

СЕКЦИЯ 4. БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ, ПРОМЫШЛЕННЫЕ РИСКИ И МЕТОДЫ ИХ СНИЖЕНИЯ

Научная статья
УДК 001.8, 004.82

ОТ ДЕРЕВЬЕВ ОТКАЗОВ К СЕТЯМ ПЕТРИ

Валерий Викторович Артюхин¹

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций МЧС России» (федеральный центр науки и высоких технологий), г. Москва, Россия

Артюхин В.В. ikshot@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6215-103X>

Аннотация. В работе обсуждается переход от деревьев отказов, используемых при анализе рисков негативных событий, к сетям Петри, а также польза, которая может быть получена посредством такого перехода. Новизна заключается в демонстрации относительной легкости представления деревьев отказов в виде сетей Петри.

Ключевые слова: дерево отказов, сеть Петри, моделирование, временная динамика, граф.

Для цитирования: Артюхин В.В. От деревьев отказов к сетям петри // Техногенная и природная безопасность. Медицина катастроф. SAFETY-2023: Сборник научных трудов VII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием / под редакцией Рогачевой С.М., Панкина К.Е., Шиловой Н.А., Углановой В.З.: ФГБОУ ВО Вавиловский университет. – Саратов, ООО «ЦеСАин», 2023. С.382-386.

Original article

FROM FAULT TREES TO PETRI NETS

Valeriy Viktorovich Artiukhin¹

¹Federal State Budgetary Establishment “All-Russian Research Institute for Civil Defense and Emergencies of the EMERCOM of Russia” (Federal Science and High Technology Center), Moscow, Russia

Abstract: The paper discusses the transition from fault trees used in the analysis of the risks of negative events to Petri nets, as well as the benefits that can be obtained from such a transition. The novelty lies in demonstrating the relative simplicity of representing fault trees in the form of Petri nets.

Keywords: fault trees, Petri net, modeling, temporal dynamic, graph.

For citation: Artiukhin V.V. From fault trees to petri nets // Technogenic and environmental safety. Emergency Medicine. SAFETY-2023: Scientific Works Book of the VII All-Russian scientific and practical conference with international participation / Ed. by Rogacheva S.M., Pankin K.E., Shilova N.A., Uglanova V.Z.: Vavilov University. – Saratov, TseSAin LLC, 2023. p.382-386.

Одной из задач в разработке сложных технических систем является анализ и прогнозирование возможных аварий и чрезвычайных ситуаций. Для этого используются различные методы и модели, такие как деревья отказов и сети Петри.

Метод анализа дерева отказов (fault tree analysis, FTA) способствует тщательному анализу причин отказов технических систем и выработке мероприятий, наиболее эффективных для их устранения. Такой анализ проводят для каждого периода функционирования, каждой части или системы в целом [1].

Сети Петри – математический аппарат для моделирования динамических дискретных систем, впервые описанный немецким математиком и исследователем в области информатики Карлом Петри в 1962 году. Модель в нотации Петри представляет двудольный ориентированный граф. Вершины одного семейства – это «условия» или «позиции». В позициях могут располагать «метки» или «фишки». Вершины другого – «события» или «переходы». Дуга (направленное ребро) графа не может соединять вершины одного и того же семейства. Таким образом, условие может соединяться только с событиями, а событие только с условиями [2].

С точки зрения семантики модели это означает, что событию предшествуют некоторые условия (предусловия), а само оно приводит к возникновению других условий (постусловий). Условие считается выполненным, если в соответствующей вершине находится как минимум столько меток, сколько дуг идет от условия к событию. Для запуска события необходимо, чтобы были выполнены все предусловия. В этом случае событие «происходит» и переход запускается, он удаляет из каждой вершины-предусловия столько меток, сколько дуг из предусловия идет к

этому событию и помещает в каждое из постусловий столько меток, сколько дуг идет в него.

В простейшем случае без расширений концепции моделирования срабатывание перехода – это неделимое мгновенное событие. Это отличает сетевые события от событий на дереве отказов, где временная динамика не рассматривается (если не оговорено другое, но и в том случае учитывается лишь порядок реализации событий).

На самом деле, событиям на дереве отказов соответствуют не события/переходы, а условия/позиции в сети Петри. События же в том смысле, как они понимаются в сети Петри, в дереве отказов отсутствуют, что ограничивает сложность системы, ситуаций и вариантов развития событий, которые могут быть представлены таким образом.

Во многих случаях представляется целесообразным дополнить модель в виде дерева отказов моделью в виде сети Петри, поскольку помимо большинства целей, достижением которых обуславливается применение аппарата деревьев отказов, сети Петри позволяют достичь дополнительных целей, связанных с моделированием временной динамики разворачивающихся аварийных ситуаций [3]. При этом указанное преимущество обеспечивается посредством незначительного увеличения сложности моделирования и графического представления модели (последнее иногда оказывается даже проще и компактнее за счет устранения дубликатов условий, хотя возможно и разрастание графа за счет дополнительных вершин-переходов).

Рассмотрим пример простого дерева отказов для пожара и аналогичную ему сеть Петри, моделирующую тот же процесс (рисунке 1, 2).

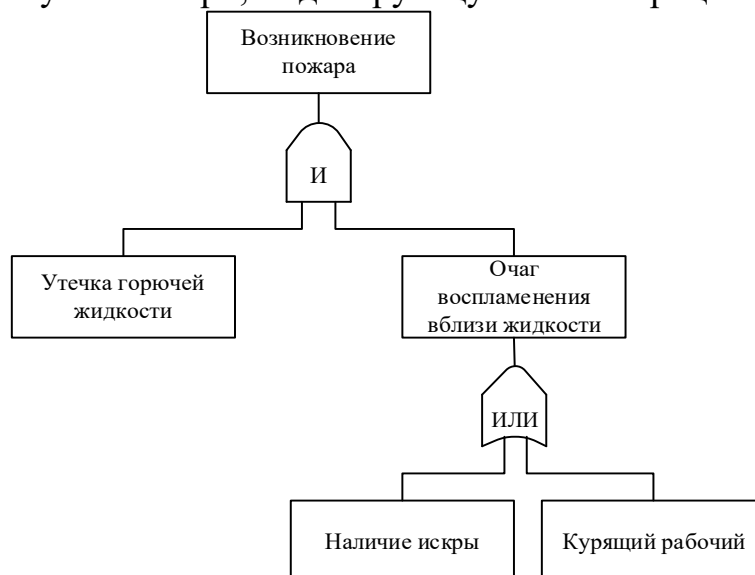


Рисунок 1 – Пример дерева отказов, модель ситуации возникновения пожара жидкости [4]

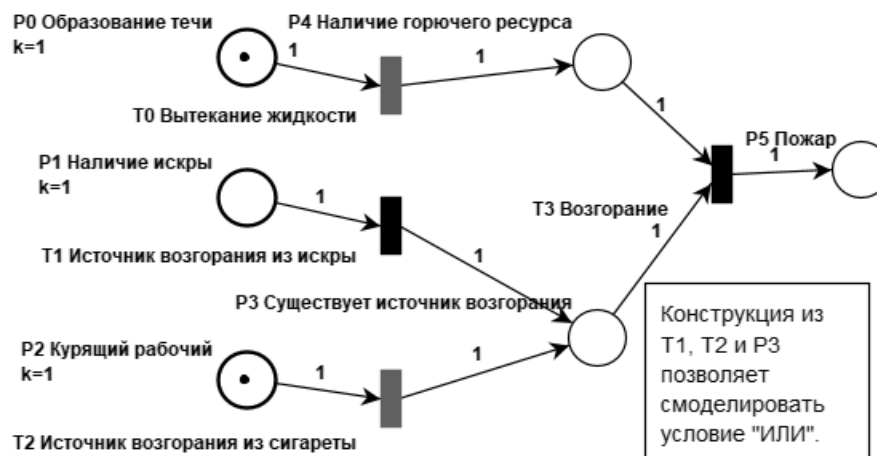


Рисунок 2 – Пример представления дерева отказов для ситуации пожара

Изображение сети на рисунке 2 построено в нотации, принятой в программе PIPE2 [5], и с применением этой программы; круги соответствуют условиям, тёмные прямоугольники (T1 и T3) – мгновенным переходам, а более светлые прямоугольники (T0 и T2) – переходам, которые возбуждены и могут быть выполнены в текущей конфигурации сети (маркировке).

Сеть даже для данного простого случая может быть и сложнее:

- если, например, речь идет не об утечке жидкости, а об утечке газа, мы можем учесть, что для формирования концентрации газа, достаточной для воспламенения, требуется определенное время (установив время срабатывания перехода T0 в виде параметров случайной величины);

- мы также можем учесть время актуальности угрозы источника воспламенения в виде сигареты или искры, которые могут потухнуть задолго до того, как концентрация газа способна будет обеспечить воспламенение (сделать это можно с помощью «ингибиторной» дуги, которая запрещает срабатывание перехода, если в соответствующем предусловии имеется метка);

- различные расширения минимального аппарата сетей Петри позволяют представлять системы различной сложности.

И что немаловажно, принятый подход к построению сетей Петри предполагает возможность построения сложных сетей из простых элементов.

Разумеется, наиболее важным вопросом при переходе от одной нотации и даже больше методологии моделирования к другой является вопрос о том, что это дает для возможностей анализа и/или достижения практических целей. Сети Петри – это аппарат и инструмент для исследования систем, математическим аппаратом которого является теория комплектов, то есть сети Петри полностью описываются языком математики, что открывает широкое пространство для анализа (в частности,

матричного). Добавляя к этому функции, уже реализованные в программном обеспечении, мы можем получить ответы на различные вопросы:

- какие начальные маркировки приводят к возникновению негативного события, а какие нет;
- сколько времени в среднем требуется для возникновения негативного события при разных начальных условиях (симуляция, метод Монте-Карло);
- как часто (в среднем) оказываются выполнены те или иные промежуточные условия возникновения негативного события;
- вопросы более сложные, например «верно ли, что проход из состояний группы «начальных» в состояния группы «итоговых» занимает меньше 5 единиц времени с вероятностью как минимум 0.98?

Кроме того, для моделирования на основе сетей Петри существует специализированное программное обеспечение, позволяющее как создавать и хранить модель в виде графа и параметров его элементов, так и производить расчеты на графе, и демонстрировать динамику модели в виде анимации. Некоторые программы будут рассмотрены далее в этой работе.

Список использованных источников

1. Дерево отказов, как метод структурного анализа FTA. Примеры внедрения. URL: <https://www.itexpert.ru/rus/biblio/detail.php?ID=16266> (дата обращения: 19.07.2023).
2. Кудж С. А., Логинова А. С. Моделирование с использованием сетей Петри // Вестник МГТУ МИРЭА. 2015. № 1. С. 10-22.
3. Булавский П.Е., Ваисов О.К., Быстров И.Н. Моделирование и оценка времени поиска и устранения отказов систем железнодорожной автоматики и телемеханики с помощью сетей Петри // Автоматика на транспорте. 2019. № 4. С. 478-489.
4. Агеева В.Н. Методические указания по проведению практических занятий и самостоятельной работе по дисциплине «Надежность нефтегазового оборудования». URL: https://www.gubkin.ru/faculty/mechanical_engineering/chairs_and_departments/quality_management_standardization_and_certification/files/4_ssilka/25.pdf. (дата обращения 01.07.2023).
5. Platform Independent Petri net Editor 2. URL: <https://pipe2.sourceforge.net/index.html>. (дата обращения 01.07.2023).

© Артюхин В.В., 2023