

УДК 621.391

**ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕДИКАТИВНОГО МОНИТОРИНГА  
ВЕРОЯТНОСТИ ПОТЕРИ ЦИКЛОВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ  
В КОНВЕРГЕНТНЫХ СЕТЯХ**

*Никитюк Л. А., Бабич Ю. О.*

*Одесская национальная академия связи им. А.С. Попова  
65029, Украина, г. Одесса, ул. Кузнечная, 1.  
Babich159@gmail.com*

**ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРЕДИКАТИВНОГО МОНІТОРИНГУ  
ЙМОВІРНОСТІ ВТРАТИ ЦИКЛОВОЇ СИНХРОНІЗАЦІЇ  
У КОНВЕРГЕНТНИХ МЕРЕЖАХ**

*Нікітюк Л.А., Бабіч Ю.О.*

*Одеська національна академія зв'язку ім. О.С. Попова  
65029, Україна, м. Одеса, вул. Кузнечна, 1.  
Babich159@gmail.com*

**SIMULATION OF PREDICTIVE MONITORING OF FRAME ALIGNMENT LOSSES  
PROBABILITY WITHIN CONVERGENT NETWORKS**

*Nikityuk L.A., Babich Y.O.*

*O.S. Popov Odessa national academy of telecommunications,  
1 Kovalska St., Odessa, 65029, Ukraine.  
Babich159@gmail.com*

**Аннотация.** В статье представлена динамическая, стохастическая, дискретно-событийная имитационная модель предикативного мониторинга вероятности потери цикловой синхронизации оборудованием конвергентной сети, объединяющей сегменты с синхронным и асинхронным режимами переноса информации.

**Ключевые слова:** имитационная модель, предикативный мониторинг, цикловая синхронизация.

**Анотація.** У статті представлено динамічну, стохастичну, дискретно-подієву імітаційну модель предикативного моніторингу ймовірності втрати циклової синхронізації обладнанням конвергентної мережі, яка об'єднує сегменти із синхронним та асинхронним режимами переносу інформації.

**Ключові слова:** імітаційна модель, предикативний моніторинг, циклова синхронізація.

**Abstract.** The article represents a dynamic, stochastic, discrete, event-based simulation model of predictive monitoring of frame alignment losses probability for convergent network equipment uniting synchronous and asynchronous segments.

**Key words:** simulation model, predictive monitoring, frame alignment.

Конвергенция телекоммуникационных технологий и сетей ставит ряд задач перед операторами связи, в числе которых обеспечение корректного взаимодействия сегментов с синхронным и асинхронным режимами переноса информации является наиболее актуальной. Одним из сценариев решения указанной задачи является применение эмуляции каналов для переноса трафика оборудования с синхронным режимом переноса информации через пакетную сеть [1]. Это, в свою очередь, ставит новые задачи перед системами сетевого мониторинга, и в частности мониторинга состояния цикловой синхронизации.

Последний может быть интерпретирован как предикативный мониторинг, который направлен на прогнозирование и предотвращение внештатных ситуаций [2]. Такой вид мониторинга применяется в промышленности, медицине, транспорте и логистике, охране окружающей среды, а также в бизнесе [3 ... 9]. Однако следует отметить, что возможности

реализации предикативного мониторинга характеристик работы сетевого оборудования, в условиях конвергенции технологий до сих пор не уделялось внимания.

**Целью данной статьи** является разработка имитационной модели, предикативного мониторинга вероятности потери цикловой синхронизации на основе метода предложенного авторами в работе [10].

Основная идея метода заключается в прогнозировании изменений вероятности потери цикловой синхронизации в условиях применения неструктурированного режима эмуляции каналов в сети уровня распределения/агрегации оператора мобильной связи, на основе мониторинга битовой ошибки. Данный метод позволяет определять моменты превышения вероятностью потери цикловой синхронизации порогового значения, соответствующего выходу системы из синхронизма, для любого технически возможного числа циклов TDM-потока, инкапсулируемых в кадр канального уровня. Кроме того, на основе данных прогнозирования изменений вероятности потери цикловой синхронизации, может быть принято решение о повышении утилизации канала связи, путем увеличения числа циклов TDM-потока, инкапсулируемых в кадр.

Предлагаемая имитационная модель предикативного мониторинга может быть классифицирована как [11]:

– *дискретная*, так как превалирующей переменной, описывающей состояние модели, является вероятность потери цикловой синхронизации  $P_{AL}$ , принимающая дискретные значения относительно временных отсчетов;

– *динамическая*, поскольку представляет собой систему, меняющуюся во времени;

– *стохастическая*, так как одна из входных величин – уровень мощности сигнала  $p_c$  на входе приемника радиорелейной линии (РРЛ), является случайной величиной, меняющейся в задаваемых пределах;

– *дискретно-событийная*, в ней используется продвижение времени от события к событию. Например, продвижение времени происходит при получении нового значения  $\varepsilon$ .

Исходными данными для обеспечения работы модели служат:  $p_c$  – уровень мощности сигнала на входе приемника РРЛ;  $R$  – скорость передачи информации в тракте РРЛ;  $k$  – коэффициент шума приемника РРЛ;  $n_c$  – число циклов битового потока TDM, инкапсулируемых в кадр. На рис. 1 представлена структурная схема имитационной модели, включающая ряд функциональных блоков, имеющих следующее назначение.

*Блок вычисления вероятности битовой ошибки в тракте РРЛ* производит вычисление значений  $\varepsilon_i$  в предположении использования модуляции ФМ-2 в тракте РРЛ при изменении  $p_c$  с использованием выражения [12]:

$$\varepsilon_i = \frac{1}{2} \left[ 1 - \operatorname{erf} \left( \sqrt{\frac{2 \cdot 10^{0,1 \cdot p_{ci}}}{4,002 \cdot 10^{-21} \cdot k}} / \sqrt{2}} \right) \right]. \quad (1)$$

*Блок вычисления вероятности потери кадра  $p_{plr}$*  для эмулируемого канала использует выражение [13]:

$$p_{plr} = \beta \cdot n_c, \quad (2)$$

где  $\beta = ESR \cdot 0,175 \cdot L / f_0$  – коэффициент, учитывающий принятые условия TDM-потока ( $ESR$  – регламентируемая частота появления секундных интервалов, в которых наблюдается одна и более битовых ошибок [14];  $f_0$  – номинальная скорость TDM потока;  $L$  – длина цикла, выраженная в битах).

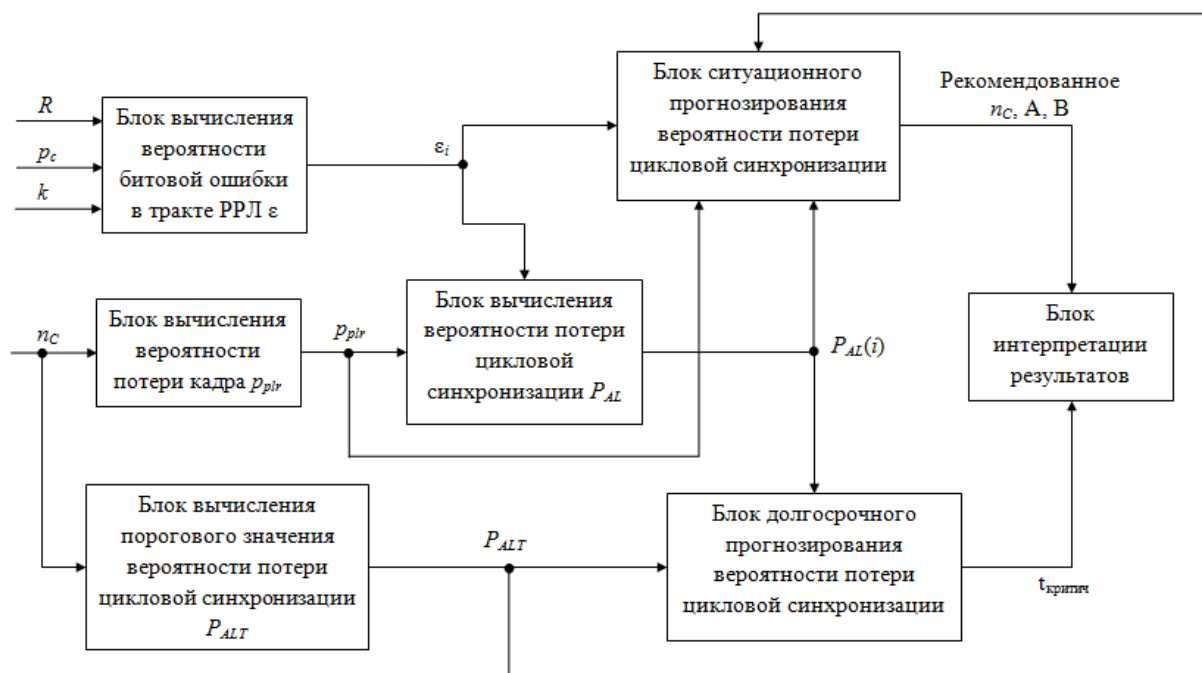


Рисунок 1 – Структура имитационной модели предикативного мониторинга

Блок вычисления порогового значения вероятности потери цикловой синхронизации  $P_{ALT}$  производит вычисления согласно подаваемому на его вход значению  $n_c$  по формуле [10]:

$$P_{ALT} = [1 - 0,993 \cdot (1 - \beta \cdot n_c)]^3. \quad (3)$$

Блок вычисления вероятности потери цикловой синхронизации на основании величин  $\varepsilon_i$  и  $p_{plr}$ , поступающих из блоков вычисления вероятности битовой ошибки в тракте РРЛ и вычисления вероятности потери кадра, выполняет расчет по формуле [10]:

$$P_{AL}(i) = [1 - (1 - \varepsilon_i)^a \cdot (1 - p_{plr})]^3, \quad (4)$$

где  $a$  – число бит в синхростове.

Блок ситуационного прогнозирования вероятности потери цикловой синхронизации осуществляет прогнозирование изменения вероятности потери цикловой синхронизации методом полиномиальной экстраполяции, описанным в работе [10], с целью прогнозирования ситуации возможной потери цикловой синхронизации. В случае обнаружения такой ситуации, в блоке, посредством коэффициентов корреляции  $r$ , определяется сегмент объекта исследования, ухудшение работы которого вызвало потерю цикловой синхронизации. Переменные  $A$  и  $B$  представляют собой доли вынужденных потерь цикловой синхронизации, обусловленные  $\varepsilon_i$  и  $p_{plr}$  соответственно. Кроме того, данный блок, основываясь на результатах сравнения краткосрочного прогноза  $P_{AL}$  и порогового значения  $P_{ALT}$ , вырабатывает рекомендацию относительно изменения количества циклов TDM потока  $n_c$ , с целью изменения утилизации эмулируемого канала.

Блок долгосрочного прогнозирования вероятности потери цикловой синхронизации предназначен для количественно-качественной оценки работы объекта исследования. Получаемый ряд значений  $\{P_{AL}(i)\}$  сглаживается экспоненциальной средней (ЭС)  $\{Q(i)\}$ , так как может иметь существенные колебания, после чего проверяется наличие тренда в ряде  $\{Q(i)\}$

методом Фостера-Стюарта [15]. Данный блок, выполняя полиномиальную экстраполяцию или экстраполяцию ЭС, в случае нехватки данных для полиномиальной экстраполяции, определяет момент времени  $t_{\text{критич}}$ , в который может быть потеряна цикловая синхронизация.

*Блок интерпретации результатов* посредством интерфейса «человек-машина» осуществляется вывод данных, отражающих результаты работы блоков ситуационного и долгосрочного прогнозирования.

Рассмотрим пример работы имитационной модели при следующих исходных данных и условиях:  $R = 2$  Мбитс/с;  $k = 9$ ;  $n_c = 2$ ; уровень сигнала  $p_c$  на входе приемника РРЛ БС меняется в результате действия помех в пределах 122,9 ... 123,9 дБВт; период обновления  $\epsilon_i$ , в предположении использования оборудования РРЛ Nokia FlexiHorper [16], составляет 30 секунд; длительность моделирования работы объекта исследования составляет 690 с, что соответствует минимально необходимому числу наблюдений ( $n = 23$ ) для осуществления прогнозирования [10]. В ходе моделирования получены следующие результаты.

На рис. 2 представлен сгенерированный за время работы модели ряд значений битовой ошибки  $\epsilon_i$ ,  $i = \overline{1, 23}$ .

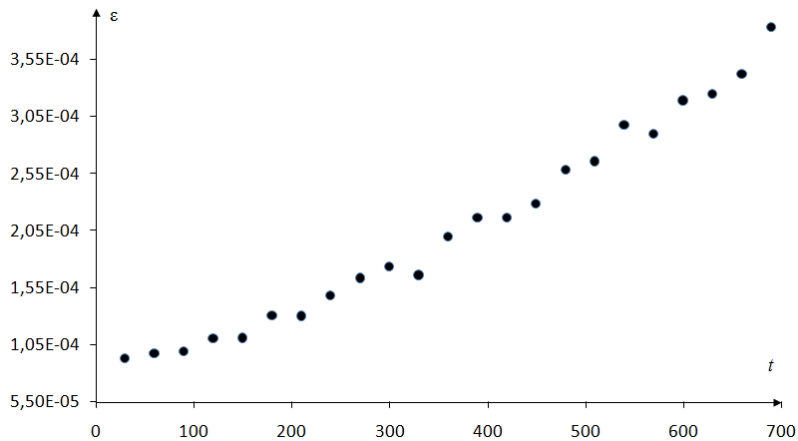


Рисунок 2 – Ряд значений битовой ошибки

На рис. 3 точками показаны значения ряда вероятности потери цикловой синхронизации и, соответственно, экстраполирующий полином, вычисленный блоком ситуационного прогнозирования вероятности потери цикловой синхронизации.

На рис. 4 приведены зависимости утилизации  $U$  эмулируемого канала (рис. 4, а) и минимального времени восстановления цикловой синхронизации  $t_B$  от числа циклов TDM-потока, инкапсулируемых в кадр (рис. 4, б).

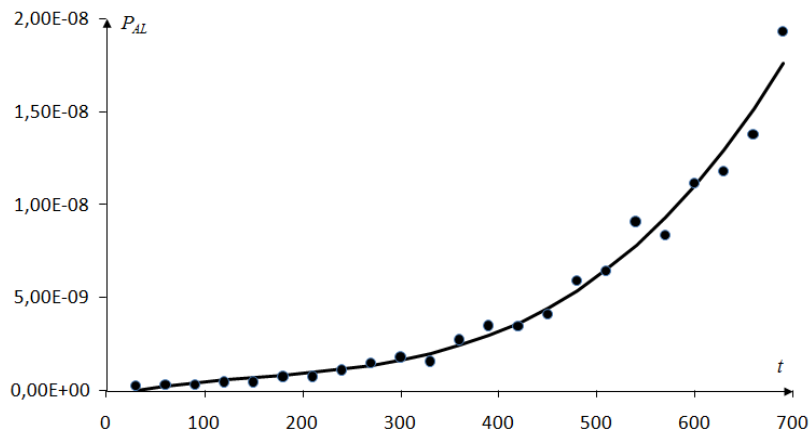


Рисунок 3 – Экстраполируемые значения ряда  $\{P_{AL}(i)\}$

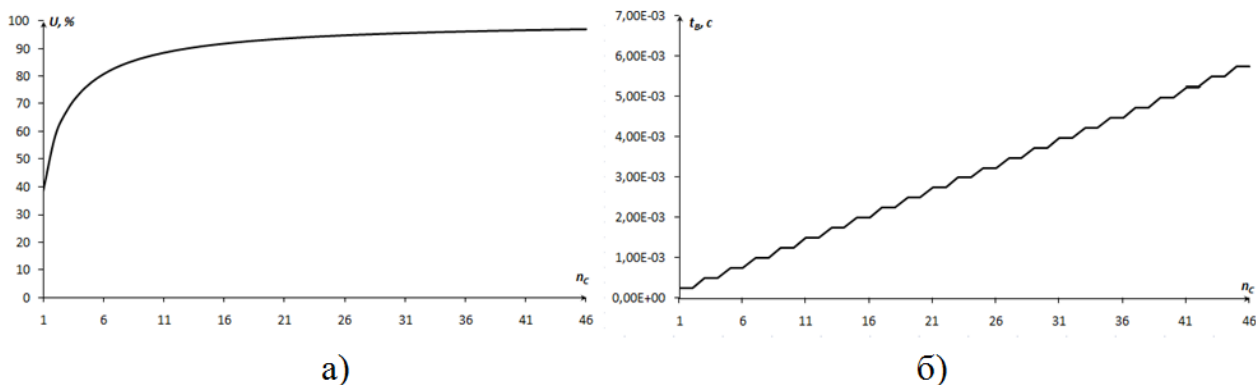


Рисунок 4 – Зависимости утилизации эмулируемого канала  $U$  и минимального времени восстановления цикловой синхронизации  $t_B$  от  $n_C$

Как видно из рисунков, имеют место участки, где увеличение  $n_C$  не приводит к увеличению утилизации канала пропорционально росту  $t_B$ . Кроме того, в работе [17] утверждается, что время восстановления цикловой синхронизации должно быть минимально возможным. Для определения значения  $n_C$ , превышение которого ведет к возрастанию значения  $t_B$  при отсутствии пропорционального увеличения значения  $U$ , рассмотрим график производной  $\frac{dU}{dn_C}$  (см. рис. 5).

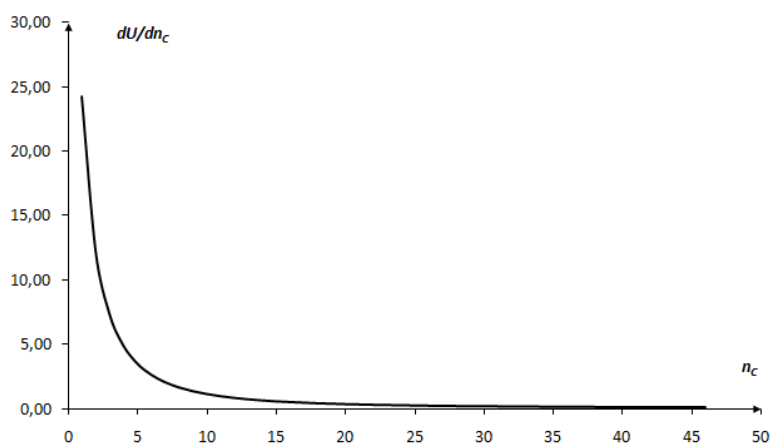


Рисунок 5 – Первая производная функции утилизации эмулируемого канала

Из рис. 4, 5 следует, что увеличение  $n_C$  больше 30 не целесообразно, поскольку утилизация канала возрастает на 1,5 %, а минимальное время восстановления синхронизации увеличится в 1,55 раза.

Результатом работы блока ситуационного прогнозирования вероятности потери цикловой синхронизации является заключение о возможности увеличения числа циклов  $n_C$  битового потока TDM, инкапсулируемых в кадр, до 30 на основании сравнения результатов прогнозирования  $P_{AL} = 2,18 \times 10^{-8}$  и порогового значения  $P_{ALT} = 3,402 \times 10^{-7}$ .

С целью определения момента времени  $t_{критич}$  возможной потери цикловой синхронизации в блоке долгосрочного прогнозирования методом наименьших квадратов находятся коэффициенты экстраполирующего полинома  $P_{AL}(t)$   $a_0 = -2,79 \times 10^{-10}$ ;  $a_1 = 3,345 \times 10^{-10}$ ;  $a_2 = -3,983 \times 10^{-11}$ ;  $a_3 = 2,568 \times 10^{-12}$  (см. рис. 6). Положив  $P_{AL}(t) = P_{ALT} = 3,402 \times 10^{-7}$  и решив уравнение относительно  $t$ , блок долгосрочного прогнозирования определяет, что при сохранении

текущей тенденции изменения битовой ошибки, возможна потеря цикловой синхронизации в момент  $t_{\text{критич}} = 1674$  с, т.е. через 984 с.

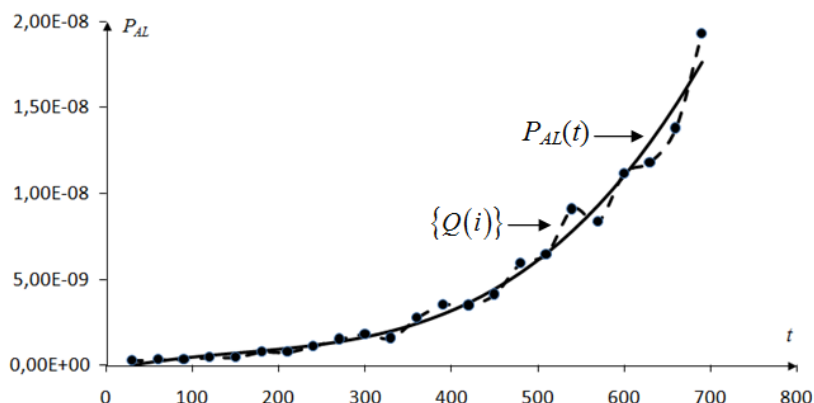


Рисунок 6 – Ряд значений ЭС  $\{Q(i)\}$  и экстраполирующий полином  $P_{AL}(t)$

На основе результатов, полученных в ходе работы модели, можно констатировать следующее.

Имитационная модель предикативного мониторинга вероятности потери цикловой синхронизации реализует когнитивный алгоритм, который выполняет интеллектуальный анализ изменения вероятности потери цикловой синхронизации и позволяет обеспечить динамическое регулирование числа циклов TDM-потока, инкапсулируемых в кадр. Кроме того, посредством функций ситуационного и долгосрочного прогнозирования удастся выявлять сегменты сети, ухудшение работы которых вызывают потери цикловой синхронизации.

Метод предикативного мониторинга вероятности потери цикловой синхронизации может быть использован для реализации принципиально новой парадигмы технического обслуживания конвергентных сетей, которая направлена на прогнозирование и предотвращение внештатных ситуаций и может быть положен в основу разработки интеллектуальной системы сетевого мониторинга.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Бирюков Н. Сети синхронизации: сценарии взаимодействия [Электронный ресурс] / Н. Бирюков, Н. Триска // Сети и телекоммуникации. – Режим доступа: \www/URL: [http://www.seti-ua.com/?in=seti\\_show\\_article&seti\\_art\\_ID=148&\\_by\\_id=2&\\_CATEGORY=14/](http://www.seti-ua.com/?in=seti_show_article&seti_art_ID=148&_by_id=2&_CATEGORY=14/) – 21.09.2005 г. – Загл. с экрана.
2. Воронова, Э. Б. Исследование тенденций развития социально-экономических систем на основе предикативного мониторинга [Электронный ресурс] / Э. Б. Воронова, И. А. Кислухина // Журнал ВАК. – Режим доступа: \www/URL: <http://www.uecs.ru/uecs-38-382012/item/1052-2012-02-20-05-48-08/> – 20.02.2012 г. – Загл. с экрана.
3. Levitt, J Complete Guide to Predictive and Preventive Maintenance. – New York: Industrial Press, Inc., 2005 – 256 p.
4. Clifton, L. (2014). Predictive Monitoring of Mobile Patients by Combining Clinical Observations With Data From Wearable Sensors / L. Clifton, D.A. Clifton, M.A.F. Pimentel, P.J. Watkinson, L. Tarassenko, // IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics. – Vol.:18, Issue: 3, 722 – 730. DOI: 10.1109/JBHI.2013.2293059.
5. Moorman, J.R. Predictive monitoring for early detection of subacute potentially catastrophic illnesses in critical care / J.R. Moorman, C.E Rusin, L. Hoshik, L.E. Guin, M.T. Clark, J.B. Delos, J. Kattwinkel, D.E. Lake // Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC, 2011. – Boston, USA August 30 – September 3, 2011. DOI: 10.1109/IEMBS.2011.6091407.

6. Metzger, A. Predictive Monitoring of Heterogeneous Service-Oriented Business Networks: The Transport and Logistics Case / A. Metzger, R. Franklin, Y. Engel // 2012 Annual SRII Global Conference. – San Jose, USA July 24-27, 2012. DOI: 10.1109/SRII.2012.42.
7. Franceschinis, M. Predictive monitoring of train wagons conditions using wireless network technologies / M. Franceschinis, F. Mauro, C. Pastrone, M.A Spirito, M. Rossi // 2013 XXIV International Symposium on Information, Communication and Automation Technologies (ICAT). – Sarajevo, Bosna i Hercegovina October 30 – November 1, 2013. DOI: 10.1109/ICAT.2013.6684032.
8. Zain, S.M Development of a neural network Predictive Emission Monitoring System for flue gas measurement / S.M Zain, Kien Kek Chua // 2011 IEEE 7th International Colloquium on Signal Processing and its Applications (CSPA). – Penang, Malaysia March 4–6, 2011. DOI: 10.1109/CSPA.2011.5759894.
9. Metzger, A. Comparing and Combining Predictive Business Process Monitoring Techniques / A. Metzger, P. Leitner, D. Ivanovic, E. Schmieders, R. Franklin, M. Carro, S.Dustdar, K. Pohl // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. – Vol.:PP, Issue: 99, 1. DOI: 10.1109/TSMC.2014.2347265.
10. Никитюк Л. А. Прогнозирование изменений вероятности потери цикловой синхронизации в конвергентных сетях [Текст] / Л. А. Никитюк, Ю. О. Бабич // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – №5/9(71). – С. 19–24. – Режим доступа: \www/URL: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/28005/25489>.
11. Лоу А. М. Имитационное моделирование. – [3-е изд.]. [Текст] / А. М. Лоу, В. Д. Кельтон. – СПб: Питер, 2004. – 847 с.
12. Сукачев Э. А. Сотовые сети радиосвязи с подвижными объектами [Текст] / Сукачев Э. А. – Одесса: ОНАС им. А.С. Попова, 2013. – 256 с.
13. Бабич Ю. О. Анализ и оптимизация параметров режима эмуляции каналов в сетях мобильной связи [Текст] / Ю.О. Бабич, Л. А. Никитюк // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – № 4/9(64). – С. 59–62. – Режим доступа: \www/URL: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/16396>.
14. ITU-T Recommendation G.826 Error performance parameters and objectives for international, constant bit rate digital paths at or above the primary rate [Text] / Approved 2002-12-14. – Geneva: ITU, 2002. – 34 p.
15. Четыркин Е. М. Статистические методы прогнозирования [Текст] / Четыркин Е. М. – М.: Статистика, 1977. – 200 с.
16. Спецификация оборудования Nokia FlexiHopper [Электронный ресурс] / ТелекомКонсалтинг. – Режим доступа: \www/URL: <http://telekom.org.ru/katalog-naimenovani-res/nokia-flexihopper-7/> – 06.07.2014 г. – Загл. с экрана.
17. Гаранин М. В. Системы и сети передачи информации [Текст] / Гаранин М. В., Журавлев В.И., Кунегин С.В. – М.: Радио и связь, 2001. – 335 с.

REFERENCES:

1. Biriukov, N., Triska, N. (21.09.2005). Seti sinhronizatsii: stsenarii vzaimodeystvia. Seti i telecommunicatsii. Available: [http://www.seti.ua.com/?in=seti\\_show\\_article&seti\\_art\\_ID=148&\\_by\\_id=2&\\_CATEGORY=14/](http://www.seti.ua.com/?in=seti_show_article&seti_art_ID=148&_by_id=2&_CATEGORY=14/)
2. Voronova, J. B., Kisluhina, I. A. (20.02.2012). Issledovanie tendencij razvitiya social'no-jekonomicheskikh sistem na osnove predikativnogo monitoringa. Zhurnal VAK. Available: <http://www.uecs.ru/uecs-38-382012/item/1052-2012-02-20-05-48-08>.
3. Levitt, J (2005). Complete Guide to Predictive and Preventive Maintenance. New York: Industrial Press, Inc., 256.
4. Clifton, L. (2014). Predictive Monitoring of Mobile Patients by Combining Clinical Observations With Data From Wearable Sensors / L. Clifton, D.A. Clifton, M.A.F. Pimentel, P.J. Watkinson, L. Tarassenko, // IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics. – Vol.:18, Issue: 3, 722 – 730. doi: 10.1109/JBHI.2013.2293059.
5. Moorman, J.R. Predictive monitoring for early detection of subacute potentially catastrophic illnesses in critical care / J.R. Moorman, C.E Rusin, L. Hoshik, L.E. Guin, M.T. Clark, J.B. Delos, J. Kattwinkel, D.E. Lake // Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, EMBC, 2011. – Boston, USA August 30 – September 3, 2011. doi: 10.1109/IEMBS.2011.6091407.
6. Metzger, A. Predictive Monitoring of Heterogeneous Service-Oriented Business Networks: The Transport and Logistics Case / A. Metzger, R. Franklin, Y. Engel // 2012 Annual SRII Global Conference. – San Jose, USA July 24-27, 2012. doi: 10.1109/SRII.2012.42.

7. Franceschinis, M. Predictive monitoring of train wagons conditions using wireless network technologies / M. Franceschinis, F. Mauro, C. Pastrone, M.A Spirito, M. Rossi // 2013 XXIV International Symposium on Information, Communication and Automation Technologies (ICAT). – Sarajevo, Bosna i Hercegovina October 30 – November 1, 2013. doi: 10.1109/ICAT.2013.6684032.
8. Zain, S.M Development of a neural network Predictive Emission Monitoring System for flue gas measurement / S.M Zain, Kien Kek Chua // 2011 IEEE 7th International Colloquium on Signal Processing and its Applications (CSPA). – Penang, Malaysia March 4–6, 2011. doi: 10.1109/CSPA.2011.5759894.
9. Metzger, A. Comparing and Combining Predictive Business Process Monitoring Techniques / A. Metzger, P. Leitner, D. Ivanovic, E. Schmieders, R. Franklin, M. Carro, S.Dustdar, K. Pohl // IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. – Vol.:PP, Issue: 99, 1. doi: 10.1109/TSMC.2014.2347265.
10. Nikityuk, L. A., Babich, Yu. O. (2014). Prognozirovanie izmenenij verojatnosti poteri ciklovoj sinhronizacii v konvergentnyh setjah. Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies, 5(9(71)), 19-24. Available: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/28005/25489>.
11. Low, A. M., Kelton, W. D. (2004). Imitacionnoe modelirovanie. 3-e izd. St. Petersburg: Peter, 847.
12. Sukachev, E. A. (2013). Sotovie seti radiosviasi s podvizhnimiy obektami: handbook. Odessa: ONAS n.a. A. S. Popov, 256.
13. Babich, Yu. O., Nikityuk, L. A. (2013). Analysis and optimization of parameters of circuit emulation service in mobile networks. Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies, 4(9(64)), 59-62. Available: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/16396>.
14. ITU-T Recommendation G.826 Error performance parameters and objectives for international, constant bit rate digital paths at or above the primary rate. (2002). Approved 2002-12-14. Geneva: ITU, 34.
15. Chetirkin, E. M. (1977). Statisticheskie metodi prognozirovania. – M.: Statistika, 200.
16. Technical specifications Nokia FlexiHopper. (06.07.2014). TelecomConsulting. Available: <http://telekom.org.ru/katalog-naimenovanii-res/nokia-flexihopper-7/>.
17. Garanin, M. V., Zhuravlev, V.I., Kunegin, S.V. (2001). Sistemy i seti peredachi informacii. Moskva: Radio i svjaz', 335.