

Модуль оценки структурной значимости элементов систем Safety

Модуль Safety предназначен для решения некоторых наиболее простых задач теории надежности и безопасности структурно-сложных систем, создателем которой является д.т.н. Рябинин И.А. Под структурно-сложными системами принято понимать системы, которые при математическом описании не сводятся к последовательным, параллельным или древовидным структурам. В этом контексте подавляющее большинство реальных систем относятся к классу структурно-сложных.

Изначально модуль Safety разрабатывался исключительно для оценки структурной надежности топологических структур, порождаемых моделями сетей жизнеобеспечения, и был встроен в ряд программ для расчета инженерных сетей. Посредством данного модуля выявлялись наиболее узкие места в структуре сетей, а также намечались основные пути повышения надежности методами структурного резервирования. После знакомства с работами И.А. Рябина выяснилось, что круг задач, которые могут решаться методами анализа структурно-сложных систем, гораздо шире. В частности особый интерес представляет оценка безопасности проектируемых или уже эксплуатируемых систем.

Сразу необходимо обратить внимание на особую важность определения понятий аварийный, опасный, нормальный режимы работы и сопутствующих терминов. Под безопасностью нами понимается способность системы сохранять безопасное состояние при выполнении заданных функций. Безопасное состояние – состояние системы без аварий, катастроф и чрезвычайных ситуаций. В этом контексте можно говорить об эквивалентности терминов аварийный и опасный. Такая эквивалентность характерна для прикладных наук о надежности систем и нам представляется вполне оправданной.

Общая идея исследования безопасности структурно-сложных систем методами логико-вероятностного исчисления заключается в следующем: после тщательного анализа системы выявляются инициирующие опасное состояние условия; создается сценарий развития опасного состояния (по сути строится комбинация инициирующих условий переводящих систему в опасное состояние). Сценарий развития опасного состояния в большинстве случаев представляет собой структурно-сложную систему. Это означает, что граф, описывающий нормальный (или напротив ненормальный, аварийный, опасный и т.д.) режим работы, содержит цепи или циклы.

В общем случае нетрудно для составленного графа записать на языке алгебры логики выражение, истинность которого зависит от условий, инициирующих переход системы в опасное состояние, определяющее режим работы, в котором находится система. Это выражение называется функцией алгебры логики (ФАЛ). В случае алгебры логики, если выражение истинно, делается вывод о том, что система находится в нормальном (безаварийном, безопасном) состоянии.

Если идти дальше, то можно задаться вопросом, а насколько это состояние может быть ожидаемо? Иными словами речь может идти о вероятности безаварийной или безопасной работы системы. В данном случае, располагая ФАЛ и вероятностью свершения каждого из инициирующих условий, переводящих систему в соответствующее состояние, всегда возможно теоретически эту вероятность определить. Для этого необходимо преобразовать исходную ФАЛ в эквивалентную ей, для которой возможен прямой переход к замещению булевых переменных на вероятности. Основная сложность как раз и заключается в том, что не любая ФАЛ является замещаемой. Известно несколько форм функций алгебры логики, которые являются замещаемыми. Одной из них является так называемая ортогональная дизъюнктивно-нормальная форма (ОДНФ).

Модуль Safety преобразует пользовательскую ФАЛ в ОДНФ, тем самым позволяя определить вероятность безотказного или безопасного режима

работы. Однако основная ценность формы ОДНФ заключается в другом. Используя функцию алгебры логики в форме ОДНФ, появляется возможность соотнести размеры логических пространств соответствующих проектному режиму работы при отсутствии инициирующих переход к непроектному состоянию условий и соответствующих проектному состоянию режимов работы при инициации одного из условий. Отношение размеров второго пространства к размеру первого пространства для каждого из инициирующих условий определяет относительную значимость каждого из этих условий (факторов) на возможность перехода системы в непроектное состояние.

Методами анализа структурно-сложных систем можно оценить значимость каждого из учитываемых факторов на условия безопасности системы в целом и оценить возможные риски при ее эксплуатации.

В качестве примера использования модуля Safety рассмотрим вариант решения задачи, приведенной в монографии И.А. Рябина «Надежность и безопасность структурно-сложных систем»: пусть для создания какого-либо продукта требуется физик и математик. Один «научный коллектив» знает только русский язык, а другой – только английский. Возникает вопрос, а насколько возрастет эффективность двух этих коллективов, если придать им еще и высококлассную переводчицу?

Прежде всего, изобразим два графа, характеризующих особенности «функционирования» подобной социальной системой без переводчика и с переводчиком. Будем считать, что коллектив работоспособен, если, во-первых, физик и математик выполняют свою работу верно и, во-вторых, понимают друг друга. Обозначим инициирующие события следующим образом: x_1 - русский физик выполняет свою работу безошибочно, x_2 - английский физик выполняет свою работу безошибочно, x_3 - русский математик выполняет свою работу безошибочно, x_4 - английский математик выполняет свою работу безошибочно, x_5 - переводчица выполняет свою

работу безошибочно. В этих условиях графы функционирования такой социальной системы примут следующий вид.

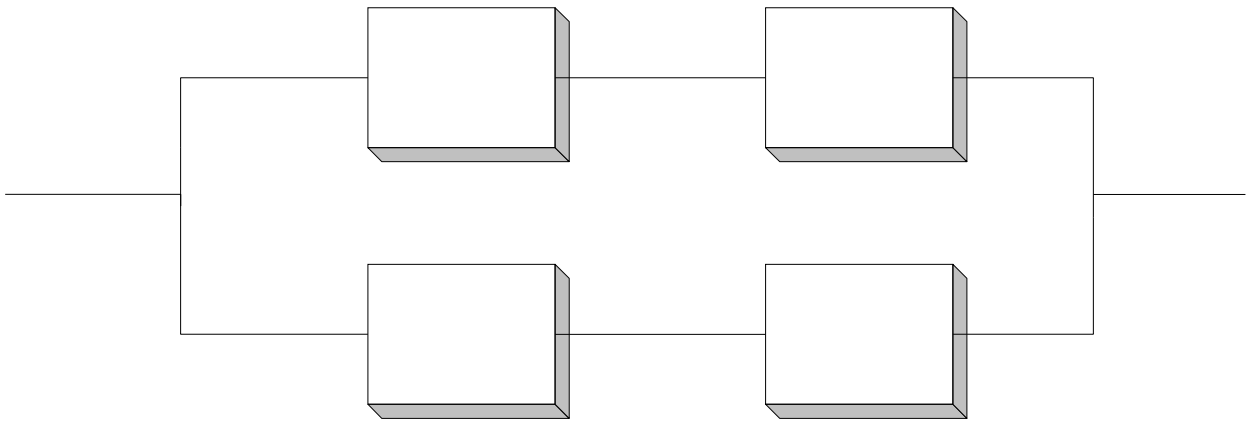


Рис 1. Граф функционирования системы без переводчика

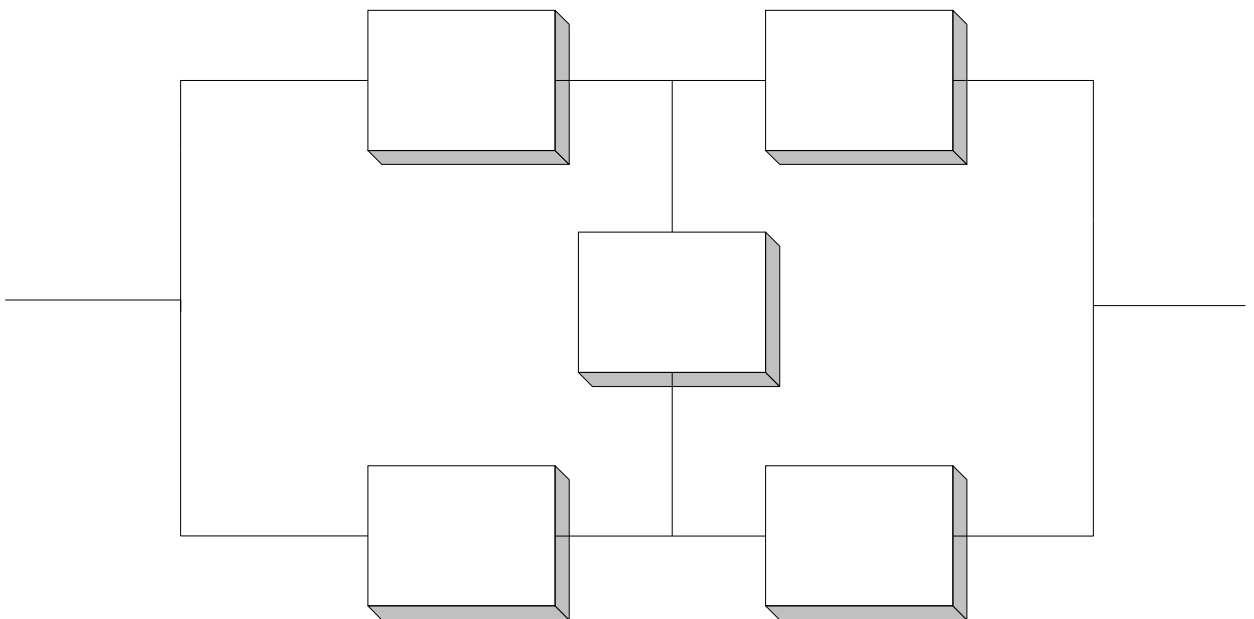


Рис 2. Граф функционирования системы с переводчиком (X5)

Запишем ФАЛ, отвечающие «успешной работе коллектива», для первого случая:

$$f_1 = (x_2 \wedge x_4) \vee (x_1 \wedge x_3).$$

Для второго случая пространство событий, удовлетворяющих «успешной работе коллектива», пополнится, а ФАЛ примет вид:

$$f_2 = (x_2 \wedge x_4) \vee (x_1 \wedge x_3) \vee (x_1 \wedge x_5 \wedge x_4) \vee (x_2 \wedge x_5 \wedge x_3).$$

Приведем ФАЛ к ОДНФ методом ортогонализации. Для этого в поле «Функция алгебры логики (ФАЛ), описывающая нормальный режим работы системы» для первой функции введем: 24+13, для второй – 24+13+154+253.

Исходные данные | Вероятностный анализ | Структурный анализ

Исходные данные для расчета

Функция алгебры логики (ФАЛ), описывающая нормальный режим работы системы
24+13

Предполагаемое время функционирования системы, дней
365

Интенсивности потоков событий, определенных в ФАЛ

Наименование состояния	Интенсивность потока событий, переводящих систему из данного состояния [1/час]
3	0
1	0
4	0
2	0

Рис 3. Ввод исходных данных

После этого необходимо нажать на кнопку «Расчет структурной надежности» и перейти на вкладку «Вероятностный анализ». В таблице «Ортогональная дизъюнктивно-нормальная форма ФАЛ» будет представлен результат преобразования исходной ФАЛ в ОДНФ. В случае для

$f_2 = (x_2 \wedge x_4) \vee (x_1 \wedge x_3) \vee (x_1 \wedge x_5 \wedge x_4) \vee (x_2 \wedge x_5 \wedge x_3)$ экран программы будет иметь следующий вид.

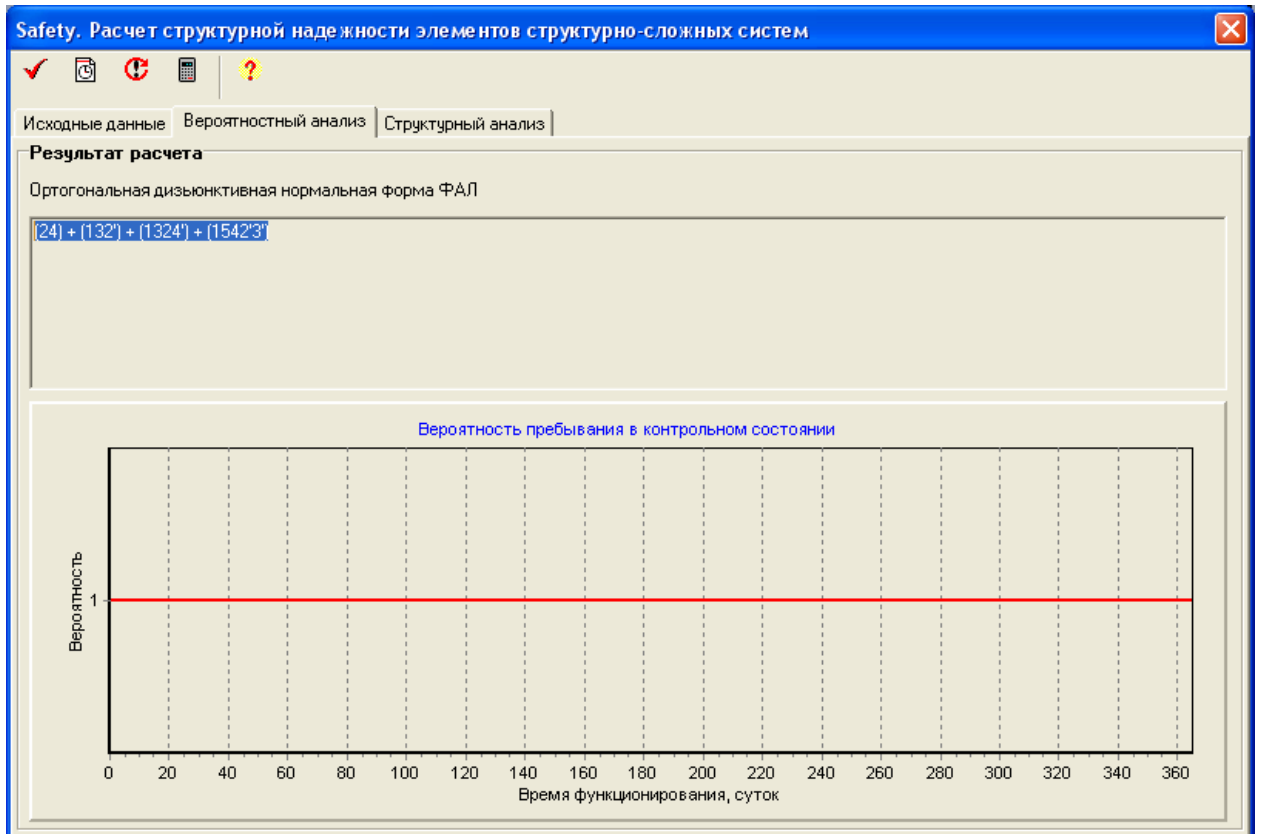


Рис 4. Преобразования исходной ФАЛ в ОДНФ по алгоритму ортогонализации

Таким образом, результат ортогонализации исходных ФАЛ будет представлен на вкладке «Вероятностный анализ». Для первой ФАЛ получим следующее соотношение: $f_1 = (x_2 \wedge x_4) \vee (x_1 \wedge x_3 \wedge x_2)$. Можно заметить, что и непреобразованная ФАЛ для первого варианта является замещаемой, но для общности будем работать с ОДНФ. Во втором случае ОДНФ примет следующий вид:

$$f_2 = (x_2 \wedge x_4) \vee (x_1 \wedge x_3 \wedge x_2) \vee (x_1 \wedge x_3 \wedge x_2 \wedge x_4) \vee (x_1 \wedge x_5 \wedge x_4 \wedge x_2 \wedge x_3).$$

Определим отношения вероятностей успешной работы двух «коллективов»:

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{P(x_2) \times P(x_4) + P(x_1) \times P(x_3) \times (1 - P(x_2)) + P(x_1) \times P(x_3) \times P(x_2) \times (1 - P(x_4))}{P(x_2) \times P(x_4) + P(x_1) \times P(x_3) \times (1 - P(x_2))} + \frac{P(x_1) \times P(x_5) \times P(x_4) \times (1 - P(x_2)) \times (1 - P(x_3))}{P(x_2) \times P(x_4) + P(x_1) \times P(x_3) \times (1 - P(x_2))}$$

$$\frac{P_2}{P_1} = 1 + \frac{P(x_1) \times P(x_3) \times P(x_2) \times (1 - P(x_4)) + P(x_1) \times P(x_5) \times P(x_4) \times (1 - P(x_2)) \times (1 - P(x_3))}{P(x_2) \times P(x_4) + P(x_1) \times P(x_3) \times (1 - P(x_2))}$$

Располагая информацией о вероятностях событий $P(x)$, можно определить повышение эффективности при переходе от схемы №1 к схеме №2. Не определяя здесь смысл вероятностей $P(x)$, поскольку в зависимости от конкретных условий рассматриваемой задачи он может меняться (здесь будем считать, что $P(x)$ - вероятность успешной работы одного из специалистов), условно примем, что они подчиняются показательному закону $P(t) = e^{-\lambda t}$ с известным параметром λ . Для примера примем величину $\lambda = 0.01$ (час⁻¹) для всех элементов схемы. Во вкладке «Исходные данные для расчета» против каждого состояния необходимо поставить значение 0.01. После этого следует последовательно нажать на кнопки «Оптимизировать предполагаемое время функционирования системы», «Расчет структурной надежности». На вкладке «Вероятностный анализ» появится графическая зависимость вероятности пребывания системы в проектном состоянии («успешной работы коллективов»). Экран программы для двух случаев расчета будет иметь следующий вид.

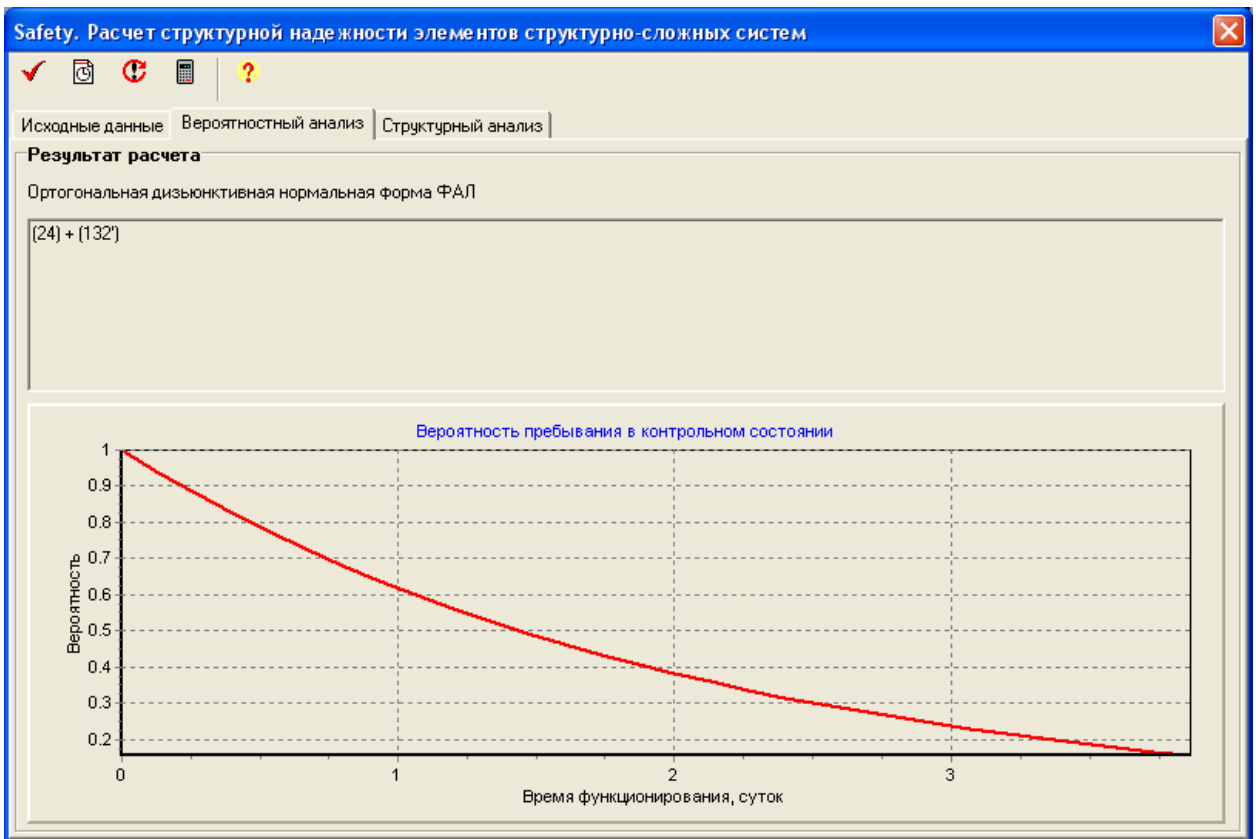


Рис 5. Вероятность пребывания системы в проектном состоянии для работы «без переводчика»

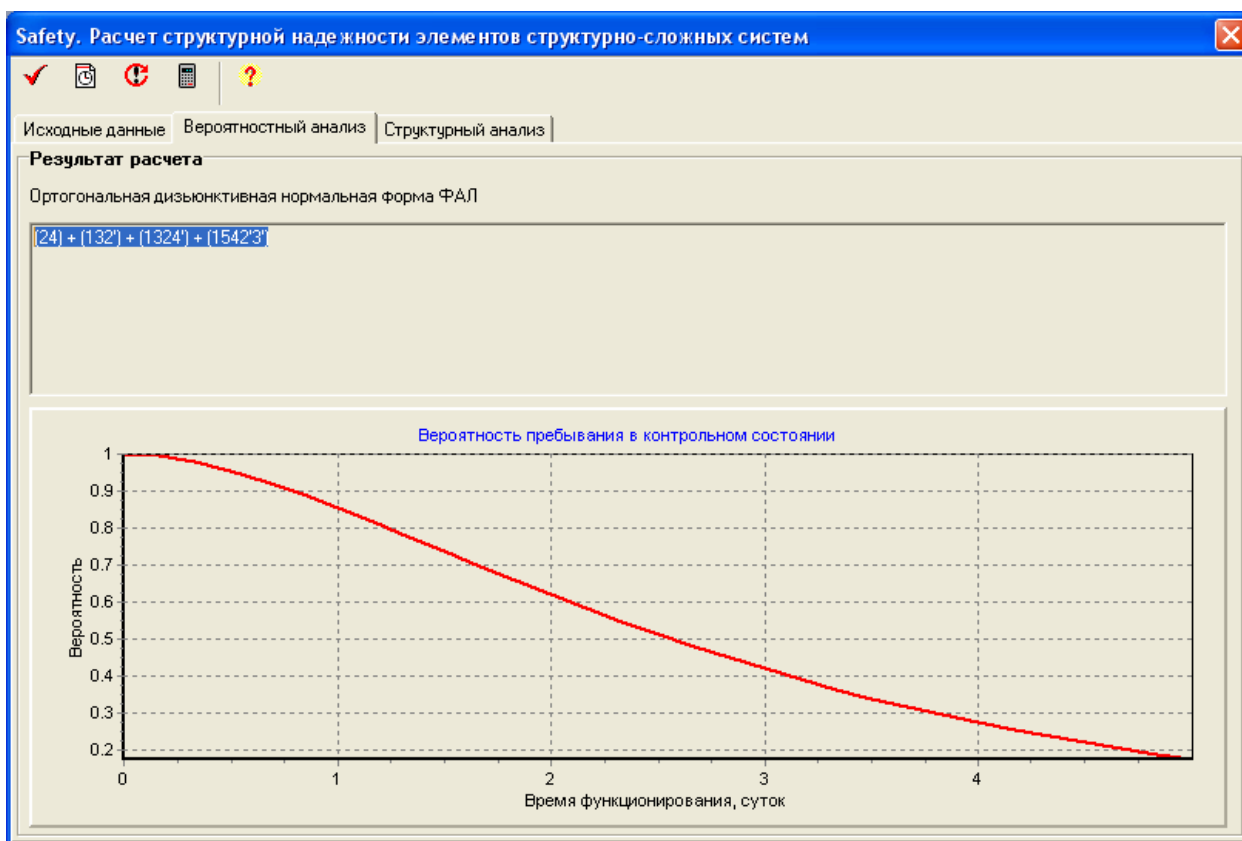


Рис 6. Вероятность пребывания системы в проектном состоянии для работы «с переводчиком»

Для определения структурной значимости каждого из элементов схем воспользуемся методом определения «весов» элементов. Результаты расчета по методу представлены на вкладке «Структурный анализ».

Как следует из расчетов значимости всех элементов системы, функционирующей без «переводчика», равны. Значимость структурного элемента «переводчик» по второй схеме в три раза ниже значимости остальных элементов. Такое соотношение значимости ожидаемо. По сути, элемент «переводчик» представляет собой перемычку в простейшей мостиковой схеме. В более сложных случаях, когда размерность задачи высока, результат решения задачи по оценке значимости элементов в составе схемы не столь очевиден. Полагаем, что при решении такого типа задач этот небольшой модуль может быть полезен. Скачать модуль можно на нашем сайте.

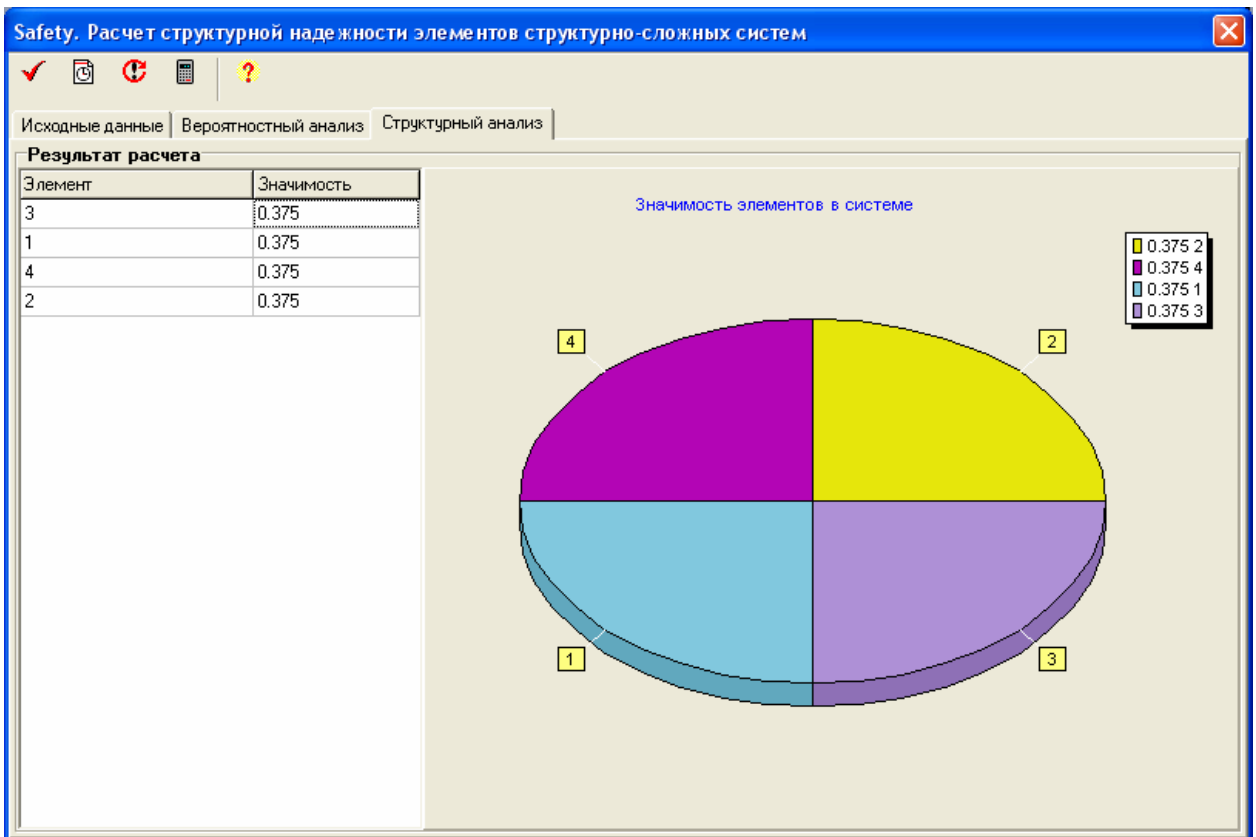


Рис 7. Структурная значимость элементов системы «без переводчика»

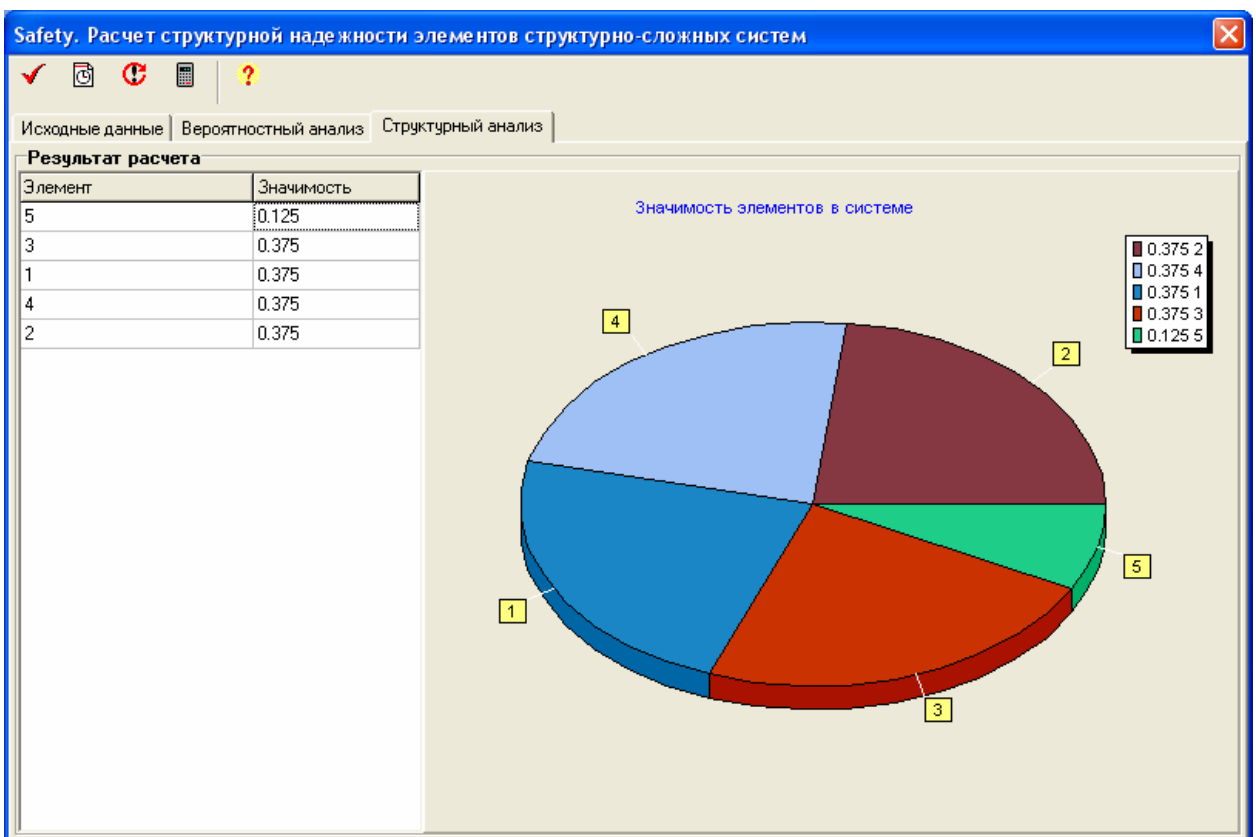


Рис 8. Структурная значимость элементов системы «с переводчиком»