

## 12 Сучасні поняття про надійність первинної мережі ЄНСЗУ

### 12.1 Основні поняття та принципи нормування

Один із основних напрямків у вирішенні проблеми забезпечення стійкості мереж зв'язку - розробка системи критерії працездатності і показників, які характеризують стійкість мереж зв'язку, які пов'язані з вимогами споживачів, та об'єктивно відображають стан мережі в цілому і окремих її елементів. Як відомо, стійкість мережі зв'язку обумовлена її надійністю і життєздатністю. В цій роботі пропонуються основні принципи вирішення даної проблеми стосовно до надійності первинної мережі єдиної національної системи зв'язку України (ЄНСЗУ)[1].

В сучасних економічних умовах проблема надійності мережі зв'язку стає все більш актуальною, тому що безпосередньо впливає на економічні показники як підприємств зв'язку, так і усіх тих, хто користується їх послугами. Відмова в наданні послуг через непрацездатність технічних засобів - це упущений прибуток, а в окремих випадках і прямі збитки через пред'явлені користувачем штрафні санкції. За оцінками деяких закордонних фахівців, збитки користувачів від розривів зв'язку становлять від тисяч до десятків тисяч доларів за годину, а в фінансовому секторі вони можуть досягати мільйонів доларів за годину.

Невипадково в Рекомендації E.862 "Планування надійності мереж зв'язку" відзначається, що при плануванні, проектуванні, експлуатації та технічному обслуговуванні мереж зв'язку необхідно враховувати економічні збитки через ненадійність, які несуть як адміністрації зв'язку, так і користувачі [1].

В попередні роки надійності засобів зв'язку в нашій країні не приділялась суттєва увага. Основною турботою було забезпечення зв'язку вищого партійно-державного апарату і силових міністерств та відомств. Інтереси народногосподарських, а тим більше індивідуальних користувачів враховувались недостатньо. Склалося абсурдне становище, коли установлені норми по надійності були під грифом "секретно", що робило їх недоступними для широкого кола користувачів.

Крім цього, нормування надійності в галузі зв'язку недостатньо узгоджувалось з діяльністю міжнародних організацій, зокрема МККТТ (зараз МСЕ). Необхідність підтримки зв'язків з державами ближнього зарубіжжя, поява в нашій країні великої кількості представництв іноземних фірм і спільних підприємств потребує узгодження вітчизняних нормативних документів з міжнародними, а в окремих випадках - використання як

нормативних документів міжнародних стандартів, правил, норм і рекомендацій.

*Основні поняття та визначення.* Відомо, що надійність визначається як властивість зберігати в часі у певних межах значення усіх параметрів, що характеризують здатність виконувати потрібні функції в заданих режимах і умовах використання, технічного обслуговування, зберігання і

транспортування.

Первинна мережа представляє собою сукупність типових фізичних кіл, типових каналів передачі і мережевих трактів, створену на основі мережевих вузлів (станцій), кінцевих пристроїв і ліній передачі, що з'єднують їх. Її призначенням є не передача безпосередньо інформації, а забезпечення вторинних мереж та інших користувачів каналами і трактами. З урахуванням приведених вище визначень "первинна мережа" і "надійність" доцільно сформулювати визначення:

**Надійність первинної мережі** - властивість первинної мережі зберігати в часі в установлених межах значення усіх параметрів типових фізичних кіл, типових каналів передачі і мережевих трактів, що характеризують їх здатність до передачі сигналів електров'язку в заданих режимах і умовах застосування і технічного обслуговування[2].

**Вибір показників надійності.** Виходячи з того, що первинна мережа є надзвичайно складною технічною системою, яка створює велику кількість каналів і трактів, розподіл усіх можливих її станів на працездатні та непрацездатні зробити неможливо. Подібні системи в Теорії надійності прийнято відносити до складних систем виду II [2], тому такі поняття як "готовність" та "безвідмовність" для них неприпустимі. Ці та цілий ряд інших понять і показників надійності треба використовувати тільки для каналів і трактів первинної мережі [1.3].

Оскільки первинна мережа відноситься до технічного об'єкту виду II, то основним показником її надійності може бути тільки узагальнений комплексний показник - коефіцієнт зберігання ефективності [1,2,3], який характеризує надійність усєї мережі в цілому чи окремих, достатньо великих, фрагментів. Коефіцієнт зберігання ефективності мережі мало що говорить споживачу про її властивість, тому його нормування недоцільно. Але він дуже корисний для порівняння між собою різних варіантів розвитку мережі чи різних її регіонів. Приклад використання цього показника для внутрішньозонових первинних мереж розглянуто в [12].

Канали і тракти відносяться до відновлюваних об'єктів, тому для них краще нормувати комплексний показник надійності - коефіцієнт готовності  $K_r$  [1]. Це узгоджується з рекомендаціями МСЕ і Міжнародної електротехнічної КОМІСІ (МЕК), які Віщляють готовність як основну властивість, що обумовлює надійність.

Безвідмовність каналів передачі безпосередньо впливає на якість обслуговування вторинних мереж зв'язку і для відновлюваних об'єктів характеризується таким показником, як середня наробка на відмову. Рекомендація МСЕ G.602 стверджує, що немає необхідності в окремому нормуванні безвідмовності, бо нормується готовність, яка залежить від безвідмовності. З цим неможливо не погодитися. Значення  $K_r$  залежить не від самого значення наробки на відмову  $T_0$  і середнього часу відновлення  $T_B$ , а тільки від їх співвідношення:

$$K_r = T_0 / (T_0 + T_B) = 1 / (1 + T_B / T_0). \quad (12.1)$$

Тому одне і те ж значення  $K_r$  може бути одержано при різних значеннях  $T_0$ , в тому числі і досить низьких.

Зауважимо, що в російському перекладі Рекомендації G.602 англійський термін "reliability" помилково перекладений як "надійність", а не "безвідмовність", чим був суттєво спотворений зміст деяких положень. Це пов'язано з тим, що в міжнародних документах поняття надійності в широкому значенні і відповідний термін (dependability) з'явилися тільки з середини 80-х років, а до цього використовувалось поняття надійності у вузькому значенні (reliability), яке відповідає тільки безвідмовності.

Таким чином, основними показниками надійності каналів і трактів первинної мережі доцільно вважати коефіцієнт готовності і наробку на відмову [1,2]. На основі цих показників і можуть бути розраховані усі важливі показники надійності напрямків зв'язку.

**Критерії відмови.** Формулювання критеріїв відмов каналів і трактів, утворених аналоговими та цифровими системами передачі, даються окремо. Критерії відмови для кабельних аналогових систем передачі встановлюється Рекомендацією МСЕ G.602. Відповідно до неї відмовою системи вважаються випадки, коли має місце : 1) повна втрата сигналу ; 2) зниження рівня контрольної частоти на 10 дБ нижче номінального ; 3) перевищення сумарної незваженої потужності шуму (виміряного чи обчисленого з часом інтеграції 5 мс) значення 1 млн. пВт на умовній еталонній мережі довжиною 2500 км. При цьому кожний з описаних випадків повинен тривати не менш ніж 10 с [1].

В нашій країні відмовою вважається зниження рівня двох і більше контрольних частот на 18 дБ протягом 300 мс (АСП). Але через зазначені у вступі причини доцільно перейти до міжнародного критерію.

Для цифрових систем передачі може бути використано визначення часу неготовності, надане в Рекомендації G.821. Відповідно до нього відмовою системи вважаються випадки, коли коефіцієнт помилок по бітах в кожному секунду перевищує  $1 \cdot 10^{-3}$  протягом десяти наступних одна за одною секунд.

Критерії відмови обумовлений часовим порогом  $t_{\text{ВІДМ}} = 10$  с, що може викликати певні труднощі, зокрема, відомі аналітичні формули для розрахунку надійності резервованих систем [2] призводять в цьому випадку до помилки, тим більшої, чим більше величина  $t_{\text{ВІДМ}}$ . Проте і при  $t_{\text{ВІДМ}} > 0$  також можливе одержання точних формул для розрахунку основних показників надійності.

**Норми надійності.** Відповідно до Рекомендації G.602 для умовної еталонної мережі довжиною 2500 км кабельної аналогової системи передачі  $K_r > 0,996$ . При цьому беруться до уваги усі відмови (апаратури перетворення, спряження, лінійного тракту, ліній передачі, пристроїв електроживлення). Для досягнення цієї величини може знадобитися відповідне переключення на резерв. За період спостереження для оцінки  $K_r$  береться один рік.

Враховуючи, що користувачу байдуже, які технічні засоби використовуються для організації каналів і трактів, які йому надаються, таку ж норму ( $K_r > 0,996$ ) треба розповсюдити не тільки на кабельні аналогові системи передачі,

а також і на інші системи.

Як вже зазначалось вище, в Рекомендації G.602 заперечується необхідність нормування безвідмовності і не формулюється ніяких вимог до неї. Але наявність часового порогу для критерію відмови  $t_{зів} 10$  с неминуче тягне певні обмеження на середню наробку на відмову. Дійсно, оскільки  $T_v$  не може бути менше ніж часовий поріг критерію відмови (тобто  $T_v > t_v$ ), при виконанні умови  $K_r > K_{гн}$ . (де  $K_{гн}$  - нормоване значення коефіцієнта готовності) нижня межа для середньої наробки на відмову визначається як :

$$T_{0cp} > t_{від} / (1 - K_{гн}). \quad (12.1')$$

При  $K_{гн} = 0,996$  і  $C_{В1ДМ} = 10$  с отримаємо  $T_0 > 41,7$  хв. Таке значення  $T_0$  не може задовольняти. Це ще раз підтверджує необхідність окремого нормування безвідмовностей. Далі норми для  $T_0$  повинні бути встановлені з врахуванням вимог до каналів і трактів первинної мереж: з боку вторинних мереж та інших споживачів.

**Економіко-правові аспекти нормування надійності.** Нормування надійності має сенс тільки тоді, коли здійснюється належний контроль за дотриманням установлених норм і передбачена відповідальність за їх порушення. Розрізняють юридичну і моральну відповідальність постачальника.

Моральна відповідальність полягає у втраті престижу постачальника і попиту на його продукцію чи послуг у випадках їх неналежної якості, добре зарекомендувала себе в країнах з розвинутим конкурентним ринком, активними засобами масової інформації і організаціями споживачів. Але в умовах нашої країни нема надії на те, що цей вид відповідальності в близькому майбутньому примусить постачальника турбуватися про якість своєї продукції чи послуг. Тому треба звернути найсерйознішу увагу на розробку механізмів юридичної відповідальності постачальника.

Юридична відповідальність у відповідності з розділами законодавства поділяється на карну, адміністративну і майнову (за цивільним законодавством). Взаємовідношення між постачальником і споживачем належать до області цивільного законодавства.

Вимоги до надійності каналів і трактів повинні стати невід'ємною частиною будь-якого договору на їх оренду. Викладені тут рекомендації щодо нормування надійності можна використовувати як типові, але в кожному конкретному випадку можливий і відступ від них. При цьому у випадку підвищення вимог до надійності орендна плата повинна підвищуватися, а при їх зниженні - знижуватися.

В будь-якому випадку крім вимог до надійності в договорі повинні бути зумовлені механізми контролю за їх виконанням і матеріальна відповідальність постачальника за їх невиконання. Рекомендації щодо проведення подібних процедур приведені нижче.

Окрім цього, враховуючи, що в сучасних умовах нашої країни постачальники каналів зв'язку є, як правило, монополістами, держава повинна взяти

споживачів під свій захист. Таке становище відповідає законодавчій практиці більшості розвинутих країн. Повинні бути вжиті спеціальні антимонопольні заходи, згідно з якими монополісти - власники частки ринку, що перевищує відповідний відсоток від його загального обсягу, повинні підпадати під "прес" держави. Цей "прес" захисту прав споживачів повинен включати обмеження цін, встановлення обов'язкових вимог до рівня якості і державний контроль за дотриманням рівня якості.

В галузі зв'язку таке становище цілком виправдано, бо надійний зв'язок життєво необхідний для вирішення завдань державного управління, забезпечення обороноздатності і безпеки країни, отже державні органи мусять здійснювати контроль за засобами зв'язку. При розподілі підприємств-монополістів на незалежні підприємства чи з появою нових постачальників у випадках, коли доля продукції чи послуг кожного постачальника на ринку стає меншою ніж установлений антимонопольний рівень, підприємства частково виходять з-під контролю держави, який зберігається тільки там, де споживачами є державні органи.

В будь-яких випадках постачальник повинен гарантувати дотримання установлених в нормативних документах чи в договорі вимог до надійності. При цьому постачальник повинен бути готовий довести це з необхідністю ймовірністю, інакше він повинен нести майнову відповідальність.

Можна рекомендувати такий порядок визначення відповідності вимогам надійності [1].

Встановлюється взаємоузгоджений період аналізу (місяць, квартал, рік)  $T_a$ . Оскільки за даними експлуатації оцінка коефіцієнта готовності може бути представлена формулою  $K_{Г. сум.} = (T_a - T_{п. сум.}) / T_a$ , де  $T_{п. сум.}$  - сумарний час спостереження простою за період аналізу; виходячи з нормативного значення  $K_{Г.н.}$  визначається допустимий сумарний час простою за цей період  $T_{д.п.} = T_a (1 - K_{Г.н.})$ .

У відповідності з принципами використання теорії перевірки статистичних гіпотез для контролю надійності [1] можливо вибрати порогове значення  $K_{Г} < K_{Г.и.}$ . При цьому якщо за період  $T_a$   $K_{Г. сум.} < K_{Г.и.}$ , то з достатньою вірогідністю  $1 - \alpha$  ( $\alpha$  - ризик постачальника) не виконується вимога до значення  $K_{Г.и.}$ , тобто  $K_{Г. сум.} < K_{Г.н.}$ . Якщо вийти із порогового значення коефіцієнта готовності то можна знайти відповідне порогове значення сумарного часу простою  $T_{п.} = T_a (1 - K_{Г.и.})$ .

При  $T_{п. сум.} \leq T_{п.}$ , ніяких наслідків не настає, але якщо  $T_{п. сум.} > T_{п.}$ , то залишок  $T_{п. сум.} - T_{п.}$ , не підлягає оплаті, тобто орендна г тата за цей час не стягується. Якщо  $T_{п. сум.} > T_{п.}$ , то постачальник несе матеріальну відповідальність за невиконання вимог до коефіцієнта готовності, сплачує споживачу за неустойку, і плата тим більша, чим більша різниця між  $T_{п. сум.}$  і  $T_{п.}$ .

Таким же чином, виходячи з нормативного значення середньої наробки на відмову, можливо визначити порогове число вимов. При цьому, якщо спостережене число відмов за період аналізу є більше порогового, то з вірогідністю  $1 - \alpha$  дійсне значення середньої наробки на відмову менше нормативного. В цьому випадку постачальник несе матеріальну

відповідальність за невиконання вимог до середньої наробки на відмову, сплачує споживачу неустойку, тим більшу, чим більше різниця між спостереженим і пороговим числом відмов.

Таким чином: нормування надійності первинної мережі ВМЗУ повинно здійснюватися шляхом встановлення норм на канали і тракти, які організуються на її основі. При цьому треба використовувати установлені в рекомендаціях МСЕ критерії відмови.

За нормовані показники надійності каналів і трактів доцільно прийняти коефіцієнт готовності

## **12.2. Проектування та розрахунок ВОСП за критерієм надійності**

Вихідними даними для проектування ВОСП є:

- схема організації зв'язку;
- технічні характеристики на апаратуру;
- протяжність ділянок регенерації;
- необхідна пропускна здатність (лінії передачі) в тому числі і на перспективу;
- необхідні показники надійності ВОСП.

На першому етапі проектування рекомендується виконання вимог технічної експлуатації для різних схем організації зв'язку, для чого може виникнути необхідність:

- визначення складу обладнання;
- розрахунок довжин регенераційних ділянок;
- розрахунок та проектування показників надійності;
- оцінка економічної ефективності заходів по підвищенню надійності;
- розрахунок запасних пристроїв (ЗП) та їх розподіл;
- оцінка техніко-економічної ефективності реалізації варіантів проекту.

При проектуванні ВОСП з метою підвищення надійності, зменшення експлуатаційних та капітальних витрат, пов'язаних з розвитком на перспективу, рекомендується орієнтуватися на:

- використання оптичного кабелю (ОК) тільки з одномодовими оптичними волокнами (ОВ) навіть на ділянках мережі з малою пропускною здатністю;
- застосування ОК з резервними ОВ;
- застосування більш високошвидкісної апаратури лінійного тракту в порівнянні з вихідними даними в частині необхідної пропускної здатності.
- ВОСП із спектральним розподілом.

Також, при проектуванні ВОСП рекомендується організувати однопролітні ВОЛП на місцевих первинних мережах; однопролітні ділянки ВОЛП між двома сусідніми мереженими вузлами на внутрішньо зонних та магістральних первинних мережах, застосовуючи для цього, при необхідності, оптичні підсилювачі (ОП). Використовувати гнучке ущільнення інформації в залежності від призначення та можливостей: часового, спектрального та просторового способів.

Можливість застосування оптичних підсилювачів у складі апаратури кінцевого лінійного тракту дозволило уникнути проблем з електроживленням

не обслуговуючого регенераційного пункту (НРП) ВОСП. З досвіду впровадження перших поколінь високошвидкісних ВОСП СЦІ, доцільно також по можливості уникати побудови НРП при проектуванні ВОСП у зв'язку з необхідністю його охорони від несанкціонованого доступу.

При проектуванні мереж зв'язку на перспективу (за пропускною здатністю) весь період розвитку розбивається на окремі етапи розрахункових періодів розвитку. Оптимізація складу технічного обладнання здійснюється за результатами аналізу ефективності витрат на кожному з цих етапів з врахуванням фактору часу.

Можливості ОК забезпечують при побудові ВОСП великий запас пропускної здатності, що дозволяє виключити в процесі оптимізації мережі зв'язку облік великих періодів розвитку. Тобто, при проектуванні мережі зв'язку на період розвитку вибирається ОК з таким типом оптичних волокон, який зможе забезпечити найбільшу пропускну здатність ВОСП до кінця проектного періоду розвитку.

Для ВОСП СЦІ висуваються вимоги до приймально-передаючої апаратури по забезпеченню можливості використання обладнання різних виробників в межах одної регенераційної ділянки (поперечна суміжність), що призвело до необхідності специфікації параметрів оптичного стику.

Вимоги по забезпеченню поперечної суміжності для ВОСП СЦІ передбачають визначений допуск на розбіжність величин окремих параметрів оптичного стику. Тому, у випадках використання в межах одної ділянки регенерації обладнання одного виробника при проектуванні може виникнути невинуватий системний запас, тобто проектуючи протяжність ділянки буде суттєво нижча, ніж можуть дозволити можливості проектного обладнання.

Особливістю при проектуванні ВОСП СЦІ є також необхідність забезпечення робочого діапазону довжин хвиль передавача. Це пов'язано з виконанням умови при якій довжина ділянки регенерації за загасаанням, яка досягається при відповідних значеннях рівня потужності на передачі, чутливості приймача та сумарного затухання потужності оптичного випромінювача в лінії, не обмежувалися довжиною ділянки регенерації за широкосмуговістю. У свою чергу широкосмуговість досягається при відповідних значеннях швидкостей передавання, дисперсії оптичного волокна та ширини спектру випромінювання передавача.

Іншою відмінністю ВОСП СЦІ є те, що в результаті постійного довершення засобів волоконної та інтегральної оптики, оптоелектронної технології, виробники пропонують для реалізації системи оптичних підсилювачів та системи спектрального розподілу каналів, які суттєво розширюють можливості використання обладнання на мережі.

На сьогодні розроблено та серійно випускаються підсилювачі трьох типів та апаратура лінійного тракту з вбудованими оптичними підсилювачами.

При проектуванні багатоканальних ВОСП з високою пропускнуою здатністю та великою протяжністю необхідно враховувати додаткові фактори, які обмежують довжину ділянки регенерації, та врахування яких призводить до іншого підходу у виборі довжин хвиль та типів оптичних кабелів.

Важливою особливістю при проектування ВОСП СЦІ є необхідна величина комплексного показника надійності  $K_r$ , тобто необхідна якість функціонування мережі в процесі експлуатації. Це обумовлено більш жорсткими діючими нормами на параметри цифрових каналів та трактів, які організуються на сучасних засобах зв'язку та потенційно великою пропускнуою здатністю транспортної системи, яка організовується на основі ВОСП СЦІ.

При проектуванні ВОСП висувають наступні вимоги до надійності:

- коефіцієнт готовності –  $K_r$ ;
- строк служби;
- середній час відновлення –  $T_v$ .

При проектуванні повинна проводитись оцінка показників надійності на відповідність вимогам за надійністю, які задаються в технічних вимогах, шляхом побудови структурної схеми надійності ВОСП та розрахунку коефіцієнта готовності та середнього часу відновлення з урахуванням резервування за вихідними даними про надійність складових частин обладнання отриманих від постачальника.

При проектуванні ВОСП в технічних вимогах повинні бути визначенні вимоги щодо організації технічного обслуговування, ремонту та способів відновлення апаратури ВОСП.

Повинні бути встановленні та записані в контракті на поставку обладнання умови післягарантійного обслуговування та ремонту апаратури на протязі строку служби. Необхідне проведення техніко-економічного обґрунтування варіантів післягарантійного обслуговування та ремонту загальної кількості апаратури, яке передбачене контрактом.

При проектуванні повинен бути проведений вибір системи забезпечення відновлення апаратури, для чого:

- проводиться розрахунок кількості зон обслуговування ЗІП апаратури ВОСП для заданого  $T_v$  та місць розміщення ЗІП;
- склад ЗІП визначається для кожної зони обслуговування за вихідними даними, які повинні бути надані постачальником: склад обладнання, розрахункові показники безвідмовності плат та блоків обладнання, період поповнення запасних частин, вартість плат та блоків обладнання при постачанні ЗІП.

Характерним для сучасних ВОСП є великий об'єм передаючого трафіка, тобто великий об'єм втрат у випадку його простою, та велика протяжність



між сусідніми пунктами ліній передачі, тобто збільшується час під'їзду для усунення несправностей.

Задача забезпечення необхідної якості функціонування ВОСП може бути вирішена за рахунок збільшення  $T_0$  – середнього часу напрацювання на відмову, різними методами резервування та/або за рахунок зменшення  $T_B$  – середнього часу відновлення оптимізацій рішень шляхом організації технічної експлуатації вже на етапі проектування ВОСП.

При вирішенні задач оптимізації за критерієм надійності краще використовувати вираз для коефіцієнту простою , тоді:

$$K_n = 1 - K_r = \frac{T_B}{T_0 + T_B} = \frac{\lambda T_B}{1 + \lambda T_B}, \quad (12.2)$$

де  $\lambda = 1/T_0$  - інтенсивність дійсних відмов для періоду нормальної експлуатації.

У сучасних ВОСП з метою підвищення надійності використовується структурне резервування на окремих блоках апаратури та ділянках ліній передавання (мультиплексорних секціях). При цьому може застосовуватися загальне резервування або роздільне резервування.

При загальному резервуванні об'єкту технічної експлуатації за схемою резервування 1:n, коефіцієнт простою  $K_{пр}$ , без врахування інтенсивності відмов пристроїв переключення на резерв, визначається як:

$$K_{пр} \approx K_n^n, \quad (12.3)$$

При проектуванні високошвидкісних ВОСП довжина ділянки регенерації за затуханням ( $L_\alpha$ ) та довжина ділянки регенерації за широкосмуговістю ( $L_B$ ) розраховуються окремо, оскільки причини, які обмежують граничні значення  $L_\alpha$  і  $L_B$  незалежні.

В загальному випадку необхідно розрахувати дві величини довжини ділянки регенерації за загасанням:

$L_{\alpha \text{ макс}}$  – максимальна проектована довжина ділянки регенерації;

$L_{\alpha \text{ мін}}$  – мінімальна проектована довжина ділянки регенерації.

Для оцінки величини довжини ділянки регенерації можуть використовуватися наступні вирази:

$$L_{\alpha \text{ макс}} < \frac{A_{\text{макс}} - M_\alpha - n \times \alpha_{рз}}{\alpha_{ок} + \alpha_{нз} / L_{\text{буд}}}, \quad (12.4)$$

$$L_{\alpha \text{ мін}} > \frac{A_{\text{мін}}}{\alpha_{ок} + \alpha_{нз} / L_{\text{буд}}}, \quad (12.5)$$

$$L_B = \frac{4,4 \times 10^5}{\sigma \times \Delta\lambda \times B}, \quad (12.6)$$

де  $A_{\text{макс}}$ ,  $A_{\text{мін}}$  (дБ) – максимальне та мінімальне значення перекриваючого затухання апаратури ВОСП, яке забезпечує до кінця строку служби значення коефіцієнту помилок не більш  $1 \times 10^{-10}$ ;

$\alpha_{\text{ок}}$  (дБ/км) – кілометричне затухання в оптичних волокнах кабелю;

$\alpha_{\text{нз}}$  (дБ) – середнє значення затухання потужності оптичного випромінювання нероз'ємного оптичного з'єднувача на стику між будівельними довжинами кабелю на ділянці регенерації;

$L_{\text{буд}}$  (км) – середнє значення будівельної довжини кабелю на ділянці регенерації;

$A_{\text{рз}}$  - затухання потужності оптичного випромінювання роз'ємного оптичного з'єднувача;

$n$  – число роз'ємних оптичних з'єднувачів на ділянці регенерації;

$\sigma$  (пс/нм x км) – сумарна дисперсія одномодового оптичного волокна;

$\Delta\lambda$  (нм) – ширина спектра джерела випромінювання;

$B$  (МГц) – широкосмуговість цифрових сигналів, які передаються по оптичному тракту;

$M_{\alpha}$  (дБ) – системний запас ВОЛП по кабелю на ділянці регенерації.

Якщо за результатами розрахунків отримано:  $L_B < L_{\alpha \text{ макс}}$ , то для проектування необхідно вибирати апаратуру або кабель з іншими технічними даними ( $\Delta\lambda$ ,  $\sigma$ ), які забезпечують великий запас за шорокосмуговістю на ділянці регенерації. Розрахунок повинен бути проведений знову. Критерієм кінцевого вибору апаратури або кабелю буде виконання співвідношення:

$$L_B \gg L_{\alpha \text{ макс}}$$

з врахуванням необхідної пропускної здатності ВОСП на перспективу розвитку.

Максимальне значення перекриваючого затухання ( $A_{\text{макс}}$ ) визначається як різниця між рівнем потужності оптичного випромінювання на передачі та рівнем чутливості приймача для ВОСП на базі ЦСП ПЦІ. Мінімальне значення перекриваючого затухання ( $A_{\text{мін}}$ ) визначається як різниця між рівнем потужності оптичного випромінювання на передачі та рівнем перевантаження приймача для ВОСП на базі ЦСП ПЦІ.

Рівні чутливості та перевантаження приймача визначаються відповідно як мінімальне та максимальне значення рівня потужності оптичного випромінювання на вході приймача, при яких забезпечується коефіцієнт похибок не більший за  $1 \times 10^{-10}$  до кінця строку служби апаратури для ВОСП на базі ПЦІ та СЦІ.

Розрахунок довжини ділянки ВОСП на базі багатоканальних ВОСП також проводяться за двома критеріями: максимально перекриваюче затухання і максимально дозволена хроматична дисперсія.

Розрахунок за першим критерієм проводиться за формулою для максимальної довжини елементарного кабельної ділянки (ЕКД - кабельна

пасивна ділянка, яка не містить активних елементів – оптичних підсилювачів та регенераторів) ВОСП:

$$L_{\text{екд}} = \frac{P_s - 10 \lg m - P_{\text{ASE}} - NF - \frac{C}{\text{Ш}} - 10 \lg k - M_\alpha - M_{\text{дп}} - n \cdot \alpha_{\text{рз}}}{\alpha_{\text{ок}} + \frac{\alpha_{\text{рз}}}{L_{\text{буд}}}}, \quad (12.7)$$

де  $L_{\text{екд}}$  (км) – довжина елементарного кабельної ділянки;

$P_s$  (дБм) – рівень оптичної потужності на передачі;

$m$  – кількість оптичних каналів;

$NF$  (дБ) – фактор шуму оптичного підсилювача;

$C/\text{Ш}$  (дБ) – мінімально допустиме відношення потужності оптичного сигналу до потужності шуму на вході приймача ВОСП;

$k$  – кількість ЕКД на ділянці регенерації ВОСП;

$M_{\text{дп}}$  (дБ) – запас на додаткові втрати за рахунок дисперсії та нелінійних викривлень в ОВ;

$P_{\text{ASE}}$  (дБм) – підсилене спонтанне випромінювання, підведене до входу оптичного підсилювача, та визначається як:

$$P_{\text{ASE}} = 10 \lg \left( \frac{h e}{\lambda} \Delta f 10^3 \right), \quad (12.8)$$

де  $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$  (Вт·с<sup>2</sup>) – постійна Планка;

$c = 2,998 \cdot 10^{17}$  (нм/с) – швидкість світла у вакуумі;

$\lambda$  (нм) – довжина хвилі в третьому вікні прозорості (1529...1565);

$\Delta f$  (Гц) – шоркосмуговість цифрового сигналу, який передається по оптичному каналу (при розрахунку визначають  $\Delta f - f_r$  – тактова частота цифрового сигналу).

Вираз враховує накопичення оптичних шумів за рахунок проміжних оптичних підсилювачів.

Розрахунок допустимої хроматичної дисперсії проводиться за методикою:

1. Вихідним параметром є допустиме розширення оптичних імпульсів ( $D_{\text{доп}}$ ) по відношенню до тактового інтервалу цифрового сигналу для даної швидкості передачі (STM-N).

2. За відомою довжиною регенераційної секції  $L_{\text{РС}} = k \cdot L_{\text{екд}}$  визначається внесена при цьому дисперсія:

$$D_{\text{макс}} = L_{\text{РС}} \cdot \sigma_{\lambda\text{в}} \cdot \Delta\lambda + K_{\text{пмд}} \cdot L_{\text{РС}}^{0.5}$$

де  $\sigma_{\lambda\text{в}}$  – коефіцієнт дисперсії оптичного волокна для  $\lambda_{\text{макс}}$  робочого діапазону довжин хвиль, пс/нм·км, при цьому:

$$\sigma_{\lambda_B} = \sigma_{\Pi} + S \lambda_B - \lambda_{\Pi}$$

де  $\sigma_{\Pi}$  – паспортне значення коефіцієнта дисперсії волокна, вказане для

$$\lambda_{\Pi} = 1550 \text{ нм};$$

$S$  (пс/нм<sup>2</sup>·км) – коефіцієнт нахилу дисперсійної характеристики ОВ;

$\lambda_B = \lambda_{\text{макс}}$  (нм) – максимальна довжина хвилі робочого діапазону довжин хвиль;

$K_{\text{ПМД}} = 0,5$  (пс/км<sup>0.5</sup>) – коефіцієнт поляризаційної модової дисперсії.

Поляризаційна модова дисперсія розраховується тільки для швидкості СТМ-64.

3. Якщо виконується умова  $D_{\text{макс}} \leq D_{\text{доп}}$ , компенсація не потрібна.

4. Якщо  $D_{\text{макс}} > D_{\text{доп}}$ , то необхідна компенсація дисперсії. Для цього визначається різниця:

$$\Delta D = D_{\text{макс}} - D_{\text{доп}}$$

Повну компенсацію дисперсії до нуля проводити недоцільно, оскільки компенсатор вносить значне затухання, тому компенсація відбувається до величини  $\Delta D$ .

5. Виходячи з отриманої величини  $\Delta D$ , визначається необхідний тип компенсаційного волокна та його параметри: коефіцієнт дисперсії  $\sigma_{\text{кв}}$  (пс/нм·км) та коефіцієнт внесеного затухання  $\alpha_{\text{кв}}$  (дБ/км), після чого визначається довжина компенсуючого волокна:

$$L_{\text{кв}} = \frac{\Delta D}{|\sigma_{\text{кв}}| \Delta \lambda_{\text{ф}}} \text{ км},$$

де  $\Delta \lambda_{\text{ф}}$  (нм) – смуга пропускання оптичного фільтру в нм.

В оптимальному випадку вона вибирається рівною ширині оптичного спектру сигналу, який для цифрового сигналу СЦІ береться рівним  $2f_T$ , де  $f_T$  – тактова частота цифрового сигналу.

6. Втрати на затухання, які вносяться компенсатором дисперсії:

$$\alpha_{\text{к}} = L_{\text{кв}} \cdot \alpha_{\text{кв}} \text{ дБ}$$

7. Отримане затухання розподіляється на кількість проміжних підсилювачів, рівне  $k-1$ . В залежності від величини  $\alpha_{\text{к}}$  розподіл може розповсюджуватися на частину підсилювачів:

$$\alpha_{\text{кп}} = \frac{\alpha_{\text{к}}}{k-1} \text{ дБ}$$

8. Отримане  $\alpha_{\text{кп}}$  перевіряється згідно умови:

$$P_{\text{вих}_\Pi} - A_{\text{екд}} + P_{\text{вх}_\text{мін}} - \alpha_{\text{кп}} \geq 0,$$

де  $A_{\text{екд}}$  (дБ) – загасання ЕКД;

$P_{\text{вих}_\Pi}$  (дБм) – значення рівня вихідної потужності проміжного підсилювача;

$P_{\text{вх}_\text{мін}}$  (дБм) – мінімальний дозволений рівень вхідної потужності проміжного підсилювача.

Якщо ця умова виконується, зменшення довжини ЕКД не потрібне, якщо не виконується, то необхідно зменшити довжину ЕКД.

Необхідні показники якості та надійності для місцевої первинної мережі, внутрішньозонової первинної мережі та магістральної первинної мережі з протяжністю  $L_M$  (без резервування) наведено в таблицях 12.1,12.2,12.3.[17].

Таблиця 12.1

Показники надійності для місцевої первинної мережі  $L_M = 100$  км

<b>Показник надійності</b>	<b>Канал ОЦК</b>	<b>ПЦП</b>	<b>Обладнання лінійного тракту</b>
Коефіцієнт готовності	> 0.9996	> 0,9997	0.998
Середній час між відмовами, год	> 14000	> 15512	> 5000
Час відновлення, год	< 4.24	< 4,24	див. примітку

Таблиця 12.2

Показники надійності для внутрішньозонової первинної мережі  $L_M = 250$  км

<b>Показник надійності</b>	<b>Канал ОЦК</b>	<b>ПЦП</b>	<b>Обладнання лінійного тракту</b>
Коефіцієнт готовності	> 0.9996	> 0.99966	0.9949
Середній час між відмовами, год	> 11480	> 12720	> 1960
Час відновлення, год	< 4.24	< 4.24	див. примітку

Таблиця 12.3

Показники надійності для магістральної первинної мережі  $L_M = 1800$  км

<b>Показник надійності</b>	<b>Канал ОЦК</b>	<b>ПЦП</b>	<b>Обладнання лінійного тракту</b>
Коефіцієнт готовності	> 0.997	> 0.99762	0.965
Середній час між відмовами, год	> 1597.22	> 1769.77	277.78

Час відновлення, год	< 4.24	< 4.24	див. примітку
----------------------	--------	--------	---------------

Примітка: для обладнання лінійних трактів на всіх мережах повинно бути :

- час відновлення НРП –  $T_{в\ нрп} < 2,5$  год (в тому числі час під'їзду 2 години);
- час відновлення ОРП та ОП –  $T_{в\ орп} < 0,5$  год;
- час відновлення оптичного кабелю (ОК) –  $T_{в\ ок} < 10$  год ( в тому числі і час під'їзду 3,5 годин).

Середня кількість відмов ОК за рахунок зовнішніх пошкоджень на 100 км кабелю в рік ( згідно з статистичними даними пошкоджень на коаксіальних кабелях з досвіду експлуатації на магістральній первинній мережі України)  $v=0,34$ , тоді інтенсивність відмов ОК за 1 годину на довжині траси ВОСП  $L$  визначається як:

$$\lambda_{ок} = \frac{v \times L}{8760 \times 100}, \quad (12.9)$$

При існуючій в експлуатації стратегії відновлення, яка починається з моменту виявлення відмови (аварії), коефіцієнт простою (неготовності)  $K_n^a$  визначається за формулою (12.2), а коефіцієнт готовності за формулою (12.1).

При довжині магістралі  $L$  не відповідній  $L_m$  середній час між відмовами визначається як:

$$T_d(L) = T_o \frac{L_m}{L}. \quad (12.10)$$

Середній час між відмовами мережених трактів  $N$ -го порядку по відношенню до середнього часу між відмовами каналу ОЦК визначається як:

$$T_d(N) = \frac{T_o \sim_{оцк}}{0,95^N}. \quad (12.11)$$

При паралельному з'єднанні за надійністю елементів системи передачі (наприклад, лінійних трактів) маємо в випадку, коли коефіцієнти простою їх рівні  $K_n$ , для резервування за схемою  $n+m$ :

$$K_n^p = \frac{(n+m)}{n \times (m+1)} \times K_n^{(m+1)} + \frac{n}{n+m} \times \frac{\lambda_o}{(n+m) \times \lambda_o + \lambda_p}, \quad (12.12)$$

(3.12)

де  $n$  – число робочих елементів;

$m$  – число резервних елементів;

$\lambda_o$  – інтенсивність відмов одного елементу системи передачі;

$\lambda_p$  – інтенсивність відмов пристрою переключення на резерв.

Для кільцевої структури зв'язку, тобто коли  $\lambda_p=0$  та  $m=n=1$ , з (12.12) отримаємо:

$$K_n^p = K_n^2. \quad (12.13)$$

Для послідовного з'єднання за надійністю елементів системи передачі (наприклад, ділянок магістралі або окремого обладнання), сумарний коефіцієнт простою визначається за формулою (12.2), в якій  $K_{pi}$  – коефіцієнт простою окремих елементів системи передачі, які визначаються у відповідності до (12.1).

Для випадків експлуатації ВОСП на основі оптимальної стратегії відновлення, що починається з виявлення передвідмовного стану об'єкту технічної експлуатації, для інженерних розрахунків показників надійності необхідно використовувати вираз:

$$K_n^n \approx \frac{\lambda T_B - 0,7t_1}{1 + \lambda T_B}, \quad (12.14)$$

де  $t_1$  – час під'їзду.

### 12.3 Оптимізація рішень при проектуванні та організації технічної експлуатації ВОСП за критерієм надійності

Сучасний етап розвитку галузі характеризується динамічним розвитком засобів передачі інформації, впровадженням нових телекомунікаційних технологій, які супроводжуються збільшенням пропускної здатності мережевих трактів та каналів, а також підвищуються вимоги до якості функціонування та надання послуг. Сьогодні однією з основних задач при проектуванні та технічній експлуатації мереж є забезпечення цих вимог.

**Особливості технічної експлуатації і задача підвищення якості функціонування сучасних ВОСП.** На мережах зв'язку України широко впроваджуються нові покоління волоконно-оптичних систем передачі (ВОСП). У багатьох випадках це високошвидкісні цифрові системи передачі з високим рівнем програмного забезпечення, які використовують оптичні кабелі.

Сучасні ВОСП характеризуються великим об'ємом передаваної інформації, яка, у свою чергу, зумовлює великий об'єм витрат у випадку простою та велику протяжність між сусідніми пунктами волоконно-оптичної лінії передачі (ВОЛП), тобто збільшення середнього часу відновлення.

Як витікає з виразу для комплексного показника надійності – коефіцієнту готовності

$$K_r = T_o / T_o + T_B$$

задача забезпечення заданої якості функціонування ВОСП може бути вирішена різними способами резервування за рахунок збільшення  $T_o$  (середній час наробки на відмову) та зменшення  $T_b$  (середнього часу відновлення) шляхом оптимізації рішень по організації технічної експлуатації на етапі проектування ВОСП.

При вирішенні задач оптимізації по критерію надійності краще використовувати вираз для коефіцієнту простою (неготовності):

$$K_{\pi} = 1 - K_{\Gamma} = \frac{T_o}{T_o + T_b} = \frac{\lambda T_b}{1 + \lambda T_b},$$

де  $\lambda = 1/T_o$  – інтенсивність відмов для періодів нормальної експлуатації.

**Підвищення надійності шляхом структурного резервування.** Для сучасних ВОСП широко використовується структурне резервування окремих блоків апаратури та ділянок ВОСП (мультиплексних секцій). При цьому може використовуватися загальне або роздільне резервування.

При загальному резервуванні за схемою 1:N коефіцієнт простою  $K_{\pi\pi}$  визначається як:

$$K_{\pi\pi} \approx (K_{\pi})^n.$$

При оптимізації перевага надається схемі роздільного резервування, так як надійність збільшується швидше із збільшенням чисельності резерву, ніж у схемі загального резервування. Крім того, в такій схемі можна використовувати різну кількість резервування кожного окремого елемента об'єкта технічної експлуатації (ОТЕ). Цим елементом може бути окремий блок (типовий елемент заміни), ділянка ВОЛП або мережевого тракту, мультиплексорна секція, тракт віртуального контейнера або ділянка мережі зв'язку.

Задача оптимізації структури резерву складається у визначенні його оптимального складу, тобто знаходженні вектору:

$$X_{\text{opt}} \in X = (x_1, x_2, \dots, x_n),$$

де  $x_i$  – кількість резервних елементів в  $i$ -й підсистемі схеми роздільного резервування ОТЕ,  $i=1, n$ .

При цьому задачу оптимізації можна вирішити двома способами. Перший спосіб передбачає знаходження оптимального складу резервних елементів  $X = X_{\text{opt}}$ , при якому досягається задане значення надійності об'єкту  $R(X_{\text{opt}}) \geq R_{\Gamma\pi}$  при мінімальній вартості резерву:

$$C(X_{\text{opt}}) = \min C(X), X_{\text{opt}} \in X.$$

Другий спосіб передбачає визначення  $X_{\text{opt}}$ , при якому досягається найбільша надійність:



$$R(X_{\text{opt}}) = \max R(X), X_{\text{opt}} \in X;$$

$$C(X_{\text{opt}}) \leq C_{\text{доп}}.$$

Структура резерву, як правило, оптимізується при досягненні заданого значення надійності і мінімальної вартості напруженого резерву.

Волоконно-оптичні системи, які побудовані на базі синхронної цифрової ієрархії, дозволяють використовувати резерв по пропускній здатності, що у свою чергу дає можливість на рівні програмного забезпечення вводити графіки обхідних шляхів та замін. При цьому забезпечується можливість оцінки поточного стану по завантаженню та якості передачі як окремих інформаційних структур так і на кожній окремії ділянці. Особливо ефективний цей спосіб резервування в кільцевих структурах зв'язку. Для його реалізації у складі технічних засобів ВОЛП або мережі використовується обладнання із заздальгідь більшою швидкістю передачі. Тому оптимізація структури резерву мережі в цілому (або її ділянки) для схеми роздільного резервування відбувається за критерієм найбільшої надійності при існуючих витратах.

**Оптимізація рішень при проектуванні ВОЛП.** Для підвищення надійності, зменшення капітальних та експлуатаційних витрат, зв'язаних з розвитком на перспективу, рекомендується орієнтуватися на:

- використання оптичних кабелів з резервними оптичними волокнами;
- використання більш високошвидкісної апаратури (на один або два ступеня ієрархії для ЦСП плезіохронної цифрової ієрархії (ПЦІ) та на один або два рівня СТМ-N для ЦСП (СЦІ)).

Дійсно, при впровадженні перших поколінь ВОСП на місцевих та внутрішньозонових первинних мережах зв'язку використовувалися оптичні кабелі з багатоходовими оптичними волокнами. Сьогодні ці ВОЛП безперспективні, так як не дозволяють при роботі у 2-му вікні прозорості (при довжині ділянки регенерації 30 км) збільшити швидкість передачі вище Е3 (480 ОЦК).

Крім того, одномодові оптичні волокна відрізняються від багатомодових тим, що у них максимальна  $L$  по швидкості передачі  $V$  залежить від параметрів не тільки середовища (хроматична дисперсія), але і від апаратури (ширина спектру оптичного випромінювання). Таким чином, при однакових параметрах оптичного кабелю та  $L$ , швидкість передачі в оптичному волокні може бути збільшена шляхом заміни апаратури (з іншим джерелом випромінювання). Такі ВОЛП мають більш довготривалу перспективу.

При прокладанні оптичного кабелю з резервним оптичним волокном збільшується запас пропускної здатності ВОЛП (на перспективу розвитку), тобто використовується просторовий спосіб ущільнення інформації. Збільшення числа оптичного волокна в оптичному каналі в 10 разів призводить до збільшення витрат на спорудження ВОЛП всього на 20%.

Крім того, резервні оптичні волокна можуть використовуватися для підвищення надійності ВОЛП, а саме:

- заміна робочих оптичних волокон, якщо їх параметри в процесі прокладки або експлуатації вийшли за допустимі межі;
- організація переключення на резервний лінійний тракт для ВОЛП ПЦІ або на резервну мультиплексну секцію для ВОЛП СЦІ;
- виявлення та локалізація причин відмов, які поступово накопичуються, (без перерви зв'язку) за допомогою підключення оптичного рефлектометра до резервних оптичних волокон, якщо ці причини є загальними для всіх оптичних волокон в оптичному кабелі (наприклад у випадку перегинів в оптичному кабелі через зміщення ґрунту, пошкодження з'єднувальної муфти, тощо).

Також, має сенс використовувати апаратуру з більшою пропускною здатністю при проектуванні ВОЛП СЦІ. Синхронний мультиплексор STM-16 дорожче ніж мультиплексор STM-4 всього на 30-40 %, що знову спричиняє до збільшення витрат на побудову ВОЛП всього на кілька процентів. Але додаткова пропускна здатність апаратури СЦІ, ще до того як вона буде залучена, може бути ефективно використана для збільшення показників надійності шляхом резервування у підмережі.

При проектуванні ВОСП рекомендується орієнтуватися на:

- організацію однопролітних ВОЛП на місцевих первинних мережах;
- побудову однопролітних ділянок ВОЛП між двома сусідніми мережевими вузлами на внутрішньозонових та магістральних первинних мережах, використовуючи для цього (при необхідності) оптичні підсилювачі (ОП);
- гнучке використання різних способів ущільнення (часового, спектрального та просторового) в залежності від призначення і можливостей.

Сучасний рівень компонентів ВОСП дозволяє при організації з'єднувальних ліній на місцевих первинних мережах, на достатньо дешевому та компактному закінченні лінійного тракту (ЗЛТ) уникнути побудови проміжних пунктів.

Сьогодні більшість виробників ЗЛТ, орієнтуючись на ринок зв'язку, випускають, як правило, в єдиному конструктиві ціле сімейство ЗЛТ, які мають різну вартість в залежності від довжини ділянки регенерації від 10 до 150 км.

Поява ОП та використання їх в складі ЗЛТ дозволило збільшити граничну довжину ділянки регенерації більше ніж у 2 рази, тобто з'явилась можливість проектувати трасу ВОЛП на внутрішньозонових та магістральних первинних мережах через супутні мережеві вузли.

Використання ОП у складі ЗЛТ дозволяє запобігти проблемі електроживлення регенераційного пункту, який не обслуговується (НРП) ВОЛП, та його охороні від несанкціонованого доступу.

Застосування проміжних (лінійних) ОП для одноканальних ВОСП на магістральній первинній та внутрішньозонових мережах у більшості випадків

немає сенсу, так як це не дозволяє вирішити проблему електроживлення НРП. Проте ефективність їх використання стрімко зростає на оптичних мережах доступу навіть для одноканальних ВОСП та на всіх ділянках мережі для ВОСП із спектральним розподілом каналів.

Щодо гнучкого використання різних способів ущільнення (збільшення пропускної здатності ВОЛП), то воно є наслідком оптимізації складу технічних засобів ВОЛП при майбутньому розвитку мережі. При проектуванні мережі зв'язку на перспективу (за пропускною здатністю) весь період розвитку розбивається на окремі великі та малі розрахункові періоди розвитку. Оптимізація складу технічних засобів гілки з врахуванням фактору часу провадиться шляхом мінімізації витрат на 1 кан·км, приведених до початку періоду розвитку на кожному з цих етапів.

Сучасні ОК забезпечують значний запас пропускної здатності, що дозволяє при оптимізації гілки зв'язку не брати до уваги великі періоди розвитку. Іншими словами при проектуванні вибирається ОК з таким типом ОВ, який забезпечує необхідну пропускну здатність ВОЛП до кінця періоду розвитку, який проектується.

Крім того, існують економічно виправдані показники для використання апаратури із запасом пропускної здатності більшим ніж потребується на початку періоду розвитку. В результаті, при проектуванні гілки мережі на весь період розвитку значно спростовується процес оптимізації складу технічних засобів. Останній проявляється у поетапному збільшенні пропускної здатності ВОЛП в процесі розвитку, що супроводжується незначним збільшенням капітальних витрат. Але саме цей факт і обумовлює гнучке використання всіх способів ущільнення інформації при проектуванні ВОЛП на перспективу.

По суті оптимізація складу технічних засобів для сучасних ВОЛП – це перш за все вибір оптимального ресурсу ОК за пропускною здатністю, який визначається як:

$$P_{opt}=ldB,$$

де  $l$  – число ОВ, в тому числі резервних;  $V$  – гранична швидкість передачі при конкретній довжині  $L$  ділянки регенерації (визначається типом ОВ та характеристиками апаратури);  $d$  – граничне число оптичних каналів при певних  $V$  та  $L$  (залежить від типу ОВ та характеристик апаратури).

Заключення: оптимізація рішень при проектуванні та організації технічної експлуатації сучасних ВОСП здійснюється по критерію надійності та включає:

- попередню оцінку комплексного показника надійності  $K_r$  та порівняння його з необхідним значенням, виходячи з норм на  $K_r$ ;
- оптимізацію структури резерву та використання оптимальної стратегії відновлення для зниження коефіцієнту простою  $K_n$ ;

- оптимізацію ресурсу ОК за пропускнуою здатністю на перспективу розвитку
- .
- *Контрольні запитання*
- 

1. Як визначається поняття надійність?
2. На що звертає увагу рек. Е 862?
3. Що таке надійність первинної мережі?
4. Які питання розглядає рек. G 602?
5. Привести критерії відмови каналів аналогових і цифрових СП.
6. Як визначається коефіцієнт готовності каналів Кг?
7. Виконати аналіз формули Кг.
8. Як здійснюється нормування надійності первинної мережі?
9. Які вихідні дані необхідні для проектування ВОСП за критерієм надійності?
10. Які особливості ВОСП СЦІ необхідно врахувати при проектуванні?
11. Які вимоги висуваються при проектуванні ВОСП за критерієм надійності?
12. Пояснити визначення ділянки високошвидкісних ВОСП.
13. Пояснити методикку розрахунку хроматичної дисперсії
14. Привести показники надійності для місцевих мереж України.
15. Привести показники надійності для внутрішньо зонних мереж України
16. Привести показники надійності для магістральних мереж України.
17. З якого моменту починається відновлення при існуючій стратегії ТЕ?
18. Для чого широко застосовують на сучасних ВОСП методи структурного резервування і в якому вигляді?

- *Список літератури*

1. Бондаренко В.Г. Технічна експлуатація систем і мереж зв'язку. "Знання" К. 1997, 100 с.
2. Надежность технических систем: Справочник./ Под ред. И.А. Ушакова/ М. Радио и связь, 1985, 680 с.
3. Перспективи розвитку первинної мережі зв'язку України (матеріали доповідей Ювілейної міжнародної науково-практичної конференції, 15-17 грудня 1998 року, м. Київ) присвяченої 50-річчю первинної мережі зв'язку. Наукова редакція. Бондаренко В.Г. Стаття Аналіз забезпечення надійності мереж зв'язку с 62-67 "Знання" К. 1999, збірник 150 с.
4. Нетес В.А. Надежность сетей связи. Тенденции последнего десятилетия. Электросвязь/ 1998-№1 с 25-27
5. ITU-T. Recommendation E.862, Plening of telecommunication Network. Geneva, 1992-13p.
6. 34. McDonalds J.C. Public network integrity (avoiding a crisis in trust// IEEE Journ on Selected Areas in Communication-1994 vol12-№1-p5-12.
7. Zolaghari A., Kaudel F.I. Fremework for network survivability performance// IEE Journ on Selected Areas in Communication-1994-Vol.12-№1-p46-51.

on Scutad Arcas in Communication-1994 vol12-№1-p5-12.

8. Shinomiye T., Nojo S., Watanabe H. Reliability specifications methods for preventing long service outages of telecommunication network//IEE Journ on Selected Areas in Communications-1994-Vol.12-№2-p345-354

9. Бондаренко В.Г., Біла М.О. “Оптимізація рішень при проектуванні та організації технічної експлуатації ВОСП за критерієм надійності” Зв’язок, 2004, №8 с. 64 -66.

10. Бондаренко В.Г. Сучасні тенденції підвищення надійності мереж зв'язку. К-1998, Радіоаматор №7 с.63

11. Правила технічної експлуатації первинної мережі ЄНСЗ України. Частина перша. "Основні принципи побудови та організації технічної експлуатації", КНД-45-140-99 К. ДКЗІУ - 2001 80с.

Частина друга. Правила технічної експлуатації апаратури, обладнання, трактів і каналів передавання, КНД-45-162-2000 К. ДКЗІУ - 2002 108с.

12. Нетес В.А. Общая схема показателей надежности сетей связи.. Электросвязь/ 1988-№4 с 51-54.

13. ГОСТ 27.003-90 Надежность в технике. Состав и общее правило задания требований по надежности.

14. Бондаренко В.Г. Основні положення по застосуванню систем і апаратури синхронної цифрової ієрархії на мережі зв'язку. ДУІКТ К-2002, 84с.

15. Мешковський К.О. Бондаренко В.Г і інші, під ред. Бондаренка В.Г. СИНХРОННІ ЦИФРОВІ МЕРЕЖІ СЦІ, ТЕХНОЛОГІЇ І СТРУКТУРА WDM СИСТЕМИ. Навчальний посібник з дисциплін ЦСП, ТОТСМ, ТЕСЗ. К-ДУІКТ 2010, 130с

16. Е.Б. Алексеев “Оптимизация решений при проектировании и организации технической эксплуатации ВОСП по критерию надежности”. Электросвязь, №6 2002.

17. Бондаренко В.Г. Надійність волоконно-оптичних систем передачі ДКЗІУ, ЗНАННЯ К-2000 с41-47.

18. Біла М.О. Надійність волоконно-оптичних систем передачі при проектуванні та організації технічної експлуатації // ВІСНИК Українського Будинку економічних та науково-технічних знань. – К 2003. - №1. - Товариство „Знання” с. 150-154.

19. Бондаренко В.Г., Біла М.О. Методичний посібник з надійності для дисциплін: Технічне обслуговування телекомунікаційних систем та мереж, Технічна експлуатація систем зв'язку для студентів 4,5,6 курсів спеціальностей "Телекомунікаційні системи та мережі" Інформаційні мережі зв'язку" ДУІКТ, 2010- 44с.

20. Бондаренко В.Г. Технічна експлуатація систем та мереж зв'язку. Підручник для студентів вищих навчальних закладів за напрямком “Телекомунікації” з дисципліни ,ТЕСЗ,-К ДУІКТ 2012 р 847с