

## ПРИНЦИПИАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ КЛАССИФИКАЦИИ И АНАЛИЗА МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ПРОГРАММНО-ПРОГНОСТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ МУЛЬТИСЕРВИСНЫХ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

**Аннотация.** Рассматриваются принципиальные задачи классификации и анализа моделей для прогностического контроля мультисервисных телекоммуникационных сетей (МСТС). Приводится методика, которая позволяет сравнивать интенсивность отказов в разных подсистемах и на разных временных интервалах исследований, независимо от их продолжительности.

**Annotation.** The of principles tasks of classification and analysis of models are examined for the prognostics control of multiservices telecommunications networks. A method over, which allows to compare intensity of refusals in different subsystems and on the different temporal intervals of researches, is brought, regardless of their duration.

**Постановка проблемы.** Функционирование систем контроля в системах телекоммуникаций позволяет не только определять годность объектов выполнять свое назначение, но и систематически получать информацию об изменении показателей качества и параметров во времени при различных условиях эксплуатации. Накопление этой информации позволяет решать практические задачи по прогнозированию технического состояния отдельных объектов телекоммуникаций, определению степени совершенства конструкции и технологии их производства, оценке влияния условий эксплуатации на свойства объекта и т. п.

**Анализ последних исследований и публикаций, в которых положено начало решения проблемы.** Во многих работах, например, [1...10], сделана попытка формирования подхода к построению моделей процессов, протекающих в МСТС и разработки методов прогностического контроля для них.

Один из наиболее эффективных подходов к решению поставленных задач изложен в работах Г. Альтшуллера и его коллег [11, 12]. Для решения задач прогнозирования им предложен системный оператор, который в общем виде выглядит так, как это показано на рис. 1.

**Связь проблемы с важными научными и практическими заданиями.** Эффективное использование информации от систем контроля в системах телекоммуникаций требует создания информационной системы, которая должна обеспечивать сбор, обработку, хранение и распределение информации.

Информационная система является составной частью системы управления процессами производства и эксплуатации. Уже из этого следует, что сети МСТС совместно с надсистемами контроля и обеспечения эксплуатации образуют иерархические системы.

В связи с отмеченным, **раньше нерешенной частью общей проблемы** есть задача, которая позволяет оценить системное понимание процессов, протекающих в многоуровневых сетях, что приводит к необходимости учета прогнозов состояния подсистем

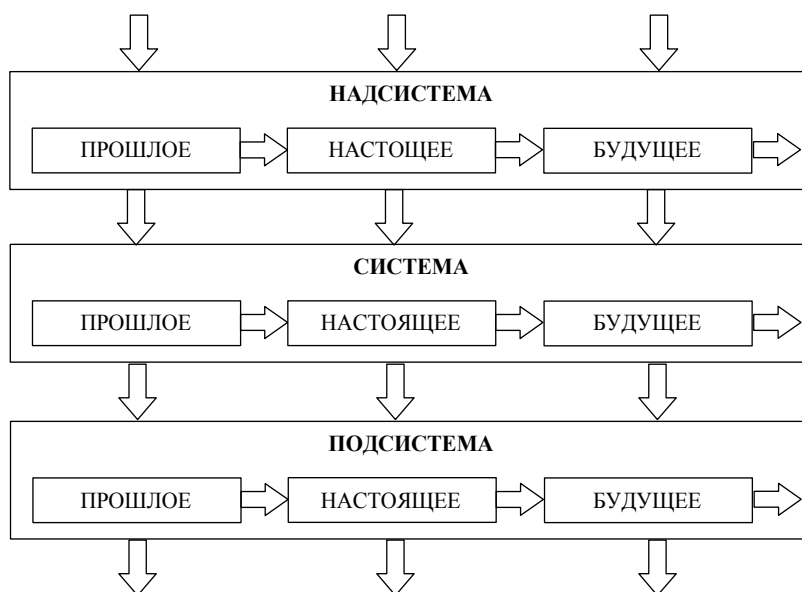


Рис. 1 – Системный оператор по Г. Альтшуллеру

тем на всех уровнях и анализа их взаимовлияния.

Модель, показанная на рис. 1, нуждается в некотором уточнении. Взаимовлияние уровней в реальных системах происходит не одновременно. Как правило, возникновение событий на некоторых уровнях (назовем их *причинными событиями*), приводит иногда к запаздывающим следствиям на других уровнях.

Рассмотрим пример. В системе обслуживания некоторого «условного» провайдера предусмотрены службы технической поддержки абонентов и технической поддержки узлов передачи данных. По причинам усложнения экономической ситуации руководство провайдера временно отказалось от технической службы поддержки узлов. Эти функции были поручены службе технической поддержки абонентов. Событие произошло несколько месяцев тому назад. И лишь в настоящий момент произошло «зависание» магистрального маршрутизатора. Очевидная цепочка дальнейших «отказов в обслуживании» выглядит так, как это показано на рис. 2.

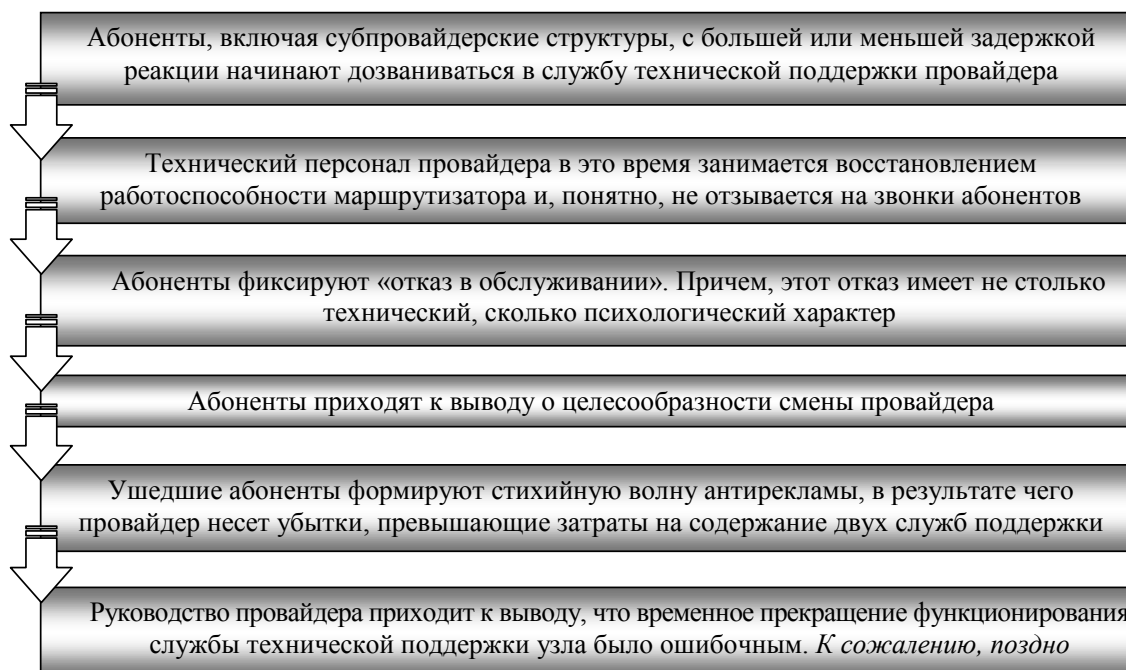


Рис. 2 – Цепочка «отказов в обслуживании»

Из приведенного примера видно, что отсутствие грамотного прогностического контроля может приводить к достаточно тяжелым последствиям даже со значительными задержками во времени.

Понимая условность любых моделей, мы будем решать задачи прогностического контроля с использованием методов многоуровневого прогнозирования [3], основанных на применении операторов по Г. Альтшуллеру.

Т.о., задачами являются:

- анализ и построение физической модели МСТС применительно к задаче прогностического контроля;
- построение формальных моделей функционирования различных уровней таких систем;
- факторизация моделей показателей качества МСТС для различных уровней и различных сервисов;
- построение формальных моделей взаимосвязей между уровнями моделей.

В связи с изложенным, **постановкой задачи** есть разработка и формализация модели отказов обслуживания МСТС, а также ввод понятия отказа в обслуживании МСТС.

Перейдем к изложению *основного материала*. В приведенном выше примере фактически произошло два отказа в обслуживании: техногенный (отказ работоспособности маршрутизатора) и антропогенный (на звонки абонентов не реагировала служба технической поддержки). Возможно, что второй отказ еще более критичен для отношения абонента к провайдеру, чем первый [12], поскольку клиент сети может « подождать » какое-то определенное время до момента восстановления предоставления услуги. Гораздо хуже, если он не имеет вообще никакой информации и возможной продолжительности перерыва связи. С другой стороны, понятно, что уже в современных телекоммуникационных сетях, не говоря уже об NGN, выход из строя какого-то устройства или даже фрагмента сети не обязательно приводит к отказу в обслуживании. Собственно, сеть Интернет, прообраз NGN, изначально возникла как система повышенной надежности [13], в которой отказы подсистем не приводят к отказу системы в целом.

Некоторую неопределенность в трактовке понятия отказа для МСТС создает также мультисервисный характер предоставляемых услуг. Например, задержка в получении электронной почты на 3-5 минут не является критичной, тогда как задержка на 2-3 секунды в передаче голосового трафика субъективно воспринимается как отказ в обслуживании.

Далее в статье, под *отказом в обслуживании* МСТС, будем понимать непредоставление или предоставление с ненадлежащим качеством услуги, качество которой регламентировано нормативами или отражено в договорных документах.

К регламентам предоставления услуг следует отнести, в первую очередь отраслевую нормативно-правовую базу, включая Закон Украины «О телекоммуникациях» [14] и «Правила предоставления и получения телекоммуникационных услуг» [15]. В качестве примера договорных документов можно привести типовой договор провайдера «Тенет» [16] и связанный с ним регламент предоставления услуг [17].

Отказ в обслуживании – это событие, которое характеризуется временем начала и временем окончания. Интервал между этими двумя моментами времени является временем предоставления услуги и должен рассматриваться как один из основных показателей качества обслуживания МСТС.

Неформально под такими событиями следует понимать, например:

- *отсутствие зуммера (причиной чего могут быть неисправность абонентской линии, авария на распределительной сети, авария на АТС и т.д.);*
- *недоставка электронной почты;*
- *задержки при передаче-приеме голосовых сообщений по различным IP-технологиям;*
- *отказ доступа в сеть при том, что абонент своевременно внес оплату за услуги;*
- *отказ в предоставлении консультационных услуг, если такие услуги предусмотрены абонентским договором;*
- *спам-атаки, приводящие к невозможности получения конкретных сообщений даже при наличии трафика и т.д.*

Конечно, более полезными для практики были бы экономические показатели потерь от непредоставления услуг связи и телекоммуникаций. Эти потери имеют двойственный характер. Во-первых, это потери оператора связи или провайдера, которые влекут штрафные санкции. В соответствии с законодательством Украины данные санкции пропорциональны доле абонентской оплаты за время непредоставления услуг [14]. С математической точки зрения, данная составляющая потеря есть величина, пропорциональная времени отказа в обслуживании. Во вторых, это потери абонента, вызванные с перерывом связи. Данные потери на практике для всех возможных случаев рассчитать не представляется возможным. В качестве примера, при необходимости, можно рассмотреть случай потерь из-за невозможности вызвать службу МЧС к месту пожара вследствие отказа системы связи.

## Формализация отказа в обслуживании МСТС

В [18, 19] отмечается, что «требования пользователей к надежности NGN определяются показателями, которые свойственны сетям общего пользования. Они наиболее жесткие, если сравнить принятые нормы по надежности для телефонной связи, Интернет и системы распределения программ вещания. Более того, для некоторых пользователей надежность определяется, допустимым, временем простоя 5,3 мин. за год».

В эксплуатируемых цифровых коммутационных станциях на оборудование, которое можно отнести к абонентской части, пришлось 87% отказов. Основные причины высокой доли отказов – плохое состояние линейно-кабельных сооружений, попадание посторонних напряжений из-за замыканий с электрическими проводами и грозовых разрядов [18]. Доля отказов для оборудования, связанного с соединительными линиями, оценивается в 6%. Остальные 7% отказов приходятся на устройства управления коммутационных станций.

Как видим, для сетей общего пользования имеются наработки для определения предельных значений параметров отказоустойчивости и статистика отказов по видам оборудования. При этом сам по себе отказ оборудования МСТС еще не может рассматриваться, как событие, эквивалентное отказу в обслуживании. Так, при наличии двух и более внешних каналов у провайдера услуг, отказ одного из них может привести к потерям качества передачи голосового трафика, но не приводит, как правило, к перебоям в передаче сообщений электронной почты [20]. С другой стороны, частые отказы на абонентской части МСТС приводят к менее тяжелым последствиям, чем редкие, казалось бы, отказы устройств управления. Отказ последних означает отказ в обслуживании сразу группам абонентов большего или меньшего состава в зависимости от организации сети.

Независимо от физической природы и содержания показателей качества предоставления услуг МСТС (далее – параметры качества обслуживания), формально их можно описать вектором:

$$\bar{Z}_n = [z_1, z_2, \dots, z_n], \quad (1)$$

где  $z_i, i = 1, 2 \dots n$  – параметры качества обслуживания.

Пусть для  $i$ -го параметра определены нормативами его минимальное  $z_{i \min}$  и максимальное  $z_{i \max}$  значения. Событие, заключающееся в выполнении неравенства

$$z_{i \min} \leq z_i \leq z_{i \max} \quad (2)$$

означает нахождение  $i$ -го параметра в заданных границах, т.е. *отсутствие отказа* в обслуживании. Тогда выход любого  $i$ -го параметра за границы нормативных значений, т.е. событие  $\omega_i$ , обратное выполнению неравенства (2), будет формально означать *отказ в обслуживании* по  $i$ -му параметру, что, в соответствии с принятыми обозначениями в теории множеств, обозначим:

$$\omega_i = \omega_i : \left\{ z_i \notin [z_{i \min}, z_{i \max}] \right\}. \quad (3)$$

На языке теории множеств отказ в обслуживании на сети NGN означает наступление хотя бы одного из событий (3), где  $i=1, 2 \dots n$ , что позволяет формализовать понятие отказа  $\Omega$  следующим образом:

$$\Omega = \omega_1 \cup \omega_2 \dots \cup \omega_n, \quad (4)$$

где  $\cup$  – функция «или» (объединение множеств).

## Модели показателей отказов МСТС

Событийная модель отказа (4) МСТС позволяет формализовать ряд удобных показателей отказов.

В первую очередь, это вероятностный показатель, который обозначим  $P(\Omega)$  – вероятность отказа МСТС. Удобство этого показателя на практике заключается в наличии принципиальной возможности его измерения и оценивания по статистическим данным. Источниками информации при этом могут быть:

- журналы диспетчерских служб;
- записи телефонных переговоров диспетчерских служб с абонентами;
- данные об отказах магистрального оборудования, серверов доступа и др.

Перед тем, как выбрать оператора или провайдера, хотелось бы знать значение оценки этого показателя.

Вместе с тем, такой интегральный показатель, как  $P(\Omega)$  не позволяет декомпозировать задачу анализа причин отказов, что требуется на практике для обеспечения адекватных реакций со стороны провайдера или оператора на отказы.

Для более детального анализа причинно-следственных связей по необходимости следует рассматривать характеристики всех компонентов (3) множества  $\Omega$  по отдельности. Тогда в качестве вероятностной модели «векторного» отказа следует рассматривать *вектор* вероятностей:

$$\bar{P}_n = [p_1, p_2, \dots, p_n], \quad p_i = P(\omega_i), \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (5)$$

Что касается интегрального показателя  $P(\Omega)$ , то чисто теоретически его можно рассчитать, зная вероятности событий  $\omega_i$  и вероятности пересечений этих событий. В то же время, необходимо учесть, что события  $\omega_i$  не являются несовместными. Поэтому даже для случая  $n = 2$  вероятность  $P(\Omega)$  пришлось бы определять по формуле [21, с. 23]:

$$P(\Omega) = p_1 + p_2 - P(\omega_1 \cap \omega_2), \quad (6)$$

где  $P(\omega_1 \cap \omega_2)$  – вероятность одновременного наступления событий  $\omega_1$  и  $\omega_2$ .

На практике задача, связанная с измерением последнего компонента в формуле (6) даже для случая двух событий является трудноразрешимой. Поэтому при наличии измерительной информации о компонентах вектора (5) в качестве интегрального показателя интенсивности отказов МСТС целесообразно использовать сумму:

$$P_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n p_i.$$

Расчетная величина  $P_{\Sigma}$  не является вероятностью, поскольку для очень плохого качества обслуживания может быть величиной, больше 1. В то же время, она является монотонно возрастающей функцией каждого слагаемого  $p_i$ . Поскольку задачей каждого оператора является уменьшение вероятности любого отказа, то и величина  $P_{\Sigma}$  будет, как правило, меньше для сети с лучшим качеством обслуживания.

Вероятность или ее эмпирическая оценка – частота [22, с. 124], могут выступать в качестве удобных экспресс-характеристик для анализа возможных причин и интенсивности отказов провайдером или оператором связи. Для абонента сети более важным показателем является время, в течение которого он не получает услуги должного качества.

Рассматривая компоненты вектора параметров (1) как функцию времени  $z_i = z_i(t)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ , можем определить для каждого из них релейную функцию:

$$z_{norm\ i}(t) = \begin{cases} 0, & z_{i\ min} \leq z_i(t) \leq z_{i\ max}, \\ 1, & z_i(t) < z_{i\ min} \text{ è è è } z_i(t) > z_{i\ max}, \end{cases}$$

где  $i = 1, 2, \dots, n$ .

В качестве показателя интенсивности отказов по  $i$ -му параметру можно определить нормированную по времени функцию:

$$q_i = \frac{1}{T} \int_0^T z_{norm\ i}(T) dt, \quad (8)$$

где  $T$  – период измерения показателя  $z_i(t)$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ .

Удобство показателей (8) заключается в том, что:

- они имеют простой физический смысл – средней доли времени непредоставления услуг по определенному показателю;
- они допускают измерения на основе информации об отказах оборудования сетей и отказов в предоставлении сопутствующих услуг;
- они нормированы и находятся в интервале значений от 0 до 1.

В качестве интегрального показателя интенсивности отказов в обслуживании МСТС по всем параметрам целесообразно назначить нормированную функцию:

$$Q = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i. \quad (9)$$

**Выводы.** Очевидно, что функция (9) обладает теми же положительными качествами, что и (8). С учетом зависимости последних, удобство нормировки показателя  $Q$  состоит в том, что его значения, тем не менее, также находятся в интервале от 0 до 1. Это позволяет сравнивать интенсивность отказов в разных подсистемах МСТС и на разных временных интервалах исследований, независимо от их продолжительности. Т.о., показатели (8) и производная от них (9) являются удобными показателями для решения задач прогностического контроля. В качестве их стохастических аналогов можно рассмотреть их математические ожидания и статистические характеристики их оценок, что является *перспективой дальнейших исследований*. Заметим, что обратная категории интенсивности отказов – категория надежности – элементарно отражается показателями, обратными к показателям (8) и (9):  $1 - q_i$  как среднее время безотказного предоставления услуг по  $i$ -му параметру и  $1 - Q$  как обобщенный показатель надежности обслуживания МСТС.

### Список использованных литературных источников

1. Кушер О.М. Аналіз моделей зміни технічних параметрів інформаційних систем // Наукові записки УНДІЗ. – №3(5). – Київ: УНДІЗ, 2008. – С.94-98.
2. Кушер А.М., Казакова Н.Ф. Метод системного багаторівневого прогнозування // Матеріали II Міжнар. наук.-практ. конф. «Обробка сигналів і негаусівських процесів», 25-29 травня 2009 г. – Черкаси: ЧДТУ, 2009.
3. Волков С.Л., Кушер О.М. Прогнозування стану системи телекомунікацій на основі обробки спостережуваних даних / Наук. записки Міжнар. гуманіт. ун-ту. – Випуск 16: Управління проектами та програмами / Відп. за випуск А.І.Рибак. – Одеса: МГУ, 2009. – С.107-112.
4. Васильев Б.В. Прогнозирование надежности и эффективности радиоэлектронных устройств. – М: Сов. Радио, 1970. – 336 с.
5. Ивахненко А.Г. Долгосрочное прогнозирование и управление сложными системами. – К.: «Техніка», 1975.
6. Левченко А.О. Розроблення адаптивної системи технічної діагностики з прогнозуванням // Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.13.06. – Одесск. нац. політехн. ун-т., 2004. – 19 с.
7. Иванов А. В. Разработка и исследование алгоритмов прогнозирования и управления очередями в компьютерных сетях // Автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01. – СПб: С.-Петербург. гос. техн. ун-т, 2001. – 28 с.

8. Гладышевский А.М. Методы и модели экономического прогнозирования. – М.: Экономика, 1977. – 342 с.
9. Мартино Г. Технологическое прогнозирование. – М.: Прогресс, 1977.
10. Добров Г.М. Прогнозирование науки и техники. – М., «Наука», 1977. – 264 с.
11. Альтшуллер Г.С. Найти идею. – Новосибирск: Наука, 1986 // [Электронный ресурс]: <http://www.trizminsk.org/r/4117.htm#09>.
12. Смирнов Ф. Клиент всегда прав, провайдер всегда в убытке? // [Электронный ресурс]: [http://telnews.ru/Fedor\\_Smirnov/c36737](http://telnews.ru/Fedor_Smirnov/c36737).
13. Стекольников Ю.И. Живучесть систем. – М.: Политехника, 2002. – 155 с.
14. Про телекомунікації. Закон України від 18.11.2003 №1280-IV // Відомості Верховної Ради (ВВР), 2004, №12, ст.155.
15. Правила надання та отримання телекомунікаційних послуг. Затверджено постановою Кабінету Міністрів України від 9 серпня 2005 р., №720.
16. Договір про надання телекомунікаційних послуг ТОВ НВП «Тенет» // [Электронный ресурс]: <http://www.tenet.ua/documents/agreement>.
17. Регламент про надання і використання послуг ТОВ НВП «Тенет» // [Электронный ресурс]: <http://www.tenet.ua/documents/reglament>.
18. Витченко А.И., Пинчук А.В., Соколов Н.А. Опыт создания NGN в Ленинградской области // Вестник связи, 2005, №10. – С. 24-32
19. Шалаев А.Я. Система сбора и анализа информации о работе цифровых АТС // Информ-Курьер-Связь, 2004, №9. – С. 37-44.
20. Яновский Г.Г. Современные проблемы науки в области телекоммуникаций (Эволюция и конвергенция) // СПб: СПбГУТ им. М.А. Бонч-Бруевича, 2008. – 162 с.
21. Ширяев А.Н. Вероятность. – М.: Наука, 1980. – 576 с.
22. Ветцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Физматгиз, 1969. – 576 с.