

Козлов Владимир Александрович – кафедра информационной безопасности, систем и технологий; доцент, к.т.н.

Bondarenko Karine Ovikovna – Institute of services, tourism and Design (Branch) SKFU in Pyatigorsk; e-mail: karinamailto@mail.ru; 78-1-29, Essentukskaya street, Pyatigorsk, 357538, Russia; phone: +79187594749; the department of information security, systems and technologies; senior lecturer.

Kozlov Vladimir Aleksandrovich – the department of information security, systems and technologies; assistant professor, candidate of technical sciences.

УДК 621.39

И.А. Енгибарян, Б.Х. Кульбикаян, О.А. Сафарьян

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВОЙСТВА СИНЕРГИЧНОСТИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ СВЯЗИ

В статье на примере фрагмента системы сотовой связи «центр коммутации-базовые станции» рассматриваются вопросы проявления свойства синергичности в радиотехнических системах, содержащих большое число одновременно и независимо работающих генераторов. Показано, что возможность проявления данного свойства связана с введением дополнительных связей в системе, позволяющих на основе одновременного измерения фаз несущих сигналов, формируемых данными генераторами, получить оценку отклонения частоты генератора от номинального значения с дисперсией меньшей, чем нестабильность любого генератора в данной системе. В качестве показателя синергичности рассматривается помехоустойчивость системы, определяемая как вероятность ошибки при демодуляции одного бита цифрового потока. Приведены результаты исследований, позволяющие оценить проявление свойства синергичности в зависимости от числа генераторов, входящих в систему связи. С использованием численного моделирования получена оценка выигрыша в снижении вероятности битовой ошибки в зависимости от параметров системы, определяющих ее синергичность (числа генераторов и их относительных нестабильностей). В частности, в условиях рассматриваемого примера показано, что проявление свойства синергичности обеспечивает повышение стабильности генераторов в 2...10 раз и повышение помехоустойчивости системы на порядок.

Система связи; помехоустойчивость системы связи; синергичность; стабильность частоты; вероятность битовой ошибки.

I.A. Engibaryan, B.Kh. Kulbikayan, O.A. Safar'yan

USING THE SYNERGY PROPERTIES TO IMPROVE NOISE IMMUNITY OF COMMUNICATION SYSTEMS

On the example of the part of communication system "switching centre-base station" the existence of properties of synergy in electronic systems containing a large number of simultaneously and independently operating generators examines in the article. It is shown that the possibility of the existence of this property is related to the introduction of additional links in the system that allows for simultaneous measurement of the phases of the carrier signals generated by these generators to obtain an estimate of the deviation of the oscillator frequency from the nominal value with a smaller variance than the volatility of any generator in the system. As an indicator of synergy considers the interference immunity of the system, defined as the probability of error in demodulating one-bit digital stream. The results of the researches, allowing to estimate the manifestation of the properties of synergy depending on the number of generators included in the communication system. Using numerical simulation, the evaluation of the gain in reducing the probability of bit error, depending on the system parameters that determine its synergies (number of genera-

tors and their relative instabilities). In particular, in the example it is shown that the manifestation of the properties of energichnost provides increased stability of the generators in 2...10 times and improving the interference immunity system.

Communication system; the interference immunity of communication system; synergies; stability of frequency; the bit error probability.

Введение. Перспективные системы связи, телекоммуникационные и информационные системы по своей структуре являются распределенными системами, содержащими значительное число функционально однотипных элементов, в которых циркулируют большие объемы информации и данных. Наиболее характерным примером таких систем является система сотовой связи в целом и ее отдельные составные части, такие как центр коммутации и совокупность подключенных к нему базовых станций [1–3]. Фундаментальным свойством таких систем является синергичность, которая связана с интеграцией характеристик элементов в системе, что приводит к возрастанию конечного результата. Однако реализация данного свойства и степень его проявления в значительной мере определяются соответствием связей, установленных между элементами системы, и задачами, решаемыми этими элементами в составе системы в целом.

Одним из возможных проявлений свойства синергичности в системах связи может являться повышение их помехоустойчивости, которая характеризуется вероятностью ошибки $P_{ош}$ при передаче бита информации [4]. При этом собственно помехоустойчивость при прочих равных условиях (вид применяемых сигналов, мощности передатчика, чувствительность приемника, коэффициенты усиления передающей и приемной антенн) связана, как показано в [5], со стабильностью частоты формируемых сигналов.

Вопросы повышения стабильности частоты генераторов рассматривались в большом числе работ, например, [8–18]. Однако в указанных работах не рассматриваются возможности повышения стабильности частоты на основе использования свойств синергичности системы. Реализация синергичности в распределенной системе связи, содержащей совокупность одновременно и независимо работающих генераторов, достигается путем одновременного измерения фаз сигналов, формируемых генераторами, и оценивания их частоты с использованием метода максимального правдоподобия. В свою очередь, параметром, определяющим проявление свойства синергичности в таких системах, является их число, а также относительные нестабильности.

Цель статьи заключается в анализе на примере составной части системы сотовой связи «центр коммутации – базовые станции» проявления свойства синергичности в виде количественных зависимостей, связывающих помехоустойчивость системы связи с параметрами (числом и относительными нестабильностями) входящих в ее состав генераторов.

Постановка задачи. Рассмотрим составную часть системы сотовой связи «центр коммутации – K базовых станций». В состав такой системы входят K одновременно и независимо работающих генераторов.

Вероятность ошибки при передаче бита информации в канале между центром коммутации и базовой станцией с сигналами вида M -QAM определяется соотношением [6, 7]:

$$P_b = 2 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}} \right) \operatorname{erfc} \left[\sqrt{\frac{3 \log_2 M E_b}{2(M-1) N_0}} \right], \quad (1)$$

где E_b – энергия бита, N_0 – спектральная плотность шумов в канале связи; $\operatorname{erfc}[\bullet]$ – интеграл ошибок.

Энергия бита при корреляционной обработке принимаемых сигналов, в свою очередь, может быть связана с уровнем корреляционной функции

$$E_b = A \cdot R, \quad (2)$$

где коэффициент A определяет на основе уравнения радиосвязи мощность принимаемого сигнала; R – нормированное значение автокорреляционной функции (АКФ) принимаемого сигнала.

Зависимость R , как функция различия частот принимаемого и опорного сигналов, может быть представлена зависимостью

$$|R(0, \Delta f)| = \frac{\sin(2\pi \cdot \Delta f \cdot T/2)}{2\pi \cdot \Delta f \cdot T/2}, \quad (3)$$

где T – длительность сигнала; Δf – относительное отклонение частоты принимаемого сигнала от частоты опорного сигнала, определяемое относительными стабильностями генераторов.

Таким образом, вероятность ошибки при передаче бита информации сигналами вида M -QAM в зависимости от Δf может быть представлено следующим образом:

$$P_b = 2 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}} \right) \operatorname{erfc} \left[\sqrt{\frac{3 \log_2 M E_b \sin(2\pi \cdot \Delta f \cdot T/2)}{2(M-1) N_0 2\pi \cdot \Delta f \cdot T/2}} \right]. \quad (4)$$

Основная часть. Для повышения стабильности частоты генераторов (уменьшения Δf) в рассматриваемой системе используем в составе центра коммутации измеритель «И» фаз несущих частот сигналов, с помощью которых организуется информационный обмен [5, 19–22]. Частоты сигналов f_k ($k = 1, \dots, K$), используемых для связи базовых станций и центра коммутации, в общем случае являются различными, так как подключение базовой станции к центру коммутации может осуществляться как с использованием оптоволоконных линий связи, так и радиорелейных каналов различной частоты. Упрощенная структурная схема приведена на рис. 1 [9].

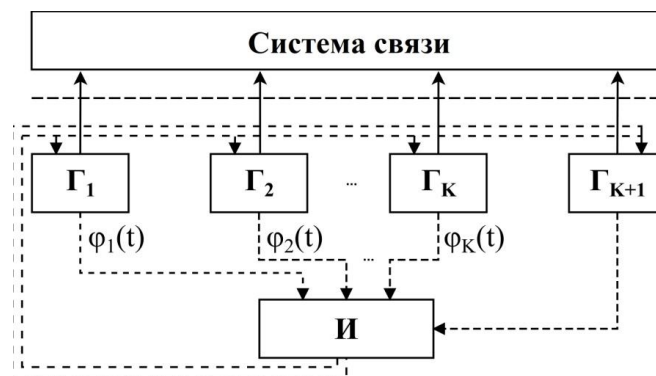


Рис. 1. Предлагаемая схема соединения генераторов

Временной интервал измерений фаз сигналов определяется генератором, входящим в состав центра коммутации. Совместное измерение фаз формируемых в системе сигналов и последующая их обработка по методу правдоподобия позволяет получить оценки отклонений частоты генераторов в системе от номинальных значений в следующем виде:

$$\begin{cases} \Delta \hat{f}_1 = t_0^{-1} \left(\Delta \varphi_1 - 2\pi f_{01} \left(\sum_{k=1}^K \sigma_k^{-2} \right)^{-1} \sum_{k=1}^K (\Delta \varphi_k - 2\pi f_{0k} t_0) \sigma_k^{-2} f_{0k}^{-1} \right), \\ \Delta \hat{f}_2 = t_0^{-1} \left(\Delta \varphi_2 - 2\pi f_{02} \left(\sum_{k=1}^K \sigma_k^{-2} \right)^{-1} \sum_{k=1}^K (\Delta \varphi_k - 2\pi f_{0k} t_0) \sigma_k^{-2} f_{0k}^{-1} \right), \\ \dots \\ \Delta \hat{f}_K = t_0^{-1} \left(\Delta \varphi_K - 2\pi f_{0K} \left(\sum_{k=1}^K \sigma_k^{-2} \right)^{-1} \sum_{k=1}^K (\Delta \varphi_k - 2\pi f_{0k} t_0) \sigma_k^{-2} f_{0k}^{-1} \right), \end{cases} \quad (5)$$

где f_{0k} – номинальная частота k -го генератора; $\Delta \varphi_k$ – отклонение измеренного значения фазы k -го генератора от номинального значения; σ_k – относительная нестабильность k -го генератора; t_0 – задаваемая длительность временного интервала измерений фаз сигнала генераторов.

На основе полученных оценок отклонений частоты генераторов от номинальных значений для каждого генератора формируется сигнал управления его частотой, обеспечивающий коррекцию частоты и приближение ее к номинальному значению.

Достижимое повышение стабильности частоты генераторов определяется величиной ошибки оценивания частоты генераторов. Потенциально достигаемое повышение стабильности частоты в соответствии с соотношением (5) для генераторов, работающих с одинаковыми частотами и имеющими одинаковые нестабильности, будет равно $K^{1/2}$.

Для случая подключения к центру коммутации десяти базовых станций ($K = 10$), генераторы которых имеют различные номинальные частоты и относительные нестабильности 10^{-9} , полученные на основе численного моделирования с использованием разработанной в среде *MathCad* 15.0 программы [11], результаты исследований приведены в табл. 1. Использование различных частот в линиях, соединяющих базовую станцию и центр коммутации, определяется возможностью использования линий различной физической природы (радиорелейных линий, волоконно-оптических линий связи и т.д.).

Таблица 1

Оценки отклонений частоты генераторов

Номинальные значения f_{0k} , ГГц	Действительные значения f_k , ГГц	Ошибка определения частоты генератора δf_k , кГц
5,000000	5,00001	-0,966
6,000000	5,99999	-1,159
7,000000	6,99997	-1,352
8,000000	7,99996	-1,546
9,000000	9,00001	-1,739
10,000000	9,99998	-1,932
11,000000	11,00001	-2,126
12,000000	12,00001	-2,319
13,000000	13,00001	-2,512
14,000000	14,00001	-2,705

Приведенные результаты показывают, что получаемая ошибка оценки отклонения частоты генератора в 2...10 раз меньше самого отклонения частоты, что позволяет соответственно повысить стабильность частоты формируемых колебаний.

На рис. 2 приведены зависимости битовой ошибки в каналах системы сотовой связи в зависимости от числа базовых станций K , подключенных к центру коммутации (на каждой базовой станции имеется один опорный генератор).

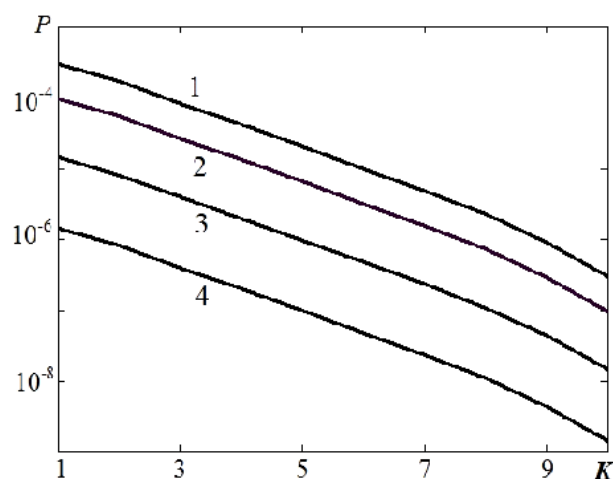


Рис. 2. Вероятность битовой ошибки в зависимости от повышения стабильности частоты при приеме сигнала 16QAM для различных значений несущей частоты: кривая 1 – 5 ГГц; кривая 2 – 10 ГГц; кривая 3 – 15 ГГц; кривая 4 – 20 ГГц

Как следует из приведенного графика, увеличение числа базовых станций (значения параметра K), эквивалентного повышению стабильности генераторов, приводит в каждом случае к снижению вероятности битовой ошибки на порядок. Используя, более сложные виды манипуляции в цифровых каналах связи, что является тенденцией развития современных систем связи, выигрыш будет возрастать.

Выводы. Использование совместной обработки результатов измерений фаз, формируемых различными генераторами сигналов в системах связи, и формирование на основе этих измерений оценок отклонения частоты генераторов позволяет добиться повышения стабильности частоты генераторов и, как следствие, помехоустойчивости самой системы.

Данный результат является проявлением свойства синергичности совокупности одновременно и независимо работающих генераторов и достигается за счет организации обработки фаз сигналов этих генераторов. Количественное проявление синергичности в системе связи с одновременно и независимо работающими генераторами в этом случае определяется параметрами (количеством и относительными нестабильностями) генераторов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дятлов А.П., Кульбикаян Б.Х. Радиомониторинг излучений спутниковых радионавигационных систем: монография. – М.: Радио и связь, 2006. – 270 с.
2. Дятлов А.П., Кульбикаян Б.Х. Корреляционная обработка широкополосных сигналов в автоматизированных комплексах радиомониторинга: монография. – М.: Горячая линия-Телеком, 2013. – 332 с.

3. Дятлов А.П., Кульбикаян Б.Х. Анализ и моделирование средств связи с подвижными объектами. – Ростов-на-Дону: Изд-во ФГБОУ ВПО РГУПС, 2014. – 196 с.
4. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. – М.: Радио и связь, 1985. – 384 с.
5. Сафарьян О.А. Метод статистической стабилизации частоты независимо работающих генераторов в инфокоммуникационных системах: дис. ... канд. техн. наук: 05.12.04. – Ростов-на-Дону, 2014. – 151 с.
6. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. – М.: Изд-во «Вильямс», 2007. – 1104 с.
7. Песков С.Н., Иценко А.Е. Расчет вероятности ошибки в цифровых каналах связи // Теле-Спутник. – 2010. – № 11. – С. 70-75.
8. Gardner F.M. Charge-pump, Phase-lock Loops // IEEE transactions on Communication. – November 1980. – Vol. COM-28. – P. 1849-1858.
9. Акимов В.Н., Белюстина Л.Н., Белых В.Н. и др. Системы фазовой синхронизации / под ред. В.В. Шахильдяна, Л.Н. Белюстиной. – М.: Радио и связь, 1982. – 288 с.
10. Horowitz P., Hill W. The Art of Electronics. Second Edition. Cambridge University Press, 1989.
11. Klaas Spaargaren. Stabilization of LC oscillators. QEX. – February 1996. – P. 19-23.
12. Allan D.W., Ashby Neil, Hodge C.C. The science of time keeping. Application Note 1289. – USA: Hewlett-Packard Company, 1997. – 88 с.
13. Curtin M., O'Brien P. Phase-Locked Loops for High-Frequency Receivers and Transmitters. Part 1. Analog Dialogue – 3. 1999.
14. Shveshkelev P. A VCO Design for WLAN Applications in the 2.4 to 2.5 GHz ISM Band // Applied Microwave & Wireless. – 2000. – No. 6. – P. 100-115.
15. Стариков О. Метод ФАПЧ и принципы синтезирования высокочастотных сигналов // Chip News. – 2001. – № 6.
16. Алексеев О.В., Головкин А.А., Митрофанов А.В. и др. Генераторы высоких и сверхвысоких частот: Учебное пособие. – М.: Высш. шк., 2003. – 326 с.
17. Тихомиров Н.М., Романов С.К., Леньшин А.В. Формирование ЧМ-сигналов в синтезаторах с автоподстройкой. – М.: Радио и связь, 2004. – 210 с.
18. Белов П.А. Формирование стабильных частот и сигналов. – М.: Изд. центр «Академия», 2005. – 224 с.
19. Габриэлян Д.Д., Енгибарян И.А., Сафарьян О.А. Новый метод стабилизации частоты генераторов // Сборник материалов 69-й Международной конференции «Радиоэлектронные устройства и системы для инфокоммуникационных технологий», Москва, 21-23 мая 2014 г. – С. 30-34.
20. Габриэлян Д.Д., Сафарьян О.А., Шацкий В.В. Патент на полезную модель № 144228 Российская Федерация, МПК H03L 7/00 Устройство стабилизации частоты генераторов // Патентообладатель: ФГБОУ ВПО «Донской государственный технический университет». – № 2014111456/08; заявл. 25.03.2014 г.; опубл. 10.08.2014 г. Бюл. № 22.
21. Габриэлян Д.Д., Прыгунов А.А., Прыгунов А.Г., Сафарьян О.А. Метод оценки частот в системе генераторов // Физические основы приборостроения. – 2012. – Т. 1, № 2. – С. 72-77.
22. Габриэлян Д.Д., Сафарьян О.А. Моделирование метода стабилизации частот генераторов // Свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ № 2013661291. Заявка № 2013619498. Дата поступления 21.10.2013 г. Правообладатель: ДГТУ. Дата регистрации 5.12.13 г.

REFERENCES

1. Dyatlov A.P., Kul'bikayan B.Kh. Radiomonitoring izlucheniya sputnikovykh radionavigatsionnykh sistem: Monografiya [The radiomonitoring of radiations of satellite radio navigational systems: the Monograf]. Moscow: Radio i svyaz', 2006. 270 p.
2. Dyatlov A.P., Kul'bikayan B.Kh. Korrelyatsionnaya obrabotka shirokopolosnykh signalov v avtomatizirovannykh kompleksakh radiomonitoringa: Monografiya [Correlation processing of broadband signals by the automated radio monitoring complexes: the Monograf]. Moscow: Goryachaya liniya-Telekom, 2013, 332 p.

3. *Dyatlov A.P., Kul'bikayan B.Kh.* Analiz i modelirovanie sredstv svyazi s podvizhnymi ob"ektami [The analysis and modeling of means of communication with mobile objects]. Rostov-on-Don: Izd-vo FGBOU VPO RGUPS, 2014, 196 p.
4. *Varakin L.E.* Sistemy svyazi s shumopodobnymi signalami [Communication systems with noise-type signals]. Moscow: Radio i svyaz', 1985, 384 p.
5. *Safar'yan O.A.* Metod statisticheskoy stabilizatsii chastoty nezavisimo rabotayushchikh generatorov v infokommunikatsionnykh sistemakh: dis. ... kand. tekhn. nauk [Method of statistical stabilization of frequency of independently operating generators in infocommunication systems. Cand. of eng. sc. diss.]. Rostov-on-Don, 2014, 151 p.
6. *Sklyar B.* Tsifrovaya svyaz'. Teoreticheskie osnovy i prakticheskoe primeneniye [Digital communication. Theoretical bases and practical application]. Moscow: Izd-vo «Vil'yams», 2007, 1104 p.
7. *Peskov S.N., Ishchenko A.E.* Raschet veroyatnosti oshibki v tsifrovyykh kanalakh svyazi [Calculation of probability of a mistake in digital channels of communication], *Tele-Sputnik* [Tele-Sputnic], 2010, No. 11, pp. 70-75.
8. *Gardner F.M.* Charge-pump, Phase-lock Loops, *IEEE transactions on Communication*, November 1980, Vol. COM-28, pp. 1849-1858.
9. *Akimov V.N., Belyustina L.N., Belykh V.N. i dr.* Sistemy fazovoy sinkhronizatsii [Systems of phase synchronization], Ed. by V.V. Shakhgil'dyana, L.N. Belyustinoy. Moscow: Radio i svyaz', 1982, 288 p.
10. *Horowitz P., Hill W.* The Art of Electronics. Second Edition. Cambridge University Press, 1989.
11. *Klaas Spaargaren.* Stabilization of LC oscillators. QEX. February 1996, pp. 19-23.
12. *Allan D.W., Ashby Neil, Hodge C.C.* The science of time keeping. Application Note 1289. USA: Hewlett-Packard Company, 1997, 88 p.
13. *Curtin M., O'Brien P.* Phase-Locked Loops for High-Frequency Receivers and Transmitters. Part 1. Analog Dialogue – 3. 1999.
14. *Shveshkelev P.* A VCO Desigh for WLAN Applications in the 2.4 to 2.5 GHz ISM Band, *Applied Microwave & Wireless*, 2000, No. 6, pp. 100-115.
15. *Starikov O.* Metod FAPCh i printsipy sintezirovaniya vysokochastotnykh signalov [The method of phase-locked-loop frequency control and principles of synthesizing of high-frequency signals]. Chip News, 2001, No. 6.
16. *Alekseev O.V., Golovko A.A., Mitrofanov A.V. i dr.* Generatory vysokikh i sverkhvysokikh chastot: Uchebnoe posobie [Generators of high and ultrahigh frequencies: the Manual]. Moscow: Vyssh. shk., 2003, 326 p.
17. *Tikhomirov N.M., Romanov S.K., Len'shin A.V.* Formirovanie ChM-signalov v sintezatorakh s avtopodstroykoy [Formation of FM- signals in synthesizers with an auto-frequency control]. Moscow: Radio i svyaz', 2004, 210 p.
18. *Belov P.A.* Formirovanie stabil'nykh chastot i signalov [Formation of stable frequencies and signals]. Moscow: Izd. tsentr «Akademiya», 2005, 224 p.
19. *Gabriel'yan D.D., Engibaryan I.A., Safar'yan O.A.* Novyy metod stabilizatsii chastoty generatorov [New method of stabilization of frequency of generators], *Sbornik materialov 69-y Mezhdunarodnoy konferentsii «Radioelektronnye ustroystva i sistemy dlya infokommunikatsionnykh tekhnologiy»*, Moskva, 21-23 maya 2014 g [Proceedings of the International conference «Radio electronic devices and systems to info communication technologies», Moscow, 21-23 may 2014], pp. 30-34.
20. *Gabriel'yan D.D., Safar'yan, O.A., Shatskiy V.V.* Pat. na poleznuyu model' № 144228 Rossiyskaya Federatsiya, MPK H03L 7/00 Ustroystvo stabilizatsii chastoty generatorov. Patentoobladatel': FGBOU VPO «Donskoy gosudarstvennyy tekhnicheskii universitet». № 2014111456/08; zayavl. 25.03.2014 g.; opubl. 10.08.2014 g. Byul. № 22 [Utility model No 144228 of Russia Federation, IPC H03L 7/00. Device of stabilization of frequency of generators. Holder: FGBOU VPO DGTU, Rostov-on-Don (RU). Application No 2014111456/08 from March 25, 2014; Publishing August 10, 2014. Bul. № 22].
21. *Gabriel'yan D.D., Prygunov A.A., Prygunov A.G., Safar'yan O.A.* Metod otsenki chastot v sisteme generatorov [Method of an assessment of frequencies in system of generators], *Fizicheskie osnovy priborostroeniya* [Ohysical Bases of Instrumentation], 2012, Vol. 1, No. 2, pp. 72-77.

22. *Gabriel'yan D.D., Safar'yan, O.A. Modelirovanie metoda stabilizatsii chastot generatorov [Modeling of a method of stabilization of frequencies of generators], Svidetel'stvo o gosudarstvennoy registratsii programm dlya EVM № 2013661291. Zayavka № 2013619498. Data postupleniya 21.10.2013 g. Pravoobladatel': DGTU. Data registratsii 5.12.13 g [Certificate about official registration software for computers No 2013661291 of the Russia Federation. Holder: FGBOU VPO DGTU, Rostov-on-Don (RU). December 5, 2013. Application No 2013619498 from October 21, 2013].*

Статью рекомендовал к опубликованию д.ф.-м.н., профессор В.Н. Таран.

Енгибарян Ирина Алешаевна – Северо-Кавказский филиал ордена Трудового Красного Знамени федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский технический университет связи и информатики» (СКФ МТУСИ); e-mail: eirina@live.ru; 344002, г. Ростов-на-Дону, ул. Серафимовича, 62; тел.: +79381139045; к.т.н.; доцент.

Кульбикаян Баграт Хачересович – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования Ростовский государственный университет путей сообщения (ФГБОУ ВО РГУПС); e-mail: bagrat@rgups.ru; 344038, г. Ростов-на-Дону, пл. Ростовского Стрелкового полка Народного Ополчения, 2; тел.: +78632726408, +79618179955; к.ф.-м.н.; доцент; начальник управления информатизации ФГБОУ ВПО РГУПС.

Сафарьян Ольга Александровна – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Донской государственный технический университет» (ДГТУ); e-mail: safari_2006@mail.ru; 344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1; тел.: +79185576771; к.т.н.; ассистент.

Engibaryan Irina Aleshaevna – North-Caucasian Branch of Moscow Technical University of Communication and Informatics; e-mail: eirina@live.ru; 62, Serafimovich street, Rostov-on-Don, 344002, Russia; phone: +79381139045; cand. of eng. sc.; associate professor.

Kulbikayan Bagrat Khacheresovich – Rostov State Transport University; e-mail: bagrat@rgups.ru; 2, square of the Rostov Shooting Regiment of the National Militia, Rostov-on-Don, 344038, Russia; phones: +78632726408, +79618179955; cand. of phys.-math. sc.

Safar'yan Ol'ga Alexandrovna – Don State Technical University; e-mail: safari_2006@mail.ru; 1, Gagarina square, Rostov-on-Don, 344000, Russia; phone: +79185576771; cand. of eng. sc.; assistant professor.

УДК 004.62

А.С. Грищенко

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ПОСТРОЕНИЯ ПРОЦЕДУР МАНИПУЛИРОВАНИЯ ДАННЫМИ В СТРУКТУРНО-НЕЗАВИСИМЫХ БАЗАХ ДАННЫХ*

В исследовании проведен обзор работ по оценке производительности существующих процедур манипулирования данными в структурно-независимых базах данных, основной проблемой которых названа их низкая эффективность. Причинами такой низкой производительности можно назвать двухуровневую структуру СНБД, преобразование при вводе / выводе данных из горизонтального в вертикальный вид и обратно, а также большее количество производимых операций по вставке. Рассматривается подход к решению проблемы низкой эффективности процедур манипулирования данными в структурно-

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 15-07-04033.