

УДК 621.395

А.В. ХАРЫБИН, О.Н. ОДАРУЩЕНКО

Полтавский военный институт связи, Украина

О ПОДХОДЕ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ВЫБОРА МЕТОДОЛОГИИ ОЦЕНКИ СТРУКТУРНОЙ НАДЕЖНОСТИ И ЖИВУЧЕСТИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СЕТЕЙ КРИТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

В статье предложен и рассмотрен подход к решению проблемы построения оптимальной методологии оценки структурной надежности и структурной живучести территориально-распределенной информационной сети критического применения путем поэтапного выбора методов декомпозиции и преобразования ее исходной структуры, а также оценки данных свойств, заключающегося в классификации и профилировании этих методов и моделей по ряду особенностей, категорий и признаков.

информационная сеть, методология оценки, структурная надежность, структурная живучесть, декомпозиция, преобразование структуры, профилирование методов и моделей

Постановка проблемы в общем виде и обзор публикаций

Информационные сети (ИС) являются основой информационно-управляющих и информационных систем (ИУС и ИСм) и представлены сложными интегрированными гетерогенными компьютерно-телекоммуникационными сетями. При использовании ИС в ИУС критического применения (КрПр) к ним предъявляются высокие требования по надежности и живучести функционирования в условиях воздействия разных дестабилизирующих факторов.

Методологические подходы к оценке этих свойств ИС предполагают наличие трех этапов [1 – 9]:

1. Декомпозиция сложной ИС на части и элементы и преобразование структуры.
2. Оценка объектовой надежности и живучести элементов ИС (линий передачи информации – ЛПИ и информационно-коммутиционных узлов – ИКУ).
3. Оценка структурной надежности и структурной живучести (СН и СЖ) ИС в целом.

Следовательно, для выполнения указанных требований к ИС КрПр необходимо на всех этапах жизненного цикла (ЖЦ) проводить оценку их структурной надежности и структурной живучести [1 – 3].

Существует множество методологических под-

ходов к оценке СН и СЖ ИС КрПр (правил декомпозиции сетей, математических методов и моделей оценки указанных свойств, а также соответствующих им показателей), отличающихся своими характеристиками (вычислительной сложностью, временными затратами, точностью и физическим смыслом получаемых оценок) [1 – 7]. Это порождает проблему выбора оптимальной методологии оценки СН и СЖ на различных этапах ЖЦ ИС.

При этом анализ публикаций [1 – 9] посвященных вопросу оценки указанных свойств позволяет сделать следующие выводы:

- существует и развивается множество специальных и универсальных методологий оценки СН и СЖ ИС, выбор которых для сетей КрПр является затруднительным ввиду отсутствия соответствующих международных или национальных стандартов (рекомендаций) и руководящих документов;
- проводятся попытки сравнения различных методологий (методов, моделей, показателей) оценки указанных свойств, с целью выбора оптимальных для оценки конкретной структуры ИС;
- нерешенной остается задача выбора определенной методологии (методов, моделей, показателей) оценки СН и СЖ для конкретной ИС КрПр.

Целью данной статьи является выработка общих принципиальных подходов к обоснованному выбору оптимальной методологии оценки СН и СЖ конкретной ИС КрПр в заданных условиях оценивания.

Подход к обоснованному выбору методологии оценки структурной надежности и структурной живучести ИС критического применения

Для решения поставленной задачи необходимо решить следующие частные задачи:

- выделить основные принципы и правила декомпозиции ИС на элементы и преобразования ее исходной структуры, рассмотрев основные структурно-топологические и функциональные особенности отдельных участков и элементов ИС, влияющие на выбор методологии (правил, методов, моделей, показателей) оценки указанных свойств;
- провести анализ, классификацию и профилирование существующих методов оценки СН и СЖ ИС КрПр и основанных на них методологий, выделив основные критерии по которым может производиться выбор;
- сформулировать порядок выбора математических методов и основанных на них методологических подходов к оценке СН и СЖ для конкретной ИС КрПр по выделенным особенностям и критериям выбора.

1. Принципы декомпозиции ИС на участки и элементы, а также преобразования структур при проведении оценки надежности и живучести

Перед непосредственным проведением оценки структурных свойств конкретной ИС КрПр производят ее представление в виде графа (матрицы), описывающего структуру, а при необходимости предварительную декомпозицию на отдельные участки и элементы по соответствующим правилам и признакам [1 – 9].

В общем случае выбор подхода к декомпозиции

и преобразованию структуры ИС определяется решаемыми задачами, принятыми показателями надежности и живучести, сложностью и степенью разветвленности информационной системы [1 – 3, 9].

Выбор подхода к декомпозиции определяется размерностью, функциональным назначением структурных элементов конкретной ИС КрПр, необходимой оперативностью и точностью оценки ее структурной надежности и живучести, а также постоянством архитектуры (мобильностью элементов).

С точки зрения задачи декомпозиции ИС на отдельные элементы можно выделить два подхода. Первый заключается в проведении декомпозиции ИС КрПр на отдельные локальные элементы за один этап без дополнительных преобразований структуры сети (метод А.1). Применяется этот подход для локальных однородных по своей структуре (топологии) сетей. Сущность второго заключается в поэтапной декомпозиции структурно-сложных территориально-распределенных ИС на отдельные участки с последующим преобразованием их структур к простому (элементарному) виду, а затем – декомпозиции этих участков на отдельные элементы (методы А.2 – А.8). Рассмотрим сущность и особенности основных этапов второго подхода к декомпозиции.

Первым этапом декомпозиции является разделение сложной ИС на участки согласно их функциональных особенностей. При этом практически у всех ИС КрПр можно выделить следующие элементы [1 – 3, 9]:

- участки (центры, кластеры) хранения и обработки информации, а также предоставления информационных услуг (серверы информационных услуг и баз данных) – строятся с использованием современных технологий локальных сетей радиально-узловой структуры – топологии «звезда» или «дерево», либо кольцевой структуры;
- транспортный участок телекоммуникационной сети информационного обмена – строится с использованием кольцевой, «решетчатой» либо пол-

носвязной структуры, включает в себя магистральные высокоскоростные ЛПИ, а также узлы мультиплексирования/демультиплексирования и коммутации информационных потоков;

- распределительный участок ИС (сети абонентского доступа) – строится с применением радиально-узловой структуры и включает в себя коммутационное, распределительное и приемопередающее оборудование локальных информационных сетей, а также оконечное оборудование.

Рассматривая методы преобразования структуры ИС можно выделить две группы методов (рис. 1):

- методы формирования множества сечений;
- методы формирования множества путей.

Применение той или иной группы методов преобразования исходной структуры ИС определяется математическим аппаратом методов оценки СН и СЖ ИС КрПр применяемых в данной методологии, а конкретного метода – сложностью структуры ИС, наличием вычислительных ресурсов и допустимыми затратами времени на преобразование [1, 2, 7, 8].

При рассмотрении основных особенностей данных методов можно выделить следующие [1 – 3]:

- высокой оперативностью преобразования (меньшими затратами времени и вычислительных ресурсов на преобразования) обладает группа методов формирования множества простых сечений ИС (средний уровень оперативности характерен лишь для эвристического метода – А.4);
- средней оперативностью преобразований обладает группа методов формирования множества путей ИС (низкий уровень оперативности характерен

лишь для метода динамического программирования – А.5);

- высокой точностью конечных результатов;
- оценки обладает группа методов формирования множества путей ИС и эвристический метод формирования множества простых сечений, так как они учитывают все функционально-топологические особенности оцениваемой сети.

При профилировании методов оценки структурной надежности и структурной живучести ИС КрПр необходимо установить взаимосвязь их характеристик с рассмотренными особенностями методологий и методов первого этапа оценки указанных свойств – декомпозиции и преобразования исходной структуры ИС.

2. Классификация методологических подходов к оценке структурной надежности и структурной живучести ИС

Все существующие методологические подходы к оценке СН и СЖ ИС по возможностям оценки тех или иных показателей) можно разбить на четыре основные группы, представленные на рис. 2 [1 – 3]:

- оценивающие только СН ИС [1, 2, 4, 7, 8, 9];
- оценивающие только СЖ ИС [1 – 3];
- оценивающие СН и СЖ ИС - так называемые дуальные методологии [1, 2, 6];
- позволяющие прямо либо косвенно оценить рассматриваемые свойства ИС, одновременно с оценкой других свойств и характеристик (пропускной способности, информационной производительности, помехоустойчивости) – комплексные методологии оценки ИС [1 – 3, 5, 6, 9].

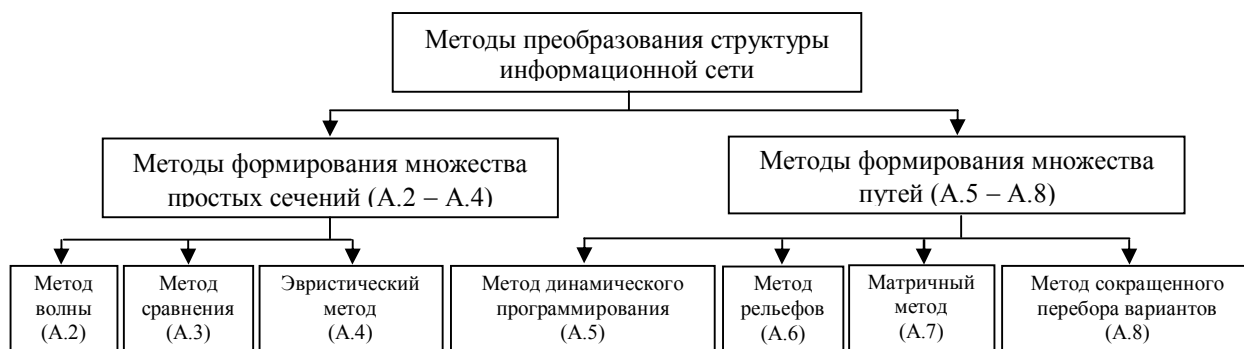


Рис. 1. Классификация методов преобразования исходной структуры ИС КрПр при оценке СН и СЖ

Различные этапы жизненного цикла ИС отличаются своими требованиями к точности результатов и вычислительным затратам (оперативности) методов оценки свойств сетей [1 – 3, 9].

Так на этапах разработки ТЗ, эскизного и технико-экономического проектирования разрабатываемой сети ограничений на оперативность оценки нет, но при этом требуется максимальная точность получаемых результатов, что нельзя сказать об этапе эксплуатации.

При возникновении неисправностей элементов ИС КрПр (выходе из строя) необходимо в максимально сжатые сроки (оперативно) осуществить обоснованную реконфигурацию ИС, с целью обеспечения заданного (максимально возможного) уровня ее СН и СЖ. Для этого, зачастую, достаточным условием является приблизительная оценка СН и СЖ возможных вариантов конфигураций структуры ИС с последующим ранжированием их по критерию максимума соответствующих показателей.

Кроме того, в методологических подходах к оценке данных свойств, используемых на этапе разработки (проектирования) и развертывания (модернизации) ИС, используется представление структуры сети в виде графа, вершины которого соответствуют ИКУ, а ребра – ЛПИ сети. Для упрощения математического описания такого графа он может быть представлен матрицей связности ИКУ сети.

При оценке рассматриваемых свойств в режиме реального времени (на этапе эксплуатации ИС) применяют методологию оценки изменения указанных свойств отдельных участков ИС КрПр, поэтому графы и матрицы инцидентности строятся для отдельных участков данных сетей.

Это указывает на необходимость классификации существующих методологий оценки по применимости на том или ином этапе жизненного цикла ИС. По этому признаку можно условно выделить три подгруппы методологий оценки структурной надежности и живучести (рис. 2):

1. Методологии оценки (методы и модели), применимые на стадии проектирования и развертывания (модернизации) ИС – позволяют получить точные оценки СН и СЖ ИС, основаны на аналитических оценках либо статистической информации об отказах подобных элементов ИС и сетей в целом, не ограничены по затратам вычислительных ресурсов и времени – априорные методологии оценки.

2. Методологии оценки, используемые при эксплуатации существующих ИС – позволяют выявлять отказы, оперативно оценивать и краткосрочно прогнозировать изменения структурной надежности и живучести ИС практически в режиме реального времени (в т.ч. накапливать статистические сведения об отказах (сбоях) отдельных элементов и участков ИС) – методологии оценки реального времени.



Рис. 2. Классификация методологических подходов к оценке СН и СЖ ИС КрПр

3. Универсальные методологии оценки структурной надежности и живучести ИС, обладающие высокой точностью и минимальными затратами вычислительных ресурсов.

Наиболее многочисленной по разнообразию используемых аналитических, статистических и имитационных методов (моделей) оценки структурной надежности и живучести информационных сетей является первая группа (априорных) методологических подходов [1-3]. Что же касается третьей группы методологий - такие методы существуют лишь для простейших базовых структур ИС, и практически не развиты для сетей произвольной структуры.

2. Классификация и профилирование методов оценки структурной надежности и структурной живучести ИС

Математические методы (модели) оценки СН и СЖ ИС являются основой для рассмотренных групп методологических подходов, а следовательно

отличаются полнотой и математической сложностью учета множества факторов, условий, допущений и ограничений, а также показателями и точностью количественной оценки указанных свойств.

Все множество методов (моделей) оценки структурной надежности и живучести ИС можно разделить на два подмножества:

1. Методы, оценивающие свойства ИС путем разложения ее на двухполюсные сети;
2. Методы (модели), оценивающие всю многополюсную сеть в целом.

Все они разделяется еще на два самостоятельных подмножества: точных и приближительных методов (моделей) оценки, а эти подмножества, в свою очередь, еще на несколько групп (рис. 3).

Для выбора (определения применимости) тех или иных методов (моделей) оценки СН и СЖ ИС КрПр необходимо ввести критерии профилирования, соответствующие их особенностям (свойствам).



Рис. 3. Классификация методов оценки СН и СЖ информационных сетей

В современных публикациях посвященных рассмотрению методов оценки рассматриваемых свойств ИС и проблем, связанных с процессом оценки, широко распространены и развиваются нижеперечисленные группы методов (моделей) [4 – 9].

Рассмотрим подробнее их особенности, разбив свойства (характеристики) методов оценки по следующим группам критериев профилирования:

- используемые в методах (моделях) для оценки СН и СЖ ИС КрПр исходные данные (1.З);

– принятые в методах (моделях) допущения и ограничения (2.Z);

– результирующие показатели оценки, используемые в методах (3.Z);

– относительная оперативность оценки (преобразований структуры) СН и СЖ с помощью методов и моделей (величина обратная затратам вычислительных ресурсов) (4.Z).

Для решения задачи профилирования необходимо изучить и проклассифицировать особенности современных широко распространенных и развивающихся методов (моделей) [1 – 9].

Для оценки СН ИС КрПр используются:

1. Точные аналитические методы оценки для любых структур ИС с использованием полного перебора состояний путей передачи информации (В.3).

• Применимы для оценки сетей, в которых общее число элементов (ИКУ и ЛПИ) не превышает 30–50 (2.1);

• исходными данными для оценки являются:

- структура ИС (1.1),
- показатели объектовой надежности элементов (1.2),
- таблицы маршрутизации (коммутации) ИКУ (1.3),
- реальные ограничения по пропускной способности ЛПИ (1.4);

• принятые допущения:

- потери работоспособности ЛПИ в сети являются событиями случайными и взаимно независимыми (2.4),
- ИКУ абсолютно надежные (2.5);

• показатель – средняя вероятность связности всех путей передачи информации – $\overline{P_{СВ}}_i$ (3.1).

2. Точные аналитические методы оценки для определенных структур ИС с применением дифференциальных уравнений (Б.4).

• Применимы для оценки сетей, число элементов в которых не превышает 30–50 (2.1), с «решет-

чатой», линейной (2.11) или кольцевой структурой (2.12);

• исходными данными для оценки являются:

- структура ИС (1.1),
- показатели объектовой надежности элементов (1.2),
- характеристики резервных элементов сети (нагруженные или ненагруженные) (1.5);

• принятые допущения:

- потери работоспособности элементов сети являются событиями случайными и взаимно независимыми (2.4),
- все элементы сети являются восстанавливаемыми и имеют различные коэффициенты готовности (2.7),
- интенсивности отказов и восстановлений элементов (участков) ИС являются величинами постоянными (2.8),
- время восстановления и интервалы времени между отказами элементов ИС распределены по экспоненциальному закону (2.9);

• показатели – коэффициент структурной готовности A_c (3.2) или функция структурной готовности – $g_c(t)$ (3.3).

3. Точные аналитические методы оценки для любых структур ИС с использованием прямого перебора состояний ИС (В.1).

• Применимы для оценки сетей, число элементов в которых не превышает 50–100 (2.2);

• исходными данными для оценки являются:

- структура ИС (1.1),
- показатели объектовой надежности элементов ИС (1.2),
- допустимая доля (число) конечных узлов которым может быть отказано в доступе к информационным услугам в произвольный момент времени – $N_{доп}$ (1.6),

○ вероятность нахождения ИС в произвольный момент времени в определенном состоянии (1.7);

- принятые допущения:
 - потери работоспособности ЛПИ в сети являются событиями случайными и взаимно независимыми (2.4),
 - ИКУ абсолютно надежные (2.5),
 - ИС отказывает в обслуживании $n \leq N_{\text{доп}}$ абонентам, оставаясь работоспособной (2.10);
- показатели: коэффициент связности ИС – $k_{св}$ (3.4) или коэффициент оперативной связности ИС – $k_{о.св}$ (3.5).

4. *Приблизительные аналитические методы двусторонних (мини-максных) оценок структурной надежности с применением графо-аналитического аппарата разложения ИС на участки (Г.1 – Г.6).*

- Применимы для оценки сетей, число элементов в которых не превышает 100–150 (2.2);
- исходными данными для оценки являются:
 - структура ИС (1.1),
 - показатели объектовой надежности элементов ИС (1.2);
- принятые допущения:
 - потери работоспособности ЛПИ являются событиями случайными и взаимно независимыми (2.4),
 - ИКУ абсолютно надежные (2.5);
- показатель – средняя вероятность связности путей передачи информации в ИС – $\overline{P_{CB}_i}$ (3.1).

Для оценки СЖ ИС КрПр широко используются:

1. *Точные аналитические методы оценки для определенных структур ИС, основанные на выявлении коррелированности средней доли выживших соединений и средней длины путей в ИС (модели Птицына-Войлокова) (Б.5).*

- Применимы для ИС, имеющих правильную линейную (2.11), кольцевую (2.12), полносвязную (2.13) и радиально-узловую структуру (древовидную, многокаскадную звезду) (2.14), с любым числом элементов (2.3);

- исходные данные:
 - структура ИС (1.1),
 - вероятность выживания ЛПИ и ИКУ (1.8),
 - средняя длина пути информационных потоков в ИС (1.9);
- принятые допущения:
 - потери ЛПИ и ИКУ в сети являются событиями случайными и взаимно независимыми (2.4),
 - ИКУ и ЛПИ поочередно принимаются абсолютно живучими (2.6);
- показатель – средняя доля выживших (действующих) соединений (живучесть) – $D(\alpha)$ (3.6).

2. *Точные аналитические методы оценки иерархических ИС с использованием прямого перебора состояний ИС (Б.1).*

- Применяются для ИС с иерархической структурой (2.14) и числом элементов до 50 (2.1);
- исходные данные:
 - структура ИС (1.1),
 - допустимая доля (число) конечных узлов которым может быть отказано в доступе к информационным услугам в произвольный момент времени – $N_{\text{доп}}$ (1.6),
 - вероятность выживания ЛПИ (1.8),
 - вероятность нахождения ИС в произвольный момент времени в определенном состоянии (определенной кратности экстремальных воздействий) (1.7);
- принятые допущения:
 - ИКУ абсолютно живучие (2.5)
 - транзитные ИКУ не имеют информационных конечных средств (подсетей) (2.15),
 - ИС отказывает в обслуживании $n \leq N_{\text{доп}}$ абонентам, оставаясь работоспособной (2.10);
- показатель – средняя вероятность выживания единственного пути передачи информации при заданном числе экстремальных воздействий – $P_{\text{жив}}$ (3.7).

Рассмотрим подробнее перечень основных используемых критериев профилирования методологий и методов оценки.

Используемые исходные данные включают:

- 1.1. Структура ИС.
 - 1.2. Показатели объектовой надежности элементов ИС (ИКУ и ЛПИ).
 - 1.3. Таблицы маршрутизации (коммутации) ИКУ.
 - 1.4. Реальные ограничения пропускной способности ЛПИ или ИКУ.
 - 1.5. Вид резерва элементов ИС (нагруженный – «горячий» или «теплый» / ненагруженный).
 - 1.6. Допустимая доля (число) конечных узлов которым может быть отказано в доступе к информационным услугам в произвольный момент времени.
 - 1.7. Вероятность нахождения ИС в произвольный момент времени в определенном состоянии.
 - 1.8. Вероятность выживания ЛПИ и/или ИКУ.
 - 1.9. Средняя длина пути информационных потоков в сети.
- Принятые ограничения и допущения:*
- 2.1. Число элементов в ИС не превышает 30–50.
 - 2.2. Число элементов в ИС от 50 до 150.
 - 2.3. Число элементов в ИС не ограничено.
 - 2.4. Потери работоспособности /поражение ЛПИ (ИКУ) являются событиями случайными и взаимно независимыми.
 - 2.5. ИКУ абсолютно надежные/живучие.
 - 2.6. ИКУ и ЛПИ при проведении оценки поочередно абсолютно надежные/живучие.
 - 2.7. Все элементы сети являются восстанавливаемыми и имеют различные коэффициенты готовности.
 - 2.8. Интенсивности отказов и восстановлений элементов (участков) ИС являются величинами постоянными.
 - 2.9. Время восстановления и интервалы времени между отказами элементов ИС распределены по экспоненциальному закону.
 - 2.10. ИС отказывает в обслуживании допустимому числу абонентов, оставаясь работоспособной.
 - 2.11. ИС имеет линейную структуру (в т.ч. «решетку»).
 - 2.12. ИС имеет кольцевую структуру (в т.ч. «сотую»).
 - 2.13. ИС имеет полностью связную структуру.
 - 2.14. ИС имеет радиально-узловую структуру (в т.ч. иерархическую и древовидную).
 - 2.15. ИС имеет сложную структуру, основанную на комбинировании нескольких элементарных.
 - 2.16. Транзитные ИКУ не имеют информационных конечных средств (подсетей) или серверов.
 - 2.17. Транзитные ИКУ имеют непосредственно соединенные информационные конечные средства (подсети) или серверы баз данных и информационно-коммуникационных услуг.
- Результирующие показатели оценки:*
- 3.1. Средняя вероятность связности всех путей передачи информации в ИС.
 - 3.2. Коэффициент структурной готовности ИС.
 - 3.3. Функция структурной готовности ИС.
 - 3.4. Коэффициент связности ИС.
 - 3.5. Коэффициент оперативной связности ИС.
 - 3.6. Средняя доля выживших (действующих) соединений.
 - 3.7. Средняя вероятность выживания хотя бы одного пути передачи информации в ИС при заданном числе экстремальных воздействий на элементы.
- Оперативность методов* является величиной относительной и определена для каждой группы методов в отдельности с учетом размерности оцениваемой ИС (преобразуемой структуры сети) в виде трех качественных уровней:
- 4.1. Высокая оперативность метода (низкие затраты вычислительных ресурсов).
 - 4.2. Средняя оперативность метода (средние затраты вычислительных ресурсов).
 - 4.3. Низкая оперативность метода (высокие затраты вычислительных ресурсов).

Выводы

Предложен подход к обоснованному выбору методологии оценки структурной надежности и структурной живучести информационных сетей критического применения может быть использован для создания информационной технологии поддержки принятия решения по выработке (выбору) методологии оценки для заданных условий проведения оценки. Сущность данного подхода заключается в проведении профилирования методов декомпозиции и преобразования исходной структуры оцениваемой ИС, а также методов и моделей оценки указанных свойств на основе детального анализа и классификации их свойств, параметров и характеристик.

Построенная в результате анализа существующих методологий (методов, моделей) классификационно-профилирующая табл. 1 позволяет поэтапно выбрать конкретный математический метод (модель) преобразования структуры и оценки структурной надежности и живучести ИС КрПр, выработав таким образом единую методологию оценки ее структурной надежности и структурной живучести в зависимости от необходимой точности, оперативности и показателей оценки.

Приведенная классификационно-профилирующая таблица не является абсолютно полной и законченной, с точки зрения признаков, особенностей и категорий профилирования, а также перечня методов и моделей оценки, поэтому для новых (неучтенных) методов оценки указанных свойств также целесообразно производить профилирование по выбранным критериям (признакам) классификации, а при наличии неучтенных особенностей – должна дополняться и уточняться новыми.

В дальнейшей работе целесообразно провести профилирование методов и моделей оценки объектовой надежности и живучести элементов ИС КрПр, после чего выработать единый методологический подход к созданию методологии оценки надежности

и живучести сетей в целом (функциональной), для заданных условий проведения оценки.

Литература

1. Надежность и живучесть систем связи / Под ред. Б.Я. Дудника. – М.: Радио и связь, 1984. – 216 с.
2. Филин Б.П. Методы анализа структурной надежности сетей связи. – М.: Радио и связь, 1988. – 208 с.
3. Одарущенко О.Н., Харьбин А.В. Анализ моделей и методов оценки структурной живучести телекоммуникационных сетей критического применения // 36. наук. праць «Авіаційно-космічна техніка і технологія». – Х.: НАКУ «ХАІ», 2002. – Вип. 35. – С. 192-195.
4. Рижак В.А., Сакович Л.М. Кількісне оцінювання структурної надійності систем зв'язку // Зв'язок. – 2004. – № 4. – С. 36-40.
5. Птицын Г.А., Ивин Ю.Э. Динамика средней длины пути сообщений и уязвимости развивающихся сетей // Электросвязь. – 2003. – № 7. – С.38-40.
6. Михеенко В.С. Определение надежности и живучести сетей связи с адаптивной маршрутизацией сообщений // Электросвязь. – 2004. – № 8. – С. 36-39.
7. Нетес В.А. Об оценке вероятности связности двухполюсных сетей // Электросвязь. – 2001. – № 1. – С. 39-41.
8. Костров В.О. Применение оценок Полесского для расчета надежности сети связи // Электросвязь. – 2001. – № 11. – С. 42-46.
9. Воронцов Ю.А., Калимулина Э.Ю. Обеспечение надежности корпоративных сетей операторов связи // Вестник связи. – 2004. – № 10. – С. 44-47.

Поступила в редакцию 23.02.2006

Рецензент: канд. техн. наук, доцент А.Ю. Стрюк, Полтавский военный институт связи, Полтава.