

УДК 681.3

О. Я. Матов¹, В. С. Василенко², М. М. Будько²

¹Інститут проблем реєстрації інформації НАН України
вул. М. Шпака, 2, 03113 Київ, Україна

²ВАТ «КП ОТІ»

вул. Ф. Пушиної, 30/32, 03115 Київ, Україна

Аналіз протоколів обміну інформацією у телекомунікаційних системах

Запропоновано підходи щодо аналізу ефективності протоколів обміну інформацією в телекомунікаційних системах за швидкістю та вірністю передачі інформації, а також за комплексним показником, наведено вирази для їх розрахунків.

Ключові слова: вірність інформації, завада, інформаційний обмін, повідомлення, протоколи обміну, телекомунікаційна система, швидкість передачі.

Вступ

Однією із задач, пов'язаних з підвищенням ефективності сучасних телекомунікаційних мереж (ТКМ), є організація своєчасного і достовірного обміну інформаційними ресурсами між їх елементами [1–5]. Для цього згідно із семирівневою моделлю, введеною стандартом ISO 7498 «Еталонна модель взаємодії відкритих систем» розроблені й використовуються різноманітні протоколи обміну, кожен із яких забезпечує певні швидкість та вірність обміну. За способами організації обміну усе розмаїття можливих протоколів може бути розподілене на два типи: протоколи із забезпеченням лише високої швидкості обміну без «турботи» про вірність переданих даних та на протоколи із забезпеченням певного рівня вірності переданих даних. Протоколи першого типу (наприклад, типу frame relay, IP) або взагалі не здійснюють такого контролю, або в разі виявлення викривлень інформаційного об'єкта вилучають його з мережі. Протоколи другого типу, в свою чергу, можна розділити на протоколи, які забезпечують корекцію можливих викривлень за рахунок використання кодів, які виявляють наявність викривлень, з наступним перезапитом викривленої інформації — протоколи з вирішуючим зворотним зв'язком (приклад — протоколи транспортного рівня TCP) та на протоколи, які забезпечують корекцію можливих викривлень за рахунок використання корегуючих кодів.

У статті здійснено спробу порівняння протоколів (систем обміну) із застосу-

ванням завадостійких корегуючих кодів (ЗКК) — з виявленням та корекцією викривлень (системи із ЗКК) та протоколів (систем обміну) із застосуванням вирішуючого зворотного зв'язку (ВЗЗ).

Спосіб організації обміну із застосуванням ЗКК розглянуто без визначення конкретного з них у зв'язку з тим, що характеристики таких кодів, які використані авторами для їх аналізу, є досить близькими. Серед способів організації обміну із застосуванням ВЗЗ розглянуті найбільш поширені в сучасних протоколах організації обміну [5].

1. *Стартостопний*, або передача із зупинкою й очікуванням — ВЗЗ з очікуванням (СМП, ВЗЗ–ОЧ, SAW — *Stop And Wait*), часто званий блоковим методом передачі.

2. ВЗЗ з послідовною передачею (потоким методом 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*).

Оцінка відносної швидкості обміну

Для систем, що використовують завадостійкий корегуючий код, швидкість передачі визначається відносною швидкістю коду R_k , тобто

$$R_k = m_k/n,$$

де n — загальне, а m_k — число інформаційних символів у блоці (базовому кодовому слові).

Очевидно, що дане співвідношення справедливе, поки тривалість й інтенсивність завад λ такі, що помилка, яка виникає при цьому в інформації, не перевищує корегуючих можливостей вибраного коду. Подальші міркування справедливі для випадків, коли корегуючий код вибрано з умови виправлення однієї групової помилки (паketу помилок) заданої довжини в межах одного базового кодового слова (БКС). Неважко переконатися в справедливості для цих умов виразу, що визначає граничне значення інтенсивності завад за показником швидкості передачі при використуванні ЗКК:

$$\lambda_2 \leq 1/t_c,$$

де t_c — час, необхідний для передачі блоку (БКС); λ_2 — граничне значення інтенсивності завад, що приводять до пакетів помилок, число яких не перевищує одного пакету на БКС.

У протоколах, що використовують ВЗЗ з очікуванням, передавач передає кожен черговий кадр тільки після отримання з приймальної сторони сигналу правильності прийому повідомлення V . Після передачі чергового повідомлення передаюча сторона чекає підтвердження. У разі виявлення на приймальній стороні помилки, це повідомлення стирається, а на передаючу сторону видається сигнал перезапиту W , по якому повторюється передача попереднього повідомлення. Якщо поступає негативне підтвердження або відбудеться перевищення часу тайм-

ауту, кадр передається повторно. Кадр скидається (стирається) з накопичувача передавача лише після отримання позитивного підтвердження.

При цьому передавач видасть чергове або повторить попереднє повідомлення через час

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

після передачі попереднього повідомлення, де t_p — час розповсюдження сигналу від передавача до приймача $t_p = D / V_c$ (D — довжина лінії передачі сигналу, V_c — швидкість передачі сигналу в середовищі розповсюдження); t_n — час формування і видачі сигналів V або W ; t_q — час декодування (пошуку наявності помилки) прийнятого повідомлення; t_{ac} — час прийому і аналізу сигналів V або W .

При такій організації обміну максимально можливе число переданих за деякий час t кадрів (повідомлень) дорівнює

$$N_{n,max} = t / (t_c + t_{оч}),$$

де $N_{n,max}$ — максимальне число переданих символів, а t_c — час передачі одного БКС (визначається довжиною БКС n та технічною швидкістю передачі даних в мережі B так, що $t_c = n / B$).

На приймач інформації при цьому буде видано $m \cdot N_{np}$ символів, причому число прийнятих повідомлень відрізняється від числа переданих на величину ($N_{cm} + N_{emp}$), де N_{cm} — число повідомлень, які були стерті при прийомі через наявність в них спотворень, що виникають за час t , N_{emp} — число втрат — число повідомлень, які не були передані в інтервали, пов'язані з очікуванням у системі при перезапиті. Якщо позначити інтенсивність спотворень через λ , то очевидні співвідношення:

$$N_{cm} = \lambda \cdot t, \quad N_{emp} = \lambda \cdot t \cdot t_{оч} \cdot B / n.$$

Тому відносна швидкість передачі при використанні таких протоколів

$$\begin{aligned} R_{оч} &= m \cdot N_{np} / (n \cdot N_{n,max}) = (m/n) \cdot (N_{n,max} - \lambda \cdot t \cdot (1 + B \cdot t_{оч} / n)) / N_{n,max} = \\ &= (m/n) \cdot (1 - \lambda \cdot (1 + B \cdot t_{оч} / n) \cdot (t_c + t_{оч})). \end{aligned}$$

Звідси

$$R_{оч} = (m/n) \cdot (1 - (\lambda/t_c) \cdot (t_c + t_{оч})^2). \quad (1)$$

З виразу (1) виходить, що існує граничне значення інтенсивності завад $\lambda_{зоч}$ при використанні ВЗЗ з очікуванням

$$\lambda_{зоч} = t_c / (t_c + t_{оч})^2. \quad (2)$$

Якщо час розповсюдження знехтувано малий (при невеликій протяжності каналу або внаслідок низької швидкості передачі), процедура ВЗЗ–ОЧ не приведе

до серйозного зниження продуктивності всієї системи.

Різновидом цього способу передачі є **ВЗЗ з обміном блоками по q повідомлень**. У таких протоколах, не дивлячись на те, що обмін здійснюється блоками по q повідомлень, організація перезапитів відповідає ВЗЗ з очікуванням, тобто, підставивши в (1) замість часу передачі повідомлення час передачі блоку, одержимо

$$R_{нк} = (m/n) \cdot (1 - (\lambda/t_{\bar{o}}) \cdot (t_{\bar{o}} + t_{oc}))^2, \quad (3)$$

а граничне значення інтенсивності завад

$$\lambda_{гнк} = t_{\bar{o}} / (t_{\bar{o}} + t_{oc})^2.$$

У протоколах, що використовують ВЗЗ з безперервною передачею, максимальне число переданих за час t повідомлень буде:

$$N_{n,max} = t / t_c,$$

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 $\lambda \cdot t$, то

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

З урахуванням того, що ємність накопичувача повинна задовольняти виразу

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

то відносна швидкість передачі

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

звідкіля гранична інтенсивність завад

$$\lambda_{гоч} = t_c / (t_c + t_{oc}). \quad (4)$$

Для оцінки відносної швидкості передачі в протоколах, що використовують ВЗЗ з адресним перезапитом і передачею інформаційних об'єктів блоками (*вибіркова передача (вибіркове повторення)*), оцінимо максимальний час, потрібний для передачі одного блока із q повідомлень. За час одиничної (разової) передачі одного блока $t_{\bar{o}}$ можливе $\lambda \cdot t_{\bar{o}}$ завад, які в гіршому випадку спотворять така ж кількість повідомлень.

Час, необхідний для їхнього перезапиту і повторної передачі, дорівнює

$$t_{n1} = t_{\bar{o}} \cdot (\lambda / t_c) + t_{oc}.$$

За час перезапиту і повторної передачі t_{n1} також можливі викривлення повторно переданих повідомлень. Оскільки час повторної передачі дорівнює $\lambda \cdot t_c \cdot t_{\bar{o}}$, то знову викривлення, що виникають, у кількості $\lambda \cdot (\lambda \cdot t_c \cdot t_{\bar{o}})$ потребують перезапиту і чергової передачі викривлених повідомлень.

Час, необхідний для цього

$$t_{n2} = t_{\bar{o}} \cdot (\lambda \cdot t_c)^2 + t_{oc}.$$

Міркуючи аналогічно, одержимо:

$$t_{n3} = t_{\bar{o}} \cdot (\lambda / t_c)^3 + t_{oc},$$

.....

$$t_{nu} = t_{\bar{o}} \cdot (\lambda \cdot t_c)^u + t_{oc},$$

де u — число перезапиту до повної передачі даного повідомлення.

Тоді час, необхідний для передачі одного блоку

$$\begin{aligned} T_{\bar{o}} &= t_{\bar{o}} + t_{n1} + t_{n2} + \dots + t_{nu} = t_{\bar{o}} + t_{\bar{o}} \cdot (\lambda \cdot t_c) + t_{\bar{o}} \cdot (\lambda \cdot t_c)^2 + \dots + t_{\bar{o}} \cdot (\lambda \cdot t_c)^u + u \cdot t_{oc} = \\ &= t_{\bar{o}} (1 + \lambda \cdot t_c + (\lambda \cdot t_c)^2 + \dots + (\lambda \cdot t_c)^u) + u \cdot t_{oc}. \end{aligned}$$

При $\lambda \cdot t_c < 1$

$$T_{\bar{o}} = t_{\bar{o}} (1 - (\lambda \cdot t_c)^u) / (1 - \lambda \cdot t_c) + u \cdot t_{oc}. \quad (5)$$

При пуассонівському законі розподілу викривлень ця умова запишеться у вигляді

$$1 - \exp(-\lambda t_{\bar{o}} (\lambda t_c)^u) < \exp(-\lambda t_{\bar{o}} (\lambda t_c)^u),$$

звідкіля

$$(\lambda \cdot t_c)^{u+1} < \ln(2/q),$$

і при $\lambda \cdot t_c < 1$

$$u > \ln(2/q) / (\ln(\lambda \cdot t_c)) - 1. \quad (6)$$

Співвідношення (6) буде справедливим завжди при

$$u = \ln(2/q) / (\ln(\lambda \cdot t_c)), \quad (7)$$

тобто вираз (7) може бути використаним для розрахунку часу $T_{\bar{o}}$, необхідного для передачі одного блоку з q повідомлень. З виразу (7) випливає, що перезапиту найбільш ймовірні (тобто $u > 1$) при

$$\ln(\ln(2/q)) < (\ln(\lambda \cdot t_c)),$$

звідкіля

$$\lambda > \ln 2 / t_{\bar{o}}. \quad (8)$$

Оскільки права частина виразу (8)

$$\ln 2 / t_{\bar{o}} < 1 / t_{\bar{o}},$$

то цей вираз підтверджує представлення про природу аналізованого процесу: при значеннях λ , менших $1/t_{\bar{o}}$, імовірність улучення на інтервал тривалістю $t_{\bar{o}}$ хоча б одного викривлення, а отже, й імовірність перезапиту, є близькою до нуля.

Оскільки справедливим є вираз

$$(\lambda \cdot t_c)^{u+1} = \exp((u+1) \ln(\lambda \cdot t_c)),$$

то, підставивши в нього замість u його значення з (7), одержимо

$$(\lambda \cdot t_c)^{u+1} = (\lambda \cdot t_c) \ln 2 / q, \quad (9)$$

і тоді вираз (5) набуває вигляду:

$$T_{\bar{o}} = t_{\bar{o}} (1 - (\lambda \cdot t_c) \cdot \ln(2/q)) / (1 - \lambda \cdot t_c) + t_{oc} \cdot \ln(2/q) / (\ln(\lambda \cdot t_c)).$$

Оскільки за цей час буде передано $n \cdot q \cdot T_{\bar{o}} / t_{\bar{o}}$, а прийнято $m \cdot q$ двійкових символів, то відносна швидкість передачі

$$R_{\text{АПБ}} = m \cdot q \cdot t_{\bar{o}} / n \cdot q \cdot T_{\bar{o}} = (m/n) \cdot (1 - \lambda \cdot t_c) \{ 1 - \lambda \cdot t_c \cdot \ln 2 / q + t_{oc} \cdot \ln(\ln(2/q)) / [t_{\bar{o}} \cdot \ln(\lambda \cdot t_c)] \}. \quad (10)$$

При цьому граничне значення інтенсивності завад

$$\lambda_{\text{АПБ}} = 1 / t_c. \quad (11)$$

Залежність $R_{\text{АПБ}} = f(t_{oc})$ тривіальна: чим більше t_{oc} , тим менше $R_{\text{АПБ}}$. Залежність $R_{\text{АПБ}} = f(\lambda \cdot t_c)$ теж очевидна. При відсутності завад ($\lambda \cdot t_c = 0$)

$$R_{\text{АПБ}} = m/n,$$

а при $\lambda \cdot t_c \rightarrow 1$

$$R_{\text{АПБ}} \rightarrow 0,$$

$$q = 1,882 (-\lambda \cdot t_c \cdot q \cdot \ln(\lambda \cdot t_c) \cdot t_c / t_{oc}). \quad (12)$$

причому при $t_c / t_{oc} \leq 1$, і при $0 \leq \lambda \cdot t_c < 1$ величина $q \approx 2$, тобто для одержання найкращої відносної швидкості $R_{\text{АПБ}}$ в умовах $t_c / t_{oc} \leq 1$ варто вибрати $q \neq 2$.

Очевидно, що найкращі умови передачі з погляду відносної швидкості $R_{\text{АПБ}}$ будуть отримані при мінімальному числі перезапиту, тобто при $u \leq 1$. Тоді з (7):

$$\ln(2/q) / (\ln(\lambda \cdot t_c)) \leq 1,$$

звідкіля

$$q \geq \ln 2 / (\lambda \cdot t_c).$$

Це, у свою чергу, приводить до значення $q_{\text{opt}} \geq 1$ при $\lambda \cdot t_c \rightarrow 1$, і $q_{\text{opt}} \rightarrow \infty$ при $\lambda \cdot t_c \rightarrow 0$.

Оптимальна відносна швидкість $R_{\text{АПБ}}$, що досягається при q_{opt} , визначається виразом:

$$R_{\text{АПБ}} = (m/n) \cdot (1 - \lambda \cdot t_c) / \{1 - (\lambda \cdot t_c) \cdot 2 + t_{\text{оч}} \cdot (\lambda \cdot t_c) / (t_c \cdot \ln 2)\}. \quad (13)$$

Варто звернути увагу на те, що оскільки $\ln 2 = 0,693$, то при $\lambda \cdot t_c \geq 0,346$ в якості оптимального варто вибирати значення $q_{\text{opt}} = 1$, тобто використовувати механізм протоколів із ВЗЗ з неперервною послідовною передачею комбінацій і адресним перезапиту. Саме такі варіанти протоколів передачі реалізовані в багатьох сучасних ТКС, наприклад у ТКС із протоколами X.25.

Графіки залежностей відносної швидкості системи передачі даних (СПД) від стану каналу представлені на рис. 1.

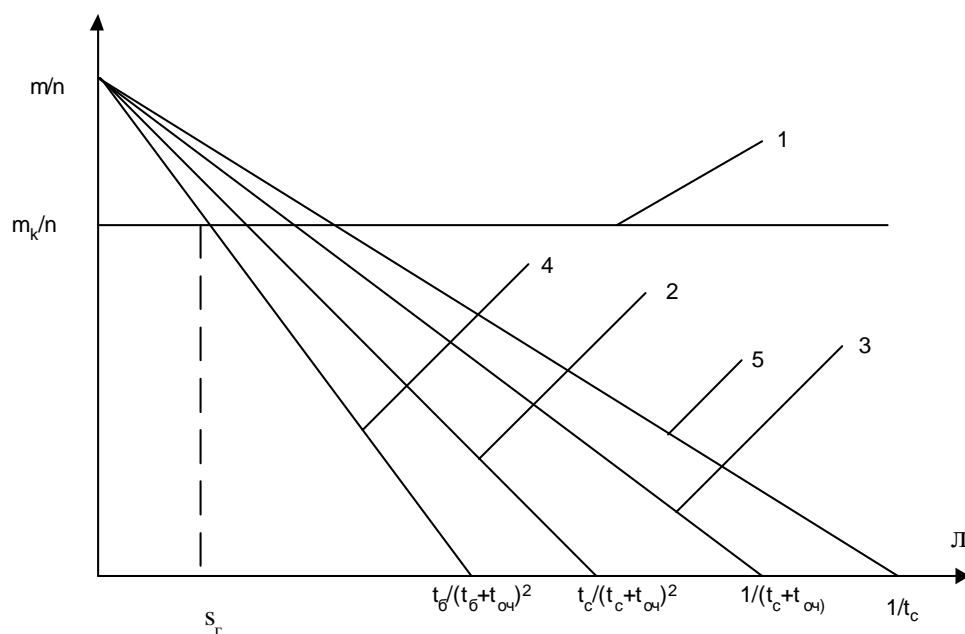


Рис. 1. Залежність відносної швидкості передачі від стану каналу: 1 — протоколи з корегуючим кодом; 2 — ВЗЗ з очікуванням; 3 — ВЗЗ з послідовною передачею; 4 — ВЗЗ з накопиченням комбінацій; 5 — ВЗЗ з адресним перезапиту

Як впливає з рисунка всі типи протоколів із ВЗЗ при гарному стані каналу по відноській швидкості передачі ефективніше протоколів, що використовують корегуючий код. Але завжди існує граничне значення інтенсивності завад λ_z , при перевищенні якого протоколи з корегуючим кодом стають ефективнішими. Для визначення цього граничного значення досить вирішити нерівність

$$m_k/n \geq R_{ВЗЗ},$$

наприклад, для найкращих протоколів — протоколів із ВЗЗ–АП

$$m_k/n \geq (m/n) \cdot (1 - \lambda_z \cdot t_c),$$

звідкіля

$$m_k \geq m \cdot (1 - \lambda_z \cdot t_c), \quad (14)$$

і, у свою чергу,

$$\lambda_z \geq (1 - m_k/m)/t_c. \quad (15)$$

Крім виразів (14), (15), що визначають припустиму надмірність коригувального коду і границі його ефективного застосування, можна розрахувати і вигравш у відноській швидкості від використання коригувального коду:

$$D = R_{КК}/R_{ВЗЗ} = m_k / [m \cdot (1 - \lambda \cdot t_c)]. \quad (16)$$

З виразів (14), (15) випливає, що існують такі канали чи такі умови їхнього функціонування, коли використання коригувальних кодів з будь-якою надмірністю вигідніше використання протоколів із ВЗЗ навіть без обліку необхідності для забезпечення ВЗЗ у зворотному каналі.

Порівняння протоколів за вірністю передачі даних

Вірність (цілісність) передачі інформації можна оцінити ймовірністю одержання користувачем неспотвореної (скорегованої на прийомній стороні) інформації. Очевидно така подія буде мати місце в наступних випадках

1. Порушення цілісності інформації (викривлення) виявлено. Ймовірність $P_{обн}$ такої події

$$P_{обн} = 1 - 2^{-(n-m)}, \quad P_{обнк} = 1 - 2^{-(n-mk)}$$

для систем з ВЗЗ і з коригувальним кодом відповідно.

2. Порушення цілісності інформації (викривлення) відповідає коригувальним здібностям використовуваної системи. Для протоколів із ВЗЗ за рахунок перезапитів імовірність $P_{ск}$ цієї події дорівнює одиниці. Для протоколів із коригувальним кодом ця ймовірність дорівнює ймовірності того, що БКС викривлено не

більш ніж однією груповою помилкою заданого класу. Якщо прийняти потік помилок (викривлень) пуассонівським, для якого ймовірність настання рівно k подій на інтервалі часу t_c

$$P_k(t_c) = (\lambda \cdot t_c)^k \cdot \exp(-\lambda \cdot t_c) / (k!),$$

тоді:

$$P_{ck} = P_0(t_c) + P_1(t_c) = (1 + \lambda \cdot t_c) \cdot \exp(-\lambda \cdot t_c).$$

Залежність $P_{ck} = f(\lambda \cdot t_c)$ представлена в табл. 1.

Таблиця 1

$\lambda \cdot t_c$	0	0,125	0,25	0,375	0,5	0,625	0,75	0,875	1,0
P_{ck}	1	0,992	0,973	0,945	0,909	0,869	0,827	0,782	0,736

3. Виявлене викривлення виправлене. Очевидно, що як для протоколів з ВЗЗ, так і для протоколів із коригувальним кодом ця ймовірність дорівнює одиниці (при дотриманні відзначеної вище умови, що коригувальні можливості коду відповідають характеру порушення цілісності).

Отже, ймовірність забезпечення цілісності оцінюється ймовірностями перших двох подій. Оскільки ці події незалежні, то:

$$P_{оц} = P_{обн} \cdot P_{ck},$$

і для протоколів з ВЗЗ

$$P_{оц} = 1 - 2^{-(n-m)}, \quad (17)$$

а для протоколів з коригувальним кодом:

$$P_{оцк} = (1 - 2^{-(n-mk)}) \cdot (1 + \lambda \cdot t_c) \cdot \exp(-\lambda \cdot t_c). \quad (18)$$

Залежності ймовірності забезпечення цілісності від стану каналу представлені на рис. 2.

Як впливає з рис. 2, з погляду забезпечення вірності інформації, СПД із ВЗЗ перевершують СПД із коригувальним кодом, якщо інтенсивність завад перевищує деякий поріг λ_c , чисельне значення якого принципово можна обчислити, дорівнявши (17) і (18). Однак навіть максимальна різниця ймовірностей

$$P_{оц} - P_{оцк} \approx 0,264,$$

що не дає можливості зробити висновок про істотну перевагу протоколів із ВЗЗ.

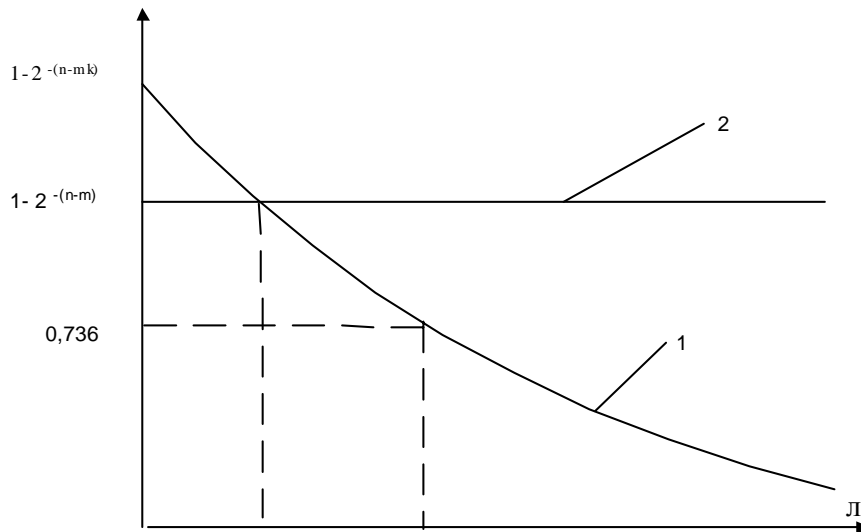


Рис. 2. Залежність вірності інформації від стану каналу: 1 — протоколи з корегуючим кодом; 2 — протоколи з ВЗЗ

Порівняння протоколів за комплексною характеристикою

Аналіз залежностей швидкості передачі і вірності, представлений у другому і третьому розділах приводить до висновку про те, що кожна з них окремо не дає повної інформації, необхідної для вибору типу протоколу обміну. Очевидно, більш правильне рішення можна прийняти по комплексній характеристиці, у якості якої можна вибрати ефективність E протоколу, рівну добутку відносної швидкості на вірність інформації:

$$E = R \cdot P_{oc}.$$

Тоді для найкращої системи з ВЗЗ:

$$\begin{aligned} E &= ((m/n) \cdot (1 - \lambda \cdot t_c) / \{1 - (\lambda \cdot t_c)^2 + t_{oc} \cdot (\lambda \cdot t_c) / (t_c \cdot \ln 2)\}) \cdot (1 - 2^{-(n-m)}) \approx \\ &\approx (m/n) \cdot (1 - \lambda \cdot t_c) / \{1 - (\lambda \cdot t_c)^2 + t_{oc} \cdot (\lambda \cdot t_c) / (t_c \cdot \ln 2)\}, \end{aligned} \quad (19)$$

а для протоколів із корегуючим кодом:

$$\begin{aligned} E &= (m_k/n) \cdot (1 - 2^{-(n-mk)}) \cdot (1 + \lambda \cdot t_c) \cdot \exp(-\lambda \cdot t_c) \approx \\ &\approx (m_k/n) \cdot (1 + \lambda \cdot t_c) \cdot \exp(-\lambda \cdot t_c). \end{aligned} \quad (20)$$

Залежності комплексної ефективності СПД від стану каналу, приведені на рис. 3, з якого видно існування, як і раніше, граничного значення інтенсивності завад. При перевищенні цього граничного значення протоколи з використанням корегуючих кодів виявляються ефективнішими за протоколи з ВЗЗ.

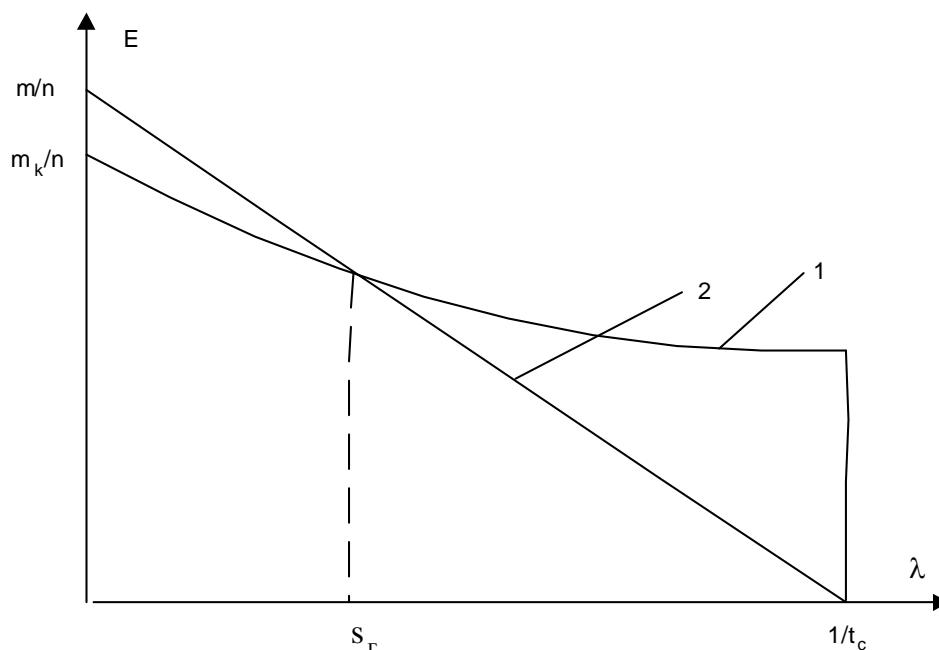


Рис. 3. Залежність вірності інформації від стану каналу:
1 — протоколи з корегуючим кодом; 2 — протоколи з ВЗЗ

З виразів (19), (20) можна визначити і ту надмірність, при якій використання коригувальних кодів дає велику ефективність у порівнянні з ВЗЗ для будь-яких значень інтенсивностей викривлень. Очевидно, це можливо при $E_k > E_{ВЗЗ}$, тобто при

$$(m_k/n) \cdot (1 + \lambda \cdot t_c) \cdot \exp(-\lambda \cdot t_c) > (m/n) \cdot (1 - \lambda \cdot t_c),$$

звідки:

$$m_k > m \cdot (1 - \lambda \cdot t_c) \cdot \exp(\lambda \cdot t_c) / (1 + \lambda \cdot t_c) \geq m \cdot f(\lambda \cdot t_c). \quad (21)$$

Значення функції $f(\lambda \cdot t_c)$ приведені в табл. 2.

Таблиця 2

$\lambda \cdot t_c$	0	0,125	0,25	0,375	0,5	0,625	0,75	0,875	1,0
$f(\lambda \cdot t_c)$	1	0,881	0,770	0,662	0,549	0,431	0,3027	0,160	0

З останньої таблиці випливає, що для будь-якого стану каналу ($\lambda \cdot t_c$, а отже і λ) можна визначити надмірність ($n - m_k$), при якій використання в СПД коригувального коду приводить до її більшої ефективності, ніж при використанні ВЗЗ. Залишається тільки знайти коригувальний код з такою надмірністю.

Таким чином, отримані в статті вирази для розрахунку відносної швидкості, вірності чи ефективної швидкості передачі інформації дають змогу порівняння

протоколів (систем обміну) із різними механізмами захисту інформації: із застосуванням завадостійких корегуючих кодів (з виявленням та корекцією викривлень (системи із ЗКК)) та протоколів (систем обміну) із застосуванням вирішуючого зворотного зв'язку і, в залежності від фактичного чи очікуваного рівня завад в каналі обміну телекомунікаційної системи, обрати найбільш ефективні протоколи.

1. Бунин С.Г., Василенко В.С. Сравнительная оценка СПД с решающей обратной связью и с использованием корректирующих кодов. — К.: УСиМ, 1992. — № 9/10. — С. 30–35.
2. Василенко В.С., Піцюга В.В., Колесніков М.Ю. Алгоритм защиты носителей информации // Праці 1 НТК ІПРІ НАН України «Безпека інформації в комп'ютерних системах». — К: Інститут проблем реєстрації інформації НАН України, 1993. — С. 3.
3. Василенко В.С., Колесніков М.Ю., Косяк І.В. Защита информации на оптических картах // Безпека інформації. — 1995. — № 3. — С. 7.
4. Буди́ко М.М., Василенко В.С., Короленко М.П. Варіант формалізації процесу захисту інформації в комп'ютерних системах та оптимізації його цільової функції // Реєстрація, зберігання і оброб. даних. — 2000. — Т. 2, № 2. — С. 73–84.
5. Матов А.Я. Основы теории передачи информации. — К.: КВИРТУ, 1987. — 212 с.

Надійшла до редакції 24.11.2004