

УДК 681.513

**Катыгин Борис Георгиевич**

ГКОУ ВПО «Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации»

Россия, Орёл<sup>1</sup>

\Сотрудник

E-Mail: [katygin.b@gmail.com](mailto:katygin.b@gmail.com)

## **Алгоритм управления параметрами протокола случайного множественного доступа для повышения коэффициента использования пропускной способности канала сети широкополосного беспроводного доступа**

**Аннотация:** Излагается подход к построению алгоритма управления параметрами протокола случайного множественного доступа для повышения коэффициента использования пропускной способности канала множественного доступа сети широкополосного беспроводного доступа. Предполагается, что доступ станций к ресурсу канала сети осуществляется по методу множественного доступа с обнаружением несущей и предотвращением коллизий. Приводятся выражения для расчета вероятностей состояния канала необходимые для построения математической модели коэффициента использования пропускной способности канала множественного доступа сети широкополосного беспроводного доступа. Делается вывод о том, что для повышения коэффициента использования пропускной способности канала множественного доступа сети широкополосного беспроводного доступа можно использовать параметры протокола, определяющие задержку перед началом передачи пакета. Предлагаемый алгоритм реализуется на основе самонастраивающейся системы с математической моделью и оптимизатором параметров объекта управления.

**Ключевые слова:** Сеть широкополосного беспроводного доступа; протокол множественного доступа; коэффициент использования пропускной способности канала; вероятность простоя; вероятность успешной передачи; вероятность коллизии; алгоритм управления.

Идентификационный номер статьи в журнале 17TVN214

---

<sup>1</sup> 302034, г. Орёл, ул. Приборостроительная, д. 35

## Введение

В сетях *широкополосного беспроводного доступа (ШБД)* для распределения ресурса канала множественного доступа, используемого многими пользователями, применяются статические (фиксированные), случайные (распределенные) и комбинированные протоколы множественного доступа, классификация которых показана на рис. 1 [1].



**Рис. 1.** Классификация методов множественного доступа (составлено автором)

В статических протоколах доступа часть ресурса канала закрепляется за станцией на все время работы. Поэтому при малой нагрузке в сети, вследствие небольшого количества станций или их низкой активности, использование статических протоколов доступа приводит к неэффективному использованию ресурса канала [2].

При применении протоколов *случайного множественного доступа (СМД)*, использование ресурса канала происходит в соответствии с потребностями в нем станций, поэтому эффективность использования ресурса канала выше [2].

Недостатками использования протоколов СМД являются наличие коллизий при одновременной передаче пакетов от двух и более станций и задержка перед передачей пакета (начальной или повторной). В настоящей работе предлагается подход для повышения эффективности использования ресурса канала при использовании протоколов СМД в сети ШБД.

## 1. Коэффициент использования пропускной способности канала множественного доступа

Для оценки и сравнения эффективности использования ресурса канала различными протоколами СМД используют такие показатели как производительность канала и пропускная способность протокола. Производительность канала представляет собой число требований, обслуженных в единицу времени при использовании протокола СМД [3]. Под пропускной способностью протокола СМД понимают среднее число успешных передач в пакетах на единицу времени [4].

Если вместо среднего числа успешных передач использовать среднее время занятия канала успешными передачами, то для оценки эффективности использования ресурса канала можно использовать другой показатель – безразмерную величину  $S$ , называемую *коэффициентом использования пропускной способности канала (КИПСК)*, которая показывает отношение средней длительности занятия канала успешной передачей на общее время занятия канала, сопровождающее успешную передачу [5]:

$$S(\bar{T}_{SS}, \bar{T}_I, \bar{T}_{US}) = \frac{\bar{T}_{SS}}{\bar{T}_I + \bar{T}_{SS} + \bar{T}_{US}} \quad (1)$$

где:

$\bar{T}_{SS}$  – средняя длительность занятия канала успешной передачей;

$\bar{T}_I$  – средняя длительность простоя канала при передаче;

$\bar{T}_{US}$  – средняя длительность занятия канала неуспешной передачей.

Поскольку канал множественного доступа при использовании протокола СМД с различными вероятностями может находиться в одном из трех состояний: быть занятым успешной передачей, простаивать, быть занятым неуспешной (коллизией) передачей, то и при описании КИПСК в стационарных условиях, длительность нахождения канала в этих состояниях также должна быть охарактеризована с учетом этих вероятностей, поэтому (1) можно записать в виде [6]:

$$S(p_{SS}, p_I, p_{US}, \sigma, \bar{T}_{SS}, \bar{T}_{US}) = \frac{p_{SS} \bar{T}_{SS}}{p_I \sigma + p_{SS} \bar{T}_{SS} + p_{US} \bar{T}_{US}} \quad (2)$$

где:

$\sigma$  – длительность тайм слота (единичный интервал времени, на который разбита ось времени);

$p_{SS}$  – вероятность успешного занятия канала при передаче пакета;

$p_{US}$  – вероятность неуспешного занятия канала при передаче пакета;

$p_I$  – вероятность простоя канала.

## 2. Особенности КИПСК протокола СМД CSMA/CA

В сетях ШБД стандарта *IEEE* 802.11 для доступа к ресурсу канала станциями в качестве базового используется «режим распределенной координации» (DCF – Distributed Coordination Function), работа которого основана на протоколе СМД с обнаружением несущей и предотвращением коллизий CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) [7].

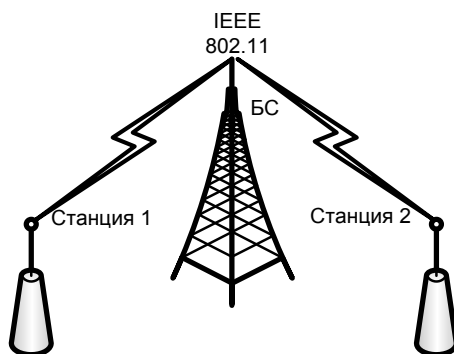
Суть работы протокола СМД CSMA/CA заключается в том, что станция, перед передачей пакета, анализирует состояние канала, и если он простаивает в течение некоторого времени, то с вероятностью  $p$  передает пакет в новом (следующем) тайм слоте или с вероятностью  $1-p$  задерживает передачу. Если канал занят, процедура передачи пакета откладывается.

Вероятность передачи пакета в новом тайм слоте  $p$  характеризует длительность задержки следующим образом. Задержка перед передачей пакета по протоколу СМД CSMA/CA измеряется целым числом тайм слотов выбираемом равновероятно из значений в пределах от нуля до  $CW$ , где  $CW \in \mathbf{Z}$ . Поэтому передача пакета в среднем происходит в  $(CW + 1)/2$  слоте, то есть пакет передается в тайм слоте с вероятностью  $p = 2/(CW + 1)$ . Данный подход используется для того, что бы при математическом описании слотированных протоколов СМД отойти от задания задержки в целом числе тайм слотов [4].

Протокол CSMA/CA, позволяет улучшить коэффициент использования пропускной способности по сравнению с другими протоколами СМД (Aloha, S-Aloha), в которых механизм обнаружения несущей не используется. Однако, ему также присущи общие недостатки протоколов СМД, снижающие КИПСК [8].

В сети ШБД, состоящей из базовой и нескольких абонентских станций, как показано на рис. 2, находящихся на удалении нескольких километров друг от друга, абонентские станции, не имеющие электромагнитной доступности друг к другу, при анализе состояния канала смогут определять занятие канала только базовой станцией, но не другой абонентской станцией. То есть одна абонентская станция может начать передачу даже при занятом передачей от другой абонентской станции канале (так называемая «проблема «скрытых» станций»).

В подобной ситуации увеличивается число коллизий, а, следовательно, и число повторных передач, поэтому КИПСК снижается.



**Рис. 2.** Сеть ШБД из одной базовой и 2-х «скрытых» абонентских станций  
(составлено автором)

Для определения КИПСК при применении в сети ШБД протокола СМД CSMA/CA в условиях наличия «скрытых» станций, вероятности, указанные в (2) могут быть рассчитаны в соответствии с выражениями [9]:

$$p_I(M, CW_{AS}, CW_{BS}) = (1 - p_{BS})(1 - p_{AS})^{M-1} \quad (3)$$

$$p_{SS}(M, CW_{AS}, CW_{BS}, D) = p_{BS}(1 - p_{AS})^{M-1} + (1 - p_{BS})(M - 1)p_{AS}(1 - p_{AS})^{(M-2)D} \quad (4)$$

$$p_{US}(M, CW_{AS}, CW_{BS}, D) = p_{BS} \sum_{m=1}^{M-1} C_{M-1}^m p_{AS}^m (1 - p_{AS})^{M-m-1} + \\ + (p_{BS} - 1) \left[ (1 - p_{AS})^{M-1} - p_{AS}(1 - p_{AS})^{D(M-2)} + Mp_{AS}(1 - p_{AS})^{D(M-2)} - 1 \right] \quad (5)$$

где:

$M$  – число станций, передающих пакеты в сети;

$m$  – число конкурирующих станций,  $m \in [0..M]$ ;

$p_{BS}$  – вероятность передачи пакета в новом тайм слоте базовой станцией, определяемая длительностью задержки, перед передачей пакета базовой станцией  $CW_{BS}$  ( $p_{BS} = 2/(CW_{BS} + 1)$ );

$p_{AS}$  – вероятность передачи пакета в новом тайм слоте абонентской станцией, определяемая длительностью задержки, перед передачей пакета абонентской станцией  $CW_{AS}$  ( $p_{AS} = 2/(CW_{AS} + 1)$ );

$D$  – нормированная длительность передачи пакета  $\bar{T}_{SS}$  к длительности тайм слота  $\sigma$ ,  $D = \lceil \bar{T}_{SS}/\sigma \rceil$ .

Таким образом, КИПСК протокола CSMA/CA  $S_{CSMA/CA}$ , описываемый выражениями (2-5), при известных значениях  $M$ ,  $\bar{T}_{SS}$ ,  $\bar{T}_{US}$ ,  $D$  характеризуется не одним, а областью значений, как показано на рис.3 ( $M=3$  и  $D=3$ ), и может быть представлен в виде функционала:

$$S_{CSMA/CA} = f(M, CW_{BS}, CW_{AS}, \sigma, \bar{T}_{SS}, \bar{T}_{US}, D) \quad (6)$$



**Рис.3.** Область значений  $S_{CSMA/CA}$  КИПСК протокола СМД CSMA/CA при наличии «скрытых» станций ( $M=3$ ,  $D=3$ ) (составлено автором)

Как следует из рисунка, значения  $S_{CSMA/CA}$ , для различных наборов  $CW_{BS}$  и  $CW_{AS}$ , являются нелинейной гладкой унимодальной функцией без разрывов. Поэтому для повышения КИПСК множественного доступа сети ШБД, когда известны значения  $M$  и  $D$ , можно использовать параметры протокола, определяющие задержку перед началом передачи пакета  $CW_{BS}$  и  $CW_{AS}$ , выбирая их таким образом, что бы рабочая точка находилась в области максимума КИПСК.

Таким образом, цель управления параметрами протокола СМД CSMA/CA станций  $CW_{BS}$ ,  $CW_{AS}$  сети ШБД будет заключаться в выборе таких значений  $CW_{BS}^*$ ,  $CW_{AS}^*$ , при фиксированных значениях  $M$  и  $D$ , при которых обеспечивается максимизация КИПСК множественного доступа  $S_{CSMA/CA}$ :

$$S_{CSMA/CA} \rightarrow \max_{CW_{BS}, CW_{AS}, \sigma} \quad (7)$$

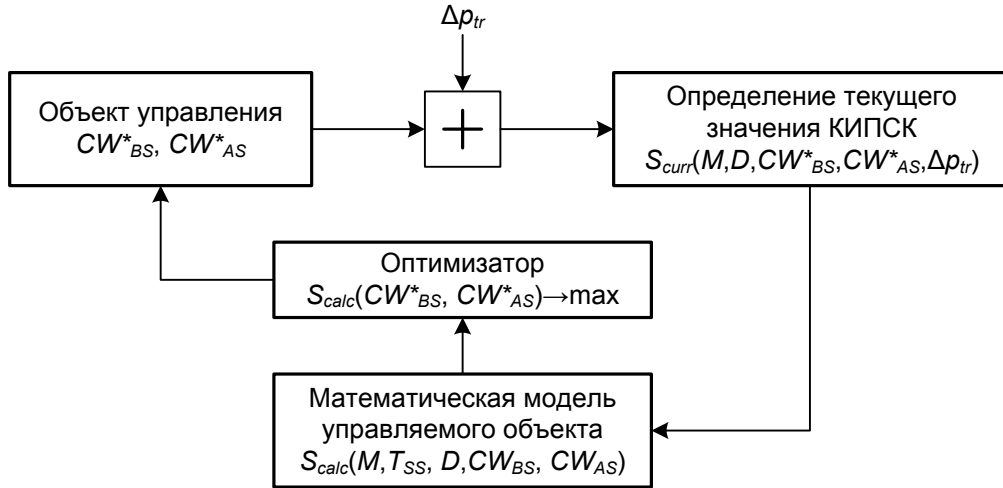
Для определения значений  $CW_{BS}^*$  и  $CW_{AS}^*$  можно использовать методы нелинейной целочисленной оптимизации: метод направленного перебора, дискретный аналог метода Гаусса-Зейделя и др.

### 3. Алгоритм управления параметрами протокола СМД CSMA/CA

Процесс управления параметрами протокола СМД CSMA/CA может быть реализован путем реализации самонастраивающейся системы с математической моделью и оптимизатором параметров объекта управления, показанной на рис. 4 [10]. В подобной самонастраивающейся системе текущие значения параметров управляемого объекта (КИПСК) оцениваются и сравниваются со значением КИПСК полученным в результате расчета с помощью математической модели. При отклонении текущего значения КИПСК определяются значения управляемых параметров, при которых будет достигаться цель введенного управления.

Измерение характеристик процесса передачи пакетов в канале множественного доступа сети, по которым определяется текущее значение КИПСК, должно происходить в процессе функционирования сети на участке квазистационарности – интервале времени, на котором рабочие характеристики процесса передачи пакетов в канале множественного доступа сети ШБД предполагаются постоянными.

В тех случаях, когда на текущее значение КИПСК влияют возмущения  $\Delta p_{lr}$ , осуществляется коррекция управляемых параметров протокола с учетом этих возмущений.



**Рис. 4.** Самонастраивающаяся система с математической моделью и оптимизатором (составлено автором)

Для того, что бы определить возмущение  $\Delta p_{tr}$ , следует учесть его в приведенных выражениях для расчета вероятностей состояний канала множественного доступа (3-5). Так вероятность успешного занятия (4) должна быть переписана как:

$$p_{SS}(M, CW_{AS}, CW_{BS}, D, \Delta p_{tr}) = p_{BS}(1 - \Delta p_{tr})^D (1 - p_{AS})^{M-1} + (1 - p_{BS})(1 - \Delta p_{tr})^D (M - 1) p_{AS} (1 - p_{AS})^{(M-2)D} \quad (10)$$

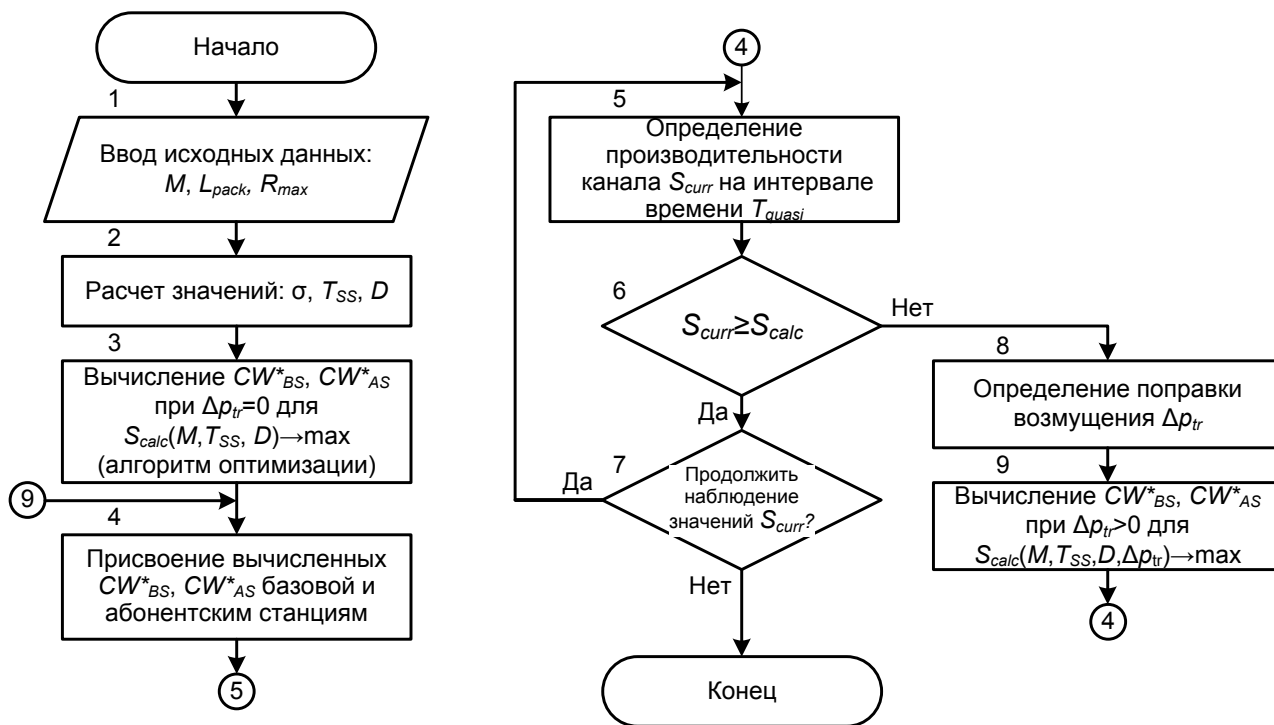
Тогда, чтобы найти  $\Delta p_{nep}$  необходимо решить уравнение:

$$p_{BS}(1 - \Delta p_{tr})^D (1 - p_{AS})^{M-1} + (1 - p_{BS})(1 - \Delta p_{tr})^D (M - 1) p_{AS} (1 - p_{AS})^{(M-2)D} - p_{SS} = 0 \quad (11)$$

После этого, с вычисленной поправкой  $\Delta p_{tr}$ , следует уточнить значения  $CW_{BS}^*$  и  $CW_{AS}^*$  максимизирующие значение КИПСК.

Таким образом, управление параметрами протокола СМД CSMA/CA с целью повышения коэффициента использования пропускной способности канала множественного доступа сети ШБД может быть реализовано в виде алгоритма управления параметрами протокола множественного доступа для повышения КИПСК множественного доступа сети широкополосного беспроводного доступа, представленного на рис. 5.

На первом этапе на базовой станции осуществляется ввод исходных данных, включающих в себя число станций  $M$  работающих в сети ШБД, средний размер пакета данных в битах  $L_{pack}$  и максимальное расстояние от базовой станции до абонентской станции  $R_{max}$ . На основании исходных данных, на втором этапе рассчитываются значения длительности тайм слота  $\sigma$  по значению  $R_{max}$  и длительности занятия канала передачей пакета  $\bar{T}_{SS}$  по значению  $L_{pack}$ . По рассчитанным значениям  $\sigma$  и  $\bar{T}_{SS}$  определяется нормированная к длительности тайм слота длительность передачи  $D = \bar{T}_{SS} / \sigma$ .



**Рис. 5.** Алгоритм управления параметрами протокола множественного доступа для повышения КИПСК множественного доступа сети широкополосного беспроводного доступа (составлено автором)

На третьем этапе, в соответствии с выражениями (2-5) при  $\Delta p_{tr} = 0$  определяются значения задержки перед отправкой пакета базовой и абонентской станциями  $CW^*_{BS}$  и  $CW^*_{AS}$ , при которых рассчитанное значение КИПСК  $S_{calc}$  будет максимально. Полученные на четвертом этапе значения  $CW^*_{BS}$  используются базовой станцией, а значения  $CW^*_{AS}$  по логическому каналу управления доводятся на абонентские станции сети и используются ими в протоколе доступа.

На пятом этапе, в процессе работы сети на интервале времени квазистационарности  $T_{quasi}$ , базовая станция, накапливает информацию о характеристиках процесса передачи данных в канале множественного доступа, содержащую количество успешных и неуспешных (коллизийных) передач и время простоя канала в тайм слотах. На основании полученных данных определяются частоты появления соответствующих событий в течении  $T_{quasi}$  и определяется текущее значение КИПСК  $S_{curr}$ .

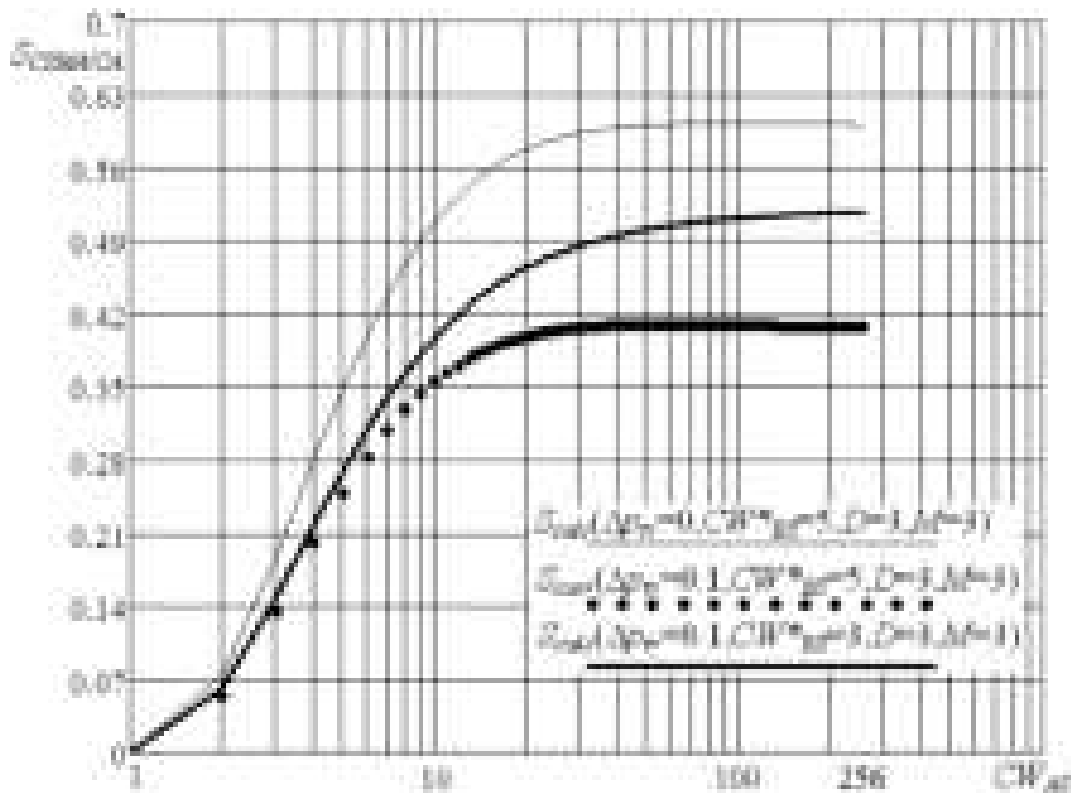
На шестом этапе осуществляется сравнение текущего значения КИПСК  $S_{curr}$  с рассчитанным  $S_{calc}$  и при соответствии значений, по окончании наблюдения за значением  $S_{curr}$  работа алгоритма прекращается.

В случае если текущее значение КИПСК будет меньше рассчитанного ( $S_{curr} < S_{calc}$ ), следует определить другие значения  $CW^*_{BS}$  и  $CW^*_{AS}$ , для чего на восьмом этапе в соответствии с выражением (11) определяется поправка возмущения  $\Delta p_{tr}$  и производится расчет  $CW^*_{BS}$  и  $CW^*_{AS}$  с учетом значения этой поправки.



С учетом найденной поправки  $\Delta p_{lr}$  на девятом этапе определяются новые значения  $CW^*_{BS}$ ,  $CW^*_{AS}$ , максимизирующие рассчитываемое значение КИПСК  $S_{calc}$ . Полученные на девятом этапе значения  $CW^*_{BS}$ ,  $CW^*_{AS}$ , по логическому каналу управления доводятся на абонентские станции сети и используются ими в протоколе доступа.

После этого алгоритм возвращается к пятому этапу для определения текущего значения КИПСК  $S_{curr}$  на участке квазистационарности  $T_{quasi}$ .



**Рис.6.** Результат работы алгоритма управления параметрами протокола СМД CSMA/CA (составлено автором)

Результатом работы предложенного алгоритма управления параметрами протокола СМД CSMA/CA является повышение КИПСК, за счет определения значения возмущения и вычисления и представленное на рис.6.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бунин С.Г., Войтер А.П. Вычислительные сети с пакетной радиосвязью. –К.: Издательство «Тэхника», 1989. –223 с.
2. Камнев В. Е., Черкасов В.В., Чечин Г.В. Спутниковые сети связи: Учеб. пособие/В.Е. Камнев, В.В. Черкасов, Г.В. Чечин. – М.: «Альпина Паблишер», 2004. – 536 с.
3. Саати Т. Элементы теории массового обслуживания и ее приложения. –М.: Издательство «Советское радио» – 1965. – 510 с.
4. Kleinrock, L. Tobagi, F. «Packet switching in radio channels: Part I – Carrier Sense Multiple-Access Modes and Their Throughput-Dely Characteristics» IEEE Trans. Commun., vol. COM-23 № 12, pp. 1400–1476, Dec. 1975.
5. Клейнрок Л. Вычислительные системы с очередями. –М.: Издательство «Мир» – 1979. – 600 с.
6. Bianchi, G. Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function. IEEE J. Select. Areas Commun. 18:535–47.
7. IEEE Std 802.11-2007, Revision of IEEE Std 802.11-1999. IEEE Standard for Information Technology- Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area network – Specific requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications. IEEE Computer Society, June 2007.
8. Широко А.И., Катygин Б.Г. «Непроизводительные потери временного ресурса в режиме распределенного управления стандарта IEEE 802.11» Научно-технический сборник «Техника радиосвязи» №17. – Омск: ОАО ОНИИП, 2012.
9. Широко А.И., Катygин Б.Г. Расчет вероятностей состояний канала сети ШБД при наличии «скрытых» станций/ Б.Г. Катygин, А.И. Широко //Сборник докладов II Международной научно-технической конференции «Радиотехника, электроника и связь». – Омск: ОАО «Омский научно-исследовательский институт приборостроения». – 2013. – С. 115-122.
10. Михайлов В.С. Теория управления. –К.: Выща шк. Головное изд-во, 1988. -312 с.

**Рецензент:** Колинко Александр Васильевич, кандидат технических наук, доцент, ГКОУ ВПО Академия Федеральной службы охраны Российской Федерации (Академия ФСО России).

**Boris Katygin**

The Academy of Federal Security Guard Service of the Russian Federation  
Russia, Orel  
E-Mail: [katygin.b@gmail.com](mailto:katygin.b@gmail.com)

## **Control algorithm parameters random multiple access protocol for increasing utilization bandwidth broadband wireless access network**

**Abstract:** An approach to the construction of the control algorithm parameters random multiple access protocol to increase the utilization bandwidth multiple access broadband wireless access networks . It is assumed that the access stations to the network channel resource is performed by the method of multiple-access with carrier detection and collision avoidance. Expressions for calculating the probabilities of channel status is needed to build a mathematical model of utilization bandwidth multiple access broadband wireless access networks. It is concluded that to improve the utilization bandwidth multiple access broadband wireless access networks can use the protocol parameters that determine the delay before transmitting a packet. The proposed algorithm is implemented on the basis of self-adjusting system with a mathematical model and optimizer parameters of the control object.

**Keywords:** Broadband wireless access network; multiple access protocol; bandwidth utilization channel; idle probability; probability of successful transmission; probability of collision; control algorithm.

Identification number of article 17TVN214

## REFERENCES

1. Bunin S.G., Voyter A.P. Computer networks with a package radio communication. - To.: Tekhnika publishing house, 1989.-223 pages.
2. Kamnev V. E., Tcherkasov V. V., Chechin G. V. Satellite communication networks: Studies. grant/V.E. Kamnev, V. V. Tcherkasov, GV. Chechin. - M: "Alpina Pablshisher", 2004. - 536 pages.
3. Saati T. Elements of the theory of mass service and its appendix. - M: Publishing house «Soviet radio» - 1965. - 510 pages.
4. Kleinrock, L. Tobagi, F. «Packet switching in radio channels: Part I - Carrier Sense Multiple-Access Modes and Their Throughput-Dely Characteristics» IEEE Trans. Commun., vol. COM-23 No. 12, pp. 1400-1476, Dec. 1975.
5. Kleynrok L. Computing systems with turns. - M: Mir publishing house - 1979. - 600 pages.
6. Bianchi, G. Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function. IEEE J. Select. Areas Commun. 18:535-47.
7. IEEE Std 802.11-2007, Revision of IEEE Std 802.11-1999. IEEE Standard for Information Technology-Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area network - Specific requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) specifications. IEEE Computer Society, June 2007.
8. Shirko A.I., Katygin B. G. «Unproductive losses of a temporary resource in a mode of the distributed management of the IEEE 802.11 standard» Scientific and technical collection «Of the technician of a radio communication» No. 17. - Omsk: JSC ONIIP, 2012.
9. Shirko A.I., Katygin B. G. Calculation of probabilities of conditions of the channel of a ShBD network in the presence of the "hidden" stations / B. G. Katygin, A.I.Shirko//the Collection of reports of the II International scientific and technical conference «Radio engineering, electronics and communication». - Omsk: JSC Omsky nauchno-issledovatelsky institut priborostroyeniya. - 2013. - Page 115-122.
10. Mikhaylov V. S. Management theory. - To.: Выща шк. Head publishing house, 1988.-312 pages.