

УДК 621.398.96

Лосєв М. О. Державний університет телекомунікацій, Київ

### МОДЕЛЬ КОМБІНОВАНОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ОБРОБКИ ДАНИХ В СУПУТНИКОВІЙ СИСТЕМІ

У статті розглянуті питання та можливості розробки нової математичної моделі функціонування гібридної мережі зв'язку, що дозволяє на основі запропонованих коефіцієнтів поділу потоків визначати затримку даних у гілках наземної мережі і супутниковому каналі в залежності від вхідних інтенсивностей потоків повідомлень, а також імовірність відмов у встановленні з'єднання для мовних викликів. Для забезпечення нормального функціонування гібридних мережах зв'язку створено системи керування мережного рівня еталонної моделі взаємодії відкритих систем, що характеризуються принципами організаційно-технічної побудови.

**Ключові слова:** гібридна мережа зв'язку, вхідні інтенсивності, мережний рівень, відкриті системи, імовірність відмов.

Losiev M. O. State University of Telecommunications, Kyiv

### MODEL OF THE COMBINED INFORMATION TECHNOLOGY OF DATA PROCESSING IN THE SATELLITE SYSTEM

The article deals with the questions and possibilities of developing a new mathematical model of the operation of the hybrid communication network, which allows, based on the proposed flow dividing coefficients, to determine the delay of data in the branches of the terrestrial network and the satellite channel, depending on the incoming intensity of message flows, as well as the probability of failures in the connection installation for voice calls. To ensure the normal functioning of hybrid communication network special systems of management are created, characterized by certain principles of organizational and technical construction and parameters that describe them. In this article, first of all, the network level of management considered in accordance with the reference model of interaction of open systems, that is, the tasks of routing in such networks. The routing algorithm allows you to automatically load, for example, if there are two channels of communication with different or equal bandwidths between the two nodes, as well as minimize the transmission delay of the network, since the paths are initially selected in directions with minimal delay, and then only through the satellite network.

**Keywords:** hybrid communication network, incoming intensities, network layer, open systems, probability of failure.

Лосєв Н. А. Государственный университет телекоммуникаций, Киев

### МОДЕЛЬ КОМБИНИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В СПУТНИКОВОЙ СИСТЕМЕ

В статье рассмотрены вопросы и возможности разработки новой математической модели функционирования гибридной сети связи, позволяющей на основе предложенных коэффициентов разделения потоков определять задержку данных в ветвях наземной сети и спутниковом канале в зависимости от входных интенсивностей потоков сообщений, а также вероятность отказов в установлении соединений для речевых вызовов. Для обеспечения нормального функционирования гибридных сетей связи создана система управления сетевого уровня эталонной модели взаимодействия открытых систем, характеризующихся принципами организационно-технического построения.

**Ключевые слова:** гибридная сеть связи, входящие интенсивности, сетевой уровень, открытые системы, вероятность отказов.

© Лосєв М. О., 2017

**Вступ**

Поряд із загальними закономірностями побудови і функціонування мереж зв'язку будь-якого типу, відомчі (міжвідомчі) мережі зв'язку можуть істотно відрізнятися від мереж загального користування. Це, у першу чергу, обумовлюється специфічними вимогами з боку користувачів послуг відомчих мереж і необхідністю забезпечення функціонування таких мереж в умовах, що істотно відрізняються від повсякденних умов мереж зв'язку загального користування.

Специфіка створення мережі передачі даних в супутниковій системі, а саме включення її до складу, як наземних вузлів комутації пакетів, так і супутникової мережі [1], обумовлює виділення її в особливий клас – гібридних мереж зв'язку (ГМЗ).

Важливе місце в дослідженні складних систем, до яких можна віднести і ГМЗ, займає метод статистичного імітаційного моделювання, що дозволяє імітувати поведінку і взаємодію складної системи з зовнішнім середовищем.

Однак введення в статистичну модель усіх цікавлячих дослідника елементів системи, законів їхнього поведінки і впливу зовнішнього середовища на ці елементи, при виконанні вимог точності, приводить до моделі реалізованої тільки для систем малої розмірності.

У зв'язку з цим у даний час ведеться пошук таких прийомів і методів статистичного моделювання, що дозволили б досліджувати мережі зв'язку великої розмірності з врахуванням всіх основних процесів їхнього функціонування. Перспективним є метод послідовного аналізу мережі, що базується на агрегативних моделях.

**Основна частина**

Розглянемо узагальнену структурну схему моделі [1] (рис. 1), на якій в агрегатно-системному виді представлені її елементи і визначені взаємозв'язки між ними, а також розглянемо поведінку цієї системи при передачі повідомлень. Під повідомленнями ми будемо розуміти або пакети даних, або мовні виклики.

Для передачі повідомлень у моделі комбінованої інформаційної технології обробки даних в супутниковій системі будемо використовувати дейтаграмний режим передачі, цей режим є найбільш ефективним при виникненні на мережі несправностей, або перевантажень окремих напрямків або вузлів зв'язку.

При перевищенні окремим повідомленням максимального розміру пакета, воно розбивається на декілька дейтаграм. Кожна дейтаграма включає у своєму заголовку адресу вузла-джерела і одержувача.

На виходах агрегатів  $A_1$  і  $A_2$ , що відображають роботу зовнішніх джерел пакетів  $a_i$  і  $a_j$  у деякі моменти  $t_i$  виникають пакети  $x_1(a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6)$  і службові пакети підтвердження прийняття повідомлень  $x_2(a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6)$ , де  $a_1$  – номер відправника;  $a_2$  – категорія терміновості;  $a_3$  – час надходження пакета в систему;  $a_4$  – номер одержувача;  $a_5$  – поточний час перебування пакета в системі;  $a_6$  – порядковий номер повідомлення.

Останні генеруються тільки у випадку передачі даних, якщо підтвердження про прийняття повідомлення не надійшло протягом заданого проміжку часу, усі пакети повідомлення передаються повторно.

Агрегат  $F$  відображає дію зовнішнього середовища. Розглядається випадок “пасивного” поведінки середовища, коли середовище не має інформації про слабкі елементи мережі і не здійснює цілеспрямований вплив.

Таке поведінка середовища в моделі будемо інтерпретувати процесами переходу елементів мережі в стани відмови або відновлення. Агрегат  $F$  характеризується вихідним потоком подій (повідомлень)  $q(b_1, b_2, b_3)$ , де  $b_1$  – номер елемента мережі з яким ця подія відбулася;  $b_2$  – ознака події (відмова, відновлення);  $b_3$  – час виникнення події.

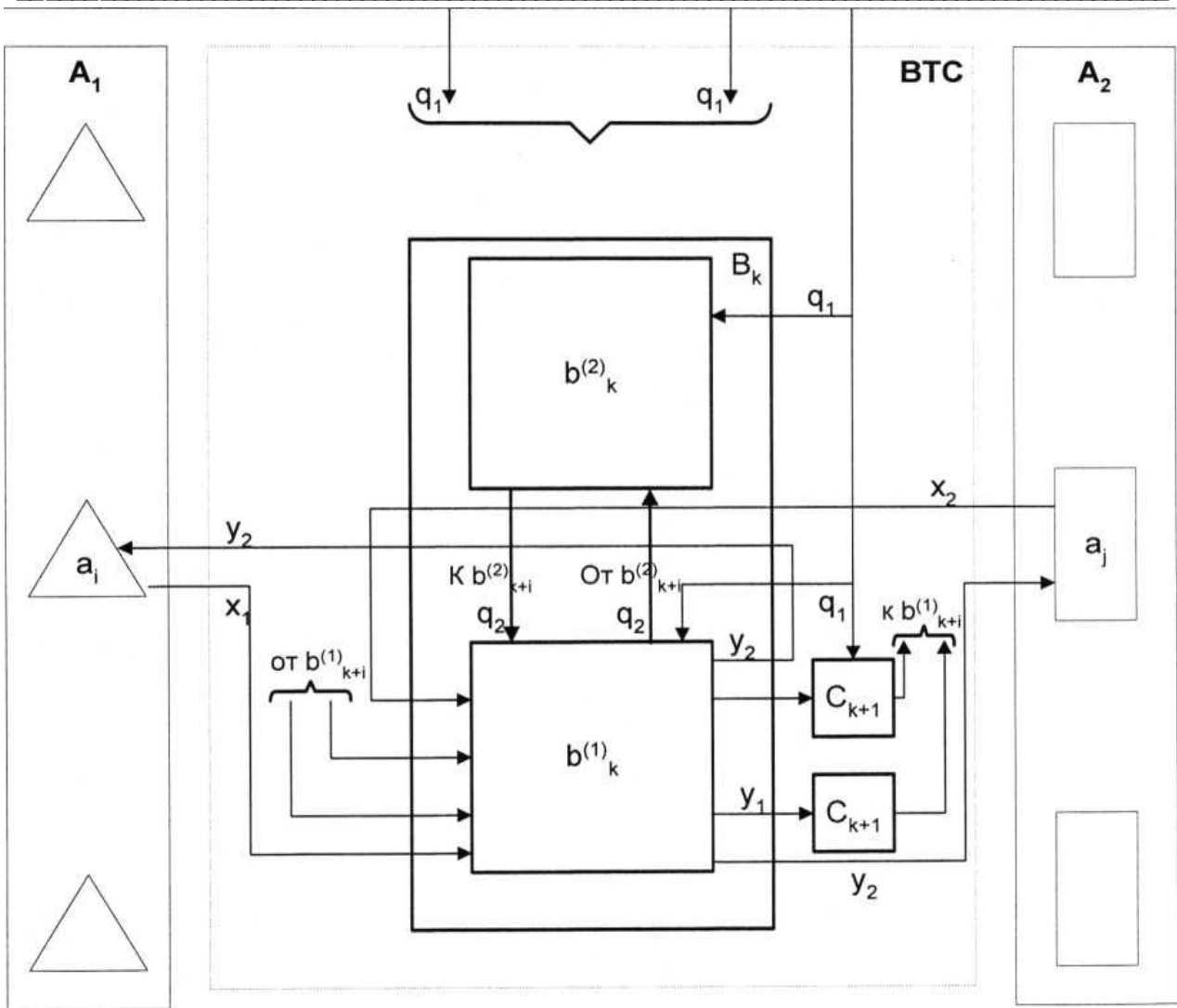


Рис. 1. Структурна схема моделі комбінованої інформаційної технології обробки даних в супутниковій системі

У даній моделі враховано, відповідно до сучасного стану архітектур керування мережам зв'язку [2, 3], що для їхньої передачі використовується ті ж канали зв'язку і центри комутації, що і для всіх інших повідомлень.

В агрегаті  $b^{(1)}_k$  відображені процеси обслуговування  $x_1$ -,  $x_2$ -пакетів, на його виході виникають або пакети  $y_1(a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6)$ , що надходять на входи агрегатів  $C_k$  (відповідно до стану таблиць маршрутизації на момент надходження пакета), або пакети  $y_2(a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6)$ , що направляються прикінцевим агрегатам  $a_i(a_j)$ .

Розглянемо порядок обслуговування  $x_1$ -,  $x_2$ -пакетів в агрегаті  $b^{(1)}_k$ . При надходженні пакета в даний агрегат він записується в пакетний буфер фіксованої довжини, і обслуговується за алгоритмом FIFO (First In First Out), при неможливості обслужити пакет у даний період часу він переміщується в кінець черги.

Якщо ж пакетний буфер цілком заповнений, то у випадку передачі даних даний пакет залишається в буфері прикінцевого вузла, у випадку передачі мовних повідомлень вони скидається мережею.

З керуючого виходу агрегату  $b^{(2)}_k$  на керуючий вхід агрегату  $b^{(1)}_k$  надходять повідомлення  $C_2$ , що змінюють маршрутні таблиці агрегату  $b^{(1)}_k$ , що відображають стан структури мережі.

Таке представлення моделі комбінованої інформаційної технології обробки даних в супутниковій системі дозволяє застосувати метод послідовного дослідження мережі. Так, на весь період моделювання послідовно моделюються наступні умовно-незалежні процеси:

1. формування потоків  $X_1$ -,  $X_2$ -повідомлень, що надходять від абонентів;
2. формування потоків  $Q_1$ -повідомлень;
3. формування таблиць станів структури мережі при передачі  $X_1$ -повідомлень;
4. формування таблиць станів структури мережі при передачі  $X_2$ -повідомлень;
5. передача  $X_1$ -,  $X_2$ -повідомлень з перерозподілом потоків за інформацією переформування таблиць станів структури мережі.

Основними вхідними даними для проведення досліджень є:

1. структура мережі у виді графа, що задається матрицею безпосередніх зв'язків  $L = \|C_{ij}\|_{nn}$ ;
2. план розподілу інформації на мережі у виді вхідних матриць маршрутів: основних  $M_0 = \|m_{ij}\|$ , резервних  $M_p = \|m_{ij}\|$  і допоміжних  $M_b = \|m_{ij}\|$ ;
3. матриця навантаження  $\Delta = \|\lambda_{ij}\|$ , що визначає інтенсивності потоків  $X_1$ -  $X_2$ -повідомлень між абонентами  $a_i$  і  $a_j$ ;
4. характеристики законів розподілу часу обслуговування повідомлень на вузлах мережі;
5. характеристики законів розподілу часу обслуговування повідомлень у каналах зв'язку;
6. характеристики часу видачі  $Q_2$ -повідомлень;
7. припустимий час доставки повідомлення у мережі;
8. реальний час моделювання мережі;
9. характеристики точності моделювання.

Моделювання мережі з використанням описаної моделі дозволяє одержувати наступні характеристики мережі:

1. середній час доставки  $X_1$ -,  $X_2$ -повідомлень до адресатів;
2. розподіл часу доставки  $X_1$ -,  $X_2$ -повідомлень до адресатів;
3. імовірність доставки  $X_1$ -,  $X_2$ -повідомлень за час, що не перевищує припустимий;
4. імовірності втрат пакетів у вузлах і каналах зв'язку.

Таким чином, за допомогою даної моделі ми можемо визначити не тільки середній час доставки пакетів до адресатів, який ми порівнюємо потім з отриманими аналітичними результатами, але й імовірність доставки пакетів за час, що не перевищує припустимий, Що є основним критерієм якості обслуговування для пакетних мереж згідно рекомендацій X.134, X.135, X.136, X.137, X.141.

В яких визначено, що середній час доставки пакетів не повинен перевищувати 0,35 с, а час доставки 95% пакетів у мережі не повинен перевищувати 0,525 с. Таким чином, дана модель є основою побудови експериментальної методики визначення якості обслуговування повідомлень у МПД ЄССП.

Крім того, розглянута імітаційно-статистична модель МПД ЄССП дозволяє робити оцінку впливу різних методів динамічного керування розподілом потоків повідомлень на якість обслуговування повідомлень.

Відмінною рисою даної моделі від раніше запропонованих є те, що в ній враховані наступні особливості:

1. використання для передачі службових повідомлень тих же каналів зв'язку і центрів комутації, що і для всіх інших повідомлень відповідно до сучасних архітектур систем керувань мережами зв'язку [2-5];
2. враховано втрати і затримки службових повідомлень у мережі;
3. враховано використовуваний метод перерозподілу потоків повідомлень у мережі;

4. враховано особливості процесів функціонування вузлів і каналів зв'язку.

Метод послідовного аналізу процесів на мережі зв'язку забезпечує можливість планування процесу реалізації моделі на ЕОМ, а розмірність мережі, що моделюється, обмежується в основному тільки реальним модельним часом.

Моделювання процесів передачі  $X_1$ -,  $X_2$ -повідомлень у мережі з динамічним керуванням є етапом, що дозволяє оцінити вплив досліджуваних характеристик на ефективність функціонування мережі.

Алгоритм моделювання включає опис процесів вибору оптимальних маршрутів пакетів з врахуванням існуючої на мережі ситуації (стану структури мережі) і процесів обслуговування повідомлень в елементах мережі.

Як показує аналіз літератури, у більшості сучасних мереж передачі даних використовується передача повідомлень винятково по найкоротших шляхах, під найкоротший шляхом розуміється мінімальне число транзитів, або шлях з мінімальною величиною затримки, що обчислюються або розподіленним методом (алгоритм Форда-Фалкенсона), або централізованим по повному графу мережі, наприклад за допомогою алгоритму Дійкстра.

Нами запропонований наступний оригінальний підхід. Повідомлення передаються вузлами по найкоротших шляхах, але якщо пакет не може бути обслугований вузлом у даний момент по найкоротшому шляху, наприклад у результаті переповнення буфера передавача/приймача, вузол намагається його передати по наступному найкоротшому шляху і т.д., якщо всі спроби не є успішними, то вибирається шлях через супутникову мережу.

Такий алгоритм маршрутизації дозволяє автоматично робити балансування навантаження, наприклад, якщо між двома вузлами існує два канали зв'язку з різною або рівною пропускною здатністю, а також мінімізувати затримку передачі повідомлень в мережі, тому що спочатку вибираються шляхи в напрямках з мінімальною затримкою, а потім тільки через супутникову мережу.

Для спрощення моделювання мережі всі маршрути для усіх вузлів мережі обчислюються заздалегідь, і зберігаються у виді маршрутних матриць основних ( $M_0$ ), резервних ( $M_r$ ), допоміжних ( $M_v$ ), остання визначає шляхи в супутникову мережу.

Алгоритм моделювання приведений на рис. 2, на якому прийняті наступні позначення:

$M_1$  – масив вхідних у мережу потоку  $X_1$ -,  $X_2$ -повідомлень;

$M_2, M_3, M_4$  – масиви матриць маршрутів  $M_0, M_r, M_v$ ;

$M_5$  – масив таблиць станів структури мережі;

$FN_{nt}, FP_{nt}, FT_{nt}$  – масиви потоку  $Q_2$ -повідомлень;

$N$  – номер фази, що моделюється;

$i$  – порядковий номер повідомлення з  $M_1$ ;

$w_1$  – ознака  $N$ -ї фази в  $i$ -му повідомленні;

$v$  – поточний номер  $W$ ;

$f$  – ознака стану фази (0 – несправна, 1 – справна);

$N_y$  – порядковий номер транзитної фази, що відлічується від фази  $N$ ;

$NP$  – номер напрямку передачі (1 – основний, 2 – резервний, 3 – допоміжний);

$A_y$  – поточний номер фази;

$A_k$  – номер кінцевої фази;

$A^*$  – номер чергової фази одержувача  $X_1$ -,  $X_2$ -повідомлення;

$RM[N_y, 2]$  – робочий масив для запам'ятовування шляху до  $(N_y - 1)$  номера фази;

$RM[1, 1]$  – робочий масив для запам'ятовування обраного шляху передачі в напрямку  $A_y$ ;

$N_M$  – максимальний номер фази.

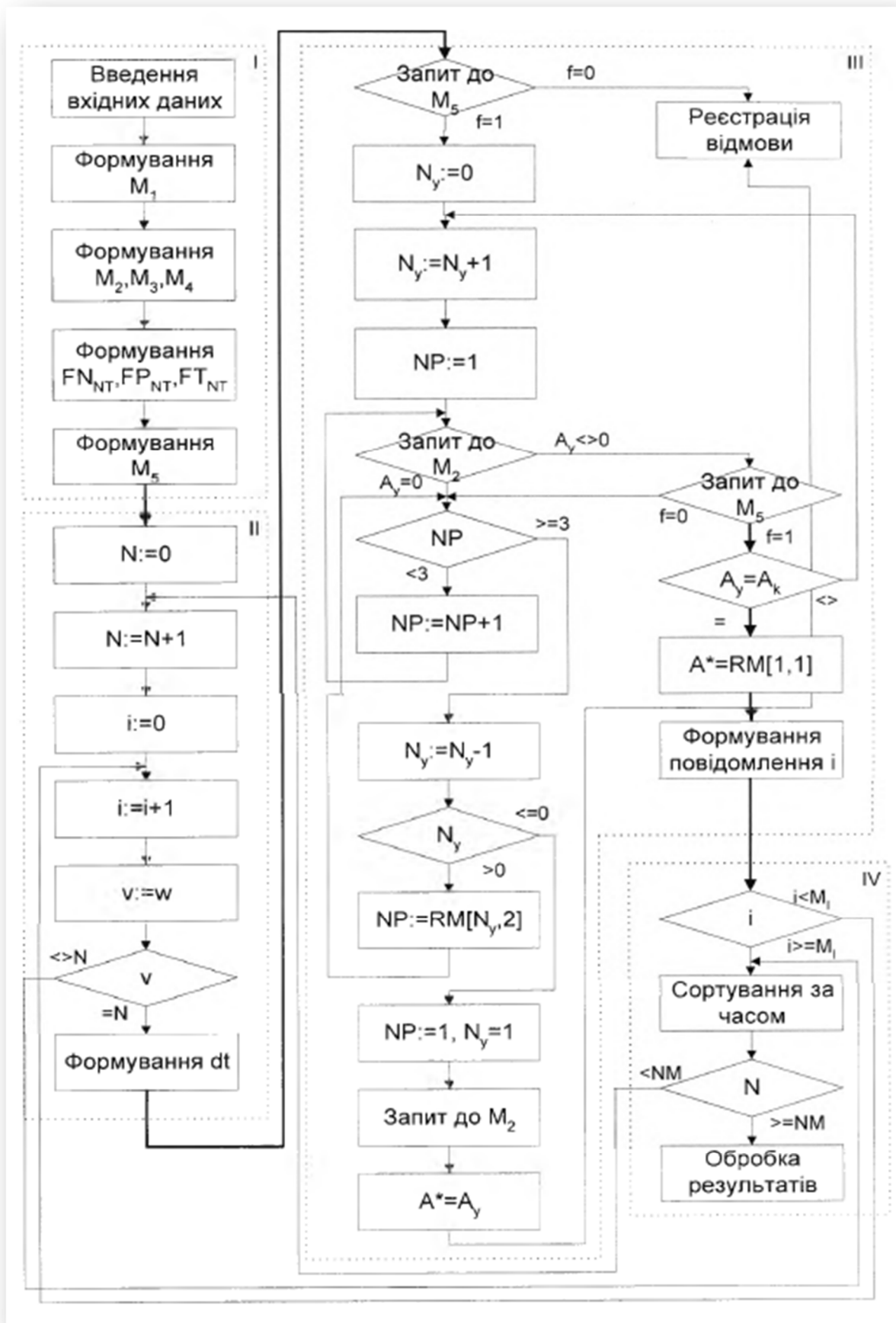


Рис. 2. Алгоритм моделювання процесів передачі  $X_1$ - ,  $X_2$ -повідомлень

Частина I алгоритму описує процеси введення вхідних даних на весь відрізок модельного часу. Вхідними даними для реалізації моделі є матриці  $L$ ,  $M_0$ ,  $M_r$ ,  $M_v$ , масиви потоків  $x_1$ -,  $x_2$ -повідомлень, реальний час моделювання, характеристики точності моделювання.

Частина II алгоритму описує процеси вибору з загального масиву повідомлень, що адресовані даному вузлу, і визначення часу перебування повідомлень у фазі.

Частина III описує процес вибору шляху передачі пакета по мережі і формування повідомлень для видачі в першій на цьому шляху транзитний вузол. Задача пошуку оптимального шляху вирішується в такий спосіб.

Для передачі  $x_1$ -повідомлення від абонента  $a_1$  до абонента  $a_2$  перевіряється наявність у масиві  $M_2$  основного шляху по напрямку  $\{b_1, b_2\}$ . У випадку існування такого шляху проводиться запит до масиву  $M_5$ , за інформацією про стан вузла  $b_2$  на даний момент.

При непрацездатному стані  $b_2$  проводиться звернення до масиву  $M_5$  за даними про наявність резервного шляху  $\{b_1, b_3\}$  або  $\{b_1, b_4\}$  для зв'язку з абонентом  $a_2$ .

При наявності в  $M_3$ , наприклад, шляху  $\{b_1, b_3\}$  знов проводиться запит до масиву  $M_5$  для перевірки стану працездатності шляху.

При непрацездатному стані шляху  $\{b_1, b_3\}$  здійснюється звернення до масиву  $M_4$  і визнається наявність для зв'язку з  $a_2$  допоміжного шляху.

При існуванні допоміжного шляху, наприклад  $\{b_1, b_4\}$ , і одержанні з масиву  $M_5$  зведень про його працездатний стан, проводиться запит до масивів  $M_2$ ,  $M_3$ ,  $M_4$  за даними про наявність шляху з  $b_4$  в  $a_2$ .

При відсутності такого шляху в  $b_1$  фіксується відмовлення на передачу даного повідомлення абонентіві  $a_2$ .

Процес вибору працездатного маршруту може продовжуватися доти, поки прикінцевий відрізок шляху не замкнеться на вузол  $b_1$  з'єднаний з абонентом  $a_1$ . При наявності такого маршруту вузол  $b_1$  видає повідомлення на першій в обраному маршруті вузол, а процес пошуку оптимального шляху передачі повідомлення продовжується на наступному вузлі.

Така шляхова процедура забезпечує безперервне спостереження за змінами ситуації на мережі в процесі передачі повідомлення.

Запропонований алгоритм (рис. 2) дозволяє моделювати ГМЗ з урахуванням процесів функціонування вузлів і каналів зв'язку. Дійсно, частини II і III алгоритму описують роботу фаз моделі, що у залежності від вхідних даних відображають процеси обслуговування повідомлень у вузлі або в каналі зв'язку, при цьому фазам моделі встановлюються наскрізні номери.

### Висновки

Результати моделювання процесів передачі  $x_1$ -,  $x_2$ -повідомлень показують, що при заданій точності моделювання запропонований алгоритм динамічного керування розподілом пакетів дозволяє дуже близько наблизитися до результатів аналітичного рішення задачі оптимальної маршрутизації.

При низькому навантаженню (менше ніж 8 пакетів/с), моделювання дає вже на 30% гірші результати. Це зв'язано з тим, що аналітичне рішення задачі показує, що в цьому випадку всі повідомлення повинні проходити по наземній мережі, у випадку ж запропонованого алгоритму динамічного розподілу повідомлень до 10% пакетів надходить у супутникову мережу, що і викликає збільшення затримки, однак при низьких навантаженнях на мережу, це несуттєво позначається на функціонуванні мережі в цілому.

**Список використаної літератури**

1. Козелкова Е. С. Синтез алгоритмов и структур устройств формирования линейно-частотно модулиро-ванных диаграмм направленности / Е. С. Козелкова // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – Х.: ХУПС. – 2010. – Вип. 4(26). – С. 115-116.
2. Толубко В. Б. Багатокритеріальна оптимізація параметрів програмно-конфігурованих мереж / В. Б. Толубко, Л. Н. Беркман, Л. О. Комарова, Є. В. Орлов // Телекомунікаційні та інформаційні технології. – 2014. – №4. – С. 5-11.
3. Стеклов В. К. Основи управління мережами та послугами телекомунікацій / В. К. Стеклов, Є. В. Кільчицький. – Київ : Техніка, 2002. – 438 с.
4. Вальд А. Последовательный анализ / А. Вальд. – Москва : Физматгиз, 1960. – 606с.
5. Виноградов Н. А. Анализ потенциальных характеристик устройств коммутации и управления сетями новых поколений / Н. А. Виноградов // Зв'язок. – 2004. – №4. – С. 10-17.

**References**

1. Kozelkova E. S. "Synthesis of algorithms and structures of devices for the formation of linearly-frequency-modulated radiation patterns." *Zbirnik naukovykh prac Kharkivskoho Universytety Povitryanykh Syl* 4(26) (2010): 115-116.
2. Tolubko V. B., Berkman L. N., Komarova L. O., V. Orlov Ye. V. "Multycriterial optimization of parameters in program-confirming networks." *Telekomunikatsiini ta informatsiini tekhnolohii* 4 (2014): 5-11.
3. Steklov V. K., Kilchytskyi Ye. V. "The basis of management by telecommunications means and services" *Kyiv: Technika* (2002): 438.
4. Wald A. "Sequential analysis." *Moskva: Fizmatgiz* (1960): 606.
5. Vinogradov N. A. Analysis of the potential characteristics of switching and management devices at new generations networks *Zv'azok* 4 (2004): 10-17.

**Автори статті**

**Лосєв Микола Олександрович** – аспірант кафедри комп'ютерної інженерії, Державний університет телекомунікацій, Київ. Тел. +380 (97) 906 00 96. E-mail: mykola.losev@gmail.com.

**Authors of the article**

**Losiev Mykola Oleksandrovyeh** – postgraduate student of computer sciences department, State University of Telecommunications, Kyiv. Tel: +380 (97) 906 00 96. E-mail: mykola.losev@gmail.com.

Дата надходження  
в редакцію: 19.10.2017 р.

Рецензент:  
доктор технічних наук, професор  
К. С. Козелкова  
*Державний університет телекомунікацій, Київ*