

УДК 519.714.5

Д.А. ПЕТРОСОВ<sup>1</sup>, Н.В. ПЕТРОСОВА<sup>1</sup>, В.Г. ФЕКЛИН<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина»,  
г. Белгород;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации», г. Москва

## МОДЕЛИ ОПЕРАТОРОВ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА ТЕОРИИ СЕТЕЙ ПЕТРИ

**Ключевые слова:** генетический алгоритм; имитационное моделирование; интеллектуальные системы; системный анализ; теория сетей Петри; технологические процессы; эволюционные методы; экономические процессы.

**Аннотация:** В работе рассматривается возможность построения имитационных моделей таких операторов генетического алгоритма, как скрещивание и мутация на основе математического аппарата теории сетей Петри. Предложены модели операторов, способные функционировать в односточечном, двухточечном и многоточечном режимах. Предложенный подход позволяет выполнять процедуру интеллектуального структурного синтеза технологических и экономических процессов с применением эволюционного алгоритма в интеллектуальных системах поддержки принятия решений как при программной, так и при аппаратной реализации. Моделирование выполнено на основе свободно распространяемого программного средства *PIPE v 4.3*.

Современные исследования в области создания интеллектуальных систем поддержки принятия решений используют различные подходы, среди которых получили распространение работы, основанные на эволюционных алгоритмах. Данный класс моделей и методов позволяет не только находить решения, соответствующие критериям поиска, но и оптимизировать существующие решения [1; 2].

В задачах разработки советующих систем, направленных на решение структурного синтеза технологических процессов, использование новых моделей и методов на базе генетических

алгоритмов позволяет добиться повышения их быстродействия.

Генетический алгоритм требует адаптации к предметной области, и одним из способов решения данной задачи является применение графоаналитического подхода. В работе [3] был предложен подход к моделированию генетического алгоритма с использованием математического аппарата вложенных сетей Петри, верхний уровень которых описывает саму эволюционную процедуру. На рис. 1 операторы генетического алгоритма моделируются переходами, позиции служат для хранения результатов работы операторов и постановки условий срабатывания переходов, а метка является моделью технологического процесса на основе сети Петри, закодированной с помощью бинарного дерева в двоичный код. В представленной модели работа операторов ограничивалась настройками соответствующего перехода, не реализованными сетью Петри.

Для полноценного функционирования данной модели с помощью выбранного математического инструментального средства требуется провести моделирование переходов *CROSS* и *MUT* на его основе.

На рис. 2 представлена имитационная модель оператора *CROSS*, разработанная в свободно распространяемом программном обеспечении *PIPE v. 4.3*.

В процедуре скрещивания принимают участие два родителя, бинарный код которых записывается следующими позициями: Родитель 1:  $P_0, P_1, P_2, P_3$ ; Родитель 2:  $P_4, P_5, P_6, P_7$ .

В данном примере для упрощения используется бинарная строка из 4 элементов, соответственно: Родитель 1 – 1010; Родитель 2 – 0110.

Полученные в результате скрещивания би-

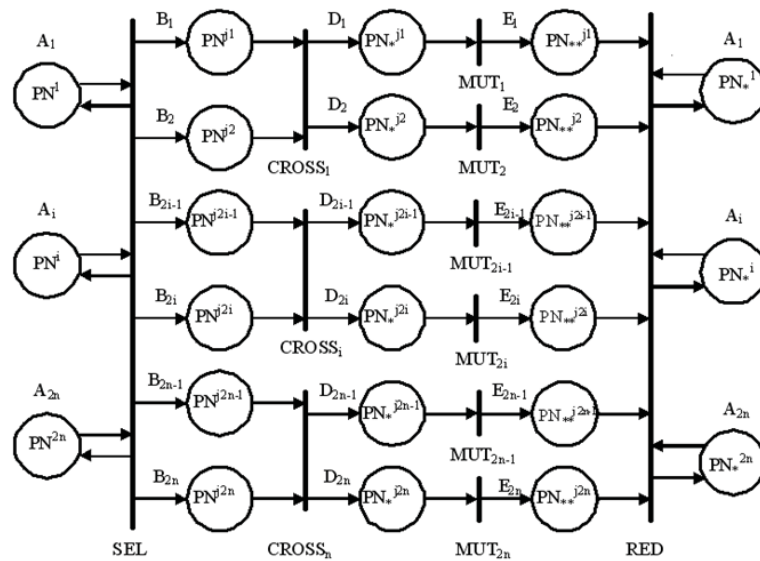


Рис. 1. Модель генетического алгоритма на основе вложенных сетей Петри

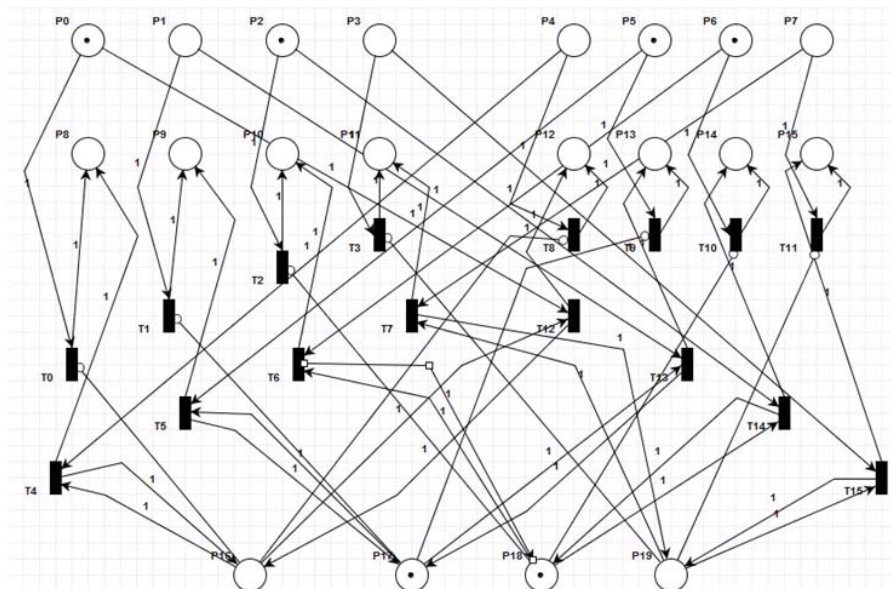


Рис. 2. Имитационная модель оператора CROSS

нарные коды двух потомков сохраняются в позициях: Потомок 1:  $P_8, P_9, P_{10}, P_{11}$ ; Потомок 2:  $P_{12}, P_{13}, P_{14}, P_{15}$ .

Место скрещивания определяется в позициях:  $P_{16}, P_{17}, P_{18}, P_{19}$  наличием в них меток – 0110. Такой подход позволяет моделировать одноточечное, двухточечное и многоточечное скрещивание с помощью одной модели.

Результатом работы сети являются два потомка, сохраненные в соответствующих позициях: Потомок 1 – 1110, Потомок 2 – 0010.

На рис. 3 показана разработанная модель оператора мутации, представленная в модели генетического алгоритма переходом *MUT*.

Работа представленной модели реализована следующим образом. Бинарный код особи, которая будет подвержена мутации, располагается в позициях  $P_0, P_1, P_2, P_3$ . Точка мутации определяется наличием метки в позициях  $P_8, P_9, P_{10}, P_{11}$ . Результат работы оператора мутации записывается в позиции  $P_4, P_5, P_6, P_7$ . На примере рассмотрена мутации особи с бинарным кодом 1010 по второму регистру. Результатом работы данной модели является особь с бинарным кодом –1110.

Работой операторов селекции (*SEL*) и редукции (*RED*) является формирование бинарной строки и декодирование бинарного кода

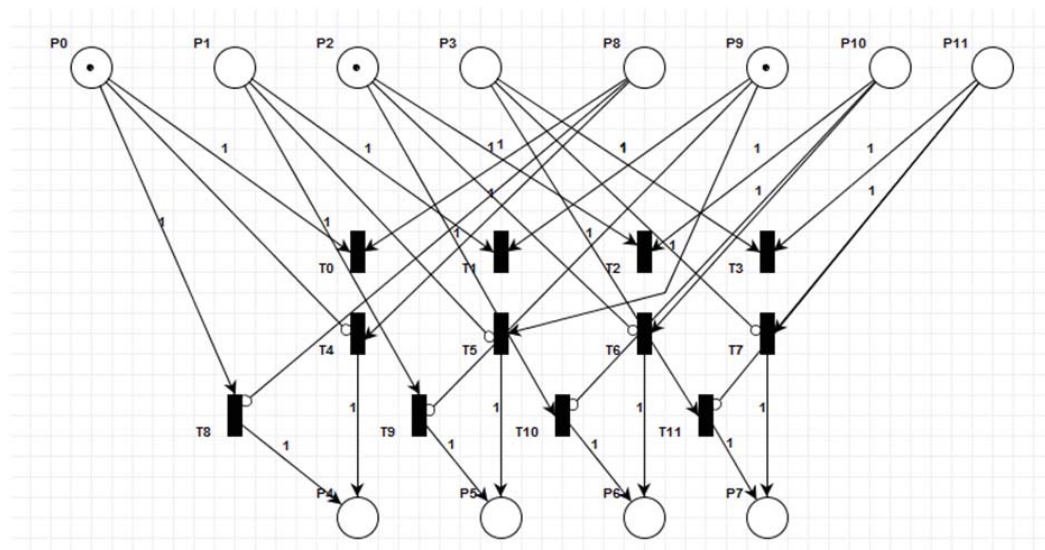


Рис. 3. Имитационная модель оператора *MUT*

в сеть Петри с целью запуска для расчета значения целевой функции, поэтому на данном этапе не требуется создания их моделей с применением выбранного математического инструментария.

В результате создания моделей операторов генетического алгоритма на основе сетей Петри была получена единая модель генетического алгоритма, способная решать задачу структурного синтеза технологических процессов на

базе моделей элементов и заданного поведения (способность преобразовывать заданный входной вектор в требуемый выходной). Предложенные модели могут функционировать в одноточечном, двухточечном и многоточечном режимах, а также обладают свойством параллелизма, что может быть использовано при их программной или аппаратной реализации с использованием технологий параллельных вычислений.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ: № 16-29-12911*

### Список литературы

1. Карамбиров, С.Н. Реализация генетического алгоритма для оптимизации водохозяйственных систем / С.Н. Карамбиров, С.А. Трикозюк // Природообустройство. – 2009. – № 5 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/realizatsiya-geneticheskogo-algoritma-dlya-optimizatsii-vodohozyaystvennyh-sistem>.
2. Куций, Н.Н. Применение генетического алгоритма для оптимизации автоматических систем с ПИД-регулятором / Н.Н. Куций, Н.Д. Лукьянов // Вестник ИргТУ. – 2012. – № 6(65) [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-geneticheskogo-algoritma-dlya-optimizatsii-avtomaticheskikh-sistem-s-pid-regulyatorom>.
3. Петросов, Д.А. Эволюционный синтез технологических процессов в земледелии АПК / Д.А. Петросов, М.А. Куликова, А.Г. Ступаков // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2018. – № 5. – С. 46–51.

### References

1. Karambirov, S.N. Realizacija geneticheskogo algoritma dlja optimizacii vodohozajstvennyh sistem / S.N. Karambirov, S.A. Trikozjuk // Prirodobustrojstvo. – 2009. – № 5 [Electronic resource]. – Access mode : <https://cyberleninka.ru/article/n/realizatsiya-geneticheskogo-algoritma-dlya-optimizatsii-vodohozyaystvennyh-sistem>.
2. Kucyj, N.N. Primenenie geneticheskogo algoritma dlja optimizacii avtomaticheskikh sistem

s PID-reguljatorom / N.N. Kucyj, N.D. Luk'janov // Vestnik IrGTU. – 2012. – № 6(65) [Electronic resource]. – Access mode : <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-geneticheskogo-algoritma-dlya-optimizatsii-avtomaticheskikh-sistem-s-pid-regulyatorom>.

3. Petrosov, D.A. Jevoljucionnyj sintez tehnologicheskikh processov v zemledelii APK / D.A. Petrosov, M.A. Kulikova, A.G. Stupakov // Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skhozjajstvennoj akademii. – 2018. – № 5. – S. 46–51.

---

© Д.А. Петросов, Н.В. Петросова, В.Г. Феклин, 2019