

УДК 621.391.6:658.62.01

## МОДЕЛИ ОТКАЗОВ В СОВРЕМЕННЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СЕТЯХ И АВИАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ СВЯЗИ

Липовский В.Г., **Чирков Д.В.**

## MODELS OF FAILURES IN MODERN INFORMATION NETWORKS AND THE AVIATION SYSTEM COMMUNICATIONS

Lipovskii V., **Chirkov D.**

*В данной статье рассмотрено два варианта события «развитие отказа»: сверху вниз и снизу вверх. Приведены реальные графики загрузки различных портов провайдеров мультисервисных услуг.*

*Показано, как общую задачу построения моделей функционирования NGN, приспособленных к решению задач прогностического контроля можно декомпозировать и свести к задачам синтеза моделей параметров и факторов, влияющих на потоки отказов, на разных уровнях модели сети. Таким образом, завершена формализация и синтез моделей процессов, влияющих на отказы в сетях АСС и СИС.*

**Ключевые слова:** модели отказов, информационные сети, авиационные системы связи

### Введение

В современных инфоком-муникационных сетях (СИС), не говоря уже об NGN, собственно 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 [1], в которой отказы подсистем не приводят к отказу системы в целом.

Некоторую неопределенность в трактовке понятия отказа для СИС 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, особенно это важно для авиационных систем связи (АСС).

В данной статье под отказом в обслуживании АСС 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» и «Правила предоставления и получения телекоммуникационных услуг».

Отказ в обслуживании – это событие, которое характеризуется временем начала и

временем окончания. Интервал между этими двумя моментами времени является временем непредоставления услуги и должен рассматриваться как один из основных показателей качества обслуживания АСС.

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. С математической точки зрения, данная составляющая потеря есть величина, пропорциональная времени отказа в обслуживании. Во вторых, это потери абонента, вызванные с перерывом связи.

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. Доля отказов для оборудования, связанного с соединительными линиями, оценивается в 6%. Остальные 7% отказов приходится на устройства управления коммутационных станций.

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

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

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 мы будем обозначать в соответствии с принятыми обозначениями в теории множеств:

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

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

Событийная модель отказа (4) СИС и АСС позволяет формализовать ряд удобных показателей отказов.

В первую очередь, это вероятностный показатель, который можно обозначить  $P(\Omega)$  – вероятность отказа СИС. Удобство этого показателя на практике заключается в наличии принципиальной возможности его измерения и оценивания по статистическим данным.

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 и требуется на практике для обеспечения адекватных реакций со стороны провайдера или оператора на отказы.

**Основная часть**

Рассмотрим два варианта события «развитие отказа»: сверху вниз и снизу вверх.

В первом случае непредоставление частного сервиса на самом высоком уровне модели (уровне управления услугами) влечет

отказы в предоставлении конкретной услуги или группы услуг на всех нижних уровнях и для всех абонентов сети. Крайне негативным примером такого отказа может служить полное отсутствие обслуживания вследствие, например, обесточивания центрального узла провайдера или программно-аппаратный отказ сервера доступа или биллинговой системы.

На уровне управления сетью отказ в обслуживании может иметь двунаправленные последствия в зависимости от его причин. Отказ конкретного устройства коммутации пакетов может привести к развитию отказа вниз – непредоставления услуг части абонентов, пользующихся услугами именно данного коммутатора. С другой стороны, лавиннообразные процессы роста трафика с внешнего порта определенного коммутатора могут привести к перегрузке внешних каналов. Это приведет к петлеобразному процессу – непредоставлению услуг прочим группам абонентов.

Перегрузка входящих портов и – как следствие – перегрузка исходящих портов, следовательно, представляет собой процесс развития отказов снизу вверх на всех логических уровнях СИС и АСС.

Таким образом, применительно к модели многоуровневого оператора Альтшуллера, для анализа взаимодействия уровней сети необходимо, в первую очередь, исследовать нагрузку на входящих и исходящих портах соответствующих уровней [2].

В более общем виде структурную зависимость факторов от времени можно представить в виде разложения по произвольной системе линейно независимых функций, в частности, по тригонометрическим функциям. Последнее удобно, если требуется моделировать периодические составляющие процессов, например имеющие место сезонные и суточные периоды изменения нагрузки в сетях. Итак, дополнительной формой модели зависимости факторов от времени принимаем разложение:

$$\varphi_k(t) = a_{k1} \psi_{k1}(t) + a_{k2} \psi_{k2}(t) + \dots + a_{kN} \psi_{kN}(t) + \varepsilon_k, \quad (5)$$

где  $\psi_{kn}(t)$ ,  $n = 1, 2, \dots, N$  – система линейно независимых опорных функций.

Примем условно, что на некотором уровне все входящие порты имеют одинаковую пропускную способность. Это имеет место, например, в задачах, связанных с трансляцией голосового трафика, где ширина полосы пропускания должна быть не менее 64Кбит/с. Тогда требуемая ширина полосы исходящих портов может быть рассчитана по простой формуле:

$$P_{\text{исх.треб}} = \eta_{\text{одн}} N P_1, \quad (6)$$

где  $P_{исх.треб}$  – требуемая ширина полосы исходящих портов;  $N$  – количество однотипных входящих портов;  $P_1$  – полоса пропускания одного входящего порта;  $\eta_{одн}$  – коэффициент одновременности – средняя доля одновременно занятых входящих портов; типичные значения этого коэффициента 0,01 – 0,1, причем большее значение характерно для часа наибольшей нагрузки.

Очевидно, что если на любом уровне сети  $P_{исх}(t) > P_{исх.треб}$ , то фиксируется отказ в обслуживании типа «недостаток пропускной способности сети» [3].

Разнообразие входящих портов и их различная пропускная способность не изменяют в значительной мере зависимости (6), поскольку их можно объединить в несколько групп с одинаковой пропускной способностью или с одинаковым коэффициентом одновременности.

Более важным является тот факт, что фундаментальным параметром, определяющим

свойства сети, является занятая полоса пропускания или, более общо, использованный ресурс программно-аппаратного комплекса на разных уровнях сети.

При этом проблематика отказов в обслуживании СИС и АСС не сводится только к исследованию перегрузки на портах или перегрузки процессоров и т.п. Совершенно очевидно, что существуют жесткие функциональные или положительно коррелированные статистические связи между перегрузкой полос пропускания и задержками пакетов, а общая ширина полосы пропускания в крупных сетях практически пропорциональна количеству конечных абонентов. Поэтому достаточно полными интегральными характеристиками телекоммуникационных сетей можно считать заявленную полосу пропускания внешних портов (по отношению к пропускной способности входящих портов) и их загрузку.

Ниже приведены реальные графики загрузки (рис. 1, 2) различных портов провайдеров мультисервисных услуг.

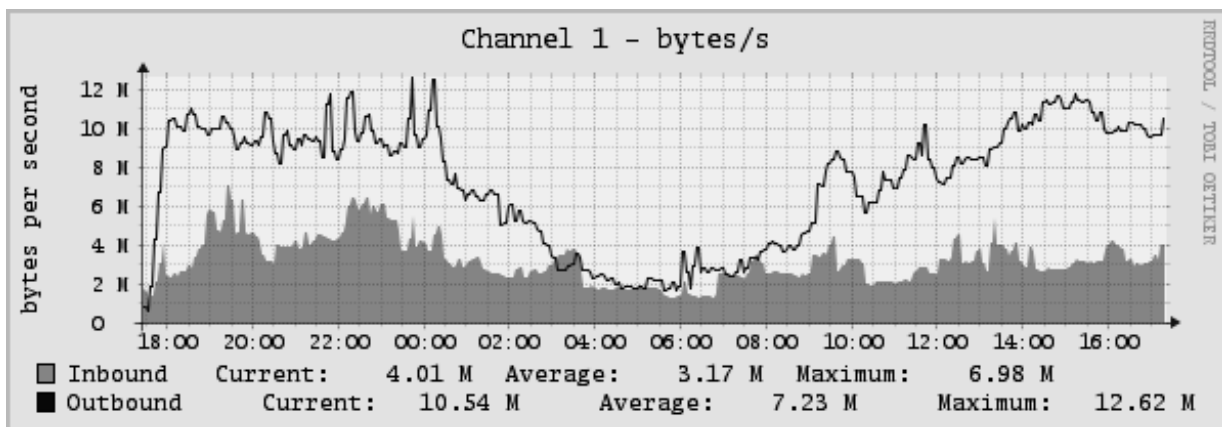


Рис 1. График загрузки порта 1 «условного провайдера 1» за сутки

Суточный график загрузки (рис. 1) сгенерирован специальной программой. По оси абсцисс откладывается время. Единицы времени понятны из графика. По оси ординат откладывается нагрузка на порту в мегабайтах в секунду. Чтобы получить эту нагрузку в более привычных единицах – битах (килобитах, мегабитах и т.д.) в секунду, надо значения, показанные на графике, умножить на 8. Также заметим, что термины Inbound и Outbound относятся к рассмотрению порта со стороны ответного интерфейса. Поэтому входящему трафику соответствует верхняя линия, а исходящему – заштрихованная фигура.

Анализ суточного графика рис. 1 позволяет сделать следующие выводы:

1. Входящий трафик превалирует над исходящим. Из этого можно сделать вывод, что

«условный провайдер 1» вряд ли является контент-провайдером.

2. Имеется ярко выраженный «провал» загрузки порта приблизительно в с 2-х до 8-ми часов (ночное время).

3. Загрузка порта имеет пульсирующий, нерегулярный характер. При этом имеется некоторая регулярная часть процесса.

График загрузки порта за год (рис. 2) показывает, что и на продолжительных интервалах наблюдений имеются некоторые закономерности. В частности, имеется выраженный спад нагрузки в период новогодних праздников и вплоть до середины февраля. Также имеются тенденции изменения трафика приблизительно линейного характера на интервалах продолжительностью 2-4 месяца.

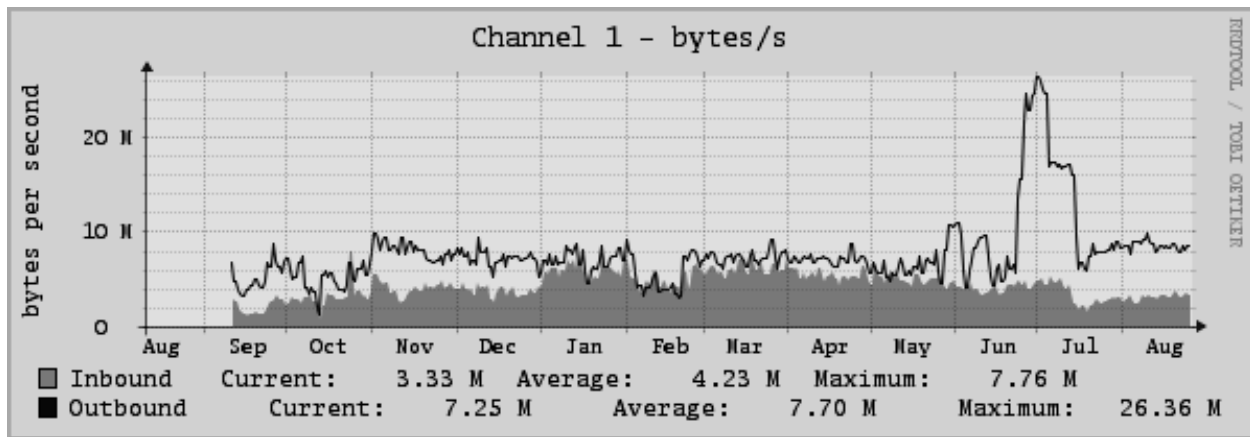


Рис 2. График загрузки порта 1 «условного провайдера 1» за год

На графике рис. 2 имеется характерный «выброс» исходящего трафика приблизительно месячной продолжительности с середины июня по середину июля. Неформальный анализ и дополнительные сведения от «условного провайдера 1» позволили установить, что в этот период в тестовом режиме была подключена дополнительная нагрузка на входящие порты (крупная сеть провайдера низшего уровня). При этом общая заявленная полоса на данном порту составляла  $30 \times 8 = 240$  Мбит/с. В то же время реальная нагрузка на порту доходила до  $28 \times 8 = 224$  Мбит/с. Таким образом, в течении длительного периода времени полоса пропускания порта была занята более чем на 93%.

Из рассмотрения графиков загрузки портов можно сделать предположение о более конкретном виде модели зависимости (5) фактора «занятость полосы пропускания» от времени. А именно, такая зависимость должна содержать тригонометрические функции с периодами сутки, неделя, год и степенные функции, как минимум до второго порядка. Не вполне очевидно, что такие функции образуют линейно независимую систему. Это видно из Теоремы 1.

Теорема 1. Тригонометрическая функция  $\cos x$  и ограниченное количество степенных функций  $x^n$ ,  $n = 1, 2, \dots, N$ , на интервале  $x \in [0, 1]$  линейно независимы.

Доказательство.

Степенные функции при любом  $N$  образуют систему линейно независимых функций. Остается показать, что функция  $\cos x$  и система степенных функций линейно независимы.

По определению, функция  $\cos x$  линейно независима системе  $x^n$ ,  $n = 1, 2, \dots, N$ , если она не может быть выражена через их линейную комбинацию, если не все они одновременно равны нулю.

Функция  $\cos x$  допускает единственное разложение в степенной ряд:

$$\cos x = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \dots + a_n x^n + R_{n+1} \quad (7)$$

где  $a_0 = 1$ ;  $a_n = 0$  при  $n = 2k + 1$ ,  $k > 0$ ;  $a_n = -1^{k/2} / n!$  при  $n = 2k$ ,  $k > 0$ ;  $R_{n+1}$  – остаток степенного ряда.

Остается показать, что остаток ряда  $R_{N+1} \neq 0$  при любом конечном  $N$ . Допустим, что  $N/2$  – нечетное число.

Тогда остаток ряда представим в виде:

$$R_{N+1} = S_L + S_{L+3} + S_{L+6} + \dots, \quad L = N + 2 \quad (8)$$

где

$$S_L = \frac{1}{L!} x^L - \frac{1}{(L+2)!} x^{L+2}, \quad (9)$$

или, после несложных преобразований:

$$S_L = \frac{1}{L!} x^L \left( 1 - \frac{1}{(L+1)(L+2)} x^2 \right). \quad (10)$$

Очевидно, что при  $x > 0$ ,  $x \leq 1$  и  $L \geq 1$   $S_L > 0$ .

Таким образом, остаток ряда (8) является суммой положительных величин, то есть  $R_{N+1} \neq 0$  при любом конечном  $N$ , что и требовалось доказать.

Не нарушая степени общности, можно утверждать, что тригонометрические функции вида  $\cos(\omega x + \beta)$  и степенные функции также образуют систему линейно независимых функций, что важно при решении задач идентификации.

Тогда с учетом выявленных закономерностей тенденций изменения трафика и с учетом сильной корреляции между занятостью полос пропускания на разных уровнях АСС и

оператора прогнозування Альтшуллера, функції змінення факторів по [2] можна представити в виді:

$$\varphi(t) = \varepsilon(t) + a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + \dots + a_N t^N + a_{N+1} \cos(\omega_1 t + \beta_1) + a_{N+2} \cos(\omega_2 t + \beta_2) + \dots + a_{N+3} \cos(\omega_3 t + \beta_3) \quad (11)$$

где  $\varepsilon(t)$  – нерегулярная (случайная) составляющая наблюдаемого процесса, последние три слагаемых моделируют периодические составляющие тренда с периодичностью соответственно сутки, семь суток, 365 суток.

На самом деле большинство телекоммуникационных сетей являются развивающимися системами, как в части технического совершенствования, так и в части масштабирования. Допустим, что некоторая сеть изменяется так, что ее сетегобразующее оборудование (коммутаторы, маршрутизаторы и др.) остаются примерно на одном технологическом уровне, а количество абонентов сети и, следовательно, количество входящих абонентских портов возрастает. При этом, очевидно, что приведенная выше вероятностная модель остается в общем адекватной, однако интенсивность отказов  $\lambda$  будет сильно коррелирована с количеством абонентских линий.

Такая ситуация является типичной для современных телекоммуникационных сетей на достаточно продолжительных временных отрезках, когда не происходит технического перевооружения этих сетей.

В этом случае адекватной моделью потока отказов представляется нестационарный пуассоновский поток с интенсивностью отказов, пропорциональной количеству абонентских портов  $M_{аб}$ :

$$\lambda(t) = \beta M_{аб}(t), \quad (12)$$

где  $\beta$  – коэффициент, определяемый по опытным данным.

Количество отказов за период времени – это лишь один из показателей качества обслуживания. Для абонента важно, чтобы при возникновении аварийной ситуации на сети подача услуги была восстановлена в минимально короткие сроки.

Совершенно очевидно, что в модели нестационарного пуассоновского процесса параметр процесса  $M_{аб}(t)$  в формуле (12) также будет подчиняться зависимости вида (11), поскольку количество абонентских портов сильно коррелировано с общей занимаемой полосой пропускания на исходящих портах оборудования оператора телекоммуникационных услуг.

Таким образом, завершена формализация и синтез моделей процессов, влияющих на отказы в сетях АСС и СИС.

### Выводы

Проведенные исследования и анализ литературных источников показали:

Общую задачу построения моделей функционирования NGN, приспособленных к решению задач прогностического контроля можно декомпозировать и свести к задачам синтеза моделей параметров и факторов, влияющих на потоки отказов, на разных уровнях модели сети. Общую модель отказоустойчивости или потоков отказов удобно формализовать при этом в рамках многоуровневого оператора прогнозувания по Г. Альтшуллеру.

### Литература

1. Отрох О.І. Архітектура мережі нового покоління NGN / Отрох О.І., Єфремов О.С. // Вісник ДУІКТ, Спецвипуск, 2007. - с. 65-71.
2. Альтшуллер Г.С. Найти идею / Альтшуллер Г.С. - Новосибирск: Наука, 1986 // [Электронный ресурс] // : <http://www.trizminsk.org/r/4117.htm#09>.
3. Белас О.М. Розроблення методики прогнозування контролю сучасних авіаційних інфокомунікаційних мереж / Белас О.М., Лепівський В.Г., Заклевський Д.Є. // Системи управління, навігації та зв'язку, Вип 3 (23), 2012. - с. 48-51.

### References

1. Otroh O.I. Arhitektura merezhi novogo pokolinnja NGN / Otroh O.I., Efremov O.S. // Visnik DUKIT, Specvipusk, 2007. - s. 65-71.
2. Al'tshuller G.S. Najti ideju / Al'tshuller G.S. - Novosibirsk: Nauka, 1986 // [Jelektronnyj resurs] // : <http://www.trizminsk.org/r/4117.htm#09>.
3. Belas O.M. Rozroblennja metodiki prognozujuchogo kontrolju suchasnih aviacijnih infokomunikacijnih merezh / Belas O.M., Lepiv'skij V.G., Zaklev'skij D.Є. // Sistemi upravlinnja, navigacii ta zv'jazku, Vip 3 (23), 2012. - s. 48-51.

Липовський В.Г., **Чирков Д.В.**

### МОДЕЛІ ВІДМОВ В СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ МЕРЕЖАХ І АВІАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ ЗВ'ЯЗКУ

*У даній статті розглянуто два варіанти події «розвиток відмови»: зверху вниз і знизу вгору. Наведено реальні графіки завантаження різних портів провайдерів мультисервісних послуг.*

*Показано, як загальну задачу побудови моделей функціонування NGN, пристосованих до вирішення завдань прогностичного контролю можна декомпозувати і звести до завдань синтезу моделей параметрів і факторів, що впливають на потоки відмов, на різних рівнях моделі мережі. Таким чином, завершена формалізація і синтез моделей процесів, що впливають на відмови в мережах АСС і СИС.*

**Ключові слова:** моделі відмов, інформаційні мережі, авіаційні системи зв'язку.

Lipovskii V.G. Chirkov D.V.

**MODELS OF FAILURES IN MODERN INFORMATION NETWORKS AND THE AVIATION SYSTEM COMMUNICATIONS**

*This article discusses two types of events "development failure": top-down and bottom-up. Are the actual graphics load different ports providers of communications services.*

*Shows how the general problem of constructing models of functioning of NGN, adapted to meet the challenges predictive control can be decomposed and reduced to the synthesis of models parameters and factors affecting the flow of failures at different levels of the network model. Thus, the complete formalization and synthesis models of processes affecting failures in networks of ACC and the ICU.*

**Keywords:** *models of failure, information networks, aircraft communication systems.*

**Липовский В.Г., Чирков Д.В.** – Национальный авиационный университет, г. Киев

**Рецензент:** Петров Олександр Степанович – докт. техн. наук, професор, завідувач кафедри безпеки інформаційних систем, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, м. Луганськ.