

*С. В. Шереметьев*

## ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ–ЧЕТЫРЁХПОЛЮСНИКОВ, ФОРМАЛИЗУЕМЫХ В ВИДЕ ОРИЕНТИРОВАННЫХ ГРАФОВ

*В статье описывается программное обеспечение, автоматизирующее все этапы методики расчёта надёжности систем-четырёхполюсников, включая построение, испытание и использование вероятностных моделей сложных систем, формализуемых в виде ориентированных графов. Приводится пример расчета надёжности системы-четырёхполюсника и графическое отображение результатов.*

Графовые вероятностные модели широко используются во многих сферах жизни человека: оптимизация компьютерных сетей, управление транспортными системами, задачи по извлечению информации, распознаванию речи и т.п. Несмотря на многообразие подходов к решению задач практической оптимизации с использованием аппарата теории графов, существует проблема расчёта вероятностных характеристик графовых структур, являющихся образами исследуемых систем, по вероятностным характеристикам их элементов, интерпретированных в виде n-полюсников и формализованных с использованием ориентированных графов. Время расчёта вероятностных характеристик подобных структур растёт экспоненциально с ростом числа элементов исследуемых объектов [1].

В статье предлагается один из подходов, позволяющий автоматизировать все этапы получения оценки надёжности системы, интерпретируемой в виде четырёхполюсника, включая построение, испытание и использование вероятностных моделей сложных систем, формализованных в виде ориентированных графов. На начальном этапе в редакторе строится граф, вводятся вероятностные характеристики дуг. Дуги являются образом элементов системы-четырёхполюсника, имеющих вероятностные характеристики надёжности, интерпретируемой как связность вершин, которые дуги соединяют. После этого задаются входы и выходы структуры-четырёхполюсника. Редактор обладает возможностями изменения структурного образа системы: перемещения, удаления и добавления новых вершин и ребер; вращения, перемещения и масштабирования графа в главном окне программы. Благодаря возможности масштабирования можно более точно создать и отобразить необходимый граф. Также существует возможность сохранения построенных моделей и загрузки их для дальнейшего редактирования и анализа.

Процесс разработки программного обеспечения включал несколько этапов. Начальный этап заключался в разработке и проектировании структуры приложения, установление критериев функциональной зависимости между компонентами приложения. Основной этап представлял собой непосредственное создание приложения в среде Eclipse на языке программирования Java [2]. Завершающий этап включал отладку и тестирование разработанного приложения.

При запуске программного обеспечения отображается пустая область для создания и редактирования графа. Внизу расположена панель управления, включающая кнопки, реализующие следующий функционал:

- **Matrix** – отображает матрицу смежности графа, а также все возможные варианты ребер вместе с рассчитанными вероятностями;
- **Save** – сохраняет созданный граф в файл формата .grh;
- **Load** – загружает граф из ранее созданного файла;
- + – увеличивает масштаб отображаемой области для редактирования графа;
- – – уменьшает масштаб отображаемой области для редактирования графа;

- **Transforming** – режим, в котором возможно внешнее изменение графа: перемещение, вращение, смещение, а также изменения описания для вершин и ребер;
- **Picking** – режим, который позволяет перемещать одну или несколько вершин графа;
- **Editing** – режим, в котором происходит создание и редактирование графа: добавление вершин и ребер, задание вершин как входов и выходов, а также удаление вершин или ребер;
- **Help** – окно, в котором отображается вся информация по управлению в различных режимах редактора.

Для удобства восприятия графа приняты следующие условные отображения вершин:

- **красный цвет** – обычная вершина;
- **зелёный цвет** – вход графа;
- **синий цвет** – выход графа.

В приложении присутствует необходимый функционал для создания и редактирование графа:

- добавление новых вершин и ребер;
- установление значения вероятности ребра (образа элемента исследуемого объекта);
- выбор вершин как входов/выходов, а также как простых вершин;
- перемещение графа по области редактора;
- вращение графа;
- смещение графа;
- изменения описания ребер и вершин;
- масштабирование графа.

На рисунке 1 изображен редактор в режиме перемещения вершины.

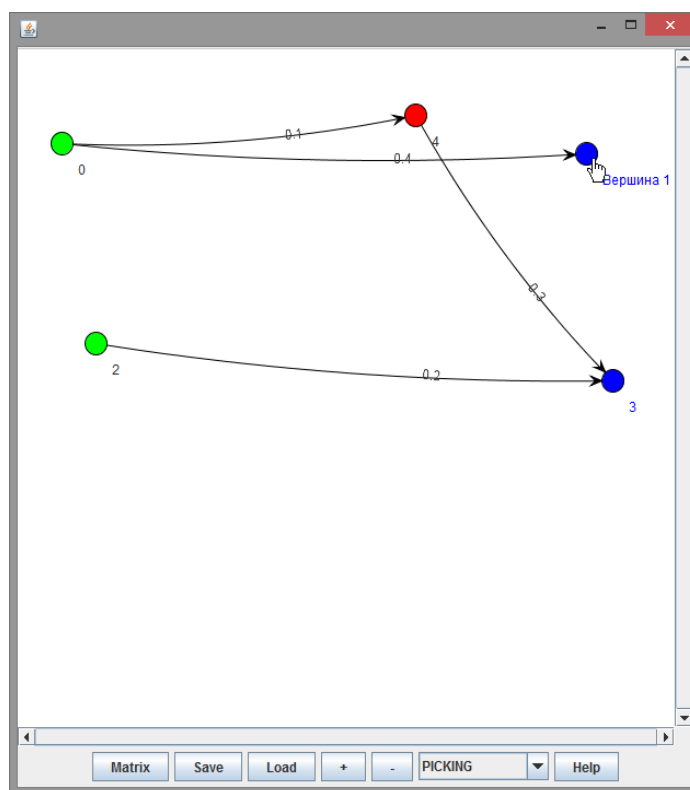


Рисунок 1 – Перемещение вершины в режиме редактирования

Для программного продукта был разработан формат хранения данных .gh, который позволяет хранить все характеристики и состояния графа, а также их расположение в области редактирования.

Автоматический расчет вероятностных характеристик графа достигается путем последовательного выполнения следующих шагов:

- формирования матрицы смежности графа;
- циклического транзитивного перемножения всех возможных вариантов матриц (данный шаг достигается путем перебора всех значащих единиц матрицы, кроме главной диагонали);
- расчет вероятности полученного варианта;
- формирование схематичного отображения полученного варианта;
- суммирование вероятностей для одинаковых вариантов;
- итоговый вывод уникальных вариантов с графическим представлением вариантов реализаций случайного графа.

Для демонстрации подхода рассмотрим следующий направленный граф-четырёхполюсник, являющийся образом исследуемой системы с четырьмя терминальными вершинами (рисунок 2).

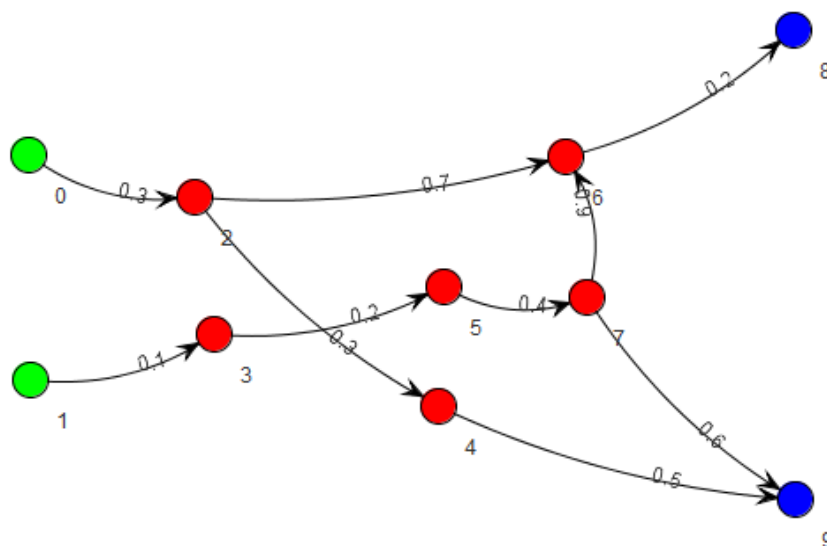


Рисунок 2 – Направленный граф системы-четырёхполюсника

В результате работы алгоритма, включающего создание матрицы смежности и циклическое транзитивное перемножение всех возможных реализаций графа с расчетом их вероятностных характеристик, создается коллекция классов, которая характеризует собой один из возможных вариантов. Класс реализации содержит графический примитив и вероятностную характеристику варианта. Для данного примера существует 1024 всех возможных вариантов перебора реализаций случайного графа. Далее, для того чтобы унифицировать полученные варианты происходит суммирование вероятностей одинаковых вариантов и удаление дубликатов из коллекции. В итоге в левой части окна отображается матрица, которая характеризует граф. В правой области окна происходит графическое отображение оставшихся 16 уникальных вариантов и их вероятностей (рисунок 3).

Поскольку рассматривается система, элементы которой характеризуются вероятностными значениями надёжности, то она может находиться в одном из 16 состояний, характеризующих уровни её надёжности (связности). В графе им соответствуют

множество компонент связности. В правой части экрана отражаются графические примитивы состояний и их вероятность для заданных параметров моделирования.

Первый вариант, характеризует состояние  $S_1$  системы-четырёхполюсника, у которой отсутствуют связи между терминальными вершинами. В этом смысле он описывает самый ненадёжный вариант организации системы-четырёхполюсника. Состояние  $S_2$  определяет состояние системы, у которой есть направленная связь между терминальными вершинами 3 и 4, а все остальные связи отсутствуют. Этот вариант организации системы является более надёжным, чем первый. Аналогично описываются все состояния, соответствующие различным вариантам функционирования системы.

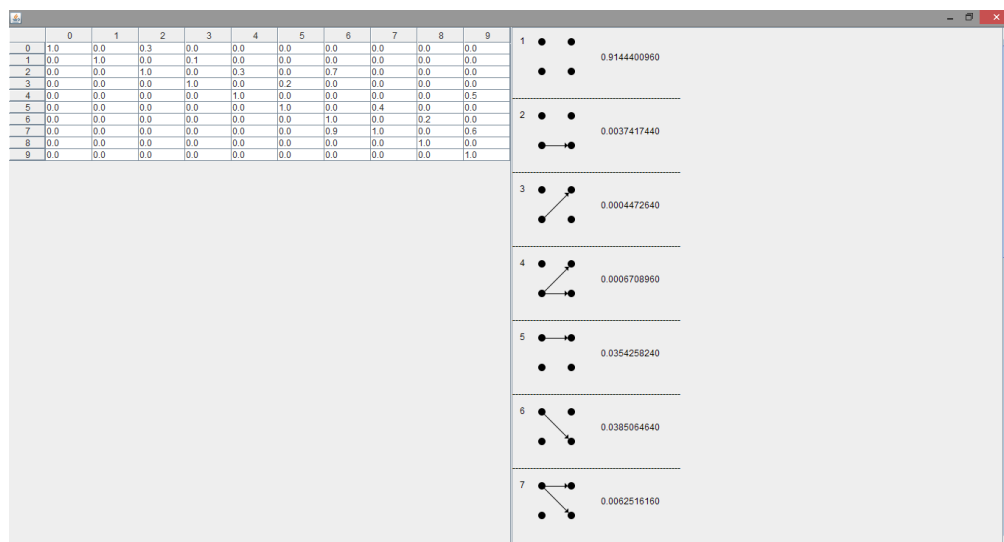


Рисунок 3 – Графическое отображение вероятностных характеристик надёжности системы-четырёхполюсника

Разработанное программное обеспечение, имеющее целью оценку надёжности системы, позволяет интерпретировать её в виде четырёхполюсника, представить в виде графа с двумя входами и двумя выходами и рассчитать результирующие вероятности состояний надёжности системы по вероятностным значениям надёжности составляющих её элементов. Предложенная методика расширяет свойство прогностичности моделей структурно-сложных систем, формализуемых в виде ненаправленных графов с одним входом и одним выходом при оценке их надёжности и позволяет решать следующие задачи: оценки вероятностных характеристик надёжности систем-четырёхполюсников на основе вероятностных состояний их элементов; получения, обоснования и оптимизации различных проектных, эксплуатационных и управленческих решений на основе результатов расчёта.

### Литература

1. Сукач Е. И. Методика оценки вероятностных характеристик надёжности систем-четырёхполюсников / Е. И. Сукач // Доклады БГУИР. – 2012. – № 7 (69). – С. 71–77.
2. Казарин, С. Среда разработки Java-приложений Eclipse / С. Казарин, А. Клишин. – СПб, 2008. – 777 с.