

# 3 Забезпечення захисту інформації в системах зв'язку. Технічні засоби системи захисту інформації

УДК 681.3

## ВІДНОСНА ШВИДКІСТЬ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ В ПРОЦЕДУРАХ ОБМІНУ ІНФОРМАЦІЄЮ В ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

*Вячеслав Василенко*

*Національний авіаційний університет*

*Анотація:* Досліджується вплив стану каналів на відносну швидкість в процедурах обміну інформацією в телекомунікаційних системах. Запропоновано аналіз залежності відносної швидкості від стану каналів для протоколів обміну інформацією в телекомунікаційних системах, наведені вирази для її розрахунків.

*Summary:* Influence of the state of channels is explored on relative speed in procedures of exchange by information in the telecommunication systems. In the article the analysis of dependence of relative speed from the state of channels for protocols of exchange is offered by information in the telecommunication systems, expressions for its calculations are resulted

*Ключові слова:* Відносна швидкість, інтенсивність завад, протоколи обміну, телекомунікаційна мережа

### І Вступ

Доступність інформації в сучасних телекомунікаційних мережах (ТКМ) в умовах наявності певних, перш за все природних впливів залежить від своєчасного і достовірного обміну інформаційними ресурсами між їх елементами [1 – 4]. В свою чергу, своєчасність забезпечується достатньою швидкістю такого обміну. З цією метою, згідно з семирівневою моделлю, введеною стандартом ISO 7498 “Еталонна модель взаємодії відкритих систем”, розроблено і використовуються різноманітні протоколи обміну, кожен із яких забезпечує певні швидкість обміну та її цілісність. За способами організації обміну всі можливі протоколи можуть бути розподілені на два типи: протоколи з забезпеченням лише високої швидкості обміну без “турботи” про цілісність переданих даних та протоколи з забезпечення певного рівня цілісності переданих даних. Протоколи першого типу (приклад – протоколи типу frame relay, IP) здійснюють контроль лише службової (в основному адресної) частини (заголовка протоколу) та в разі виявлення його викривлень вилучають інформаційний об’єкт із мережі. Контроль за доставкою інформаційних об’єктів, в тому числі і вилучених, покладається на протоколи більш високих рівнів (наприклад, на протоколи транспортного рівня – TCP). Протоколи другого типу забезпечують корекцію можливих викривлень за рахунок використання кодів, які виявляють наявність викривлень, з вилученням (стиранням) та наступним перезапитом викривленої інформації – протоколи з вирішуючим зворотним зв’язком (приклад – уже згадані TCP). Такі протоколи, забезпечуючи контроль за доставкою інформаційних об’єктів, в тому числі і вилучених, потребують того чи іншого виду зворотного зв’язку між одержувачем та джерелом повідомлень. Протоколи третього типу забезпечують корекцію можливих викривлень за рахунок використання корегуючих кодів і тому цього не потребують зворотного каналу. Для вибору найбільш ефективних протоколів слід уміти оцінювати залежність їх характеристик від умов застосування.

В статті досліджуються вплив стану каналів на одну із основних характеристик, що впливає на доступність інформації в каналах телекомунікаційних систем в умовах впливу природних факторів – на відносну швидкість в найбільш поширених процедурах обміну інформацією із застосуванням завадостійких корегуючих кодів (ЗКК) та вирішуючого зворотного зв’язку (ВЗЗ). Процедури організації обміну із застосуванням ЗКК розглядаються без визначення конкретних із них у зв’язку з тим, що характеристики тих кодів, які використані авторами для їх 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 і очікуванням – ВЗЗ з очікуванням (СМП, ВЗЗ – ОЧ, SAW – Stop And Wait), часто званий блоковим методом передачі.

2. *ВЗЗ з послідовною передачею* (потоківий метод передачі) ВЗЗ – ПП (також званий ВЗЗ – ПМП, GBN

– Go Back N).

3. Метод вибіркового (селективного) повтору або ВЗЗ з 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 і отримано ряд важливих для практичного використання рекомендацій. В статті уточнюються вирази для розрахунку деяких із наведених в згаданих роботах характеристик. Це надало можливість уточнити також порівняльний аналіз процедур обміну із застосуванням завадостійких корегуючих кодів (процедури з ЗКК) з виявленням та корекцією викривлень та протоколів (процедур обміну) із застосуванням вирішуючого зворотного зв'язку (процедури із ВЗЗ).

Для переходу від характеристики стану каналу у вигляді інтенсивності завад  $\lambda$  до характеристики стану каналу у вигляді ймовірності викривлення символу  $P_v$  використано відоме з [4] співвідношення:

$$\lambda = V \cdot P_v, \quad (1)$$

де  $V$  – технічна (посимвольна) швидкість передачі інформації.

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

## II Відносна швидкість в процедурах обміну інформацією з використанням ЗКК

Для процедур, що використовують завадостійкий корегуючий код (ЗКК), 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 в базовому кодовому слові (БКС). Показано, що дане співвідношення є справедливим, поки тривалість і інтенсивність завад  $\lambda = V \cdot P_v$  є такими, що помилка, яка виникає при цьому в інформації, не перевищує корегуючих можливостей вибраного коду. Подальші міркування є справедливими для випадків, коли корегуючий код вибрано з умови виправлення викривлення одного символу в межах одного базового кодового слова (БКС). Для цих умов наводиться вираз, що визначає критичне значення інтенсивності завад (з погляду можливості здійснювати подальший обмін інформацією) за показником швидкості передачі при використанні ЗКК:

$$\lambda_{cr} = V \cdot P_{вг} \leq 1/t_k = V/n.$$

Звідси

$$P_{вг} \leq 1/n,$$

де  $P_{вг}$  — таке критичне значення ймовірності викривлення символу, коли кількість викривлень ще не перевищує одного на БКС. Це значення вважається критичним тому, що в разі збільшення інтенсивності завад (чи, що із виразу (1) є тим же самим, збільшення ймовірності викривлення символу  $P_v$ ) на приймальному боці буде отримуватися інформація з такими викривленнями, які не можливо виправити даним ЗКК, що в інформаційному сенсі слід вважати еквівалентним припиненню обміну ( $R_{ЗКК} = 0$ ).

## III Відносна швидкість при використанні ВЗЗ із очікуванням

У протоколах, що використовують ВЗЗ з очікуванням, передавач передає кожен черговий пакет (кадр, комірку) тільки після отримання з приймальної сторони сигналу правильності прийому  $V$ . Після передачі чергового пакету (кадру, комірки) передавача чекає підтвердження. У разі виявлення на приймальній стороні помилки, це повідомлення стирається, а на сторону передачі видається сигнал перезапиту  $W$ , за яким повторюється передача попереднього пакету. Якщо надходить 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

$$t_{оч} = 2 t_p + t_n + t_q + t_{ac}$$

після передачі попереднього пакету, де:

$t_p$  — час поширення 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 поширення;

$t_n$  — час формування і видачі сигналів підтвердження  $V$  або  $W$ ;

$t_q$  — час декодування (пошуку наявності помилки) прийнятого пакету;

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

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

$$N_{п.мак} = t/t_k.$$

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

$$N_{p.n.max} = t / (t_k + t_{oc}).$$

На приймач інформації при цьому буде видано  $m \cdot N_{pp}$  символів, причому кількість прийнятих пакетів відрізняється від кількості переданих на кількість неприйнятих  $N_{npp} = N_{ct} + N_{vtr}$ , де  $N_{ct}$  – число пакетів, які були стерті при прийомі через наявність в них викривлень, що виникають за час їх передавання, яке, очевидно, дорівнює

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

де через  $\lambda$  позначена інтенсивність викривлень. В свою чергу, втраченою, вочевидь, слід вважати ту кількість блоків, яка могла би бути переданою за весь час очікування

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

Тоді очевидним є співвідношення:

$$N_{pp} = N_{p.n.max} - N_{npp} = t / t_k - (t \cdot t_{oc} / (t_k \cdot (t_k + t_{oc})) + t \cdot \lambda \cdot t_k / (t_k + t_{oc})).$$

Тому відносна швидкість передачі при використанні таких протоколів

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

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

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

а, по-друге, існує критичне значення інтенсивності завад, а отже і критичне (допустиме) значення ймовірності  $P_{vkr}$ , коли відносна швидкість  $R_{oc} = 0$ , тобто коли система обміну переходить в режим безперервного перезапиту:

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

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

$$\lambda_{kporc} = 1 / t_k. \quad (3)$$

Зрозуміло, що як і в системах з очікуванням, граничне значення ймовірності викривлень дорівнює  $P_{vgoch} \leq 1/n$ .

#### IV Відносна швидкість при використанні ВЗЗ з безперервною передачею

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

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

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

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

З урахуванням того, що ємність накопичувача має задовільняти виразу [5]

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

відносна швидкість передачі

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

звідкіля, при  $\lambda = 0$ , маємо  $R_{pp} = m/n$ , критичне значення інтенсивності завад

$$\lambda_{kpp} = 1 / (t_k + t_{oc}),$$

а критичне значення ймовірності викривлень  $P_{vgnp} \leq 1 / (n + B \cdot t_{oc})$ .

#### V Відносна швидкість при використанні ВЗЗ з адресним перезапиту

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

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

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

$$N_{ст} = \lambda \cdot t.$$

При цьому відносна швидкість передачі

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

Звідси, при  $\lambda = 0$ , маємо  $R_{ап} = m/n$ , а критичне значення інтенсивності завд, як і для систем із очікуванням:

$$\lambda_{кр.ап} = 1/t_k.$$

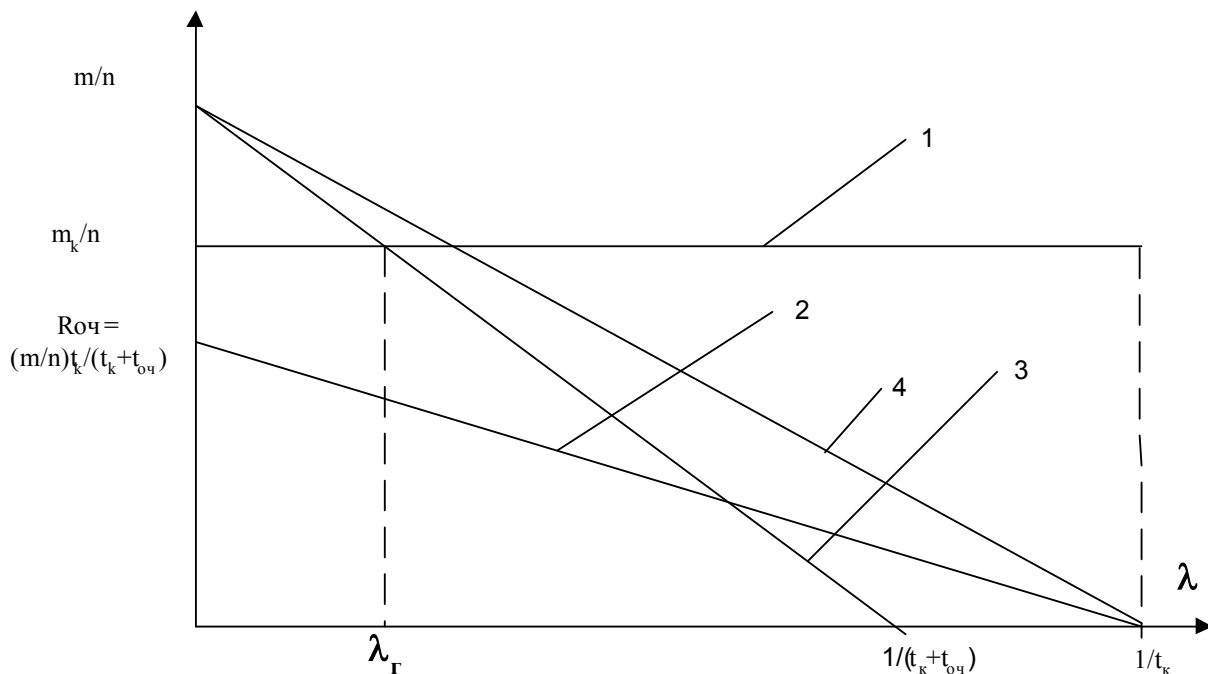
Зрозуміло, що, як і в системах із очікуванням, граничне значення ймовірності викривлень дорівнює

$$P_{вр.ап} \leq 1/n.$$

На рис. 1. представлені уточнені залежності відносної швидкості СПД від стану каналу. З рисунка, можна зробити наступні висновки.

1. За показником граничного значення ймовірності викривлення найгіршою є процедура із послідовною передачею.

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



**Рисунок 1 – Залежність відносної швидкості передачі від стану каналу: 1 – процедури с корегуючим кодом; 2 – В33 з очікуванням; 3 – В33 з послідовною передачею; 4 – В33 з адресним перезапитом**

Найкращі типи процедур із В33 при гарному стані каналу щодо відносної швидкості передачі є більш ефективними, ніж процедури, що використовують корегуючий код. Але завжди існує граничне значення інтенсивності завд, а, відтак, і ймовірності  $\lambda_c$ , при перевищенні якого процедури із корегуючим кодом стають ефективнішими.

3. Розширення можливостей щодо передачі інформації в умовах впливу завд (збільшення критичного значення ймовірності  $P_v$ ) для всіх способів передачі із використанням В33 можна досягти, принаймні, двома шляхами.

По-перше, шляхом зменшення довжини – кількості символів  $n$  в пакеті (кадрі, комірці, блоці). Цю можливість фізично можна пояснити тим, що в цьому випадку збільшується частка пакетів (кадрів, комірок, блоків), часова тривалість яких ( $t_c = n/V$ ) стає меншою ніж середня тривалість часового інтервалу ( $t_n$ ) між двома суміжними викривленнями (впливами завд) (див. рис. 2).

Тим самим, створюються умови для відсутності в таких пакетах викривлень, що є важливим для процедур як із В33, так із ЗКК і, окрім того, зменшується частка пакетів, на які потрапляє більше ніж одне

викривлення, що створює умови для успішного функціонування процедур із ЗКК.

При другому із способів розширення можливостей щодо передачі інформації в умовах впливу завад можна досягти шляхом зменшення технічної швидкості передачі  $V$  (при  $V \rightarrow 0$  відносна швидкість передачі для всіх процедур із ВЗЗ збільшується до  $R_{BЗЗ} \rightarrow (m/n) \cdot (1 - n \cdot P_v)$ ). Це можна фізично пояснити тим, що при зменшенні технічної швидкості передачі збільшується часова тривалість символів ( $\tau$ ), за рахунок чого при незмінній потужності символів ( $P_c$ ) їх енергетика ( $E = \tau \cdot P_c$ ) підвищується. В окремих випадках, при наявності можливості регулювати ширину смуги пропускання приймачів, збільшення тривалості символів дає змогу зменшити також згадану ширину смуги пропускання приймачів, за рахунок чого зменшується енергетика прийнятих завад. Внаслідок цього збільшується і співвідношення сигнал/шум. Останнє, як уже згадувалося, призводить до зменшення ймовірності викривлення символу  $P_v$ , а отже – до бажаної мети.

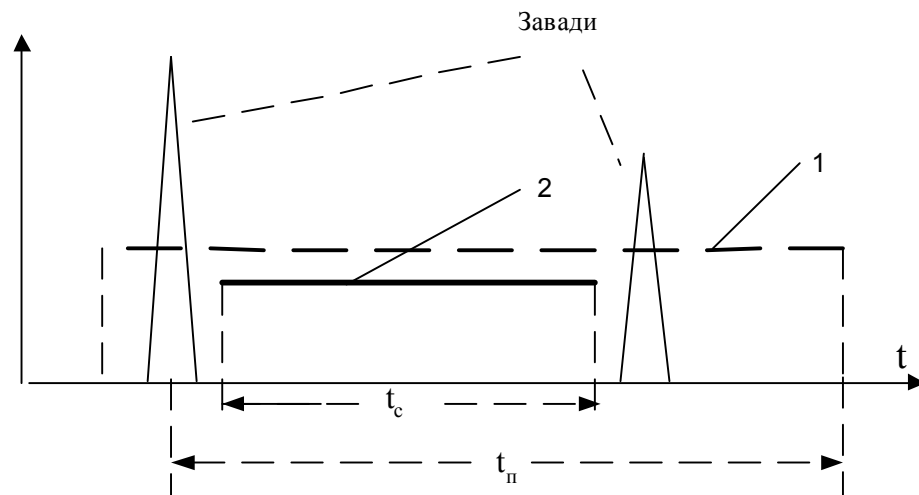


Рисунок 2 – До розширення можливостей щодо передачі інформації в умовах впливу завад: 1 – пакет великої довжини (з великим значенням  $n$ ); 2 – пакет меншої довжини (менше значення  $n$ )

## VI Висновки

Отримані в статті вирази для розрахунку відносної швидкості передачі інформації дають можливість порівняти протоколи (процедури обміну) із різними механізмами захисту інформації – із застосуванням завадостійких корегуючих кодів (з виявленням та корекцією викривлень (процедури з ЗКК)) та протоколів (процедур обміну) із застосуванням вирішуючого зворотного зв'язку і, залежно від фактичного чи очікуваного рівня завад в каналі обміну телекомунікаційної процедури, – обирати найбільш ефективні протоколи.

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