

УДК625.395.7:51

## МАТЕМАТИЧЕСКИЙ МЕТОД РАСЧЕТА РЕАЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ УЧАСТКА СЕТИ СИГНАЛИЗАЦИИ

О. Г. Шерстнева, доцент СибГУТИ, к. т.н., sherstneva@sng.ru

**Ключевые слова:** система сигнализации ОКС№7, сигнальная единица, показатели надежности, повторный запрос, вероятность ошибки системы контроля, матрица вероятностей, качество обслуживания вызовов.

**Введение.** Подсистема контроля и диагностики систем сигнализации ПКД СС QUEST7 представляет собой интеллектуальную систему мониторинга компании GN Nettet для сетей ОКС7, GSM и IN. Данная система благодаря присущей ей гибкости может использоваться как с одним центром контроля, так и в виде сложной иерархической системы, включающей региональные центры контроля больших сетей, соединенных с главным центром.

Система выполнена на платформе UNIX и осуществляет сбор и передачу данных с помощью устройств удаленного тестирования (RTU), основанных на специализированном многоканальном анализаторе протоколов (МРА) той же компании. Это позволяет уменьшить затраты при повышении качества и доступности функционирования [1].

В рабочем состоянии сети производится непрерывный или периодический контроль исправности, сбор данных о состоянии подконтрольного оборудования и системы в целом. Помимо контроля оборудования осуществляется извещение оператора сети о качественном состоянии сети, производится инициация профилактического контроля. Задача обнаружения сбоев в работе и аварий сводится не только к простому их обнаружению и извещению оператора, но и к указанию конкретного места неисправности или аварии для дальнейшей локализации данного места. При локализации, т.е. выключении из сети неисправного оборудования, может произойти негативный эффект от данных действий. Задача системной защиты состоит в том, чтобы вовремя ввести в действие резервное оборудование или обходные каналы.

Наличие распределенных баз данных, сохраняющих большое количество информации о сигнализации, совместно с трассированием вызова по всей сети даже спустя несколько часов после его поступления, значительно облегчает поиск неисправностей при обнаружении проблем в сети.

Таким образом, использование централизованной системы ПКД СС обеспечивает корпоративных пользователей определенным набором средств, позволяющих снизить стоимость эксплуатации, улучшить качество предоставляемых услуг и получаемых результатов.

Результаты мониторинга сигнального обмена ОКС№7 можно использовать в качестве средства управления предоставлением новых услуг абонентам, оформления счетов транзитной сигнализации ОКС№7 и проверки счетов от операторов. Более того, доступность данных ОКС№7 в режиме реального времени позволяет предупредить возникновение неблагоприятных условий, обнаружить факт несанкционированного доступа, произвести оценку функционирования коммутатора оператора, статистических доказательств качества предоставляемых услуг и т.д.

В настоящее время система установлена и успешно эксплуатируется в таких компаниях, как Sonofon (Дания), Man-nemenn Mobilfunk GmbH (Германия), Bell Emergis (Канада),

Post & Telecom (Австрия), ETISALAT (Объединенные Арабские Эмираты), Global One, Malav (Венгрия) и др.

**Система сигнализации ОКС№7.** Она представляет собой совокупность средств, обеспечивающих прием требований на передачу линейных, регистровых и информационных сигналов, формирование пакетов данных переменной длины с сигнальной и другой информацией, передачу и прием кадров, необходимую верность и удовлетворение требований по допустимой задержке. В ОКС используется пакетный способ передачи и коммутации [2].

Сообщение ОКС№7 названо сигнальной единицей (СЕ) — Signal Unit (SU). Существуют три типа СЕ: заполняющая СЕ — Fill-in Signal Unit (FISU); СЕ состояния звена (СЗСЕ) — Link Status Signal Unit (LSSU); значащая СЕ (ЗНСЕ) — Message Signal Unit (MSU).

У всех трех типов СЕ имеется общий набор полей, обеспечивающих безошибочную передачу информации в сигнальной сети. К ним относятся: Flag, BSN, BIB, FSN, FIB, LI. Защита от ошибок при передаче СЕ осуществляется протоколом 2-го уровня эталонной модели взаимодействия открытых систем.

**Методы защиты от ошибок.** МККТТ рекомендует применять два метода защиты: основной (базовый) и превентивного циклического повторения (ПЦП).

Идея защиты от ошибок по базовому методу, используемая в ОКС№7, аналогична идее, реализованной в процедуре HDLC. Кратко суть этой идеи такова:

- каждая СЕ однозначно определяется FSN в диапазоне от 0 до 127;
- с помощью FIB в передаваемой СЕ указывается, имеет ли место повторная передачи или СЕ передается впервые;
- подтверждение (положительное или отрицательное) принятой СЕ обеспечивается с помощью BSN и BIB в той СЕ, которая передается в обратном направлении.

Под «положительным» подтверждением понимают формирование удаленной стороны ОКС об отсутствии ошибок в принятой СЕ, под «отрицательным» — запрос о необходимости повторения СЕ, принятой с ошибкой.

Звено сигнализации обязано предотвращать потерю СЕ. Если в канале возникает прерывание, то это приводит к искажениям СЕ. Для предотвращения потери СЕ обе стороны ОКС должны находиться в фазированном состоянии.

Состояние проверки, выдачи, повторной передачи СЕ можно фиксировать, например, при снятии Signal Trace с управляющего устройства (Management Node). Поэтому данные состояния являются состояниями, наблюдаемыми в процессе эксплуатации. Для сбора и обработки статистических данных с помощью системы ПКД СС можно запустить счетчики для каждого типа сообщений по всем линиям. Эти счетчики представляют реальные статистические данные о качестве обслуживания вызовов.

Таким образом, в процессе отслеживания прохождения конкретной СЕ возможно наблюдение за следующими ее состояниями (рис. 1):

$I_1$  — исходное состояние источника сигнальной информации;  
 $\Pi_v, \Pi_n$  — состояние проверки верно и неверно принятой СЕ;  
 $I_2^v, I_2^n$  — состояния выдачи источником следующей сигнальной единицы при верно и неверно принятой СЕ;  
 $\Pi\Pi_v, \Pi\Pi_n$  — состояния повторной передачи верно и неверно принятой СЕ;  
 $P_{I_2^v}^n, P_{I_2^n}^v$  — вероятность попадания в состояние  $I_2$  неверно и верно принятой СЕ;  
 $P_{\Pi\Pi_v}^n, P_{\Pi\Pi_n}^v$  — вероятность попадания в состояние ПП неверно и верно принятой СЕ;  
 $P_n^v, P_n^n$  — вероятность повторения процесса при неверно и верно принятой СЕ.

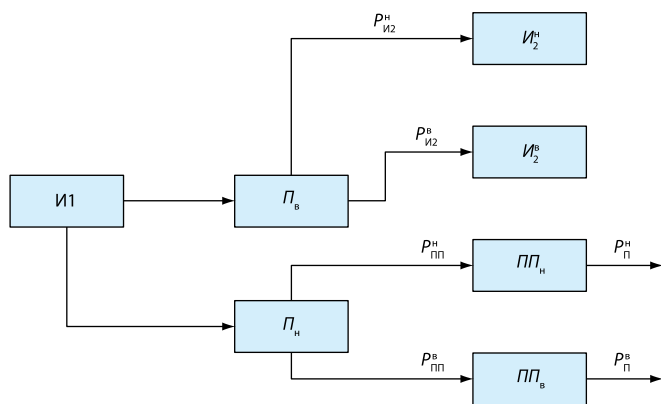


Рис. 1

В системе сигнализации ОКС№7 передаваемая сигнальная информация может быть искажена в связи с недостаточным качеством используемого канала связи и большим объемом передаваемой информации. Метод защиты от ошибок предполагает определение верности принимаемой информации с помощью циклического кодирования и организации «обратного» канала связи. При обнаружении искажения принятой СЕ по «обратному» каналу связи передаются обратный порядковый номер СЕ и обратный бит индикатора, которым присвоены определенные значения. Таким образом, рассматриваемая система сигнализации относится к системам с решающей обратной связью (РОС).

В системах с РОС приемник, приняв кодовую комбинацию (КК), анализирует ее на наличие ошибок. Затем принимает окончательное решение или о выдаче КК потребителю информации, или об ее стирании и посылке по обратному каналу связи сигнала о повторной передаче этой КК (переспрос). В случае безошибочного приема приемник формирует и направляет в канал ОС сигнал подтверждения, получив который передатчик передает следующую КК. Этот процесс и наблюдается в ОКС.

Системы с ОС подразделяются на системы с ограниченным или неограниченным числом повторений. В ОКС число повторений ограничивается объемом памяти буфера повторной передачи. При его переполнении, равно как и при перегрузке звена сигнализации, происходит перенос трафика на другое звено с учетом структуры сигнальной сети.

Наличие ошибок в каналах ОС приводит к тому, что в системах с РОС возникают потери информации, называемые «вставки» и «выпадения». Вставки получаются в тех случаях, когда приемник посылает сигнал решения о правильности принятой КК. В канале ОС этот сигнал трансформируется

в сигнал переспроса. На получателя информации данный факт не оказывает влияния, но скорость передачи информации может значительно снижаться. В этом случае передатчик повторяет предыдущую КК, а приемник воспринимает ее как следующую, т. е. одна и та же информация выдается дважды.

Выпадения получаются тогда, когда выработанный приемником сигнал переспроса трансформируется в сигнал подтверждения правильности приема. В этом случае по каналу прямой связи передается следующая КК, а предыдущая стирается и к получателю не поступает. Поскольку система ОКС работает как система с РОС, то и здесь также наблюдаются вставки и выпадения, приводящие к снижению качества обслуживания абонентов в условиях, когда предполагается, что ОКС может обслуживать до 1500 речевых каналов.

**Моделирование математической модели.** Описанную выше ситуацию возможно смоделировать на ММ. При составлении ММ (рис. 2) учитывалось то обстоятельство, что передаваемая сигнальная информация может быть искажена в связи с недостаточным качеством используемого канала связи и большим объемом передаваемой информации. Приведенная ММ составлена лишь для одного участка сети без учета структуры построения сети ОКС.

При составлении ММ были сделаны допущения:

- каналы системы сигнализации находятся в непрерывном использовании по назначению;
- все события происходят в случайные моменты времени;
- закон распределения времени между событиями — экспоненциальный.

В ММ рассматриваются следующие состояния системы сигнализации:

$I_1$  — исходное состояние источника сигнальной информации;

$V, H$  — состояния, при которых сигнальная информация (СЕ) получена без искажений (верно) и с искажением (неверно) соответственно;

$\Pi_v, \Pi_n$  — состояния передачи сигнала подтверждения верно и неверно принятой СЕ соответственно;

$Z_v, Z_n$  — состояния передачи сигнала запроса верно и неверно принятой СЕ соответственно;

$I_2^v, I_2^n$  — состояние выдачи источником следующей СЕ после верно и неверно принятой СЕ. В случае  $I_2^n$  будет наблюдаться выпадение информации (безвозвратная потеря СЕ);

$\Pi\Pi_v, \Pi\Pi_n$  — состояние повторной передачи верно и неверно принятой СЕ соответственно.

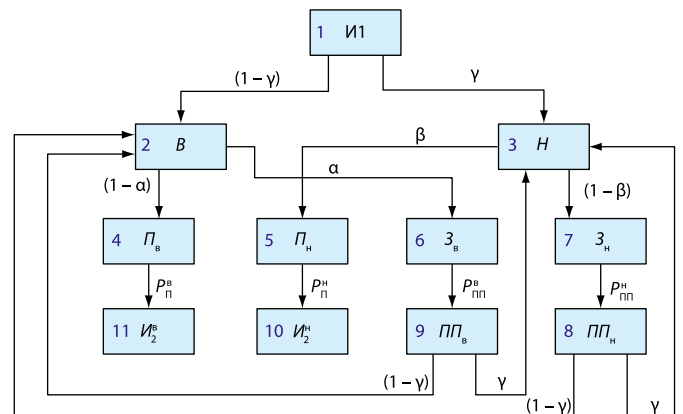


Рис. 2

Переходы между состояниями характеризуются следующими вероятностями:

$\gamma$  — вероятность искажения СЕ;

$(1 - \gamma)$  — вероятность того, что СЕ принята без искажений;

$(1 - \alpha)$  — вероятность подтверждения верно принятой СЕ;

$(1 - \beta)$  — вероятность запроса неверно принятой СЕ;

$\alpha$  — вероятность трансформации сигнала подтверждения

в сигнал запроса (ошибка контроля I рода);

$\beta$  — вероятность трансформации сигнала запроса в сигнал подтверждения (ошибка контроля II рода);

$P_{\text{пп}}^{\text{н}}$ ,  $P_{\text{пп}}^{\text{в}}$  — вероятность повторной передачи верно и неверно принятой СЕ соответственно,  $P_{\text{пп}} = 1$ ;

$P_{\text{п}}^{\text{н}}$ ,  $P_{\text{п}}^{\text{в}}$  — вероятность передачи следующей СЕ при получении подтверждения на верно и неверно принятую СЕ,  $P_{\text{п}} = 1$ .

Эти вероятности описывают процесс смены состояний. В дальнейшем будем называть их вероятностями прохождения [3]. С помощью приведенных вероятностей можно исследовать характеристики, описывающие события.

Для вывода формул расчета показателей надежности воспользуемся матричным методом анализа вероятностных систем, предложенным в [3]. Для этого составим полную матрицу вероятностей прохождения в состояния и произведем ее разбиение до 7-го состояния (табл. 1—4).

Таблица 1

		1	2	3	4	5	6	7
$P_{UV} =$	1	1	$1 - \gamma$	$\gamma$	0	0	0	0
	2	0	1	0	$1 - \alpha$	0	$\alpha$	0
	3	0	0	1	0	$\beta$	0	
	4	0	0	0	1	0	0	0
	5	0	0	0	0	1	0	0
	6	0	0	0	0	0	1	0
	7	0	0	0	0	0	0	1

Таблица 2

		1	2	3	4	5	6	7
$P_{VV} =$	8	0	$1 - \gamma$	$\beta$	0	0	0	0
	9	0	$1 - \gamma$	$\beta$	0	0	0	0
	10	0	0	0	0	0	0	0
	11	0	0	0	0	0	0	0

Таблица 3

		8	9	10	11
$P_{VV} =$	8	1	0	0	0
	9	0	1	0	0
	10	0	0	1	0
	11	0	0	0	1

Таблица 4

		8	9	10	11
$P_{UV} =$	1	0	0	0	0
	2	0	0	0	0
	3	0	0	0	0
	4	0	0	0	$P_{\text{п}}^{\text{в}}$
	5	0	0	$P_{\text{п}}^{\text{н}}$	0
	6	0	$P_{\text{пп}}^{\text{н}}$	0	0
	7	$P_{\text{пп}}^{\text{н}}$	0	0	0

Поскольку входное подмножество  $U^+ = \{I_1\}$  состоит из одного состояния, то относительные частоты состояний множества  $U$  в стационарном режиме являются элементами первой строки матрицы относительных частот  $N_U = (E - P_{UV})$ .

Таким образом, получены формулы для расчета следующих вероятностей:

$$P(I_1, \text{ПП}_v) = \alpha(1 - \gamma); \quad (2)$$

$$P(I_1, \text{ПП}_n) = \alpha(1 - \beta); \quad (3)$$

$$P(I_1, \text{ПП}_2^{\text{в}}) = (1 - \gamma)(1 - \alpha); \quad (4)$$

$$P(I_1, I_2^{\text{в}}) = \gamma\beta; \quad (5)$$

Вероятности (2)—(5) являются линейно-зависимыми и представляют собой долю (число) попаданий в состояния, приходящееся на одну СЕ.

Вывод полученных формул был произведен без учета повторной передачи СЕ. Задачу определения вероятности попадания СЕ в состояния повторной передачи можно решить путем разделения полной матрицы прохождений (табл. 1—4) до 8-го состояния (второй вариант разбиения). Для данного случая получены формулы зависимости среднего числа повторных передач одной СЕ от вероятностей трансформации сигнала запроса и сигнала подтверждения, а также вероятности искажения СЕ:

$$P(I_1, \text{ПП}_v) = \frac{\alpha(1 - \gamma)}{1 - \alpha}; \quad (6)$$

$$P(I_1, \text{ПП}_n) = \frac{(1 - \alpha)\gamma}{1 - \alpha}; \quad (7)$$

$$P(I_1, \text{ПП}_2^{\text{в}}) = (1 - \gamma); \quad (8)$$

$$P(I_1, I_2^{\text{в}}) = \frac{\beta(1 - \alpha)\gamma}{1 - \alpha}. \quad (9)$$

В общем случае задача заключается в математическом моделировании качества обслуживания вызовов за счет предварительного расчета показателей надежности на участке сигнальной сети.

Используя результаты проведенных исследований и сопоставив их с наблюдаемыми характеристиками, получим следующие системы уравнений.

Для 1-го варианта разбиения:

$$\left. \begin{aligned} P_{\text{пп}}^{\text{в}} &= \alpha(1 - \gamma); \\ P_{\text{пп}}^{\text{н}} &= \gamma(1 - \beta); \\ P_{\text{и}2}^{\text{в}} &= (1 - \gamma)(1 - \alpha); \\ P_{\text{и}2}^{\text{н}} &= \beta\gamma. \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

Решение системы уравнений (10) имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} 1 - \beta &= \frac{P_{\text{пп}}^{\text{н}}}{\gamma}; \\ 1 - \gamma &= P_{\text{и}2}^{\text{в}} + P_{\text{пп}}^{\text{в}}; \\ \alpha &= \frac{P_{\text{пп}}^{\text{в}}}{1 - \gamma}. \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Для 2-го варианта разбиения система уравнений (граф наблюдаемых событий тот же) имеет вид:

$$\left. \begin{aligned} P_{\text{пп}}^{\text{в}} &= \frac{\alpha(1 - \gamma)}{1 - \alpha}; \\ P_{\text{пп}}^{\text{н}} &= \frac{1 - \alpha\gamma}{1 - \alpha}; \\ P_{\text{п}}^{\text{в}} &= 1 - \gamma; \\ P_{\text{п}}^{\text{н}} &= \frac{\beta(1 - \alpha)\gamma}{1 - \alpha}. \end{aligned} \right\} \quad (12)$$

Решение системы уравнений (12) приведено в виде, удобном для практического применения:

$$\left. \begin{aligned} 1-\gamma &= P_{\text{п}}^{\text{в}}; \\ \beta &= \frac{P_{\text{п}}^{\text{н}}}{P_{\text{пп}}^{\text{н}}}; \\ \alpha &= \frac{1-P_{\text{пп}}^{\text{н}}}{\gamma-P_{\text{пп}}^{\text{н}}}. \end{aligned} \right\} \quad (13)$$

**Выводы.** 1. Предложенный подход к расчету эксплуатационных и расчетных показателей надежности основан на сборе и обработке данных, полученных при эксплуатации подсистем контроля и диагностики систем сигнализации.

2. Разработаны математические модели и выведены аналитические формулы для определения показателей надежности  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$ .

3. Показатели качества обслуживания вызовов  $\gamma$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$  могут быть получены расчетным путем по характеристикам, наблюдаемым в процессе эксплуатации систем сигнализации.

4. Число уравнений определяется числом наблюдаемых характеристик; большего числа уравнений, чем число наблюдаемых характеристик, получить невозможно.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Засецкий А. В., Иванов А. Б., Постников С. Д., Соколов И. В. Контроль качества в телекоммуникациях и связи. Часть II, под ред. А. Б. Иванова. — М.: Компания САЙРУС СИ-СТЕМС, 2001.
2. МККТТ. Синяя книга. Т. VI. Вып. VI.9. Требования к системе сигнализации № 7, Рекомендации Q.771-Q.795. IX Пленарная ассамблея. — Мельбурн, 1988.
3. Зеленцов Б. П. Матричные модели надежности систем. — Н.: Наука, 1991. — 110 с.
4. Ловягина О. Г. Эволюция распределенного мониторинга ОКС-7 // Вестник связи №. — 2006. — №12.
5. Розенцвайг И. З., Фельдман А. М., Яльчик Г. В. Методика сбора информации для генерации CDR в системе распределенного мониторинга сетей ОКС №7 // Электросвязь. — 2005. — № 8.

Получено 03.04.07

## ПОЗДРАВЛЯЕМ ЮБИЛЯРА!



Исполнилось 60 лет Владимиру Викторовичу Витязеву — доктору технических наук, профессору, заведующему кафедрой «Телекоммуникации и основы радиотехники» Рязанского государственного радиотехнического университета (РГРТУ).

Владимир Викторович Витязев родился 1 июня 1949 г. в с. Дябрино Краснороборского района Архангельской области. В 1971 г. окончил с отличием Рязанский радиотехнический институт (РРТИ) по специальности «Автоматика и телемеханика». После службы в армии в 1973 г. начал научную деятельность в должности инженера НИЧ кафедры автоматки и телемеханики РРТИ. В 1979 г. поступил в очную аспирантуру РРТИ, которую окончил досрочно, защитив в 1982 г. кандидатскую диссертацию. В 1985 г. ему было присвоено ученое звание старшего научного сотрудника, в 1990 г. — доцента, в 1995 г. присуждена ученая степень доктора технических наук, а в 1997 г. —

ученое звание профессора. В 2001 г. В. В. Витязев был избран на должность заведующего кафедрой «Телекоммуникации и основы радиотехники». В этой должности он работает по настоящее время.

Область научной деятельности Владимира Викторовича — цифровая обработка сигналов и ее применение в радиотехнике, системах телекоммуникаций и управления. Он — научный руководитель ряда хоздоговорных и госбюджетных НИОКР. В 2009 г. при кафедре «Телекоммуникации и основы радиотехники» был открыт филиал ФГУП «НИИ автоматики» — ведущего в России НИИ, работающего в области телекоммуникационных систем специального назначения.

Активную научную деятельность В. В. Витязев всегда сочетал с учебно-методической работой, результатом которой стало создание на кафедре ГОР специализированной учебно-научной лаборатории «Системы цифровой обработки сигналов и DSP-технологии».

За годы работы в РГРТУ В. В. Витязев подготовил восемь кандидатов технических наук, издал более 120 научных работ, в том числе монографию «Цифровая частотная селекция сигналов» («Радио и связь», 1993 год). Он — заместителем главного редактора научно-технического журнала «Цифровая обработка сигналов» и членом редколлегии журнала «Электросвязь». В 2007 г. вошел в состав экспертного со-

вета ВАК РФ в области электроники, радиотехники и связи.

Владимир Викторович проводит большую организаторскую работу по поддержке отечественной науки и молодых ученых, инициатор ежегодного проведения и один из организаторов международных научно-технических конференций «Цифровая обработка сигналов и ее применение-DSPA» (Москва, ИПУ РАН) и «Проблемы передачи и обработки информации в сетях и системах телекоммуникаций» (Рязань).

С 1998 г. В. В. Витязев возглавляет Рязанское отделение РНТОРЭС им. А. С. Попова, являясь одновременно членом Президиума Центрального совета общества. С 1999 г. он — член международной научной организации IEEE Society в области обработки сигналов и телекоммуникаций.

За высокий уровень учебно-методической, научной, воспитательной и общественной работы, а также большой вклад в подготовку высококвалифицированных специалистов отрасли В. В. Витязев награжден нагрудными Знаками «Почетный работник высшего профессионального образования» и «Почетный радист».

*Редакция и редколлегия журнала «Электросвязь» поздравляют Владимира Викторовича с юбилеем и желают ему долгого здоровья и творческих успехов.*