

поляризации и периодическое изменение эллиптичности во всех участках отраженного излучения. Для рассматриваемых отражателей характерно наличие двух состояний, когда формы поляризации падающего и отраженного лучей имеют одинаковый характер. При анализе работы углового отражателя можно выделить три различные задачи получения требуемой формы поляризации на выходе: определение показателя преломления оптического материала и спектрального диапазона оптического излучения, либо при заданных значениях этих параметров определение необходимой формы поляризации падающего излучения, а так же определение влияния направления падения лучей на его входную грань.

И.И. Франков, Ю.В. Жердецкий
(УО «ГГУ им. Ф. Скорины», Гомель)
Науч. рук. **Е.И. Сукач**, канд. техн. наук, доцент

МОДЕЛИРОВАНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ПРИ НАЛИЧИИ ЭЛЕМЕНТОВ ПОТЕНЦИАЛЬНОЙ ОПАСНОСТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДЕРЕВЬЕВ ОТКАЗОВ

К сбою в работе технологического процесса производства (ТПП) могут приводить сбои в работе подсистемы ТПП, отказы при функционировании системы управления, недостаточное количество и состав ресурсов, необходимых для реализации технологического цикла, которые в предельном случае являются причиной аварии [1].

При проектировании ТПП с элементами потенциальной опасности должны быть учтены наиболее критические режимы реализации технологического цикла, которые не проявляются в обычных условиях функционирования. Как правило, требуется также определить насколько ТПП чувствителен к изменениям условий внешней среды, отказу технологического оборудования, недостатку ресурсов и др. Учитывая сложность и масштабность процессов, подлежащих воссозданию, большое количество параметров, разнородный характер процессов взаимодействия ТПП с внешним окружением, наиболее перспективным для решения задачи оценки безопасности функционирования ТПП является применение инструментальных средств, позволяющих автоматизировать все стадии анализа безопасности реализации ТПП с учётом имеющейся статистической информации. С использованием подобных средств важно провести проектное моделирование ТПП, оценить по надёжности/безопасности различные варианты реализации ТПП и выбрать из них лучший в соответствии с критерием оценки.

Один из способов анализа надёжности и безопасности ТПП возможен с использованием деревьев отказов. При этом тщательному анализу причин аварий в ходе реализации ТПП и выработке мероприятий, наиболее эффективных для их устранения, способствует построение дерева отказов и выявление неработоспособных состояний элементарных составляющих ТПП: технологических операций (ТХО). Такой анализ проводят для каждого режима выполнения ТПП с учётом влияния случайных факторов, определяющих траекторию реализации процесса. Дерево отказов лежит в основе вероятностной модели причинно-следственных связей отказов системы с отказами ее элементов и другими событиями. Анализ возникновения отказа включает рассмотрение последовательности и комбинаций нарушений в процессе выполнения ТХО. Он представляет собой многоуровневую древовидную структуру причинных взаимосвязей, полученных в результате прослеживания опасных ситуаций в обратном порядке, позволяющих отыскать возможные причины их возникновения [2].

Для проведения качественного анализа требуется понимание схемы выполнения ТПП и причин его сбоев, а также того, как технически может произойти авария в ходе реализации ТПП. С целью облегчения анализа, как правило, используются детальные схемы, а для проведения количественного анализа необходимы данные о частоте отказов структурных элементов ТПП или вероятности того, что система будет находиться в состоянии отказа для всех базовых элементов дерева отказов.

Разработка дерева отказов ТПП включает следующие этапы:

- определяется вершинное событие (авария в ходе реализации ТПП);
- начиная с вершинного события идентифицируются все возможные непосредственные причины аварии, приводящие к возникновению вершинного события (определяется состав потенциально опасных ТХО, структурные и временные связи между ними);
- каждая из выявленных причин аварии анализируется на предмет выяснения, какие причины могут к ней привести (определяются потенциально опасные микротехнологические операции (МТХО));
- пошаговая идентификация нежелательных вариантов реализации ТПП продолжается последовательно на более высоких уровнях детализации производственного процесса, пока дальнейший анализ не станет непродуктивным (события и факторы-причины, рассматриваемые на самом нижнем уровне, называются базовыми событиями);
- если базовым событиям могут быть приписаны вероятности, то можно вычислить вероятность вершинного события.

Для корректного количественного анализа нужно показать, что для каждого «узла» все входы одновременно и необходимы, и достаточны для того, чтобы «выходное» событие произошло. В противном случае дерево отказов непригодно для вероятностного анализа, хотя при этом может являться важным инструментом отображения причинно-следственных связей.

Главное преимущество дерева отказов (по сравнению с другими методами) заключается в том, что анализ ограничивается выявлением только тех элементов ТПП и событий, которые приводят к данному виду отказа ТПП или аварии.

Для автоматизации построения деревьев отказа, отражающих схему реализации ТПП, включающую последовательное согласованное выполнение ТХО, разработано приложение-конструктор (рисунок 1) деревьев отказа с возможностью описания структуры сбоев и отказов с использованием логических символов. Для решения данной задачи, был использован язык С# и платформа Windows Forms.

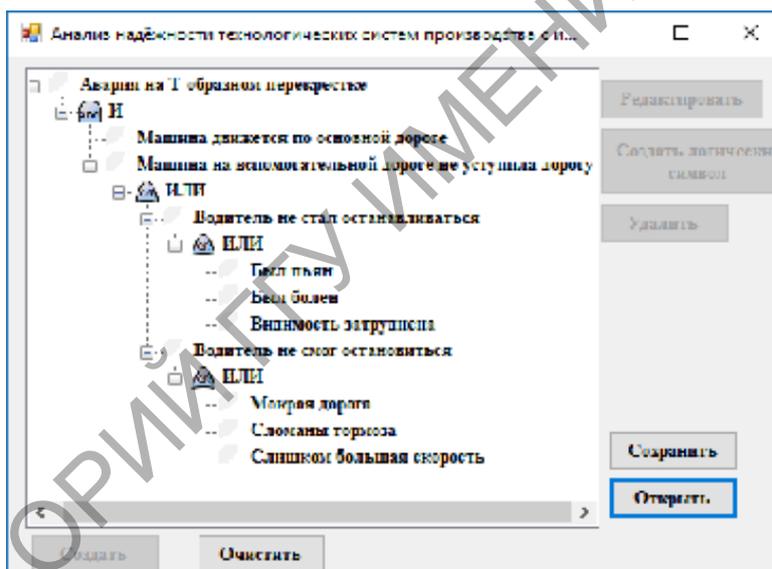


Рисунок 1 – Приложение-конструктор деревьев отказа

Разработанное программное обеспечение может быть использовано для решения следующих задач:

- выявления отказов на уровне элементов ТПП и оценки их влияния на надёжность системы (ТПП);
- сравнительного анализа вариантов организации ТПП для различного состава ТХО и вероятностей их надёжного выполнения;
- определения надёжного варианта выполнения ТПП в условиях отказов (опасных отказов) ТХО.

Литература

1. Жердецкий, Ю.В. Сравнительный анализ надежности вариантов организации технологических систем производства с элементами потенциальной опасности // Ю.В. Жердецкий // Сборник статей «Творчество молодых», ГГУ им. Ф. Скорины, 2015 г., ч. 1. С.162–165.

2. Проурзин, В.А. Алгоритмы численного анализа надежности и риска для сложной системы на основе деревьев отказов. // Труды Международной Научной Школы 'Моделирование и анализ безопасности, риска и качества в сложных системах' (МА БРК – 2001). СПб.: Издательство ООО «НПО «Омега»', 2001, – С. 263–268.

А.А. Хорт (УО «ГГТУ им. П.О. Сухого», Гомель)
Науч. рук. Д.Г. Кроль, канд. физ.-мат. наук, доцент

ВОЗДЕЙСТВИЕ ВНЕШНЕЙ СИЛЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ НА ВЯЗКОУПРУГОЕ НЕИЗОТЕРМИЧЕСКОЕ ТЕЧЕНИЯ КУЭТТА

Плоское двумерное стационарное течение несжимаемой сплошной среды определяется уравнениями [1]:

$$\rho v_k \frac{\partial v_i}{\partial x_k} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ik}}{\partial x_k} + \rho F_i, \quad \frac{\partial v_k}{\partial x_k} = 0, \quad (1)$$

$$\rho c_p v_k \frac{\partial T}{\partial x_k} = -\frac{\partial q_k}{\partial x_k} + \Phi + q_v, \quad q_i = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x_i}, \quad (2)$$

$$v = \mu / \rho \quad i, k = 1, 2; \quad \rho, c_p, \lambda, \mu - \text{const.}$$

Реологическое уравнение состояния вязкоупругой жидкости Максвелла возьмем в следующей форме записи:

$$\tau_{ij} + \gamma \left[v_k \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_k} + m(\tau_{ik} \omega_{kj} - \omega_{ik} \tau_{kj}) \right] = 2\mu e_{ij}, \quad (3)$$

$$2e_{ij} = \frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i}, \quad 2\omega_{ij} = \frac{\partial v_i}{\partial x_j} - \frac{\partial v_j}{\partial x_i}.$$

Здесь $x_1 = x$, $x_2 = y$ – декартовы прямоугольные координаты; $v(v_1, v_2)$ – вектор скорости; ρ – плотность; p – давление; T – температура; $q(q_1, q_2)$ – вектор удельного теплового потока; c_p – удельная теплоемкость; λ – коэффициент теплопроводности; q_v – объемная мощность внутренних источников энергии; τ_{ij} – компоненты девиатора тензора напряжений; e_{ij} – компоненты тензора скоростей деформации; μ – коэф-