

УДК 621.391.3

## **ПОБУДОВА СИСТЕМИ ВІДНОВЛЕННЯ МЕРЕЖІ МАЙБУТНЬОГО**

*Отрох С.І., Ярош В.О.*

*Державний університет телекомунікацій,  
03110, Україна, м. Київ, вул. Солом'янська, 7.  
sotrokh@ukrtelecom.ua, vovayarosh@yandex.ua*

## **ПОСТРОЕНИЕ СИСТЕМЫ ВОССТАНОВЛЕНИЯ СЕТИ БУДУЩЕГО**

*Отрох С.И., Ярош В.А.*

*Государственный университет телекоммуникаций,  
03110, Украина, г. Киев, ул. Соломенская, 7.  
sotrokh@ukrtelecom.ua, vovayarosh@yandex.ua*

## **THE CONSTRUCTION OF THE RECOVERY SYSTEM OF THE FUTURE NETWORK**

*Otroh S.I., Yarosh V.A.*

*State University of Telecommunications,  
03110, Ukraine Kyiv, Solomenska street, 7.  
sotrokh@ukrtelecom.ua, vovayarosh@yandex.ua*

**Анотація.** У статті наведено типові стихійні лиха, відповідно до рекомендації МСЕ, які можуть впливати на мережі майбутнього та призводити до різних видів пошкоджень. Визначено план по боротьбі зі стихійними лихами, а саме, наступні види діяльності оператора телекомунікацій: профілактика, готовність, відповідь та відновлення. Сформульовано головне завдання системи відновлення, яке полягає в поетапному забезпеченні заданого числа каналів на заздалегідь позначених найважливіших напрямках зв'язку в інтересах оператора телекомунікацій, керування мережею, оборони, безпеки та охорони правопорядку в умовах масових руйнувань на мережі в цілому. Поряд з головним завданням, система відновлення мереж майбутнього повинна забезпечити стає функціонування мережі України з необхідною якістю в умовах можливих руйнувань окремих ділянок мережі, ліній і об'єктів телекомунікацій, а також розгортання рухомих засобів зв'язку в районах надзвичайних ситуацій обхідних і резервних мереж зв'язку.

**Ключові слова:** Future Networks, стійкість мережі, коефіцієнт готовності, система відновлення.

**Аннотация.** В статье приведены типичные стихийные бедствия, согласно рекомендации МСЭ, которые могут влиять на сети будущего и приводит к различным видам повреждений. Определен план по борьбе со стихийными бедствиями, а именно, следующие виды деятельности оператора телекоммуникаций: профилактика, готовность, ответ и восстановление. Сформулирована главная задача системы восстановления, которая заключается в поэтапном обеспечении заданного числа каналов на заранее обозначенных важнейших направлениях связи в интересах оператора телекоммуникаций, управления сетью, обороны, безопасности и охраны правопорядка в условиях массовых разрушений на сети в целом. Наряду с главной задачей, система восстановления сети будущего должна обеспечить стойкость функционирования сети Украины с необходимым качеством в условиях возможных разрушений отдельных участков сети, линий и объектов телекоммуникаций, а также развертывания подвижных средств связи в районах чрезвычайных ситуаций, обходных и резервных сетей связи.

**Ключевые слова.** Future Networks, стойкость сети, коэффициент готовности, система восстановления.

**Abstract.** According to ITU recommendations, the typical natural disasters that may affect the future networks and cause different types of damage are described in the article. The plan for disaster management, namely the following telecommunications operator's activities: prevention, preparedness, response and recovery, is defined. The main task of the recovery system, which is phased out the provision of a given number of channels on pre-defined major lines of communication in the interests of the

telecommunications operator, network management, defense, security and law enforcement in terms of mass destructions on the network as a whole, is formed. Along with the main task, the recovery system networks of the future networks must ensure sustainable operation of the networks of Ukraine, with the required quality in conditions of possible destruction of individual sections of the network lines and telecommunications, as well as deployment of mobile communications in the areas of emergency situations, workarounds, and fallback communication networks.

**Key words:** Future Networks, network resistance, availability factor, recovery system.

В наш час, в умовах зростання числа катастроф техногенного та природного характеру, зростаючої загрози локальних конфліктів істотного значення набуває завдання забезпечення сталого функціонування мережі майбутнього (FN- Future Networks), яка є еволюційним розвитком мереж наступного покоління [1]. FN характеризується безперервною зміною вимог до телекомунікаційних мереж, появою принципово нових прикладних областей дистанційного керування побутовою та іншою технікою (Internet of Things), створенням “розумних” мереж (Smart Grid) з використанням хмарних обчислень (Cloud Computing).

Згідно з визначенням МСЕ мережа майбутнього [1] являє собою глобальну інформаційну інфраструктуру, яка об’єднує у собі вже існуючі інформаційно-комунікаційні мережі з урахуванням компонент, які тільки плануються до впровадження. Єдиним центром керування глобальною інформаційною інфраструктурою забезпечується здатність надавати повний спектр телекомунікаційних послуг (в будь-якому географічному місці, гарантованої якості, прийнятної вартості та в будь-який час) на базі нових та інноваційних технологій. Головною відмінністю мережі майбутнього (ММ) є здатність до самовідновлення та самоорганізації за рахунок її сталості та стійкості до дії стихійних лих. Безвідмовне функціонування ММ під час дії стихійного лиха забезпечує потреби управління державою, оборони, безпеки, охорони правопорядку, економіки країни, а також потреби фізичних і юридичних осіб в новітніх та інноваційних послугах телекомунікацій.

Останнім часом у зв’язку зі зміною клімату дедалі частіше спостерігаються стихійні лиха, такі як землетруси, паводки, цунамі, повені, буревії тощо, через що надання телекомунікаційних послуг зупиняється в тому чи іншому регіоні світу. Це свідчить, що ми живемо в епоху глобальних змін, тому потрібно сформулювати вимоги до FN такі, щоб вона була стійка до впливу вищезазначених зовнішніх дестабілізуючих факторів (ЗДФ). Для того, щоб мінімізувати пошкодження та/або захистити мережу необхідно розробити певні рекомендації щодо проектування FN з метою мінімізації дії ЗДФ та відновлення сталого функціонування мережі. ЗДФ – це певний вид зовнішніх впливів, параметри якого перевищують значення, на які розрахований елемент мережі при його проектуванні. До ЗДФ також відносяться стихійні лиха, які надані в рекомендації L.392 сектору стандартизації Міжнародного союзу електрозв’язку в кінці 2016 року [2].

Стійкість мережі та відновлення після дії стихійного лиха вирішується за допомогою багатократних методів [2]. Основним методом є максимальне посилення (укріплення) мереж стійких до дії ЗДФ для мінімізації потенційних збитків. Суть цього методу полягає в резервуванні, резервному копіюванні та переключенні системи або її частини. Другий метод полягає в забезпеченні розгортання обладнання на відновлюваних об’єктах для належного функціонування мереж майбутнього та надання послуг зв’язку після дії ЗДФ. Після стихійного лиха потрібно негайно розгорнути ці підготовлені ресурси на пошкоджених ділянках. Цей метод добре працює, коли мережеві об’єкти, захищені основним методом, виходять з ладу або руйнуються. Ці підходи вдало доповнюють один одного.

Для попередження наслідків від дії катастроф техногенного та природного характеру, необхідно розробити план щодо боротьби зі стихійними лихами, а саме:

– профілактика – види діяльності, які фактично усувають або зменшують ймовірність катастрофи;

– готовність – діяльність, яка використовуються для підтримки запобігання, пом'якшення, реагування на стихійні лиха та ліквідація їх наслідків. На цьому етапі розробляються плани, щоб врятувати життя і мінімізувати збиток від дії лих (наприклад, установка систем раннього попередження);

– відповідь – діяльність після стихійного лиха. Ці заходи покликані стабілізувати ситуацію і зменшити ймовірність вторинного ушкодження;

– відновлення – заходи, необхідні для повернення всіх систем до нормального функціонування (наприклад, відновлення знищеного майна або ремонт необхідної інфраструктури).

Головне завдання системи відновлення ММ полягає в поетапному забезпеченні заданого числа каналів на заздалегідь позначених найважливіших напрямках зв'язку в інтересах державного управління, оборони, безпеки та охорони правопорядку в умовах масових руйнувань на мережі зв'язку.

Поряд з головним завданням, система відновлення повинна забезпечити стале функціонування телекомунікаційної мережі України з необхідною якістю в умовах можливих руйнувань окремих ділянок мережі, ліній і об'єктів зв'язку, а також розгортання мобільних засобів зв'язку в районах надзвичайних ситуацій обхідних і резервних мереж зв'язку.

Завдання, що вирішуються системою відновлення, повинні поділитись на три тимчасові складові [4]:

1) завдання оперативного відновлення зруйнованих основних напрямів зв'язку (ОНЗ) за нормативний час від 6 до 24 год., які реалізуються мобільними засобами, що перевозяться;

2) завдання відновлення середньострокового характеру, що реалізуються у сукупності мобільними і рухливими засобами відновлення зв'язку з метою часткового задоволення потреб користувачів (від 10 до 30 % необхідного числа каналів);

3) завдання відновлення довгострокового характеру, що забезпечують повне відновлення об'єктів зв'язку і структури мереж електрозв'язку.

Динаміка зміни  $p_{ij}$  (зв'язність) напряму зв'язку в процесі відновлення ( $t_{\text{відн}}$  – час процесу відновлення) показана на рис. 1. До дії внутрішніх дестабілізуючих факторів зв'язність визначається надійністю напрямку зв'язку ( $K_r$ ), який визначається:

$$K_r = \frac{T_{\text{відм}}}{(T_{\text{відм}} + T_{\text{віднов}})}, \quad (1)$$

де  $T_{\text{відм}}$  – середній час напрацювання на відмову каналу ТКМ;  $T_{\text{віднов}}$  – середній час відновлення працездатності каналу.

Відразу після дії ЗДФ ( $t_{\text{діїЗДФ}}$  – момент дії ЗДФ) зв'язність знижується до величини живучості ММ або коефіцієнта оперативної готовності ( $K_{\text{ог}}$ ), який визначається:

$$K_{\text{ог}} = P(T)K_r, \quad (2)$$

де  $K_r$  – коефіцієнт готовності;  $P(T)$  – ймовірність збереження працездатності каналу ТКМ під час дії ЗДФ.

З моменту часу  $t_{\text{поч відн}}$  (момент початку роботи системи відновлення мережі) зв'язність починає зростати. Після вирішення завдань оперативного відновлення мережі електрозв'язку (момент часу  $t_{\text{діїЗДФ}} + (6 / 24)$  год) зв'язність повинна зростати до значення надійності напрямку зв'язку ( $K_r$ ). Мережа повністю відновлюється після вирішення середньострокових і довгострокових завдань відновлення до значення, визначуваного показниками надійності.

Основне завдання побудови системи відновлення полягає в тому, щоб оператор зв'язку мав необхідне число мобільних засобів, що перевозяться, зв'язки, які можуть бути використані для оперативної заміни пошкодженого обладнання.

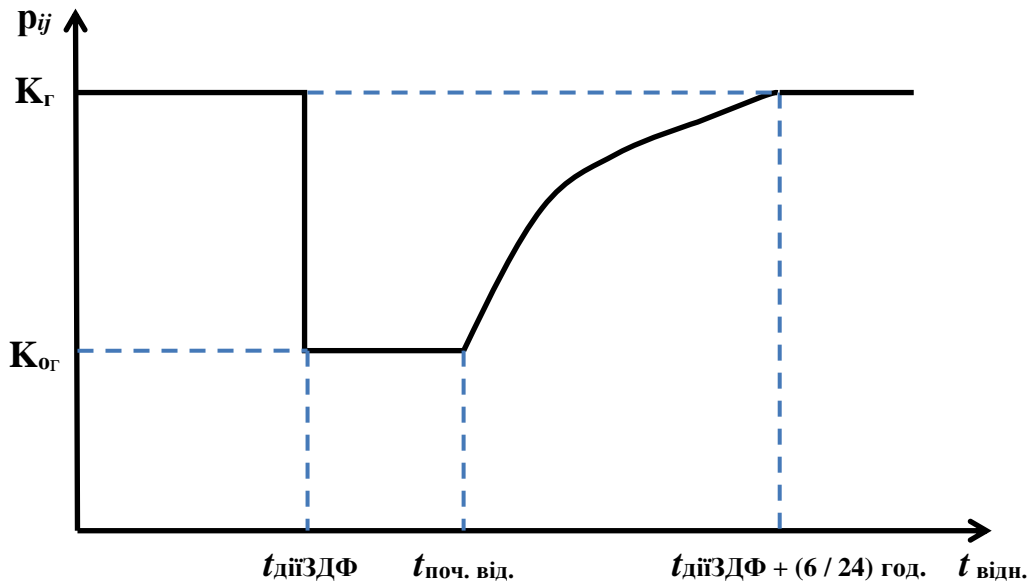


Рисунок 1 – Динаміка зміни зв'язності  $p_{ij}$  напрямку зв'язку в процесі відновлення ММ

Показники сталості (надійності і живучості) телекомунікаційної мережі носять імовірносний характер, і їх оцінка здійснюється за допомогою розрахунків на основі показників надійності і живучості елементів реальної телекомунікаційної мережі.

Методика розрахункової оцінки сталості (надійності і живучості) мережі електрозв'язку заснована на використанні математичного апарату випадкових графів і знаходження зв'язності між елементами графа за допомогою методу перебирання простих кіл. Мережа зв'язку моделюється графом мережі, вершинами і ребрами якого є вузли і лінії зв'язку. Вершини графа є вузлами зв'язку, а ребра – сукупністю ліній зв'язку (ліній передачі), які поєднують вершини графа між собою. Усім елементам графа (вершинам і ребрам) привласнюють ваговий коефіцієнт, що є коефіцієнтом готовності вузла або лінії зв'язку при розрахунку показників надійності мережі зв'язку (при розрахунку показників живучості ваговими коефіцієнтами є коефіцієнти оперативної готовності вузлів і ліній зв'язку). В побудові графа мережі зв'язку виділяють два полюси (дві вершини – «витік» і «стік»), які вибирають напрям зв'язку.

Метод розрахункової оцінки зв'язності між елементами графа за допомогою перебирання простих кіл полягає в тому, що для вибраних полюсів графа мережі, відповідно до алгоритму встановлення зв'язку, відзначаються усі кола (чи шляхи), по яких може бути встановлене з'єднання. Під подією зв'язності розуміється така подія, коли між «витоком» і «стоком» в працездатному стані існує хоча б одне просте коло. Якщо між полюсами мережі в працездатному стані немає жодного простого кола, то в двополюсній мережі настає подія незв'язності. Під «простим колом» розуміють послідовність ребер і вершин графа без петель і паралелей, які замикають полюси (вибрані вершини) між собою. Далі на графі мережі виділяють усі прості кола ( $\mu_{ij}$ ) між виділеною парою полюсів (вузлів)  $v_i$  та  $v_j$  мережі.

При заданих коефіцієнтах готовності (чи оперативній готовності) для усіх елементів графа зв'язність двополюсної мережі між виділеними вузлами  $v_i$  та  $v_j$  розраховується методом об'єднання простих кіл з урахуванням ефекту поглинання.

При практичних розрахунках перелік простих кіл або шляхів  $\mu_{ij}^k$  між вузлами  $v_i$  та  $v_j$  обмежують тільки тими шляхами, які містять допустиме число транзитних ділянок, яке залежить від допустимого рівня спотворень передаваної інформації по лінії зв'язку. Число

транзитних ділянок визначає ранг простих кіл –  $r_{\max}$ . Таким чином, повний перелік простих кіл між вузлами зв'язку визначається з урахуванням максимально допустимого числа транзитних ділянок (обмеження рангу простих кіл).

Зв'язністю  $P_{ij}^k$   $k$ -го шляху  $\mu_{ij}^k$  з переліку усіх кіл  $\mu_{ij}$  називається спільна вірогідність справного стану усіх ребер і вершин, що утворюють це коло:

$$P_{ij}^k = \prod_{\forall a \in \mu_{ij}^k} (1 - q_a) = \prod_{\forall a \in \mu_{ij}^k} p_a, \quad (3)$$

де  $p_a$  – коефіцієнт готовності (чи оперативної готовності)  $a$ -го елемента послідовності ребер і вершин, що належать шляху  $\mu_{ij}^k$ ;

$q_a = (1 - p_a)$  – коефіцієнт неготовності (чи оперативної неготовності)  $a$ -го елемента послідовності ребер і вершин, що належать шляху  $\mu_{ij}^k$  (при проведенні реальних розрахунків цим коефіцієнтом користуватися зручніше, ніж коефіцієнтом  $p_a$ ).

Вірогідність зв'язності  $P_{ij}$  від  $v_i$  до  $v_j$  – це вірогідність справного стану хоча б одного кола з усіх можливих кіл або (при обмеженні числа транзитних ділянок  $r_{\max}$ ) хоча б одного кола з допустимим рангом:

$$P_{ij} = p_{ij}^{\max} = 1 - \prod_{\forall \mu_{ij}^k \in m_{ij}} (1 - p_{ij}^k) \quad (4)$$

За реальних умов кола часто взаємозалежні, тобто мають загальні ребра і вершини. При цьому вірогідність зв'язності, розрахована за формулою (4), має завищене значення. Дійсне значення отримаємо, якщо при розрахунках за формулою (4) після розкриття дужок усі члени, що мають показники степеня більше одиниці, змінять на одиницю, що відповідає виключенню події багатократного урахування коефіцієнта готовності (або оперативної готовності) одного ребра чи одної вершини. Такі дії позначають символом  $E$  та називають поглинанням. Формула для розрахунку зв'язності має наступний вигляд:

$$p_{ij} = E \left\{ p_{ij}^{\max} = 1 - \prod_{\forall \mu_{ij}^k \in m_{ij}} (1 - p_{ij}^k) \right\} \quad (5)$$

Число співмножників, що помножуються у формулах (4) та (5), дорівнює числу простих кіл, а у формулі (3) дорівнює числу ребер і вершин в одному колі. Таким чином, показники надійності і живучості мережі електрозв'язку (за вірогідністю зв'язності двополюсного графа) обчислюють за допомогою формули (5).

Таким чином, найбільш раціональна побудова системи відновлення полягає в тому, щоб максимально використати обладнання, яке знаходиться в повсякденній експлуатації на другорядних ділянках мережі зв'язку і може бути оперативно переведене за відведений час на ділянки, що вимагають відновлення.

Таким чином, в оператора зв'язку, що займається експлуатацією мереж майбутнього, до яких пред'являються вимоги зі збереження працездатності після дії ЗДФ, має бути передбачена процедура відновлення [4] уражених об'єктів зв'язку. Для цього має бути розроблений план заходів по оперативному відновленню мережі зв'язку, де мають бути враховані:



- об'єм необхідного додаткового ресурсу обладнання (у тому числі й обладнання з іншим середовищем поширення) з урахуванням вибраного можливого збитку, що наноситься дією ЗДФ на мережі електрозв'язку і зменшенням вимог до пропускну здатності напрямку зв'язку і надійності відновлюваних каналів зв'язку;
- забезпеченість транспортними засобами для доставлення і розгортання обладнання на відновлюваних об'єктах основних напрямків зв'язку за нормативний час (від 6 до 24 год);
- забезпечення розгортання обладнання на відновлюваних об'єктах для відновлення послуг зв'язку іншим користувачам за час не більше 48 год;
- взаємодія з іншими операторами зв'язку з перерозподілу каналів зв'язку;
- забезпечення середньострокового і довгострокового повного відновлення мережі зв'язку.

Вимоги до сталого функціонування мережі майбутнього складаються з вимог до показників надійності, наданих в табл. 1, і вимог до живучості основних напрямків зв'язку, наданих в табл. 2.

Таблиця 1 – Технічні норми показників надійності мережі електрозв'язку

Тип мережі електрозв'язку	Найменування показника	Норма, не менше
Мережа міжміського і міжнародного телефонного зв'язку	Коефіцієнт готовності, $K_r$	0,999
Мережа зоновий телефонний зв'язку		0,9995
Мережа місцевого телефонного зв'язку		0,9999
Мережа передачі даних		0,99

Таблиця 2 – Вимоги до живучості основних напрямків зв'язку залежно від збитку мереж електрозв'язку, що наноситься дією зовнішніх дестабілізуючих факторів (ЗДФ)

Рівень збитку	Збиток мережі зв'язку, що наноситься дією ЗДФ, %	Коефіцієнт оперативної готовності для каналів зв'язку
Високий	до 50	0,80 ... 0,7
Середній	до 30	0,85 ... 0,75
Низький	до 10	0,9 ... 0,8

У статті надано план щодо боротьби зі стихійними лихами та сформовано завдання системи відновлення для забезпечення сталого функціонування мережі майбутнього України з необхідною якістю в умовах можливих руйнувань.

Визначено, що найбільш раціональна побудова системи відновлення полягає в тому, щоб максимально використати обладнання, яке знаходиться в повсякденній експлуатації на другорядних ділянках мережі зв'язку і може бути оперативно переведене за відведений час на ділянки, що вимагають відновлення. Таким чином, оператори зв'язку, що займаються експлуатацією мереж майбутнього, повинні забезпечити розгортання обладнання на відновлюваних об'єктах для відновлення телекомунікаційних послуг користувачам за час не більше 48 год.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Global information infrastructure, internet protocol aspects and Next Generation Networks – future networks. Future Networks: Objectives and Design Goals // Recommendation ITU-T Y.3001. – 2011.
2. Disaster management for improving network resilience and recovery with movable and deployable information and communication technology (ICT) resource unit // Recommendation ITU-T L.392. – 2016.
3. Арнольд В.И. Теория катастроф / Арнольд В.И., 1990. – 128 с.
4. ГОСТ Р 53111-2008 Сталість функціонування мережі зв'язку загального користування.

REFERENCES:

1. Global information infrastructure, internet protocol aspects and Next Generation Networks – future networks. Future Networks: Objectives and Design Goals // Recommendation ITU-T Y.3001. – 2011.
2. Disaster management for improving network resilience and recovery with movable and deployable information and communication technology (ICT) resource unit // Recommendation ITU-T L.392. – 2016.
3. Arnold V.I. Teoriya katastrof, 1990. – 128 s.
4. GOST R 53111-2008 Stallst funktsionuvannya merezhi zv'yazku zagalnogo koristuvannya.