

В.П. БУБНОВ, С.А. СЕРГЕЕВ
**НЕСТАЦИОНАРНЫЕ МОДЕЛИ ЛОКАЛЬНОГО СЕРВЕРА
АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА
ИСКУССТВЕННЫХ СООРУЖЕНИЙ**

Бубнов В.П., Сергеев С.А. Нестационарные модели локального сервера автоматизированной системы мониторинга искусственных сооружений.

Аннотация. Данная работа посвящена определению максимального возможного числа датчиков, подключаемых к одному из локальных серверов автоматизированной системы мониторинга технического состояния искусственных сооружений. В статье приводятся нестационарные вероятностные модели с детерминированным входным потоком заявок и гипердельтным распределением времени обслуживания заявок. Обосновывается применение гипердельтного распределения в имитационной модели сравнением результатов имитационного моделирования с результатами, полученными с помощью аналитической модели. На основе результатов моделирования выбирается система управления базой данных для локального сервера.

Ключевые слова: нестационарная модель, автоматизированная система мониторинга искусственных сооружений, вероятности состояний системы.

Bubnov V.P., Sergeev S.A. Non-Stationary Models of a Local Server of the Automated System for Monitoring Artificial Structures.

Abstract. This work is devoted to the determination of the maximum possible number of sensors connected to one of the local servers of the automated system for monitoring the technical condition of man-made structures. The article presents a simulation model with the time-dependent probabilistic deterministic process of receiving requests and hyperdelta requests service process. The use of hyperdelta distribution in the simulation model is substantiated by comparing simulation results with the results obtained using an analytical model. Based on the simulation results, a database management system for a local server is chosen.

Keywords: non-stationary model; an automated system for monitoring artificial structures; the probability of the system state.

1. Введение. Чтобы своевременно среагировать на опасные изменения параметров искусственных сооружений, необходимо осуществлять их мониторинг технического состояния. Проблема мониторинга искусственных сооружений рассмотрена в [1-10]. Однако в приведенных источниках рассматривались вопросы архитектуры автоматизированной системы мониторинга технического состояния искусственных сооружений (АСМИС) и использование данных, полученных от датчиков. Данная работа посвящена определению возможности подключения к системе заданного количества датчиков на основе использования нестационарных аналитических и имитационных моделей. Перегрузка либо отказ работы различных компонентов АСМИС, приводят к несвоевременной обработке

информации либо к ее потере, что в свою очередь может привести к значительным материальным потерям и даже к человеческим жертвам.

2. Исследование вероятностно временных характеристик системы АСМИС. В [6] приводится архитектура и алгоритмы работы системы для автоматизированного мониторинга технического состояния искусственных сооружений. Одним из важнейших компонентов этой системы является программно-аппаратный модуль, называемый локальным сервером. Для определения возможности реализации всех операций, связанных с технологическим циклом локального сервера, было проведено его нагрузочное тестирование с помощью специализированной программы, описанной в [11], которое показало, что уже при 4 подключенных к системе датчиках, возникают ошибки, влекущие за собой потерю значительной части данных, которые поступают от датчиков. Это приводит к несвоевременному и неточному прогнозированию и анализу ситуации на искусственном сооружении. Анализ этих ошибок показал, что они связаны с технологическими операциями взаимодействия программного обеспечения локального сервера с базой данных. В качестве базы данных использовалась SQLite. Ее особенность в том, что она не предоставляет отдельного сервиса для выполнения операций чтения и записи данных, а интегрируется в разрабатываемую программу в качестве сторонней программной библиотеки. Кроме того, в качестве хранилища данных используется единственный файл, и разработчику необходимо самому заботиться о синхронизации потоков чтения и записи данных [12]. Эта база данных была выбрана, так как она наиболее простая.

Для определения максимального числа датчиков, подключение которых к одному локальному серверу не приводило бы к перегрузкам, была разработана модель нестационарной системы обслуживания (НСО) [13].

Основные допущения:

1. К локальному серверу подключены датчики одного типа.
2. Через равные интервалы времени T_s в систему поступают данные от nd датчиков. Где nd — количество подключенных к локальному серверу датчиков. Так как датчики одного типа и заявки от всех датчиков обрабатываются непрерывно, было принято решение объединить каждую группу заявок, приходящих одновременно в единую заявку первого типа.
3. Через равные интервалы времени Tr поступает заявка второго типа, связанная с технологическим циклом синхронизации данных между локальным и удаленным сервером.

4. Важно, чтобы после одновременного поступления двух заявок второго и первого типа, они успели обслужиться до момента поступления последующей заявки.

В известных источниках [14] авторы не нашли требуемой для исследования модели.

Нестационарная имитационная модель имеет следующее обозначение Кендалла:

$$\langle \tilde{D}/\tilde{X}_7/1/n \rangle,$$

где \tilde{D} — детерминированный входной поток заявок, \tilde{X}_7 — гипердельтное распределение времени обслуживания заявок с числом этапов семь, 1 — одно обслуживающее устройство, n — число заявок, поступающих за все время моделирования, и описывается следующими параметрами:

1. Имеется одно обслуживающее устройство. Физически обслуживающим устройством является база данных.

2. $N = 2$ — количество типов заявок. Приоритет заявки типа 1 выше, чем у типа 2.

3. Заявки каждого типа поступают через одинаковые интервалы времени, присущие для каждого типа заявок.

4. $\vec{\lambda}$ — вектор интенсивности поступления заявок, причем λ_i — интенсивность поступления заявок типа i .

5. Закон распределения времени обслуживания заявок — гипердельтный. В [15-16] показаны преимущества использования гипердельтного аппроксимирующего распределения в имитационных моделях, перед использованием других распределений фазового типа.

6. $M1$ — матрица времени обслуживания заявок первого типа, имеет 2 строки, причем $M1_{1,i}$ — вероятность того, что заявка первого типа обслужится за время $M1_{2,i}$. Сумма всех элементов первой строки матрицы равна единице.

7. $M2$ — матрица времени обслуживания заявок второго типа, имеет 2 строки, причем $M2_{1,i}$ — вероятность того, что заявка второго типа обслужится за время $M2_{2,i}$. Сумма всех элементов первой строки матрицы равна единице.

8. \vec{k} — вектор количества заявок, где k_i — количество заявок типа i , поступающих в систему за все время моделирования. Умножение вектора строки \vec{k} на единичный столбец даст n .

В каждый момент времени НСО описывается следующими параметрами:

1. Вектор \vec{n} , где i -я компонента вектора определяет количество заявок типа i , находящихся в НСО в данный момент.

2. Вектор \vec{m} , где i -я компонента вектора определяет количество заявок типа i , уже получивших обслуживание и покинувших НСО.

При $nd = 4$, имеем:

$$\vec{\lambda} = \left\{ 1, \frac{1}{5} \right\};$$

$$\vec{k} = \{ 5 | 1 \}.$$

В ходе натурального эксперимента были получены начальные моменты времени обслуживания заявок первого и второго типов. С их помощью были рассчитаны параметры аппроксимирующего гипердельтного распределения специальной программой [17]. Параметры данных распределений представлены ниже:

$$M1 = \left\{ \begin{array}{c|c|c|c|c|c|c|c} 0.99 & 0.0018 & 0.0027 & 0.003 & 0.0019 & 3.43E-4 & 2.65E-5 \\ \hline 4.628E-9 & 0.137 & 0.192 & 0.265 & 0.336 & 0.41 & 0.49 \end{array} \right\};$$

$$M2 = \left\{ \begin{array}{c|c|c|c|c|c|c|c} 0.99 & 0.002 & 0.0028 & 0.0031 & 0.0016 & 1.834E-4 & 1.996E-5 \\ \hline 3.793E-8 & 0.696 & 1.0001 & 1.397 & 1.762 & 2.2458 & 2.647 \end{array} \right\}.$$

Описанная выше имитационная модель была реализована на языке программирования Java [18]. В таблице 1 приведены значения вероятности свободного состояния НСО в различные моменты времени, полученные с помощью имитационной модели.

Таблица 1. Значения вероятности свободного состояния НСО

t	2	3	4	5	6
Вероятность	1	1	1	1	0.992

В момент времени 6 значение вероятности свободного состояния системы не равно единице, так как система не всегда успевает обслужить пришедшие одновременно заявки обоих типов.

Для проверки полученных результатов была разработана аналогичная имитационной численно-аналитическая модель. Алгоритм расчета таких моделей описан в [13]. Аналитическая модель отличается от имитационной законом распределения времени обслуживания заявок, имеет следующее обозначение Кендалла:

$$\langle \tilde{D} / \tilde{M} / 1 / n \rangle,$$

и описывается следующими параметрами:

- 1) Имеется одно обслуживающее устройство;

2) $N=2$ — количество типов заявок. Приоритет заявки типа 1 выше, чем у типа 2;

3) Заявки каждого типа поступают через детерминированные интервалы времени;

4) $\vec{\lambda}$ — вектор интенсивности поступления заявок, причем λ_i — интенсивность поступления заявок типа i ;

5) Закон распределения времени обслуживания заявок — экспоненциальный;

6) $\vec{\mu}$ — вектор интенсивности обслуживания заявок, причем M_i — интенсивность обслуживания заявок типа i ;

7) \vec{k} — i -я компонента вектора, определяет количество заявок типа i , поступающих в систему за интервал моделирования.

В каждый момент времени НСО описывается следующими параметрами:

1) \vec{n}, i -я компонента вектора определяет количество заявок типа i , находящихся в НСО в данный момент;

2) \vec{m}, i -я компонента вектора определяет количество заявок типа i , уже получивших обслуживание и покинувших НСО.

Время обработки заявок в модели распределяется экспоненциально.

Для эксперимента были использованы следующие исходные данные:

$$\begin{aligned}\vec{\lambda} &= \left\{1, \frac{1}{5}\right\}; \\ \vec{\mu} &= \{3.366|3.497\}; \\ \vec{k} &= \{5|1\}.\end{aligned}$$

Описанная модель была реализована на языке программирования Java [19]. В таблице 2 приведены значения вероятности p свободного состояния НСО в различные моменты времени t , полученные с помощью аналитической модели.

Таблица 2. Значения вероятности свободного состояния НСО

t	2	3	4	5	6
Вероятность	0.965	0.961	0.9607	0.9606	0.848

При аппроксимировании гипердельтным распределением используется тринадцать начальных моментов, а при аппроксимировании экспоненциальным — только один, очевидно, что гипердельтная аппроксимация будет значительно точнее повторять свойства распределения времени обслуживания заявок каждого типа. Этот и объясняется столь значительная разница в результатах работы

моделей. Поэтому для сравнения работы обеих моделей в имитационной модели генератор случайных величин по гипердельтовому закону распределения был заменен на генератор случайных величин по экспоненциальному закону распределения.

В таблице 3 приведены значения вероятности p свободного состояния НСО в различные моменты времени t , полученные с помощью имитационной модели с экспоненциальным генератором случайных величин и исходными данными такими же, как и в аналитической модели, описанной выше.

Таблица 3. Значения вероятности свободного состояния НСО

t	2	3	4	5	6
Вероятность	0.965	0.961	0.9611	0.9606	0.848

На рисунке 1 изображен график зависимости значения вероятности свободного состояния НСО от времени при 4 датчиках.

Стоит отметить, что на всех графиках шаг по сетке времени взят равным 0,1 с. Поэтому на графиках не отображено, что при поступлении новой заявки вероятность свободного состояния становится равной нулю.

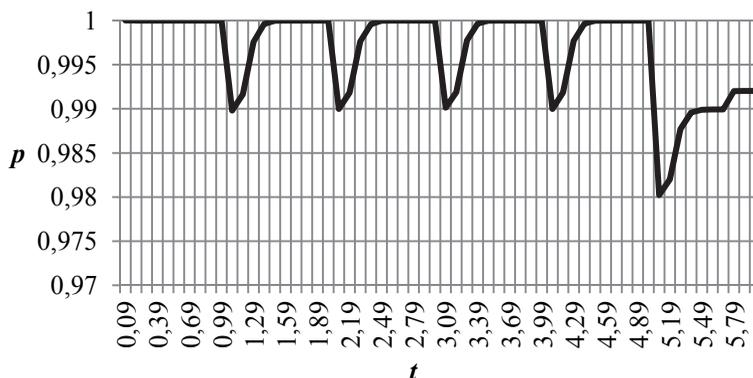


Рис. 1. График зависимости значения вероятности свободного состояния НСО от времени при 4 датчиках

Чтобы определить максимально возможное количество датчиков для такой системы был проведен ряд экспериментов с имитационной моделью. Объединив данные этих экспериментов, был построен график зависимости значения вероятности нахождения НСО в момент времени t в поглощающем состоянии от числа подключенных к ней датчиков. Данная зависимость представлена на рисунке 2.

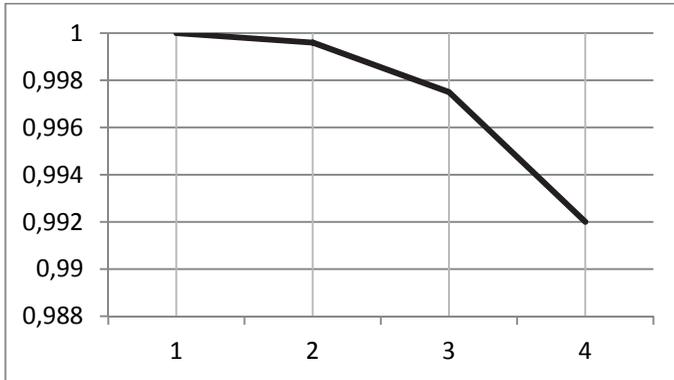


Рис. 2. Зависимость значения вероятности нахождения НСО в момент времени t в поглощающем состоянии от числа датчиков

Как видно из рисунка 2, уже при двух подключенных к локальному серверу датчиках значение вероятности того, что заявки обоих типов не успеют обслужиться к моменту поступления новой заявки, возросло. В связи с этим было принято решение сменить используемую в локальном сервере базу данных. Были проанализированы лицензионные соглашения, удобство и простота использования, скорость выполнения SQL запросов, надежность основных баз данных, и выбрана база данных PostgreSQL [20].

Для проверки работоспособности измененной системы было произведено имитационное моделирование, описанной выше модели. Ниже описаны некоторые из этих экспериментов.

Моделирование при различных значениях nd показало, что смена базы данных на PostgreSQL значительно увеличила пропускную способность системы. Результаты моделирования при малых nd не представляют интерес, поэтому ниже приведены результаты некоторых моделирований при $nd \geq 100$.

При $nd = 100$, по аналогии с предыдущим экспериментом имеем:

$$\vec{\lambda} = \left\{ 1, \frac{1}{5} \right\};$$

$$\vec{k} = \{ 5 | 1 \};$$

$$M1 = \begin{Bmatrix} 0.996 & 0.001 & 0.002 & 2.7E-4 & 1.8E-4 & 5.09E-5 & 2.3E-5 \\ 5.1E-12 & 0.047 & 0.054 & 0.069 & 0.085 & 0.103 & 0.114 \end{Bmatrix};$$

$$M2 = \begin{Bmatrix} 0.996 & 8.34E-4 & 0.001 & 6.11E-4 & 2.2E-4 & 5.4E-5 & 2.3E-5 \\ 1.2E-11 & 0.291 & 0.336 & 0.397 & 0.501 & 0.59 & 0.67 \end{Bmatrix};$$

В таблице 4 приведены значения вероятности p свободного состояния НСО в различные моменты времени t , полученные с помощью имитационной модели.

Таблица 4. Значения вероятности свободного состояния НСО

t	2	3	4	5	6
Вероятность	1	1	1	1	1

График зависимости значения вероятности свободного состояния НСО от времени показан на рисунке 3.

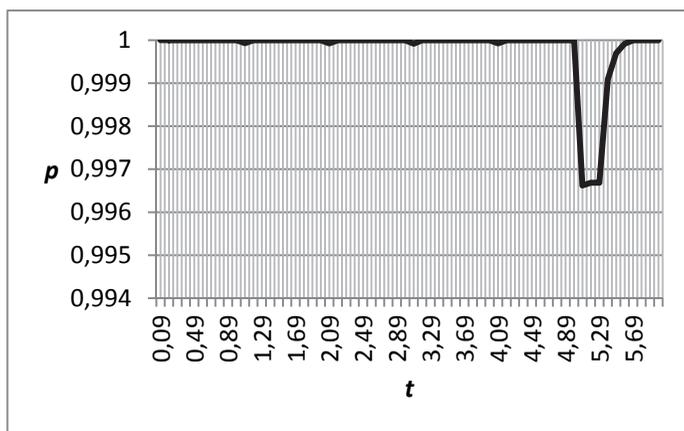


Рис. 3. График зависимости значения вероятности свободного состояния НСО от времени при 100 датчиках

При $nd = 450$, по аналогии с предыдущим экспериментом имеем:

$$\vec{\lambda} = \left\{ 1, \frac{1}{5} \right\};$$

$$M1 = \left\{ \begin{array}{c|c|c|c|c|c|c} 0,99 & 8,9E-4 & 0,0029 & 0,0037 & 0,002 & 2,7E-4 & 6,7E-5 \\ \hline 1,4E-11 & 0,175 & 0,2082 & 0,2488 & 0,2926 & 0,343 & 0,38191 \end{array} \right\};$$

$$M2 = \left\{ \begin{array}{c|c|c|c|c|c|c} 0,99 & 6,2E-4 & 0,0024 & 0,0037 & 0,0022 & 7,7E-4 & 1,4E-4 \\ \hline 5,8E-11 & 1,007 & 1,189 & 1,4176 & 1,6615 & 1,9137 & 2,1083 \end{array} \right\};$$

$$\vec{k} = \{5|1\}.$$

В таблице 5 приведены значения вероятности p свободного состояния НСО в различные моменты времени t , полученные с помощью имитационной модели.

Таблица 5. Значения вероятности свободного состояния НСО

t	2	3	4	5	6
Вероятность	1	1	1	1	0,9899

График зависимости свободного состояния НСО от времени показан на рисунке 4.

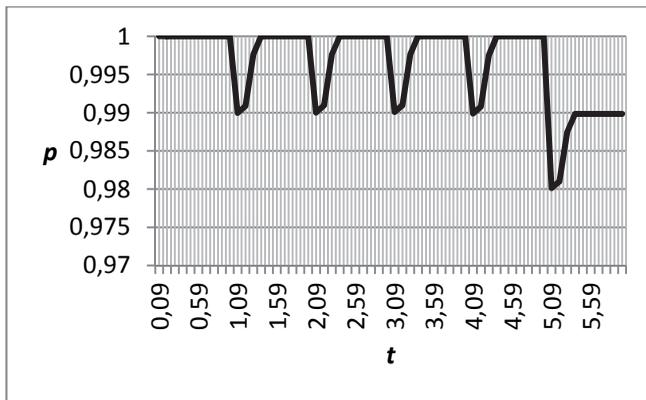


Рис. 4. График зависимости свободного состояния НСО от времени при 450 датчиках

Объединив данные проведенных экспериментов, можно построить график зависимости значения вероятности нахождения НСО в момент времени t в поглощающем состоянии от числа датчиков. Данная зависимость представлена на рисунке 5.



Рис. 5. Зависимость значения вероятности нахождения НСО в момент времени t в поглощающем состоянии от числа датчиков

Из рисунка 5 видно, что использование локального сервера с 200 подключенными к нему датчиками безопасно, при 250 датчиках

значение вероятности возникновения ошибки возрастает. Стоит отметить, что нагрузочное тестирование системы при помощи специальной программы [11] при $nd = 200$ прошло без возникновения ошибок. Кроме того, возможность подключения к локальному серверу 200 датчиков значительно превышает требования, предъявляемые к системе АСМИС в начале разработки.

3. Заключение. Приведенные в статье аналитические и имитационные модели реализованы на языке Java и зарегистрированы в Федеральном институте промышленной собственности [18, 19].

С помощью представленных аналитических и имитационных моделей решаются следующие задачи:

1) Выбор системы управления баз данных (СУБД) для системы мониторинга искусственных сооружений.

2) Определение, при выбранной СУБД и типах датчиков, предельное число датчиков, подключаемых к локальному серверу.

3) Выбор аппаратно-программной платформы для периферийных узлов АСМИС.

Литература

1. *Watanabe E., Furuta H., Yamaguchi T., Kano M.* On longevity and monitoring technologies of bridges: a survey study by the Japanese Society of Steel Construction // *Structure and Infrastructure Engineering*. 2014. vol. 10. no. 4. pp. 471–491.
2. *Li S.L., Li H., Liu Y., Lan C., Zhou W., Ou J.* SMC structural health monitoring benchmark problem using monitored data from an actual cable-stayed bridge // *Structural Control and Health Monitoring*. 2014. vol. 21. no. 2. pp. 156–172.
3. *Li A.Q., Ding Y.L., Wang H., Guo T.* Analysis and assessment of bridge health monitoring mass data—progress in research/development of “Structural Health Monitoring” // *Science China Technological Sciences*. 2012. vol. 55. no. 8. pp. 2212–2224.
4. *Spencer B. F.* Campaign Monitoring of Railroad Bridges in High-Speed Rail Shared Corridors using Wireless Smart Sensors // *Newmark Structural Engineering Laboratory*. University of Illinois at Urbana-Champaign. 2015.
5. *Брынь М.Я., Никитчин А.А., Толстов Е.Г. и др.* Геодезический мониторинг деформаций вантовых мостов на основе спутниковых технологий // *Известия Петербургского университета путей сообщения*. 2009. № 2(19). С. 120–128.
6. *Брынь М.Я., Хомоненко А.Д., Бубнов В.П., Никитчин А.А., Сергеев С.А., Новиков П.А., Титов А.И.* Программный комплекс для мониторинга деформаций особо опасных объектов // *Проблемы информационной безопасности. Компьютерные системы*. 2014. № 1. С. 36–41.
7. *Охтилев М.Ю., Зеленцов В.А., Соколов Б.В., Юсупов Р.М.* Методология и технология комплексной автоматизации и интеллектуализации процессов мониторинга и управления космическими средствами // *Труды 7-й российской мультиконференции по проблемам управления (УМАС-2014)*. 2014. С. 15–26.
8. *Корниенк А.А., Юсупов Р.М., Соколов Б.В., Охтилев М.Ю.* Модельно-алгоритмическое обеспечение и прототип программного комплекса мониторинга и диагностики сложного динамического объекта "подвижной состав - железнодорожная инфраструктура" в реальном времени // *IV международная научно-практическая конференция*. 2014. С. 33–41.

9. *Соколов Б.В., Юсупов Р.М., Корниенко А.А., Охтилев М.Ю.* Методологические и методические основы создания и применения интеллектуальной системы мониторинга подвижной состав - железнодорожная инфраструктура // *Материалы Третьей международной научно-практической конференции.* 2013. С. 12–20.
10. *Майданович О.В., Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М.* Комплексная автоматизация мониторинга состояния космических средств на основе интеллектуальных информационных технологий // *Информационные технологии.* 2011. № S10. С. 1–32.
11. *Сергеев С.А., Бубнов В.П., Бубнов В.В.* Программа для нагрузочного тестирования систем автоматизированного мониторинга // *Патент России № 201561734.* 2015.
12. Официальный сайт базы данных Sqlite. URL: <https://www.sqlite.org/> (дата обращения 18.02.2016).
13. *Бубнов В.П.* Метод расчета вероятностно-временных характеристик пребывания заявок в разомкнутой сети массового обслуживания // *Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения.* 2012. № 1(45). С. 92–96.
14. *Плотников А.М., Рыжиков Ю.И., Соколов Б.В., Юсупов Р.М.* Анализ современного состояния и тенденции развития имитационного моделирования в российской федерации (по материалам конференций «имитационное моделирование. Теория и практика» (ИММОД)) // *Труды СПИИРАН.* 2013. № 2(25). С. 42–112.
15. *Смагин В.А., Филimoniхин Г.В.* О моделировании случайных процессов на основе гипердельтного распределения // *Автоматика и вычислительная техника.* 1990. № 5. С. 25–31.
16. *Бубнов В.П., Сафонов В.И., Сергеев С.А.* Применение гипердельтного распределения в имитационных моделях микропроцессорных систем управления и диагностики электровозов // *Вестник Всероссийского научно-исследовательского и проектно-конструкторского института электровозостроения.* 2015. № 1(69). С. 39–47.
17. *Сергеев С.А., Бубнов В.П., Бубнов В.В.* Программа для расчета параметров аппроксимирующего гипердельтного распределения по методу моментов // *Патент России № 201561737.* 2015.
18. *Сергеев С.А., Бубнов В.П., Бубнов В.В.* Программа для имитационного моделирования нестационарных систем обслуживания // *Патент России № 201561735.* 2015.
19. *Сергеев С.А., Бубнов В.В., Ерёмин А.С.* Программа для расчета вероятностей состояний нестационарных систем обслуживания // *Патент России № 2014662753.* 2014.
20. Официальный сайт базы данных PostgreSQL. URL: <http://www.postgresql.org/> (дата обращения: 18.02.2016).

References

1. Watanabe E., Furuta H., Yamaguchi T., Kano M. On longevity and monitoring technologies of bridges: a survey study by the Japanese Society of Steel Construction. *Structure and Infrastructure Engineering.* 2014. vol. 10. no. 4. pp. 471–491.
2. Li S.L., Li H., Liu Y., Lan C., Zhou W., Ou J. SMC structural health monitoring benchmark problem using monitored data from an actual cable-stayed bridge. *Structural Control and Health Monitoring.* 2014. vol. 21. no. 2. pp. 156–172.
3. Li A.Q., Ding Y.L., Wang H., Guo T. Analysis and assessment of bridge health monitoring mass data—progress in research/development of “Structural Health

- Monitoring". *Science China Technological Sciences*. 2012. vol. 55. no. 8. pp. 2212–2224.
4. Spencer B.F. Campaign Monitoring of Railroad Bridges in High-Speed Rail Shared Corridors using Wireless Smart Sensors. *Newmark Structural Engineering Laboratory*. University of Illinois at Urbana-Champaign. 2015.
 5. Bryn M.YA., Nikitchin A.A., Tolstov E.G. et al. [Geodetic deformation monitoring cable-stayed bridges based on satellite technology]. *Izvestiia Peterburgskogo universiteta putei soobshcheniia – Proceedings of the St. Petersburg University of Railways*. 2009. no. 2(19). pp. 120–128. (In Russ.).
 6. Bryn M.YA., Khomonenko A.D., Bybnov V.P., Nikitchin A.A., Sergeev S.A., Novikov P.A., Titov A.I. [Software for monitoring strain especially dangerous objects]. *Problemy informacionnoi bezopasnosti. Kompiuternye sistemy – Problems of information security. Computer systems*. 2014. no. 1. pp. 36–41. (In Russ.).
 7. Okhtilev M.U., Zelencov V.A., Sokolov B.V., Yusupov R.M. [The methodology and technology of integrated automation and intellectualization of process monitoring and control of space means]. *7-ia rossiiskaia multikonferentcia po problemam upravleniia UMAS-2014* [Proceedings of the 7th Russian Multiconference on management (UMAS 2014)]. 2014. pp. 15–26. (In Russ.).
 8. Kornienko A.A. Yusupov R.M. Sokolov B.V. Okhtilev M.U. [Model-algorithmic support and prototype software for monitoring and diagnosis of complicated dynamic object "rolling stock - railway infrastructure" in realtime]. *IV mezhdunarodnaja nauchno-prakticheskaja konferencija* [Proceedings of the IV international scientific-practical conference]. 2014. pp. 33–41. (In Russ.).
 9. Sokolov B.V. Yusupov R.M. Kornienko A.A. Okhtilev M.U. [Methodological and methodical bases of creation and application of intelligent monitoring system rolling stock - railway infrastructure]. *Treteja mezhdunarodnaja nauchno-prakticheskaja konferencija* [Proceedings of the Third International Scientific and Practical Conference]. 2013. pp. 12–20. (In Russ.).
 10. Maidanovich O.V. Okhtilev M.U. Sokolov B.V. Yusupov R.M. [Integrated automation of monitoring the status of space assets on the basis of intelligent information technologies]. *Informacionnye tekhnologii – Information Technology*. 2011. no. S10. pp. 1–32. (In Russ.).
 11. Sergeev S.A., Bubnov V.P., Bubnov V.V. *Programma dlja nagruzochnogo testirovaniia sistem avtomatizirovannogo monitoringa* [The program for stress testing systems, automated monitoring]. Patent Rossii no. 201561734. 2015. (In Russ.).
 12. Oficialnyi sait bazy dannykh Sqlite [Official Website database Sqlite]. Available at: www.sqlite.org. (accessed: 18.02.2016). (In Russ.).
 13. Bubnov V.P. [The method of calculating the probability-time characteristics of the host applications in an open queuing network]. *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniia – Bulletin of the Rostov State University of Railways*. 2012. no. 1(45). pp. 92–96. (In Russ.).
 14. Plotnikov A.M. Ryzhikov I.I. Sokolov B.V. Yusupov R.M. [Analysis of current state and trends of the simulation in the Russian Federation (on materials of conferences "simulation. Theory and Practice" (IMMOD))]. *Trudy SPIIRAN – SPIIRAS Proceedings*. 2013. vol. 2(25). pp. 42–112. (In Russ.).
 15. Smagin V.A., Filimonihin G.V. [About modeling random processes on the basis of the limit distribution]. *Avtomatika i vychislitelnaia tekhnika – Automation and Computer Engineering*. 1990. no. 5. pp. 25–31. (In Russ.).
 16. Bubnov V.P., Safonov V.I., Sergeev S.A. [The application of the limit distribution in the simulation model of microprocessor control systems and diagnostics of electric locomotives]. *Vestnik Vserossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo i proektno-*

- konstruktorskogo instituta elektrovozostroeniia – Bulletin of the Russian Research and Design Institute of electric locomotive*. 2015. no. 1(69). pp. 39–47. (In Russ.).
17. Sergeev S.A., Bubnov V.P., Bubnov V.V. *Programma dlja rascheta parametrov approksimirujushhego giperdel'nogo raspredelenija po metodu momentov* [The program for calculating the parameters approximating the limit distribution of the method of moments]. Patent Rossii no. 201561737. 2015. (In Russ.).
 18. Sergeev S.A., Bubnov V.P., Bubnov V.V. *Programma dlja imitacionnogo modelirovaniya nestacionarnyh sistem obsluzhivaniya* [The program for the simulation of non-stationary systems, service]. Patent Rossii no. 201561735. 2015. (In Russ.).
 19. Sergeev S.A., Bubnov V.V. Eremin A.S. *Programma dlja rascheta verojatnostej sostojanij nestacionarnyh sistem obsluzhivaniya* [The program for the calculation of non-stationary state probabilities service systems] Patent Rossii № 2014662753. 2014.
 20. Oficialnyi sait bazy dannykh PostgreSQL [The official website for the PostgreSQL database]. Available at: www.postgresql.org. (accessed 18.02.2016). (In Russ.).

Бубнов Владимир Петрович — д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры информационных и вычислительных систем факультета автоматизации и интеллектуальных технологий, Петербургский государственный университет путей сообщения императора Александра I (ПГУПС). Область научных интересов: вероятностные модели аппаратно-программных комплексов, марковские процессы, дифференциальные уравнения. Число научных публикаций — 162. bubnov1950@yandex.ru, <http://www.pgups.ru>; Московский пр., д. 9, Санкт-Петербург, 190031, РФ; р.т.: +79052807904, Факс: +7(812)457-8606.

Bubnov Vladimir Petrovich — Ph.D., Dr. Sci., associate professor, professor of informatics and computer systems department, Petersburg state transport university. Research interests: probabilistic models of hardware and software complexes, Markovian processes, differential equations. The number of publications — 162. bubnov1950@yandex.ru, <http://www.pgups.ru>; 9, Moskovsky pr., Saint-Petersburg, 190031, Russia; office phone: +79052807904, Fax: +7(812)457-8606.

Сергеев Сергей Александрович — аспирант кафедры информационных и вычислительных систем факультета автоматизации и интеллектуальных технологий, Петербургский государственный университет путей сообщения императора Александра I (ПГУПС). Область научных интересов: настационарные системы массового обслуживания, программные комплексы. Число научных публикаций — 12. serega_svetl@mail.ru; Московский пр., д. 9, Санкт-Петербург, 190031, РФ; р.т.: 8(911)959-53-25.

Sergeev Sergei Aleksandrovich — Ph.D. student of the informatics and computer systems department, Petersburg State Transport University. Research interests: non-stationary queueing systems, software complexes. The number of publications — 12. serega_svetl@mail.ru; 9, Moskovsky pr., Saint-Petersburg, 190031, Russia; office phone: 8(911)959-53-25.

Поддержка исследований. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты № 13-07-00279, 13-08-00702, 13-08-01250, 13-06-00877, 13-07-12120-офи-м), Программы фундаментальных исследований ОНИТ РАН (проект No2.11).

Acknowledgements. This research is partially supported by the RFBR (grants 13-07-00279, 13-08-00702, 13-08-01250, 13-06-00877, 13-07-12120-офи-м), and by the fundamental scientific research support ONITRAS Project No. 2.11.

РЕФЕРАТ

Сергеев С.А., Бубнов В.П. **Нестационарные модели локального сервера автоматизированной системы мониторинга искусственных сооружений.**

Для определения технического состояния искусственных сооружений на железнодорожном транспорте (мосты, тоннели, эстакады), была разработана система автоматизированного мониторинга искусственных сооружений (АСМИС). Стабильная работа такого рода систем является существенным фактором в обеспечении безопасности особо опасных объектов. Основное требование предъявляется к оперативности получения и обработки информации с датчиков системы локальным сервером. Особенности функционирования локального сервера таковы, что периодически на сервер поступает большое количество заявок на обработку информации различного типа. Время обработки заявок разного типа является случайной величиной.

Данная работа посвящена определению максимального возможного числа датчиков, подключаемых к одному из локальных серверов автоматизированной системы мониторинга технического состояния искусственных сооружений. В статье приводится имитационная нестационарная вероятностная модель с детерминированным процессом поступления заявок и гипердельтным процессом обслуживания заявок. Обосновывается применение гипердельтного распределения в имитационной модели путём сравнения результатов имитационного моделирования с результатами, полученными с помощью аналитической модели. На основе результатов моделирования определяется максимальное число датчиков, подключение которых не приведёт к перегрузке, и выбирается система управления базой данных для локального сервера АСМИС.

SUMMARY

Sergeev S.A., Bubnov V.P. **Non-Stationary Models of the Automated Monitoring System of Artificial Structures Local Server.**

To determine the technical condition of especially dangerous objects (bridges, tunnels, overpasses), the automated system for monitoring of artificial structures (ASMAS) was developed. Stable operation of such systems is an essential factor in ensuring the safety of especially dangerous objects. The main requirement is specified for the efficiency of receiving and processing information from the sensors of the local server. Functioning features of the local server are such that the server periodically receives a large number of customers to process information of various types. The amount of time it takes to process different customers is a random variable.

This paper is devoted to the determination of the maximum possible number of sensors connected to one of the local servers of the automated system for monitoring of the technical condition of artificial structures. The article presents a simulation model with time-dependent probabilistic deterministic process of receiving customers and hyper delta process of the customer processing; substantiates the use of the hyper delta distribution in the simulation model by comparing simulation results with the results obtained by using an analytical model. Based on the results determined by the simulation database management system for a local server is chosen.