

## **МОДЕЛЬ ВІДМОВ СУЧАСНИХ ІНФОРМАЦІЙНО-ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ПРОГНОЗУЮЧОГО КОНТРОЛЮ НА РІВНІ КЕРУВАННЯ ПОСЛУГАМИ**

**Анотація:**

*Розглядаються основні моделі відмови інформаційно-телекомунікаційних мереж для прогнозуючого контролю на рівні керування послугами.*

**Аннотация:**

*Рассматриваются основные модели отказа информационно-телекоммуникационных сетей для прогнозирующего контроля на уровне управления услугами.*

**Abstract:**

*The main failure model information and telecommunication networks for predicting the level of management control in services.*

*Ключові слова – факторизація, відмова в обслуговуванні, моделювання, якість обслуговування – Quality of Service (QoS).*

### **Вступ**

Функціонування систем контролю в системах телекомунікацій дозволяє не тільки визначати готовність об'єктів виконувати своє призначення, але й систематично одержувати інформацію про зміну показників якості й параметрів у часі при різних умовах експлуатації. Нагромадження цієї інформації дозволяє вирішувати практичні завдання з прогнозування технічного стану окремих об'єктів телекомунікацій, визначення ступеня досконалості конструкції й технології їхнього виробництва, оцінки впливу умов експлуатації на властивості об'єкта тощо.

У багатьох роботах зроблено спробу формування підходу до побудови моделей процесів, що протікають у сучасних інформаційно-телекомунікаційних мережах (далі – САІС) і розробки методів прогностичного контролю для них.

*У зв'язку з цим стає важливим огляд і детальний аналіз підходів до рішення задач прогнозування.*

На нашу думку, один з найбільш ефективних підходів до вирішення поставлених завдань викладено у роботах Г. Альтшуллера і його колег [1], [2]. Для вирішення завдань прогнозування ними запропоновано системний оператор.

Ефективне використання інформації від систем контролю в системах телекомунікацій вимагає створення інформаційної системи, що має забезпечувати збір, обробку, зберігання й розподіл інформації. У теперішній час інформаційна система є складовою частиною системи керування процесами виробництва й експлуатації. Уже із цього випливає, що мережі САІС разом з надсистемами контролю й забезпечення експлуатації утворюють ієрархічні системи. Крім того, нами розглянуто прийняту модель самої мережі САІС, що також є багаторівневою.

Системне розуміння процесів, що протікають у багаторівневих мережах, *приводить до необхідності* обліку прогнозів стану підсистем на всіх рівнях й аналізу їхнього взаємовпливу.

На наш погляд, модель, має потребу в деякому уточненні. Взаємовплив рівнів у реальних системах відбувається не одночасно. Як правило, виникнення подій на деяких рівнях, так би мовити, причинних подій, призводить іноді до запізнілих наслідків на інших рівнях.

Зрозуміло, що вже в сучасних телекомунікаційних мережах, не говорячи вже про NGN, вихід з ладу якогось пристрою або навіть фрагмента мережі не обов'язково призводить до відмови в обслуговуванні. Слід наголосити, що мережа Інтернет, прообраз NGN, проектувалася як система підвищеної надійності [3], в якій відмови підсистем не призводять до відмови системи в цілому.

У цій статті під *відмовою в обслуговуванні САІС* будемо розуміти не надання або надання з неналежною якістю послуги, якість якої регламентовано нормативами або відбито в договірних документах.

*Відмова в обслуговуванні* – це подія, що характеризується часом початку й часом закінчення, інтервал між якими є часом ненадання послуги й має розглядатися як один з основних показників якості обслуговування САІС.

Неформально під такими подіями варто розуміти, наприклад:

- відсутність зумера (причиною цього можуть бути несправність абонентської лінії, аварія на розподільній мережі, аварія на АТС тощо);
- ненадання електронної пошти;
- відмова доступу до мережі при тому, що абонент вчасно вніс оплату за послуги;
- відмова в наданні консультаційних послуг, якщо такі послуги передбачено абонентським договором;
- спам-атаки, що призводять до неможливості одержання конкретних повідомлень навіть при наявності трафіка тощо.

#### **Факторизація моделі відмови на рівні керування послугами**

Продовжуючи побудову моделі в межах прийнятої моделі САІС, проаналізуємо моделі відмов на самому верхньому її рівні – рівні керування послугами. На цьому рівні відмовою є ненадання послуги (сервісу) якогось певного виду або декількох послуг одночасно [1].

В останні роки у науково-технічній [5...10] і періодичній [11...15] літературі значна увага приділяється оптимізації побудови мультисервісних телекомунікаційних мереж з погляду їх стійкості.

У той же час, моделювання відмов в обслуговуванні не знайшло належного відбиття в наукових працях. Для конструктивного моделювання формальних параметрів якості необхідно встановити їхню залежність від можливих факторів, що впливають на якість надання послуг. У загальному вигляді залежність  $i$ -го показника якості від низки факторів можна представити у вигляді функції векторного аргументу [1...3]:

$$Z_i(t) = \Phi_i(\varphi_1(t), \varphi_2(t), \dots, \varphi_k(t)), \quad k=1, k, \quad (1)$$

де  $\varphi_k(t)$ , – процес зміни  $k$ -го фактора,  $K$  – загальна кількість факторів, що істотно впливають на показник  $Z_i$ ,  $\Phi$  – нелінійна функція.

#### **Основні фактори, що впливають на якість надання послуг на верхньому рівні моделі САІС**

Як корисні відомості для подальшого аналізу можна привести числові й експертні оцінки впливу різних факторів на стійкість до відмов САІС, як категорію якості обслуговування.

Якість обслуговування – *Quality of Service (QoS)* є предметом активних досліджень і стандартизації протягом всієї історії розвитку телекомунікацій [4]. Істотний внесок у розвиток різних аспектів концепції *QoS* вніс Міжнародний союз електрозв'язку (МСЕ), включаючи, зокрема, розробку норм і вимог до показників якості обслуговування.

Концепції моделей надійності, були досить ефективними в мережах IP для додатків, де можна передавати дані не в реальному часі (електронна пошта, передача файлів). Однак для додатків реального часу є необхідність уточнення цих показників.

З появою нових додатків, особливо додатків реального часу (інтерактивна передача мови, відеотелефонія й відеоконференції), питання про гарантовану якість обслуговування в мережах IP стає одним із найбільш складних [11, 12].

Для того, щоб повністю реалізувати переваги САІС у майбутніх IP-орієнтованих мережах **необхідно розробити нові принципи розподілу ресурсів мереж і керування трафіком**, які будуть гарантувати різні рівні показників якості обслуговування для великої кількості різноманітних додатків, реалізованих кінцевими користувачами.

При цьому поділ ресурсів і процеси керування трафіком мають бути скоординовані в умовах наявності великої кількості різноманітних додатків, що істотно відрізняються вимогами до робочих характеристик мережі (табл. 1).

Таблиця 1

### Чутливість сервісів NGN до характеристик мережі

Тип трафіка	Рівень чутливості до мережевих характеристик			
	Смуга пропускання	Втрати пакетів	Затримка	Джиттер
VoIP	2	1	2	2
Електр. комерція	0	2	2	0
Транзакції	0	2	2	0
Електр. пошта	0	2	0	0
Telnet	0	2	1	0
Пошук у мережі	1	1	1	0
Пересилання файлів	2	1	0	0
Відео конференція	2	1	2	2
Мультикастинг	2	2	2	2

У табл. 1 прийнято умовні числові позначення для рівнів чутливості: 0 – *низький*; 1 – *середній*; 2 – *високий*.

Аналіз табл. 1 показує, що для більшості послуг, наданих сучасними IP-мережами, окремі сервіси більшою або меншою мірою чутливі до ширини смуги пропускання, втрат пакетів, затримок передачі пакетів і нестабільності цієї затримки (джиттеру). Крім того, з елементарних фізичних міркувань ясно, що відмова конкретного сервера, який забезпечує надання конкретної послуги або групи послуг, також означає відмову в обслуговуванні.

Відмова в обслуговуванні може бути як апаратна, так і програмна.

Для зручності побудови моделей зазначені фактори нормуємо так, щоб їхні значення, що не викликають відмови в обслуговуванні за умови надання критичного сервісу, перебували в інтервалі від 0 до 1.

Тоді за аналог “смуги пропускання” виберемо частку зайнятості сукупної смуги пропускання зовнішніх каналів інтернет-провайдера або оператора телекомунікацій. Очевидно, якщо зайнятість смуги становить 1, то практично всі сервіси будуть надаватися неякісно або не будуть надаватися. У той же час, провайдер несе витрати на забезпечення

досить широкої смуги пропускання. Постійно витримувати зайнятість смуги пропускання на рівні менше 0,5 не рентабельно й навіть технічно безглуздо. Електронна пошта впевнено доставляється при зайнятості смуги пропускання на рівні до 0,95, тоді як сервіси, пов'язані з рішенням завдань у реальному часі, наприклад, передача голосу (VoIP, Skype й ін.) вимагають, щоб зайнятість каналів не перевищувала в середньому в ЧНН рівня 0,7-0,8. Це необхідно для забезпечення дисципліни пріоритетизації пакетів і формування образів повідомлень у проміжних стеках транспортної мережі.

Таким чином, фактор  $\varphi_1(t)$  – частка зайнятості смуги пропускання визначається наступною формулою:

$$\varphi_1(t) = P(t) / P_{max} \quad (2)$$

де  $P(t)$  – зайнята в теперішній момент смуга (Мбіт/с),  $P_{max}$  – сукупна смуга пропускання зовнішніх каналів провайдера на даний період.

Гранично припустимий відсоток втрат пакетів залежить від конкретного сервісу й від застосовуваних алгоритмів відновлення повідомлень. Прийmemo, що  $U_{max}$  – максимально припустимий відсоток втрат пакетів при використовуваному алгоритмі відновлення для самого некритичного до втрат пакетів сервісу в даній САІС. Нижче ми будемо умовно приймати  $U_{max} = 10^{-1}$ . Принаймні, для різних процедур, що виконуються під SIP протоколи, навіть 10% втрат пакетів ще не приводять до повного припинення зв'язку. Тоді „фактор втрат пакетів” можна моделювати функцією:

$$\varphi_2(t) = U(t) / U_{max} \quad (3)$$

де  $U(t)$  – відсоток втрат пакетів на даний момент.

Аналогічно, виберемо для всіх можливих сервісів максимальне значення затримки пакетів  $Z_{max}$  і нормуємо до нього конкретний час затримок по вимірах у мережі  $Z(t)$  (це може бути максимальна із затримок, що спостерігалися, усереднена за невеликий інтервал часу затримка й т.п. – залежно від розв'язуваного завдання). Нормований показник затримки, таким чином, визначається по наступній формулі:

$$\varphi_3(t) = Z(t) / Z_{max} \quad (4)$$

Зазначимо, що в принципі затримка пакетів для таких сервісів, як електронна пошта, може бути досить значною (до десятків хвилин) і при цьому користувач навіть не відчує дискомфорту.

Разом з тим, затримані на значний час пакети в мережах з великою кількістю джерел і приймачів інформації знищуються по ознаці „максимального часу життя” [7], [9]. Тому умовно прийmemo  $Z_{max} = I$  (характерний час доставки запитних пакетів при WWW-серфінгу).

При наявності невеликих затримок їхніми варіаціями (джиттером) для більшості сервісів можна знехтувати. Далі це явище не враховується. За необхідності джиттер моделюється за аналогією із затримкою (4).

Також зробимо несуттєве для даної статті допущення, що відмови в наданні сервісів, викликані неполадками обладнання й збоями програмного забезпечення об'єднані в загальний фактор програмно-апаратних збоїв. Дане спрощення можна зробити з двох причин:

*По-перше*, відома й на великих мережах багаторазово підтверджена лінійна залежність між частотою цих відмов (програмні збої в середньому трапляються приблизно вдвічі частіше, ніж відмови обладнання).

По-друге, для технічного персоналу оператора або провайдера, як правило, не становить великої складності ідентифікувати причину відмови при встановленні факту програмно-апаратного збою. В якості характеристики стійкості на відмову по даному факторі в ТфОП використовується так званий „коефіцієнт готовності” [4].

Цей коефіцієнт обчислюється як відношення часу безаварійної роботи об'єкта до сумарного часу спостереження. В ідеальному випадку коефіцієнт готовності повинен дорівнювати 1, що означає 100 % готовність мережі. На практиці коефіцієнт готовності оцінюється числом „дев'яток”. Наприклад „три дев'ятки” означають, що коефіцієнт готовності становить 0,999, що відповідає приблизно 9 годинам часу недоступності (простою) мережі за рік. Готовність обладнання й програмного забезпечення на мережі ТфОП оцінюється величиною „п'ять дев'яток”, що означає 5,5 хвилин простою за рік. У табл. 2 наведені дані за часом простою для різної кількості „дев'яток”.

Таблиця 2

**Коефіцієнти готовності й відповідні значення часу простою встаткування через програмно-апаратні збої**

Коефіцієнт готовності $K_r$	Час простою
0,99	3,7 днів за рік
0,999	9 годин за рік
0,9999	53 хвилини за рік
0,99999	5,5 хвилин за рік
0,9999999	30 секунд за рік

Необхідно відзначити, що забезпечення коефіцієнта готовності „п'ять дев'яток” у мережах IP, побудованих на традиційному обладнанні даних (сервери, маршрутизатори), є досить серйозною проблемою. Причина цього полягає в тому, що обробка інформаційних потоків у мережах IP у значній частині базується на програмному забезпеченні. Інша причина полягає в наявності непередбачених вузьких місць для пропуску трафіка через особливості мереж з пакетною комутацією.

Для приведення моделей факторів до єдиної шкали, дещо модернізуємо коефіцієнт готовності  $K_r$ . А саме, під фактором технічної „неготовності” будемо розуміти функцію:

$$\varphi_4(t) = 1 - \log_{10}(1 - K_r(t)) / \log_{10}(1 - K_{r_{\max}}) \quad (5)$$

де  $K_r(t)$  – поточне значення коефіцієнта готовності для даної мережі,  $K_{r_{\max}}$  – максимальне значення показника готовності для конкретного розв'язуваного завдання.

З урахуванням досить високих вимог до мереж ТфПФ, можна скористатися правилом „п'яти дев'яток” і покласти далі  $K_{r_{\max}} = 0,99999$ . Тоді можна за аналогією з табл. 2. показати типові значення  $\varphi_4(t)$  – фактора „неготовності” (табл. 3) як показники інтенсивності програмно-апаратних збоїв.

Таблиця 3

**Типові значення фактора “неготовності”**

Коефіцієнт готовності, $K_r$	Час простою	Фактор “неготовності” $\varphi_4(t)$ (при $K_{r_{\max}} = 0,99999$ )
0,99999	5,5 хвилин за рік	0
0,9999	53 хвилини за рік	0,2
0,999	9 годин за рік	0,4
0,99	3,7 днів за рік	0,6
0,9	36,5 днів за рік	0,8

Аналіз літературних джерел і даних про відмови в обслуговуванні на реальних САІС дозволяє визначити приблизні максимально-припустимі значення факторів, обумовлених формулами (2 - 5) для різних сервісів (табл. 4).

Таблиця 4

**Максимально припустимі значення основних факторів,  
що впливають на стійкість до відмов мереж на рівні керування послугами NGN**

Тип трафіка	Максимально припустимі значення факторів			
	$\varphi_1(t)$	$\varphi_2(t)$	$\varphi_3(t)$	$\varphi_4(t)$
VoIP	0,7	1	0,1	0,2
Електр. комерція	0,8	0	0,1	0,2
Транзакції	0,9	0,001	1	0,4
Електронна пошта	0,9	0	1	0,4
Telnet	0,9	0	0,1	0,4
Пошук у мережі	0,8	0,1	1	0,4
Пересилання файлів	0,7	0,1	1	0,4
Відеоконференція	0,7	0,1	0,1	0,4
Мультикастинг	0,7	0,001	0,1	0,2

Фактори (2 - 5) можна розуміти як безперервні функції часу. Принаймні, вони допускають виміри з досить малою періодичністю. Це дає можливість уточнити структуру нелінійних функцій

$$\Phi_i(\varphi_1(t), \varphi_2(t), \dots, \varphi_k(t)) \quad (6)$$

У відповідності зі зробленими припущеннями для рівня керування послугами  $k=4$  (табл. 4). Зрозуміло те, що всіх факторів, що приводять до відмови в обслуговуванні апіорно врахувати не можна. Тому в моделі (6) припустимо, що  $k=5$ , причому під  $\varphi_5(t)$  буде розумітися неврахована „випадкова” функція.

На завершення зазначимо, що теоремі Вейрштрасса [14], будь-яку безперервну на кінцевому інтервалі функцію можна з як завгодно високою точністю представити у вигляді полінома певного ступеня. У якості такого поліному будемо розглядати поліном Колмогорова-Габора [15]:

$$\Phi_i = a_0 + \sum_{K=1}^K a_K \varphi_K + \sum_{K=1}^K \sum_{J=1}^K a_{KJ} \varphi_K \varphi_J + \sum_{K=1}^K \sum_{J=1}^K \sum_{I=1}^K a_{KJI} \varphi_K \varphi_J \varphi_I + \dots \quad (7)$$

**Висновок**

Таким чином, для рівня керування послугами визначені основні фактори, що приводять до відмов в обслуговуванні, їхні граничні значення й запропонована структурована факторна модель залежності (7) узагальнених показників якості від цих факторів.

**Література:**

1. Рубин М.С. Методы прогнозирования на основе ТРИЗ / Рубин М.С. // [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http : //www.trizminsk.org/e/216002.htm](http://www.trizminsk.org/e/216002.htm).
2. Альтшуллер Г.С. Найти идею. – Новосибирск: Наука, 1986 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [http : //www.trizminsk.org/r/4117.htm#09](http://www.trizminsk.org/r/4117.htm#09).
3. Стекольников Ю.И. Живучесть систем / Ю.И. Стекольников. – М. : Политехника, 2002. – 155 с.

4. Яновский Г.Г. Современные проблемы науки в области телекоммуникаций (Эволюция и конвергенция) / Г.Г. Яновский. – СПб: СПбГУТ им. М.А. Бонч-Бруевича, 2008. – 162 с.
5. Основы построения систем и сетей передачи информации / [Ломовицкий В.В., Михайлов А.И., Шестак К.В., Щекотихин В.М.]. – М.: Горячая линия – Телеком, 2005. – 382 с.
6. Крылов В.В. Теория телетрафика и ее приложения / В.В. Крылов, С.С. Самохвалова. – СПб: БХВ-Петербург, 2005. – 288 с.
7. Телекоммуникационные системы и сети / [Величко В.В., Субботин Е.А., Шувалов В.П., Ярославцев А.Ф.]. – М.: Горячая линия – Телеком, 2005. – 647, [1] с. – (Современные технологии).
8. Телекоммуникационные системы и сети / [Величко В.В., Субботин Е.А., Шувалов В.П., Ярославцев А.Ф.]. – М.: Горячая линия – Телеком, 2005. – 672 [2] с. – (Радиосвязь, радиовещание, телевидение).
9. Телекоммуникационные системы и сети / [Величко В.В., Субботин Е.А., Шувалов В.П., Ярославцев А.Ф.]. – М.: Горячая линия – Телеком, 2005. – 592 [3] с. – (Мультисервисные сети).
10. Гольдштейн Б.С. Системы коммутации / Б.С. Гольдштейн. – СПб: БХВ-Петербург, 2004. – 314 с.
11. Виноградов А.Ю. Оценка качества передачи речи по низкоскоростным каналам связи / А. Ю. Виноградов // Сети и системы связи. – 2001. – №4. – С. 24-30.
12. Леваков А.К. Материалы конференции “Управление сетями электросвязи – основа надежности функционирования телекоммуникационной инфраструктуры” / Леваков А.К. // [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.mis.ru/mis/index.php?pid=86514>.
13. Гечис А.К. Входящий поток заявок для трафика речи в сети NGN / А.К. Гечис, О.Д. Соколова, Н.А. Соколов // Информационные технологии. – 2009. – №4. – С. 1-11.
14. Ивахненко А.Г. Долгосрочное прогнозирование и управление сложными системами / А.Г. Ивахненко – К.: “Техніка”, 1975.
15. Ивахненко А.Г. Помехоустойчивость моделирования / А.Г. Ивахненко, В.С. Степашко. – К.: “Наук. Думка”, 1985.