

ЭВОЛЮЦИОННЫЙ СИНТЕЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЗЕМЛЕДЕЛИИ АПК*

ПЕТРОСОВ Д.А.,

кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры информатики и информационных технологий ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина»; e-mail: Scorpionss2002@mail.ru.

КУЛИКОВА М.А.,

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры земледелия, агрохимии и экологии ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина»; e-mail: Kursi -2010@ mail.ru.

СТУПАКОВ А.Г.,

доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры земледелия, агрохимии и экологии ФГБОУ ВО «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина» e-mail: Alex.stupackow@yandex.ru.

Реферат. В работе рассматривается возможность адаптации эволюционных процедур к задаче интеллектуального синтеза технологических процессов в аграрном производстве с учетом воспроизводства плодородия почв. Для этого проводится адаптация генетического алгоритма с использованием инструментального средства теории сетей Петри к решаемой задаче структурного синтеза дискретных технологических систем. Для описания работы генетического алгоритма предлагается использование вложенных сетей Петри, в которых метка первого уровня является сетью и описывает полученную в результате синтеза систему, а переходы моделируют работу операторов генетического алгоритма. Для осуществления процедуры интеллектуального синтеза предлагается создание моделей компонентов, входящих в состав технологической системы, на основе которых будет получена общая модель. Степень адекватности полученных моделей определяется путем их запуска (имитационного моделирования), то есть на вход модели подается заранее заданный вектор, запускается модель и сравнивается выходной вектор с эталонным, как расстояние между двумя векторами в декартовой системе координат (расстояние Хемминга). Для кодирования элементов синтезируемой системы в виде бинарной строки, с целью дальнейшего использования в рамках генетического алгоритма, предложено использование бинарного графа. В предложенной модели адаптированном генетическом алгоритме хромосомы представлены в виде бинарных деревьев с одинаковой длиной ветвей (в которых содержится информация о структуре модели технологической системы), что позволило создавать хромосомы с одинаковой длиной, при

*Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ: № 16-29-12911-офи _м
этом каждая запись имеет смысловую нагрузку и позволит собрать матрицы Р/Т и Т/Р для проведения вычислительного эксперимента.

Ключевые слова: эволюционные процедуры, плодородие почвы, удобрения, имитационное моделирование, теория сетей Петри, технологические процессы.

EVOLUTIONARY SYNTHESIS OF TECHNOLOGICAL PROCESSES IN AGRICULTURE AGRICULTURE

PETROSOV D.A.,

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Informatics and Information Technologies of the FGBOU VO "Belgorod State Agrarian University named after V.Ya. Gorina "; e-mail: Scorpionss2002@mail.ru.

KULIKOVA M.A.,

Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Agriculture, Agrochemistry and Ecology FGBOU VO "Belgorod State Agrarian University named after V.Ya. Gorina "; e-mail: Kursi -2010 @ mail.ru.

STUPAKOV A.G.,

Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Agriculture, Agrochemistry and Ecology of the FGBOU VO "Belgorod State Agrarian University named after V.Ya. Gorina "e-mail: Alex.stupackow@yandex.ru.

Essay. The paper considers the possibility of adapting evolutionary procedures to the task of intellectual synthesis of technological processes in agrarian production, taking into account the reproduction of soil fertility. For this purpose, the genetic algorithm is adapted using the instrumental tool of the Petri net theory to the problem of structural synthesis of discrete technological systems being solved. To describe the work of the genetic algorithm, it is

proposed to use embedded Petri nets, in which the first-level label is a network and describes the system obtained as a result of the synthesis, and the transitions model the operation of the operators of the genetic algorithm. To implement the procedure of intellectual synthesis, it is proposed to create models of components that make up the technological system, on the basis of which a general model will be obtained. The degree of adequacy of the obtained models is determined by their launch (simulation), that is, the input of the model is given a predetermined vector, the model is launched and the output vector is compared with the reference one as the distance between two vectors in the Cartesian coordinate system (Hamming distance). To encode the elements of the synthesized system in the form of a binary string, for the purpose of further use within the framework of the genetic algorithm, the use of a binary graph is suggested. In the proposed model of the adapted genetic algorithm, the chromosomes are represented as binary trees with the same length of branches (which contain information on the structure of the technological system model), which allowed the creation of chromosomes of the same length, with each record having a semantic load and allowing the P / T matrices and T / P for a computational experiment.

Key words: evolutionary procedures, soil fertility, fertilizers, simulation modeling, Petri nets theory, technological processes.

Введение. В настоящее время большинство процессов, протекающих в жизни человека, автоматизированы. При этом с каждым днем растёт количество устройств, приложений, машинного оборудования, которые снабжены интеллектуальными алгоритмами функционирования.

Не является исключением и сфера интеллектуального синтеза технологических систем в различных отраслях. Агропромышленная отрасль также нуждается в разработке современных интеллектуальных методов, которые направлены на создание современных советующих систем, как в области управления технологическими процессами, так и в области их проектирования с учетом воспроизводства почвенного плодородия.

Это обусловлено тем, что количество компонентов, из которых потенциально может состоять система, постоянно растет и становится сложно учитывать специфику каждого оборудования, степень его интеграции в существующую систему и т.д.

Поэтому разработка новых моделей и метод интеллектуального синтеза технологических процессов становится актуальной. Это позволит разработчику адаптировать или принять предложенное решение к поставленной задаче, и при этом существенно сократить потраченное им на это время.

Материал и методика исследования. В качестве основной методики исследования предлагается использование генетических алгоритмов (ГА), как основного инструментального средства поиска решений [1. – С. 56]. В отличие от традиционных методов поиска решений ГА оперирует с бинарной кодовой строкой, что в значительной мере упрощает его программную и аппаратную реализацию, так как преобразование кодовой строки не имеет связи с их семантикой. При этом процесс поиска решений происходит в разных точках, а это позволяет не попадать в локальный экстремум функции. Кроме того, генетический алгоритм обладает свойством параллелизма и простотой операций с бинарной кодовой строкой при поиске решений, который можно использовать с современной технологией GPGPU (General-purpose computing for graphics processing units, неспециализированные вычисления на графических процессорах), а это может в значительной мере повысить быстродействие интеллектуальных советующих систем и снизить себестоимость оборудования.

Генетический алгоритм нуждается в адаптации к предметной области, в которой планируется его применение. В данной работе предлагается использовать математический аппарат теории сетей Петри для адаптации к решаемой задаче синтеза технологических систем в АПК [2. – С. 83].

Этот математический аппарат, так же как и генетические алгоритмы, обладает свойством параллелизма, что может быть использовано в дальнейших исследованиях, при создании интеллектуальных советующих систем синтеза технологических систем на основе технологии GPGPU.

Теория сетей Петри имеет большое количество расширений, что позволяет говорить о достаточности данного математического аппарата, как средства описания элементов технологических систем в АПК и создании на их основе имитационных графоаналитических моделей технологических линий.

Результаты исследования. Задача структурного синтеза технологической системы может быть представлена следующим образом.

Дано:

$$S = \langle K, E \rangle,$$

где S – технологическая система, интеллектуальный синтез которой следует провести; K – структура синтезируемой системы; E – состав системы.

Система S может состоять из множества элементов:

$$E = (E_1, \dots, E_R),$$

где E_i – i-й компонент технологической системы, а R – общее количество компонентов, которые входят в систему.

Каждому компоненту системы соответствует конкретный экземпляр, то есть на место каждого компонента в синтезируемой системе можно поставить определенное количество аналогов, выполняющих одинаковую функцию. Математически это можно записать следующим образом:

$$E_i = \left\{ E_{ij} \right\}_{j=1}^{M_i},$$

где E_{ij} – j-экземпляр для i-го компонента учитывающий особенности воспроизведения плодородия почвы, общее количество экземпляров – M.

Допустим, что синтезируемая технологическая система должна обладать некоторым множеством свойств

$$U = \{ U_k \}_{k=1}^L.$$

Тогда при синтезе технологической системы S требуется подобрать такую конфигурацию компонентов $E_{ij(k_0)}$, чтобы совокупность их свойств давала требуемый результат при функционировании системы S с учетом свойств и показателей почвенного плодородия:

- содержание гумуса в почве %;
- содержание валовых форм NPK, (мг/кг почвы);
- содержание подвижных форм NPK, (мг/кг почвы);
- обменная кислотность (pH_{KCl});
- гидролитическая кислотность (Нг, мг-экв./100 г. почвы);
- сумма поглощенных оснований (S, мг-экв./100 г. почвы);
- степень насыщенность почв основаниями (V, %).

Так как в качестве математического инструментария для описания самой системы S и средства интеллектуального синтеза был выбран математический инструментарий сети Петри, следовательно, требуется представить данную систему в соответствующем виде.

Каждому компоненту $E_{ij(k_0)}$, с заданным свойством будет представлена имитационная модель на основе сети Петри PN_{ij} , отражающая перечисленные показатели плодородия почвы на основе факторов, регулирующих свойства и показатели плодородия почвы. На основании мнения экспертов в области земледелия и агрохимии к наиболее важным факторам принято относить многолетние травы в структуре посевных площадей и удобрения:

- минеральные (азотные, фосфорные, калийные, сложные);
- органические (навоз, сидераты, послеуборочные остатки, нетоварная часть продукции).

А в качестве структуры может выступать соотношение между выходами предыдущего компонента OUT_i (i-я выходная позиция) и входами следующего IN_i (i-я входная позиция), соединенных дугой через переход T, то есть

$$F : T \rightarrow \bigcup_{i=1}^R (IN_i \cup OUT_i).$$

Такое соответствие полностью определяет структуру синтезируемой технологической системы с использованием сетей Петри. [3. – С. 207]

Таким образом, синтезируемую технологическую систему можно представить:

$$PN = \langle PN_1, \dots, PN_i, \dots, PN_R, T, F \rangle$$

Для определения свойства технологической системы S предлагается использовать пару неотрицательных векторов:

$$L_{IN} = (l_1^{IN}, \dots, l_{V_0}^{IN}) \text{ и } L_{OUT} = (l_1^{OUT}, \dots, l_{W_0}^{OUT}),$$

где l_v^{IN} – на данном этапе исследования будет определять количество меток, которые оказались во v-ую входной позиции перед проведением имитационного моделирования, полученной в результате интеллектуального структурного синтеза сети PN, а l_w^{OUT} – соответственно количество меток, которые оказались w-ой выходной позиции после проведения вычислительного эксперимента над полученной моделью сети PN, V_0 и W_0 – число элементов множеств IN и OUT соответственно [4. – С.140, 5. – С. 36].

После проведения вычислительного эксперимента над полученной моделью следует определить меру близости полученной модели к синтезируемой. Для этого предлагается использовать расстояние Хемминга между полученным в результате имитационного моделирования вектором Z_{OUT} и эталонным вектором Z_{OUT}^k .

Чем меньше будет данное расстояние, тем ближе полученная в результате интеллектуального синтеза модель технологической системы к искомой. Именно это отношение будет использоваться в качестве функции принадлежности.

Генетический алгоритм работает с бинарной строкой, следовательно, требуется закодировать модели элементов синтезируемой системы в виде бинарной кодовой строки.

Для этого предлагается использовать бинарные деревья с одинаковой длиной дуг (рисунок 1).

Таким образом, в бинарной строке модель элемента PN1 будет представлена комбинацией 00 и 11, PN2 – 01, PN3 – 10. Модель PN1 имеет дублированное представление, так как это дает возможность исключить ситуацию, в которой полученная комбинация 11 не будет иметь смысл.

Если в интеллектуальном синтезе принимает участие 10 элементов, то количество окончаний дуг должно быть выбрано больше числа элементов к ближайшему числу, которое можно получить, возведя число 2 в степень.

При количестве элементов 10 такое число 16. Следовательно, потребуется продублировать шесть элементов, что бы все комбинации нулей и единиц в четырех разрядах имели смысл.

Так как в данном исследовании рассматривается фиксированная структура технологической системы, то есть ее может задавать эксперт при начале интеллектуального синтеза, то не рассматривается возможность работы генетического алгоритма с данной частью бинарной строки, однако представленный подход располагает возможностями для кодирования соединений элементов системы.

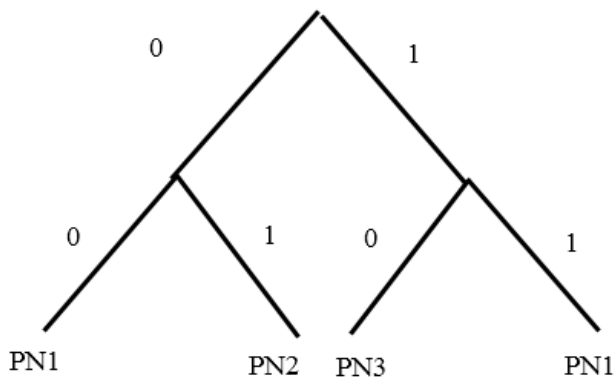


Рисунок 1 – Пример кодирования моделей элементов системы

Проведем моделирование генетического алгоритма с помощью вложенной сети Петри. На рисунке 2 показана полученная модель.

По позициям представленной модели будет передвигаться макро-метка, которая несет в себе информацию о бинарной строке (особи популяции), а сама бинарная строка является сетью Петри.

Работу операторов генетического алгоритма представляют следующим образом:

1. Оператор SEL (Select) подготавливает начальную популяцию (вычисляет функцию приспособленности, в нашем случае расстояние Хемминга), оце-

нивает сгенерированные случайным образом особи и подготавливает пары для скрещивания (оператор может быть подвержен настройке по принципу работы: рулеточный, турнирный и т.д.).

2. Оператор CROSS выполняет обмен частью бинарных кодов родителей, тем самым порождает так называемых потомков (оператор может быть подвержен настройке: одноточечный, двухточечный и многоточечный)

3. Оператор MUT выполняет замену бита кодовой строки на противоположный. Срабатывание данного оператора происходит в зависимости от выставленной вероятности (оператор может быть настроен: вероятность мутации, количество битов мутации).

4. Оператор RED (Reduction) выполняет оценку полученного поколения (вычисляет функцию приспособленности, в нашем случае расстояние Хемминга), особи с худшим значением функции уничтожаются оператором, в популяции остаются только особи с лучшей функцией приспособленности.

Работа операторов продолжается с оставшимися особями до выполнения требований останова:

1. Найдено решение.
2. Закончилось время на поиск решения.
3. Обработано определенное количество популяций [6. – С. 1774].

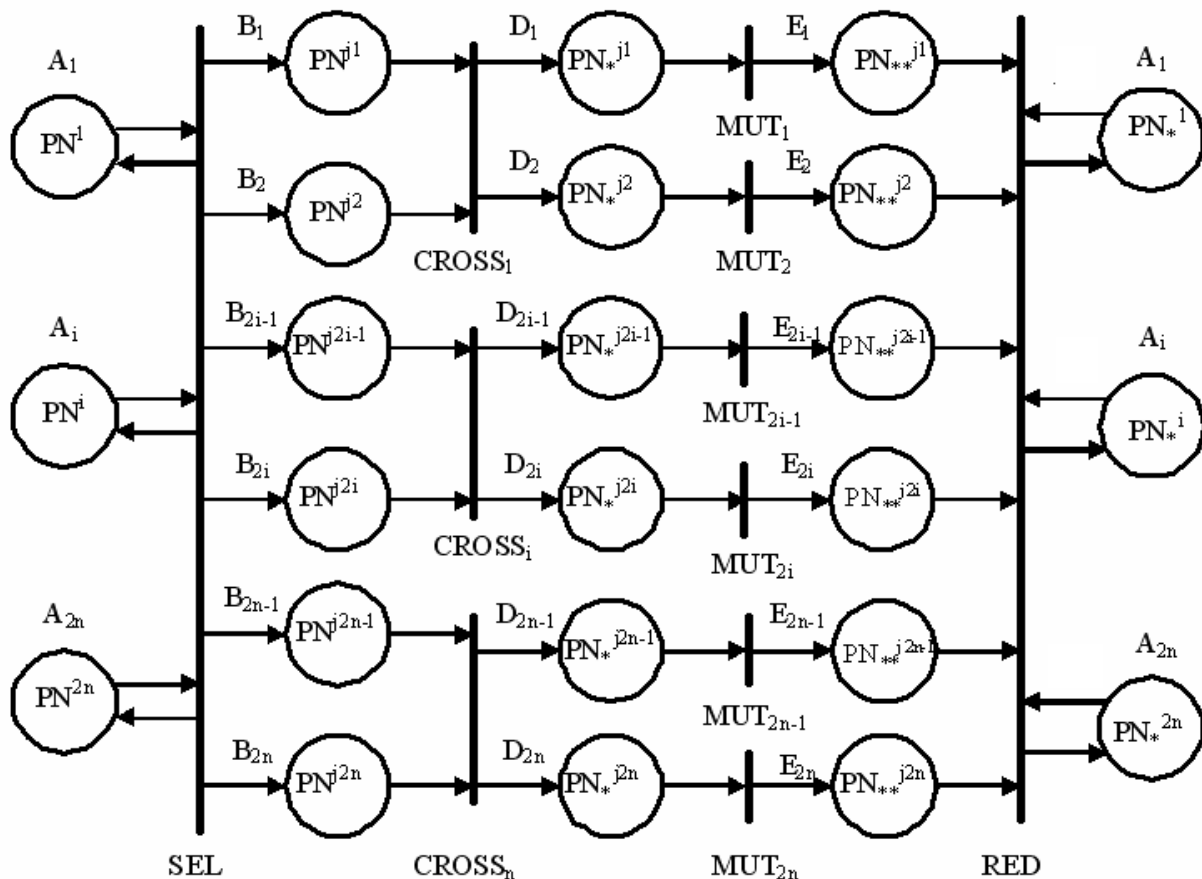


Рисунок 2 - Формализация генетического алгоритма с помощью вложенных сетей Петри

Таким образом, решение задачи по интеллектуальному синтезу технологических систем в агропромышленном комплексе с помощью предложенных моделей и методов можно представить в следующем виде:

Алгоритм решения можно описать следующим образом:

1. Определить структуру синтезируемой технологической системы.
2. Определить библиотеку компонентов, на основе которых следует проводить синтез системы.
3. Подобрать элементы для каждого вида компонентов.
4. Для каждого элемента создать модели на основе сетей Петри, отражающие интересующие в процессе синтеза свойства элемента.
5. Задать свойство, которым должна обладать синтезируемая технологическая система, в виде пары векторов $Z_k = (Z_{IN}^k, Z_{OUT}^k)$.
6. Настроить работу операторов генетического алгоритма (настройка операторов выполняется экспертом один раз и не требует постоянной корректировки в процессе использования).
7. Определить количество циклов работы предложенной модели и условие останова.
8. Запустить представленную модель на исполнение.
9. При выполнении условий останова в позиции A_1 , модели генетического алгоритма на основе вложенных сетей Петри, окажется модель PN синтези-

руемой технологической системы S , которая лучше всех удовлетворяет заданному свойству Z_k [7. – С. 123].

Таким образом, задача создания модели технологической системы на основе заданной элементной базы и обладающей требуемым свойством будет решена.

Выводы. В ходе выполнения исследования разработана имитационная модель генетического алгоритма, которая способна проводить процедуру структурного синтеза технологических систем в агропромышленном комплексе, по оптимизации свойств и параметров показателей почвенного плодородия. Предложенный подход позволяет находить конфигурации моделей систем, которые удовлетворяют критериям поиска. Предложенный математический аппарата и эволюционная процедура обладают свойством параллелизма, что даст возможность применить технологию GPGPU для увеличения быстродействия при программной и аппаратной реализации интеллектуальной информационной системы поддержки принятия решений. Кроме того, возможна реализация данного подхода для синтеза решений не только в области формирования конфигураций технологических систем, но и в других предметных областях, таких как синтез структуры севооборотов, систем основной обработки почвы и защиты растений, агротехнологических процессов, вычислительной техники, энергетических систем, документооборота и т.д.

Список использованных источников

1. Курейчик В.М., Лебедев Б.К., Лебедев О.К. Поисковая адаптация: теория и практика. – М: Физматлит, 2006. – С. 272.
2. Ломазов В.А., Ломазова В.И., Петросов Д.А. Эволюционная процедура поддержки принятия решений при моделировании взаимосвязанных процессов // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. – 2014. – № 2 (51). – С. 82 – 89.
3. Эволюционная процедура структурного и параметрического синтеза имитационных моделей систем документооборота / В.А. Ломазов и др. // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: История. Политология. Экономика. Информатика. – 2013. – Т. 28-1 – С. 204 – 209.
4. Петросов Д.А. Математическая модель формирования конфигурации вычислительной техники на основе триггеров // Вестник Ижевского государственного технического университета. - 2009. - № 3. - С. 139-143.
5. Многокритериальная оценка и выбор земельных ресурсов агробизнес-проектов / М.А. Куликова, В.А. Ломазов, И.Б. Оганова и др. // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2013. – № 7. – С. 36-38.
6. Large discrete systems evolutionary synthesis procedure / D.A. Petrosov, V.A. Lomazov, A.I. Dobrunova et al. // Biosciences Biotechnology Research Asia. - 2015. - Т. 12. - № 2. - С. 1767-1775.
7. Петросов Д.А., Ломазов В.А., Басавин Д.А. Эволюционный синтез систем на основе заданной элементной базы компонентов // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. - 2015. - Т. 34. - № 7-1. - С. 116-124.

List of sources used

1. Kureichik V.M., Lebedev B.K., Lebedev O.K. Search engine adaptation: theory and practice. - M: Fizmatlit, 2006. - P. 272.
2. Lomazov V.A., Lomazova V.I., Petrosov D.A. Evolutionary procedure for supporting decision-making in the modeling of interrelated processes // Issues of modern science and practice. University of. IN AND. Vernadsky. - 2014. - No. 2 (51). - P. 82 - 89.

3. Evolutionary procedure of structural and parametric synthesis of simulation models of document management systems / V.A. Lomazov and others // Scientific bulletins of the Belgorod State University. Series: History. Political science. Economy. Computer science. - 2013. - T. 28-1 - C. 204 - 209.
 4. Petrosov D.A. Mathematical model of forming the configuration of computer technology on the basis of triggers // Vestnik Izhevsk State Technical University. - 2009. - No. 3. - P. 139-143.
 5. Multicriteria evaluation and selection of land resources of agribusiness projects / M.A. Kulikova, V.A. Lomazov, I.B. Oganov and others // Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. - 2013. - No. 7. - P. 36-38.
 6. Large discrete systems evolutionary synthesis procedure / D.A. Petrosov, V.A. Lomazov, A.I. Dobrunova et al. // Biosciences Biotechnology Research Asia. - 2015. - T. 12. - No. 2. - P. 1767-1775.
 7. Petrosov D.A., Lomazov V.A., Basavin D.A. Evolutionary synthesis of systems based on a given element base of components // Scientific Bulletin of Belgorod State University. Series: The Economy. Computer science. - 2015. - T. 34. - № 7-1. - P. 116-124.
-