

УДК 621.391.7; 519.876.5

DOI: 10.18413/2518-1092-2019-4-4-0-7

Жихарев А.Г.¹
Маторин С.И.²
Белов А.С.³

СИСТЕМНО-ОБЪЕКТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ ФОРМИРОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННОГО КАНАЛЬНОГО СИГНАЛА

¹⁾ Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова, ул. Костюкова, д. 46, г. Белгород, 308012, Россия

²⁾ ЗАО «СофтКоннект», ул. Студенческая, д. 19, корпус 1, г. Белгород, 308018, Россия

³⁾ Белгородский государственный национальный исследовательский университет, ул. Победы, д. 85, г. Белгород, 308015, Россия

e-mail: matorin@softconnect.ru, Belov_AS@bsu.edu.ru

Аннотация

В работе рассматривается задача разработки системно-объектной имитационной модели технологических операций, реализуемых при формировании комбинированного канального сигнала с требуемыми характеристиками. Для разработки модели используется метод системно-объектного имитационного моделирования, реализуемый в программном комплексе UFOModeler. В соответствии с исчислением систем как функциональных объектов, рассматривается проектирование структурных компонент системно-объектной модели технологических операций. Здесь формулируются наборы потоковых и узловых объектов модели. Далее разрабатываются алгоритмы функционирования каждой выделенной технологической операции. Разработанная системно-объектная модель реализуется с применением программного инструментария имитационного моделирования процессов и систем UFOModeler. Полученная модель позволяет имитировать процесс линейно-частотной модуляции сигнала в реальном режиме времени. Причем в системно-объектной модели реализован механизм модуляции комбинированного сигнала за счет использования частотно-временной матрицы, конфигурация которой, в свою очередь, зависит от заданных уровней структурной и энергетической скрытности.

Ключевые слова: комбинированный канальный сигнал; системно-объектная модель; уровень структурной скрытности; линейно-частотная модуляция; частотно-временная матрица; система связи.

UDC 621.391.7; 519.876.5

Zhikharev A.G.¹
Matorin S.I.²
Belov A.S.³

SYSTEM-OBJECT SIMULATION MODELING OF TECHNOLOGICAL OPERATIONS FORMING A COMBINED CHANNEL SIGNAL

¹⁾ Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov, 46 Kostyukova St., Belgorod, 308012, Russia

²⁾ CJSC «SoftConnect», 19 cor.1 Student St., Belgorod, 308023, Russia

³⁾ Belgorod State National Research University, 85 Pobedy St., Belgorod, 308015, Russia

e-mail: matorin@softconnect.ru, Belov_AS@bsu.edu.ru

Annotation

The paper considers the task of developing a system-object simulation model of technological operations implemented during the formation of a combined channel signal with the required characteristics. To develop the model, the method of system-object simulation is used, implemented in the UFOModeler software package. In accordance with the calculus of systems as functional objects, the design of structural components of a system-object model of technological operations is considered. Here sets of stream and nodal objects of the model are formulated. Further, algorithms for the functioning of each distinguished technological operation are developed. The developed system-object model is implemented using software tools for simulation of processes and UFOModeler systems. The resulting model allows you to simulate the process of linear-frequency modulation of the signal in real time. Moreover, the system-object model implements the modulation mechanism of the combined signal through the use of a time-

frequency matrix, the configuration of which, in turn, depends on the given levels of structural and energy secrecy.

Keywords: combined channel signal; system-object model; level of structural secrecy; linear-frequency modulation; time-frequency matrix; communication system.

АКТУАЛЬНОСТЬ

Современный этап развития общества характеризуется непрерывным увеличением удаленного взаимодействия между абонентами и запросов пользователей о предоставлении различного вида мультисервисных услуг с требуемым качеством независимо от места их нахождения, который в настоящее время в основном реализуется на основе беспроводных информационных коммуникаций, одним из видов которых являются спутниковые информационные коммуникации (СИК). Значимость этих систем для передачи информации существенно возросла после принятия соответствующих решений Правительством РФ по освоению территорий Арктических широт. Однако интенсивное увеличение количества указанных систем, одновременно осуществляющих передачу информации по каналам с ограниченными частотно-временными ресурсами, приводит к возникновению интерференционных помех т.к. в них реализуется принцип частотного и временного разделения адресов. Кроме этого, существенному снижению качества информационного обмена в спутниковых информационных коммуникациях способствуют различного вида источники мешающих воздействий в виде естественных помех и доплеровского рассогласования по частоте. В настоящее время проблема повышения помехоустойчивости современных спутниковых информационных коммуникаций интенсивно исследуется [1, с.3]. Кроме того, актуальной остается задача формирования комбинированных канальных сигналов, которые при передаче по каналу спутниковой связи, при нахождении спутника-ретранслятора на высокоэллиптической орбите обеспечивает заданные уровни структурной и энергетической скрытности.

Для решения подобного рода задач авторами предложен метод системно-объектного имитационного моделирования процессов и систем, который ранее был опробован в области решения задач, связанный с разработкой симулятора процессов модуляции сигнала [2, с. 5].

ПРОБЛЕМА

Как было сказано выше, актуальной остается задача создания новых сложных комбинированных сигнально-кодовых конструкций с целью информационной коммуникации с заданными уровнями структурной и энергетической скрытности. Для создания таких решений, как правило, используются специальные системы инженерных расчетов. Однако подобные программные платформы не позволяют отследить процесс функционирования модели в реальном режиме времени, более того, не решается задача системного анализа таких процессов.

Содержательная проблема рассматриваемой предметной области заключается в следующем: сигнально-кодовые конструкции, используемые для передачи сигнала от источника сообщения до его получателя должны обеспечивать заданные уровни энергетической и структурной скрытности, сохраняя при этом свойства инвариантности к доплеровскому рассогласованию по частоте. В соответствии с [3, с. 8], помехозащищенность системы передачи информации определяется ее скрытностью и помехоустойчивостью. В свою очередь, скрытность системы можно разбить на три показателя: энергетическая скрытность характеризуется способностью системы противостоять мерам, направленным на обнаружение сигнала разведывательными приемными устройствами; структурная скрытность характеризуется способностью противостоять мерам радиотехнической разведки, направленным на раскрытие сигнала; информационная скрытность определяется способностью системы противостоять мерам, направленным на раскрытие семантических аспектов передаваемой информации. Таким образом, скрытность системы можно представить в виде:

$$p_p = p_{\text{обн}} * p_{\text{стр}} * p_{\text{инф}}, \quad (1)$$

где: p_p – вероятность разведки сигнала; $p_{обн}$ – вероятность обнаружения сигнала; $p_{стр}$ – вероятность раскрытия параметров сигнала; $p_{инф}$ – вероятность раскрытия смысла передаваемого сообщения [3, с. 10]. В работе мы рассматриваем энергетическую и структурную скрытность сигнала, поэтому примем за условие, что $p_{инф}=1$. Таким образом, обозначив требуемые уровни энергетической и информационной скрытности как: $p'_{обн}$ и $p'_{стр}$, а показатели моделируемой системы передачи информации как $p_{обн}$ и $p_{стр}$, соответственно, формально проблему можно записать в следующем виде:

$$p_{обн} \leq p'_{обн}; p_{стр} \leq p'_{стр} \quad (2)$$

МЕТОДЫ

Для моделирования сигнально-кодовых конструкций авторы применяют метод системно-объектного имитационного моделирования процессов и систем [4]. Системно-объектная модель в терминах исчисления систем как функциональных объектов [5] представляет собой следующее выражение:

$$M = L, S, \quad (3)$$

где: M – модель системы; L – множество потоковых объектов модели, элементы которого имеют вид объекта, которые не имеет методов и имеет лишь поля (4):

$$l = [r_1, r_2, \dots, r_k], \quad (4)$$

где:

- $l \in L$;
- k – количество полей потокового объекта l ;
- r_1, r_2, \dots, r_k – поля потокового объекта, представляющие собой пару «идентификатор-значение».

S – множество узловых объектов модели, элементы которого описываются следующей формой (5):

$$s = [U, f, O], \quad (5)$$

где:

- U – представляет собою множество полей для описания интерфейсных потоковых объектов узлового объекта s .
- f – представляет собою метод узлового объекта s , описывающий функцию преобразования входящих интерфейсных потоковых объектов (входящих связей системы) $L_?$ в выходящие – L_l .
- O – представляет собою множество полей для описания объектных характеристик узлового объекта (системы) s .

Причем, узловые объекты модели M представляют собой ключевые элементы модели, а множество потоковых объектов – определяет отношения между узловыми объектами модели. Представление узлового объекта запишем в более подробном виде (6):

$$s = [(L_?, L_l); f(L_?)L_l; (O_?, O_l, O_f)], \quad (6)$$

где:

- $(L_?, L_l) = U$ – интерфейс системы;
- $f(L_?)L_l = f$ – функция системы;
- $(O_?, O_l, O_f)$ – объект системы, а именно, объектные характеристики, которые непосредственно влияют на поведение системы за счет ее функционирования.

Если структурные и объектные характеристики системы представляю собой «параметры» системы, то функция представляет собой зависимость выхода от входа. В соответствии с исчислением систем как функциональных объектов [5], если набор входных потоковых объектов системы $L_? = [l_{?1}, l_{?2}, \dots, l_{?n}]$, а набор исходящих потоковых объектов $L_l = [l_{l1}, l_{l2}, \dots, l_{lm}]$, тогда функция узлового объекта может быть записана следующим выражением:

$$f L_?, t L_? = \begin{matrix} l_{11} \cdot r^*: l_{11} \cdot r^* = \varphi_1 L_? ; \text{delay} = t_1; \\ l_{12} \cdot r^*: l_{12} \cdot r^* = \varphi_2 L_? ; \text{delay} = t_2; \\ \dots \\ l_{1m} \cdot r^*: l_{1m} \cdot r^* = \varphi_m L_? ; \text{delay} = t_m; \end{matrix} \quad (7)$$

где, оператор *delay* – моделирует временную задержку на преобразование входа в выход продолжительностью t_m , а функция φ_m представляет собой формальную зависимость поля выходного потокового объекта $l_{1j} \cdot r^*$ от набора входных значений $L_?$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Рассмотрим подробнее системно-объектную модель технологических операций, реализуемых при формировании комбинированного канального сигнала с требуемыми характеристиками, в общем виде модель представим выражением (8):

$$M_{\text{сигн}}=(L,S) \quad (8)$$

В соответствии с методикой построения системно-объектной модели, рассмотрим подробнее компоненты модели, представленной выражением (8). Выделим в множестве потоковых объектов модели следующие элементы:

- $P_{\text{ош}}(t)=[p_{\text{ош}}]$ – потоковый объект представляет собой вероятность ошибки в канале связи и содержит одно поле, где хранится значение вероятности;
- $S(t)=[s]$ – потоковый объект представляет собой сообщение, которое необходимо передать по каналу связи, имеет одно поле для хранения текущего передаваемого разряда;
- $S'(t)=[s']$ – потоковый объект представляет собой сообщение, полученное на стороне адресата, содержит одно поле для хранения текущего декодированного разряда сообщения;
- $U(t)=[u]$ – потоковый объект представляет собой модулированный сигнал, передаваемый по каналу связи, содержит одно поле для хранения мгновенной энергии сигнала;
- $Y(t)=[y]$ – потоковый объект представляющий сигнал на входе в демодулятор, содержит одно поле для хранения мгновенной энергии сигнала;
- $\Pi(t)=[\pi]$ – потоковый объект представляющий помехи, воздействующие на сигнал в канале связи, имеет одно поле для хранения значения мгновенной энергии помехи;
- $\text{ПСП}=[r_1, r_2, \dots, r_m]$ – потоковый объект – представляет собою псевдослучайную двоичную последовательность, поле потокового объекта $\text{ПСП}.r_n$ – разряд двоичной последовательности, n – размерность последовательности;
- $\text{ЧВМ}=[k_1, k_2, \dots, k_m]$ – потоковый объект представляет собой частотно-временную матрицу. Состоит из m полей, где m – размер линейно-частотной матрицы. Линейно-частотная матрица размера $m \times m$ может содержать значения ноль или единицу, причем в одном столбце матрицы может содержаться лишь одна единица, поэтому такую матрицу удобно кодировать в виде массива, элементы которого представляют собой номер строки где указана единица, пример линейно-частотной матрицы и, соответствующего ей потокового объекта представлены ниже:

$$A_{\text{ЧВМ}} = \begin{matrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{matrix}; \text{ЧВМ}=[1,3,2] \quad (9)$$

- Размер $\text{ЧВМ} = [svm]$ – потоковый объект предназначенный для хранения размера частотно-временной матрицы, для матрицы представленной в выражении (9) значение будет равно трем, соответственно.

Таким образом, множество потоковых объектов модели примет следующий вид:

$$L=\{ P_{\text{ош}}(t), S(t), S'(t), U(t), Y(t), \Pi(t), \text{ПСП}, \text{ЧВМ}, \text{Размер ЧВМ} \} \quad (10)$$

Далее рассмотрим множество узловых объектов модели. Для решения поставленных задач были выделены следующие узловые объекты:

1. Источник сообщения;
2. Оценка уровня помеховой обстановки;
3. Генератор частотно-временной матрицы;

4. Генератор псевдо-случайной последовательности;
5. Формирование комбинированного канального сигнала;
6. Канал связи;
7. Генератор помех;
8. Демодулятор;
9. Декодер канала;
10. Декодер источника;
11. Получатель сообщения.

Фактически перечень узловых объектов представляет собой модули системы передачи информации, а также технологические операции, необходимые для формирования комбинированного канального сигнала. Причем, модулятор кодер канала и отправителя отдельно не выделяем, так как все данные манипуляции учтены в узловом объекте номер 4. Рассмотрим подробнее структурные характеристики узловых объектов.

Источник сообщения далее для краткости будем обозначать ИС, имеет следующие вид:

$$\text{ИС} = [\{\emptyset, S(t)\}; \{f(\emptyset)S(t)\}; \{\emptyset\}], \quad (11)$$

Из выражения (11) видно, что в системно-объектной модели источник сообщения представлен в виде генератора передаваемого сообщения. Данный узловой объект не имеет входных связей, а в качестве выхода выступает потоковый объект $S(t)$.

Оценка уровня помеховой обстановки (ОУПО) – узловой объект, моделирующий технологическую операцию по оценке уровня помеховой обстановки. Формально данный узловой объект имеет следующий вид:

$$\text{ОУПО} = [\{S'(t), \Pi(t); P_{\text{ош}}(t)\}; \{f(S'(t), \Pi(t)) P_{\text{ош}}(t)\}; \{\emptyset\}] \quad (12)$$

Результатом реализации данной технологической операции является значение вероятности ошибки в канале передачи информации, поэтому в качестве входных параметров выступают оценка помехи канала передачи информации и декодированной сообщение – для оценки вероятности приема бита информации с ошибкой.

Генератор псевдо-случайной последовательности (ГПСП) – узловой объект, моделирующий технологическую операцию по формированию ПСП с различными структурными свойствами. Рассмотрим формальный вид данного узлового объекта:

$$\text{ГПСП} = [\{P_{\text{ош}}(t); \text{ПСП}\}; \{f(P_{\text{ош}}(t))\text{ПСП}\}; \{\emptyset; \emptyset; K_{\text{сс}}, n\}] \quad (13)$$

Результатом работы данной технологической операции является сгенерированная псевдослучайная последовательность с заданными структурными характеристиками, причем в качестве меры используется коэффициент структурной сложности $K_{\text{сс}}$, который выступает в качестве интегрального показателя, характеризующего внутренние зависимости между отдельными битами генерируемой псевдо-случайной последовательности. Также в качестве объектной характеристики имеется возможность регулировать размер регистра, используемого для генерации псевдо-случайной последовательности. Рассмотрим подробнее метод узлового объекта для частного случая (генератор с линейным обратным сдвигом). Алгоритм реализации данного метода представлен на рисунке 1. Для рассматриваемого случая алгоритм выполняется в реальном режиме времени, генерируя бит за битом. Сперва инициализируются счетчики, необходимые для работы, а также создается регистр в виде массива S , для которого устанавливается длина, заданная в соответствующей объектной характеристике. После чего массив инициализируется случайным образом. Далее организован бесконечный цикл – для генерации бит псевдослучайной-последовательности в режиме реального времени. Во вспомогательную переменную заносится результат операции «исключающее или» третьего, шестого и первого разрядов регистра (здесь имеется возможность регулировать правило формирования нового бита информации для получения требуемых структурных характеристик псевдо-случайной последовательности). После расчета нового бита последний разряд присваивается выходящему потоковому объекту и происходит сдвиг регистра на одну позицию вперед, при этом первому элементу регистра присваивается результат операции «исключающее

или», рассчитанный ранее. После этого вызывается функция, проверяющая генерируемую псевдо-случайную последовательность на соответствие заданному коэффициенту структурной сложности.

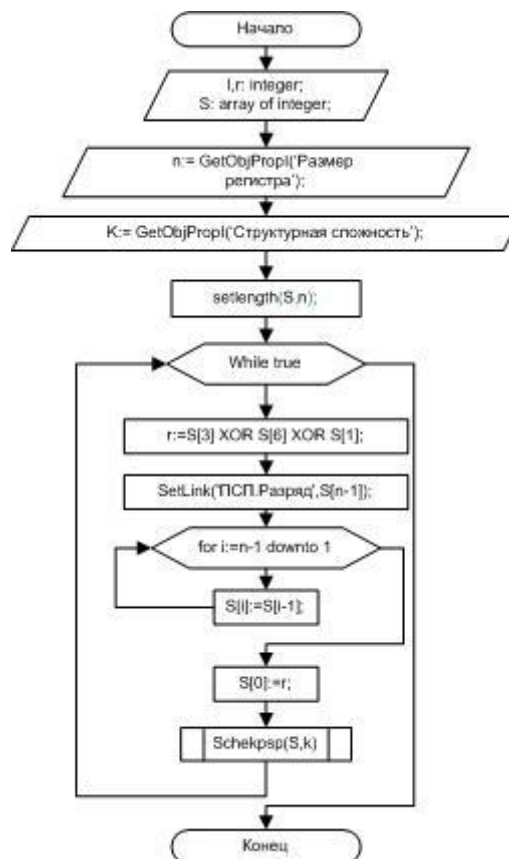


Рис. 1. Алгоритм реализации метода узлового объекта ГПСП
Fig. 1. Algorithm for implementing the nodal object method

Далее рассмотрим ключевой узловой объект модели, который, собственно, и формирует сигнал – ФККС. Формальный вид данного узлового объекта представлен ниже:

$$\text{ФККС} = [\{ \text{ПСП, ЧВМ, } P_{\text{ош}}(t), \text{ Размер ЧВМ, } S(t); u(t) \}; \{ f(\text{ПСП, ЧВМ, } P_{\text{ош}}(t), \text{ Размер ЧВМ, } S(t)) u(t) \}; \{ \emptyset; \emptyset; N, F_{\text{max}}, F_{\text{min}}, T_s, dt \}] \quad (14)$$

Структурную часть узлового объекта составляют входные потоковые объекты: псевдо-случайная последовательность – используется для кодирования нуля и единицы исходного передаваемого сообщения, частотно-временная матрица – используется для повышения структурной скрытности сигнала, вероятность ошибки, размер частотно-временной матрицы, передаваемое сообщение. Результатом работы данной технологической операции является мгновенная энергия сформированного канального сигнала. Объектные характеристики данного узлового объекта отражают основные параметры модулируемого сигнала. Важно отметить, что в рассматриваемом примере применяется линейно-частотная модуляция, поэтому в качестве объектных характеристик задаются минимальная и максимальная частоты сигнала, размер псевдо-случайной последовательности, время передачи одного разряда, и размер дискретизации по времени.

Метод узлового объекта модулирует сигнал, алгоритм модуляции представлен на рисунке 2.

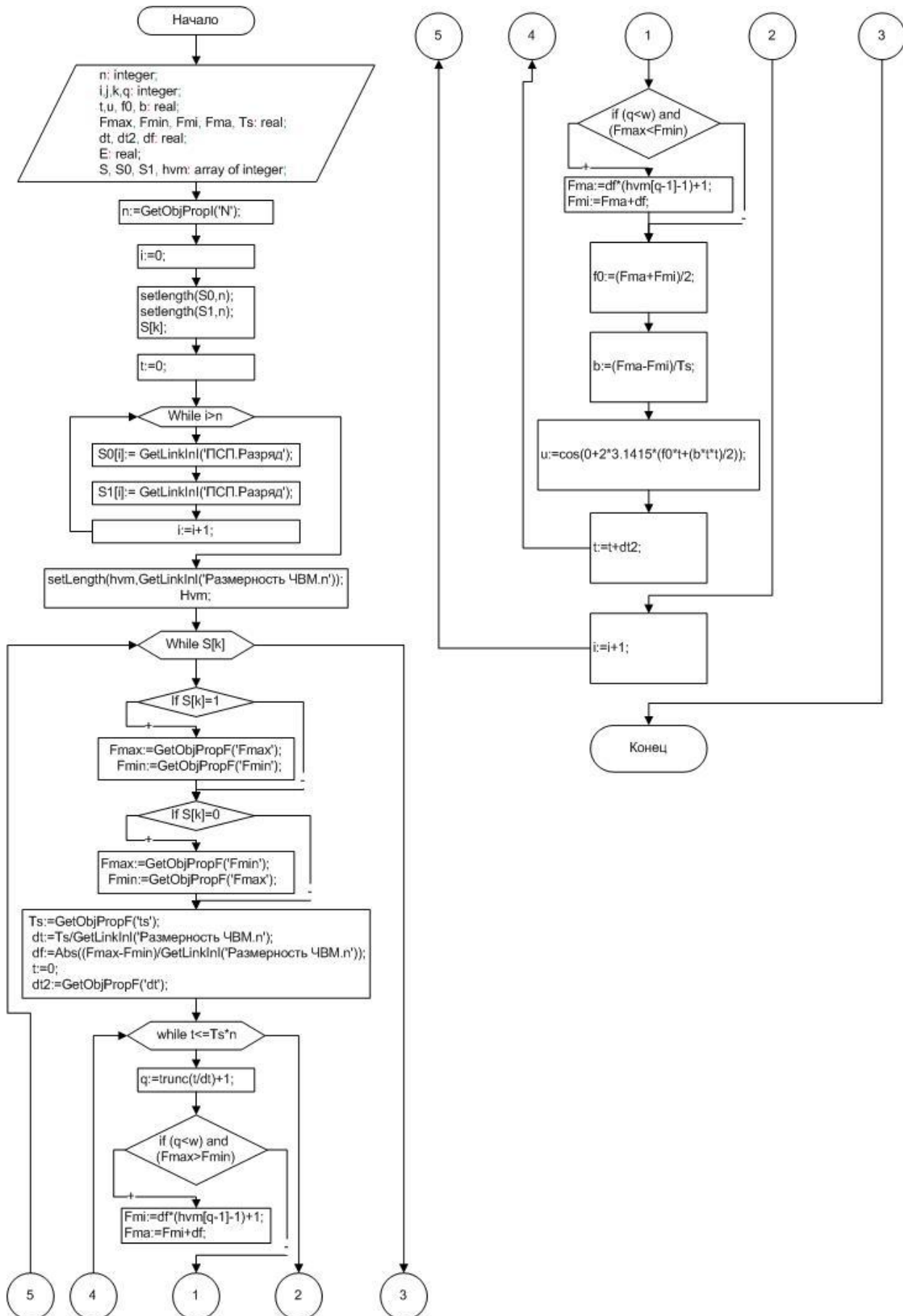


Рис. 2. Алгоритм реализации метода узлового объекта ФККС
Fig. 2. Algorithm for implementing the nodal object method

Представленный на рисунке 2 алгоритм метода узлового объекта реализует технологическую операцию по формированию комбинированного канального сигнала с использованием частотно-временной матрицы. Причем величина наклонов линейно-частотных радиоимпульсов зависит от значения поднесущей частоты, используемой для передачи элемента псевдослучайной последовательности. Сперва в алгоритме предусмотрена инициализация двух массивов для нуля и для единицы. В массивы записывается псевдослучайная последовательность, сгенерированная соответствующим узловым объектом. Далее организуется цикл по массиву исходного сообщения. Каждый разряд передаваемого сообщения заменяется одной из двух инициализированных псевдослучайных последовательности. Далее если текущий разряд ПСП равен единице, максимальная и минимальная частоты инициализируются из соответствующих объектных характеристик. Если разряд нулевой – максимальная и минимальная частоты инвертируются. Далее рассчитываются параметры частотно-временной матрицы. Логика расчетов следующая: определяется номер временного периода матрицы, после чего рассчитываем минимальную и максимальную частоты для текущего периода. Таким образом, данная технологическая операция позволяет формировать комбинированный канальный сигнал с использованием частотно-временной матрицы.

Рассмотрим подробнее технологическую операцию, реализующую формирование частотно-временной матрицы. Формальное представление узлового объекта представлено в выражении (15):

$$ГЧВМ = [\{P_{\text{ош}}(t); ЧВМ, \text{Размер ЧВМ}\}; \{f(P_{\text{ош}}(t)) \text{ ЧВМ, Размер ЧВМ}\}; \{\emptyset; \emptyset; P_{\text{обн}}, P_{\text{стр}}\}] \quad (15)$$

Генератор частотно-временной матрицы в зависимости от вероятности возникновения ошибки, а также в соответствии с заданными уровнями энергетической и структурной скрытности генерирует частотно-временную матрицу. Процесс формирования требуемой комбинации матрицы реализуется с использованием алгоритма обратного восстановления. В рамках алгоритма, в качестве энергии решения используется соответствие текущей комбинации частотно-временной матрицы заданным уровням энергетической и структурной скрытности.

Все оставшиеся узловые объекты модели представляю собой модули принимающей стороны, общий графоаналитический вид модели представлен на рисунке 3.

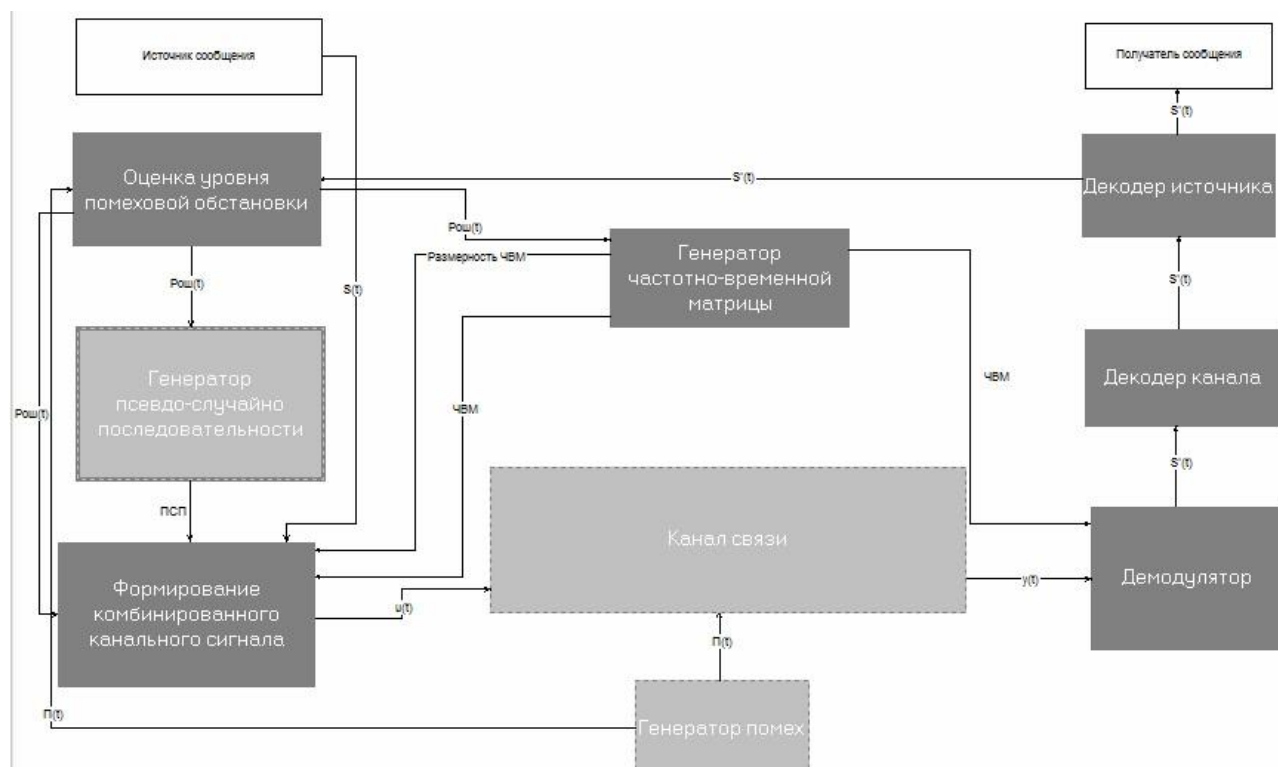


Рис. 3. Графоаналитическое представление системно-объектной модели
Fig. 3. Graph-analytical representation of a system-object model

После запуска модели на исполнение, был протестирован генератор псевдослучайной последовательности на соответствие заданным структурным характеристикам. Графический вид генерируемой псевдослучайной последовательности представлен на рисунке ниже:

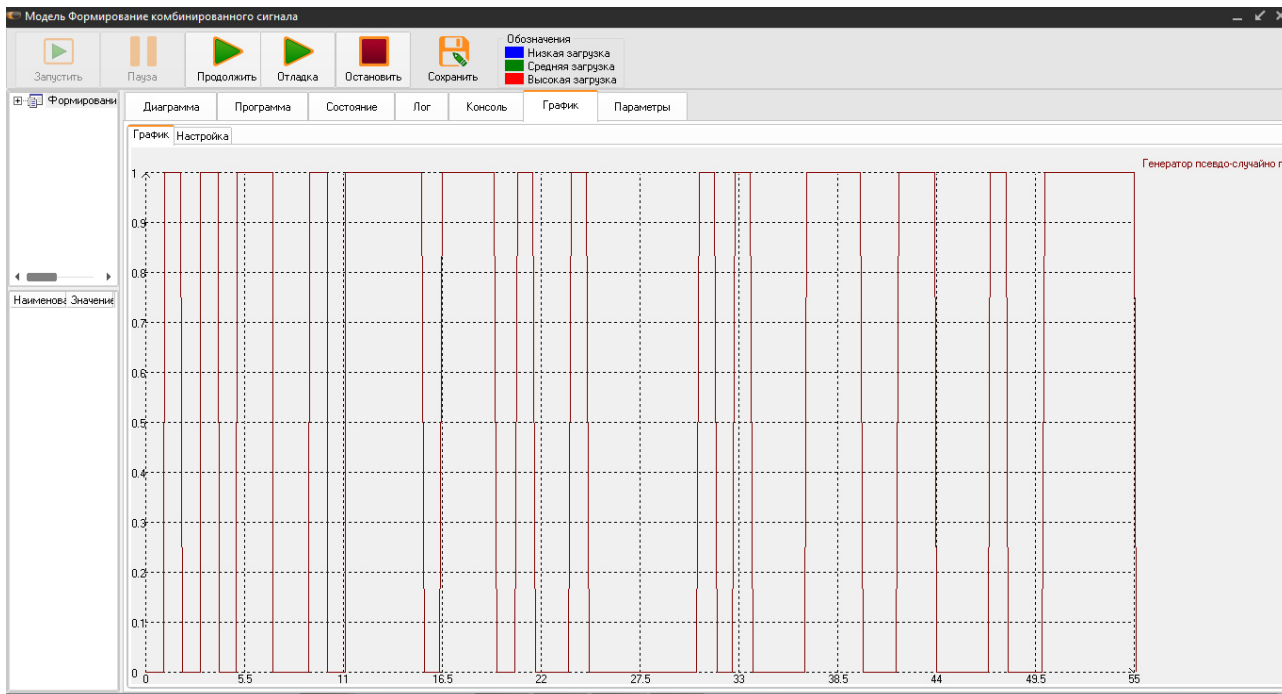


Рис. 4. Визуализация псевдослучайной последовательности
Fig. 4. Pseudo-random sequence visualization

Также были проведены ряд симуляций по формированию комбинированного канального сигнала. Сформированный сигнал для передачи единицы представлен на рисунке ниже:

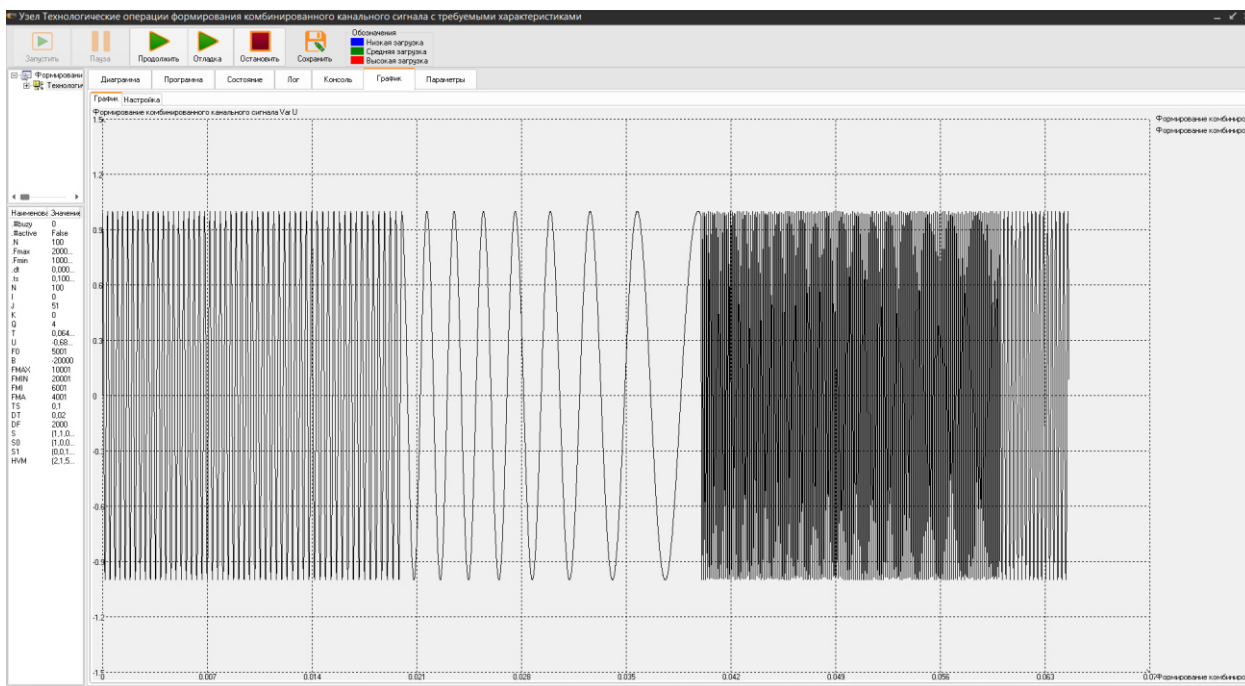


Рис. 5. Пример сформированного комбинированного сигнала
Fig. 5. An example of a generated combined signal

Сформированный сигнал для передачи нуля представлен на рисунке 6:

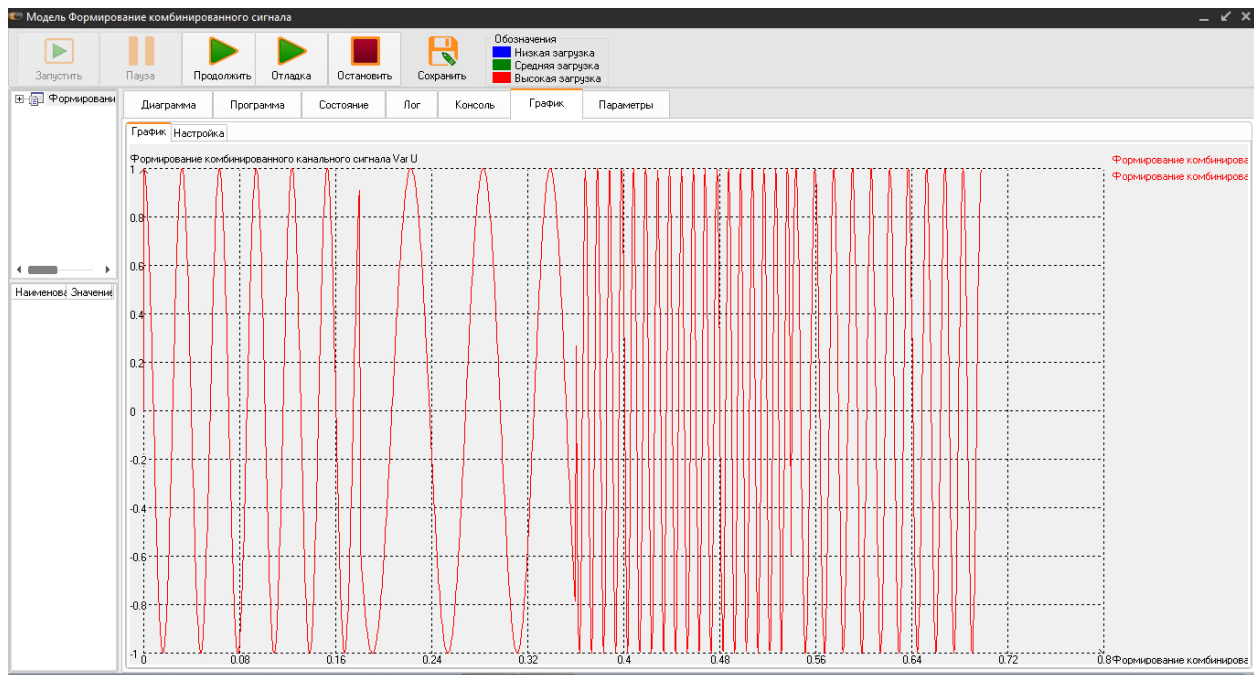


Рис. 6. Пример сформированного комбинированного сигнала

Fig. 6. An example of a generated combined signal

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанная системно-объектная модель технологических операций, реализуемых при формировании комбинированного канального сигнала с заданными уровнями энергетической и структурной скрытности, позволяет симулировать процесс модуляции сложного канального сигнала. Модель является удобным инструментом для разработки и отработки параметров модуляции. Можно сделать вывод, что разработанный сигнал удовлетворяет установленным требованиям.

Благодарности. Исследования выполнены при финансовой поддержке проекта Российского фонда фундаментальных исследований № 18-07-00356.

Список литературы

1. Рачинский С.А. Разработка и исследование помехоустойчивых сигнально-кодовых конструкций для спутниковых информационных коммуникаций в Арктических широтах [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук (05.13.17) / Белов Сергей Павлович; Белгородский государственный национальный исследовательский университет. – Белгород, 2019. – 23 с.
2. Жихарев А.Г., Белов С.П., Рачинский С.А. Перспективы системно-объектного имитационного моделирования систем передачи информации // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: экономика, информатика. – Том 46, № 3, 2019 г.
3. Тузов Г.И., Сивов В.А., Прытков В.И., Урядников Ю.Ф., Дергачев Ю.А., Сулиманов А.А. Помехозащищенность радиосистем со сложными сигналами / Под. ред. Тузова Г.И. – М.: Радио и связь, 1985. – 264 с.
4. Zhikharev, A., Matorin, S., Egorov, I. Formal principles of system-object simulation modeling of technological and production processes // Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems, 10(10 Special Issue), pp. 1806-1812, 2018 г.
5. Matorin, S.I., Zhikharev, A.G. Calculation of the function objects as the systems formal theory basis // Advances in Intelligent Systems and Computing, 679, pp. 182-191, 2018.

References

1. Rachinsky S.A. Development and research of noise-resistant signal-code structures for satellite information communications in the Arctic latitudes [Text]: author. dis. for a job. scientist step. Cand. tech. Sciences (05.13.17) / Belov Sergey Pavlovich; Belgorod State National Research University. – Belgorod, 2019. – 23 p.
2. Zhikharev A.G., Belov S.P., Rachinsky S.A. Prospects for system-object simulation of information transmission systems // Scientific Bulletin of the Belgorod State University. Series: economics, computer science. – Volume 46, No 3, 2019
3. Tuzov G.I., Sivov V.A., Prytkov V.I., Uryadnikov Yu.F., Dergachev Yu.A., Sulimanov A.A. Interference immunity of radio systems with complex signals / Under. ed. Tuzova G.I. – M.: Radio and communications, 1985. – 264 p.
4. Zhikharev, A., Matorin, S., Egorov, I. Formal principles of system-object simulation modeling of technological and production processes // Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems, 10 (10 Special Issue), pp. 1806-1812, 2018.
5. Matorin, S.I., Zhikharev, A.G. Calculation of the function objects as the systems formal theory basis // Advances in Intelligent Systems and Computing, 679, pp. 182-191, 2018.

Жихарев Александр Геннадиевич, кандидат технических наук, доцент кафедры программного обеспечения вычислительной техники и автоматизированных систем

Маторин Сергей Игоревич, доктор технических наук, профессор, заместитель генерального директора по науке и инновациям

Белов Александр Сергеевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информационно-телекоммуникационных систем и технологий

Zhikharev Alexander Gennadievich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Computer Software and Automated Systems

Matorin Sergey Igorevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Deputy General Director for Science and Innovation

Belov Alexander Sergeevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information and Telecommunication Systems and Technologies