

Оптимизация аналого-дискретных преобразований входного воздействия в подсистеме приемного канала информационно-измерительной системы

А. А. Бурмака¹, Т. Н. Говорухина¹ ✉, Р. Ю. Горяйнов¹

¹ ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»
ул. 50 лет Октября, 94, г. Курск, 305040, Российская Федерация

✉ e-mail: govtn@mail.ru

Резюме

Целью исследования является разработка методик построения системной и локальных моделей целенаправленных процессов функционирования подсистемы приемного канала информационно-измерительной системы. Данные модели должны позволить обосновать возможность оптимизации процессов взаимодействия компонентов аналого-дискретного преобразования входного воздействия случайного характера.

Методы. Методика получения измерительной информации в информационно-измерительной системе предполагает использование алгоритмов, минимизирующих информационные потери на каждом этапе преобразования входного воздействия. Возможным подходом является применение рациональных и оптимальных решений при выборе и обосновании функционального обеспечения преобразования входного воздействия $\xi(t, \lambda, S)$ с целью получения текущей измерительной информации при минимизации остаточной неопределенности.

Результаты. Для решения поставленной задачи в необходимо: построить системную модель для совокупности основных функций, определяющих реализацию целенаправленного процесса аналого-дискретного преобразования $\xi(t, \lambda, S)$; обосновать способ реализации этих функций, критерии их взаимодействия; определить методику оптимизации и (или) рациональных построений локальных целенаправленных процессов; сформировать методические рекомендации и правила структурных построений подсистемы информационно-измерительной системы, входные воздействия которой с априори неизвестными характеристиками. В работе предлагается методический подход к функциональной организации аналого-дискретных преобразований входного воздействия случайного характера в подсистеме приемного канала информационно-измерительной системы, позволяющий путем оптимизации взаимосвязанных целенаправленных процессов обнаружения импульсных сигналов и измерения их параметров на фоне помех с неизвестными априори характеристиками повысить качество функционирования приемного канала информационно-измерительной системы и работы её компонентов.

Заключение. Применение процедур временной селекции сигналов, управляемой каналом обнаружения, позволяет повысить скорость и точность определения их параметров, повысить помехоустойчивость подсистемы приемного канала информационно-измерительной системы, снизить вероятность пропуска слабых сигналов, а также повысить точность измерения временных параметров импульсных сигналов.

Ключевые слова: аналого-дискретное преобразование; параметры импульсных сигналов; селекция импульсов на фоне помех; управление частотно-временными характеристиками; прием случайных сигналов.

© Бурмака А. А., Говорухина Т. Н., Горяйнов Р. Ю., 2019

Конфликт интересов: Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Для цитирования: Бурмака А. А., Говорухина Т. Н., Горяйнов Р. Ю. Оптимизация аналого-дискретных преобразований входного воздействия в подсистеме приемного канала информационно-измерительной системы // Известия Юго-Западного государственного университета. 2019; 23(6): 256-270. <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-6-256-270>.

Поступила в редакцию 16.10.2019

Подписана в печать 29.11.2019

Опубликована 23.2.2019

Optimization of Analog-Discrete Conversions of the Input Action in the Subsystem of the Receiving Channel of the Information-Measuring System

Alexander A. Burmaka¹, Tatyana N. Govorukhina¹ ✉, Roman Y. Goryainov¹

¹ Southwest State University
50 Let Oktyabrya str. 94, Kursk 305040, Russian Federation

✉ e-mail: govtn@mail.ru

Abstract

Purpose of research is to develop a technique for developing system and local models of targeted processes of functioning of the subsystem of the receiving channel of an information-measuring system. These models should make it possible to substantiate the possibility of optimizing the processes of interaction of the components of the analog-discrete conversion of the input action of a random nature.

Methods. The technique for obtaining measurement information in the information-measuring system involves the use of algorithms that minimize information loss at each stage of conversion of the input action. A possible approach is the use of rational and optimal solutions when selecting and substantiating functional support of the input action $\xi(t, \lambda, S)$ in order to obtain current measurement information while minimizing residual uncertainty.

Results. To solve this problem, it is necessary to build a system model for the totality of the basic functions that determine the implementation of the targeted process of analog-discrete conversion $\xi(t, \lambda, S)$; to substantiate the way these functions are implemented, the criteria for their interaction; to determine the optimization technique and (or) rational construction of local targeted processes; to prepare guidelines and rules for structural constructions of the subsystem of the information-measuring system, the input actions of which have priori unknown characteristics. The paper proposes an approach to the functional organization of analog-discrete conversions of the input action of a random nature in the receiving channel subsystem of an information-measuring system, which allows improving the quality of the receiving channel of the information-measuring system and the operation of its components by optimizing the interrelated targeted processes for detecting pulse signals and measuring their parameters against the background of noise with a priori unknown characteristics.

Conclusion. The application of procedures for temporary selection of signals controlled by the detection channel allows increasing the speed and accuracy of determining their parameters, increasing the noise immunity of the receiving channel subsystem of the information-measuring system, reducing the probability of skipping weak signals as well as increasing the accuracy of measuring the temporal parameters of pulse signals.

Keywords: analog-discrete conversion; pulse signals parameters; pulse selection against interference; time-frequency response management; random signal reception.

Conflict of Interest: The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

For citation: Burmaka A. A., Govorukhina T. N., Goryainov R. Y. Optimization of Analog-Discrete Conversions of the Input Action in the Subsystem of the Receiving Channel of the Information-Measuring System. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta = Proceedings of the Southwest State University*. 2019, 23(6): 256-270 (In Russ.). <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2019-23-6-256-270>.

Received 16.10.2019

Accepted 29.11.2019

Published 23.12.2019

Введение

Декомпозиция целевой функции (ЦФ) информационно-измерительной системы (ИИС) предполагает формирование дерева функций [1] (основных и дополнительных), одной из определяющих ветвей которого является подмножество функций $\{\Phi_{ad}\}$, направленных на реализацию процессов восприятия системой входного воздействия и преобразование его к виду, удобному для получения (добывания) текущей измерительной информации. Основными функциями этого подмножества являются:

- обнаружение сигналов в приемном канале ИИС на фоне шумовых и импульсных помех в процессе получения информации опытным путем (оператор E_H);

- фильтрация сигналов и помех на входе приемного канала ИИС (оператор E_f);

- аналогово-дискретное преобразование сигналов в виду, удобному для последующего цифрового представления и формирования измерительной информации (оператор E_{ad}).

Исходя из положения об определяющей роли основных функций, лежащих в основе перечисленных преобразований в приемном канале ИИС, формируется целенаправленный процесс

(ЦНП [2, 3]) как совокупность рациональных приемов перехода от функции к структуре [1]. Определяющим фактором является построение аналитических моделей рассматриваемой ветви ЦФ и их алгоритмическая интерпретация согласно направленным действиям E_H, E_f, E_{ad} .

Параллельно с этим возникает задача оптимизации взаимодействия основного и локальных алгоритмов реализации ЦНП аналого-дискретного преобразования входного воздействия ИИС.

Цель работы: разработка методики построения системной и локальных моделей целенаправленных процессов функционирования подсистемы приемного канала ИИС, позволяющих обосновать возможность оптимизации процессов взаимодействия компонентов аналого-дискретного преобразования входного воздействия случайного характера.

Материалы и методы

Приемный канал ИИС (безотносительно к детализации его свойств и принципов построения) является подсистемой получения информации от исследуемого объекта в виде полезных сигналов в смеси с аддитивными шумовыми и импульсными помехами, представляющих для подсистемы входное воздействие.

Это воздействие характеризуется:

- частотным диапазоном;
- полосой частот ΔF принимаемых электрических колебаний;
- структурой и интенсивностью входного потока $\lambda(A)$, т.е. [4, 5]

$$\lambda(A) = \sum_{r=1}^R \lambda_r(A)$$

где

$$\lambda_r(A) = \int_{V_{ra}} P_{or} \cdot \lambda_{t_{ir}}(a) \cdot P(A^*/a) P_i^r(a) da; \quad (1)$$

здесь A – вектор наблюдаемых параметров $\{a\}$, результат измерения « a »; V_{ra} – область параметрического пространства наблюдений r -го объекта в канале с полосой ΔF ; P_{or} – вероятность пропуска наблюдений r -го объекта; $\lambda_{t_{ir}}(a)$ – среднее количество полезных сигналов S_{ir} для временной компоненты t_{ir} [5], такой что $t_{ir} = (t_i + \Delta t_i)_r$, поступающих на вход приемного канала ИИС; $P(A^*/a)$ – условная плотность вероятности распределения компонент вектора наблюдаемого множества $\{a\}$; A^* – вектор компонент наблюдения, мешающих по отношению к вектору A ; $P_i^r(a)$ – вероятность наблюдения i -го сигнала от r -го объекта в момент времени t_{ir} на интервале $(t_i + \Delta t_i)_r$;

- мощностью (или амплитудой) наблюдаемых полезных сигналов S_{ir} ;
- формой сигналов и их огибающей (если сигнал поступает в виде серий (пачек) модулированных по амплитуде);

- характеристиками помех в виде аддитивной смеси шума и неинформативных (мешающих) сигналов.

Сам факт приема входного воздействия подсистемой ИИС может быть описан в виде аналитической модели как $\xi_r^{(j)}(t, \lambda, S) = E_J[S_{ir}(t-t_i, \lambda_r, a), \vec{n}(t)]$, (2) где $r = \overline{1, R}$ порядковый номер реализации r -го входного воздействия в j -ом сеансе работы ИИС, $i = \overline{1, \lambda}$ – i -тый сигнал $S(t-t_i)$ во входном воздействии, $k = \overline{1, m}$ – k -тый параметр сигнала, такой что, $a_k^{(i)} \in A$; E_J – оператор информационного преобразования при приеме входного воздействия; $\vec{n}(t)$ – вектор возмущений, характеризующий мешающие компоненты входного воздействия аддитивного характера; $S_{ir}(t-t_i, \lambda_r, a)$ – поток сигналов, ограниченный длительностью $T_{r \max}$ r -ой реализации, обнаруженных приемным каналом.

При этом S определяется как пространство аналоговых импульсных сигналов мощности P_c (или амплитуды U_c), формы, длительности, с интервалами следования T_{II} при априорной неопределенности значений и пределов изменения этих параметров и характеристик. В общем виде аналитическая модель $S_{ir}(t-t_i, \lambda_r, a)$ может быть представлена как [6]

$$S_{ir}(t-t_i, \lambda_r, a) = \sum_{i=1}^{\infty} \psi(t-t_i) \approx \approx U_{C_o} \cdot \frac{\tau_{II}}{T_{II}} [1 + \sum_{i=1}^{\infty} C_i \cdot \cos i \cdot \omega_0 t], \quad (3)$$

$$\text{где } C_i = \frac{2 \sin(i \cdot \omega_0 \frac{\tau_{II}}{2})}{i \cdot \omega_0 \frac{\tau_{II}}{2}}; \quad \omega_0 = \frac{2\pi}{T_{II}}; \quad \tau_{II} -$$

длительность импульса на заданном уровне; T_{II} – период (интервал) следования импульсов, i – номер гармоники.

В этом случае комплексное воздействие как $\xi(t, \lambda, S)$ на входные цепи приемного канала ИИС может быть представлено как произвольная комбинация полезных сигналов $S(t, \lambda, a)$ и помех $\vec{n}(t)$, т.е. a как r -тая реализация входного воздействия (от r -го объекта)

$$\xi_{ir}^{(j)}(T_{II_{\max}}^{(r)}) = \{[S_{ir}(t - t_i), \lambda_r, \{a_k\}] \times \vec{n}(t)\},$$

$$\text{здесь } \sum_{i=1}^1 (t_i + \Delta t_i)_r = T_{II_{\max}}^{(r)};$$

$$\Delta t_i = \tau_{II_i} + \tau_{k_{i,i+1}},$$

где $\tau_{k_{i,i+1}}$ – интервал между соседними импульсами последовательности; $T_{II_{\max}}^{(r)}$ – априорная длительность (в общем случае – управляемая) r -той реализации входного воздействия.

Аналитическая модель (1), описывающая верхний уровень наблюдения, дополнительно определяется:

– структурой каждого из видов импульсного сигнала и выражением (например, (2)), его описывающим;

– количеством функционирующих объектов как источников сигнала;

– вероятностными и параметрическими характеристиками источников сигналов, составляющих внешнюю анализируемую среду;

– характеристиками и свойствами помех.

При этом предполагается, что в общем виде отношение сигнал – шум

$$q_{сш} = \frac{P_C}{\sigma_{ш}^2} > 1,$$

где $\sigma_{ш}^2$ – дисперсия (мощность) шумовой помехи $n(t)$ в канале, т.е.

$$\sigma_{ш}^2 = P_{ш} = N_0 \cdot \Delta F,$$

N_0 – спектральная плотность шума.

Методика получения измерительной информации в ИИС, доставляемой входным воздействием $\xi(t, \lambda, S)$, предполагает использование алгоритмов, минимизирующих информационные потери на каждом из этапов преобразования входного воздействия [1, 7, 8]. Одним из подходов является применение рациональных и оптимальных решений при выборе и обосновании функционального обеспечения преобразования входного воздействия $\xi(t, \lambda, S)$ с целью получения текущей измерительной информации при минимизации остаточной неопределенности.

Результаты и их обсуждение

Для решения поставленной задачи в соответствии с целью необходимо:

– построить системную модель для совокупности основных функций, определяющих реализацию целенаправленного процесса аналого-дискретного преобразования $\xi(t, \lambda, S)$;

– обосновать способ реализации этих функций, критерии (правила) их взаимодействия;

– определить методику оптимизации и (или) рациональных построений [1] локальных ЦНП [3];

– сформировать методические рекомендации и правила структурных построений подсистемы ИИС, входные воздействия которой с априори неизвестными характеристиками.

Аналого-дискретное преобразование входного воздействия $\xi(t, \lambda, S)$ в подсистеме ИИС (её приемном канале) обуславливается:

1) необходимостью согласования характеристик приемного канала с пространственными и частотно-временными свойствами внешней среды;

2) простотой реализации аналоговых процедур обнаружения (оператор E_H) и выделения информативных сигналов в реальном масштабе времени из смеси $\xi(t, \lambda, S)$;

3) алгоритмизацией в аналого-дискретном базисе (параллельно с обнаружением) преобразования сигналов [6, 12] в процессе получения информации о значениях их параметров;

4) простотой согласования ЦНП аналогового типа с процессами аналого-цифрового преобразования (АЦП) сигналов. Здесь АЦП – связующий элемент в части аппаратного и программного ресурсов ИИС, где реализуются процедуры дискретизации сигнала по времени и квантования по уровню. В этом случае необходимо учитывать, что из-за нелинейности таких преобразований возникают сложности [7, 9, 10] в непосредственном подключении АЦП ко входу приемного канала ИИС, что является важным фактором, обуславливающим реализацию ряда аналого-дискретных направленных действий,

предшествующих процедуре АЦП [10]. При этом предполагается, что ΔF приемного канала (подсистемы) ИИС много больше полосы ΔF_C принимаемого сигнала $S_{ir}(t-t_i, \lambda_r, a)$, что учитывается системной моделью, объединяющей совокупности основных функций временной и энергетической ветвей дерева ЦФ. В соответствии с этим системная модель как вложение локальных функциональных субмоделей, приведена на рис. 1 и интерпретирует этапы аналогового и аналого-дискретного [10] первичных преобразований входного воздействия $\xi(t, \lambda, S)$ с априори неизвестными характеристиками.

Здесь τ_z – длительность задержки сигнала S_i , τ_ϕ – длительность фронта импульса S_i ; $f_r(\tau_c)$ – команда, фиксирующая результат измерения амплитуды импульсов в r -ой реализации по импульсу спада τ_c ; S_n – нормированный импульс по уровню и амплитуде, $f_1(\cdot)$ и $f_2(\cdot)$ – дифференцируемая функция, $\hat{\tau}_H$, \hat{T}_H , \hat{T}_c , $\hat{\tau}_k$ – цифровое представление параметров; Δt_ϑ , ΔU_ϑ – образцовые (эталонные) измерительные величины; N_1, N_2, N_3, N_4 – числовые значения параметров; E_{3a} – оператор задержки аналогового воздействия; E_{ad} – аналого-дискретное преобразование сигналов $S(t_i, \lambda, a)$ [10]; E_{df} – дифференцирование функций входного воздействия и нормированных сигналов; E_{ca} – цифро-аналоговое преобразование; E_{ca} – анало-

го-цифровое преобразование; E_{as} – временная селекция (стробирование) сигналов $S(t_i, \lambda, a)$ из смеси $\xi(t, \lambda, S)$; E_{up} – нормирование импульсных сигналов по длительности и амплитуде на заданном уровне; $E_{цв}$, $E_{цр}$ – соответственно цифровое представление временных и энергетических параметров сигналов; $E_{\gamma в}$, $E_{\gamma э}$ – соответственно принятие решения о текущей оценке результата измерения временных и энергетических величин; E_a – аналоговое преобразование (усиление, ослабление, ограничение); E_H – обнаружение сигналов на фоне помех с априори неизвестными характеристиками; E_f – фильтрация или режекция сигналов и помех в заданной полосе ΔF_C .

При априори неизвестных параметрах $\{a_k\}$ и характеристиках $\vec{n}(t)$ в смеси $\xi(t, \lambda, S)$ исходный момент при построении системной модели – это совокупность априори предполагаемых пределов изменения параметров и характеристик, т.е.

$$D(a_k) = a_{k_{\max}} - a_{k_{\min}}, \quad k = \overline{1, m}$$

с равномерным законом $W(a_k)$ изменения величин внутри заданного диапазона $D(a_k)$.

Процедура обнаружения импульсных сигналов на фоне $\vec{n}(t)$ реализуется в полосе частот, согласованной с диапазоном $D(a_k)$. Во временном базисе это определяется условием:

$$\Delta F_{об} \geq \frac{1}{\tau_{И \min}} \approx f_{об \max},$$

где $\tau_{И \min}$ – минимальное значение длительности импульсов из диапазона

$D(\tau_{И})$, $\Delta F_{об}$ – полоса пропускания канала обнаружения сигналов.

Известно [6, 7], что ширина спектра $\Delta F_{ш}$ шумовой помехи

$$\Delta F_{ш} = \frac{\sigma_n^2}{N_0},$$

где N_0 – спектральная плотность шума ($\text{в}^2/\Gamma\text{ц}$); σ_n^2 – дисперсия шума (в^2).

Согласование приемного канала ИИС осуществляется путем оптимизации процедуры обнаружения в соответствии с критерием Неймана-Пирсона [4] при отслеживании и соблюдении условия

$$\Delta F_{ш}^* = \Delta F_{об}^*(\tau_{И \min}^{*(r)}) \approx \frac{1}{\tau_{И \min}^{*(r)}(T_j)}, \quad (4)$$

где $\Delta F_{ш}^*$ – регулируемая полоса пропускания канала,

$\tau_{И \min}^{*(r)}$ – минимальное значение длительности импульсных сигналов; $\xi(T_{\max}^{(r)}, \lambda, S)$ длительностью $T_{\max}^{(r)}$ в r -ой реализации, определяемого диапазоном $D(T_{И}) = T_{И \max} - T_{И \min}$, $T_{И}$ – период (интервал) следования импульсов, $T_{И} \in \{a_k\}$, $k = \overline{1, m}$.

В соответствии с выражением (4) реализуется квазиоптимальный алгоритм прогнозирования полосы канала обнаружения $\Delta F_{об}^{(j'')}$ и отслеживания процесса обнаружения сигналов в предположении, что $\vec{n}(T_{И \max}^{(r)})$ сохраняет свойства стационарного случайного процесса. При этом соблюдается условие:

$$D(\Delta F_{об}^{(jh)}) = \begin{cases} \frac{1}{\tau_{II}^{*(r)}} \approx f_{об\ max}^{(r+1)}; \\ \frac{1}{T_{II}^{*(r)}} \approx f_{об\ min}^{(r+1)}, \end{cases} \quad (5)$$

где $f_{об\ max}^{(r+1)}$, $f_{об\ min}^{(r+1)}$ – соответственно прогнозируемые максимальная и мини-

мальная частоты спектра $\Delta F_{об}$ для $r+1$ -й реализации входного воздействия.

Управление величиной $D(\Delta F_{об}^{(r+1)})$, таким образом, базируется на апостериорных данных, полученных на этапах 5 и 7 преобразования входного воздействия (рис. 1) посредством введения обратной связи $\beta(U_1)$, где U_1 – допустимое управление.

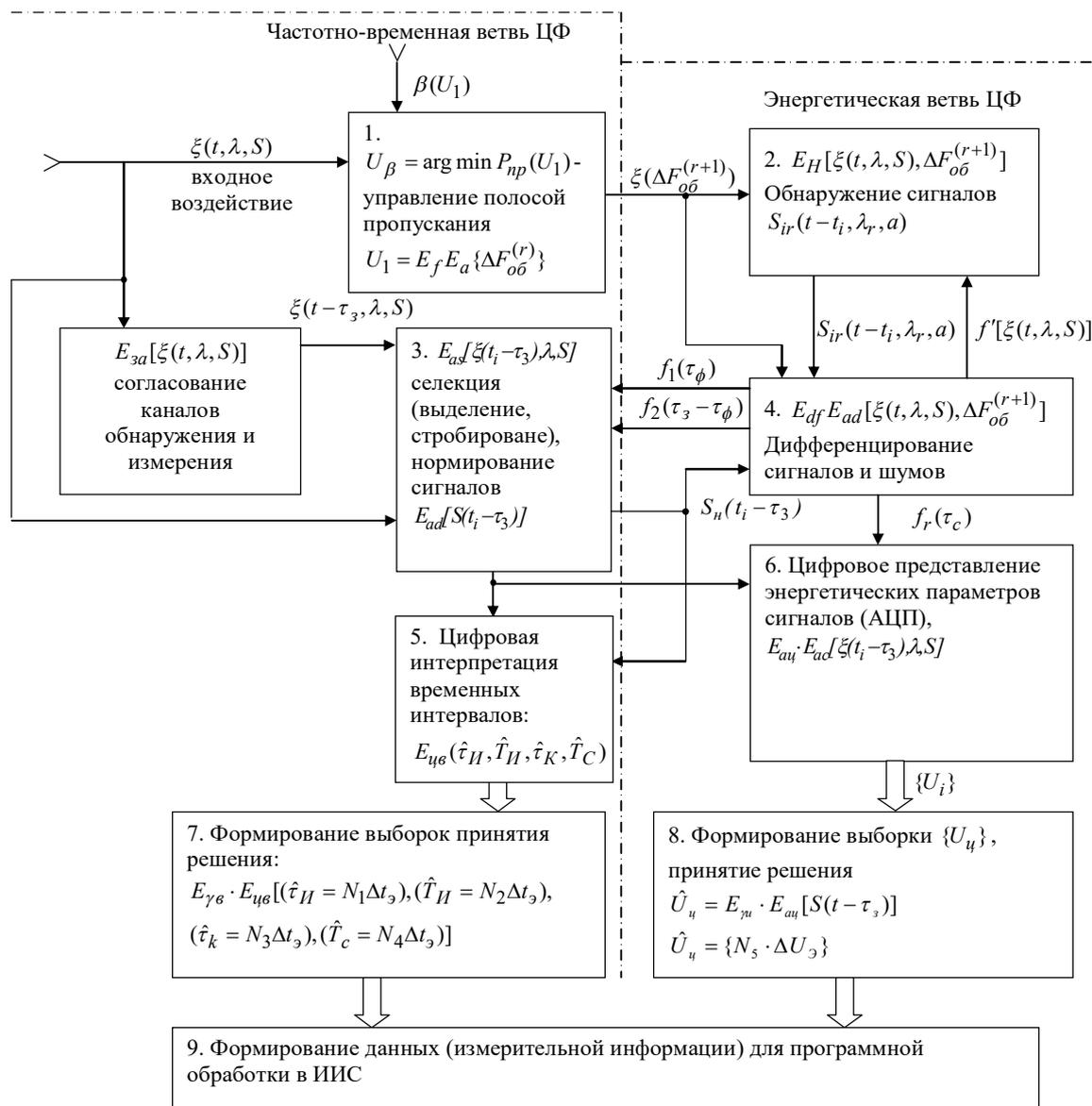


Рис. 1. Системная модель приемного канала (подсистемы) ИИС, структурное представление

Fig. 1. System model of receiving channel (subsystem) of AIS, structural representation

Формально критерий (правило) U_β

можно представить как

$$U_\beta = \operatorname{argmin} P_{np}(U_1), \quad (6)$$

где P_{np} – вероятность пропуска слабого сигнала [5].

В зависимости от свойств потока λ или λ_r алгоритм допустимого управления « U » может использовать и другие оценки \hat{a}_k , кроме крайних диапазонных значений (5), в предположении, что $\vec{n}(T_{I_{\max}}^{(r)})$ в r -той реализации здесь также – стационарный случайный процесс. В соответствии с этапами 2-5 системной модели (см. рис. 1) методическая алгоритмизация этих этапов предполагает:

– в пределах j -того сеанса работы ИИС по r -ой реализации $\xi_r(T_{I_{\max}}^*, \lambda_r, S)$ выполняются процедуры обнаружения импульсных сигналов в полосе $\Delta F_{об}^{*(r)}$, их нормирование и измерение текущих значений временных параметров (τ_I, T_I, τ_k) ;

– реализуются операции оценивания временных параметров $(\hat{\tau}_I, \hat{T}_I, \hat{\tau}_k)$ и по полученным оценкам (в цифровом виде) формируется управляющее воздействие $U_\beta^{(r)}$ посредством направленных воздействий (операторов) $E_{as}, E_{ad}, E_{\psi\theta}$;

– формируется управляющее воздействие $U_\beta^{(r)}$ для перестройки прогнозируемой полосы $\Delta F_{об}^{*(r+1)}$.

Согласно выражениям (4), (5) локальная модель вложения в структурном описании, отображающая адаптивное управление $U_\beta^{(r)} \Rightarrow \Delta F_{об}^{*(r+1)}$ полосой пропускания канала обнаружения в подсистеме ИИС, может быть представлена, как показано на рис. 2.

Таким образом, на этапах 1 и 2 (см. рис. 1) адаптивное управление полосой $\Delta F_{об}^{*(r)}$ минимизирует вероятность пропуска P_{np} слабого сигнала [3, 5].

Повышение $q_{сш}$ в измерительном канале подсистемы ИИС возможно также за счет адаптивного управления временной селекцией импульсных сигналов из смеси $\xi_r(T_{\max}, \lambda_r, S)$ на этапе 3 (см. рис. 1), используя выходные импульсы канала обнаружения (рис. 2, $S_i^{(r)}(t_i, a_k)$). Здесь полоса пропускания $\Delta F_{уз}$ измерительного канала выбирается из условия $\Delta F_{уз} \geq \frac{1}{\tau_{\phi \min}}$,

где $\tau_{\phi \min}$ – минимальная длительность фронта анализируемых импульсов. Повышение $q_{сш}$ основано на том, что дисперсия шума в реализации длительностью τ_I пропорционально меньше дисперсии шума в реализации длительностью $T_{I \max}$, $T_{I \max} \geq \tau_{I \max}$. Это реализуется временной селекцией сигналов в измерительном канале за счет его стробирования командами канала обнаружения (точка «А», рис 2, этап 3, рис. 1). Оптимизация этого процесса осуществляется с использованием критерия минимизации длительности стро-

ба, выделяющего анализируемый i -тый импульс из смеси $\xi_r^{(j)}(T_{I_{\max}}, \lambda_r, S)$. При этом q_{cui} в измерительном канале повышается пропорционально соотношению [11, 12, 13]:

$$K_{cui} = \frac{T_{I_{\max}}^{(r)}}{\tau_{cpr_i}},$$

где τ_{cpr_i} – длительность i -го стробирующего импульса, такая, что

$$\tau_{cpr_i} = \tau_{I_i}^{(r)} + \tau_3(E_H). \quad (7)$$

Здесь $\tau_3(E_H)$ – задержка входного воздействия смеси $\xi_r(T_{I_{\max}}, \lambda_r, S)$ на входе измерительного канала подсистемы ИИС, определяемая длительностью операции обнаружения сигнала и формирования вспомогательных (сервисных) процедур для этапов 3 и 5 (см. рис. 1).

Преимущества введения обратной связи «канал обнаружение – канал измерения»:

- снижаются в среднем погрешности аналого-дискретного преобразования импульсных сигналов за счет уменьшения «дребезга» фронтов при их нормировании;

- повышается точность измерения длительности импульсных сигналов на заданном уровне за счет упреждения формирования выборки хранения;

- снижается методическая погрешность оцифровки временных интервалов за счет использования синхронизации генератора эталонных импульсов с периодом $\Delta t_{\mathcal{E}}$ (рис. 1 этапы 5, 7) с фронтом оцифруемого временного интервала;

- упрощаются требования [7] к АЦП при цифровом представлении энергетических параметров сигналов (операторы $E_{цэ}$, $E_{гэ}$, рис. 1., этапы 6, 8).

Локальная модель вложения, отображающая и детализирующая этап 3 системной модели, приведена на рис. 3. Для управления процессом селекции сигналов с априори неизвестными параметрами используется оператор формирования стробов $E_{ас}$ по командам канала обнаружения подсистемы ИИС в соответствии с выражением (7).

При использовании критерия Неймана-Пирсона согласованный линейный фильтр, задачей которого является передача (усиление) сигнала, может быть согласован по полосе после апостериорного обнаружения сигнала и в предположении, что $\xi(t, \lambda, a)$ в течение интервала наблюдения $T_{наб}$ является смесью нормального шума $n(t)$ и импульсной последовательности $S(T, \lambda, \alpha)$. При этом вероятность пропуска сигнала [12]

$$P_{np} = \frac{1}{2} \left[1 + \Phi \left(\frac{Y_{nop} - a}{\sqrt{2\sigma_{ш}}} \right) \right]. \quad (8)$$

Здесь выражение для управления полосой ΔF

$$U_{\beta} = \arg \min P_{np}(\Delta F) \quad (9)$$

может быть в качестве примера решено в графическом (рис. 4) [6, 12] и аналитическом виде. Здесь [12]

$$P_{лт} = \frac{1}{2} \left[1 - \Phi \left(\frac{Y_{nop}}{\sqrt{2}} \right) \right], \quad (10)$$

где Φ – табулированная функция.

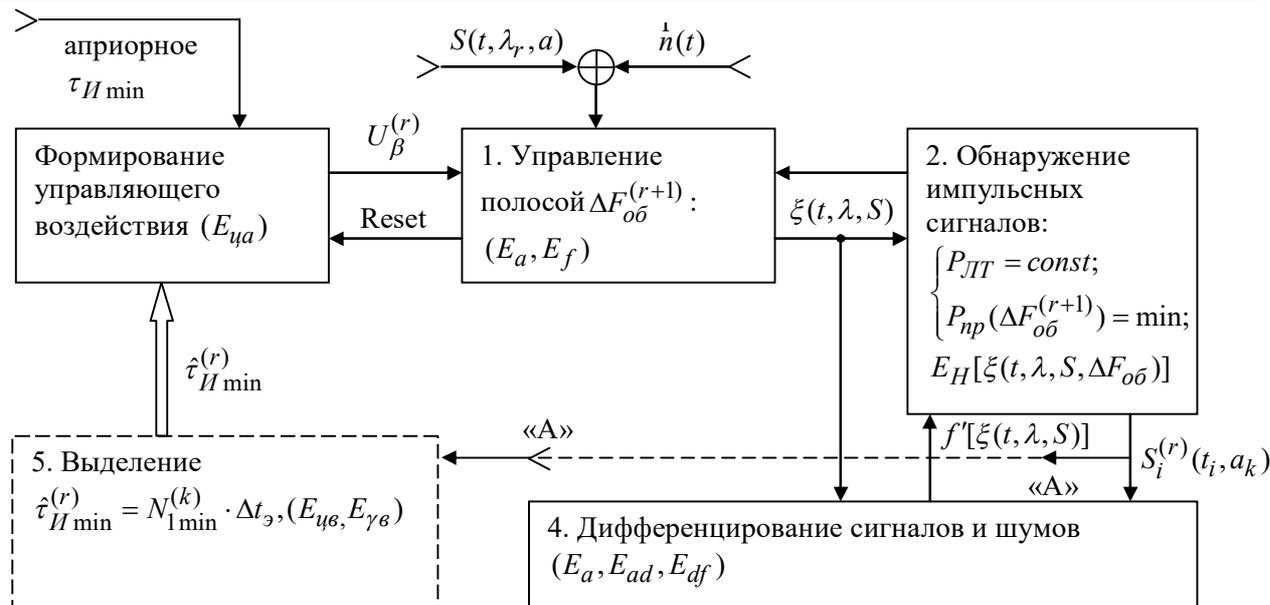


Рис. 2. Локальная модель адаптивного управления полосой пропускания канала обнаружения импульсных сигналов

Fig. 2. Local model of adaptive bandwidth control of pulse signal detection channel



Рис. 3. Локальная модель селекции импульсных сигналов во временном базисе

Fig. 3. A local model of the pulse signals selection in a temporary basis

Если воспользоваться графиком (рис. 4) как $P_{ЛТ}, P_{пр} = F(U_{пор}/\sigma_{ш})$, то минимизация $P_{пр}$ для интервала $T_{наб}$ определяется реальным соотношением q . Энергия i -го импульса $E_{C_i} = U_i^2 \cdot \tau_{И}$, а энергия шума в пределах полосы филь-

тра $E_{ш} = N_0 \cdot \Delta F$. Поскольку график (см. рис. 4) удобнее строить в масштабе напряжений (порог здесь $U_{пор}$ – напряжение), то воспользуемся соотношением $q_\phi = \frac{U_{с\ вых}}{\sigma_{ш}(\Delta F)}$.

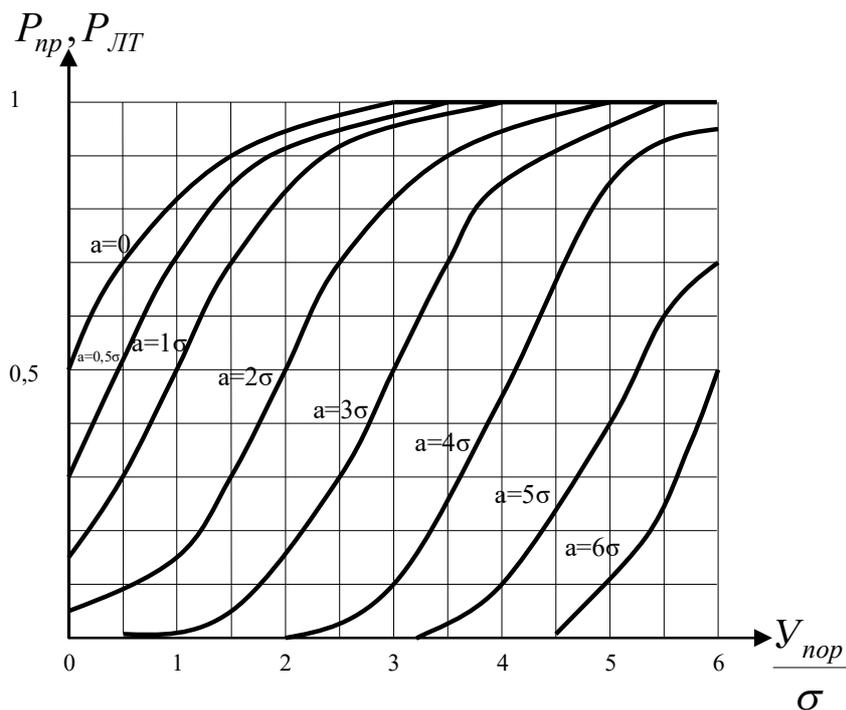


Рис. 4. Графическая зависимость вероятности ложной тревоги и пропуска цели от соотношения Y_{nop}/σ

Fig. 4. Graphical dependence of the probability of false alarm and missed target on the ratio Y_{nop}/σ

Тогда из рассмотренного графика очевидно, что минимизация P_{np} (т.е. вероятность пропуска сигнала) пропорционально связана с повышением q_{ϕ} в пределах ΔF_i фильтра, полученного путем управления параметрами линейного фильтра по апостериорным данным текущего результата измерения точечных значений параметров импульсов.

Выводы

Таким образом, использование предложенных методических приемов аналого-дискретного преобразования входного воздействия $\xi(t, \lambda, S)$ позволило улучшить характеристики ИИС в целом, такие как:

- снижение вероятности пропуска слабых сигналов с априори неизвестными характеристиками;

- повышение помехоустойчивости ИИС в части уменьшения влияния импульсных и шумовых помех за счет адаптивного управления полосой пропускания канала обнаружения сигналов и их селекции из смеси сигналов и шумов;

- повышение точности измерения временных параметров импульсных сигналов за счет синхронизации фронтов нормированных импульсов с работой генератора эталонных импульсов дискретизации по времени, а также за счет улучшения соотношения сигнал-шум при адаптивном управлении длительностью стробов селектирующей последовательности.

Преимущество предложенного метода заключается в том, что построенная системная и локальная модели целенаправленных процессов функциони-

рования подсистемы приемного канала информационно-измерительной системы позволили обосновать возможность оптимизации процессов взаимодействия компонентов аналого-дискретного преобразования входного воздей-

ствия при априорной неопределенности относительно формы сигнала, а также пределов изменения его параметров и характеристик. В известных аналогах часть параметров входного воздействия известна заранее.

Список литературы

1. Балашов Е.П., Пузанков Д.В. Проектирование информационно-управляющих систем. М.: Радио и связь, 1987. 256 с.
2. Бурмака А.А., Говорухина Т.Н. Информационно-логическая измерительная система с нечетким множеством состояний // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2012. № 2-3. С. 134-138.
3. Петухов Г.Б. Основы теории эффективности целенаправленных процессов. Часть 1: Методология, методы, модели. М.: Воениздат, 1989. 660 с.
4. Бурмака А.А., Цыплаков Ю.В., Говорухина Т.Н. Обнаружение видеосигналов на фоне адаптивной шумовой помехи при априорной неопределенности характеристик входного воздействия // Радиотехника. 2017. №2. С. 47-52.
5. Радзиевский В.Г., Сирота А.А. Особенности синтеза алгоритмов обработки информации при анализе состояний сложных радиоэлектронных объектов противодействия. Информационный конфликт в спектре магнитных волн // Приложение к журналу "Радиотехника". 1994. С. 4-13.
6. Левин Б.Р. Статистическая радиотехника. Т.1. М.: Сов. радио, 1969. 752 с.
7. Брюханов Ю.А., Лукашевич Ю.А. Влияние аналого-цифрового преобразования сигналов на нелинейные явления в радиоприемных устройствах // Радиотехника. 2017. №2. С. 31-35.
8. Модели подсистем и целенаправленных процессов, реализуемых в информационно-логических измерительных системах распределенного типа / А.А. Бурмака, Н.А. Кореневский, Т.Н. Говорухина, О.А. Терехова // Телекоммуникации. 2013. № 8. С. 8-12.
9. Рябкова Е.Б., Говорухина Т.Н., Кореневский Н.А. Алгоритмы коррекции многомерной линейной разделяющей поверхности // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2011. Т. 7. № 7. С. 194-199.
10. Цикин А.И. Дискретно-аналоговая обработка сигналов. М.: Радио и связь, 1982. 160 с.
11. Фомин Я.А. Теория выбросов случайных процессов. М.: Связь, 1980. 216 с.
12. Шестов Н.С. Выделение оптических сигналов на фоне случайных помех. М.: Сов. Радио, 1967. 347 с.

13. Говорухина Т.Н., Корневский Н.А., Терехова О.А. Подход к оцениванию информативности признаков коммутируемых сигналов в многоканальной информационно-логической системе // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2013. № 6 (108). С. 24-27.

References

1. Balashov E.P., Puzankov D.V. *Proektirovanie informacionno-upravlyayushchih sistem* [Design of information-managemental systems]. Moscow, Radio i svyaz' Publ., 1987, 256 p. (In Russ).

2. Burmaka A.A., Govorukhina T.N. Informacionno-logicheskaya izmeritel'naya sistema s nechetkim mnozhestvom sostoyanij [Information-logical measuring system with an unspecified set of states]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie = Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computing engineering, Information science. Medical instruments engineering*, 2012, no. 2-3, pp. 134-138. (In Russ).

3. Petuhov G.B. *Osnovy teorii effektivnosti celenapravlennyh processov. CHast' 1: Metodologiya, metody, modeli* [The basics of the targeted processes' effectiveness theory. Part 1: Methodology, methods, models]. Moscow, Voenizdat Publ., 1989, 660 p. (In Russ).

4. Burmaka A.A., Cyplakov Yu.V., Govoruhina T.N. Obnaruzhenie videosignalov na fone adaptivnoj shumovoj pomekhi pri apriornoj neopredelennosti harakteristik vhodnogo vozdeystviya [Detection of video signals against adaptive noise interference with a fore-known uncertainty of input impact characteristics]. *Radiotekhnika = Radioengineering*, 2017, no.2, pp. 47-52 (In Russ).

5. Radzievskij V.G., Sirota A.A. Osobennosti sinteza algoritmov obrabotki informacii pri analize sostoyanij slozhnyh radioelektronnyh ob"ektov protivodejstviya. Informacionnyj konflikt v spektre magnitnyh voln. [Information processing algorithms' synthesis features under the analysis of complex radioelectronic counteraction objects' state. Informational conflict in the spectrum of magnetic waves]. *Prilozhenie k zhurnalu "Radiotekhnika" = Supplement to the magazine "Radiotechnics"*, 1994, pp. 4-13 (In Russ).

6. Levin B.R. *Statisticheskaya radiotekhnika* [Statistical radio technology]. Vol.1. Moscow, Sov. radio Publ., 1969, 752 p. (In Russ).

7. Bryuhanov Yu.A., Lukashevich Yu.A. Vliyanie analogo-cifrovogo preobrazovaniya signalov na nelinejnye yavleniya v radiopriemnyh ustrojstvah [The influence of analog-to-digital signal conversion on nonlinear appearances in radio receivers]. *Radiotekhnika = Radioengineering*, 2017, no.2, pp. 31-35 (In Russ).

8. Burmaka A.A., Korenevskij N.A., Govoruhina T.N., Terekhova O.A. Modeli podsystem i celenapravlennyh processov, realizuemyh v informacionno-logicheskikh izmeritel'nyh sistemah raspredelennogo tipa [Subsystems' models and targeted processes implemented in the infor-

9. Ryabkova E.B., Govoruhina T.N., Korenevskij N.A. Algoritmy korrekcii mnogomernoj linejnoy razdelyayushchej poverhnosti [Correction algorithms for multidimensional linear dividing surface]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta = Voronezh Technical State University*, 2011, vol. 7, no. 7, pp. 194-199. (In Russ).

10. Cikin A.I. *Diskretno-analogovaya obrabotka signalov* [Discrete-to-analog signal processing]. Moscow, Radio i svyaz' Publ., 1982, p. 160. (In Russ).

11. Fomin YA.A. *Teoriya vybrosov sluchajnyh processov* [Random processes' emission theory]. Moscow, Svyaz' Publ., 1980, 216 p. (In Russ).

12. Shestov N.S. *Vydelenie opticheskikh signalov na fone sluchajnyh pomekh* [Isolation of optical signals against random noise]. Moscow, Sov. Radio Publ., 1967. 347 p. (In Russ).

13. Govoruhina T.N., Korenevskij N.A., Terekhova O.A. Podhod k ocenivaniyu informativnosti priznakov kommutiruemykh signalov v mnogokanal'noj informacionno-logicheskoy sisteme [The approach to evaluating the informational content of the switched signals' features in a multichannel information-logical system]. *Vestnik komp'yuternyh i informacionnykh tekhnologij = Computer and information technology herald*, 2013, no. 6 (108), pp. 24-27. (In Russ).

Информация об авторах / Information about the Authors

Бурмака Александр Александрович,
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Юго-Западный
государственный университет»,
г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

Alexander A. Burmaka,
Dr. of Sci. (Engineering), Professor,
Southwest State University,
Kursk, Russian Federation,
e-mail: kstu-bmi @ yandex. ru

Говорухина Татьяна Николаевна,
кандидат технических наук, доцент,
ФГБОУ ВО «Юго-Западный
государственный университет»,
г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: govtn@mail.ru

Tatyana N. Govorukhina, Cand. of Sci.
(Engineering), Associate Professor,
Southwest State University,
Kursk, Russian Federation,
e-mail: govtn@mail.ru

Горайнов Роман Юрьевич, аспирант,
ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный
университет», г. Курск, Российская Федерация,
e-mail: kstu-bmi@yandex.ru

Roman Y. Goryainov, Post-Graduate Student,
Southwest State University,
Kursk, Russian Federation,
e-mail: kstu-bmi@yandex.ru