

**В.А. Минаев<sup>1</sup>, А.В. Мазин<sup>2</sup>, К.Б. Здирук<sup>1</sup>, Е.В. Поддубная<sup>2</sup>**<sup>1</sup> Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия,<sup>2</sup> Московский государственный университет им. Н.Э. Баумана, Калужский филиал, Калуга, Россия

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ВНУТРЕННИХ КОНФЛИКТОВ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

В статье рассматривается проблема баланса уровня функциональных возможностей автоматизированных систем сбора и обработки данных (АССОД) с ее потенциалом. Для решения проблемы предлагается разработка количественной меры указанных процессов, встроенной в состав средств контроля и управления функционированием АССОД. Описывается методика вычисления модельных значений показателя внутренней конфликтности (ПВК), применяемого в качестве количественной меры текущего уровня и потенциала АССОД. Методика основана на модели конкуренции внутренних процессов АССОД за ресурсы, допускающие совместное использование. В качестве ПВК выбирается векторный показатель, включающий вероятность нахождения системы в состоянии конфликта, частоту возникновения конфликтов на интервале функционирования системы, среднее время нахождения системы в конфликтном состоянии. Конфликтующие процессы рассматриваются как системы массового обслуживания (СМО), обрабатывающие потоки запросов к общим ресурсам. Допущения о простейшем типе потоков заявок и о показательном распределении времени их обслуживания позволяют считать процессы, протекающие в конкурирующих СМО, марковскими, давая возможность использовать уравнения Эрланга для установившегося режима. Для нахождения характеристик векторного показателя использованы результаты, полученные в теории импульсных потоков для совпадающих импульсных последовательностей. Приводится решение задачи вычисления показателя конфликтности для случая конкуренции двух сторон, обобщаемое на более сложный случай. Делается вывод, что ПВК может быть использован для сравнительного анализа качества нескольких АССОД, а именно при прочих равных характеристиках лучшим качеством будет обладать система, имеющая меньшее значение показателя внутренней конфликтности.

**Ключевые слова:** оценка, потенциал развития, автоматизированная система, сбор и обработка данных, показатель внутренней конфликтности, теория импульсных процессов, марковский процесс.

Для цитирования: Минаев В. А., Мазин А. В., Здирук К. Б., Поддубная Е. В. Моделирование внутренних конфликтов автоматизированных систем сбора и обработки данных // Радиопромышленность. 2018. № 1. С. 118–123.

**V.A. Minaev<sup>1</sup>, A.V. Mazin<sup>2</sup>, K.B. Zdiruk<sup>1</sup>, E.V. Poddubnaya<sup>2</sup>**<sup>1</sup> Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia, <sup>2</sup> Bauman Moscow State Technical University, Kaluga branch, Kaluga, Russia

## MODELING OF INTERNAL CONFLICTS OF AUTOMATED DATA COLLECTION AND DATA PROCESSING SYSTEMS

The article deals with the problem of balancing the level of functional capabilities of automated data collection and processing systems (ADCPSs) with their potential. As a solution of the problem, it is proposed to develop a quantitative measure of the said processes, to be built into the structure of tools for control and management of ADCPS operation. A technique is described for calculation of model values of internal conflict intensity indicator (ICII), which is used as a quantitative measure of the current level and the potential of ADCPS. The technique is based on the model of ADCPS internal processes competition for resources that can be shared. A vector indicator is chosen as the ICII, which includes probability of finding a system in condition of conflict, the frequency of conflicts occurring in the interval of the system's functioning, the average time of finding the system in the conflict condition. Conflicting processes are considered as queueing systems (QSOs) that process flows of requests to shared resources. Assumptions on the simplest type of flows of applications and on the exponential distribution of their service time make it possible to consider the processes occurring in competing CMOs to be Markov processes, making it possible to use the Erlang equations for the steady-state regime.

*To obtain characteristics of the vector exponent, the results obtained in the theory of impulse flows for coincident pulse sequences are used. A solution is given for the problem of calculating conflict intensity indicators for the case of competition between the two sides, generalized for a more complex case. It is concluded that ICII can be used for comparative analysis of the quality of several ADCPSs, and specifically, with other characteristics being equal, a better quality will be demonstrated by a system having a lower value of the internal conflict indicator.*

**Keywords:** estimation, development potential, automated system, data collection and processing, internal conflict intensity indicator, theory of impulse processes, the Markov process.

For citation: Minaev V. A., Mazin A. V., Zdiruk K. B., Poddubnaya E. V. Modeling of internal conflicts of automated data collection and data processing systems. Radiopromyshlennost, 2018, no. 1, pp. 118–123 (In Russian).

DOI 10.21778/2413-9599-2018-1-118-123

## Введение

Практика эксплуатации сложных автоматизированных систем (АС), к которым относятся АССОД, подтверждает необходимость сбалансированного соотношения текущего уровня функциональных возможностей системы с потенциалом, заложенным при ее проектировании, на каждом этапе ее эксплуатации (модернизации), вплоть до принятия решения об утилизации [1–4].

В этой связи разработчикам и лицам, эксплуатирующим АССОД, требуется измерительный инструмент, чувствительный к изменениям в состоянии системы (ее элементов) и градуированный относительно текущего (достигнутого) уровня и потенциала ее развития (совершенствования). Иными словами, нужна количественная мера указанных процессов, встроенная в состав средств контроля и управления функционированием АССОД.

Основные подходы к обоснованию показателя внутренней конфликтности (ПВК), как важной системной характеристики внутренних явлений и процессов, рассмотрены в работах [3–5].

В данной статье рассмотрена методика вычисления модельных значений ПВК, основанная на представлении функционирования АССОД в виде множества процессов, конкурирующих за ограниченный набор ресурсов, допускающих их совместное использование. Полученная на основе методики количественная мера ПВК объективизирует основу для принятия решений по целенаправленному совершенствованию (модернизации) или замене (снятию с эксплуатации) АССОД.

## Вычисление показателей внутренней конфликтности

Для начала рассмотрим последовательность вычисления ПВК для системы, включающей два элементарных процесса. Пусть указанные процессы соперничают за некоторый набор  $k$  совместно используемых ресурсов из  $n$  имеющихся в системе.

В качестве ПВК выберем векторный показатель – тройку следующих характеристик:

$\langle P_{\text{кф}}, \lambda_{\text{кф}}, \bar{\tau}_{\text{кф}} \rangle$ , где  $P_{\text{кф}}$  – вероятность нахождения системы в состоянии конфликта;  $\lambda_{\text{кф}}$  – частота возникновения конфликтов на интервале функционирования работы;  $\bar{\tau}_{\text{кф}}$  – среднее время нахождения системы в конфликтном состоянии.

Конфликтующие стороны будем рассматривать как некоторые системы массового обслуживания (СМО), обрабатывающие потоки запросов к общим ресурсам.

Примем следующие ограничения:

1. Потоки запросов – простейшие, независимые. Интенсивности запросов к любому типу ресурсов одинаковы и равны для сторон, соответственно,  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$ .
2. Количество типов ресурсов у обеих сторон совпадает и равно  $n$ , из них  $k$  ресурсов могут использоваться совместно.
3. Длительности обслуживания запросов на любой ресурс подчинены соответственно показательному закону распределения с параметрами  $\mu_1$  и  $\mu_2$ .
4. Предполагается, что запрошенный ресурс по окончании обслуживания вновь считается свободным и может быть использован без ограничений обеими сторонами.
5. Конфликты возникают при попытке одной из сторон овладеть ресурсом, который в этот момент используется другой стороной. Продолжительность конфликта определяется длительностью промежутка пересечения интервалов действий сторон.
6. Запрос считается исполненным (заявка – удовлетворенной), если за время его исполнения не возник конфликт между конкурирующими сторонами.
7. Обе СМО – одноканальные, с отказами.

Допущения о простейшем типе потоков заявок и о показательном распределении времени их обслуживания позволяют считать процессы, протекающие в конкурирующих СМО, марковскими. Это дает возможность для установившегося режима использовать уравнения Эрланга. Функционирование

каждой СМО опишем, рассматривая следующую индикаторную функцию:

$$V(t) = \begin{cases} 1 - \text{система занята обслуживанием заявки;} \\ 0 - \text{система свободна.} \end{cases}$$

Тогда процесс работы каждой системы описывается следующим образом [5]:

$$\langle P_{\text{кф}}, \lambda_{\text{кф}}, \bar{\tau}_{\text{кф}} \rangle; \quad (1)$$

$$t_{i+1} > t_i; \quad t_i > 0,$$

где  $T_{\phi}$  – длительность периода функционирования;  $\hat{t}_i$  – момент начала  $i$ -го периода занятости;  $\hat{\tau}_i$  – длительность  $i$ -го периода обслуживания;  $\Delta$  – функция «селектор луча», определяемая следующим образом:

$$\Delta V(\delta) = \begin{cases} 0, & \delta < 0; \\ 1, & \delta \geq 0. \end{cases}$$

Пример реализации процесса показан на рис. 1.

Заметим, что требования, поступающие в систему в интервалы ее занятости, не могут быть обслужены и получают отказ, поэтому поток содержит только непересекающиеся импульсы.

Такое представление работы каждой из соперничающих сторон с некоторым из совместно используемых ресурсов позволяет для нахождения характеристик конфликтности  $\langle P_{\text{кф}}, \lambda_{\text{кф}}, \bar{\tau}_{\text{кф}} \rangle$  использовать результаты, полученные в теории импульсных потоков для совпадающих импульсных последовательностей. Конфликт сторон из-за некоторого совместно используемого ресурса есть совпадение во времени промежутков работы с этим ресурсом первой и второй сторон (рис. 2).

Данное представление (для одного совместно используемого ресурса) может быть обобщено для случая, когда у сторон  $k$ -ресурсов из  $n$  имеющихся в системе допускают совместное использование.

Вспользуемся вспомогательными соотношениями, приведенными в [6].

Лемма: Если поток взаимно не перекрывающихся импульсов является стационарным,

то средняя частота следования импульсов, длительность которых не менее  $\sigma$ , удовлетворяет соотношению

$$\lambda(\sigma) = -\frac{d}{d\sigma} P(\sigma), \quad (2)$$

где  $P(\sigma)$  – вероятность наличия в произвольный момент времени импульса, длительность которого укорочена на величину  $\sigma$ .

Теорема (для двух потоков): Если в процессе совпадения участвуют импульсы двух стационарных и независимых потоков взаимно неперекрывающихся импульсов, то средняя частота совпадения импульсов двух потоков, вычисленная при условии, что продолжительность совпадения не менее  $\sigma$ , определяется соотношением

$$\lambda(\sigma) = -\frac{d}{d\sigma} [P_1(\sigma)P_2(\sigma)], \quad (3)$$

где  $P_1(\sigma)$  и  $P_2(\sigma)$  – вероятности наличия в произвольный момент у первого и второго потока импульсов длительностью не менее  $\sigma$ .

Ниже приводится решение задачи вычисления показателей конфликтности для случая соперничества двух сторон (индексы 1 и 2 соответственно).

Примем допущение, что процессы, протекающие в соперничающих системах, марковские. На рис. 3 показаны возможные состояния систем и интенсивности переходов между состояниями.

Состояния определены следующим образом:

- (0) – система свободна;
- (1) – система занята обслуживанием заявки, при этом используется ее «собственный» ресурс, не являющийся совместно используемым;
- (-1) – для обслуживания заявки система использует ресурс из множества совместно используемых ресурсов.

Вероятности  $P_{-1_1}$  и  $P_{-1_2}$  нахождения соперничающих систем в состояниях  $(-1)_1$  и  $(-1)_2$  могут быть найдены решением систем уравнений Эрланга для установившегося режима:

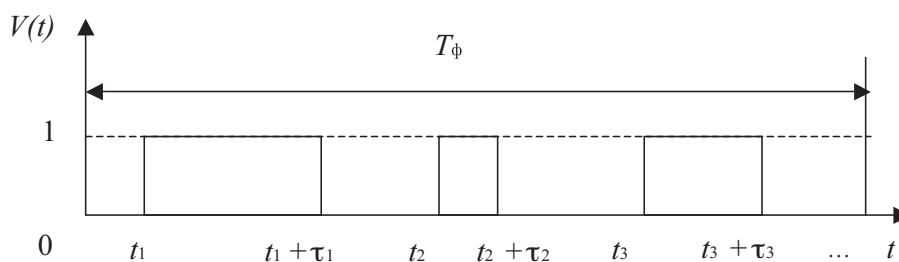


Рисунок 1. Графическое представление функционирования системы в виде потока неперекрывающихся импульсов

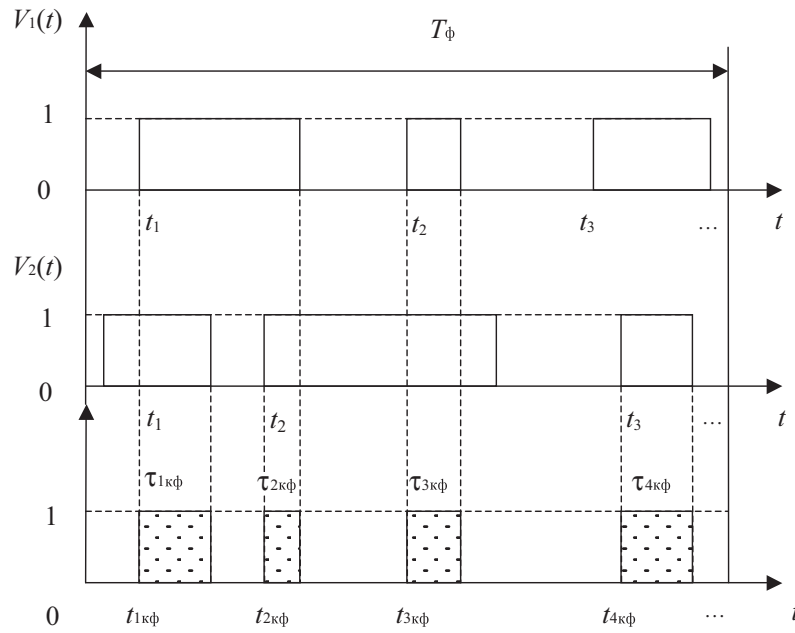


Рисунок 2. Поток конфликтов при конкуренции за ресурс в процессе соперничества сторон

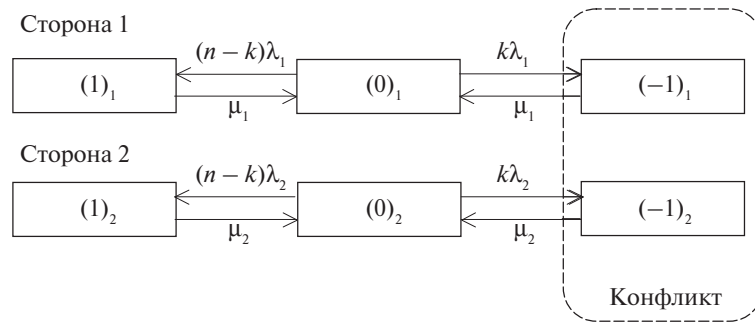


Рисунок 3. Состояния конфликтующих сторон

$$\begin{cases} (n-k)\lambda_1 P_0 - \mu_1 P_1 = 0 \\ k\lambda_1 P_0 - \mu_1 P_{-1} = 0 \\ P_0 + P_1 + P_{-1} = 1 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} P_1 = \frac{(n-k)\lambda_1 P_0}{\mu_1} \\ P_{-1} = \frac{k\lambda_1}{\mu_1} P_0 \\ P_0 + P_1 + P_{-1} = 1 \end{cases} \rightarrow (4)$$

$$\rightarrow P_{-1} = \frac{k\lambda_1}{n\lambda_1 + \mu_1};$$

$$\begin{cases} (n-k)\lambda_2 P_0 - \mu_2 P_1 = 0 \\ k\lambda_2 P_0 - \mu_2 P_{-1} = 0 \\ P_0 + P_1 + P_{-1} = 1 \end{cases} \rightarrow \begin{cases} P_1 = \frac{(n-k)\lambda_2 P_0}{\mu_2} \\ P_{-1} = \frac{k\lambda_2}{\mu_2} P_0 \\ P_0 + P_1 + P_{-1} = 1 \end{cases} \rightarrow (5)$$

$$\rightarrow P_{-1} = \frac{k\lambda_2}{n\lambda_2 + \mu_2}.$$

В силу независимости исходных потоков можно записать выражение для вероятности конфликтной

ситуации  $P_{\text{кф}}$  – обе системы используют общие ресурсы:

$$P_{\text{кф}} = P_{-1} P_{-1}. \quad (6)$$

К возникновению конфликтов приводят лишь те конфликтные ситуации, в которых стороны пытаются использовать одноименные ресурсы из  $k$ -ресурсов, допускающих совместное использование. Число таких ситуаций очевидно равно  $k$ .

В условиях решаемой задачи все конфликтные ситуации равновероятны, поэтому выражение для  $P_{\text{кф}}$  примет вид

$$P_{\text{кф}} = \frac{P_{\text{кф}}}{k} = \frac{k\lambda_1\lambda_2}{(n\lambda_1 + \mu_1)(n\lambda_2 + \mu_2)}. \quad (7)$$

Для нахождения  $\lambda_{\text{кф}}$  и  $\bar{\tau}_{\text{кф}}$  воспользуемся вышеприведенными леммой и теоремой.

Пусть  $t_{i+1} > t_i; t_i > 0$  – вероятность наличия импульса, укороченного на величину  $\sigma$ ;  $\lambda(\sigma)$  – частота следования импульсов, укороченных на величину  $\sigma$ ;  $\tau(\sigma)$  – средняя длительность импульсов, укороченных на величину  $\sigma$ .

Пусть  $k = 1$ , то есть стороны имеют один общий ресурс.

Для потока неперекрывающихся импульсов справедливо

$$P(\sigma) = \lambda(\sigma)\tau(\sigma). \quad (8)$$

Работа каждой из сторон с общим ресурсом представляет собой поток неперекрывающихся импульсов, следующих с частотой  $\lambda_{И_1}$  и  $\lambda_{И_2}$ , где

$$\lambda_{И_1} = \frac{\lambda_1\mu_1}{n\lambda_1 + \mu_1} < \lambda_1, \quad \lambda_{И_2} = \frac{\lambda_2\mu_2}{n\lambda_2 + \mu_2} < \lambda_2. \quad (9)$$

Эти неравенства свидетельствуют о том, что часть требований на ресурс получает отказы у сторон, так как системы в это время заняты обслуживанием предыдущих требований.

Для стороны 1 можно записать

$$\lambda_1(\sigma) = \lambda_{И_1} P(\hat{\tau}_{И_1} > \sigma), \quad (10)$$

где  $P(\hat{\tau}_{И_1} > \sigma)$  – вероятность того, что длина импульса окажется больше  $\sigma$ .

Поэтому

$$\lambda_1(\sigma) = \frac{\lambda_1\mu_1}{n\lambda_1 + \mu_1} e^{-\mu_1\sigma}, \quad (11)$$

$$\bar{\tau}_1(\sigma) = \int_{\sigma}^{\infty} (\tau - \sigma)\mu_1 e^{-\mu_1\tau} d\tau. \quad (12)$$

Итак, выражение  $P_1(\sigma)$  имеет вид

$$P_1(\sigma) = \frac{\lambda_1\mu_1}{n\lambda_1 + \mu_1} \int_{\sigma}^{\infty} (\tau - \sigma)\mu_1 e^{-\mu_1\tau} d\tau = \frac{\lambda_1 e^{-\mu_1\sigma}}{n\lambda_1 + \mu_1}. \quad (13)$$

Рассуждая аналогичным образом, можно записать выражение для  $P_2(\sigma)$ :

$$P_2(\sigma) = \frac{\lambda_2}{n\lambda_2 + \mu_2} e^{-\mu_2\sigma}. \quad (14)$$

Из вспомогательной теоремы [6] следует, что

$$\begin{aligned} \lambda_{кф} &= -\frac{d}{d\sigma} [P_1(\sigma)P_2(\sigma)] \Big|_{\sigma=0} = \\ &= \frac{d}{d\sigma} \left[ \frac{\lambda_1}{n\lambda_1 + \mu_1} e^{-\mu_1\sigma} \frac{\lambda_2}{n\lambda_2 + \mu_2} e^{-\mu_2\sigma} \right] \Big|_{\sigma=0} = \\ &= \frac{\lambda_1\lambda_2(\mu_1 + \mu_2)}{(n\lambda_1 + \mu_1)(n\lambda_2 + \mu_2)} e^{-(\mu_1 + \mu_2)\sigma} \Big|_{\sigma=0} = \\ &= \frac{\lambda_1\lambda_2(\mu_1 + \mu_2)}{(n\lambda_1 + \mu_1)(n\lambda_2 + \mu_2)} \end{aligned} \quad (15)$$

Этот результат можно обобщить на случай  $k = 2(1)$  и общих ресурсов для получения искомым выражений

$$\lambda_{кф} = \frac{k\lambda_1\lambda_2(\mu_1 + \mu_2)}{(n\lambda_1 + \mu_1)(n\lambda_2 + \mu_2)}, \quad (16)$$

$$\bar{\tau}_{кф} = \frac{P_{кф}}{\lambda_{кф}} = \frac{1}{\mu_1 + \mu_2}. \quad (17)$$

Подчеркнем, что методика вычисления модельных значений показателя конфликтности АССОД (или отдельных элементов) может применяться на этапе проектирования системы для предварительной оценки качества принимаемых системотехнических решений. Динамика изменения измеряемых непосредственно в процессе эксплуатации АССОД значений  $\lambda_{кф}$  и  $\bar{\tau}_{кф}$  помогает отслеживать последствия работ по модернизации элементов системы в течение ее жизненного цикла. Отклонения значений от «нормы» (трансформация закона распределения измеренных случайных величин) могут служить признаком наличия скрытого вредоносного воздействия на систему.

### Выводы

1. Результаты работ по совершенствованию (модернизации) АССОД или оптимизации отдельных показателей ее функционирования должны быть оценены с точки зрения снижения внутренней конфликтности системы, как важной характеристики, во многом обуславливающей другие эксплуатационные свойства.
2. Изложенный подход, как представляется, применим на этапе проектирования (разработки) АССОД, когда абсолютные и относительные оценки ПВК [6] определяются после того, как будет структурирован состав системы и уточнены параметры основных потоков данных и характеристики процессов их обработки.
3. Предложенные показатели внутренней конфликтности могут быть использованы для сравнительного анализа качества нескольких АССОД. А именно при прочих равных характеристиках лучшим качеством будет обладать система, имеющая меньшее значение показателя внутренней конфликтности.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Балашов Е. П. Эволюционный синтез систем. М.: Радио и связь, 1985. 328 с.
2. Альтшулер Г. С. Творчество как точная наука. М.: Советское радио, 1979. 131 с.
3. Клини С. К. Введение в математику / пер. с англ. А. С. Есенина-Вольпина; под ред. В. А. Успенского. М.: Издательство иностранной литературы, 1957. 527 с.
4. Оценка автоматизированных систем сбора и обработки данных на основе показателя внутренней конфликтности / К. Б. Здирук, В. А. Минаев, А. В. Мазин, Е. В. Поддубная // Вопросы радиоэлектроники. 2017. № 11. С. 29–34.



5. Петухов Г. Б., Якунин В. И. Методологические основы внешнего проектирования целенаправленных процессов и целеустремленных систем. М.: АСТ, 2006. 504 с.
6. Седякин Н. М. Элементы теории случайных импульсных потоков. М.: Советское радио, 1965. 263 с.

## REFERENCES

1. Balashov E. P. *Jevoljucionnyj sintez sistem* [Evolutionary synthesis of systems]. Moscow, Radio i svyaz Publ., 1985, 328 p. (In Russian).
2. Altshuler G. S. *Tvorchestvo kak tochnaja nauka* [Creativity as a STEM science]. Moscow, Sovetskoe radio Publ., 1979, 131 p. (In Russian).
3. Klini S. K. *Vvedenie v matematiku* [Introduction to mathematics]. Trans. from eng. A. S. Esenin-Volpin; In: V. A. Uspenskiy, ed. Moscow, Izdatelstvo inostrannoy literatury Publ., 1957, 527 p. (In Russian).
4. Zdiruk K. B., Minaev V. A., Mazin A. V., Poddubnaya E. V. Evaluation of automated data collection and processing systems based on the internal conflict intensity indicator. *Voprosy radioelektroniki*, 2017, no. 11, pp. 29–34 (In Russian).
5. Petukhov G. B., Yakunin V. I. *Metodologicheskie osnovy vneshnego proektirovaniya celenapravlenykh processov i celeustremlennykh sistem* [Methodological background for external design of task-specific processes and target-specific systems]. Moscow, AST Publ., 2006, 504 p. (In Russian).
6. Sedyakin N. M. *Jelementy teorii sluchajnykh impulsnykh potokov* [Elements of the theory of random impulse flows]. Moscow, Sovetskoe radio Publ., 1965, 263 p. (In Russian).

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Минаев Владимир Александрович**, д.т.н., профессор, Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, 105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1, тел.: 8 (916) 294-92-90, e-mail: m1va@yandex.ru.

**Мазин Анатолий Викторович**, д.т.н., профессор, зав. кафедрой ЭИУ6-КФ, Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Калужский филиал, 248000, Калуга, ул. Баженова, д. 2, тел.: 8 (910) 915-58-25, e-mail: mazinav@yandex.ru.

**Здирук Константин Борисович**, к.т.н., доцент, Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, 105005, Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5, стр. 1, тел.: 8 (916) 294-92-90, e-mail: m1va@yandex.ru.

**Поддубная Екатерина Викторовна**, аспирант, Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана, Калужский филиал, 248000, Калуга, ул. Баженова, д. 2, тел.: 8 (910) 915-58-25, e-mail: mazinav@yandex.ru.

## AUTHORS

**Minaev Vladimir**, Dr., professor, professor of the Bauman Moscow State Technical University, 5/1, 2-ya Baumanskaya ulitsa, Moscow, 105005, Russian Federation, tel.: +7 (916) 294-92-90, e-mail: m1va@yandex.ru.

**Mazin Anatoliy**, PhD, professor, head of the Department EIU6-KF, Bauman Moscow State Technical University, Kaluga branch, 2, ulitsa Bazhenova, Kaluga, 248000, Russian Federation, tel: +7 (910) 915-58-25, e-mail: mazinav@yandex.ru.

**Zdiruk Konstantin**, PhD, assistant professor, Bauman Moscow State Technical University, 5/1, 2-ya Baumanskaya ulitsa, Moscow, 105005, Russian Federation, tel.: +7 (916) 294-92-90, email: m1va@yandex.ru; tel: +7 (916) 294-92-90, e-mail: m1va@yandex.ru.

**Poddubnaya Ekaterina**, graduate student, Bauman Moscow State Technical University, Kaluga branch, 2, ulitsa Bazhenova, Kaluga, 248000, Russian Federation, tel: +7 (910) 915-58-25, e-mail: mazinav@yandex.ru.