



УДК 303.732.4

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО СИНТЕЗА БОЛЬШИХ ДИСКРЕТНЫХ СИСТЕМ С ЗАДАННЫМ ПОВЕДЕНИЕМ

APPLICATION OF GENETIC ALGORITHM TO SOLVE THE PROBLEM OF PARAMETRIC SYNTHESIS OF LARGE DIGITAL SYSTEMS WITH A GIVEN BEHAVIOR

**Д.А. Петросов, В.А. Ломазов, В.А. Игнатенко, Е.П. Карамышев, Д.А. Басавин
D.A. Petrosov, V.A. Lomazov, V.A. Ignatenko, E.P. Karamyshev, D.A. Basavin**

*Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина
Россия, 308503, Белгородская обл., Белгородский р-н, п. Майский, ул. Вавилова, 1*

*Belgorod State Agricultural University named after V.Y. Gorin
Russia, 308503, Belgorod region, Belgorod district, p. Maisky, st. Vavilova 1*

e-mail: scorpionss2002@mail.ru

Аннотация. В статье рассматривается применение эволюционных методов к решению задач параметрического синтеза больших дискретных систем с заданным поведением. В качестве инструментального средства для поиска решения предлагается использовать генетические алгоритмы, адаптированные к решению данного класса задач с помощью вложенных сетей Петри. При моделировании элементов системы их параметры предлагается описывать с помощью переходов в выбранном математическом аппарате. Генетический алгоритм настраивается для работы с функциональными переходами (изменение параметра которых влияет на функционирование элемента) моделей элементов системы, при этом структура синтезируемой системы остается неизменной, не подвергается воздействию операторов генетического алгоритма.

Resume. The article deals with the use of evolutionary techniques to problems of parametric synthesis of large digital systems with a given behavior. As a tool for finding the solution proposed to use genetic algorithms, adapted to the solution of this class of problems with nested Petri nets. In the simulation, the elements of the system parameters proposed described by transitions in the chosen mathematical apparatus. Genetic algorithm is configured to work with the functional transitions (changes in parameter that affects the functioning of the cell) models of the elements, while the synthesized structure of the system remains the same, is not exposed to the operators of the genetic algorithm.

Ключевые слова: Генетические алгоритмы, параметрический синтез, большие дискретные системы, сети Петри.

Keywords: Genetic algorithms, parametric synthesis, large discrete systems, Petri nets.

В настоящее время широкое распространение в различных предметных областях получили большие дискретные системы, в состав которых входит большое количество элементов, параметров функционирования и межкомпонентных связей, поэтому задача разработки новых инструментальных средств, базирующихся на интеллектуальных средствах, для автоматизации этапов их синтеза и управления в процессе работы становится актуальной [Ломазов и д.р., 2013].

В работе предлагается использовать комбинированный метод интеллектуальной поддержки синтеза больших систем на основе трех актуальных научных направлений: имитационного моделирования, эволюционных методов и теории сетей Петри [Петросов и д.р., 2015; Ломазов В.А. и д.р., 2015; Ломазов А. В. и д.р., 2015].

Рассмотрим простейший класс задач по параметрическому синтезу больших дискретных систем.

$$S = \langle INs, C, T, OUTs \rangle ,$$

где S — система, параметрический синтез которой следует провести,

C — компоненты системы,

T — межкомпонентные связи синтезируемой системы,

INs — входы синтезируемой системы,

OUTs — выходы синтезируемой системы.



$$C = \{C_i\}_{i=1}^r,$$

где C_i - i -й компонент синтезируемой системы,

r - количество компонентов в системе S , параметрический синтез которой требуется провести.

Каждый компонент C_i можно представить следующим образом

$$C_i = \langle In, K, L, Out \rangle,$$

где In — входы компонента синтезируемой системы,

K — элементы компонента, входящего в состав синтезируемой системы,

L — связи между элементами, образующими компонент синтезируемой системы,

Out - выходы компонента, входящего в состав синтезируемой системы.

Каждый компонент синтезируемой системы имеет множество свойств.

$$P = \{P_m\}_{m=1}^B.$$

Можно сказать, что если входные параметры Z_{IN} и связи T между компонентами системы S остаются неизменными, то на поведение системы влияет настройка функций ее компонентов, тогда

$$S = \langle IN_s, (C_{1,m}, \dots, C_{i,m}), T, OUT_s \rangle = \langle IN_s, ((In, K, L, Out)_{1,m}, \dots, (In, K, L, Out)_{i,m}), T, OUT_s \rangle.$$

В свою очередь на поведение компонентов C_i синтезируемой системы S влияют параметры функционирования элементов K , их настройка служит для преобразования полученного входного вектора Z_{IN} в выходной вектор Z_{OUT} .

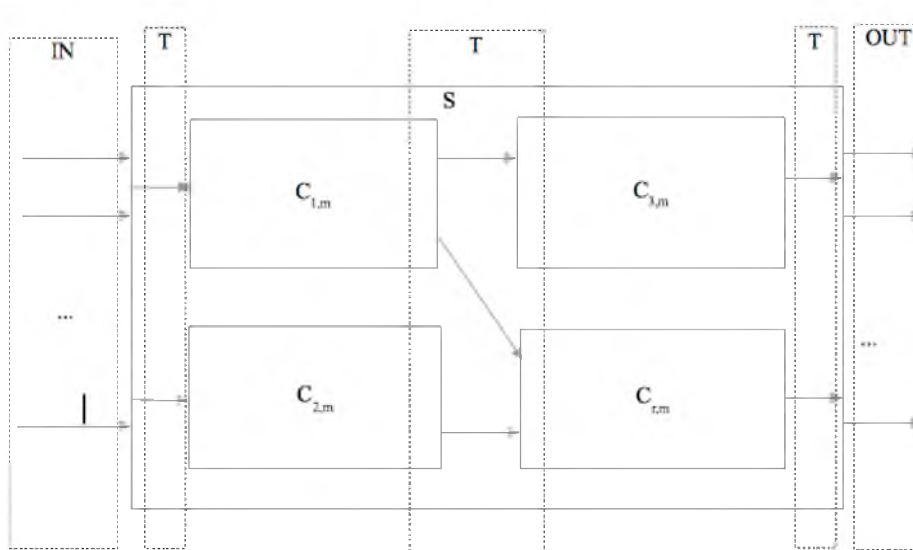


Рис. 1. Пример модели условной большой дискретной системы

Fig. 1. Example of a large model conventional discrete systems

Следовательно, постановку задачи можно свести к следующему — в модели синтезируемой системы требуется найти такую комбинацию свойств ее компонентов, при которой поданный на вход системе S вектор Z_{IN} (или множество векторов) будет преобразовано в требуемый выходной вектор Z_{OUT} (множество векторов). При этом, на данном этапе исследования будем считать, что межкомпонентные связи в системе S , при решении задачи параметрического синтеза, остаются неизменными $T = \text{const}$ и элементы C_i системы S , также остаются постоянными (не изменяются в процессе решения задачи параметрического синтеза большой дискретной системы) $C_i = \text{const}$.

В этом случае изменений в работе синтезируемой системы принято добиваться путем изменения параметров функционирования ее компонентов.

Для решения данной задачи предлагается использовать комбинацию из трех современных направлений: имитационное моделирование, эволюционные методы и теория сетей Петри [Петров и др, 2015].

В качестве математического аппарата для моделирования синтезируемой системы будем использовать сети Петри, инструментарием для поиска решения будет использоваться генетический алгоритм, адаптированный к решению задачи параметрического синтеза вложенными се-

тями Петри, а для оценки полученных моделей системы предлагается использовать имитационное моделирование.

Предложенная комбинация методов обладает достаточными свойствами для применения к решению задачи параметрического синтеза больших дискретных систем с заданным поведением в различных предметных областях (технических, технологических, экономических, социальных и т.д.) [Петросов, 2009а; Ломазов и др. 2016].

Проведем соответствие в моделях синтезируемых больших дискретных систем (БДС) с настраиваемыми компонентами и теорией сетей Петри, выбранной в качестве основного для моделирования БДС с заданным поведением. На рисунке 1 показана условная модель БДС.

Каждый компонент модели БДС и модель самой системы можно представить в виде сети Петри (см. рис. 2).

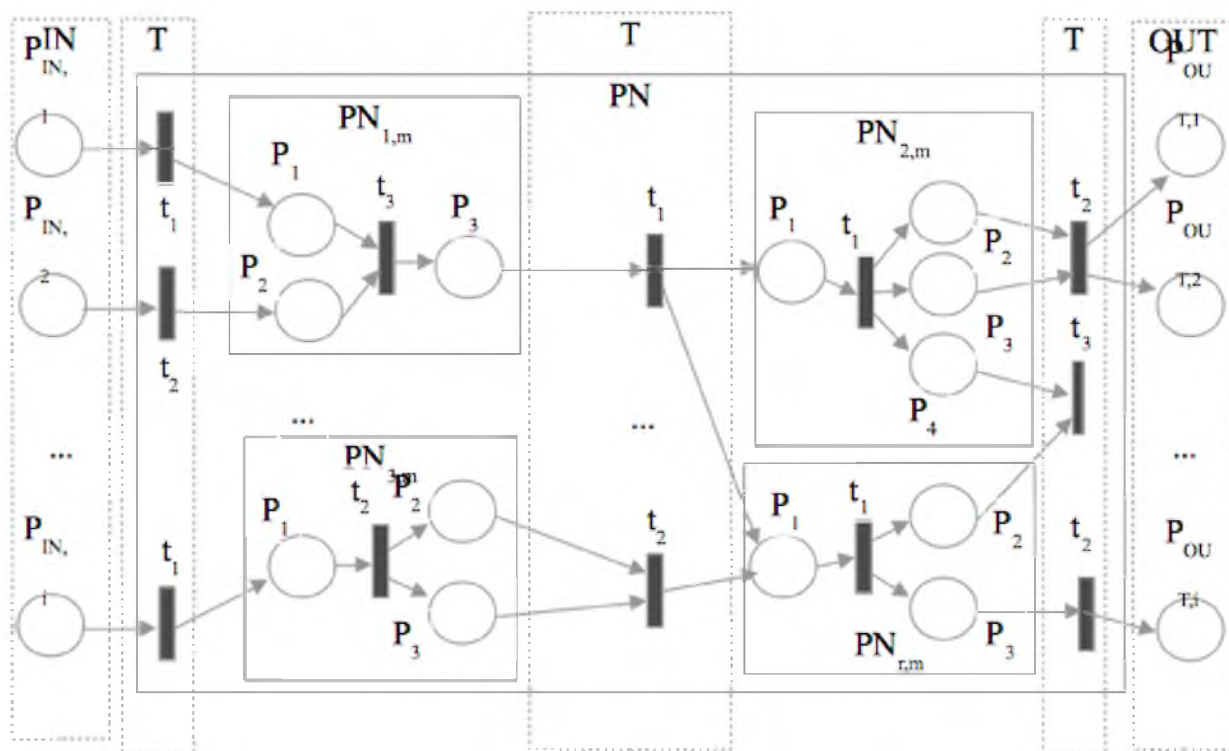


Рис. 2. Модель условной большой дискретной системы на сетях Петри
 Fig. 2. Model conventional large discrete systems on Petri nets

Так как в большинстве классов сетей Петри при моделировании за выполнение действий над метками (сигналами, информацией, веществом и т. д.) отвечает переход, то будем говорить, что на параметры функционирования компонента БДС влияет настраиваемые функции его переходов (см. рис. 3).

Следовательно, свойство P_m компонента $PN_{i,m}$ будет зависеть от функций $O\{f_m\}_{m=1}^B$, которыми будут обладать переходы данного компонента.

Таким образом синтезируемую систему можно представить в виде следующей строки

$$PN = \langle IN_s, (PN_{i,m}, \dots, PN_{r,m}), T, F, OUT_s \rangle.$$

Согласно постановке задачи, из всех гипотетически возможных моделей системы S , следует выбрать такую, которая сможет преобразовать заданный входной вектор (или ряд входных векторов) в требуемый выходной (или ряд выходных векторов). Как видно из рисунка 2 входы и выходы моделируемой системы, при использовании предложенного подхода, следует представлять множеством позиций сети PN .

Свойством системы S будем называть пару целочисленных векторов $Z_{IN} = (Z_1^{IN}, \dots, Z_{v_0}^{IN})$ и $Z_{OUT} = (Z_1^{OUT}, \dots, Z_{w_0}^{OUT})$. Z_{IN}^v – число меток, поступивших в v -ую входную позицию P_{IN}^v перед запуском модели синтезируемой системы PN , а Z_{OUT}^w – число меток, которые поступили в w -ую выходную позицию P_{OUT}^w после остановки работы модели PN , при проведении вычислительного эксперимента на проверку соответствия полученной модели БДС требованиям.

Следовательно, множество свойств P системы PN может быть представлено $Z = \{Z_k\}_{k=1}^L$, где $Z_k = (Z_k^{IN}, Z_k^{OUT})$ – модель свойства P_m , $P_m = \langle Z_k, t_m \rangle$



Таким образом, свойство системы PN будет зависеть от входного вектора $Z^{k_{IN}}$, параметров функционирования компонентов системы t_m , которые моделируются переходами с соответствующими функциями и выходного вектора $Z^{k_{OUT}}$.

Для оценки соответствия полученной в результате синтеза системы PN предлагается применить понятие метрического пространства. На вход модели БДС подается вектор $Z^{k_{IN}}$, а полученный в результате вычислительного эксперимента над имитационной моделью, выходной вектор Z_{OUT} сравнивается с эталонным вектором $Z^{k_{OUT}}$ по одной из предложенных формул:

$$\rho(V, W) = \sum_{n=1}^N |v_n - w_n|, \quad \rho(V, W) = \sqrt{\sum_{n=1}^N (v_n - w_n)^2}, \quad \rho(V, W) = \max_{1 \leq n \leq N} |v_n - w_n|, \quad \rho(V, W) = \left(\sum_{n=1}^N |v_n - w_n|^p \right)^{1/p}$$

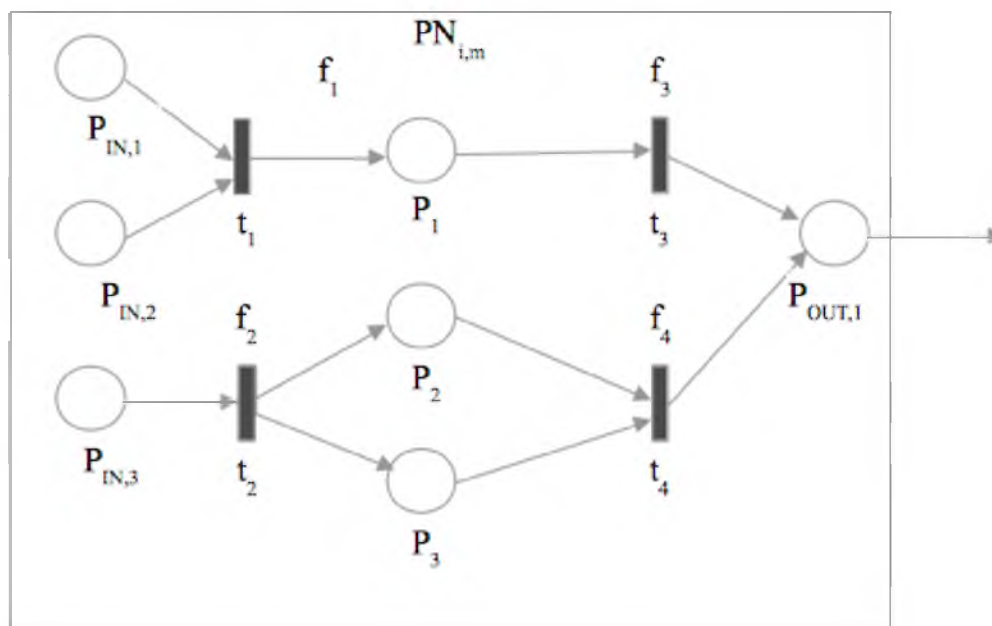


Рис. 3. Пример модели компонента большой дискретной системы на основе сетей Петри с использованием настраиваемых функций на переходах

Fig. 3. Example of a large model of a discrete component of the system based on Petri nets with customizable features at crossings

Изменяя параметр ρ , можно будет впоследствии влиять на эффективность работы генетического алгоритма.

В качестве инструментального средства для моделирования процесса параметрического синтеза предлагается использовать генетический алгоритм (ГА), адаптированный к решению данной задачи с помощью вложенных сетей Петри. Вложенные сети Петри поддерживают многоуровневое представление как процесса моделирования работы ГА, так и представление моделей синтезируемой БДС.

Работу операторов ГА будем представлять через переходы верхнего уровня вложенной сети Петри (см. рис. 4).

Начальная популяция будет представлена в виде множества моделей синтезируемой системы, на основе теории сетей Петри.

$$G^0 = (PN^1, \dots, PN^{2n})$$

Использование $2n$, как фиксированного числа популяции, обусловлено предполагаемой настройкой операторов ГА, которые на данном этапе исследования, будут проводить операции селекции и скрещивания с парами, т. е. Количество особей будет четным.

Модель синтезируемой БДС PN^i — i -ая модель системы на основе теории сетей Петри.

$$PN^i = \langle P, D, L, T_{PN} \rangle,$$

где $P = \{P_i\}_{i=1}^k$ — множество позиций,

$D = \{D_i\}_{i=1}^k$ — множество дуг,

$L = \{L_i\}_{i=1}^k$ — множество меток,

$T_{PN} = \{T_{PNi}\}_{i=1}^k$ — множество переходов.

Таким образом модель синтезируемой БДС, представленной с помощью вложенной сети Петри можно записать следующей строкой:

$$PN^i = \langle IN_s, (\langle P, D, L, T_{PN} \rangle_{1,m}, \dots, \langle P, D, L, T_{PN} \rangle_{r,m}), T, F, OUT_s \rangle.$$

При этом для представления PN^i на верхнем уровне ВСП, моделирующей работу ГА, используется особенность данного вида сетей — макрометки, т.е. метка верхнего уровня является сетью.

Для адаптации ГА к задаче параметрического синтеза следует выполнить описание принципов работы его операторов.

Оператор отбора SEL.

Оператор отбора SEL в представленной модели ГА моделируется одноименным переходом SEL.

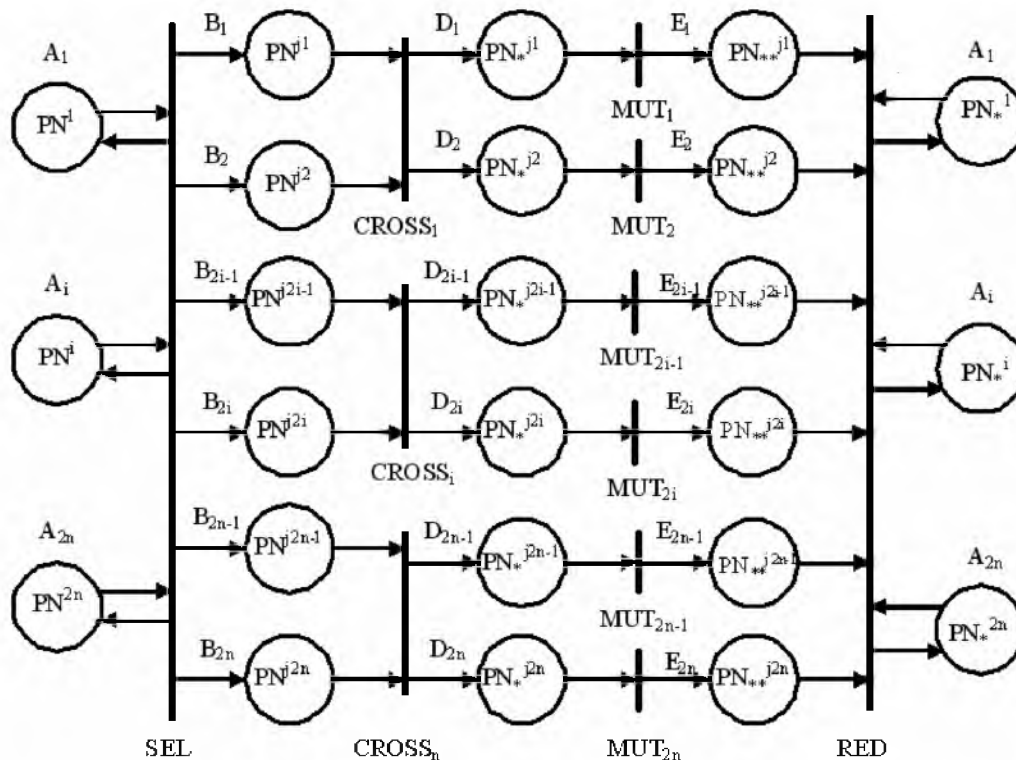


Рис. 4. Модель генетического алгоритма на основе вложенных сетей Петри
Fig. 4. The model of genetic algorithm based on nested Petri nets

В отличие от предыдущих работ, направленных адаптацию ГА к решению задачи структурного синтеза для БДС с динамической и статической архитектурой, на данном этапе предположим, что у всех моделей PN^i IN_s задается в начале процедуры параметрического синтеза и является const. Позиции в моделях компонентов БДС не изменяются ни качественно, ни количественно $P=const$. Дуги, выполняющие задачу соединения в компонентах БДС также неизменны $D=const$. Переходы T_{PN} в компонентах БДС количественно не изменяются, но могут быть изменены качественно, поэтому заменяем их на $T_{PN(F)}$.

$T_{PN} = \{T_{PN(F)}\}_{i=1}^n$, где n — количество гипотетически возможных параметров функционирования компонента. Таким образом строка представления модели БДС может быть записана - $PN^i = \langle IN_s, (\langle P, D, L, \{T_{PN(F)}\}_{i=1}^n \rangle_{1,m}, \dots, \langle P, D, L, \{T_{PN(F)}\}_{i=1}^n \rangle_{r,m}), T, F, OUT_s \rangle$. Следовательно, при работе оператора SEL случайным образом будет сформировано $2n$ моделей, на основе заранее заданной структуры из возможных компонентов с заданными параметрами функционирования. В моделях должны быть выделены функциональные переходы, которые влияют на параметры функционирования компонента (или связка функциональных переходов, если изменение параметров функционирования одного перехода строго влечет изменение параметров работы других переходов). При работе оператора SEL при формировании G_0 на место данных переходов будут, подставлены случайным образом любые параметры их работы из гипотетически возможных, относящихся именно к данному компоненту БДС. И будет проведена оценка соответствия особой полученной популяции G_0 заданным критериям. Особи с наименьшим отклонением от заданного поведения переместятся в позиции следующего слоя с наименьшим порядковым номером, т. е. чем меньше отклонение от целевой функции, тем меньше номер позиции, в которую размещается макро метка. Данный подход позволит смоделировать работу переходов верхнего уровня предложенной модели ГА на основе ВСП таким образом, что слой оператора CROSS будет работать по принципу скрещивания луч-



ших с лучшими, а худших с худшими. Данная настройка может быть видоизменена в зависимости от предметной области.

На этапе работы оператора CROSS в подготовленных для скрещивания парах происходит частичный обмен (количество параметров, подлежащих обмену и точки скрещивания являются настраиваемой, функцией для данного оператора, т. к. в различных предметных областях требуется изменение данных функций), что приводит к получению «потомков», которые обладают новыми свойствами.

Пример работы оператора CROSS ,

Родители:

$PN^1 = \langle IN_S, (\langle P, D, L, \{TP_{N1(F1)}, TP_{N2(F3)}, TP_{N3(F5)}\} >_{1,7}, \langle P, D, L, \{TP_{N1(F2)}, TP_{N2(F4)}, TP_{N3(F6)}\} >_{2,6}), T, F, OUT_S \rangle$

$PN^2 = \langle IN_S, (\langle P, D, L, \{TP_{N1(F2)}, TP_{N2(F4)}, TP_{N3(F8)}\} >_{1,4}, \langle P, D, L, \{TP_{N1(F1)}, TP_{N2(F7)}, TP_{N3(F5)}\} >_{2,6}) >_{2,9}), T, F, OUT_S \rangle$

Потомки:

$PN^{new} = \langle IN_S, (\langle P, D, L, \{TP_{N1(F1)}, TP_{N2(F4)}, TP_{N3(F5)}\} >_{1,7}, \langle P, D, L, \{TP_{N1(F1)}, TP_{N2(F4)}, TP_{N3(F6)}\} >_{2,6}), T, F, OUT_S \rangle$

$PN^{2new} = \langle IN_S, (\langle P, D, L, \{TP_{N1(F2)}, TP_{N2(F3)}, TP_{N3(F8)}\} >_{1,4}, \langle P, D, L, \{TP_{N1(F2)}, TP_{N2(F7)}, TP_{N3(F5)}\} >_{2,6}) >_{2,9}), T, F, OUT_S \rangle$

Как видно из примера скрещивание произошло по двум хромосомам (выделено жирным) и потомки унаследовали набор хромосом от обоих родителей. Соответственно, новые модели БДС (особи или потомки) будут иметь поведение, отличное от своих родителей.

В операторе MUT, который моделируется одноименным переходом в верхнем уровне предложенной модели ГА на основе ВСП, параметры функциональных переходов могут быть случайным образом изменены на любой гипотетически возможный. Данный оператор тоже должен быть настроен для конкретной предметной области, чтобы улучшить качество поиска, а также временные и вычислительные затраты.

Пример работы оператора MUT.

Модель БДС до срабатывания оператора MUT:

$PN^{2new} = \langle IN_S, (\langle P, D, L, \{TP_{N1(F2)}, TP_{N2(F3)}, TP_{N3(F8)}\} >_{1,4}, \langle P, D, L, \{TP_{N1(F2)}, TP_{N2(F7)}, TP_{N3(F5)}\} >_{2,6}) >_{2,9}), T, F, OUT_S \rangle$

Модель БДС после срабатывания оператора MUT:

$PN^{2new*} = \langle IN_S, (\langle P, D, L, \{TP_{N1(F2)}, TP_{N2(F3)}, TP_{N3(F8)}\} >_{1,4}, \langle P, D, L, \{TP_{N1(F2)}, TP_{N2(F1)}, TP_{N3(F5)}\} >_{2,6}) >_{2,9}), T, F, OUT_S \rangle$ (жирным выделено место срабатывания оператора, в процессе мутации у модели второго компонента БДС параметр работы второго перехода $TP_{N2(F7)}$ был заменен на параметр $TP_{N2(F1)}$).

На этапе срабатывания оператора RED над полученными имитационными моделями БДС проводится вычислительный эксперимент. То есть на вход модели подается заданный входной вектор, модель обрабатывает его, после чего выходной вектор модели сравнивается с эталонным. Если расстояние между эталонным вектором и выходным вектором модели находится в рамках заданных настроек, то особь перемещается в начало предложенной модели ГА на основе ВСП, если не удовлетворяет, то особь уничтожается оператором RED. В дальнейшем модели попавшие в начало модели ГА могут продолжить процесс эволюции, пока не будет выполнено условие останова работы модели ГА. Такими условиями могут быть:

- нахождение модели БДС полностью удовлетворяющей критериям поиска;
- окончание времени, выделенного на синтез БДС;
- обработка заданного числа популяций.

Предложенный подход на основе позволяет проводить параметрический синтез БДС с заданным поведением. Для этого следует:

1. Для каждого компонента, на основе которого может проводиться параметрический синтез БДС, построить модель на основе математического аппарата сетей Петри.
2. Построить модель структуры БДС.
3. Задать свойство, которым должна обладать синтезируемая БДС.
4. Сформировать начальную популяцию.
5. Задать количество циклов работы предложенной модели ГА на основе сетей Петри и (или) условие ее останова.
6. Разместить начальную популяцию в начале предложенной модели.
7. Запустить модель.
8. После останова модели в позиции A1 будет находиться БДС модель на основе сетей Петри, которая лучше всех удовлетворяет заданному свойству [Петросов, 2009б].

Таким образом, задача параметрического синтеза БДС с заданным поведением решена с помощью выбранных инструментальных средств.



**Список литературы
References**

- Ломазов А. В., Ломазов В.А., Петросов Д.А. 2015. Формирование иерархии оценочных показателей сложных динамических систем на основе экспертных технологий. *Фундаментальные исследования*. 7-4: 760-764.
- Lomazov A.V., Lomazov V.A., Petrosov D.A. 2015. Formirovaniye iyerarkhii otsenochnykh pokazateley slozhnykh dinamicheskikh sistem na osnove ekspertnykh tekhnologiy. *Fundamental'nyye issledovaniya* [The formation of the hierarchy of performance indicators of complex dynamic systems on the basis of expert technology. Basic research]. 7-4: 760-764. (in Russian).
- Ломазов В.А., Михайлова В.Л., Петросов Д.А., Ельчанинов Д.Б. 2013. Эволюционная процедура структурного и параметрического синтеза имитационных моделей систем документооборота. *Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика*. 22(165): 204-209.
- Lomazov V.A., Mikhailova V.L., Petrosov D.A., Elchaninov D.B. 2013. Evolyutsionnaya protsedura strukturnogo i parametricheskogo sinteza imitatsionnykh modeley sistem dokumentooborota. *Nauchnye vedomosti BelGU. Jekonomika. Informatika* [Evolutionary procedure of structural and parametric synthesis simulation models of document management systems. Belgorod State University Scientific Bulletin. Economics. Information technologies]. 22(165): 204-209. (in Russian).
- Ломазов В.А., Петросов Д.А., Игнатенко В.А. 2015. Обзор графоаналитических инструментальных средств моделирования в задачах синтеза систем. *Новая наука: Опыт, традиции, инновации*. 6: 167-170.
- Lomazov V.A., Petrosov D.A., Ignatenko V.A. 2015. Obzor grafoanaliticheskikh instrumental'nykh sredstv modelirovaniya v zadachakh sinteza sistem. *Novaya nauka: Opyt, traditsii, innovatsii* [Review Grafoanaliticheskyy simulation tools in the design of systems. The new science: experience, tradition, innovation]. 6: 167-170. (in Russian).
- Ломазов В. А., Ломазова В. И., Михайлова В. Л., Петросов Д. А. 2016. Структурно-параметрическая кластеризация моделей взаимосвязанных организационно-технологических процессов. *Естественные и технические науки*. 5 (95): 145-146.
- Lomazov V.A., Lomazova V.I., Mikhailova V.L., Petrosov D.A. 2016. Strukturno-parametricheskaya klasterizatsiya modeley vzaimosvyazannykh organizatsionno-tehnologicheskikh protsessov. *Yestestvennyye i tekhnicheskiye nauki* [Structural-parametric models of clustering of related organizational processes. Natural and Technical Sciences]. 5 (95): 145-146. (in Russian).
- Петросов Д.А. 2009а. Математическая модель формирования конфигурации вычислительной техники на основе триггеров. *Вестник ИЖГТУ им. М.Т. Калашникова*. 3: 139-143.
- Petrosov D.A. 2009a. Matematicheskaya model' formirovaniya konfiguratsii vychislitel'noy tekhniki na osnove triggerov. *Vestnik IZHGTU im. M.T. Kalashnikova*. [Mathematical model of the configuration of computer technology based on triggers. Bulletin IzhSTU after M.T. Kalashnikov]. 3: 139-143. (in Russian).
- Петросов Д.А. 2009б. Адаптация генетического алгоритма при моделировании вычислительной техники с изменяющейся структурой и набором компонентов на основе сетей Петри. *Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского*. № 6 (20): 151-160.
- Petrosov D.A. 2009b. Adaptatsiya geneticheskogo algoritma pri modelirovanii vychislitel'noy tekhniki s izmenyayushcheysya strukturoy i naborom komponentov na osnove setey Petri. *Voprosy sovremennoy nauki i praktiki. Universitet im. V.I. Vernadskogo* [Adaptation of genetic algorithm in the simulation of computer technology with a variable structure and a set of components, based on Petri nets. Questions of modern science and practice. University after V. I. Vernadsky]. 6 (20): 151-160. (in Russian)
- Петросов Д.А., Ломазов В.А., Басавин Д.А. 2015. Эволюционный синтез систем на основе заданной элементной базы компонентов. *Научные ведомости БелГУ. Сер. Экономика. Информатика*. 7(204): 116-124.
- Petrosov D.A., Lomazov V.A., Basavin D.A. 2015. Evolyutsionnyy sintez sistem na osnove zadannoy elementnoy bazy komponentov. *Nauchnye vedomosti BelGU. Jekonomika. Informatika* [Evolutionary synthesis systems based on components of a given database element. Belgorod State University Scientific Bulletin. Economics. Information technologies]. 7(204): 116-124. (in Russian).