

УДК 004.4

АНАЛИЗ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ГРАФИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОТКАЗОВ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Спирин М.С., к.т.н., начальник 2 научно-исследовательского отдела
Пляго А.В., к.т.н., научный сотрудник 2 научно-исследовательского отдела
Дунаев М.О., старший оператор 4 роты (научной)
Военный инновационный технополис «ЭРА»,
г. Анапа

Аннотация. Данная статья посвящена анализу современных программных инструментов, используемых для построения графовых моделей. Рассматриваются основные методы построения и анализа деревьев отказов, используемые для оценки надежности сложных технических систем. Обзор охватывает наиболее распространенные программы, применяемые специалистами в области риск-менеджмента и инженерии надежности, включая преимущества и ограничения каждого инструмента. Особое внимание уделено удобству интерфейса, производительности, совместимости с различными платформами, а также поддержке экспериментальных подходов к анализу графовых структур, включая вычислительную сложность, параллелизацию и масштабируемость.

Ключевые слова: моделирование графов, специализированные программные средства, надежность системы, анализ риска.

В современном мире сложных технических систем, сетей связи и IT-инфраструктуры анализ отказоустойчивости приобретает критическое значение для обеспечения надежности и минимизации рисков [1, 2]. Графовые модели отказов, где вершины и ребра представляют компоненты и связи с возможными сбоями, служат мощным инструментом для симуляции сценариев отказов и оценки связности. А моделирование графов отказов является одним из ключевых методов анализа надежности сложных технических систем [3, 4]. Этот метод позволяет выявить потенциальные причины возникновения неисправностей и оценить вероятность наступления нежелательных событий. Современные программные инструменты значительно упрощают построение и анализ графов отказов, обеспечивая автоматизацию расчетов и визуализацию результатов. Настоящая статья представляет собой систематизированный анализ наиболее популярных программных продуктов, используемых в инженерной практике, с целью выявления их возможностей, преимуществ и ограничений.

Стоит отметить, что процесс моделирования в целом является достаточно сложной и трудоемкой задачей, так как построенные модели должны

быть подобны реальным, а протекающие в них (или оказывающие влияние) процессы должны соответствовать реальным.

С целью оптимизации задач построения систем путем граф-моделирования существуют специализированные программные продукты, такие как yEd Graph Editor, АСМОграф, Microsoft Visio, Visual Paradigm, Graphviz, Gephi и другие. Остановимся на первых четырех программах.

1 yEd Graph Editor

Рассмотрим первую программу для моделирования и визуализации графов отказов – yEd Graph Editor, разработанную компанией yWorks [5]. Она доступна для Windows, macOS и Linux и поддерживает широкий спектр операций с графовыми структурами, включая автоматическое размещение узлов, настройку внешнего вида элементов и экспорт результатов в различные форматы. В yEd Graph Editor реализован богатый арсенал инструментов, дающий возможность конструировать и тонко настраивать графы независимо от их сложности. Библиотека программы включает множество базовых компонентов: узлы, ребра, текстовые блоки, иконки и прочие элементы, с помощью которых можно создавать графы в любом желаемом формате и визуальном стиле.

Функционал yEd Graph Editor включает механизмы автоматической компоновки вершин и ребер, делая модель отказов наглядной для анализа связности [6]. Программа поддерживает реализацию различных алгоритмов маршрутизации ребер, что позволяет оптимизировать топологию графа. yEd Graph Editor дает возможность выстраивать самые разные графики и диаграммы, включая деревья, связные графы, ориентированные графы, блок-схемы и так далее. С помощью различных инструментов и алгоритмов можно анализировать данные и находить зависимости между ними. yEd Graph Editor также позволяет импортировать данные из других программ, таких как Microsoft Excel и Microsoft Visio, и использовать их для создания графиков и диаграмм.

Некоторые из основных функций программы включают в себя [6]:

- построение и настройку узлов и ребер;
- использование макетов для автоматического размещения элементов на графике;
- настройку внешнего вида элементов и графиков;
- использование различных алгоритмов для анализа и визуализации данных.

Пользоваться yEd Graph Editor легко и удобно, поскольку интерфейс отличается простотой восприятия (рис. 1). Панель инструментов, свойства элементов и предустановленные палитры ускоряют работу с деревьями отказов или сетевыми топологиями. Панель инструментов содержит необходимые команды для добавления и изменения узлов, ребер и прочих компонентов графических схем [6]. Рабочая область служит местом непосредственного взаимодействия с графом, позволяя просматривать и редактировать структуру. Боковая панель свойств используется для тонкой настройки характеристик и внешнего облика отдельных элементов графа.

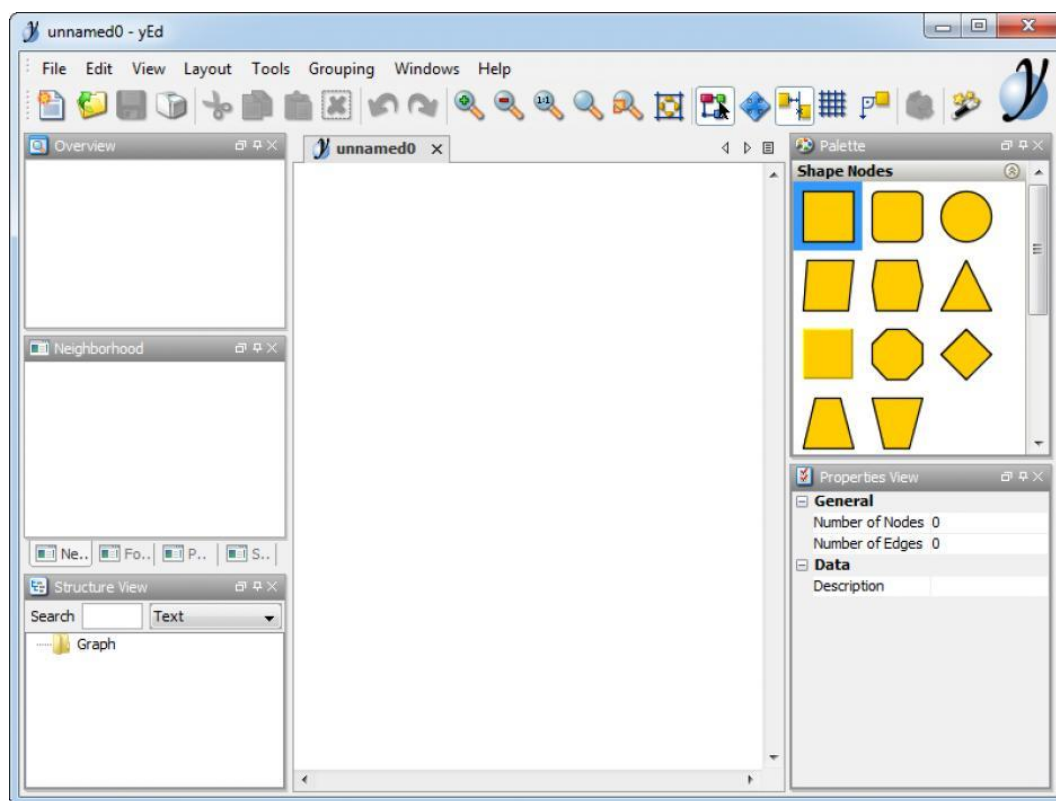


Рисунок 1 – Графический интерфейс программы yEd Graph Editor

К основным достоинствам yEd Graph Editor можно отнести простоту освоения, гибкость настроек, кросс-платформенность и широкую поддержку форматов импорта-экспорта. Однако в программе отсутствуют встроенные функции автоматического расчета вероятности отказов и статистического анализа. Также недоступна поддержка многоуровневого иерархического представления графов, что затрудняет обработку крупных систем с множеством уровней вложенности.

yEd Graph Editor является удобным инструментом для быстрого и качественного создания графов отказов. Его широкие функциональные возможности делают программу подходящей для начального этапа проектирования и анализа надежности систем. Однако отсутствие специализированных модулей анализа требует дополнительного внимания при переходе к этапу количественного исследования вероятностей отказов.

2 АСМОграф

Рассмотрим следующую программу для моделирования и анализа графов отказов. АСМОграф – кроссплатформенный векторный графический редактор, предназначенный для анализа и моделирования сложных технических систем путем построения графов отказов [7]. Программа разработана компанией АО «Информатика» специально для инженерно-технических специалистов, занимающихся оценкой надежности оборудования и оптимизацией эксплуатационных процессов. АСМОграф выступает альтернативой зарубежным решениям, таким как Microsoft Visio, AutoCAD и MapInfo, обеспечивая совме-

стимость с файлами этих программ. Программный продукт работает на операционных системах Windows и различных дистрибутивах Linux. Также доступна веб-версия, позволяющая работать через браузеры Yandex, Google Chrome и Mozilla Firefox.

АСМОграф позволяет создавать модели отказов сложной техники в виде ориентированных графов, состоящих из узлов и дуг [8]. Каждый узел соответствует определенному компоненту системы, а дуги показывают взаимосвязи и зависимости между ними. Это позволяет наглядно представить пути возникновения неисправностей и оценить влияние каждого компонента на общую надежность системы. Благодаря встроенным алгоритмам расчета АСМОграф автоматически вычисляет вероятности отказов отдельных компонентов и всей системы в целом [8]. Это помогает выявить наиболее уязвимые элементы и принять меры по повышению их надежности. Возможность запуска симуляций позволяет наблюдать поведение системы в условиях различных отказов. Пользователь может варьировать исходные условия и параметры моделей, имитируя реальные ситуации, что повышает точность прогнозов и решений.

Интерфейс программы интуитивно понятен и удобен в работе (рис. 2). Все основные инструменты находятся на панели инструментов, что облегчает доступ к ним даже начинающим пользователям. Для повышения эффективности работы предусмотрены горячие клавиши и всплывающие подсказки, упрощающие освоение функционала.

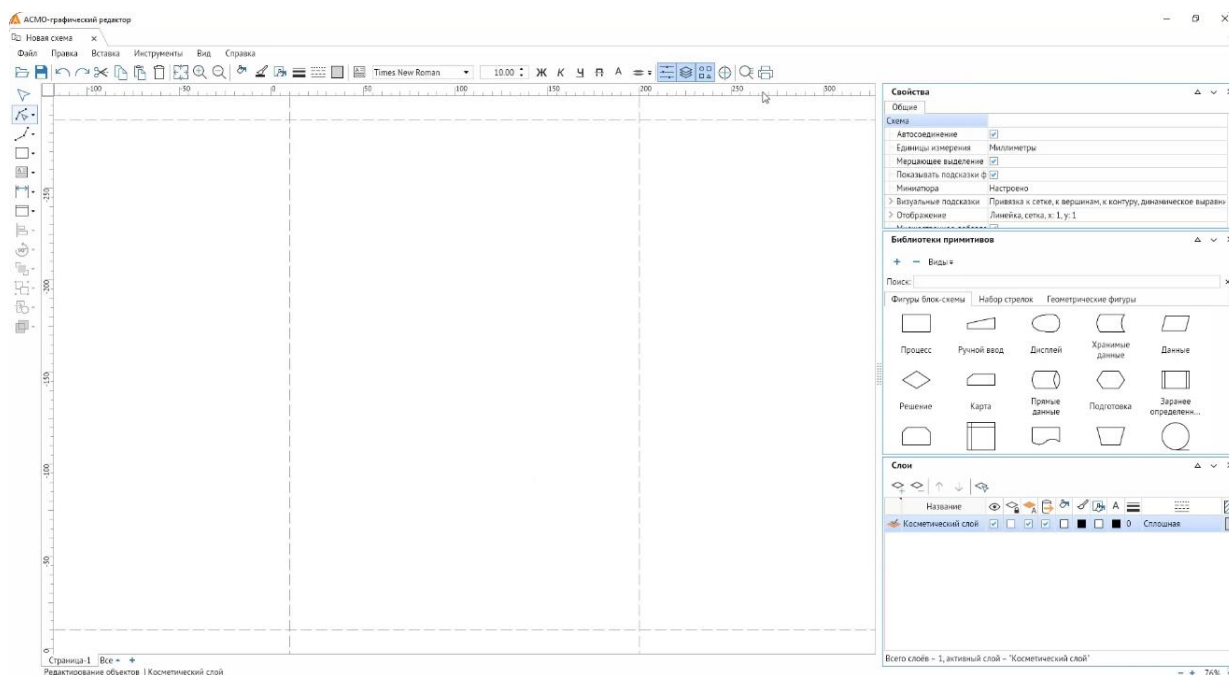


Рисунок 2 – Графический интерфейс программного обеспечения АСМОграф

АСМОграф поддерживает функции черчения благодаря сочетанию стандартизированных элементов (ГОСТ-примитивов) и встроенных инструментов графического редактирования [8]. Программа предоставляет полный набор размерных обозначений: линейные размеры, радиусы, диаметры, угловые размеры, выноски. В АСМОграфе реализована полная параметрическая настройка

графических элементов схемы: масштабирование, вращение на произвольный угол, модификация визуальных атрибутов (цвет заливки и линий, фоновые параметры, толщина и тип линий, стили заливки, включая градиенты и различные варианты штриховки, уровень прозрачности).

Отметим ключевые преимущества рассматриваемой программы:

- свободное распространение и соответствие российским стандартам;
- многофункциональность, которая объединяет в себе широкий спектр функций для сбора данных, анализа графов, формирования отчетов и мониторинга изменений;
- удобная генерация отчетов и построение визуализаций (инфографик);
- интеграция с социальными сетями и веб-ресурсами.

Несмотря на удобство интерфейса, работа с данным программным средством требует наличия квалифицированных специалистов, знакомых с методами анализа надежности и статистическими моделями. Ограниченность объема обрабатываемых данных, невысокая скорость обновления данных и требовательность к процессору при работе с данными большого объема являются основными недостатками программы АСМОГраф.

Таким образом, АСМОГраф представляет собой удобный и эффективный инструмент для моделирования графов отказов и анализа риска. Несмотря на некоторые недостатки, его преимущества делают программу привлекательной для компаний любого масштаба и бюджетных уровней.

3 Microsoft Visio

Далее отметим программное обеспечение Microsoft Visio [9], широко используемое инженерами, специалистами по обеспечению надежности и риск-менеджменту для моделирования графов отказов и оценки рисков. Хотя Visio изначально создавалась как средство для рисования схем и бизнес-диаграмм, программа нашла свое применение и в сфере технического анализа, став удобным инструментом для наглядного представления причинно-следственных связей и разработки моделей отказов.

Microsoft Visio предлагает обширный инструментарий для создания структурированных и информативных графов отказов. Инженеры используют стандартные фигуры и шаблоны для обозначения компонентов системы, переходов состояний и конечных точек отказов. Каждая вершина графа обозначает событие или состояние элемента системы, а каждая линия (или ребро) показывает связь между элементами.

К основным возможностям Microsoft Visio для моделирования графов отказов относятся [10]:

- широкий выбор стандартных фигур и символов, облегчающих создание профессиональных схем;
- гибкая настройка внешнего вида диаграмм, позволяющая выделять важные узлы и подчеркивать ключевые элементы;
- простые средства импорта данных из сторонних приложений и баз данных, ускоряющие подготовку и заполнение схем;

- масштабируемость проектов, поддержка больших и сложных сетей отказов.

Рассматриваемая программа отличается удобным и адаптивным графическим интерфейсом, идеально подходящим для построения графовых моделей, диаграмм, схем процессов и векторных изображений (рис. 3). Рабочая зона включает ленту с несколькими разделами («Файл», «Главная», «Вставка», «Дизайн», «Данные»), боковую панель с шаблонами элементов слева и рабочую область для чертежа посередине экрана. Интерфейс можно персонализировать, настраивая расположение панелей, пункты быстрого доступа и стили оформления согласно предпочтениям пользователя.

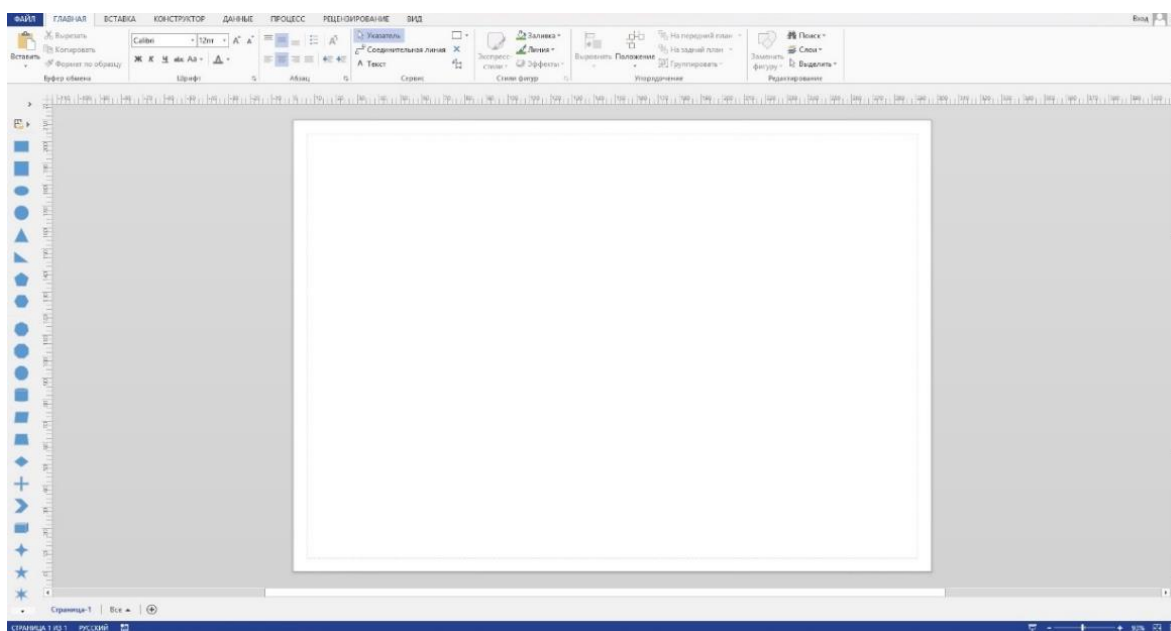


Рисунок 3 – Графический интерфейс программного продукта Microsoft Visio

Microsoft Visio предоставляет готовые шаблоны метода детальной оценки потенциальных отказов в категориях «Инженерные схемы» и «Бизнес-диаграммы» с библиотеками символов: круги для базовых событий, прямоугольники для промежуточных, логические ворота (И, ИЛИ, НЕ) и ромбы для конечных событий, плюс опцию пользовательских библиотек [10]. Инструментарий программы включает автоматическое выравнивание, динамические соединители с настраиваемыми стилями, иерархическое группирование подсистем и многоуровневые вложенные схемы для сложных графов отказов. Анализ обеспечивается привязкой метаданных (вероятности, интенсивности), формулами через Excel-интеграцию, цветовым кодированием критических путей, примечаниями и гиперссылками на документы.

Несмотря на широкие функциональные возможности, в Microsoft Visio отсутствует встроенный механизм автоматического расчета вероятностей отказов и построения матриц инцидентности.

Microsoft Visio отлично подходит для визуального представления графов отказов и является мощным средством документирования и презентации результатов анализа. Простота и дружелюбный интерфейс программы делают

ее доступной для широкого круга специалистов, однако для полноценного анализа отказов рекомендуется дополнять Visio специальными аналитическими средствами либо разработать собственные методики обработки собранных данных.

4 Visual Paradigm

Рассмотрим заключительное в данной статье программное обеспечение для моделирования графов отказов – Visual Paradigm [11]. Программа является мощным инструментом бизнес-моделирования, поддерживающим широкий спектр методов анализа и разработки, включая UML, SysML, BPMN и ARIS eEPC. Хотя программа изначально создавалась для построения диаграмм UML и архитектурных моделей, ее функциональность расширилась и теперь включает поддержку сложных инженерных процессов, таких как разработка технических спецификаций, проектирование баз данных и создание графов отказов.

Visual Paradigm предоставляет не просто редактор фигур, а полноценную среду для создания и, что самое важное, расчета графов отказов. Программа предлагает панель инструментов с полным набором стандартных символов графов отказов: события (основное, промежуточное, базовое), логические вентили (И, ИЛИ, исключающее ИЛИ, приоритетное И, запрет), а также соединительные линии-трансферы. Модуль «Fault Tree Analysis» соответствует международным стандартам, что гарантирует правильность подхода к созданию и анализу графов отказов [12]. Visual Paradigm автоматически вычисляет вероятности появления тех или иных неисправностей, основываясь на вводимых параметрах элементов и связей внутри системы. Программа способна формировать готовые отчеты по результатам анализа графов отказов. Эти отчеты содержат всю необходимую информацию о структуре системы, компонентах и путях распространения дефектов, помогая своевременно обнаруживать потенциальные проблемы и снижать риски.

Ключевое преимущество Visual Paradigm перед простыми графическими редакторами – это задание данных и количественный анализ. Для каждого базового события (самого нижнего уровня в дереве) можно задать количественные данные [12]:

- вероятность отказа (Failure Probability);
- интенсивность отказов (Failure Rate);
- время наработки на отказ (MTBF);
- время восстановления (Repair Time).

После того как все данные введены и дерево построено, программа автоматически рассчитывает: вероятность головного события (Top Event Probability), частоту возникновения головного события и вклад базовых событий в вероятность головного события. Visual Paradigm автоматически находит все минимальные комбинации базовых событий, приводящие к головному отказу. Это один из самых важных результатов, и его автоматизация избавляет от рутинных и ошибкоопасных ручных вычислений.

Интерфейс данного программного продукта характеризуется неинтуитивностью из-за множественных одновременных панелей (свойства, диаграммы, модели), перегруженных контекстных меню и несогласованных «горячих» клавиш (рис. 4). Но редактор с функцией перетаскивания облегчает разработку и модификацию сложных диаграмм.

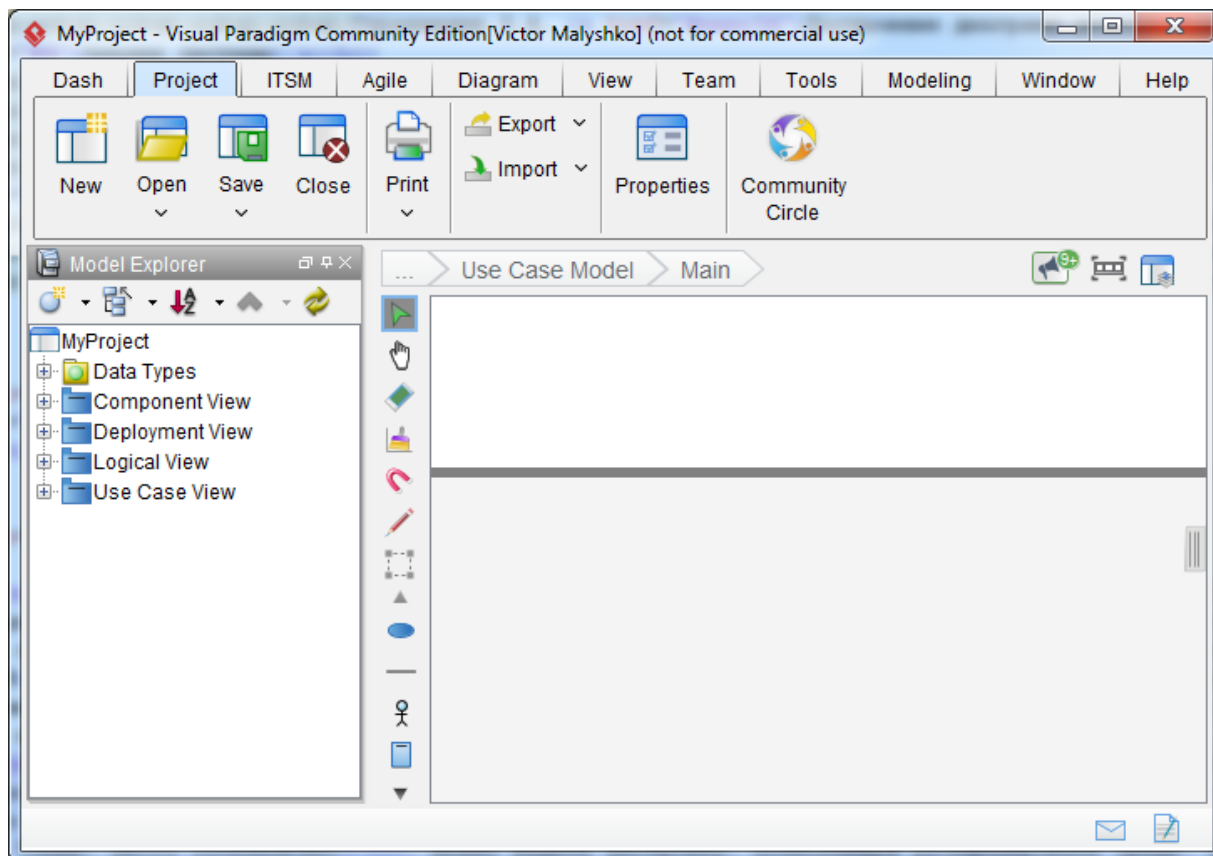


Рисунок 4 – Графический интерфейс программы Visual Paradigm

Поскольку Visual Paradigm – это комплексная платформа, имеется возможность связать элементы графов отказов с другими моделями. Например, базовое событие в графе отказов может быть связано с конкретным компонентом на диаграмме SysML или блоком на блок-схеме процесса (BPMN) [12]. Это обеспечивает сквозную прослеживаемость требований и рисков. Кроме того, можно сгенерировать подробный текстовый отчет по готовому анализу, который будет включать саму диаграмму, введенные данные, результаты расчетов, минимальные сечения и меры важности. Отчеты можно экспортировать в PDF, Word или HTML.

Visual Paradigm представляет собой многофункциональный инструмент для инженерного анализа и проектирования, обладающий обширными возможностями моделирования графов отказов. Его удобство использования, поддержка международных стандартов и интеграция с другими методами анализа делают его незаменимым помощником для инженеров и проектировщиков, стремящихся повысить качество и надежность разрабатываемых систем.

Подводя итог по результатам рассмотрения программных продуктов в первую очередь стоит отметить, что каждая из них обладает определенными достоинства и имеет превосходство относительно друг друга (табл. 1) по различным критериям.

Таблица 1 – Сравнительные критерии программных средств, используемых для построения графовых моделей

Критерии	Программный продукт			
	yEd Graph Editor	АСМОграф	Microsoft Visio	Visual Paradigm
Страна-изготовитель	Германия	Россия	США	Гонконг
Модель лицензирования	Бесплатно	Коммерческая	Подписка/онлайн-версия	Подписка
Совместимость с операционными системами	Windows, macOS, Linux	Windows, Linux	Windows	Windows, macOS, Linux
Скорость запуска	Не более 1 с	2...3 с	5...8 с	2...5 с
Интуитивно понятный интерфейс	+	+	+	–
Требования к ресурсам компьютера	Минимальные	Умеренные	Умеренные	Высокие
Авторазметка больших графов	Отличная (оптимизировано)	Слабая (ручная)	Хорошая (шаблоны)	Хорошая (алгоритмы)
Анализ графов	Базовый (лейаут-анализ)	Алгоритмизация по ГОСТ	Связь с данными, гиперссылки	Симуляция, матрицы соответствия, отчеты
Импорт/экспорт графов	GraphML, Excel, GML, SVG, PDF, PNG	DXF, Word, PDF, ГОСТ-форматы	VDX, XML, Excel, SVG; интеграция с DB	XMI, EMF, CSV, интеграция с DB; кодогенерация (Java/C#)

Проведенный анализ показал разнообразие подходов и функциональных возможностей современных программных средств для моделирования графов отказов. Каждая рассмотренная система обладает своими уникальными характеристиками, преимуществами и недостатками, которые определяют область ее наилучшего применения. Выбор оптимального инструмента зависит от ряда факторов, таких как масштаб проекта, требуемый уровень детализации, наличие квалифицированного персонала и бюджет организации. При этом важно учитывать специфику и возможности каждой системы. Моделирование графов отказов играет ключевую роль в обеспечении высокого уровня безопасности и стабильности технологических процессов, поэтому грамотный выбор программного средства позволит сократить расходы на разработку и эксплуатацию систем, уменьшить риски возникновения аварийных ситуаций и повысить

конкурентоспособность предприятия. Таким образом, тщательное изучение характеристик существующих программных продуктов и грамотное внедрение выбранных решений поспособствует достижению высоких показателей надежности и качества продукции.

Список литературы:

1. Лукиных, Д. О. Проектирование отказоустойчивых систем / Д. О. Лукиных, И. О. Лукиных // Молодой ученый. – 2025. – № 10 (561). – С. 9-13.
2. Отказоустойчивая IT-инфраструктура: принципы и способы организации: [Электронный ресурс] – URL: <https://timeweb.cloud/tutorials/servers/otkazoustojchivaya-it-infrastruktura> (дата обращения 02.02.2026).
3. Быкова, В. В. Программные средства анализа отказоустойчивости технических систем на основе вершинной целостности графа / В. В. Быкова, Ю. И. Кириллов // Программные продукты и системы. – 2015. – № 3. – С. 161-165.
4. Морозов, В. Б. Метод расчета надежности сложных систем с использованием топологии марковских графов и дерева отказов / В. Б. Морозов, М. А. Морозова // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2025. – № 3. – С. 34-39.
5. Программное обеспечение yEd Graph Editor: [Электронный ресурс] – URL: <https://www.yworks.com/products/yed> (дата обращения 05.02.2026).
6. Руководство пользователя yEd Graph Editor: [Электронный ресурс] – URL: <https://yed.yworks.com/support/manual/index.html> (дата обращения 09.02.2026).
7. Программное обеспечение АСМОграф: [Электронный ресурс] – URL: <https://asmograf.ru/?ysclid=mjzcvtssxxm86642411> (дата обращения 13.02.2026).
8. Руководство пользователя АСМОграф: [Электронный ресурс] – URL: <https://informatika37.ru/resheniya-asmo/asmo-graficheskiy-redaktor/> (дата обращения 17.02.2026).
9. Программное обеспечение Microsoft Visio: [Электронный ресурс] – URL: <https://www.microsoft.com/ru-ru/microsoft-365/visio?market=ru> (дата обращения 20.02.2026).
10. Виноградов В. И., Белоусова В. И. Построение функциональных, структурных и принципиальных схем в среде Microsoft Visio 2013, – М.: Издательство «МГТУ им. Н.Э. Баумана», – 2017. – 53 с.
11. Программное обеспечение Visual Paradigm: [Электронный ресурс] – URL: <https://www.visual-paradigm.com/features/> (дата обращения 25.02.2026).
12. Руководство пользователя Visual Paradigm: [Электронный ресурс] – URL: <https://www.visual-paradigm.com/support/documents/vpuserguide.jsp> (дата обращения 27.02.2026).