

Вводиться нове поняття структурно-графового об'єкту, яке являє собою узагальнення поняття графу. Узагальнення дозволяє вводити зв'язки не тільки між вершинами графу, але і між вершиною і гілкою, між підграфами графу. Це дає змогу формувати модель комп'ютерної мережі, яка включає в себе погрози функціонуванню, як природні, так і пов'язані з людським фактором

Ключові слова: телекомунікаційні системи, комп'ютерні мережі, живучість, структурно-графові об'єкти, погрози, деструктивні впливи

Вводится новое понятие структурно-графового объекта, которое представляет собой обобщение понятия графа. Обобщение позволяет вводить связи не только между вершинами графа, но и между вершиной и ветвью, между подграфами графа. Это дает возможность формировать модель компьютерной сети, которая включает в себя угрозы функционированию, как природные, так и связанные с человеческим фактором

Ключевые слова: телекоммуникационные системы, компьютерные сети, живучесть, структурно-графовые объекты, угрозы, деструктивные влияния

УДК 681.324

DOI: 10.15587/1729-4061.2014.28025

РОЗРОБКА АПАРАТУ СТРУКТУРНО- ГРАФОВИХ ОБ'ЄКТІВ ЯК ЗАСОБУ ПОБУДОВИ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ЖИВУЧОСТІ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ

В. Є. Бондаренко

Кандидат технічних наук, доцент

Кафедра комп'ютерних систем і мереж

Державний університет телекомунікацій
вул. Солом'янська, 7, м. Київ, Україна, 03680

E-mail: victorbondarenko@ukr.net

1. Вступ

В сьогоденні складні телекомунікаційні системи широко використовуються практично в усіх сферах людської діяльності, зокрема в побуті, різних галузях виробництва, економіки, фінансів, політики, культури. *Телекомунікаційні системи* – це системи, що забезпечують зв'язок на відстані (телефонні мережі, *комп'ютерні мережі*, кабельне телебачення, радіозв'язок і мобільний зв'язок, локальні обчислювальні мережі, корпоративний зв'язок).

Таке використання неминує призводить до інтенсивного вдосконалення телекомунікаційних систем і, зокрема, їх різновиду – комп'ютерних мереж, та їх широкому впровадженню в суспільстві.

Масове використання комп'ютерних мереж вимагає вирішення питань підвищення якості їх функціонування. Одним з найважливіших факторів, що визначають якість функціонування комп'ютерних мереж, є їх живучість.

Під *живучістю* складних технічних систем розуміється здатність системи до збереження своїх основних функцій (з допустимою втратою якості їх виконання) при дії чинників як зовнішнього, так і внутрішнього середовища катастрофічного характеру – несприятливих дій, що виходять за рамки проектних умов нормальної експлуатації.

Живучість комп'ютерних мереж характеризує здатність комп'ютерних мереж виконувати свої основні функції, незважаючи на те, що відбуваються збої, відмови (апаратні чи програмні), зміни характеристик функціонування комп'ютерних мереж і виникнення деструктивних впливів.

Значний вклад в розробку теорії живучості систем різного призначення внесли роботи Додонова А. Г. [1], Ланде Д. В. [1], Громова Ю. Ю. [2], Стекольнікова Ю. І. [3], Барабаша О. В. [4].

Однак, живучість комп'ютерної мережі зумовлена багатьма складовими, зокрема, апаратною складовою (вихід з ладу обладнання, ліній зв'язку і т. п.), програмною складовою (програми, що виконують шкідливі дії і т. п.), інформаційною складовою (втрата повідомлень, затримка повідомлень і т. п.), організаційною складовою (не належне виконання службових обов'язків співробітниками, що обслуговують мережу).

Такий односторонній підхід до аналізу живучості не задовольняє сучасний рівень розвитку комп'ютерних мереж, в зв'язку з чим, з великою актуальністю стоїть проблема розробки формалізованого апарату, який би дозволяв проводити комплексний аналіз живучості комп'ютерних мереж, враховуючи усі її складові.

2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Поняття живучості комп'ютерних мереж комплексне. Воно стосується як апаратної і програмної частини мережі, так і інформаційної складової мережі, де трактується як здатність інформаційних повідомлень своєчасно виконувати свої функції (інформування) в умовах дії дестабілізуючих факторів. Такими факторами можуть бути усунення окремих повідомлень з інформаційного простору, втрата ними властивостей актуальності, доступності.

Крім того, живучість комп'ютерних мереж має і організаційну складову, яка зумовлена кваліфікацією і якістю роботи персоналу, що обслуговує мережу.

Таким чином, живучість комп'ютерних мереж є багатогранною проблемою, що поєднує в собі ряд напрямків, які наведено на рис. 1. Ці напрямки роблять певний внесок у поняття живучості комп'ютерних мереж і мають розглядатися у комплексі. На жаль, існуючі роботи, що розглядають живучість комп'ютерних мереж, сконцентровані лише на якомусь одному аспекті проблеми живучості і розглядають переважно живучість лише апаратної складової. Деякі роботи окремо досліджують живучість інформаційної та програмної складової мережі.

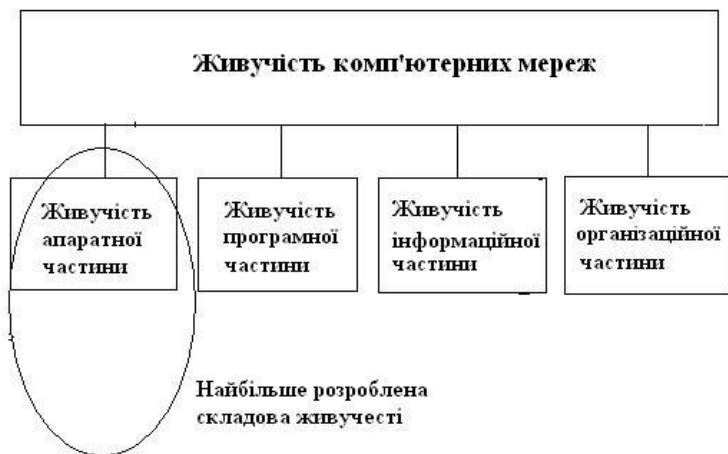


Рис. 1. Складові живучості комп'ютерних мереж

Так у [5] автори, для дослідження живучості апаратної частини мережі, будують модель живучості, яка базується на використанні ланцюга Маркова, де імовірності переходів з одного стану у інший відомі і залежать тільки від текучого стану мережі. Крім того, така модель може використовуватися тільки у випадку, коли інтенсивність відмов елементів в мережі постійна. В такій моделі важко врахувати деструктивні дії природних явищ, дії зловмисників.

Стійкість і живучість мережі Інтернет розглядається в роботі [6], де обговорюються можливі втручання зловмисників, однак в роботі автори не дають чітку математичну модель такого втручання і не розглядають живучості апаратної і інформаційної частини мережі.

В [7] обговорюються питання інформаційної живучості мережі на основі використання стратегії багатошляхового роутінгу. Але в моделях немає місця для апаратної і програмної складових живучості.

В [8] також пропонується структура для аналізу живучості апаратної частини мережі, яка не враховує програмну і інформаційну складову, не говорячи вже і про організаційну.

Таку тенденцію розгляду лише однієї грані проблеми живучості комп'ютерної мережі можна прослідкувати і в інших публікаціях, зокрема в [9, 10].

Виходячи з вищевикладеного, для більш якісного аналізу і побудови комп'ютерних мереж підвищеної живучості, необхідно розглядати всі аспекти живучості не окремо, а у комплексі. В зв'язку з цим, виникає проблема розробки формалізованого апарату, який дозволяє формулювати всі аспекти живучості.

Апарат для такого аналізу розробляється у даній роботі.

3. Мета і задачі дослідження

Виходячи з проведеного аналізу, метою роботи є розробка формалізованого апарату, який дозволяє формувати модель мережі для дослідження її живучості, враховуючи усі аспекти живучості у комплексі.

Для досягнення поставленої мети вирішується задача розробки такого формалізованого апарату – структурно-графових об'єктів.

4. Концепція структурно-графових об'єктів

Щоб побудувати апарат для ефективного представлення усіх складових живучості телекомунікаційних систем, треба мати на увазі основні властивості таких систем..

Телекомунікації можна розглядати як складні системи, що мають такі основні властивості:

1. Телекомунікаційні системи є інформаційними системами. Сенс функціонування цих систем – транспортування (перенесення) інформації.

2. Телекомунікаційні системи складаються з двох основних підсистем: технічної і користувацької. Взаємодія цих різних за своєю фізичної сутності підсистем визначає структуру і функції телекомунікаційної системи.

3. Телекомунікаційні системи є великими системами, що містять величезну кількість компонентів, багато з яких – самі великі системи або багатофункціональні пристрої. Компоненти телекомунікаційної системи мають різні пристрої і виконують різні функції.

4. Телекомунікаційні системи багатозв'язні: їх різні компоненти з'єднані між собою і мають як прямі, так і зворотні зв'язки. Структура і топологія телекомунікаційних систем змінні, керовані, залежать від користувачів.

5. Телекомунікаційні системи є великомасштабними системами, що охоплюють великі території і що інтегруються у світову систему телекомунікації. Телекомунікаційні системи взаємно проникаючі. Процеси в телекомунікаційних системах можуть проходити з різними швидкостями.

6. Телекомунікаційні системи є просторово – розподіленими і містять як дискретні, так і неперервні (просторово-протяжні) компоненти. Елементи системи можуть бути стаціонарними (статичними) або рухомими (динамічними). Така природа телекомунікаційних систем породжує особливу специфіку процесів, які у них протікають.

7. Телекомунікаційні системи є ергатичними. *Ергатична система* – система, одним з елементів якої є людина або група людей. Основними особливостями таких систем є соціально-психологічні аспекти. Поряд з вадами (присутність «людського фактора»), ергатичні системи мають ряд особливостей, таких як нечітка логіка функціонування, еволюціонування, прийняття рішень в нестандартних ситуаціях.

8. Телекомунікаційні системи є немарківського типу з точки зору процесів, що у них протікають. Це означає, що поведінка системи визначається не тільки

поточним станом, а й передісторією, причому досить тривалою, а також прихованими можливостями, що включаються спонтанно в певних умовах.

9. Телекомунікаційні системи нелінійні. Важливо відзначити наступні моменти:

- нелінійна залежність між різним обладнанням в системі – технічна нелінійність;

- нелінійна залежність між навантаженням, яке створюється абонентами системи, і пропускнуною спроможністю системи. Абонентське навантаження істотно ситуаційне, пропускна здатність визначається інженерними рішеннями.

10. Телекомунікаційні системи синергетичні, тобто такі, що самоорганізуються і схильні до самостійної автономної поведінки, мають здатність до самозбереження та протидії зовнішнім впливам, усуненню змін, що відбулися внутрішніми засобами (у певних межах), а також функціональною інертністю.

11. Телекомунікаційні системи перебувають у безперервному розвитку.

12. Телекомунікаційні системи наукоємні і базуються на перспективних технічних розробках.

13. Телекомунікаційні системи є складними системами високого рівня, тобто надскладними.

Пропонований апарат має враховувати розглянуті вище властивості телекомунікаційних мереж.

Мережева комп'ютерна система є розподіленою у просторі структурою, часто розміщеною на великій території. Схему її функціонування зручно задавати за допомогою графа $G=\langle V,R\rangle$, який визначає фізичну структуру системи, його ребра $r_i \in R$ відповідають фізичним з'єднуючим компонентам системи (таким, як канали зв'язку), прокладеним від однієї вершини графа (вузла) $v_i \in V$ до іншого. Вузли графа задають різне мереже обладнання (робочі станції, комутатори, маршрутизатори, і т. п.)

Нагадаємо, що комп'ютерна мережа являється ергатичною системою, тому граф обладнання і каналів зв'язку комп'ютерної мережі треба доповнити механізмами зовнішніх дестабілізуючих впливів на технічні елементи системи, а також впливом людського фактору – графами атак мережі зловмисниками, роботи обслуговуючого персоналу, дії яких впливають на стабільну роботу мережі.

Розглянемо представлення таких дестабілізуючих факторів і їх впливи на елементи комп'ютерної мережі.

Граф атак – це граф, що представляє всілякі послідовності дій порушника для досягнення погроз (цілей). Граф атак (рис. 2) – вершинам відповідають результати атак, а дугам – дії, що приводять до таких результатів; дуги відображують залежності між вершинами та умовами, що необхідні для виконання атаки.

Аналогічно можуть бути враховані і деструктивні дії природних факторів впливу на мережу, а також дії персоналу, що обслуговує мережу.

Оскільки атака зловмисників, деструктивні природні фактори, дії персоналу впливають на деякий підграф графа мережі, тобто має місце відношення на графі, представлено на рис. 3, то доцільно ввести поняття, що є більш загальним ніж традиційне поняття графа – структурно-графовий об'єкт. У структурно-графовому об'єкті відношення можуть бути встановлені не тільки між вершинами, як у традиційному графі, але і між дугами і підграфами.

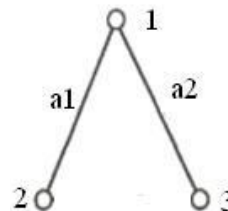


Рис. 2. Граф атаки зловмисника

На рис. 3 наведено приклад структурно-графового об'єкту, де вузли комп'ютерної мережі позначені світлими кружками. Темними кружками позначені стани зовнішніх впливів на мережу. Як видно з рис.3, деструктивний вплив a_4 , що виконується зовнішнім фактором 4, діє на зв'язок e_2 між вузлами мережі 5 і 7. А деструктивний вплив a_5 , який зумовлений фактором 1, діє на пристрої мережі 8 і 9, а також на зв'язки e_4, e_6, e_7, e_8 .

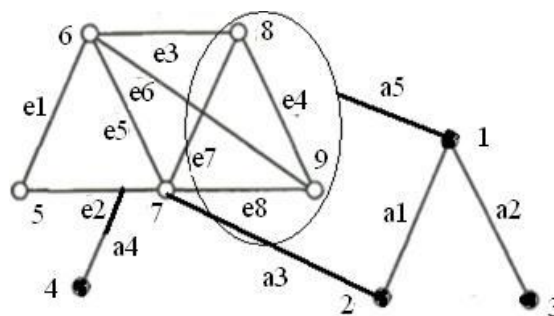


Рис. 3. Структурно-графовий об'єкт мережі з впливом зовнішніх факторів

Тобто, якщо традиційний граф визначається як відношення, задане на декартовому добутку множини вершин V , то структурно-графовий об'єкт має більш загальний вигляд і задається відношенням

$$G \subset P(V \cup V \times V) \times P(V \cup V \times V),$$

де $P(A)$ – множина всіх підмножин множини A . Таким чином, $P(V \cup V \times V)$ задає множину всіх підмножин множини $V \cup V \times V$. Тобто множини, у яку входить множина вузлів V і множина всіх пар вузлів $V \times V$ (можливих гілок графу).

Легко бачити, що поняття графу є одним з простих видів структурно-графового об'єкту.

Аналітично задавати структурно-графовий об'єкт можна системою таблиць, які являють собою відомі в теорії графів матриці інциденцій і матриці суміжностей. Для структурно-графового об'єкту, представленого на рис. 3, матриці суміжностей і інциденцій матимуть вигляд, наведений на рис. 4.

В матрицях інциденцій $M1$ і $M2$ виділені ті вершини і гілки, які зв'язані зв'язками з вершинами 1 і 4 структурно-графового об'єкту відповідно (рис. 3).

Структурно-графові об'єкти дають змогу легко представляти різні впливи на мережу і її частини. Ці впливи можуть бути як фізичного характеру (наприклад, порушення цілісності кабелю ділянки мережі), так і людського характеру (не використання співробітником антивірусних засобів, впровадження зловмис-

ником шкідливого програмного забезпечення, викрадання паролів і т. п.). Це дає можливість проводити аналіз живучості комп'ютерної мережі комплексно, врахувуючи всі можливі фактори впливу на роботу мережі.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	М1	М2
1		1	1							1	
2							1				
3	1										
4											1
5						1	1				
6					1		1	1	1		
7		1			1	1		1	1		
8						1	1		1		
9						1	1	1			
М1	1										
М2				1							

а

М1	ε4	ε6	ε7	ε8	М2	ε2
6		1			5	1
7			1	1	7	1
8	1		1			
9	1	1		1		

б

Рис. 4. Матриці суміжностей (а) і інцидентів (б) для структурно-графового об'єкту, наведеного на рис. 3

5. Висновки

1. Комп'ютерна мережа являє собою складну ергатичну систему, яка має технічну, інформаційну, програмну і людську складову.

2. Існуючі методи і підходи до оцінки живучості мереж в основному розглядали лише одну складову живучості – живучість технічної складової мережі.

3. В сучасних умовах розвитку телекомунікацій розгляд живучості лише технічної складової мережі дає досить обмежені результати. В зв'язку з чим, виникає протиріччя між необхідністю повної оцінки живучості комп'ютерної мережі з урахуванням як технічної складової живучості, так і інформаційної, програмної, організаційної і людської складової.

4. Для повної оцінки живучості комп'ютерної мережі, необхідно розробити формалізований апарат, який дозволив би ефективно представляти і аналізувати усі аспекти живучості комп'ютерної мережі. Такий апарат – структурно-графові об'єкти, запропонований у роботі. Структурно-графовий об'єкт є новим математичним поняттям, яке являється узагальненням відомого поняття графу. Зроблене узагальнення дає змогу, на відміну від графу, встановлювати зв'язки не тільки між вершинами структурно-графового об'єкту, але і між вершинами і гілками, між окремими його частинами. Крім того, в роботі розроблений аналітичний апарат представлення структурно-графових об'єктів у вигляді системи матриць суміжностей і інцидентів.

Література

1. Додонов, А. Г. Живучесть информационных систем [Текст] / А. Г. Додонов, Д. В. Ландэ. – К.: Наук. думка, 2011. – 256 с.
2. Громов, Ю. Ю. Синтез и анализ живучести сетевых систем [Текст] / Ю. Ю. Громов, В. О. Драчев, К. А. Набатов, О. Г. Иванова. – М.: Машиностроение-1, 2007. – 152 с.
3. Стекольников, Ю. И. Живучесть систем [Текст] / Ю. И. Стекольников. – СПб.: Политехника, 2002. – 155 с.
4. Барабаш, О. В. Построение функционально устойчивых распределенных информационных систем [Текст] / О. В. Барабаш. – К.: Нац. Акадкмия обороны Украины, 2004. – 226 с.
5. Heegaard, P. E. Network survivability modeling [Text] / P.E. Heegaard, K.S. Trivedi // Computer Networks. – 2009. – Vol. 53, Issue 8. – P. 1215–1234. doi: 10.1016/j.comnet.2009.02.014
6. Sterbenz, J. P. G. Resilience and survivability in communication networks: Strategies, principles, and survey of disciplines [Text] / J. P. G. Sterbenz, D. Hutchison, E. K. Çetinkaya, A. Jabbar, J.P. Rohrer, M. Schöller, P. Smith// Computer Networks. – 2010. – Vol. 54, Issue 8. - P. 1245–1265. doi: 10.1016/j.comnet.2010.03.005
7. Huang, S. Study of network survivability based on multi-path routing mechanism [Text] / S. Huang, Y. Xu, L. Zhang// Science in China Series F: Information Sciences. – 2008. – Vol. 51, Issue 11. – P. 1898–1907. doi: 10.1007/s11432-008-0155-5
8. Wang, C. A General Framework for Network Survivability Testing and Evaluation [Text] / C. Wang, L. Ming, J. Zhao, D. Wang // Journal of Networks. – 2011. – Vol. 6, Issue 6. – P. 831–841. doi: 10.4304/jnw.6.6.831-841
9. Lin, F.Y.-S. Maximization of Network Survivability under Malicious and Epidemic Attacks [Text] / F.Y.-S. Lin, Y.-S. Wang, H.-Y. Chung, J.-L. Pan// Presented at 26th International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops, Japan, 2012. doi: 10.1109/WAINA.2012.10
10. Зайченко, О. Ю. Аналіз показників живучості мереж з технологією ATM [Текст] / О. Ю. Зайченко // Наукові вісті НТУУ «КПІ». – 2001. – № 3. – С. 14–21.