

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ОБМІНУ СЛУЖБОВИМИ ДАНИМИ n -РІВНЕВИХ КЕРУЮЧИХ ОБ'ЄКТІВ ВЗАЄМОДІЮЧИХ СИСТЕМ КОМУТАЦІЇ ПАКЕТІВ

СТРУКАЛО С.М.

Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова

MODELING THE PROCESSES OF SERVICE DATA EXCHANGE BETWEEN INTERCONNECTING PACKET SWITCHING n -LAYERS CONTROL OBJECTS

STRUKALO S.M.

Odessa national academy of telecommunications n.a. O.S. Popov,

***Аномація.** Запропонована математична модель, яка описує процедури формування та кількісних перетворень службової інформації в процесі взаємодії n -рівневих керуючих об'єктів систем комутації пакетів.*

***Abstract.** A mathematical model describing procedures of service data formation and its quantitative transformations while in process of packet switching n -layers control objects interconnecting is presented.*

ВСТУП

Взаємодія n -рівневих об'єктів систем телекомунікацій стандартизована вербальною базовою моделлю OSI (Open System Interconnection) [1]. В [2] запропонована структуризація n -рівневих об'єктів моделей систем телекомунікацій за площинами та підплощинами. При розробці та оптимізації технічних рішень щодо взаємодії цих систем у мережах з комутацією пакетів застосовують математичне моделювання. Однією із проблем, яка потребує рішень в процесі розвитку телекомунікацій, є удосконалення методів моделювання й аналізу взаємодії n -рівневих й k -площинних об'єктів систем у мережах з комутацією пакетів.

Математичному моделюванню та оцінці ефективності процесів оброблення й передавання інформації в системах та мережах з комутацією пакетів присвячена значна кількість робіт, наприклад [3-9]. Але в цих роботах досліджувались або системи в цілому і розглядались окремі об'єкти систем [3, 4] або досліджувалась взаємодія протокольних об'єктів системи без урахування процесів передавання технологічної інформації [5-9]. Найбільш повно, але узагальнено, взаємодія n -рівневих й k -площинних об'єктів систем телекомунікацій представлена в математичній моделі [6]. Ця модель використовує матричні рівняння, елементами яких є вектор-матриця даних та матриця перетворюючих функцій. В роботах [7, 8] розглядалась деталізація перетворювальних функцій математичних моделей, які описують процедури кількісних перетворень інформації [7] та її затримки [8] в процесі передавання даних n -рівневими й k -площинними об'єктами взаємодіючих систем. Деталізація та моделювання процедур формування службової інформації при передачі даних у мережах з комутацією пакетів описувались в [9]. Але важливі процеси формування й передавання надлишкової (технологічної) інформації при сигналізації, керуванні, розповсюдженні маршрутною інформації, установленні, підтримці й завершенні сеансів зв'язку при цьому не розглядались.

Метою даної роботи є розробка математичної моделі, яка узагальнює процеси формування та кількісних перетворень технологічної інформації n -рівневими й k -площинними об'єктами при взаємодії систем комутації пакетів, які властиві процедурам протоколів маршрутизації, сигналізації, керування тощо.

У відповідності з функціональними задачами, які вирішують протоколи n -х рівнів моделі OSI, введення площин та підплощини в моделі [2] дозволяє структурувати взаємодію систем за процесами передавання інформації користувачів, сигналізації, маршрутизації, керування тощо. Для реалізації цих процесів n -рівневі й k -площинні протокольні об'єкти взаємодіючих систем використовують технологічну інформацію, яка передається в окремих па-

кетах або додається у вигляді заголовків до інформації користувача. В подальшому будемо розглядати процеси формування та кількісних перетворень інформації в службових пакетах, які характерні для технологічних протоколів площин сигналізації, маршрутизації, керування та комунікаційних протоколів площини користувача, які можуть забезпечити надійне передавання даних та установлення логічних з'єднань тощо.

ФОРМУВАННЯ СЛУЖБОВИХ ПАКЕТІВ

Розглянемо процеси формування обсягів інформації в службових пакетах будь-якого технологічного протоколу r -го рівня (підрівня) k -ї площини (підплощини) кінцевої чи проміжної системи мережі. Ці обсяги інформації вважають надлишковими відносно обсягів інформації користувачів.

Керуючі (технологічні) протоколи, виконуючи L технологічних функцій, формують певну сукупність $d_k^{(r)}$ службових пакетів та структурують обсяги керуючої (технологічної) інформації за i -ми полями цих пакетів. Кількість цієї інформації $I_{k,j}^{(r)}$ в j -му службовому пакеті, який формує технологічний протокол r -го рівня (підрівня) k -ї площини (підплощини) системи визначається за сумою обсягів інформації в i -х полях цього пакета

$$I_{k,j}^{(r)} = \sum_{i=1}^L \Delta I_{k,j,i}^{(r)}, \quad N \geq r > 1, \quad k = \overline{1, M}, \quad j = \overline{1, d_k^{(r)}}, \quad (1)$$

де $\Delta I_{k,j,i}^{(r)}$ – кількість керуючої інформації в i -х полях j -го пакета технологічного протоколу r -го рівня (підрівня) k -ї площини (підплощини) системи комутації пакетів;

L – кількість керуючих полів пакета технологічного протоколу системи, які можуть мати як фіксований, так і змінний обсяги;

N – кількість протокольних рівнів (підрівнів) системи комутації пакетів;

M – кількість протокольних площин (підплощин) системи комутації пакетів;

$d_k^{(r)}$ – кількість пакетів, які формує технологічний протокол r -го рівня (підрівня) k -ї площини (підплощини) системи в процесі виконання своїх технологічних функцій.

ІНКАПСУЛЯЦІЯ СЛУЖБОВИХ ПАКЕТІВ

Для опису процедур інкапсуляції службових пакетів комунікаційними (транспортними) протоколами використаємо математичну інформаційну модель інкапсуляції блоків даних [9]. В процесі інкапсуляції службових пакетів кількість керуючої інформації між рівнями (підрівнями) r і n системи комутації пакетів збільшується за рахунок обсягів керуючої інформації в заголовках комунікаційних протоколів

$$I_{k,j}^{(r,n)} = I_{k,j}^{(r)} + \Delta I_{k,j}^{(r,n)}, \quad N \geq r \geq n \geq 1, \quad k = \overline{1, M}, \quad j = \overline{1, d_k^{(r)}}, \quad (2)$$

де $I_{k,j}^{(r,n)}$ – кількість керуючої інформації в j -му службовому пакеті на виході n -го рівня (підрівня) k -ї площини (підплощини) системи;

$\Delta I_{k,j}^{(r,n)}$ – кількість службової інформації в сумарному заголовку j -го службового пакета, який формується в процесі інкапсуляції комунікаційними протоколами k -ї площини (підплощини) між рівнями (підрівнями) r і n системи.

Кількість службової інформації в сумарному заголовку комунікаційних протоколів $\Delta I_{k,j}^{(r,n)}$ в j -му пакеті на виході n -го рівня (підрівня) k -ї площини (підплощини) системи, який формується в процесі інкапсуляції технологічної інформації протокольного об'єкта r -го рівня (підрівня) системи, визначимо за формулою

$$\Delta I_{k,j}^{(r,n)} = \sum_{l=1}^{r-n} \Delta I_{k,j}^{(l+n-1)}, \quad N \geq r \geq n \geq 1, \quad k = \overline{1, M}, \quad j = \overline{1, d_k^{(r)}}, \quad (3)$$

де $\Delta I_{k,j}^{(l)}$ – кількість службової інформації в заголовку комунікаційного протоколу l -го рівня (підрівня) k -ї площини (підплощини) системи комутації пакетів.

Математична модель інкапсуляції службових пакетів (2) з урахуванням формули (3) матиме вигляд

$$I_{k,j}^{(r,n)} = I_{k,j}^{(r)} + \sum_{l=1}^{r-n} \Delta I_{k,j}^{(l+n-1)}, \quad N \geq r \geq n \geq 1, \quad k = \overline{1, M}, \quad j = \overline{1, d_k^{(r)}}. \quad (4)$$

Зауважимо, що кількість службової інформації в заголовку пакета комунікаційного протоколу l -го рівня (підрівня) k -ї площини (підплощини) визначається аналогічно (1) – за сумою обсягів інформації в i -х полях цього заголовку.

У процесі інкапсуляції службових пакетів комунікаційні протоколи за необхідності можуть використовувати властиві їм процедури вирівнювання обсягу заголовку або пакета, агрегування, сегментацію (фрагментацію) пакетів, математичні моделі яких детально розглянуто в [9].

Використовуючи формули (2)...(4), при $n=1$ та $N \geq r > 1$, можна розрахувати кількість інформації в j -му службовому пакеті на виході системи комутації пакетів, який створено технологічним протоколом r -го рівня (підрівня) k -ї площини (підплощини).

СУКУПНІСТЬ ПАКЕТІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОТОКОЛУ

Процедури технологічного протоколу r -го рівня (підрівня) k -ї площини (підплощини) системи комутації пакетів у процесі реалізації своїх технологічних функцій можуть формувати необхідну сукупність (пул) $d_k^{(r)}$ службових пакетів.

Загальна кількість службової інформації сукупності $d_k^{(r)}$ службових пакетів на виході n -го рівня (підрівня) k -ї площини (підплощини) системи комутації пакетів, які сформовані протокольною процедурою r -го рівня (підрівня) системи в процесі реалізації своїх технологічних функцій, визначається за такою сумою

$$I_{k,D}^{(r,n)} = \sum_{j=1}^D I_{k,j}^{(r,n)}, \quad N \geq r \geq n \geq 1, \quad k = \overline{1, M}, \quad D = d_k^{(r)}. \quad (5)$$

Формулу (5) доцільно структурувати за загальною кількістю службової інформації технологічного протоколу r -го рівня (підрівня) k -ї площини (підплощини) $I_{k,D}^{(r)}$ та загальною кількістю інформації в заголовках комунікаційних протоколів $\Delta I_{k,D}^{(r,n)}$ між рівнями (підрівнями) r і n системи комутації пакетів

$$I_{k,D}^{(r,n)} = I_{k,D}^{(r)} + \Delta I_{k,D}^{(r,n)}, \quad N \geq r \geq n \geq 1, \quad k = \overline{1, M}, \quad D = d_k^{(r)}, \quad (6)$$

де
$$I_{k,D}^{(r)} = \sum_{j=1}^D I_{k,j}^{(r)}, \quad N \geq r \geq n \geq 1, \quad k = \overline{1, M}, \quad D = d_k^{(r)}, \quad (7)$$

$$\Delta I_{k,D}^{(r,n)} = \sum_{j=1}^D \Delta I_{k,j}^{(r,n)}, \quad N \geq r \geq n \geq 1, \quad k = \overline{1, M}, \quad D = d_k^{(r)}. \quad (8)$$

З урахуванням (3) формула (8) матиме вигляд

$$\Delta I_{k,D}^{(r,n)} = \sum_{j=1}^D \sum_{l=1}^{r-n} \Delta I_{k,j}^{(l+n-1)}, \quad N \geq r \geq n \geq 1, \quad k = \overline{1, M}, \quad D = d_k^{(r)}. \quad (9)$$

Як правило, всі $D = d_k^{(r)}$ службових пакетів r -го рівня (підрівня) системи комутації пакетів в процесі інкапсуляції можуть забезпечуватись однаковими за структурою та обсягом заголовками комунікаційних протоколів l -го рівня (підрівня) k -ї площини (підплощини). У результаті кількість інформації в заголовках комунікаційних протоколів не буде залежати від

індексу j тобто $\Delta I_{k,j}^{(l)} = \Delta I_k^{(l)}$, а $\Delta I_{k,j}^{(r,n)} = \Delta I_k^{(r,n)}$. У цьому випадку другий доданок моделей інкапсуляції (2) і (4) та доданки в сумах (3), (4), (8) і (9) також не залежатимуть від індексу j , а формули (8) та (9) спрощуються

$$\Delta I_{k,D}^{(r,n)} = d_k^{(r)} \Delta I_k^{(r,n)} = d_k^{(r)} \sum_{l=1}^{r-n} \Delta I_k^{(l+n-1)}, \quad N \geq r \geq n \geq 1, \quad k = \overline{1, M}. \quad (10)$$

Використовуючи формули (5), (6), (8)...(10), при $n=1$ та $N \geq r > 1$, можна розрахувати кількість інформації в службових пакетах на виході системи комутації пакетів, яку створює сукупність $d_k^{(r)}$ процедур будь-якого технологічного протоколу r -го рівня (підрівня) k -ї площини (підплощини).

СУКУПНІСТЬ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОТОКОЛІВ

У процесі виконання різних технологічних функцій системи комутації пакетів на певних її протокольних рівнях (підрівнях) та площинах (підплощинах) одночасно або послідовно можуть застосовуватися декілька технологічних протоколів. В результаті кількість службових пакетів на виході системи буде збільшуватись. Наприклад, в процесі сеансу зв'язку на транспортному рівні протокол TCP (Transmission Control Protocol) застосовує технологічні процедури установлення, підтримки та завершення логічного з'єднання. На нижчих чи вищих рівнях системи за необхідності можуть застосовуватися технологічні процедури інших протоколів:

- перетворення доменної адреси в IP адресу за допомогою протоколу DNS (Domain Name System);
- перетворення IP адреси в MAC (Media Access Control) адресу або в DLCI (Data Link Connection Identifier) ідентифікатор каналу за допомогою протоколу ARP (Address Resolution Protocol) або протоколу NHRP (Next Hop Resolution Protocol);
- передавання повідомлень за допомогою протоколу ICMP (Internet Control Message Protocol) про помилки або інші виняткові ситуації, які можуть виникати при передаванні даних;
- динамічне призначення адреси за допомогою прикладного протоколу DHCP (Dynamic Host Configuration Protocol) тощо.

Таким чином, у процесі виконання технологічних функцій системи може бути задіяна деяка сукупність G технологічних протоколів, які функціонують на різних рівнях (підрівнях) та площинах (підплощинах).

Загальну кількість службової інформації на виході n -го рівня (підрівня) системи, яку можуть створювати процедури G технологічних протоколів r -х рівнів (підрівнів) k -х площин (підплощин) у процесі виконання різних технологічних функцій системи комутації пакетів визначимо за формулою

$$I_{k,D}^{(G,n)} = \sum_r^G I_{k,D}^{(r,n)}, \quad N \geq r \geq n \geq 1, \quad k = \overline{1, M}, \quad D = d_k^{(r)}, \quad (11)$$

де $I_{k,D}^{(r,n)}$ – кількість керуючої інформації в сукупності $D = d_k^{(r)}$ службових пакетів на виході n -го рівня (підрівня) k -ї площини (підплощини) системи, які створені технологічним протоколом r -го рівня (підрівня).

Формулу (11) доцільно структурувати за загальною кількістю службової інформації в технологічних протоколах r -х рівнів (підрівнів) k -х площин (підплощин) $I_{k,D}^{(G)}$ та загальною кількістю службової інформації в заголовках комунікаційних протоколів $\Delta I_{k,D}^{(G,n)}$, тобто

$$I_{k,D}^{(G,n)} = I_{k,D}^{(G)} + \Delta I_{k,D}^{(G,n)}, \quad N \geq r \geq n \geq 1, \quad k = \overline{1, M}, \quad D = d_k^{(r)}, \quad (12)$$

де
$$I_{k,D}^{(G)} = \sum_r^G I_{k,D}^{(r)}, \quad N \geq r \geq n \geq 1, \quad k = \overline{1, M}, \quad D = d_k^{(r)}, \quad (13)$$

$$\Delta I_{k,D}^{(G,n)} = \sum_r^G \Delta I_{k,D}^{(r,n)}, \quad N \geq r \geq n \geq 1, \quad k = \overline{1, M}, \quad D = d_k^{(r)}. \quad (14)$$

З урахуванням (7) формула (13) розрахунку загальної кількості службової інформації, створюваної сукупністю G технологічних протокольних процедур r -х рівнів (підрівнів) k -х площин (підплощин) матиме вигляд

$$I_{k,D}^{(G)} = \sum_r^G \sum_{j=1}^D I_{k,j}^{(r)}, \quad N \geq r \geq n \geq 1, \quad k = \overline{1, M}, \quad D = d_k^{(r)}. \quad (15)$$

З урахуванням (9) формула (14) розрахунку загальної кількості службової інформації в заголовках комунікаційних протоколів на виході n -го рівня (підрівня) системи, яка створюється в процесі інкапсуляції службових даних G технологічних протокольних процедур матиме вигляд

$$\Delta I_{k,D}^{(G,n)} = \sum_r^G \sum_{j=1}^D \sum_{l=1}^{r-n} \Delta I_{k,j}^{(l+n-1)}, \quad N \geq r \geq n \geq 1, \quad k = \overline{1, M}, \quad D = d_k^{(r)}. \quad (16)$$

Якщо для інкапсуляції службових даних усіх технологічних протокольних процедур застосовуються однакові стеки комунікаційних протоколів, то формула (16) з урахуванням (10) спрощується

$$\Delta I_{k,D}^{(G,n)} = \sum_r^G d_k^{(h)} \sum_{l=1}^{r-n} \Delta I_k^{(l+n-1)}, \quad N \geq r \geq n \geq 1, \quad k = \overline{1, M}. \quad (17)$$

Використовуючи формули (11), (12), (14), (16), (17) при $n=1$ та $N \geq r > 1$, можна розрахувати кількість інформації в службових пакетах на виході системи комутації пакетів, яку створює сукупність процедур G технологічних протоколів r -х рівнів (підрівнів) k -х площин (підплощин).

Загальну кількість G_Σ службових пакетів, які створює сукупність $D = d_k^{(r)}$ процедур G технологічних протоколів r -х рівнів (підрівнів) k -х площин (підплощин) системи можна визначити за формулою

$$G_\Sigma = \sum_r^G d_k^{(r)} \quad N \geq r > 1, \quad k = \overline{1, M}. \quad (18)$$

АЛГОРИТМ ОБЧИСЛЕННЯ ОБСЯГІВ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

Розглянемо алгоритм обчислення обсягів технологічної інформації на виході n -го рівня (підрівня) системи комутації пакетів, створюваної сукупністю технологічних протоколів r -х рівнів (підрівнів) k -х площин (підплощин).

Вихідними даними для обчислення обсягів технологічної інформації є логістичні та архітектурні характеристики (формати пакетів, підрівні (r, n) й підплощини k) використовуваних сукупностей G технологічних протоколів й їх $d_k^{(r)}$ функціональних процедур, а також стеків комунікаційних протоколів.

При обчисленнях обсягів технологічної інформації в алгоритмі (рис. 1) застосовані дві окремі процедури:

- формування за формулою (1) обсягу інформації j -го службового пакета технологічного протоколу r -го рівня (підрівня) k -ї площини (підплощини) системи;
- розрахунок за формулою (3) обсягу інформації в заголовках комунікаційних протоколів в процесі інкапсуляції службових пакетів (див. алгоритм [9]).

У внутрішньому циклі алгоритму за формулами (5)...(9) розглянутої вище математичної моделі обчислюються та накопичуються обсяги інформації для сукупності $d_k^{(r)}$ службових пакетів технологічного протоколу r -го підрівня та на виході n -го підрівня k -ї підплощини системи.

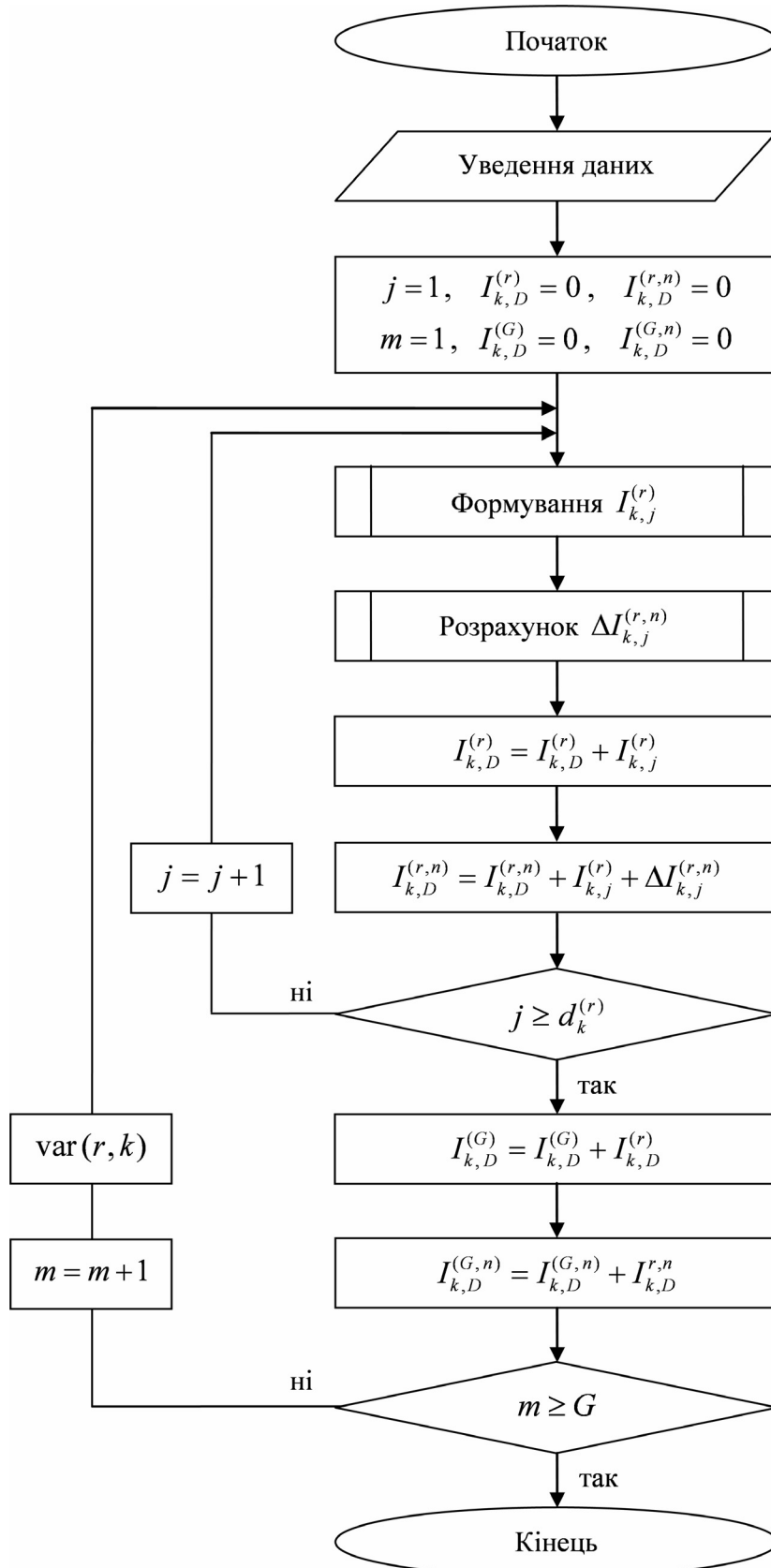


Рисунок 1 – Алгоритм обчислення обсягів технологічної інформації протоколів системи

У зовнішньому циклі алгоритму за формулами (11)...(16) математичної моделі накопичуються обсяги технологічної інформації для сукупності G технологічних протоколів r -х підрівнів та на виході n -го підрівня k -ї підплощини системи.

ВИСНОВКИ

Запропонована математична модель формування та кількісних перетворень технологічної інформації в службових пакетах при взаємодії n -рівневих об'єктів систем комутації пакетів у подальших науково-практичних відшукуваннях за даною тематикою дозволяє:

– виконувати дослідження та порівняльний аналіз технологічних протоколів за інформаційною надлишковістю, пов'язаною з генеруванням технологічної інформації;

– визначати оптимальні стеки протоколів систем за критерієм мінімуму інформаційної надлишковості;

– проводити аналіз та оптимізацію надлишкових навантажень у каналах мереж з комутацією пакетів, які створюються технологічними протоколами.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Information** technology. Open Systems Interconnection. Basic Reference Model. The basic model: ITU-T Recommendation X.200. – ITU-T, 1994.
2. **Воробиєнко П.П.** Концепция обобщенной эталонной модели взаимодействия открытых систем / Воробиєнко П.П. // *Електросвязь*. – 2001. – № 10. – С.14-15.
3. **Шварц М.** Сети связи: протоколы, моделирование и анализ / Шварц М. – М.: Наука, 1992. – Ч. 2. – 272 с.
4. **Телекоммуникационные** системы и сети: учеб. пособ.. В 3 т. – Том 1 – Современные технологии / Б.И. Крук, В.Н. Попантопуло, В.П. Шувалов; под ред. В.П. Шувалова. – Изд. 3-е, испр. и доп. – М.: Горячая линия – Телеком, 2005. – 647 с.
5. **Парамонов А.А.** Методика оценки эффективности информационных систем с использованием технологий открытых систем (на примере сетевой среды банка) [Электронный ресурс]: автореф. дис. на соиск. ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.13.13 “Телекоммуникационные системы и компьютерные сети” / А.А. Парамонов. – М., 2006. – 24 с. – Режим доступа: <http://www.ineum.ru/download/areft.doc>.
6. **Воробиєнко П.П.** Обобщенная математическая модель взаимодействия телекоммуникационных систем / П.П. Воробиєнко, М.И. Струкало // *Електросвязь*. – 2003. – № 11. – С. 44-46.
7. **Воробиєнко П.П.** Обобщенная информационная модель взаимодействия систем инфокоммуникаций / П.П. Воробиєнко, М.И. Струкало // *Електросвязь*. – 2004. – № 6. – С. 24-26.
8. **Воробиєнко П.П.** Перетворювальні функції для математичної моделі затримок даних у системах інфотелекомунікацій / П.П. Воробиєнко, М.І. Струкало, С.М. Струкало // *Наук. пр. ОНАЗ*. – Одеса, 2006. – № 1. – С. 23-29.
9. **Воробиєнко П.П.** Моделирование процессов формирования служебной информации при передаче данных в сетях с коммутацией пакетов / П.П. Воробиєнко, М.И. Струкало, И.Ю. Рожновская, С.М. Струкало // *Наук. пр. ОНАЗ*. – Одеса, 2009. – № 1. – С. 3-12.