, полученный с учетом характера связи эффективности с продолжительностью пребывания изделия в работоспособном состоянии, временного режима использования по назначению, возможности восстановления. Для изделий, выходной эффект которых пропорционален суммарной продолжительности пребывания в работоспособном состоянии за период эксплуатации, ремонтируемых, с простым режимом работы, восстанавливаемых сразу после отказа, необслуживаемых оценку эффективности производим по коэффициенту готовности K_g :

$$K_g = \frac{T_o}{T_o + T_e},$$

где T_o – средняя наработка на отказ, рассчитанная по формуле

$$T_o = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i,$$

где t_i – i -тая реализация наработки на отказ;
 n – число отказов;
 T_e – среднее время восстановления, рассчитанное по формуле

$$T_e = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \tau_i,$$

где τ_i – i -тая реализация времени восстановления работоспособности, представляющая собой суммарную длительность операций по обслуживанию, устранению отказа, подготовке изделия к эксплуатации.

Для изделий, выходной эффект которых пропорционален суммарной продолжительности пребывания в работоспособном состоянии за период эксплуатации, неремонтируемых, с простым режимом работы (рама коксовой печи, броня) коэффициент эффективности определяем по формуле:

$$K_{эф} \approx \frac{T}{t_3} [1 - P(t_3)],$$

где t_3 – время эксплуатации;
 $P(t_3)$ – вероятность безотказной работы за время эксплуатации.

Отказы элементов системы АДК – события редкие, но с тяжелыми последствиями. Доминирующим фактором при оценке последствий отказов анкеража, дверей, кладки являются простои производства, невыполнение графика выдачи кокса.

Потеря их работоспособного состояния происходит под воздействием нагрузок, обусловленных функционированием. Исходя из этого, для оценки долговечности элементов АДК принимаем гамма-процентный ресурс $T_{p\gamma}$, представляющий собой наработку, в течение которой объект не достигнет предельного состояния с заданной вероятностью γ . Очевидно, что величина $T_{p\gamma}$ удовлетворяет условию

$$P(T_{p\gamma}) = \gamma.$$

Запишем это выражение в статистическом виде для невозстанавливаемых изделий

$$\frac{N(T_{p\gamma})}{N} = \gamma,$$

где $N(T_{p\gamma})$ – число изделий, отказавших к моменту наработки $T_{p\gamma}$;
 N – общее число изделий, поставленных под наблюдение.

Интервальную оценку вероятности безотказной работы можно представить в виде

$$1 - \int_0^{T_{h\gamma}} f(t) dt = \gamma \quad \text{или} \quad \int_0^{T_{h\gamma}} f(t) dt = 1 - \gamma,$$

где $f(t)$ – функция плотности вероятности отказов (закон отказов).

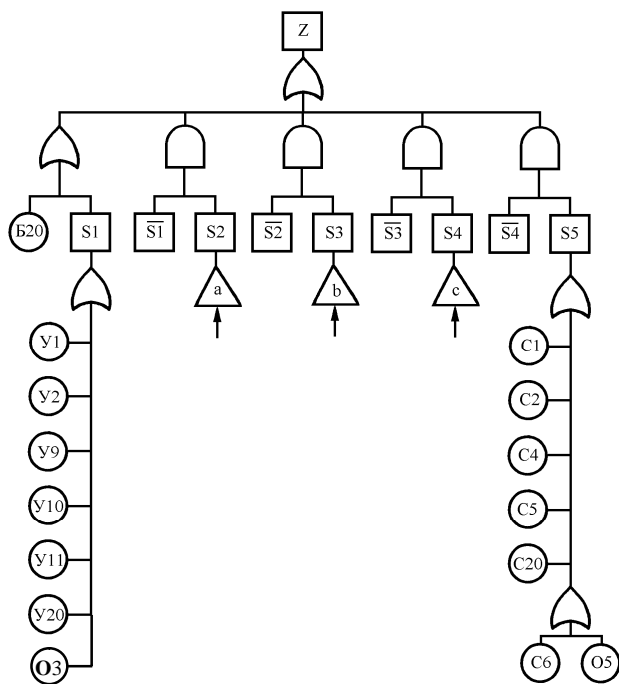
Древовидная схема функционирования (ДСФ) комплекса производства кокса в камерных печах периодического действия представлена на рисунке 1.

На основе анализа ДСФ конечное событие Z – отказ технологического процесса производства кокса – можно представить в виде булева тождества:

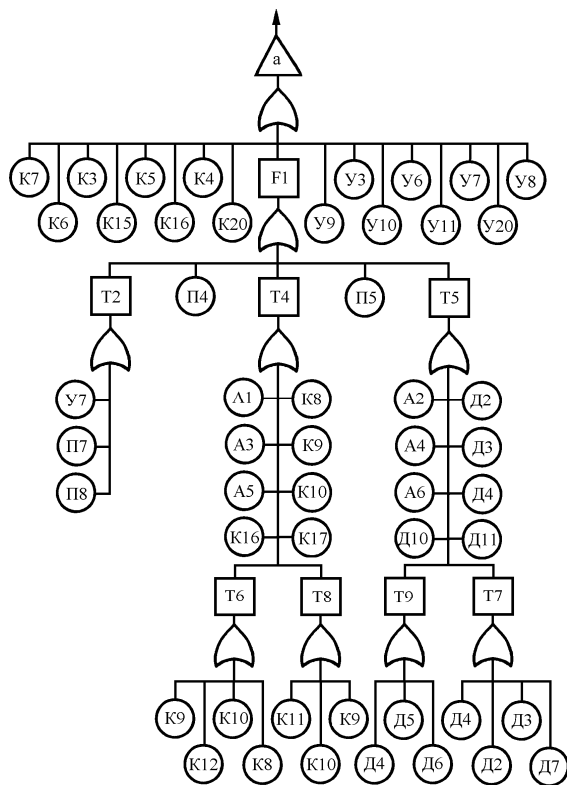
$$Z = (B20 \cup S1) \cup (\bar{S1} \cap S2) \cup (\bar{S2} \cap S3) \cup (\bar{S3} \cap S4) \cup (\bar{S4} \cap S5).$$

Преобразовав данное выражение, имеем:

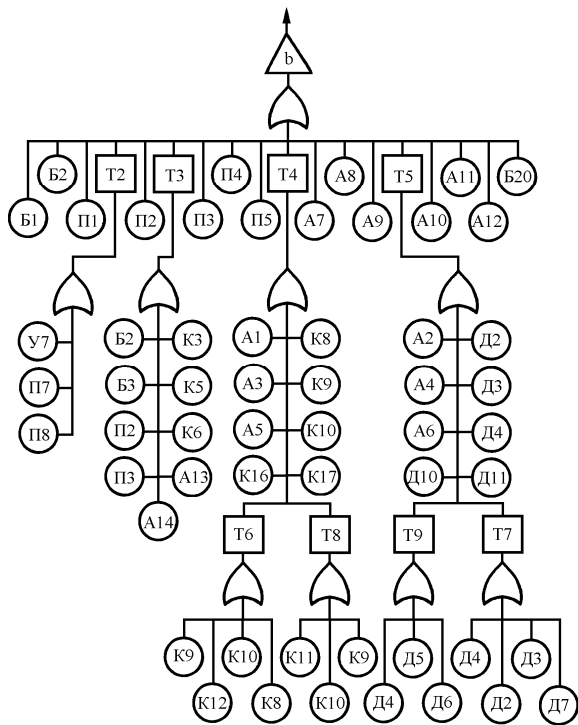
$$Z = (B20 \cup S1) \cup S2 \cup S3 \cup S4 \cup S5. \quad (1)$$



- на стадии загрузки угольной шихтой
коксовой печи:



- на стадии процесса коксования угольной
шихты в данной коксовой печи:



- на стадии выгрузки кокса из печи:

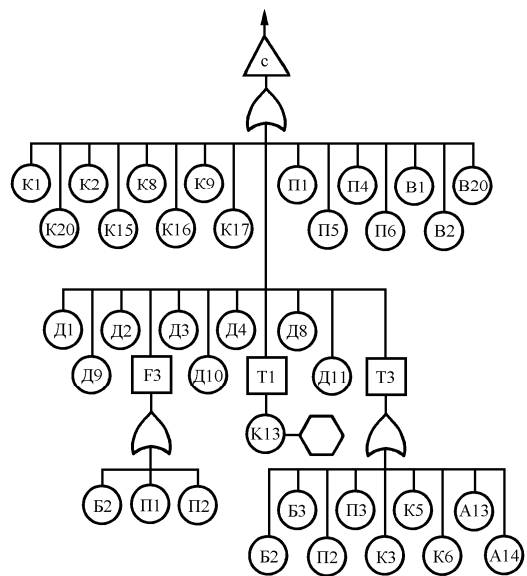


Рисунок 1. ДСФ комплекса производства кокса по традиционной технологии

Возникновение события $S1$ – отказ подачи угольной шихты к коксовым печам – представим в виде булевого тождества:

$$S1 = Y1 \cup Y2 \cup Y9 \cup Y10 \cup Y11 \cup Y20 \cup O3. \quad (2)$$

Возникновение события $S2$ – отказ загрузки угольной шихтой коксовой печи – представим выражением:

$$S2 = K3 \cup K4 \cup K5 \cup K6 \cup K7 \cup K15 \cup K16 \cup K20 \cup F1 \cup \\ \cup Y3 \cup Y9 \cup Y6 \cup Y10 \cup Y7 \cup Y11 \cup Y8 \cup Y20. \quad (3)$$

Возникновение события $F1$ – нарушение герметичности камеры коксования – равнозначно булевому тождеству:

$$F1 = T2 \cup П4 \cup П5 \cup T4 \cup T5. \quad (4)$$

Возникновение события $T2$ – не обеспечена герметичность загрузочных люков – представлено булевым тождеством:

$$T2 = Y7 \cup П7 \cup П8. \quad (5)$$

Возникновение события $T4$ – не обеспечена герметичность двери машинной стороны – описывается выражением:

$$T4 = K8 \cup K9 \cup K10 \cup K17 \cup K16 \cup A1 \cup A3 \cup A5 \cup T6 \cup T8. \quad (6)$$

Наступление события $T6$ – недопустимое заграфичивание двери машинной стороны – представлено выражением:

$$T6 = K9 \cup K10 \cup K12 \cup K8. \quad (7)$$

Наступление события $T8$ – недопустимое заграфичивание зеркал рамы машинной стороны – представлено выражением:

$$T8 = K9 \cup K10 \cup K11. \quad (8)$$

Подставляя выражения (7) и (8) в выражение (6), имеем:

$$T4 = K8 \cup K9 \cup K10 \cup K17 \cup K16 \cup A1 \cup A3 \cup A5 \cup \\ \cup (K9 \cup K10 \cup K12 \cup K8) \cup (K9 \cup K10 \cup K11). \quad (9)$$

Возникновение события $T5$ – не обеспечена герметичность двери коксовой стороны – представлено выражением:

$$T5 = Д2 \cup Д3 \cup Д4 \cup Д10 \cup Д11 \cup A2 \cup A4 \cup A6 \cup T7 \cup T9. \quad (10)$$

Наступление события $T7$ – недопустимое заграфичивание двери коксовой стороны – представлено выражением:

$$T7 = Д2 \cup Д3 \cup Д4 \cup Д7; \quad (11)$$

а наступление события $T9$ – недопустимое заграфичивание зеркал рамы коксовой стороны – представлено выражением:

$$T9 = Д4 \cup Д5 \cup Д6. \quad (12)$$

Подставляя выражения (11) и (12) в выражение (10), имеем:

$$T5 = Д2 \cup Д3 \cup Д4 \cup Д10 \cup Д11 \cup A2 \cup A4 \cup A6 \cup \\ \cup (Д2 \cup Д3 \cup Д4 \cup Д7) \cup (Д4 \cup Д5 \cup Д6). \quad (13)$$

Подставляя выражения (9), (12) и (5) в выражение (4), имеем:

$$F1 = (Y7 \cup П7 \cup П8) \cup П4 \cup П5 \cup \\ \cup (K8 \cup K9 \cup K10 \cup K17 \cup K16 \cup A1 \cup A3 \cup A5) \cup \\ \cup (K9 \cup K10 \cup K12 \cup K8) \cup (K9 \cup K10 \cup K11) \cup \\ \cup (Д2 \cup Д3 \cup Д4 \cup Д10 \cup Д11 \cup A2 \cup A4 \cup A6) \cup \\ \cup (Д2 \cup Д3 \cup Д4 \cup Д7) \cup (Д4 \cup Д5 \cup Д6). \quad (14)$$

Подставив выражение (14) в выражение (3), имеем:

$$S2 = (K6 \cup K7 \cup K3 \cup K15 \cup K16 \cup K4 \cup K20 \cup K5 \cup Y3 \cup Y9 \cup Y6 \cup Y10 \cup Y7 \cup Y11 \cup Y8 \cup Y20) \cup (Y7 \cup П7 \cup П8) \cup П4 \cup П5 \cup (K8 \cup K9 \cup K10 \cup K17 \cup K16 \cup A1 \cup A3 \cup A5) \cup (K9 \cup K10 \cup K12 \cup K8) \cup (K9 \cup K10 \cup K11) \cup (D2 \cup D3 \cup D4 \cup D10 \cup D11 \cup A2 \cup A4 \cup A6) \cup (D2 \cup D3 \cup D4 \cup D7) \cup (D4 \cup D5 \cup D6).$$

Преобразовав данное выражение, имеем:

$$S2 = K3 \cup K4 \cup K5 \cup K6 \cup K7 \cup K8 \cup K9 \cup K10 \cup K11 \cup K12 \cup K15 \cup K16 \cup K20 \cup D2 \cup D3 \cup D4 \cup D5 \cup D6 \cup D7 \cup D10 \cup D11 \cup Y3 \cup Y6 \cup Y7 \cup Y8 \cup Y9 \cup Y10 \cup Y11 \cup Y20 \cup П4 \cup П5 \cup П7 \cup П8 \cup A1 \cup A2 \cup A3 \cup A4 \cup A5 \cup A6. \quad (15)$$

Возникновение события $S3$ – отказ процесса коксования угольной шихты до получения готового кокса – представим в виде булевого тождества:

$$S3 = (B2 \cup B3 \cup П1 \cup П2 \cup П3 \cup П4 \cup П5 \cup A7 \cup A8 \cup A9 \cup A10 \cup A11 \cup A12 \cup B20) \cup T2 \cup T3 \cup T4 \cup T5. \quad (16)$$

Булевы тождества, соответствующие наступлению событий $T2$, $T4$, и $T5$ уже получены ранее – выражения (5), (9) и (13).

Возникновение события $T3$ – недопустимое нарушение процесса коксования – представим в виде тождества:

$$T3 = B2 \cup B3 \cup П2 \cup П3 \cup K3 \cup K5 \cup K6 \cup A13 \cup A14. \quad (17)$$

Подставляя выражения (5), (9), (14) и (17) в выражение (16), имеем:

$$S3 = (B2 \cup B3 \cup П1 \cup П2 \cup П3 \cup П4 \cup П5 \cup A7 \cup A8 \cup A9 \cup A10 \cup A11 \cup A12 \cup B20) \cup (Y7 \cup П7 \cup П8) \cup (B2 \cup B3 \cup П2 \cup П3 \cup K3 \cup K5 \cup K6 \cup A13 \cup A14) \cup (K8 \cup K9 \cup K10 \cup K17 \cup K16 \cup A1 \cup A3 \cup A5) \cup (K9 \cup K10 \cup K12 \cup K8) \cup (K9 \cup K10 \cup K11) \cup (D2 \cup D3 \cup D4 \cup D10 \cup D11 \cup A2 \cup A4 \cup A6) \cup (D2 \cup D3 \cup D4 \cup D7) \cup (D4 \cup D5 \cup D6).$$

Преобразовав данное выражение, имеем:

$$S3 = K3 \cup K5 \cup K6 \cup K8 \cup K9 \cup K10 \cup K11 \cup K12 \cup K16 \cup K17 \cup D2 \cup D3 \cup D4 \cup D5 \cup D6 \cup D7 \cup D10 \cup D11 \cup B2 \cup B3 \cup B20 \cup П1 \cup П2 \cup П3 \cup П4 \cup П5 \cup П7 \cup П8 \cup A1 \cup A2 \cup A3 \cup A4 \cup A5 \cup A6 \cup A7 \cup A8 \cup A9 \cup A10 \cup A11 \cup A12. \quad (18)$$

Возникновение события $S4$ – отказ операции выгрузки кокса из печи с его подачей на тушение – представим в виде тождества:

$$S4 = (K1 \cup K2 \cup K8 \cup K9 \cup K15 \cup K16 \cup K17 \cup K20 \cup П1 \cup П2 \cup П4 \cup П5 \cup П6 \cup B1 \cup B2 \cup B20 \cup D1 \cup D2 \cup D3 \cup D4 \cup D8 \cup D9 \cup D10 \cup D11) \cup F3 \cup T1 \cup T3. \quad (19)$$

Возникновение события $F3$ – недопустимое нарушение теплопередачи через простенок – представим в виде тождества:

$$F3 = B2 \cup П1 \cup П2. \quad (20)$$

Возникновение события $T1$ – недопустимое заграфичивание камеры коксования – соответствует булевому тождеству:

$$T1 = K13. \quad (21)$$

Булево тождество, соответствующее наступлению события $T3$, уже получено ранее – выражение (17). Подставляя выражения (17), (20), (21) в выражение (19), имеем:

$$S4 = (K1 \cup K2 \cup K8 \cup K9 \cup K15 \cup K16 \cup K17 \cup K20 \cup П1 \cup П4 \cup \\ \cup П5 \cup П6 \cup В1 \cup В2 \cup В20 \cup Д1 \cup Д2 \cup Д3 \cup Д4 \cup Д8 \cup Д9 \cup \\ \cup Д10 \cup Д11) \cup (Б2 \cup П1 \cup П2) \cup K13 \cup \\ \cup (Б2 \cup Б3 \cup П2 \cup П3 \cup К3 \cup К5 \cup К6 \cup А13 \cup А14).$$

Преобразовав данное выражение, имеем:

$$S4 = K1 \cup K2 \cup K3 \cup K5 \cup K6 \cup K8 \cup K9 \cup K13 \cup K15 \cup K16 \cup \\ \cup K17 \cup K20 \cup Д1 \cup Д2 \cup Д3 \cup Д4 \cup Д8 \cup Д9 \cup Д10 \cup Д11 \cup \\ \cup В1 \cup В2 \cup В20 \cup Б2 \cup Б3 \cup П1 \cup П2 \cup П3 \cup П4 \cup П5 \cup П6 \cup \\ \cup А13 \cup А14. \quad (22)$$

Возникновение события $S5$ – отказ процесса тушения кокса – представим в виде выражения:

$$S5 = C1 \cup C2 \cup C4 \cup C5 \cup C20 \cup (C6 \cup O5). \quad (23)$$

Подставляя выражения (2), (15), (18), (22), (23) в выражение (1) имеем:

$$Z = Б20 \cup (У1 \cup У2 \cup У9 \cup У10 \cup У11 \cup У20 \cup O3) \cup \\ \cup (К3 \cup К4 \cup К5 \cup К6 \cup К7 \cup К8 \cup К9 \cup К10 \cup К11 \cup К12 \cup \\ \cup К15 \cup К16 \cup К20 \cup Д2 \cup Д3 \cup Д4 \cup Д5 \cup Д6 \cup Д7 \cup \\ \cup Д10 \cup Д11 \cup У3 \cup У6 \cup У7 \cup У8 \cup У9 \cup У10 \cup У11 \cup У20 \cup \\ \cup П4 \cup П5 \cup П7 \cup П8 \cup А1 \cup А2 \cup А3 \cup А4 \cup А5 \cup А6) \cup \\ \cup (К3 \cup К5 \cup К6 \cup К8 \cup К9 \cup К10 \cup К11 \cup К12 \cup К16 \cup К17 \cup \\ \cup Д2 \cup Д3 \cup Д4 \cup Д5 \cup Д6 \cup Д7 \cup Д10 \cup Д11 \cup \\ \cup Б2 \cup Б3 \cup Б20 \cup П1 \cup П2 \cup П3 \cup П4 \cup П5 \cup П7 \cup П8 \cup \\ \cup А1 \cup А2 \cup А3 \cup А4 \cup А5 \cup А6 \cup А7 \cup А8 \cup А9 \cup А10 \cup А11 \cup А12) \cup \\ \cup (К1 \cup К2 \cup К3 \cup К5 \cup К6 \cup К8 \cup К9 \cup К13 \cup К15 \cup К16 \cup \\ \cup К17 \cup К20 \cup Д1 \cup Д2 \cup Д3 \cup Д4 \cup Д8 \cup Д9 \cup Д10 \cup Д11 \cup \\ \cup В1 \cup В2 \cup В20 \cup Б2 \cup Б3 \cup П1 \cup П2 \cup П3 \cup П4 \cup П5 \cup П6 \cup \\ \cup А13 \cup А14) \cup C1 \cup C2 \cup C4 \cup C5 \cup C20 \cup (C6 \cup O5).$$

Преобразовав его, получим:

$$Z = У1 \cup У2 \cup У3 \cup У6 \cup У7 \cup У8 \cup У9 \cup У10 \cup У11 \cup У20 \cup \\ \cup К1 \cup К2 \cup К3 \cup К4 \cup К5 \cup К6 \cup К7 \cup К8 \cup К9 \cup К10 \cup \\ \cup К11 \cup К12 \cup К13 \cup К15 \cup К16 \cup К17 \cup К20 \cup Д1 \cup Д2 \cup \\ \cup Д3 \cup Д4 \cup Д5 \cup Д6 \cup Д7 \cup Д8 \cup Д9 \cup Д10 \cup Д11 \cup \\ \cup В1 \cup В2 \cup В20 \cup Б2 \cup Б3 \cup Б20 \cup П1 \cup П2 \cup П3 \cup П4 \cup \\ \cup П5 \cup П6 \cup П7 \cup П8 \cup А1 \cup А2 \cup А3 \cup А4 \cup А5 \cup А6 \cup А7 \cup \\ \cup А8 \cup А9 \cup А10 \cup А11 \cup А12 \cup А13 \cup А14 \cup C1 \cup C2 \cup C4 \cup \\ \cup C5 \cup C6 \cup C20 \cup O3 \cup O5. \quad (24)$$

Надежность процесса производства кокса по традиционной технологии, как следует из (24), определяется минимальным уровнем вероятности безотказной работы по каждому исходному событию. Чтобы установить какова

значимость того или иного исходного события по его вкладу в возникновение события Z , необходимо определить частоту появления каждого неблагоприятного исходного события по стадиям процесса.

Наибольший 3-й уровень значимости имеют механизмы съема, поворота и перемещения двери коксовыталькователя и двересъемной машины, 2-й уровень – 5 механизмов и устройств коксовыталькователя, 2 – двересъемной машины, 1 – углезагрузочной машины, 2 – подсистемы батарей и 5 – подсистемы элементов коксовых печей. Остальные подсистемы и элементы отнесены к первому уровню значимости. Первый этап анализа надежности, дающий качественную оценку, должен быть дополнен количественными характеристиками надежности элементов и подсистем. Это позволит оценить надежность всей макросистемы коксового производства.

Литература

1. **Диллон Б., Сингх Ч.** Инженерные методы обеспечения надежности систем – М.: Мир, 1984. – 318 с.
2. **Хенли Э., Кумamoto Х.** Надежность технических систем и оценка риска – М.: Машиностроение, 1984. – 526 с.
3. **ГОСТ 27.503-81.** Методы оценки показателей надежности. Надежность в технике. Система сбора и обработки информации. – М.: Гос.комитет СССР по стандартам, 1982. – 56 с.
4. **ДСТУ 2860-94.** Державний стандарт України. Надійність техніки. Терміни та визначення. – К.: Держстандарт, 1996. – 48 с.
5. **ГОСТ 27.103-83 (СТ СЭВ 3943-82).** Надежность в технике. Критерии отказов и предельных состояний. – М.: Изд-во стандартов, 1983. – 5 с.
6. **ГОСТ 27.502-83 (СТ СЭВ 3944-82).** Надежность в технике. Система сбора и обработки информации. Планирование наблюдений. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 23 с.