

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

Оцінка часу доставки повідомлень у протоколах організації обміну в телекомунікаційних системах

Запропоновано підходи щодо аналізу ефективності протоколів обміну інформацією в телекомунікаційних системах за швидкістю та вірністю передачі, 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

Для забезпечення обміну інформаційними об'єктами між елементами телекомунікаційних систем (ТКС) використовується велика кількість протоколів обміну, кожен із яких забезпечує певні швидкість та вірність обміну. Усе різноманіття протоколів може бути розподіленим на два типи: протоколи із забезпеченням лише високої швидкості обміну без «турботи» про вірність переданих даних та протоколи із забезпеченням певного рівня вірності переданих даних [1].

Протоколи першого типу або взагалі не здійснюють такого контролю, або в разі виявлення викривлень інформаційного об'єкта вилучають його з мережі (приклад — протоколи типу frame relay, IP). При цьому задача забезпечення цілісності чи достовірності інформаційних об'єктів покладається на протоколи більш високого рівня.

Більшість протоколів другого типу забезпечують корекцію можливих викривлень за рахунок використання кодів, які виявляють наявність викривлень, з наступним перезапитом викривленої інформації — протоколи з вирішуваним зворотним зв'язком (приклад — протоколи транспортного рівня — ТСП). У той же час на основі теорії завадостійкого кодування можлива розробка і використання протоколів, які забезпечують корекцію можливих викривлень за рахунок використан-

ня коригувальних кодів (їх апаратурна реалізація досить широко відома з теорії передачі даних).

У статті здійснено спробу визначення часу доставки та часу затримки в доставці інформаційних об'єктів (повідомлень) та порівняння за цими показниками протоколів із застосуванням вирішувального зворотного зв'язку (ВЗЗ) та із застосуванням виявлення та корекції викривлень — завадостійких коригувальних кодів (протоколи з ЗКК).

Оцінка впливу протоколів організації обміну в телекомунікаційних системах на абсолютну швидкість інформаційного обміну

Попередньо відмітимо, що у будь-якому випадку для отримання достовірної інформації неминучими є витрати часу для контролю, а в разі виявлення наявності викривлень, і для поновлення порушеної цілісності інформаційних об'єктів. Ці витрати зменшують швидкість обміну інформацією і, як наслідок, збільшують час затримки в доставці повідомлень. На відміну від технічної швидкості передачі B — швидкості передачі у відповідних каналах будь-яких символів, незалежно від їх семантичного змісту та достовірності, будемо називати швидкість передачі достовірної інформації абсолютною швидкістю інформаційного обміну — B_a . Будемо вважати, що передача інформації здійснюється у вигляді пакетів, а контроль цілісності здійснюється після приймання даного пакета. Вважатимемо також, що потік впливів на інформаційні об'єкти (потік викривлень) є найпростішим. З урахуванням останнього припущення слід вважати, що кількість викривлень на інтервалі передачі повідомлення підпорядкована закону Пуассона, а ймовірність виникнення рівно k подій розраховується за формулою:

$$P_k(t_{ck}) = (\lambda t_n)^k \exp(-\lambda t_n) / (k!),$$

де t_n — часова тривалість ($t_n = n/B$) повідомлення; λ — інтенсивність впливів.

Тоді для протоколів із використанням ВЗЗ час t_s , необхідний для приймання повідомлення споживачем, складається з незмінної частини — часу власне прийому цього повідомлення t_n і середнього часу контролю його цілісності ΔT_{k1} . При цьому час ΔT_{k1} складається, в свою чергу, з незмінної частини — часу контролю цілісності повідомлень Δt_k , а також з випадкової частини — часу формування і передачі зворотним каналом запитів на повторну передачу викривлених повідомлень. При цьому величину ΔT_{k1} можна визначити як

$$\Delta T_{k1} = \Delta t_k + \Delta t_{n1} \cdot q_2,$$

де Δt_k — час, необхідний для контролю цілісності повідомлень; Δt_{n1} — час, необхідний для формування і передачі зворотним каналом запитів на повторну передачу викривлених повідомлень; q_2 — ймовірність наявності порушення цілісності повідомлення, яку, вважаючи закон розподілу ймовірностей пуассонівським, можна визначити як ймовірність здійснення на інтервалі t_n хоча б одного викривлення в пакеті (кількість викривлень є більшою нуля):

$$q_2 = P_{>0}(t_n) = 1 - \exp(-\lambda t_n).$$

Таким чином,

$$t_g = n/B + \Delta t_{\kappa} + \Delta t_{n1}(1 - \exp(-\lambda t_n)). \quad (1)$$

Оскільки за цей час приймається m суто інформаційних символів, то абсолютна швидкість $B'_{a\text{ВЗЗ}}$ передачі інформації у цьому випадку (на часовому інтервалі, який дорівнює тривалості повідомлення) дорівнює:

$$B'_{a\text{ВЗЗ}} = m/t_g = m/\{q/B + \Delta t_{\kappa} + \Delta t_{n1}(1 - \exp(-\lambda t_n))\}, \quad (2)$$

де $m = (n - \kappa)$ — кількість двійкових символів змістовної частини повідомлення при реалізації цих методів; κ — кількість службових символів (включаючи надлишкові, в тому числі необхідні для організації контролю і, в разі застосування ЗКК, поновлення цілісності пакетів); B — технічна швидкість передачі даних.

Із (2) неважко отримати вираз для розрахунку абсолютної швидкості B_a для протоколів організації обміну з ВЗЗ. При цьому слід мати на увазі не враховані в [1–3] факти, що, по-перше, викривлення повідомлення має місце лише тоді, коли вплив завади або іншої причини порушення цілісності приходить на інтервал часу, протягом якого передається повідомлення, і, по-друге, здійснюється з певною ймовірністю. З урахуванням прийнятих припущень щодо потоку цих впливів існує відмінна від нуля ймовірність того, що при будь-яких значеннях λ можливе приймання невикривлених повідомлень (з кількістю викривлень, що дорівнює нулю) з ймовірністю $P_0(t_n) = \exp(-\lambda t_n)$. Тоді абсолютна швидкість для протоколів організації обміну з ВЗЗ при відсутності викривлень (з ймовірністю $P_0(t_n) = \exp(-\lambda t_n)$) розраховується з виразу (2), а при їх наявності (з ймовірністю $P_{>0}(t_n) = 1 - \exp(-\lambda t_n)$) її слід вважати такою, що дорівнює нулю (оскільки при цьому здійснюються лише перезапити, які є еквівалентними простою каналу). Зрозуміло, що вираз для розрахунку середнього значення цієї швидкості можна записати у вигляді:

$$B_{a\text{ВЗЗ}} = B'_{a\text{ВЗЗ}} \exp(-\lambda t_n) = \exp(-\lambda t_n) \cdot m/\{n/B + \Delta t_{\kappa} + \Delta t_{n1} \cdot (1 - \exp(-\lambda t_n))\}. \quad (3)$$

Звернемо увагу, що в точці $\lambda = 0$ значення абсолютної швидкості для протоколів організації обміну з ВЗЗ дорівнює:

$$B_{a1} = m/(n/B + \Delta t_{\kappa1}),$$

а в точці $\lambda = B/n = 1/t_n$:

$$B_{a2} = \exp(-1) \cdot m/(n/B + \Delta t_{\kappa1} + \Delta t_{n1} \cdot (1 - \exp(-1))) = 0,37m/(n/B + \Delta t_{\kappa1} + 0,63 \cdot \Delta t_{n1}).$$

Залежності абсолютної швидкості передачі B_a від інтенсивності впливів λ представлені на рис. 1 (крива 1).

Для протоколів з використанням ЗКК і з урахуванням найбільш несприятливих для забезпечення високої швидкості умов, якщо передача інформації здійсню-

ється окремими пакетами, а контроль і поновлення цілісності здійснюється після приймання пакета, час t_e , необхідний для приймання повідомлення споживачем, складається з часу прийому цього повідомлення ($t_{np} = n/B$) і середнього часу контролю та поновлення його цілісності $\Delta T_{\kappa 2}$. При цьому величину $\Delta T_{\kappa 2}$ можна визначити як і для протоколів з ВЗЗ:

$$\Delta T_{\kappa 2} = \Delta t_{\kappa 2} + \Delta t_{n2}q_2,$$

де $\Delta t_{\kappa 2}$ — час, необхідний для контролю цілісності повідомлень; Δt_{n2} — час, необхідний для виправлення викривлень у повідомленні (у випадку їх виявлення); q_2 — ймовірність наявності порушення цілісності повідомлення, яке можна, як і раніше, визначити ймовірністю $q_2 = P_{>0}(t_n) = 1 - \exp(-\lambda t_n)$.

Таким чином,

$$t_e = n/B + \Delta t_{\kappa 2} + \Delta t_{n2} \cdot (1 - \exp(-\lambda t_n)). \quad (4)$$

Оскільки за цей час прийнято $m_{\text{ЗКК}}$ суто інформаційних символів, то абсолютна швидкість $B'_a \text{ЗКК}$ передачі інформації у цьому випадку (як і вище, на часовому інтервалі, який дорівнює тривалості повідомлення) дорівнює:

$$B'_a \text{ЗКК} = m_{\text{ЗКК}} / t_e = m_{\text{ЗКК}} / (n/B + \Delta t_{\kappa 2} + \Delta t_{n2} \cdot (1 - \exp(-\lambda t_n))), \quad (5)$$

де $m_{\text{ЗКК}}$ — кількість двійкових символів змістовної частини повідомлення при реалізації цих методів; B — технічна швидкість передачі даних; $n/B = t_n$ — час приймання усього повідомлення з n символів.

При цьому, як і для протоколів організації обміну з ВЗЗ, абсолютна швидкість для протоколів організації обміну з ЗКК (із застосуванням найбільш розповсюджених коригувальних кодів з виправленням одного викривлення) при наявності **не більше одного** викривлення (з ймовірністю $P_{\leq 1}(t_n) = (1 + \lambda t_n) \exp(-\lambda t_n)$) розраховується з виразу (5), а при наявності більшої кількості впливів (з ймовірністю $P_{> 1}(t_n) = 1 - (1 + \lambda t_n) \exp(-\lambda t_n)$) її слід вважати такою, що дорівнює нулю (оскільки при цьому здійснюються приймання недостовірної інформації, що є еквівалентним простою каналу). Зрозуміло, що вираз для розрахунку середнього значення цієї швидкості можна записати у вигляді:

$$\begin{aligned} B_{a\text{ЗКК}} &= B'_a \text{ЗКК} \cdot (1 + \lambda t_n) \exp(-\lambda t_n) = (1 + \lambda t_n) \exp(-\lambda t_n) \cdot m_{\text{ЗКК}} / \{n/B + \Delta t_{\kappa 2} + \\ &+ \Delta t_{n2} \cdot (1 - \exp(-\lambda t_n))\} + 0 \cdot (1 - (1 + \lambda t_n) \exp(-\lambda t_n)) = \\ &= (1 + \lambda t_n) \exp(-\lambda t_n) \cdot m_{\text{ЗКК}} / \{n/B + \Delta t_{\kappa 2} + \Delta t_{n2} \cdot (1 - \exp(-\lambda t_n))\}. \end{aligned} \quad (6)$$

Звернемо увагу, що в точці $\lambda = 0$ значення абсолютної швидкості для протоколів організації обміну з ЗКК дорівнює:

$$B_{a\text{ЗКК}0} = m_{\text{ЗКК}} / (n/B + \Delta t_{\kappa 2}),$$

а в точці $\lambda = B/n$:

$$V_{a3} = 0,74B m_{3КК}/(n + B \cdot \Delta t_{к2} + 0,63 \Delta t_{n2}).$$

Залежності абсолютної швидкості передачі V_a від інтенсивності впливів λ представлені на рис. 1 (крива 2).

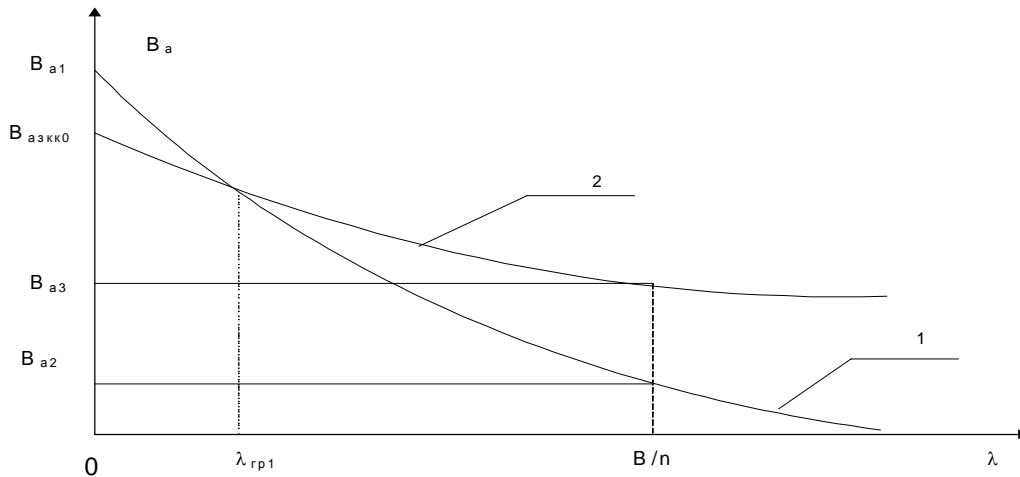


Рис. 1. Залежності абсолютної швидкості від інтенсивності впливів:
1 — зі зворотним зв'язком; 2 — із застосуванням корегувальних кодів

Із рис. 1 видно, що протоколи організації обміну з ВЗЗ за абсолютною швидкістю передачі є більш ефективними (за умови $V_{a1} > V_{a3КК}$) ніж протоколи організації обміну з ЗКК лише при доброму стані каналу (малому значенні $\lambda < \lambda_{гр1}$, де $\lambda_{гр1}$ — величина інтенсивності впливів, при якій абсолютні швидкості передачі інформації для різних методів організації обміну є однаковими).

Звернемо увагу на той факт, що умова $V_{a1} > V_{a3КК}$ може бути трансформованою в умову:

$$m_{3КК}/m < (n/B + \Delta T_{к2})/(n/B + \Delta T_{к1}). \quad (7)$$

Із цього виразу нескладно зробити висновок, що для зменшення інтервалу інтенсивностей впливів, коли протоколи організації обміну з ЗКК є менш ефективними ніж протоколи організації обміну з ВЗЗ, необхідно застосовувати ефективніші (з погляду надлишковості і алгоритмічної складності) завадостійкі коригувальні коди, в яких величина $m_{3КК} \approx m$, а $\Delta T_{к2} \approx 0$, тобто якщо значення $V_{a3КК}$ наближається до значення $V_{a1} \approx V_{a3КК}$.

Оцінка впливу протоколів організації обміну в телекомунікаційних системах на цілісність повідомлень

Цілісність інформаційного об'єкта (повідомлення) при його передачі (правильність передачі даних, ймовірність правильної доставки повідомлення або отри-

мання на приймальній стороні невикривленої інформації) для протоколів організації обміну з ВЗЗ $P_{ВЗЗ}$ розраховується за формулою [1]:

$$P_H = P_{ВЗЗ} = 1 - 2^{-(n-m)} = \text{const},$$

а для протоколів організації обміну з ЗКК з урахуванням наведених вище міркувань:

$$P_H = P_{ЗКК} = (1 - 2^{-(n-m_1)}) \cdot (1 + \lambda n/B) \cdot \exp\{-\lambda n/B\},$$

де $m_1 = m_{ЗКК}$.

Графіки залежності цих величин (P_H) від інтенсивностей (λ) впливів (шумів, завад) на інформаційне повідомлення наведені на рис. 2.

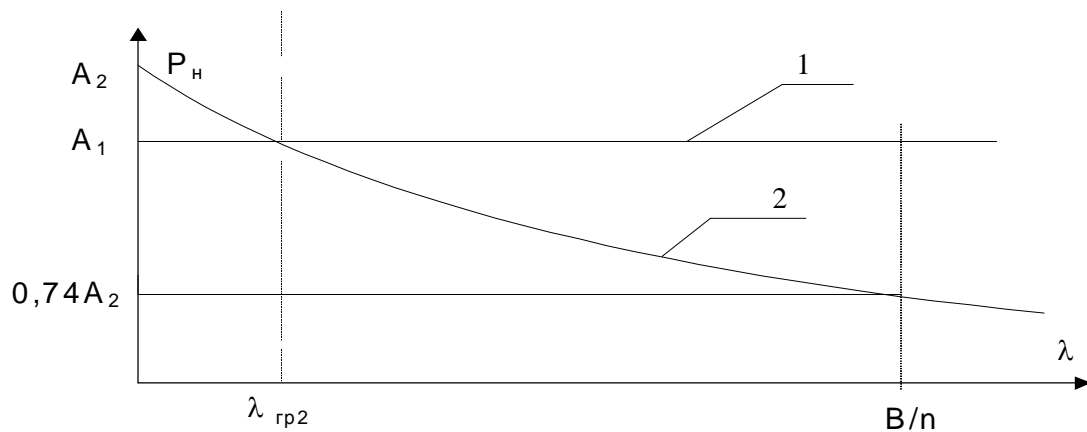


Рис. 2. Залежність цілісності (вірності) передачі інформації від стану каналу:
1 — для протоколів із ВЗЗ; 2 — для протоколів із ЗКК

На цьому рисунку $A_1 = 1 - 2^{-(n-m)}$, $A_2 = 1 - 2^{-(n-m_1)}$. Із рисунка видно, що з погляду цілісності інформації протоколи організації обміну з ЗКК дещо перевершують протоколи організації обміну з ВЗЗ лише тоді, коли інтенсивність впливів λ є незначною ($\lambda < \lambda_{гр2}$), у решті випадків канали з ВЗЗ, з погляду цього показника, більш ефективні. Однак, навіть при $\lambda = B/n$ величина ймовірності $P_{ЗКК}$ не суттєво відрізняється від відповідної ймовірності для протоколу організації обміну з ВЗЗ (при $\lambda = B/n$ $P_{ЗКК} = 0,74A_2$).

Оцінка впливу протоколів організації обміну в телекомунікаційних системах на ефективну швидкість інформаційного обміну

Виходячи з аналізу окремих показників, наведених у перших двох розділах, неможливо віддати перевагу тому або іншому протоколу організації обміну даними, оскільки спосіб більш ефективній за одним показником є менш ефективним за другим. Тому доцільно ввести комплексний показник ефективності у вигляді добутку швидкості на цілісність передачі — ефективну швидкість обміну E .

Вирази для розрахунків такої ефективної швидкості для протоколів організації обміну з ВЗЗ мають вигляд (з урахуванням того, що $A_1 \approx 1$, $A_2 \approx 1$):

$$E_{ВЗЗ} \approx B_a = \exp(-\lambda t_{нк}) m / \{n/B + \Delta t_{к1} + \Delta t_{n1} (1 - \exp(-\lambda t_{нк}))\}$$

згідно з виразом (3) із збереженням, зрозуміло, тієї ж залежності від інтенсивності впливів. Для протоколів організації обміну з ЗКК:

$$E_{ЗКК} \approx (1 + \lambda n/B) \cdot \exp\{-\lambda n/B\} \cdot (1 + \lambda t_{нк}) \exp(-\lambda t_{нк}) \times \\ \times m_{ЗКК} / (n/B + \Delta t_{к2} + \Delta t_{n2} \cdot (1 - \exp(-\lambda t_{нк}))).$$

Графіки залежності ефективної швидкості E від інтенсивностей λ впливів (шумів, завод) на інформаційне повідомлення наведені на рис. 3.

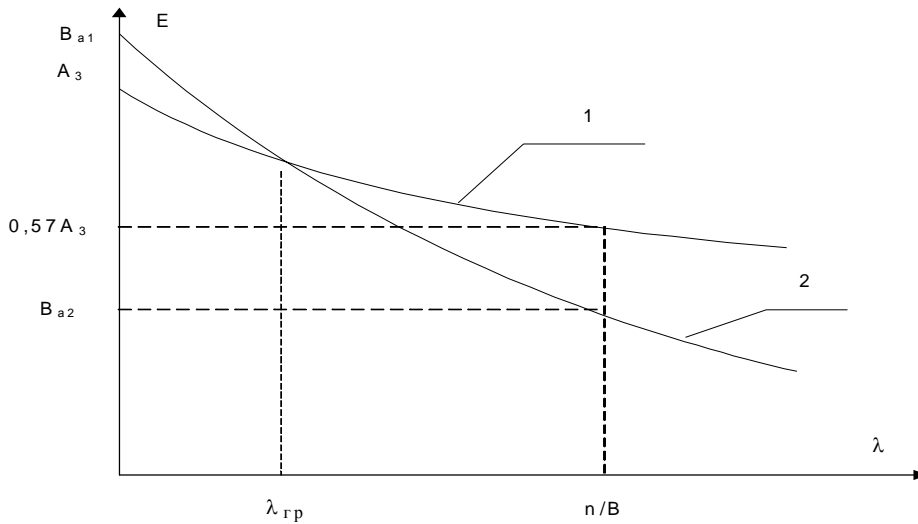


Рис. 3. Залежність ефективної швидкості передачі від інтенсивності завод:
1 — для каналів із ЗКК, 2 — для каналів із ВЗЗ

На цьому рисунку величини B_{a1} і B_{a2} відповідають обрахованим раніше і наведеним на рис. 1. Величина A_3 відповідає ефективній швидкості при $\lambda = 0$:

$$A_3 = (m_{ЗККВ}/n) / (1 + \Delta T_{к2}/n),$$

і при $\lambda = n/B$:

$$E_{ЗКК} = 0,57(m_{ЗККВ}/n) / (1 + \Delta T_{к2}/n + 0,63B\Delta_{m2}/n) \approx 0,57A_3.$$

Як видно з рис. 3 ефективна швидкість протоколів організації обміну з ВЗЗ перевищує ефективну швидкість протоколів організації обміну з ЗКК, якщо інтенсивність впливів λ менше деякого її граничного значення $\lambda_{гр}$ (**висока якість каналу обміну**), а ефективна швидкість протоколів організації обміну з ЗКК пере-

вищує ефективну швидкість протоколів організації обміну з ВЗЗ, якщо інтенсивність впливів λ більше деякого цього граничного значення (*канали досить низької якості — зашумлені канали*).

Неважко показати, що граничні значення можуть бути визначені з наступних виразів:

— для абсолютної швидкості

$$\lambda_{zp1} \approx B(m/m_{зкк} - 1)/n; \quad (8)$$

— для цілісності даних при передачі:

$$\lambda_{zp2} \approx 0, \quad (9)$$

що пояснюється незначною різницею величин A_1 і A_2 ;

— для ефективної швидкості:

$$\lambda_{zp} \approx \lambda_{zp1} \approx B(m/m_{зкк} - 1)/n. \quad (10)$$

Вирази (9), (10) дозволяють у залежності від стану каналів обирати той або інший спосіб організації обміну, або побудувати адаптивні комбіновані системи передачі даних, в яких у залежності від інтенсивності завад використовується режим роботи або з ВЗЗ, або з ЗКК.

Приклад 1. Оцінимо значення λ_{zp} для випадку використання протоколу Frame Relay в каналах передачі даних зі швидкістю $B = 2400$ біт/с, якщо довжина повідомлення $n = 256$ символів (байтів), а довжина його інформаційної частинки для методу ВЗЗ $m = 250$ байтів (при довжині службової частини кадру 6 байтів, із яких контрольна ознака в 2 байти, 16-бітовий циклічний код HDLC) і для методу ЗКК $m_{зкк} = 220$ байтів при довжині контрольної ознаки в 32 байти.

Підставивши ці дані в (10), отримаємо граничне значення сумарної інтенсивності впливів $\lambda_{zp} = 0,159$ 1/с. Якщо використовувати дані про інтенсивність лише природних впливів для телефонних каналів ($P_{ном} = 2 \times 10^{-3}$, що еквівалентне $\lambda = 4,8$ 1/с), то можна зробити висновок, що інтенсивність лише природних впливів значно перевищує граничне значення $\lambda > \lambda_{zp}$, тобто в цих умовах доцільно застосовувати способи організації обміну з ЗКК.

Оцінка впливу протоколів організації обміну в телекомунікаційних системах на час доставки повідомлень

Окрім вищезгаданих показників ефективності для оцінки забезпечення доступності ТКС (чи їх каналів передачі даних) необхідно і дуже важливо використовувати таку функціонально пов'язану зі швидкістю передачі характеристику як час затримки доставки повідомлення, яка суттєво впливає на доступність ресурсів ТКС і, в цілому, АС.

Під часом затримки доставки повідомлення будемо розуміти різницю між часом фактичної доставки, тобто часом отримання абонентом повідомлення з ура-

хуванням часових затрат на визначення викривлень і їх виправлення, і часом, який необхідний для його доставки в умовах відсутності такої затримки.

Неважко помітити, що ця різниця є різницею між часом видачі ТКС правильного (виправленого або отриманого внаслідок перезапиту) повідомлення і часом видачі цього ж повідомлення у випадку відсутності впливу на нього загроз (чи не виявлення такого впливу). Іншими словами, можна вважати, що величина часу затримки доставки повідомлення дорівнює величині збільшення тривалості часу передачі повідомлення внаслідок реагування ТКС на виявлене порушення цього повідомлення.

Зрозуміло, що часова тривалість повідомлення t_{nB33} або t_{n3KK} , у залежності від протоколу організації обміну, визначається його довжиною n і швидкістю передачі B_a (див. вирази (3), (5)) і для протоколів організації обміну з ВЗЗ дорівнює:

$$t_{nB33} = n / [\exp(-\lambda t_n) \cdot m / \{n/B + \Delta t_{\kappa 1} + \Delta t_{n1} \cdot (1 - \exp(-\lambda t_n))\}].$$

Часову тривалість повідомлення для протоколів організації обміну з ЗКК можна розрахувати аналогічно, скориставшись виразом (6):

$$t_{n3KK} = n / [(1 + \lambda t_n) \exp(-\lambda t_n) \cdot m_{3KK} / \{n/B + \Delta t_{\kappa 2} + \Delta t_{n2} (1 - \exp(-\lambda t_n))\}].$$

Мінімальні значення тривалостей повідомлень (при $\lambda = 0$) для протоколів організації обміну з ВЗЗ:

$$t_{nB33} = n / [m / \{n/B + \Delta t_{\kappa 1}\}] = n \{n/B + \Delta t_{\kappa 1}\} / m,$$

і для протоколів організації обміну з ЗКК:

$$t_{n3KK} = n / [m_{3KK} / \{n/B + \Delta t_{\kappa 2}\}] = n \{n/B + \Delta t_{\kappa 2}\} / m_{3KK}$$

При цьому величина затримки для протоколів з ВЗЗ дорівнює:

$$\Delta t_{nB33} = n(n/B + \Delta t_{\kappa 1} + \Delta t_{n1}) \cdot (\exp(\lambda t_n) - 1) / m, \quad (11)$$

і при $\lambda = B/n$ значення величини затримки Δt_{nB33} :

$$\Delta t_{nB33} = 1,7n(n/B + \Delta t_{\kappa 1} + \Delta t_{n1}) / m. \quad (12)$$

Час затримки для протоколів організації обміну з ЗКК Δt_{n3KK} також дорівнює різниці між часом t_{θ} , необхідним для видачі повідомлення приймачу, і його мінімальним значенням

$$\Delta t_{n3KK} = n \{ [(n/B + \Delta t_{\kappa 2} + \Delta t_{n2}) \cdot (\exp(\lambda t_n) - 1)] - \lambda t_n \cdot (n/B + \Delta t_{\kappa 2}) \} / [(1 + \lambda t_n) \cdot m_{3KK}], \quad (13)$$

і при $\lambda = B/n$ значення величини затримки Δt_{n3KK} :

$$\Delta t_{n3KK} = n \{ 0,35 \cdot (n/B + \Delta t_{\kappa 2}) + 0,85 \cdot \Delta t_{n2} \} / m_{3KK}. \quad (14)$$

Неважко знайти різницю величин (12) і (14). За умови $m_{ЗКК} \approx m$, $\Delta t_{\kappa 1} \approx \Delta t_{\kappa 2}$, $\Delta t_{n1} \approx \Delta t_{n2}$ значення цієї різниці можна записати у вигляді:

$$\Delta t_c = \Delta t_{nВЗЗ} - \Delta t_{nЗКК} \approx n \{ 1,35 \cdot (n/B + \Delta t_{\kappa 2}) + 0,85 \Delta t_{n2} \} / m_{ВЗЗ}. \quad (15)$$

Із виразу (15) витікає, що оскільки час затримки повідомлень для протоколів організації обміну з ВЗЗ при $\lambda = B/n$ завжди перевищує час затримки повідомлень для протоколів організації обміну з ЗКК, то з погляду доступності інформаційних ресурсів застосування ЗКК є більш доцільним.

На рис. 4 представлена залежність часу затримки доставки повідомлення від інтенсивності впливів.

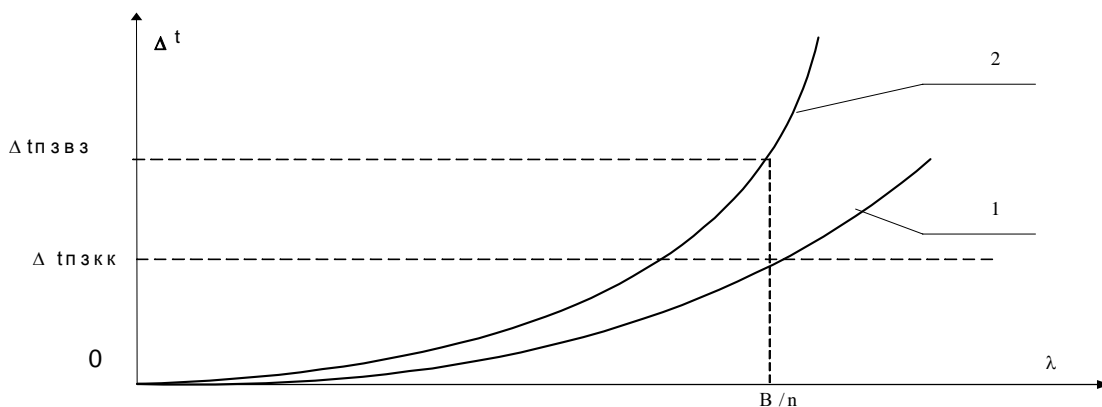


Рис. 4. Залежність часу затримки повідомлення від інтенсивності впливів:
1 — для способів обміну з ЗКК; 2 — для способів обміну з ВЗЗ

Як видно з рис. 4, час затримки доставки повідомлення для протоколів організації обміну з ВЗЗ зі збільшенням інтенсивності впливів стрімко зростає до нескінченності, в той час як для протоколів організації обміну з ЗКК час затримки зростає значно повільніше. Це ще раз свідчить про неможливість використання протоколів із ВЗЗ в умовах значної інтенсивності в каналі штучних впливів і необхідність використання швидкодійних алгоритмів поновлення цілісності для протоколів із ЗКК.

Приклад 2. Величина затримки повідомлення для умов прикладу 1 і для значень $\Delta t_{\kappa 1} = \Delta t_{\kappa 2} = \Delta t_{n2} = 4,17 \cdot 10^{-4}$, $\Delta t_{n1} = 6,7 \cdot 10^{-3}$ при застосуванні протоколів організації обміну з ВЗЗ складає 51,35 с (при часі передачі 0,853 с), тобто загальний проміжок часу, через який повідомлення буде прийнято на приймальній стороні дорівнює 52,2 с, у той час як при застосуванні протоколів організації обміну з ЗКК ці величини дорівнюють відповідно 10,56 с і 11,31 с.

Такі значні затримки повідомлень пояснюються неузгодженістю параметрів повідомлення n з параметрами каналу (B , $P_{ном}$ або $\lambda = 4,8$ 1/с). Дійсно, при таких параметрах $\lambda > B/n = 1,17$, тобто система повинна знаходитись у режимі безперервного перезапиту.

Як уже підкреслювалося, шляхами виходу з такої ситуації є підвищення абсолютної швидкості (при збереженні співвідношення сигнал/шум) або зменшення довжини повідомлення.

Приклад 3. При підвищенні абсолютної швидкості до $B = 28,8$ кГц ($B/n = 14,06$), значення величини затримки повідомлення зменшується до $4,24$ с — для протоколів організації обміну з ВЗЗ і до $0,87$ с — для протоколів організації обміну з ЗКК.

Приклад 4. Ще більш ефективним є така організація передачі, коли інформаційний блок передається у вигляді сукупності (наприклад 16) коротких повідомлень (по 16 байтів кожен) з їх перемешуванням. При цьому навіть для $B = 2,4$ кГц час затримки знижується до $0,32$ с і до $0,029$ с для протоколів організації обміну з ВЗЗ і ЗКК відповідно.

Даний приклад підтверджує вже зроблені висновки щодо ефективності різних протоколів організації обміну.

1. Матов О.А., Василенко В.С. Будько М.М. Аналіз протоколів обміну інформацією у телекомунікаційних системах // Реєстрація, зберігання і оброб. даних. — 2004. — Т. 6, № 4. — С. 82–93.

2. Василенко В.С., Колесніков М.Ю., Косяк І.В. Защита информации на оптических картах // Безпека інформації. — 1995. — № 3. — С. 42–48.

3. Будько 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.

Надійшла до редакції 10.03.2005