

Сложив все уравнения системы (6), разложенные в ряд до  $\epsilon^4$ , и подставив туда разложение (7), получим обыкновенное дифференциальное уравнение для неизвестной функции  $\Pi(x)$ :

$$\kappa_1 \frac{d\Pi(x)}{dx} + \kappa_2 \frac{d^2\Pi(x)}{dx^2} = 0,$$

где  $\kappa_1 = (\eta + \gamma)(2S + (g - S) + Sg\mu_1)$ ,

$$\kappa_2 = (1 - g\gamma)(2 + 2S + \mu_1 + \frac{1}{2}S\mu_1 + 2S^2 + S^2g\mu_2 + (g - S)\left[\frac{1}{2} + 2S + (g - S) + Sg\mu_1 + S\mu_1\right]),$$

$$\gamma = \int_0^\infty e^{-st} B(t) dt, \quad \mu_1 = \int_0^\infty (1 - A(t)) dt,$$

$$\eta = \int_0^\infty t e^{-st} B(t) dt, \quad \mu_2 = \int_0^\infty \frac{t^2}{2} dA(t).$$

Обозначив  $a = \kappa_2 / \kappa_1$ , (8)

запишем решение этого уравнения:

$$\Pi(x) = Cr_k \exp\left\{-\frac{x}{a}\right\}.$$

Обозначим  $\Pi(x) = \Pi_0(x) + \Pi_1(x) + \Pi_2(x)$ . Используя условие нормировки  $\int_0^\infty \Pi(x) dx = 1$ , получим

$$\Pi(x) = \frac{r_k}{a} \exp\left\{-\frac{x}{a}\right\}. \text{ Теорема доказана.}$$

Выпишем основные полученные результаты.

1. Пропускная способность  $S$  сети связи, управляемой адаптивным протоколом случайного множественного доступа с бесконечным числом узлов, равна

$$S = \frac{g^2 \gamma}{2 + \mu_1 g - g\gamma - \mu_1 g^2 \gamma},$$

где  $g$  определяется по формуле

$$g = \frac{\left(\frac{\beta}{\alpha} + \gamma - \mu_1\right) - \sqrt{\left(\mu_1 - \gamma - \frac{\beta}{\alpha}\right)^2 + 8\gamma\left(\mu_1 - \frac{\beta}{\alpha}\right)}}{2\left(\frac{\beta}{\alpha} - \gamma - \mu_1\right)}.$$

2. Асимптотическая плотность распределения вероятностей для сети связи, управляемой адаптивным протоколом случайного множественного доступа с бесконечным числом узлов, равна

$$\Pi(x) = \frac{r_k}{a} \exp\left\{-\frac{x}{a}\right\}.$$

Переходом от адаптивного протокола к динамическому удалось получить асимптотическую плотность распределения вероятностей состояний системы, определяемых вектором  $(k, i)$  для сети связи с адаптивным протоколом случайного множественного доступа. Описанным здесь методом можно получить совместное асимптотическое распределение вероятностей состояний  $(k, i, T)$ , но это выходит за рамки данной работы.

### Заключение

Исследован адаптивный протокол случайного множественного доступа с оповещением о конфликте. Для сети связи с бесконечным числом абонентских станций найдено асимптотическое распределение вероятностей состояний системы. Определена величина пропускной способности  $S$ .

### ЛИТЕРАТУРА

1. Бертсекас Д., Галлагер Р. Сети передачи данных. М.: Мир, 1989.
2. Назаров А.А., Юревич Н.М. Исследование явления бистабильности в сети с протоколом Алоха для конечного числа станций // Автоматика и телемеханика. 1996. № 9. С.91–100.
3. Фалин Г.И. О неустойчивости сети Алоха // Проблемы передачи информации. 1990. № 1. С. 79–82.
4. Назаров А.А. Асимптотический анализ марковизуемых систем. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1991.

Статья представлена кафедрой теории вероятностей и математической статистики факультета прикладной математики и кибернетики Томского государственного университета, поступила в научную редакцию 15 февраля 2000 г.

УДК 519.872

А.А. Назаров, Е.Л. Туренова

## ИССЛЕДОВАНИЕ НЕМАРКОВСКОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕМЕНТА СЕТИ С ПРОТОКОЛОМ КАНАЛЬНОГО УРОВНЯ HDLC

Рассматривается протокол сети коммутации пакетов, при котором передача осуществляется полными эшелонами фиксированной длины. Аналитическое исследование проводилось для рекуррентного обслуживания и двух дисциплин повторной передачи: групповой и селективной. Эта статья продолжает исследования, начатые в [1], где рассмотрена аналогичная задача по исследованию марковской модели. В [1] предполагается, что время передачи эшелона кадров экспоненциальное. Естественно, более адекватной является модель с неэкспоненциальным временем передачи эшелона. Именно эту модель мы и будем исследовать.

Рассмотрим функционирование элемента сети связи с протоколом HDLC [2], состоящего из двух станций – первичной и вторичной. Предполагается, что кадры передаются эшелонами по  $n$  штук. На первичной станции при передаче эшелона остается его копия. Вторичная станция, получив эшелон, определяет, какие кадры переданы успешно, и передает первичной станции квитанцию о результате передачи. Первичная станция формирует новый эшелон из кадров, переданных с ошибками,

дополняя их вновь поступившими. Как только эшелон сформирован, все действия повторяются.

Задачу анализа сети передачи данных сведем к построению и исследованию математической модели в виде системы массового обслуживания (СМО) с одним обслуживающим прибором, простейшим входящим потоком с параметром  $\lambda$ , рекуррентным обслуживанием и некоторым распределением числа заявок для повторного обслуживания. Введем обо-

значения:  $i$  – число заявок в системе;  $m$  – длина эшелона;  $q(k)$  – вероятность того, что  $k$  заявок из эшелона требуют повторного обслуживания,  $0 \leq k \leq m$ .

Построенную СМО исследуем для двух дисциплин повторной передачи.

1. Групповая повторная передача. В этом случае предполагается, что во время передачи эшелона заявки анализируются по одной. При обнаружении заявки, требующей повторной передачи, вся оставшаяся группа эшелона, включая заявки без искажений, вновь возвращается на обслуживание. Пусть  $p$  – вероятность того, что заявка передана успешно, тогда  $q(k) = p^k(1-p)$ ,  $k = 0, \dots, m-1$ ,  $q(m) = p^m$ , где  $q(m)$  – вероятность передачи всего эшелона без искажений.

2. Селективная повторная передача. При селективной дисциплине для повторной передачи возвращаются только те заявки, которые переданы с искажением, т.е. каждая заявка с вероятностью  $p$  обслуживается успешно, а с вероятностью  $(1-p)$  возвращается на повторное обслуживание. Тогда  $q(k) = c_m^k p^k \times (1-p)^{m-k}$ , где  $c_m^k = m! / k!(m-k)!$ .

Функция распределения суммарной длительности обслуживания  $B(x)$  складывается из времени, необходимого на непосредственное обслуживание эшелона, и времени, потраченного на передачу квитации.

Изменение во времени числа заявок в системе  $i(t)$  немарковское. Введем величину  $z(t)$ , равную длине интервала от момента  $t$  до момента окончания обслуживания, если  $i(t) \geq m$ . Если в момент  $t$  отсутствует передача эшелона, то  $z(t)$  не определяется. Случайный процесс  $(i(t), z(t))$  с переменным числом компонент является марковским, и для распределения  $P(i, z, t) = P[i(t) = i, z(t) = z]$  можно записать систему уравнений (1)–(4):

$$P(i, t + \Delta t) = \lambda \Delta t P(i-1, t) + (1 - \lambda \Delta t) P(i, t) + \sum_{j=m-i}^m q(j) P(i+j, \Delta t, t), 0 \leq i < m, \quad (1)$$

$$P(m, z, t + \Delta t) = \lambda \Delta t B(z) P(m-1, t) + (1 - \lambda \Delta t) (P(m, z + \Delta t, t) - P(m, \Delta t, t)) + B(z) \sum_{j=0}^m q(j) P(m+j, \Delta t, t), \quad (2)$$

$$P(i, z, t + \Delta t) = \lambda \Delta t P(i-1, z + \Delta t, t) + (1 - \lambda \Delta t) (P(i, z + \Delta t, t) - P(i, \Delta t, t)) + B(z) \sum_{j=0}^m q(j) P(i+j, \Delta t, t), i > m, \quad (3)$$

$$\sum_{i=0}^m P(i, t) + \sum_{i=m}^{\infty} P(i, z, t) = 1. \quad (4)$$

Сведем полученные уравнения к дифференциальным. В стационарном режиме  $P(i, z, t) \equiv P(i, z)$ ,  $\partial P(i, z, t) / \partial t \equiv 0$  и система уравнений для стационарного распределения  $P(i, z)$  имеют вид (5)–(7):

$$\lambda P(i) = \lambda P(i-1) + \sum_{j=m-i}^m q(j) \frac{\partial P(i+j, 0)}{\partial z}, 0 \leq i < m, \quad (5)$$

$$\lambda P(m, z) = \lambda B(z) P(m-1) + \frac{\partial P(m, z)}{\partial z} - \frac{\partial P(m, 0)}{\partial z} + B(z) \sum_{j=0}^m q(j) \frac{\partial P(m+j, 0)}{\partial z}, \quad (6)$$

$$\lambda P(i, z) = \lambda P(i-1, z) + \frac{\partial P(i, z)}{\partial z} - \frac{\partial P(i, 0)}{\partial z} + B(z) \sum_{j=0}^m q(j) \frac{\partial P(i+j, 0)}{\partial z}, i > m. \quad (7)$$

В системе (5)–(7) положим  $z \rightarrow \infty$ . Тогда  $B(z) \rightarrow 1$ ,  $\frac{\partial P(i, z)}{\partial z} \rightarrow 0$ . Обозначив  $\lim_{z \rightarrow \infty} P(i, z) = \pi(i)$ , получим уравнения (8), (9), определяющие зависимость между маргинальным распределением  $\pi(i)$  и производными в нуле  $\frac{\partial P(i, 0)}{\partial z}$  двумерного распределения  $P(i, z)$ :

$$\lambda \pi(i) = \lambda \pi(i-1) + \sum_{j=m-i}^m q(j) \frac{\partial P(i+j, 0)}{\partial z}, 0 \leq i < m, \quad (8)$$

$$\lambda \pi(i) = \lambda \pi(i-1) - \frac{\partial P(i, 0)}{\partial z} + \sum_{j=0}^m q(j) \frac{\partial P(i+j, 0)}{\partial z}, i \geq m. \quad (9)$$

Перейдем в системе (8)–(9) к производящим функциям  $\sum_{i=0}^{\infty} x^i \pi(i) = \Phi(x)$ . Обозначим  $\frac{\partial P(i, 0)}{\partial z} =$

$$= \gamma_{i-m}, \sum_{i=0}^{\infty} \gamma_i x^i = \Gamma(x), D(x) = \sum_{j=0}^m q(j) x^{-j}, \quad (10)$$

и после преобразований уравнение (9) примет вид

$$\lambda \Phi(x)(1-x) = x^m \Gamma(x)(D(x)-1)$$

$$\text{или} \quad \Phi(x) = \frac{x^m \Gamma(x)(D(x)-1)}{\lambda(1-x)}. \quad (11)$$

Формула (11) позволяет найти  $\Phi(x)$  – производящую функцию для финальных вероятностей  $\pi(i)$  с точностью до неизвестного множителя  $\Gamma(x)$ .

В области  $|x| \leq 1$  ряд  $\sum_{i=0}^{\infty} x^i \pi(i) = \Phi(x)$  сходится, т.е. функция  $\Phi(x)$  в этой области конечна. Следовательно, и функция  $\Gamma(x)$  будет конечной при  $|x| \leq 1$ , так как  $\Phi(x)$  зависит от  $\Gamma(x)$ . В дальнейшем будем рассматривать только область  $|x| \leq 1$ . Для нахождения функции  $\Gamma(x)$  вернемся к уравнениям (6), (7). Умножим эти уравнения на  $x^{i-m}$  и просуммируем по  $i$  от  $m$  до  $\infty$ . Обозначая

$$F(x, z) = \sum_{i=m}^{\infty} P(i, z) x^{i-m}, \quad \Gamma(x) = \sum_{i=m}^{\infty} \gamma_{i-m} x^{i-m},$$

$$C(x, \gamma) = \sum_{j=1}^m x^{-j} q(j) \sum_{i=0}^{j-1} x^i \gamma_i,$$

получим уравнение

$$\frac{\partial F(x, z)}{\partial z} = \lambda(1-x)F(x, z) + \Gamma(x)(1-B(z)D(x)) +$$

$$+B(z)C(x, \gamma) - \lambda B(z)\pi(m-1), \quad (12)$$

которое является обыкновенным линейным неоднородным дифференциальным уравнением первого порядка вида  $F'(z) = A \cdot F(z) + K(z)$ , где  $A = \lambda(1-x)$ ,  $K(z) = \Gamma(x)(1-B(z)D(x)) + B(z)C(x, \gamma) - \lambda B(z)\pi(m-1)$ , решение которого  $F(z) = e^{Az} \int_0^z e^{-At} K(t) dt$ . Следовательно, решение уравнения (12)

$$F(x, z) = e^{\lambda(1-x)z} \int_0^z e^{-\lambda(1-x)t} (\Gamma(x)(1-B(t)D(x)) + B(t)C(x, \gamma) - \lambda B(t)\pi(m-1)) dt.$$

При  $z \rightarrow \infty$   $e^{\lambda(1-x)z} \rightarrow \infty$ , и для существования  $\lim_{z \rightarrow \infty} F(x, z)$  должно выполняться условие  $\int_0^\infty e^{-\lambda(1-x)t} \times (\Gamma(x)(1-B(t)D(x)) + B(t)C(x, \gamma) - \lambda B(t)\pi(m-1)) dt = 0$ .

Используя преобразование Лапласа-Стилтьеса

$$\int_0^\infty e^{-\alpha t} B(t) dt = \frac{1}{\alpha} \int_0^\infty e^{-\alpha t} dB(t) = \frac{1}{\alpha} B^*(\alpha),$$

из последнего условия получаем выражение для  $\Gamma(x)$ :

$$\Gamma(x) = \frac{B^*(\lambda(1-x))(C(x, \gamma) - \lambda\pi(m-1))}{B^*(\lambda(1-x))D(x) - 1}. \quad (13)$$

Представление  $\Gamma(x)$  в виде (13) содержит  $m+1$  неизвестные константы  $\pi(m-1)$  и  $\gamma_0, \gamma_1, \dots, \gamma_{m-1}$ , входящие в выражение для  $C(x, \gamma)$ .

Выведем уравнения для определения неизвестных констант. Для этого из (11) выразим  $\Gamma(x)$  и перейдем к пределу при  $x \rightarrow 1$ :

$$\lim_{x \rightarrow 1} \Gamma(x) = \Gamma(1) = \lim_{x \rightarrow 1} \Phi(x) \frac{\lambda(1-x)}{x^m(D(x)-1)}.$$

Поскольку в силу выполнения условия нормировки  $\Phi(1) = 1$ ,  $D(1) = 1$ , то при вычислении предела используем правило Лопиталя. Получаем

$$\Gamma(1) = \frac{\lambda}{\bar{Q}}, \quad (14)$$

где  $\bar{Q} = \sum_{j=0}^m jq(j)$ .

Аналогично перейдем к пределу при  $x \rightarrow 1$  в выражении (13). Имеем

$$\lim_{x \rightarrow 1} \Gamma(x) = \Gamma(1) = \lim_{x \rightarrow 1} \frac{B^*(\lambda(1-x))(C(x, \gamma) - \lambda\pi(m-1))}{B^*(\lambda(1-x))D(x) - 1}. \quad (15)$$

$\lim_{x \rightarrow 1} B^*(\lambda(1-x)) = 1$  и при предельном переходе знаменатель выражения (15) обращается в ноль. Применяя правило Лопиталя к выражению (14), получаем

$$\Gamma(1) = \frac{\bar{C}(x, \gamma)}{\lambda b - \bar{Q}}, \quad (16)$$

где учтено, что  $\bar{C}(x, \gamma) = \sum_{j=1}^m q(j) \sum_{k=0}^{j-1} (k-j)\gamma_k$ ,

$$D(1) = B^*(0) = 1, \quad B^*(\lambda(1-x)) = \lambda b.$$

Сравнивая равенства (14) и (16), получаем уравнение для нахождения одной из  $m+1$  неизвестных констант выражения (12):

$$\bar{C}(x, \gamma) = \frac{\lambda^2 b - \lambda \bar{Q}}{\bar{Q}}. \quad (17)$$

Для определения остальных констант вернемся к уравнению (13). Если в области  $|x| \leq 1$  знаменатель выражения (13) обращается в ноль, то для того чтобы функция  $\Gamma(x)$  была конечной, числитель также должен обращаться в ноль.

Рассмотрим подробно знаменатель равенства (13):

$$B^*(\lambda(1-x))D(x) - 1 = 0. \quad (18)$$

Уравнение (17) было исследовано в случае экспоненциального распределения длительности обслуживания в [1]. Используя теорему Руше, было доказано, что при выполнении условия существования стационарного режима  $\rho < \sum_{j=0}^m jq(j)$  уравнение

(18) имеет единственный корень по модулю меньше 1. Аналогичные результаты получаются и для рекуррентного обслуживания.

В выражении (18) рассмотрим рекуррентное обслуживание с функцией распределения длительности обслуживания  $B(x)$ . Для нее имеем

$$B^*(\alpha) = \int_0^\infty e^{-\alpha x} dB(x), \quad D(x) = \sum_{j=0}^m q(j)x^{-j}.$$

Тогда выражение (18) переписывается в виде

$$F(x) = B^*(\lambda(1-x)) \sum_{j=0}^m q(j)x^{-j} - 1 = 0. \quad (19)$$

Сделаем замену переменных  $z = 1/x$  и запишем выражение (19) в новом виде:

$$F(z) = \frac{1}{B^*\left(\frac{\lambda(z-1)}{z}\right)} - \sum_{j=0}^m q(j)z^j = 0. \quad (20)$$

Докажем, что  $F(z)$  имеет единственный корень в области  $|z| \leq 1$ . Для этого воспользуемся теоремой Руше. Представим функцию  $F(z)$  в виде суммы двух функций

$$f(z) = \frac{1}{B^*\left(\frac{\lambda(z-1)}{z}\right)}, \quad \varphi(z) = \sum_{j=0}^m q(j)z^j.$$

Предположим, что функция  $f(z)$  имеет в области  $|z| \leq 1$  единственный корень. Выбрав область  $D$  и границу  $\Gamma$  области  $D$  аналогично случаю экспоненциального распределения, приходим к необходимости выполнения неравенства:

$$\left| \frac{1}{B^*\left(\frac{\lambda(1-z)}{z}\right)} \right|_{|z|=1-\varepsilon} > \left| \sum_{j=0}^m q(j)z^j \right|_{|z|=1-\varepsilon}.$$

Преобразуем левую и правую части неравенства:

$$\left| \sum_{j=0}^m q(j)z^j \right| \leq \sum_{j=0}^m q(j)|z|^j = \sum_{j=0}^m q(j)(1-\varepsilon)^j.$$

Для  $B^*\left(\frac{\lambda(1-z)}{z}\right)$  точка  $z=0$  является особой. Разложим эту функцию в ряд Тейлора в нуле до степени  $\varepsilon$ :

$$\begin{aligned} \left| B^*\left(\frac{\lambda(1-z)}{z}\right) \right| &= \left| B^*(0) + \frac{\lambda(1-z)}{z} B^{*'}(0) + o(\varepsilon) \right| \geq \\ &\geq \frac{1}{|B^*(0)| + \frac{\lambda(1-|z|)}{|z|} |B^{*'}(0)| + |o(\varepsilon)|} = \\ &= \frac{1}{|B^*(0)| + \frac{\lambda\varepsilon}{1-\varepsilon} |B^{*'}(0)| + |o(\varepsilon)|}. \end{aligned}$$

Отбросив бесконечно малое слагаемое, получаем неравенство

$$\frac{1}{|B^*(0)| + \frac{\lambda\varepsilon}{1-\varepsilon} |B^{*'}(0)|} > \sum_{j=0}^m q(j)(1-\varepsilon)^j.$$

Разложим функцию  $(1-\varepsilon)^j$  в ряд Тейлора до степени  $\varepsilon$ , умножим правое выражение на знаменатель левого и, оставляя только члены порядка  $\varepsilon$ , получим

$$1 > |B^*(0)| + \frac{\lambda\varepsilon}{1-\varepsilon} |B^{*'}(0)| - |B^*(0)| \varepsilon \sum_{j=0}^m j q(j).$$

После несложных преобразований с учетом того, что  $B^*(0)=1$ , получаем

$$\lambda |B^{*'}(0)| < \sum_{j=0}^m j q(j), \quad (21)$$

где  $B^{*'}(\alpha) = \int_0^\infty (-x) e^{-\alpha x} dB(x).$

Неравенство (21) является условием существования стационарного режима в рассматриваемой СМО в случае рекуррентного времени обслуживания. Таким образом, если выполняется неравенство (21), то выражение (18)

имеет в области  $|x| \leq 1$  ровно  $m$  корней. В выражении (13) при обращении в ноль знаменателя числитель также должен обращаться в ноль, т.е. в области  $|x| \leq 1$  корни знаменателя полностью совпадают с корнями числителя. Рассмотрим числитель выражения (12):

$$B^*(\lambda(1-x))(C(x, \gamma) - \lambda\pi(m-1)) = 0$$

или

$$\sum_{j=1}^m q(j)x^{-j} \sum_{k=0}^{j-1} \gamma_k x^k - \lambda\pi(m-1) = 0. \quad (22)$$

Подставим в выражение (22)  $m$  корней знаменателя (18). Добавим равенство (18). В результате получается система  $m+1$  уравнения для нахождения всех неизвестных констант выражения (13):

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^m q(j) \sum_{k=0}^{j-1} \gamma_k x_1^{k-j} = \lambda\pi(m-1), \\ \dots\dots\dots \\ \sum_{j=1}^m q(j) \sum_{k=0}^{j-1} \gamma_k x_m^{k-j} = \lambda\pi(m-1), \\ \sum_{j=1}^m q(j) \sum_{k=0}^{j-1} (k-j) \gamma_k = \frac{\lambda^2 b - \lambda \bar{Q}}{\bar{Q}}. \end{cases} \quad (23)$$

Здесь  $x_1, x_2, \dots, x_m$  – корни уравнения (18) из области

$|x| \leq 1$ ;  $q(j)$  – известные константы;  $\bar{Q} = \sum_{j=0}^m j q(j)$ ,  $\lambda$  и  $b$

– задаваемые параметры системы, а  $\gamma_0, \gamma_1, \dots, \gamma_{m-1}$ ,  $\pi(m-1)$  – неизвестные константы в выражении (13), определяемые системой (23).

### Заключение

Выражение (13) для функции  $\Gamma(x)$  нам полностью известно, известна и производящая функция для финальных вероятностей  $\Phi(x)$ , с помощью которой можно искать любые характеристики функционирования рассматриваемого элемента сети связи.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Назаров А.А., Туренова Е.Л. Исследование протокола канального уровня сети передачи данных // Математическое моделирование. Кибернетика. Информатика. Томск: Изд-во Том. Ун-та, 1999. С. 109–114.
2. Бертсекас Д., Галлагер Р. Сети передачи данных. М.: Мир, 1989. 540 с.
3. Аничкин С.А. и др. Протоколы информационно-вычислительных сетей: Справочник. М.: Радио и связь, 1990. 502 с.
4. Клейнрок Л. Коммуникационные сети. М.: Наука, 1970. 250 с.
5. Кудрявцев Л.Д. Курс математического анализа. М.: Высшая школа, 1981. 687 с.
6. Степанов С.Н. Численные методы расчета систем с повторными вызовами. М.: Наука, 1983. 230 с.

Статья представлена кафедрой теории вероятностей и математической статистики факультета прикладной математики и кибернетики Томского государственного университета, поступила в научную редакцию 25 февраля 2000 г.

УДК 621.394/395.74 - 503.5

А.А. Назаров, С.Л. Шохор

## СТАЦИОНАРНЫЙ РЕЖИМ В СЕТИ, УПРАВЛЯЕМОЙ ДИНАМИЧЕСКИМ ПРОТОКОЛОМ ДОСТУПА С ОПОВЕЩЕНИЕМ О КОНФЛИКТЕ

Описаны исследования математических моделей спутниковых сетей связи с динамическим протоколом случайного множественного доступа с оповещением о конфликте. Рассмотрены марковская и немарковская модели. Найдены условия, при которых в системах существует стационарный режим.

Эта работа продолжает исследования, посвященные сетям связи с протоколами случайного множественного доступа [1]. Известно, что такие сети часто не отличаются стабильным функционированием [2]. При небольшом количестве абонентских станций (АС) возможно возникновение явления бистабильности [3], а при большом числе узлов – отсут-