

В.Ю. Бовсуновський, ад'юнкт
Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова
Національного авіаційного університету

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ОБСЛУГОВУВАННЯ ПОВІДОМЛЕНЬ У МЕРЕЖІ “ЕЛЕКТРОННА ПОШТА” З УРАХУВАННЯМ СЕРІЙНОСТІ

(Представлено д.т.н., проф. Манойловим В.П.)

У статті проаналізовано сучасні підходи до моделювання систем зв'язку, особливості функціонування процесу інформаційного обміну за допомогою низькоорбітальних космічних апаратів (НКА) у режимі “електронна пошта” із застосуванням моделей масового обслуговування. Запропоновано математичну модель дисципліни обслуговування повідомлень суміщеною командно-телеметричною радіолінією (СКТРЛ) вітчизняних НКА з урахуванням вимог своєчасності системи військового зв'язку.

Постановка проблеми. При обґрунтуванні системи радіозв'язку військового призначення для забезпечення інформаційного обміну на великі відстані встановлено доцільність використання СКТРЛ вітчизняних НКА для передачі інформації в режимі “електронна пошта” [1]. Проте існуючий процес обслуговування повідомлень бортовою апаратурою радіолінії не враховує вимог своєчасності радіозв'язку.

Враховуючи зазначене, необхідно визначити оптимальний варіант організації процесу передачі повідомлень за допомогою СКТРЛ, провести його моделювання та оцінити ефективність відповідно до обраного критерію.

Аналіз останніх досліджень і публікацій [2–5]. На етапах проектування телекомунікаційних систем часто застосовують різноманітні методи моделювання, які спрямовані на вирішення завдань розробки систем із заданими властивостями, а також аналізу ефективності їх застосування у різних умовах. Широке застосування знаходять математичні моделі, що відображають структурно-функціональну організацію досліджуваних систем і побудовані на основі моделей теорії масового обслуговування, аналіз яких може проводитися аналітичними, числовими, статистичними методами та їх поєднанням.

Аналітичні методи дозволяють розрахувати основні характеристики функціонування систем та одержати цілком адекватне уявлення про властивості відповідних реальних систем за рахунок їх детального аналізу. Результати в аналітичній формі є основою для вибору оптимальних варіантів структурно-функціональної організації системи на етапі синтезу. Недоліки таких методів пов'язані із застосуванням низки припущень при побудові математичних моделей і, у деяких випадках, неможливістю отримати рішення в явному вигляді через їх складність.

Для вирішення широкого спектра завдань, недоступних аналітичним, застосовують числові методи, що дозволяють отримати результат шляхом заміни математичних відношень і операцій числовими.

У разі, коли аналіз математичної моделі навіть числовими методами виявиться не результативним, використовують метод статистичних іспитів. Універсальність даного методу пов'язана із здатністю проведення аналізу систем будь-яких ступенів складності і деталізації. Його основні недоліки пов'язані з трудомісткістю процесу моделювання та можливістю отримання залежностей лише в окремих точках, що не дозволяє повністю розкрити властивості об'єкта.

Таким чином, на етапі попереднього аналізу і проектування процесу ведення інформаційного обміну в режимі “електронна пошта” найбільш доцільно застосувати аналітичні методи аналізу теорії масового обслуговування, за допомогою яких можна з достатньою точністю дослідити основні властивості й закономірності даного процесу в широкому діапазоні зміни параметрів.

Формулювання мети дослідження. Метою статті є розробка математичної моделі процесу обслуговування повідомлень за допомогою НКА в режимі “електронна пошта” з урахуванням своєчасності зв'язку.

Постановка завдання. У загальному випадку своєчасність характеризується ймовірністю вчасної передачі повідомлення системою зв'язку (D_{N_i}):

$$D_{N_i}(T_s \leq \dot{O}_{\dot{E}d}), \quad (1)$$

де T_s – термін перебування повідомлення в системі зв'язку; $\dot{O}_{\dot{E}d}$ – критичний термін перебування повідомлення в системі зв'язку; s – серійність повідомлення.

Під час реалізації радіозв'язку за допомогою НКА загальний час – термін повідомлення в системі зв'язку – визначається сукупністю часткових показників:

$$T_s = T_{jk} + T_{IEA} + T_{CAOB} + T_{\dot{O}} + T_{AAB}, \quad (2)$$

де T_{ix} – тривалість чекання НКА, що визначається з моменту появи повідомлення до найближчого сеансу зв'язку з НКА; T_{iEA} – тривалість передачі повідомлення на НКА; T_{CAOB} – тривалість затримки повідомлення у бортовому запам'ятовуючому пристрої НКА; T_O – час передачі повідомлення терміналу; T_{AAD} – час доставки повідомлення адресату засобами автоматизації.

При застосуванні НКА для проведення сеансів зв'язку у визначений відповідними програмами час, затримка, пов'язана з чеканням його появи у зоні видимості кореспондента T_{ix} , не враховується, а використання засобів автоматизації для доставки інформації визначеному адресату забезпечує $\dot{O}_{AAD} \rightarrow 0$.

Як відомо, система зв'язку “електронна пошта” [1] є мережею з єдиним центром обробки інформації, головною станцією, що забезпечує інформаційний обмін з усіма кореспондентами. Низька продуктивність каналів та сеансний характер радіозв'язку з кореспондентами мережі обумовлює застосування таких систем для обміну незначних за об'ємом повідомлень. Враховуючи нерівномірність розподілу абонентів на земній поверхні, можливим є виникнення випадків функціонування бортової апаратури НКА в режимі перевантажень при одночасному обслуговуванні декількох кореспондентів. У результаті цього можливе збільшення T_{iEA} на величину тривалості чекання наступного сеансу зв'язку із кореспондентом, який надсилає повідомлення.

Топологічні особливості мережі спонукають до виникнення випадків зростання кількості повідомлень у бортовому запам'ятовуючому пристрої, адресованих головній станції терміналу мережі. Неоптимальний розподіл ресурсів бортової апаратури СКТРЛ НКА в умовах зростання черги повідомлень, адресованих головній станції, призводить до можливості затримки найбільш важливих повідомлень, які не є терміновими через відсутність реалізації системи пріоритетів. Це призводить до збільшення часу їх перебування у бортовому запам'ятовуючому пристрої \dot{O}_{CAOB} або T_O на величину тривалості чекання наступного сеансу зв'язку із головною станцією.

Отже, при використанні НКА для забезпечення інформаційного обміну з найбільш віддаленими кореспондентами час доставки визначається групою взаємопов'язаних показників:

$$\dot{O}_s = \dot{O}_{iEA} + \dot{O}_{CAOB} + \dot{O}_O. \quad (3)$$

З метою виконання вимог своєчасності для повідомлень різної важливості необхідно забезпечити зменшення загального часу їх доставки шляхом вибору кращого варіанта процесу обслуговування. У такому випадку критерій своєчасності K_C мережі зв'язку “електронна пошта” матиме такий вигляд:

$$K_C \rightarrow \min(T_{iEA} + T_{CAOB} + T_O). \quad (4)$$

Для вирішення поставленого завдання необхідно побудувати модель процесу інформаційного обміну в режимі “електронна пошта” НКА з урахуванням своєчасності у вигляді аналітичних відношень теорії масового обслуговування. Це дозволить отримати функціональні залежності характеристик системи “електронна пошта” від параметрів та оцінити якість функціонування такої системи, порівняно з існуючою.

Викладення основного матеріалу. Проведений аналіз [6] будови і функціонування бортової апаратури СКТРЛ НКА в режимі “електронна пошта” вказує на ряд особливостей:

- апаратура забезпечує роботу двох каналів (“вверх” і “вниз”), що працюють у напівдуплексному режимі з різними швидкостями інформаційного обміну;
- достатній об'єм бортового запам'ятовуючого пристрою, який за потреби можна збільшити;
- прийом повідомлень від кореспондентів здійснюється у разі наявності вільного каналу зв'язку із НКА;
- передача повідомлень адресата відбувається у пакетному режимі почергово за часом надходження в бортову пам'ять зі швидкістю, що змінюється залежно від якості каналу;
- режим множинного доступу застосовується лише при однаковій номенклатурі даних для групи кореспондентів, що перебувають у зоні одночасної видимості;
- завантаження або передача повідомлення терміналу може відбуватися протягом декількох сеансів зв'язку без повторної передачі раніше коректно прийнятих пакетів, причому час перебування в бортовому запам'ятовуючому пристрої НКА необмежений.

На основі проведеного аналізу встановлено, що існуючий процес інформаційного обміну в режимі “електронна пошта” є стохастичним, лінійним, однорідним та безпріоритетним. Його можна зобразити у вигляді розімкненої одноканальної мережі масового обслуговування, що складається із трьох вузлів (рис. 1): В1, В2 і В3. Перший і третій вузли характеризують роботу радіоканалів (“вверх” і “вниз”) СКТРЛ НКА, які можна віднести до одноканальних систем масового обслуговування без нагромаджувача типу М/М/1/0, другий – виконує функції бортового запам'ятовуючого пристрою і зображений у вигляді сукупності окремих нагромаджувачів, які зберігають повідомлення за принципом належності адресата. Через значну просторову відстань між головною станцією та рештою абонентів мережі його можна

розглядати як джерело вхідних заявок вузла В3.

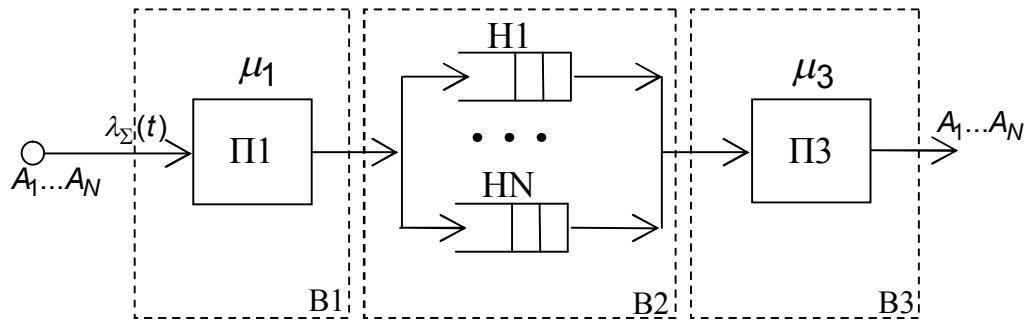


Рис. 1. Структурна схема процесу передачі інформації в режимі “електронна пошта”

У визначений відповідними програмами радіозв’язку час, повідомлення надходять від одного або групи із N кореспондентів у вигляді інтенсивності найпростішого потоку заявок і обслуговуються приладом П1 із інтенсивністю μ_1 . Враховуючи властивість об’єднання найпростіших потоків, отримаємо сумарний нестационарний вхідний потік на вході вузла В1 з урахуванням умов видимості НКА при обслуговуванні одного або двох кореспондентів:

$$\lambda_{\Sigma}(t) = \begin{pmatrix} 0, & t_a + T_a < t < t_a \\ \lambda, & t_a \leq t \leq t_a + T_a, & t_{a+1} - t_a \geq T_a \\ \lambda, & t_a \leq t < t_{a+1}, & t_{a+1} - t_a < T_a \\ \lambda, & t_a + T_a < t \leq t_{a+1} + T_{a+1}, & t_{a+1} - t_a < T_a \\ 2\lambda, & t_{a+1} \leq t \leq t_a + T_a, & t_{a+1} - t_a < T_a \end{pmatrix}, \quad (5)$$

де $a = \overline{1, N}$ – номер кореспондента мережі, який визначається за планом використання НКА; t_a – час початку сеансу зв’язку НКА із визначеним абонентом; T_a – очікувана тривалість передачі повідомлення за сеанс зв’язку за умови, що відбувається обслуговування одного кореспондента; λ – інтенсивність вхідного потоку заявок кореспондента.

Перевантаження в системі відбуваються за умови:

$$t_{a+1} - t_a < T_a. \quad (6)$$

У такому випадку тривалості передачі повідомлень T_a і T_{a+1} збільшаться до величини T'_a і T'_{a+1} відповідно:

$$\begin{aligned} T'_a &= T_a + \Delta T, \\ T'_{a+1} &= T_{a+1} + \Delta T. \end{aligned} \quad (7)$$

Оскільки ймовірнісні характеристики для СМО типу М/М/1/0 відомі, то приріст ΔT можна отримати таким чином:

$$\Delta T = \frac{K_a - \lambda_{\Sigma}(t_a, t_a + (t_{a+1} - t_a)) \cdot \rho_0(t_a, t_a + (t_{a+1} - t_a)) (t_{a+1} - t_a)}{0.5 \cdot \lambda_{\Sigma}(t_{a+1}, t_a + T_a) \cdot \rho_0(t_{a+1}, t_a + T_a)} - ((t_a + T_a) - t_{a+1}), \quad (8)$$

де K_a – загальна кількість заявок, які характеризують об’єм повідомлення, сформованого кореспондентом; $\rho_0(t)$ – імовірність того, що канал вільний від обслуговування заявок.

Враховуючи, що дані про тривалість сеансів зв’язку НКА з кожним із абонентів T_{N_a} відомі, то з урахуванням (7) і (8) у режимі перевантажень можлива поява таких ситуацій:

$$T'_a > T_{N_a}; \quad (9)$$

$$T'_{a+1} > T_{a+1}. \quad (10)$$

У разі виникнення ситуації (9) або (10) повне завантаження повідомлення у вузол В2 в даний сеанс зв’язку не відбудеться, а загальний час передачі повідомлення НКА збільшиться на величину тривалості чекання наступного сеансу зв’язку із НКА за умови, що решта заявок повідомлення будуть завантажені під час наступного сеансу.

При появі випадків (9) і (10) жодне з повідомлень не буде завантажено повністю, а тривалість передачі повідомлення НКА значно збільшиться:

$$T_{IEA} \approx T_{ix_a} \text{ при } T_{ix_a} \gg T'_a. \quad (11)$$

Отже, в умовах перевантажень спостерігається ситуація збільшення загального часу доставки повідомлень через затримки, які виникають у вузлі В1, відповідно до існуючої дисципліни обслуговування приладу П1. Крім того, відсутні можливості першочергової доставки більш важливих повідомлень. Саме тому процес інформаційного обміну в даному вузлі не враховує вимог своєчасності зв'язку (4).

Аналіз функціонування вузла В3 визначає можливість виникнення перевантажень, пов'язаних із появою значної кількості інформації, адресованої головному терміналу в умовах, коли СКТРЛ виконує основні функції управління НКА та вимірювання його навігаційних параметрів:

$$T_T \approx T_{ix_a} \text{ при } \sum_a K_a > k T_a \lambda_{B3}(t) \rho_0(t), \quad (12)$$

де k – коефіцієнт втрат пропускної здатності СКТРЛ при виконанні основних функцій; $\lambda_{B3}(t)$ – інтенсивність потоку заявок на вході третього вузла.

Це призводить до випадків затримки більш важливих повідомлень (12) і, як результат, до невиконання вимог своєчасності зв'язку (4).

Таким чином, дисципліна обслуговування приладів П1 і П3 не відповідає вимогам своєчасності. Це може призвести до значних затримок найбільш важливих повідомлень у бортовому запам'ятовуючому пристрої.

Завдання усунення невідповідностей між пропускною здатністю мережі зв'язку та потребами у передачі значної кількості інформації потребує додаткового використання можливостей пріоритетного обслуговування пакетів [3].

Існує значна кількість підходів до класифікації дисциплін обслуговування з пріоритетами, які сформовані на основі відповідних класифікаційних ознак: можливість зміни пріоритету, призупинення обслуговування та місце призначення пріоритетів даної дисципліни обслуговування.

Найбільше поширення у даний час знайшли дисципліни з абсолютними та відносними пріоритетами, оскільки вони прості в реалізації та досить ефективні.

Недоліком застосування дисципліни обслуговування з відносним пріоритетом, у разі значного завантаження мережі, є значний час чекання обслуговування пакетів високого пріоритету.

Застосування абсолютного пріоритету дозволяє досягти мінімального часу чекання обслуговування пакетів вищих категорій терміновості шляхом його збільшення для решти категорій. Недоліком такої дисципліни є зростання кількості пакетів, які потребують дообслуговування або повторного обслуговування, що збільшує завантаженість мережі.

Для дисципліни зі змішаними абсолютно-відносними пріоритетами характерні недоліки обох попередньо розглянутих дисциплін, а безперечною її перевагою є гнучкість управління чергами пакетів. Умови дозволу переривань можуть бути задані у вигляді матриць, елементи яких визначаються кількістю прийнятих пріоритетів.

Більш складними щодо реалізації є дисципліни обслуговування зі зміною пріоритетів, яка може відбуватися лінійно або експоненціально. Значення пріоритету пакета може бути зображене функцією тривалості перебування повідомлення у мережі, допустимого часу обслуговування або певної кількості пройдених вузлів зв'язку.

Ефективність застосування різноманітних пріоритетних дисциплін залежить від довжини пакетів, інтенсивностей їх надходження, завантаженості каналу та кількості пріоритетних рівнів.

Проведений аналіз процесу передачі інформації за допомогою СКТРЛ НКА в режимі "електронної пошти" свідчить про можливість затримки пакетів вищих категорій терміновості через значну розмірність масивів даних, що забезпечують функціонування режиму "електронна пошта", особливо тих, які сформовані бортовим цифровим обчислювальним комплексом. Масиви, які приймаються бортовою апаратурою НКА, можуть мати різну кількість пакетів залежно від завантаженості радіолінії, що забезпечує найменший час чекання.

У системах передачі даних, як правило, застосовують від п'яти до восьми пріоритетних рівнів для кожної із розглянутих дисциплін обслуговування. Зменшення їх кількості не дозволяє повністю використовувати можливості пріоритетної обробки, а збільшення призводить до ускладнення механізму при незначному вираші у пропускній здатності.

Таким чином, застосування дисципліни обслуговування за принципом абсолютного пріоритету з 5-ма пріоритетними рівнями у процесі інформаційного обміну є доцільним, незважаючи на збільшення завантаженості мережі, обчислювальних витрат бортового обчислювального комплексу та оперативної пам'яті НКА, через короткотривалий характер сеансів зв'язку із кореспондентами, наявність значних перерв між ними, а також жорсткі вимоги до своєчасності доставки повідомлень вищих категорій терміновості відповідно до встановленої у ЗС України серійності повідомлень.

Параметризація моделі. Математична формалізація такої мережі суттєво спрощується при застосуванні безперервних ланцюгів Маркова і введенні таких обмежень:

- накопичувачі заявок мають необмежену ємність;
- заявки різних класів формують найпростіші потоки зі щільністю λ_i , $\lambda = \overline{1,5}$ відповідно до визначеної серійності повідомлень;
- тривалості обслуговування заявок розподілені за експоненціальним законом і не залежать одна від одної;
- обслуговуючі пристрої не простоюють під час ведення інформаційного обміну;
- у разі застосування абсолютного пріоритету обслуговування заявки нижчого пріоритету припиняється вищою і вона повертається в нагромаджувач.

Синтез моделі. Оскільки визначено, що процес обслуговування заявок в обох вузлах повинен реалізовувати принцип абсолютного пріоритету, то його функціонування можливо описати за допомогою графа зображеного на рисунку 2.

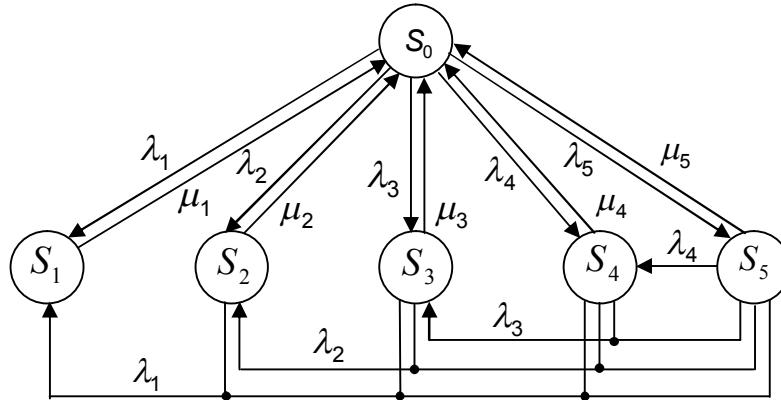


Рис. 2. Граф станів процесу обслуговування заявок приладами П1 і П2 з абсолютним пріоритетом

Для опису станів марковських процесів, які протікають у вузлах, що розглядаються, можна застосувати наявність чи відсутність заявки на вході приладу та її серійність. Відповідно до цього кожен із зазначених приладів перебуватиме в одному із перелічених станів:

S_0 – заявки відсутні, прилад вільний від обслуговування;

S_i – у приладі присутня 1 заявка категорії i категорії серійності.

Зазначені стани системи характеризуються ймовірностями, які є функціями часу $p_i(t)$.

Графу, зображеному на рисунку 2, відповідає система лінійних однорідних диференціальних рівнянь Колмогорова для безперервних марковських ланцюгів:

$$\begin{cases}
 \frac{dp_0(t)}{dt} = \left(- \sum_{i=1}^5 \lambda_i(t) \right) p_0(t) + \sum_{i=1}^5 \mu_i p_i(t); \\
 \frac{dp_1(t)}{dt} = \lambda_1(t) p_0(t) - \mu_1 p_1(t) + \lambda_1(t) \sum_{i=2}^5 p_i(t); \\
 \frac{dp_2(t)}{dt} = \lambda_2(t) p_0(t) - (\lambda_1(t) + \mu_2) p_2(t) + \lambda_2(t) \sum_{i=3}^5 p_i(t); \\
 \frac{dp_3(t)}{dt} = \lambda_3(t) p_0(t) - (\lambda_1(t) + \lambda_2(t) + \mu_3) p_3(t) + \lambda_3(t) (p_4(t) + p_5(t)); \\
 \frac{dp_4(t)}{dt} = \lambda_4(t) p_0(t) - \left(\sum_{i=1}^3 \lambda_i(t) + \mu_4 \right) p_4(t) + \lambda_4(t) p_5(t); \\
 \frac{dp_5(t)}{dt} = \lambda_5(t) p_0(t) - \left(\sum_{i=1}^4 \lambda_i(t) + \mu_5 \right) p_5(t); \\
 \sum_{i=0}^5 p_i(t) = 1.
 \end{cases} \tag{13}$$

Оскільки в початковий момент часу система вільна від обслуговування повідомлень і перебуває у стані S_0 , то:

$$\begin{aligned}
 p_0(0) &= 1, \\
 p_1(0) &= p_2(0) = p_3(0) = p_4(0) = p_5(0) = 0.
 \end{aligned} \tag{14}$$

У результаті розв'язання системи рівнянь (13) при відомих початкових умовах (14) отримано такі розв'язки:

$$\begin{aligned}
 p_1(t) &= \tilde{N}_1 \left(1 - e^{-(\lambda_1 + \mu_1)t} \right), C_1 = \frac{\lambda_1}{\lambda_1 + \mu_1}; \\
 p_2(t) &= C_2 \left(1 - e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_2)t} \right), C_2 = \frac{\lambda_2(C_1 + 1)}{\lambda_1 + \lambda_2 + \mu_2}; \\
 p_3(t) &= \tilde{N}_3 \left(1 - e^{-\left(\sum_{s=1}^3 \lambda_s + \mu_3 \right)t} \right), C_3 = \frac{\lambda_3(C_1 + C_2 + 1)}{\sum_{s=1}^3 \lambda_s + \mu_3}; \\
 p_4(t) &= \tilde{N}_4 \left(1 - e^{-\left(\sum_{s=1}^4 \lambda_s + \mu_4 \right)t} \right), C_4 = \frac{\lambda_4 \left(\sum_{s=1}^3 C_s + 1 \right)}{\sum_{s=1}^4 \lambda_s + \mu_4}; \\
 p_5(t) &= \tilde{N}_5 \left(1 - e^{-\left(\sum_{s=1}^5 \lambda_s + \mu_5 \right)t} \right), C_5 = \frac{\lambda_5 \left(\sum_{s=1}^4 C_s + 1 \right)}{\sum_{s=1}^5 \lambda_s + \mu_5}; \\
 p_0(t) &= C_0 \left(1 - e^{-\left(\sum_{s=1}^5 \lambda_s + \mu_5 \right)t} \right) + 1 - C_0, C_0 = 1 + \frac{\sum_{s=1}^5 \mu_s C_s}{\sum_{s=1}^5 \lambda_s}.
 \end{aligned} \tag{15}$$

Оскільки на певних відрізках часу інтенсивність вхідного потоку $\lambda_\Sigma(t)$ можна вважати стаціонарною, то у цьому випадку ймовірності перебування у будь-якому із станів перестають залежати від часу, встановлюється граничний стаціонарний режим:

$$p_0(t) = p_0 = \tilde{N}_0, p_1(t) = p_1 = \tilde{N}_1, \dots, p_5(t) = p_5 = \tilde{N}_5. \tag{16}$$

Для оцінювання ефективності запропонованої дисципліни обслуговування заявок у вузлах В1 та В3 щодо існуючої необхідно розглянути показники обслуговування СМО, за допомогою яких описують функціонування зазначених вузлів (табл. 1).

Таблиця 1

Основні показники ефективності функціонування вузлів В1 і В3

Показники ефективності	СМО з відмовами	СМО з абсолютним пріоритетом
Ймовірність відмови	$p_{a^*a} = \frac{\lambda_\Sigma}{\lambda_\Sigma + \mu}$	$p_{a^*a1} = p_1$ $p_{a^*a2} = p_1 + p_2$ $p_{a^*a3} = p_1 + p_2 + p_3$ $p_{a^*a4} = p_1 + p_2 + p_3 + p_4$ $p_{a^*a5} = p_1 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5$
Ймовірність обслуговування	$p_{i\hat{a}\hat{n}1} = (1 - p_{a^*a}) / 5$ $p_{i\hat{a}\hat{n}2} = (1 - p_{a^*a}) / 5$ $p_{i\hat{a}\hat{n}3} = (1 - p_{a^*a}) / 5$ $p_{i\hat{a}\hat{n}4} = (1 - p_{a^*a}) / 5$ $p_{i\hat{a}\hat{n}5} = (1 - p_{a^*a}) / 5$	$p_{i\hat{a}\hat{n}1} = p_0 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5$ $p_{i\hat{a}\hat{n}2} = p_0 + p_3 + p_4 + p_5$ $p_{i\hat{a}\hat{n}3} = p_0 + p_4 + p_5$ $p_{i\hat{a}\hat{n}4} = p_0 + p_5$ $p_{i\hat{a}\hat{n}5} = p_0$
Відносна пропускна здатність	$q_1 = p_{i\hat{a}\hat{n}1} = (1 - p_{a^*a}) / 5$ $q_2 = p_{i\hat{a}\hat{n}2} = (1 - p_{a^*a}) / 5$ $q_3 = p_{i\hat{a}\hat{n}3} = (1 - p_{a^*a}) / 5$ $q_4 = p_{i\hat{a}\hat{n}4} = (1 - p_{a^*a}) / 5$ $q_5 = p_{i\hat{a}\hat{n}5} = (1 - p_{a^*a}) / 5$	$q_1 = p_{i\hat{a}\hat{n}1} = p_0 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5$ $q_2 = p_{i\hat{a}\hat{n}2} = p_0 + p_3 + p_4 + p_5$ $q_3 = p_{i\hat{a}\hat{n}3} = p_0 + p_4 + p_5$ $q_4 = p_{i\hat{a}\hat{n}4} = p_0 + p_5$ $q_5 = p_{i\hat{a}\hat{n}5} = p_0$
Абсолютна пропускна здатність	$A_1 = \lambda_1 q_1 = \lambda_1 (1 - p_{a^*a}) / 5$	$A_1 = \lambda_1 q_1 = \lambda_1 (p_0 + p_2 + p_3 + p_4 + p_5)$

	$A_2 = \lambda_2 q_2 = \lambda_2 (1 - p_{a^*a}) / 5$	$A_2 = \lambda_2 q_2 = \lambda_2 (p_0 + p_3 + p_4 + p_5)$
	$A_3 = \lambda_3 q_3 = \lambda_3 (1 - p_{a^*a}) / 5$	$A_3 = \lambda_3 q_3 = \lambda_3 (p_0 + p_4 + p_5)$
	$A_4 = \lambda_4 q_4 = \lambda_4 (1 - p_{a^*a}) / 5$	$A_4 = \lambda_4 q_4 = \lambda_4 (p_0 + p_5)$
	$A_5 = \lambda_5 q_5 = \lambda_5 (1 - p_{a^*a}) / 5$	$A_5 = \lambda_5 q_5 = \lambda_5 p_0$

На основі співвідношень наведених у таблиці 1 та (5–13), для зазначених вузлів проведено моделювання процесу інформаційного обміну за допомогою СКТРЛ НКА в режимі перевантажень із використанням існуючої та запропонованої дисципліни обслуговування для повідомлень різної серійності, які подані неоднорідним потоком заявок [3].

Вихідні дані:

- часові параметри зв'язку НКА Egiptsat-1;
- 1 заявка відповідає 1 байту інформації;
- інтенсивності вхідного потоку $\lambda = 1222$ та обслуговування заявок приладом П1 $\mu_1 = 1222$ відповідно до інформаційної швидкості радіоканалу “вверх” СКТРЛ НКА;
- інтенсивність обслуговування приладу П3 $\mu_1 = 15364$ з урахуванням інформаційної швидкості радіоканалу “вниз” СКТРЛ НКА;
- об'єм повідомлень, які циркулюють у такій системі становить 40 Кбайт.

При моделюванні процесів, що відбуваються у вузлах В1 та В3 під час обслуговування повідомлень різної серійності, які одночасно надходять від двох кореспондентів із застосуванням розглянутих вище дисциплін, отримано результати часу їх обслуговування (рис. 3): за умов відсутності пріоритету – чорним кольором; при використанні абсолютного пріоритету – білим. При цьому очікуваний час обслуговування для кожного з повідомлень за відсутності перевантажень становить 200 с.

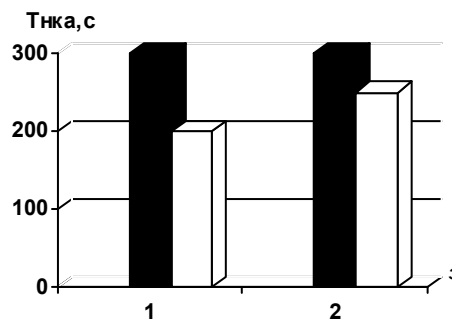


Рис. 3. Діаграми залежності тривалості доставки повідомлень різної серійності на НКА від дисципліни обслуговування заявок вузлом В1

Таким чином, у разі використання абсолютного пріоритету обслуговування заявок при збільшенні інтенсивності вхідного потоку заявок спостерігається зростання пропускної здатності радіоліній НКА. При цьому повідомлення вищих категорій серійності можуть бути прийняті вчасно без потреби завантаження в наступний сеанс зв'язку за рахунок збільшення часу обслуговування повідомлень нижчих категорій.

У свою чергу, тривалість режиму перевантажень впливає на час обслуговування повідомлень (рис. 4), що повинно бути враховано при плануванні застосування НКА для забезпечення інформаційного обміну.

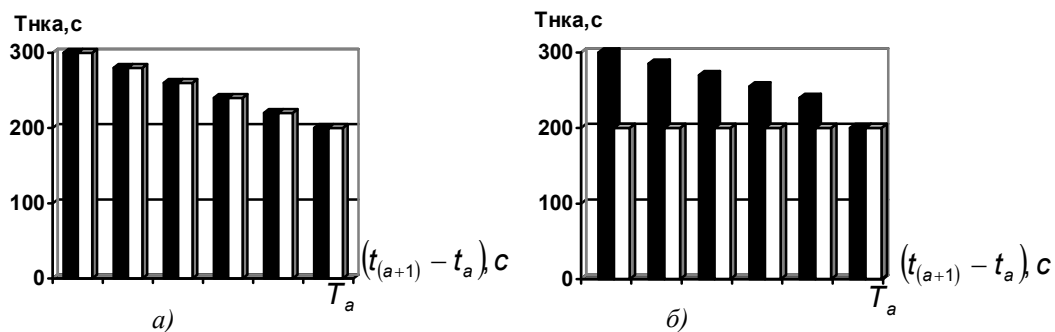


Рис. 4. Залежність тривалості сеансів інформаційного обміну кореспондент–НКА від дисципліни обслуговування в умовах перевантажень: а – без пріоритету; б – з абсолютним пріоритетом

При застосуванні існуючої дисципліни обслуговування процесу передачі повідомлень бортовою апаратурою спостерігається ситуація збільшення часу доставки, незважаючи на їх серійність (рис. 4, а), що не відповідає вимогам своєчасності, оскільки до повідомлень вищих категорій ставляться досить жорсткі умови щодо часу доставки. Аналіз використання моделі дисципліни обслуговування з абсолютним пріоритетом (рис. 4, б) у режимі перевантажень вказує на зменшення часу доставки повідомлень вищих категорій серійності та створення передумов їх вчасної доставки адресату.

Висновок. Застосування запропонованої моделі дисципліни для забезпечення інформаційного обміну із кореспондентами мережі “електронна пошта” дозволить мінімізувати часові витрати на обслуговування повідомлень, створити передумови для вчасної їх доставки за рахунок реалізації абсолютного пріоритету обслуговування заявок відповідно до існуючої системи серійності повідомлень у ЗС України. На основі запропонованого підходу можна підвищити ефективність застосування таких систем зв’язку.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Обґрунтування підходу до забезпечення радіозв’язку військового призначення на великі відстані / В.А. Шуренок, І.І. Опанасюк, В.І. Коріненко, В.Ю. Бовсунівський // Проблеми створення, випробовування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем : зб. наук. праць. – Житомир : ЖВІ НАУ. – 2011. – № 1. – С. 22–28.
2. Клейнрок Л. Теория массового обслуживания : пер. с англ. / Л.Клейнрок. – М. : Машиностроение, 1979. – 432 с.
3. Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями : пер. с англ. / Л.Клейнрок. – М. : Мир, 1979. – 600 с.
4. Климов Г.П. Стохастические системы обслуживания / Г.П. Климов. – М. : Наука, 1966. – 243 с.
5. Бертсекас Д. Сети передачи данных / Д.Бертсекас, Р.Галлагер. – М. : Мир, 1989. – 544 с.
6. Комплексы управления космическими аппаратами [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.niiri.com.ua>.

БОВСУНОВСЬКИЙ Віктор Юрійович – ад’юнкт науково-організаційного відділення Житомирського військового інституту ім. С.П. Корольова Національного авіаційного університету.

Наукові інтереси:

– системи передачі даних декаметрового та космічного радіозв’язку.

Тел.: (067)324–82–13.

E-mail: victor_bovsun@mail.ru

Подано 11.08.2011