

УДК 004.056.2

О. Я. Матов¹, В. С. Василенко²

¹Інститут проблем реєстрації інформації НАН України

вул. М. Шпака, 2, 03113 Київ, Україна

²Національний авіаційний університет

вул. Космонавта Комарова, 1, 03058 Київ, Україна

Оцінка впливу параметрів каналів на доступність інформації в телекомунікаціях

Розглянуто вплив стану каналів на відносну швидкість як на основну зі складових доступності в процедурах обміну інформацією в телекомунікаційних системах. Запропоновано аналіз залежності відносної швидкості від стану каналів для протоколів обміну інформацією в телекомунікаційних системах, наведено вирази для її розрахунків.

Ключові слова: відносна швидкість, базове кодове слово, викривлення, доступність інформації, інформаційний обмін, телекомунікації.

Вступ

Ефективність використання сучасних телекомунікаційних мереж (ТКМ), з погляду доступності відповідних інформаційних об'єктів, залежить від своєчасного та достовірного обміну інформаційними ресурсами між їхніми елементами [1–4]. Для цього згідно із семирівневою моделлю, введеною стандартом ISO 7498 «Еталонна модель взаємодії відкритих систем», розроблено та використовується різноманіття протоколів обміну, кожен з яких забезпечує певні швидкість обміну і, відповідно, доступність інформаційних об'єктів. Для вибору найбільш ефективних протоколів слід уміти оцінювати залежність їхніх характеристик від умов застосування, тобто від стану відповідних телекомунікацій.

Під доступністю наразі розуміється властивість інформації, яка полягає в тому, що користувач або процес, який володіє відповідними повноваженнями, може використати її відповідно до правил, установлених політикою безпеки, не очікуючи довше заданого (малого) проміжку часу, тобто коли інформація знаходиться у вигляді, необхідному користувачеві, і в той час, коли вона йому необхідна. Тому в статті досліджується вплив стану каналів на одну із її складових — відносну швидкість у найбільш поширених процедурах обміну інформацією, процедурах із застосуванням завадостійких корегувальних кодів (ЗКК) та із застосуванням вирішувального зворотного зв'язку (ВЗЗ). Процедури організації обміну із застосуванням ЗКК розглядаються без визначення конкретних із них у зв'язку з тим, що ха-

© О. Я. Матов, В. С. Василенко

рактики тих кодів, які використані авторами для їхнього аналізу, є досить близькими. Врахуємо також, що серед процедур організації обміну із застосуванням ВЗЗ найбільш поширеними в сучасних протоколах організації обміну є:

1) стартостопний, або передача із зупинкою та очікуванням — ВЗЗ із очікуванням (СМП, ВЗЗ–ОЧ, SAW — Stop And Wait), часто званий блоковим методом передачі;

2) ВЗЗ із послідовною передачею (потоківий метод передачі) ВЗЗ–ПП (також званий ВЗЗ–ПМП, GBN — Go Back N);

3) метод вибіркового (селективного) повтору або ВЗЗ із адресним перезапиту (МВП, ВЗЗ–АП, SR — Selective Repeat).

Звернемо увагу на те, що в роботах [1–4] уже здійснено спроби аналізу впливу стану каналів на характеристики процедур обміну інформацією в телекомунікаційних процедурах й отримано ряд важливих для практичного використання рекомендацій. У статті уточнюються вирази для розрахунку деяких із наведених в згаданих роботах характеристик. Це надало можливість уточнити також порівняльний аналіз процедур обміну із застосуванням завадостійких корегувальних кодів (процедури із ЗКК) з виявленням і корекцією викривлень і протоколів (процедури обміну) із застосуванням вирішувального зворотного зв'язку (процедури із ВЗЗ).

Для переходу від характеристики стану каналу у вигляді інтенсивності завад λ до характеристики стану каналу у вигляді ймовірності викривлення символу P_e використане відоме з [4] співвідношення:

$$\lambda = B \cdot P_e, \quad (1)$$

де B — технічна (посимвольна) швидкість передачі інформації.

Здійснимо аналіз впливу стану каналів на характеристики процедур обміну інформацією в телекомунікаційних системах із урахуванням (1) та результатів досліджень, отриманих у [1–4].

Відносна швидкість у процедурах обміну інформацією з використанням ЗКК

Для процедур, що використовують завадостійкий корегувальний код, відносна швидкість обміну в роботах [1–4] визначається відносною швидкістю коду R_k , як

$$R_{ЗКК} = R_k = m_k/n,$$

де n — загальне, а m_k — число інформаційних символів у базовому кодовому слові (БКС). Показано, що дане співвідношення є справедливим, поки тривалість й інтенсивність завад $\lambda = B \cdot P_e$ є такими, що виникаюча при цьому в інформації помилка не перевищує корегувальних можливостей вибраного коду. Подальші міркування є справедливими для випадків, коли корегувальний код вибрано з умови виправлення викривлення одного символу в межах одного базового кодового слова. Для цих умов наводиться вираз, що визначає критичне значення інтенсивності

завад (з погляду можливості здійснювати подальший обмін інформацією) за показником швидкості передачі при використуванні ЗКК:

$$\lambda_2 = \leq 1/t_k = B/n.$$

Це значення вважається критичним тому, що в разі збільшення інтенсивності завад на приймальному боці буде отримуватись інформація з такими викривленнями, які неможливо виправити даним ЗКК, що в інформаційному сенсі слід вважати еквівалентним припиненню обміну ($R_{ЗКК} = 0$).

Відносна швидкість при використанні ВЗЗ із очікуванням

У протоколах, що використовують ВЗЗ із очікуванням, передавач передає кожен черговий пакет (кадр, комірку) тільки після отримання з приймальної сторони сигналу правильності прийому V . Після передачі чергового пакета (кадру, комірки) передавальна сторона чекає підтвердження. У разі виявлення на приймальній стороні помилки, це повідомлення стирається, а на передавальну сторону видається сигнал перезапиту W , по якому повторюється передача попереднього пакета (кадру, комірки). Якщо поступає негативне підтвердження або відбудеться перевищення часу тайм-ауту, пакет передається повторно. Пакет скидається (стирається) з накопичувача передавача лише після отримання позитивного підтвердження [4].

При цьому передавач видасть черговий або повторить попередній пакет через час

$$t_{0ч} = 2 t_p + t_n + t_q + t_{ac}$$

після передачі попереднього пакета, де

t_p — час розповсюдження сигналу від передавача до приймача $t_p = D/V_c$ (D — довжина лінії зв'язку для передачі сигналу, V_c — швидкість передачі сигналу в середовищі розповсюдження);

t_n — час формування та видачі сигналів підтвердження V або W ;

t_q — час декодування (пошуку наявності помилки) прийнятого пакета;

t_{ac} — час прийому і аналізу сигналів V або W .

Надалі уточнимо, що при організації обміну максимально можлива кількість $N_{n.\max}$ переданих за деякий час t пакетів (кадрів, комірок) дорівнює:

$$N_{n.\max} = t/t_k.$$

Врахуємо, що при організації обміну з очікуванням (стартостопний метод передачі) реальна кількість $N_{p.n.\max}$ переданих за цей же час t пакетів (кадрів, комірок) дорівнює:

$$N_{p.n.\max} = t/(t_k + t_{0ч}),$$

де t_k — уже визначений раніше час передачі одного БКС, а $t_{оч}$ — уже визначений час очікування.

На приймач інформації при цьому буде видано $m \cdot N_{np}$ символів, причому кількість прийнятих пакетів (кадрів, комірок) відрізняється від кількості переданих на кількість неприйнятих $N_{нпр} = N_{см} + N_{впр}$, де $N_{см}$ — число пакетів, які були стерті при прийомі через наявність у них викривлень, що виникають за час їхнього передавання, який, вочевидь, дорівнює

$$N_{см} = N_{p.n.max} \cdot \lambda \cdot t_k = t \cdot \lambda \cdot t_k / (t_k + t_{оч}),$$

де через λ позначена інтенсивність викривлень. У свою чергу, втраченою, вочевидь, слід вважати ту кількість блоків, яка могла би бути переданою за весь час очікування:

$$N_{впр} = N_{p.n.max} \cdot t_{оч} / t_k = t \cdot t_{оч} / (t_k \cdot (t_k + t_{оч})).$$

Тоді очевидним є співвідношення:

$$N_{np} = N_{n.max} - N_{нпр} = t/t_k - (t \cdot t_{оч} / (t_k \cdot (t_k + t_{оч})) + t \cdot t_k \cdot \lambda / (t_k + t_{оч})).$$

Тому відносна швидкість передачі при використанні таких протоколів:

$$\begin{aligned} R_{оч} &= m \cdot N_{np} / (n \cdot N_{n.max}) = (m/n) \cdot N_{np} \cdot t_k / t = (m/n) \cdot [1 - (\frac{t_{оч}}{t_k + t_{оч}} + \frac{\lambda \cdot t_k^2}{t_k + t_{оч}})] = \\ &= (m/n) \cdot [1 - \frac{t_{оч} + \lambda \cdot t_k^2}{t_k + t_{оч}}]. \end{aligned} \quad (2)$$

З виразу (2) виходить, що при використанні ВЗЗ із очікуванням, по-перше, при $\lambda = 0$

$$R_{оч} = (m/n) \frac{t_k}{t_k + t_{оч}},$$

а, по-друге, існує критичне значення інтенсивності завад, коли відносна швидкість $R_{оч} = 0$, тобто коли система обміну переходить в режим безперервного пере-запиту:

$$1 = (t_k^2 \cdot \lambda + t_{оч}) / (t_k + t_{оч}).$$

Останнє, в свою чергу, є можливим при критичній інтенсивності завад:

$$\lambda_{крит} = 1/t_k. \quad (3)$$

Відносна швидкість при використанні ВЗЗ із безперервною передачею

У протоколах, що використовують ВЗЗ із безперервною (послідовною) передачею [4], максимальне число переданих за час t повідомлень

$$N_{n.\max} = t/t_k,$$

а число прийнятих повідомлень зменшується на кількість повідомлень, що стираються при виявленні викривлень. Оскільки при цьому із накопичувача стираються усі γ повідомлень, а число завад за час t дорівнює $\lambda \cdot t$, тоді

$$N_{cm} = \lambda \cdot t \cdot \gamma.$$

З урахуванням того, що ємність накопичувача повинна задовольняти виразу [5]

$$\gamma \geq 1 + t_{oc}/t_k,$$

то відносна швидкість передачі

$$\begin{aligned} R_{nn} &= m \cdot (N_{n.\max} \lambda \cdot t \cdot \gamma) / (n \cdot N_{n.\max}) = \\ &= (m/n) \cdot (1 - \lambda \cdot t \cdot (1 + t_{oc}/t_k) \cdot t_k/t) = (m/n) \cdot (1 - \lambda \cdot (1 + t_{oc}/t_k) \cdot t_k) = (m/n) \cdot (1 - \lambda \cdot (t_k + t_{oc})), \end{aligned}$$

звідки, при $\lambda = 0$, $R_{nn} = m/n$, а критичне значення інтенсивності завад:

$$\lambda_{крnn} = 1/(t_k + t_{oc}).$$

Відносна швидкість при використанні ВЗЗ із адресним перезапиту

Для оцінки відносної швидкості передачі в протоколах, що використовують ВЗЗ із адресним перезапиту врахуємо, що максимальне число переданих за час повідомлень

$$N_{n.\max} = t/t_k,$$

а число прийнятих повідомлень зменшується на кількість повідомлень, що стираються при виявленні викривлень. Уточнимо, що при цьому з накопичувача стирається лише одне повідомлення, а число завад за час t дорівнює $\lambda \cdot t$, отже:

$$N_{cm} = \lambda \cdot t.$$

При цьому відносна швидкість передачі

$$R_{an} = m \cdot (t/t_k - \lambda \cdot t) / (n \cdot t/t_k) = (m/n) \cdot (1 - \lambda \cdot t_k),$$

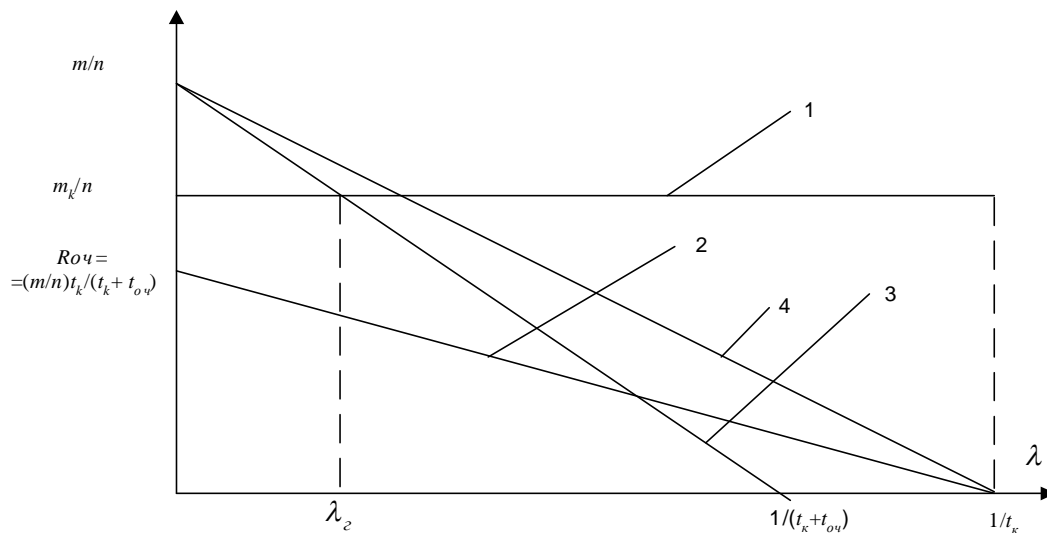
звідки, при $\lambda = 0$, $R_{an} = m/n$, а критичне значення інтенсивності завад, як і для систем із очікуванням:

$$\lambda_{кр.ан} = 1/t_k.$$

На рисунку представлені уточнені залежності відносної швидкості від стану каналу. З рисунка, **як висновки**, витікає:

1) за показником граничного значення ймовірності викривлення найгіршою є процедура з послідовною передачею;

2) за показниками відносної швидкості найгіршою є стартозупна (передавання з очікуванням), яка суттєво поступається всім іншим із числа розглянутих.



Залежність відносної швидкості передачі від стану каналу: 1 — процедури з корегувальним кодом; 2 — ВЗЗ із очікуванням; 3 — ВЗЗ із послідовною передачею; 4 — ВЗЗ із адресним перезапитом

Найкращі типи процедур із ВЗЗ при гарному стані каналу по відносній швидкості передачі є більш ефективними ніж процедури, що використовують корегувальний код. Але завжди існує граничне значення інтенсивності завад, а, відтак, і ймовірності λ_2 , при перевищенні якого процедури із корегувальним кодом стають ефективнішими.

Таким чином, отримані в статті вирази для розрахунку відносної швидкості передачі інформації, як основної зі складових доступності інформаційних об'єктів в телекомунікаціях, дають змогу порівняння протоколів (процедур обміну) із різними механізмами захисту інформації — із застосуванням завадостійких корегувальних кодів (з виявленням та корекцією викривлень (процедури із ЗКК)) і протоколів (процедур обміну) із застосуванням вирішуваного зворотного зв'язку і, в

залежності від фактичного чи очікуваного рівня завад в каналі обміну телекомунікаційної процедури, а отже — обирати найбільш ефективні із них.

1. *Бунин С.Г.* Сравнительная оценка СПД с решающей обратной связью и с использованием корректирующих кодов / С.Г. Бунин, В.С. Василенко // УСiМ. — 1992. — № 9/10. — С. 30–35.
2. *Матов О.Я.* Аналіз протоколів обміну інформацією у телекомунікаційних процедурах / О.Я. Матов, В.С. Василенко, М.М. Бudyко // Реєстрація, зберігання і оброб. даних. — 2004. — Т. 6, № 4. — С. 82–93.
3. *Матов О.Я.* Оцінка часу доставки повідомлень у протоколах організації обміну в телекомунікаційних процедурах / О.Я. Матов, В.С. Василенко, М.М. Бudyко // Реєстрація, зберігання і оброб. даних. — 2005. — Т. 7, № 2. — С. 66–76.
4. *Бабак В.П.* Оцінка впливу параметрів каналів на відносну швидкість в процедурах обміну інформацією в телекомунікаційних системах / В.П. Бабак, О.К. Юдін, В.С. Василенко // Вісник НАУ. — 2005. — № 4. — С. 3–7.
5. *Бунин С.Г.* Вычислительные системы с пакетной радиосвязью / С.Г. Бунин, А.П. Войтер — К.: Техніка, 1989. — 223 с.

Надійшла до редакції 23.05.2008