

УДК 004.728.3

МОДЕЛЬ ПРОЦЕДУРЫ СЛУЧАЙНОГО МНОЖЕСТВЕННОГО ДОСТУПА К СРЕДЕ ТИПА S-ALOHA

М. А. Перегудов^а, адъюнкт

А. А. Бойко^а, канд. техн. наук, доцент

^аВоенный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. профессора Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина», Воронеж, РФ

Постановка проблемы: при эксплуатации сетей пакетной радиосвязи особое значение имеет оценка эффективности функционирования процедуры случайного множественного доступа к среде типа S-ALOHA такой сети в условиях удаленных информационно-технических воздействий со стороны злоумышленника. Существующие методы не позволяют комплексно оценить эффективность функционирования данной процедуры, поскольку не учитывают эффект от потенциально возможных информационно-технических воздействий, объем доступного временного ресурса и определяют разрозненные показатели — количественный показатель успешности доставки пакетов и качественный показатель стабильности функционирования процедуры случайного множественного доступа. Целью исследования является комплексная количественная оценка эффективности функционирования процедуры случайного множественного доступа к среде типа S-ALOHA для сети пакетной радиосвязи в условиях информационно-технических воздействий. **Результаты:** усовершенствован метод оценки эффективности функционирования процедуры случайного множественного доступа к среде типа S-ALOHA сети пакетной радиосвязи в части учета потенциально возможных информационно-технических воздействий, вероятностей свободного канала, стабильного функционирования и определения комплексного показателя эффективности этой процедуры. Методом индукции получено обобщенное аналитическое решение нахождения предельных вероятностей моделируемых состояний. **Практическая значимость:** модель применима при разработке высокоэффективных алгоритмов, разрешающих коллизии, в процедуре случайного множественного доступа к среде типа S-ALOHA.

Ключевые слова — сеть пакетной радиосвязи, S-ALOHA, информационно-техническое воздействие, марковская модель, эффективность.

Введение

Сегодня в сетях пакетной радиосвязи (СПР) активно применяются информационно-технические воздействия (ИТВ) [1], нарушающие конфиденциальность, целостность и доступность информации на всех уровнях эталонной модели взаимодействия открытых систем (ЭМВОС). Основным способом предупреждения ИТВ на физическом уровне ЭМВОС является внедрение помехозащищенных сигналов, а для вышестоящих уровней — шифрование. Для физического уровня ЭМВОС неизменной уязвимостью является принципиальная невозможность полностью устранить влияние помех, а для вышестоящих уровней потенциальные уязвимости находятся в той части канального уровня, которая отвечает за контроль доступа абонентов к среде (так называемый MAC-подуровень). Эта уязвимость обусловлена тем, что управляющая информация протоколов MAC-подуровня не подвергается шифрованию. Злоумышленник, получив набор идентификационных характеристик СПР, может инициировать взаимодействие с ее элементами, выдавая себя за легитимного абонента. Так, например, в работе [2] показаны некоторые потенциально возможные способы ИТВ на MAC-подуровне для сетей TETRA.

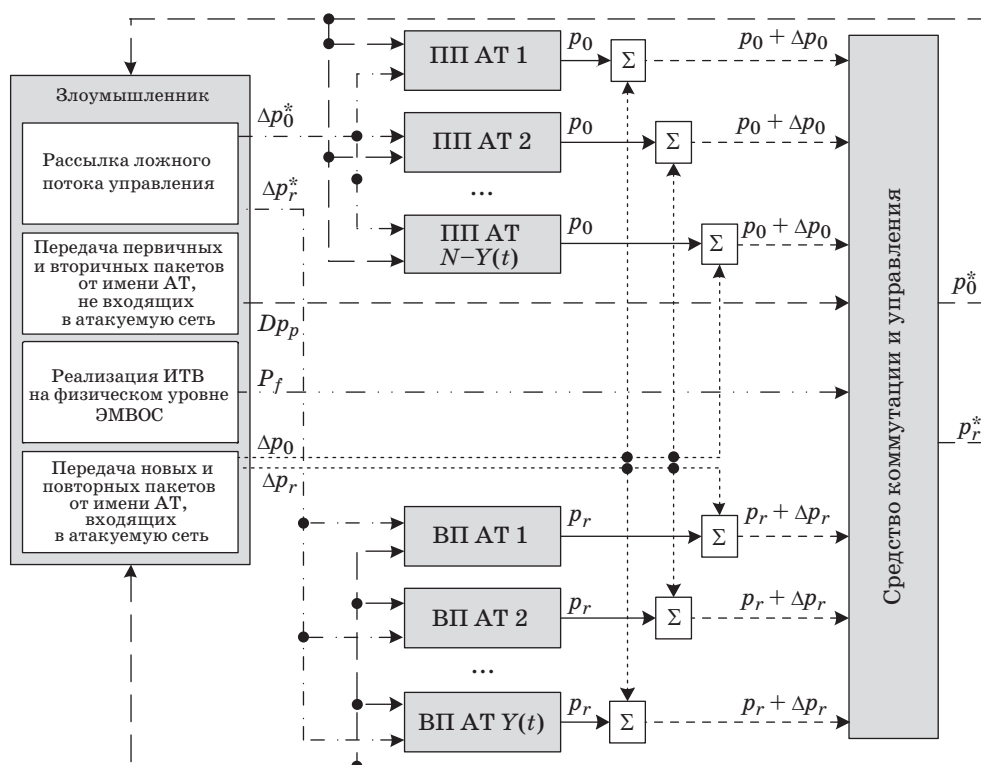
Одной из основных функций MAC-подуровня является обеспечение случайного множественного доступа абонентов СПР к среде (далее — СМДС).

Базовой процедурой СМДС для СПР является S-ALOHA. Она применяется в таких современных стандартах связи, как GSM, TETRA, LTE. На сегодняшний день известен ряд моделей этой процедуры [3–7]. Однако эти модели ориентированы только на определение разрозненных количественного показателя оценки успешности доставки пакетов и качественного показателя оценки стабильности функционирования процедуры СМДС, но не позволяют количественно оценить объем доступного временного ресурса, а также не осуществляют анализ ИТВ. В результате комплексно оценить эффективность функционирования процедуры СМДС типа S-ALOHA для СПР не представляется возможным.

Цель работы — разработка модели, позволяющей комплексно оценивать эффективность функционирования процедуры случайного множественного доступа к среде типа S-ALOHA СПР с учетом потенциально возможных информационно-технических воздействий.

Описательная модель процедуры СМДС типа S-ALOHA

Описательную модель процедуры СМДС типа S-ALOHA в СПР с учетом результатов работ [2–7] и моделирования злоумышленника представим в виде функциональной схемы (рис. 1). Схема включает абонентские терминалы АТ, средство коммутации и управления СПР и злоумышленника.



■ Рис. 1. Функциональная схема процедуры СМДС типа S-ALOHA

Процедура СМДС затрагивает два канала СПР: канал от АТ к средству коммутации и управления (линия «вверх») и обратно (линия «вниз»).

Каждый из N АТ, входящих в СПР и конкурирующих между собой за использование канала, может функционировать в режиме первичной ПП или вторичной ВП передачи пакетов с запросом на доступ к среде по линии «вверх». В первом режиме АТ генерирует и передает пакет с вероятностью p_0 в любой дискретный временной интервал t ($t = 1, 2, \dots$) продолжительностью τ (далее — временной слот). Во втором режиме АТ вторично передает пакет с вероятностью p_r в течение одного временного слота. Одновременно в режиме ВП находятся $Y(t)$ АТ, а в режиме ПП $N - Y(t)$ АТ. Вне зависимости от режима каждый АТ за один временной слот не может передать больше одного первичного или вторичного пакета. Передача считается успешной, если только один из N АТ осуществляет передачу в течение временного слота. В противном случае АТ создают коллизии в канале СМДС и через некоторое время ожидания при неполучении пакета подтверждения успешной доставки переходят в режим ВП. АТ, находящиеся в режиме ВП, не генерируют пакеты и называются самоблокированными [6].

Средство коммутации и управления определяет количество отправленных всеми АТ в каждом временном слоте первичных и вторичных пакетов с запросом на доступ и формирует поток

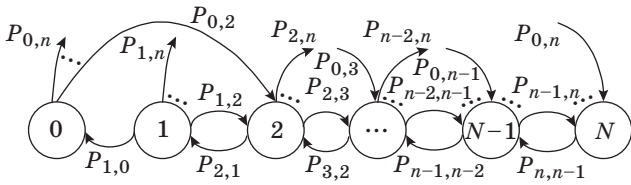
управления по линии «вниз», в котором широковещательно рассылает параметры p_0^* и p_r^* . Эти параметры равны вероятностям, с которыми абонентским терминалам рекомендуется передавать пакеты в режимах ПП и ВП соответственно.

Злоумышленник в интересах создания коллизий реализует в каждом временном слоте четыре ИТВ: формирует с вероятностью P_f помехи на физическом уровне ЭМВОС по линиям «вверх» (по линии «вниз» формирование такой помехи нецелесообразно по причине высокой продолжительности ожидания эффекта); широковещательно рассылает по линии «вниз» ложный поток управления с параметрами Δp_0^* и Δp_r^* ; передает по линии «вверх» с вероятностью Dp_p первичные и вторичные пакеты от имени D АТ, не входящих в атакуемую сеть; передает по линии «вверх» с вероятностями Δp_0 и Δp_r соответственно первичные и вторичные пакеты от имени N АТ, входящих в атакуемую сеть.

Математическая модель процедуры СМДС типа S-ALOHA

Для оценки эффективности функционирования процедуры СМДС типа S-ALOHA ее целесообразно представить в виде предложенной в работе [4] и показанной на рис. 2 цепи Маркова с дискретным временем и дискретными состояниями.

Рассмотрим далее усовершенствованное аналитическое описание вероятностей переходов



■ **Рис. 2.** Граф состояний марковской цепи процедуры СМДС типа S-ALOHA

данной модели с учетом действий злоумышленника, а также новый способ нахождения предельных вероятностей моделируемых состояний, не требующий решения системы линейных алгебраических уравнений.

Модель имеет $N + 1$ состояний, каждому из которых во временной слот t соответствует $Y(t)$ самоблокированных легитимных АТ, находящихся в режиме ВП. Если во временной слот t АТ одновременно передали $Y(t)$ пакетов, то в канале СМДС возникает коллизия и переданные пакеты буферизуются в $Y(t)$ АТ.

Рассматриваемая цепь Маркова описывается матрицей $\mathbf{P} = [p_{i,j}]$, где $i = Y(t)$; $j = Y(t + 1)$. За один временной слот сеть может переместиться на одно состояние назад (успешная ВП), остаться в том же самом состоянии (передача пакетов не осуществляется, или совершалась одна успешная ПП, или произошла коллизия, вызванная только вторичными пакетами) или перейти на одно или несколько состояний вперед (произошла коллизия, вызванная только первичными пакетами или одновременно первичными и вторичными пакетами). Пусть в текущем временном слоте S — количество первичных пакетов, одновременно переданных $N - Y(t)$ АТ; Q — количество вторичных пакетов, одновременно переданных $Y(t)$ АТ; U — количество переданных злоумышленником пакетов от имени D АТ и (или) наличие ИТВ на физическом уровне ЭМВОС. Тогда вероятность перехода $p_{i,j}$ примет следующий вид:

$$p_{i,j} = \begin{cases} 0, & \text{если } j \leq i - 2; \\ P_{S=0}P_{Q=1}P_{U=0}, & \text{если } j = i - 1; \\ P_{S=1}P_{Q=0}P_{U=0} + P_{S=1}P_{Q=0}P_{U=1} + \\ + P_{S=0}P_{Q>1} + P_{S=0}P_{Q=0}P_{U=0} + \\ + P_{S=0}P_{Q=0}P_{U=1} + P_{S=0}P_{Q=1}P_{U=1}, & \text{если } j = i; \\ P_{S=1}P_{Q \geq 1}, & \text{если } j = i + 1; \\ P_{S=j-i}, & \text{если } j \geq i + 2, \end{cases} \quad (1)$$

где

$$P_{S=0} = [1 - (p_0 + \Delta p_0)]^{N-i};$$

$$P_{Q=0} = [1 - (p_r + \Delta p_r)]^i;$$

$$P_{U=0} = (1 - Dp_p)(1 - P_f);$$

$$P_{S=1} = (N - i)(p_0 + \Delta p_0)[1 - (p_0 + \Delta p_0)]^{N-i-1};$$

$$P_{Q=1} = i(p_r + \Delta p_r)[1 - (p_r + \Delta p_r)]^{i-1};$$

$$P_{U=1} = (1 - Dp_p)P_f + Dp_p(1 - P_f);$$

$$P_{S=j-i} = C_{j-i}^{N-i}(p_0 + \Delta p_0)^{j-i}[1 - (p_0 + \Delta p_0)]^{N-j};$$

$$P_{Q>1} = 1 - [1 - (p_r + \Delta p_r)]^i -$$

$$- i(p_r + \Delta p_r)[1 - (p_r + \Delta p_r)]^{i-1};$$

$$P_{Q \geq 1} = 1 - [1 - (p_r + \Delta p_r)]^i; \sum_{i=0}^N P_i = 1.$$

Для нахождения предельных вероятностей моделируемых состояний рассматриваемой цепи Маркова традиционно решается однородная система из N линейных алгебраических уравнений [3, 4]. Решение такой системы не представляет большой вычислительной сложности, но является приближенным. Чем больше АТ входит в СПР, тем большая погрешность будет в решении. Исключение этого недостатка возможно путем нахождения предельных вероятностей моделируемых состояний аналитическим способом. Для этого полученную систему линейных алгебраических уравнений представим в обобщенном виде:

$$\begin{cases} \left(p_{i,i-1} + \sum_{j=2}^N p_{i,j} \right) P_i = p_{i+1,i} P_{i+1}, & \text{если } 0 \leq i < 2; \\ \left(p_{i,i-1} + \sum_{j=i+1}^N p_{i,j} \right) P_i = \\ = p_{i+1,i} P_{i+1} + \sum_{k=0}^{i-1} p_{k,i} P_k, & \text{если } 2 \leq i < N; \\ P_{N,N-1} P_N = \sum_{k=0}^{N-1} (p_{k,N} P_k), & \text{если } i = N. \end{cases} \quad (2)$$

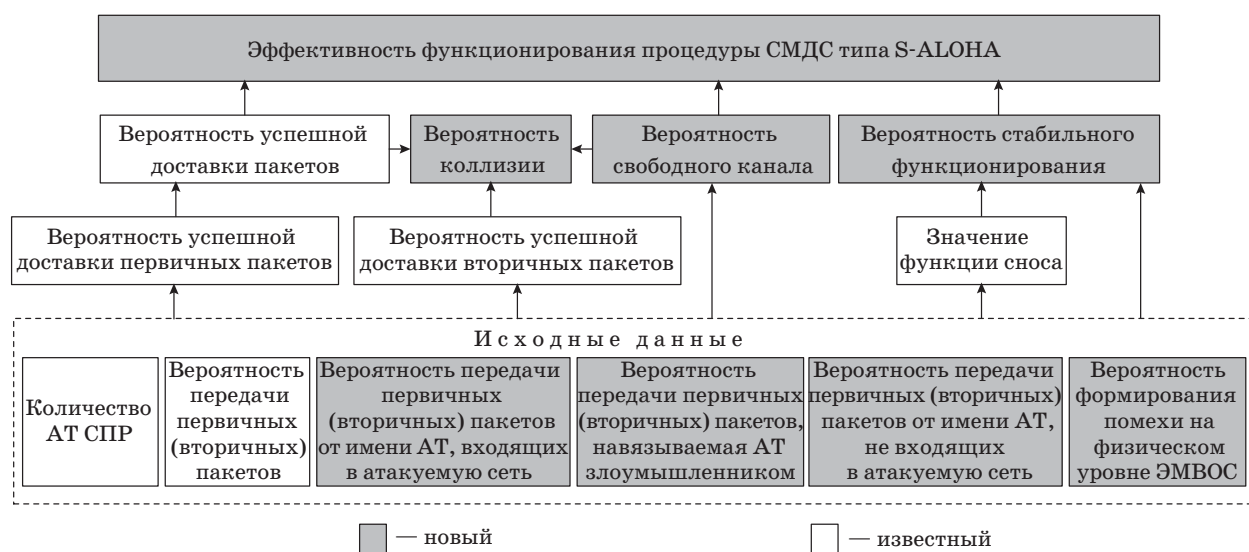
Методом индукции для системы (2) получим аналитическое решение вида

$$P_i = A_i \left(1 + \sum_{i=1}^N A_i \right)^{-1}, \quad (3)$$

где

$$A_0 = 1; A_1 = (p_{1,0})^{-1} \sum_{j=2}^N p_{0,j}; \forall i \in [2, N] A_i = (p_{i,i-1})^{-1} \left(\sum_{j=i}^N p_{i-1,j} + p_{i-1,i-2} \right) A_{i-1} - \sum_{k=0}^{i-2} (p_{k,i-1} A_k).$$

Полученные с использованием формулы (3) предельные вероятности моделируемых состояний процедуры СМДС типа S-ALOHA и вычисляемая на их основе согласно [3–5] вероятность успешной доставки пакетов малоинформативны для обеспечения возможности защиты от ИТВ. По этой причине для выработки рекомендаций



■ **Рис. 3.** Система показателей оценки эффективности функционирования процедуры СМДС типа S-ALOHA в условиях ИТВ

по управлению процедурой СМДС типа S-ALOHA в условиях ИТВ предлагается использовать систему показателей, представленную на рис. 3.

Система предполагает оценку обобщенного показателя эффективности с учетом трех частных показателей: вероятности успешной доставки пакетов, вероятности свободного канала и вероятности стабильного функционирования. Рассмотрим аналитические зависимости для этих показателей.

Вероятность успешной доставки пакетов

С учетом [3–5] и вышеизложенной математической модели вероятность успешной доставки пакетов с запросом на доступ в i -м состоянии $P_{sc}(i)$ определим следующим аналитическим отношением, усовершенствованным в части учета ИТВ:

$$\begin{aligned}
 P_{sc}(i) &= P_{sc1}(i) + P_{sc2}(i); P_{sc1}(i) = P_{S=1}P_{Q=0}P_{U=0} = \\
 &= (N-i)(p_0 + \Delta p_0)(1 - (p_0 + \Delta p_0))^{N-i-1} \times \\
 &\quad \times [1 - (p_r + \Delta p_r)]^i (1 - Dp_p)(1 - P_f); \\
 P_{sc2}(i) &= P_{S=0}P_{Q=1}P_{U=0} = \\
 &= [1 - (p_0 + \Delta p_0)]^{N-i} i (p_r + \Delta p_r) \times \\
 &\quad \times [1 - (p_r + \Delta p_r)]^{i-1} (1 - Dp_p)(1 - P_f), \quad (4)
 \end{aligned}$$

где $P_{sc1}(i)$, $P_{sc2}(i)$ — вероятность успешной доставки первичных и вторичных пакетов.

Вероятность свободного канала

Для анализа влияния ИТВ при функционировании процедуры СМДС типа S-ALOHA недоста-

точно определять только вероятность успешной доставки пакетов, поскольку она не учитывает количество свободных временных слотов. Если, например, эта вероятность стремится к минимуму, а вероятность свободного канала (или создания коллизий) стремится к максимуму, для оператора СПР это будет означать ее простаивание (или перегрузку). По этой причине дополнительно введем вероятность свободного канала в i -м состоянии $P_{fr}(i)$, определяемую как

$$\begin{aligned}
 P_{fr}(i) &= P_{S=0}P_{Q=0}P_{U=0} = (1 - (p_0 + \Delta p_0))^{N-i} \times \\
 &\quad \times (1 - (p_r + \Delta p_r))^i (1 - Dp_p)(1 - P_f). \quad (5)
 \end{aligned}$$

Для удобства анализа также может быть рассчитан показатель $P_{cl}(i)$, характеризующий вероятность создания коллизии в канале в i -м состоянии. С учетом того, что $P_{cl}(i)$, $P_{fr}(i)$ и $P_{sc}(i)$ описывают полную группу событий, этот показатель может быть вычислен как

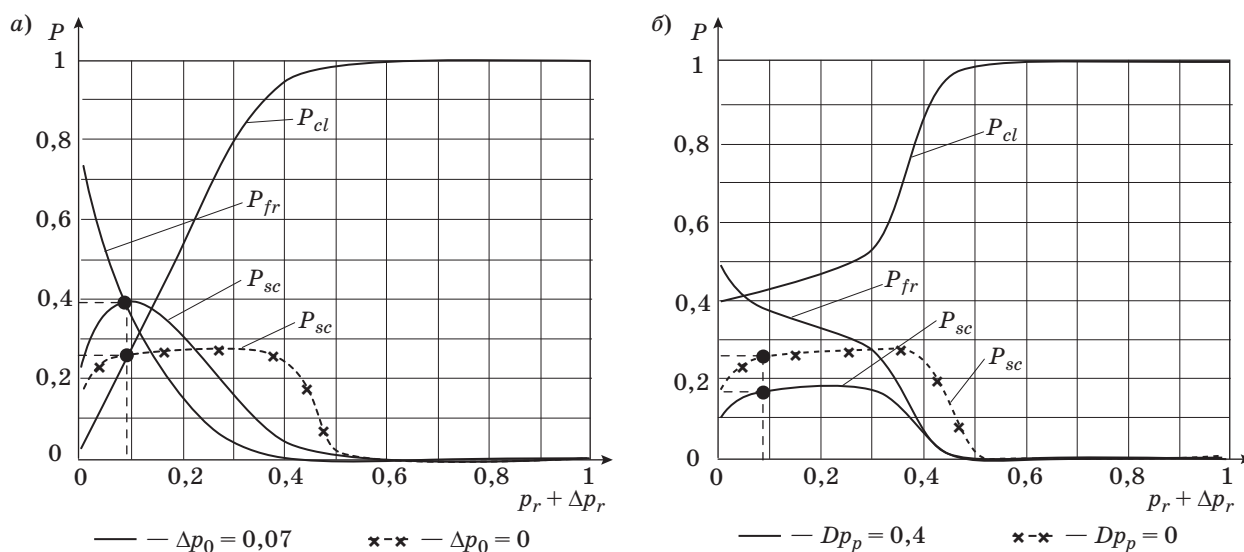
$$P_{cl}(i) = 1 - P_{sc}(i) - P_{fr}(i). \quad (6)$$

Используя формулы (3)–(6), можно определить вероятности успешной доставки пакетов P_{sc} , свободного канала P_{fr} и коллизий P_{cl} следующим образом:

$$P_{sc} = \sum_{i=0}^N P_i P_{sc}(i); P_{fr} = \sum_{i=0}^N P_i P_{fr}(i); P_{cl} = \sum_{i=0}^N P_i P_{cl}(i). \quad (7)$$

Результаты моделирования СПР с $N = 10$, $p_0 = 0,03$, $p_r = 0,1$ и различными параметрами ИТВ показаны на рис. 4.

При подмене легитимного потока управления или передаче злоумышленником первичных пакетов от имени АТ, входящих в атакуемую сеть,



■ **Рис. 4.** Зависимости вероятностей успешной доставки пакетов, коллизий и свободного канала от вероятности передачи вторичных пакетов при ИТВ с параметром $\Delta p_0 = 0,07$ (а) и $Dp_p = 0,4$ (б)

с параметром $\Delta p_0 = 0,07$ на рис. 4, а наблюдается увеличение вероятности успешной доставки пакетов. Данный факт объясняется тем, что в результате ИТВ осуществляется насыщение канала первичными пакетами свободных временных слотов, составляющих 68 % от выделенного каналу СМДС общего ресурса, при незначительном количестве коллизий. Данное состояние СПР будем называть состоянием насыщения.

При передаче злоумышленником по каналу СМДС пакетов от имени АТ, не входящих в атакуемую сеть, с вероятностью $Dp_p = 0,4$ на рис. 4, б видно уменьшение вероятности успешной доставки пакетов. В результате СПР находится в состоянии перенасыщения, приводящем к переполнению канала СМДС пакетами с увеличением количества коллизий в 2 раза.

Варьируя параметром Δp_r от 0 до 0,9, на рис. 4, а можно проследить увеличение вероятности успешной доставки пакетов, а на рис. 4, б — ее уменьшение. Данные изменения связаны, соответственно, с насыщением и перенасыщением пакетами канала СМДС.

Вероятность стабильного функционирования

В работах [3–7] отмечается нестабильность функционирования СПР с СМДС типа S-ALOHA из-за наличия коллизий, приводящих при определенном количестве самоблокированных АТ к снижению среднего количества успешных передач за заданный промежуток времени и увеличению количества неуспешных передач за это же время. Это в свою очередь провоцирует постепенное нарастание количества самоблокированных АТ. Мерой стабильности функционирования процедуры СМДС типа S-ALOHA принято считать

функцию сноса $\mathcal{L}(i)$ [4, 5], вычисляемую по выражению

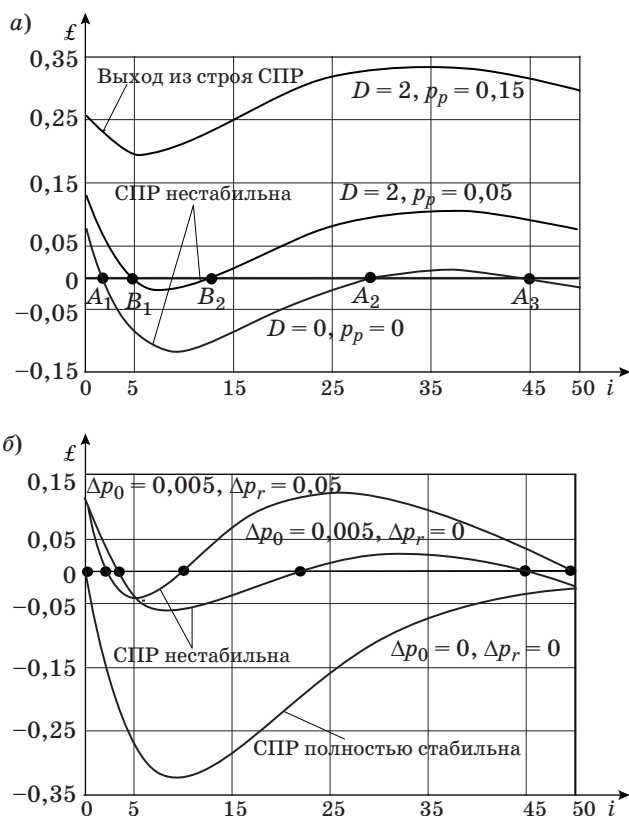
$$\mathcal{L}(i) = \lambda(i) - P_{sc2}(i), \tag{8}$$

где $\lambda(i)$ — вероятность прихода первичных пакетов при i самоблокированных АТ, которую определим с учетом изложенной выше модели:

$$\begin{aligned} \lambda(i) = & P_{S=N-i} + P_{U=1} - P_{Q=0} (P_{S=1}P_{U=0} + P_{S=0}P_{U=1}) = \\ = & (N-i)(p_0 + \Delta p_0) + Dp_p + P_f - (1 - (p_r + \Delta p_r))^i \times \\ & \left[(N-i)(p_0 + \Delta p_0)(1 - (p_0 + \Delta p_0))^{N-i-1} \times \right. \\ & \times \left. \left[(1 - Dp_p)(1 - P_f) + (1 - (p_0 + \Delta p_0))^{N-i} \times \right. \right. \\ & \times \left. \left. [(1 - Dp_p)P_f + Dp_p(1 - P_f)] \right] \right]. \tag{9} \end{aligned}$$

Если $\mathcal{L}(i)$ принимает положительные значения, то считается, что процедура СМДС функционирует нестабильно [4, 5]. Графическое отображение функции сноса демонстрирует три качественных состояния функционирования СПР: нестабильное (рис. 5, а, б), полностью стабильное (рис. 5, б) и выход из строя (рис. 5, а).

Однако функция сноса не дает количественную характеристику состояния СПР, учитывающую прогноз ее поведения при различном числе переданных первичных и вторичных пакетов. Значения, получаемые с ее использованием, позволяют оценить только границы интервалов стабильности и не говорят о том, насколько близко к этим границам находится СПР. Для устранения этого недостатка с учетом (8) предлагается ввести новый показатель P_{st} — вероятность стабильного функционирования, определяемый как результат отношения ширины области нестабильного



■ Рис. 5. Зависимость функции сноса от количества самоблокированных АТ при ИТВ с параметрами D, p_p (а) и $\Delta p_0, \Delta p_r$ (б)

функционирования к ширине всей области функционирования СПР следующим образом:

$$P_{st} = N^{-1} \sum_{i=1}^N G(i); \quad G(i) = \begin{cases} 0, & \text{если } \xi(i) > 0; \\ 1, & \text{если } \xi(i) \leq 0, \end{cases} \quad (10)$$

где $G(i)$ — функция, определяющая нестабильность функционирования СПР при i самоблокированных АТ; N — общее количество АТ такой сети.

Анализ рис. 5 показывает, что даже при малоинтенсивном ИТВ наблюдается резкое снижение вероятности стабильного функционирования процедуры СМДС типа S-ALOHA от стабильного состояния СПР до полного выхода ее из строя. Данный факт свидетельствует о необходимости отслеживать оператору СПР значения показателя P_{st} в режиме реального времени.

Эффективность процедуры СМДС типа S-ALOHA

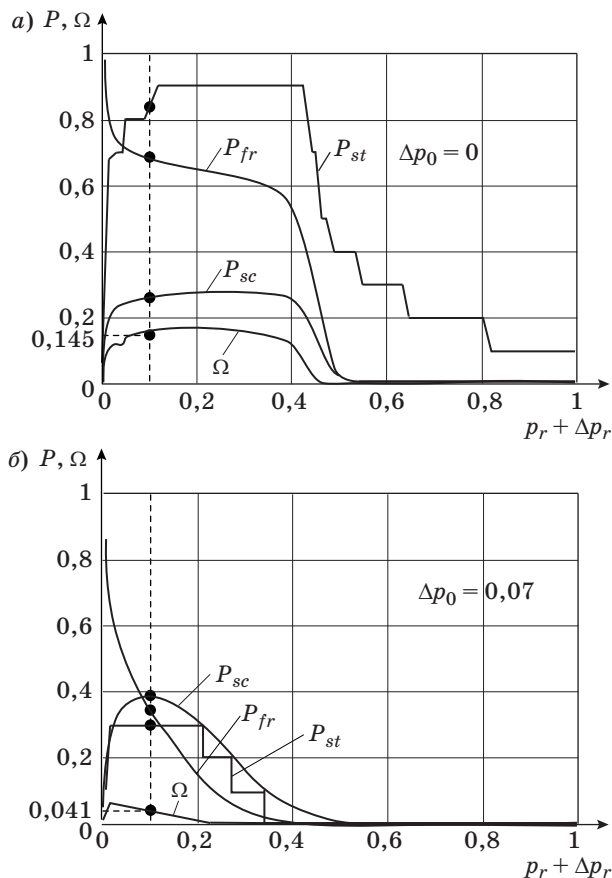
Представляется целесообразным интерпретировать эффективность функционирования процедуры СМДС типа S-ALOHA как вероятность успешной передачи пакета с запросом на доступ

к среде с учетом доступности временного ресурса и текущего уровня стабильности функционирования СПР. Поэтому события, характеризуемые вероятностями P_{sc} , P_{fr} и P_{st} , являются независимыми, эффективность функционирования процедуры СМДС типа S-ALOHA Ω предлагается рассчитывать следующим образом:

$$\Omega = P_{sc} P_{fr} P_{st}.$$

Зависимости эффективности функционирования процедуры СМДС типа S-ALOHA и вероятностей успешной доставки пакетов, свободного канала и стабильного функционирования от вероятности передачи вторичных пакетов показаны на рис. 6.

Из рисунка видно, что при ИТВ с параметрами $\Delta p_0 = 0$ (рис. 6, а) и $\Delta p_0 = 0,07$ (рис. 6, б) на СПР вероятность стабильного функционирования снижается в 2,7 раза, а эффективность функционирования процедуры СМДС — в 3,5 раза. Исходя из этого для обеспечения эффективного функционирования процедуры СМДС типа S-ALOHA требуется своевременный контроль, а также высокие точность и скорость коррекции изложенных в настоящей работе показателей в режиме времени, близком к реальному.



■ Рис. 6. Результаты моделирования функционирования процедуры СМДС типа S-ALOHA: а — ИТВ отсутствует; б — в условиях ИТВ

Заключение

Таким образом, предложена модель, позволяющая проводить комплексную количественную оценку эффективности функционирования процедуры СМДС типа S-ALOHA сети пакетной радиосвязи с использованием аналитических зависимостей, определяющих вероятности успешной доставки пакетов, свободного канала и стабильного функционирования, базирующихся

на применении методов теории марковских процессов и теории вероятностей и учитывающих потенциально возможные информационно-технические воздействия со стороны злоумышленника, а также предложен аналитический способ нахождения предельных вероятностей моделируемых состояний. Модель применима при разработке высокоэффективных алгоритмов, разрешающих коллизии, в процедуре СМДС типа S-ALOHA.

Литература

1. Бойко А. А., Дьякова А. В. Способ разработки тестовых удаленных информационно-технических воздействий на пространственно распределенные системы информационно-технических средств // Информационно-управляющие системы. 2014. № 3. С. 84–92.
2. Перегудов М. А., Бойко А. А. Об адаптивной защите транковых сетей связи стандарта TETRA от деструктивного программного воздействия // Техника средств связи: науч.-техн. сб. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. Вып. 2(141). С. 218–221.
3. Kleinrock L., Lam S. S. On Stability of Packet Switching in a Random Multi-Access Broadcast Channel: Proc. of 7th Hawaii Intern. Conf. on System Sciences: Special Subconf. on Comput. Nets, Honolulu, Hawaii, Jan. 8–10, 1974. P. 73–77.
4. Carleial A. B., Hellman M. E. Bistable Behavior of ALOHA-type Systems // IEEE Trans. Commun. 1975. Vol. COM-23. P. 401–410.
5. Onozato Y., Nogochi S. On the Thrashing Cusp in Slotted ALOHA Systems // IEEE Trans. Commun. 1985. Vol. COM-33. P. 1171–1182.
6. Abramson N. The ALOHA System-Another Alternative for Computer Communications // Fall Joint Comput. Conf.: AFIPS Conf. Proc. 1970. Vol. 37. P. 281–285.
7. Kobayashi H., Onozato Y., Huynh D. An Approximate Method for Design and Analysis of an ALOHA System // IEEE Trans. Commun. 1977. Vol. COM-25. P. 148–158.

UDC 004.728.3

Model Procedure of Random Multiple Access to the Environment Type S-ALOHA

Peregudov M. A.^a, Adjunct, maxaperegudov@mail.ru

Boyko A. A.^a, PhD, Tech., Associate Professor, algeminy@mail.ru

^aMilitary Education-Science Center of Military Air Forces «Professor N. E. Zhukovsky and Yu. A. Gagarin Military Air Academy», 54A, Staryh Bolshevikov St., 394064, Voronezh, Russian Federation

Purpose: In packet radio networks, you should be able to evaluate the efficiency of random multiple access to the environment type S-ALOHA of such a network under remote infotechnical impacts from an attacker. The existing methods fail to comprehensively assess the efficiency of this procedure because they do not take into account the effect of potential impacts and the amount of the available time resource. Another shortcoming of these methods is determining disparate characteristics: the quantitative indicator of successful package delivery and the qualitative indicator of random multiple access procedure stability. The aim of this research is a comprehensive quantitative assessment of the efficiency of random multiple access to the environment type S-ALOHA for a packet radio network under infotechnical impacts. **Results:** The method of evaluating the efficiency of random multiple access to the environment type S-ALOHA of a packet radio network has been improved by taking into account the potential impacts, probabilities of a free channel, probability of stable functioning and determination of the comprehensive indicator of the efficiency of this procedure. By induction, a generalized analytical solution was obtained about how to find the marginal probabilities of the simulated states. **Practical relevance:** The model can be applied for the development of highly efficient algorithms resolving collisions in the procedure of random multiple access to the environment type S-ALOHA.

Keywords – Packet Radio Network, S-ALOHA, Infotechnical Impact, Markov Model.

References

1. Boyko A. A., D'iakova A. V. The Method of Development of Test Remote Information-Technical Impacts on the Spatial Distribution of Information-Technical Equipment. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy*, 2014, no. 3, pp. 84–92 (In Russian).
2. Peregudov M. A., Boyko A. A. About Adaptive Protection of Trunking Communication Networks of Standard of TETRA from Destructive Programming Impact. *Tekhnika sredstv svyazi*, Saint-Petersburg, Politekhnikeskii universitet Publ., 2013, iss. 2(141), pp. 218–221 (In Russian).
3. Kleinrock L., Lam S. S. On Stability of Packet Switching in a Random Multi-Access Broadcast Channel. *Proc. of 7th Hawaii Intern. Conf. on System Sciences. Special Subconf. on Comput. Nets*, Honolulu, Hawaii, Jan. 8–10, 1974, pp. 73–77.
4. Carleial A. B., Hellman M. E. Bistable Behavior of ALOHA-type Systems. *IEEE Trans. Commun.*, 1975, vol. COM-23, pp. 401–410.
5. Onozato Y., Nogochi S. On the Thrashing Cusp in Slotted ALOHA Systems. *IEEE Trans. Commun.*, 1985, vol. COM-33, pp. 1171–1182.
6. Abramson N. The ALOHA System-Another Alternative for Computer Communications. *AFIPS Conf. Proc. "Fall Joint Comput. Conf."*, 1970, vol. 37, pp. 281–285.
7. Kobayashi H., Onozato Y., Huynh D. An Approximate Method for Design and Analysis of an ALOHA System. *IEEE Trans. Commun.*, 1977, vol. COM-25, pp. 148–158.