

УДК 519.876.2

Д. А. Петросов, канд. техн. наук, доцент, Белгородский аграрный университет им. В. Я. Горина (Белгород, Россия) (e-mail: scorpionss2002@mail.ru)

А. Г. Бажанов, канд. техн. наук, Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова (Белгород, Россия) (e-mail: all_exe@mail.ru)

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ СТРУКТУРНЫЙ СИНТЕЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ ЭВОЛЮЦИОННЫХ МЕТОДОВ И ТЕОРИИ СЕТЕЙ ПЕТРИ

В настоящее время существует задача разработки новых методов интеллектуального структурного и параметрического синтеза технологических систем, которые будут обладать универсальностью применения в различных предметных областях и высоким быстродействием. Такого рода методы предлагается строить на основе четырех современных направлений: имитационном моделировании, эволюционных методов, теории сетей Петри и параллельных вычислений. Следовательно, все четыре направления должны быть объединены одним математическим аппаратом, который поддерживает как программную, так и аппаратную реализацию. В работе рассматривается возможность применения генетических алгоритмов к решению задачи структурного синтеза технологических процессов, подразумевая дальнейший переход на параметрический синтез и подключение технологии GPGPU (General-purpose computing for graphics processing units, неспециализированные вычисления на графических процессорах). Для описания работы генетического алгоритма и элементной базы, на основе которой будет происходить процедура синтеза, предлагается использование математического аппарата теории сетей Петри. Предложенный подход ориентирован на синтез систем с фиксированной структурой. При определении структуры используется пространственная методология IDEF3. Применение данной методологии обусловлено тем, что она позволяет выявить точки потенциальных разветвлений, которыми являются логические перекрестки. Для иллюстрации работы генетического алгоритма на основе вложенных сетей Петри были созданы модели всех видов перекрестков методологии IDEF3 и модели процессов, которые протекают при выращивании озимой пшеницы. Проведено имитационное моделирование с использованием программного средства PIPE v 5. Данное программное средство распространяется бесплатно и предназначено для моделирования работы сетей Петри. В результате вычислительного эксперимента были получены модели технологического процесса выращивания озимой пшеницы, которые соответствуют заданному критерию экономической выгоды для условного сельскохозяйственного предприятия.

Ключевые слова: технологические процессы, имитационное моделирование, теория сетей Петри, генетические алгоритмы.

Ссылка для цитирования: Петросов Д. А., Бажанов А. Г. Интеллектуальный структурный синтез технологических процессов на основе эволюционных методов и теории сетей Петри // Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение. 2018. Т. 8, № 2 (27). С. 41–51.

Введение

Одним из направлений современной науки является разработка интеллектуальных методов для систем поддержки принятия решений [1; 2], в данном направлении ведется множество исследований как в отечественными [3–5], так и зарубежными учеными.

Одной из задач данного направления является разработка методов интеллектуального структурного синтеза дискретных систем [6]. В совокупности исследований в данной предметной области

можно определить два ведущих направления.

В первом задача структурного синтеза решается на предметном уровне, не выходя за рамки конкретного типа, в редких случаях класса, технических объектов. Основной массив работ в этой парадигме выполнен специалистами-схемо-техниками в области цифровой, вычислительной техники и информационных систем.

Второе направление – разработка универсальных методов структурного синтеза, применимых для различных тех-

нических объектов и не зависящих от отраслевой или цеховой специфики.

При синтезе систем принято представлять три основных направления:

1. Параметрический синтез.
2. Структурный синтез.
3. Синтез конструкций.

В качестве основных для решения задачи структурного синтеза приняты следующие направления:

1. Формальный синтез.
2. Специализированные методы синтеза.
3. Компьютерный синтез.
4. Эвристический синтез.
5. Комбинаторно-логические методы синтеза.

6. Интеллектуальные методы синтеза.

Наиболее распространенным математическим аппаратом для описания процедуры синтеза является теория графов (графоаналитические методы).

К примеру, в комбинаторно-логических методах принято решать задачу синтеза с помощью следующих методов:

1. Морфологический синтез.
2. Синтез «Вперед».
3. Синтез по А-деревьям.
4. Синтез по многодольным графам.
5. Синтез по ориентированным гиперграфам.
6. Логические системы синтеза.

Исходя из вышесказанного можно сделать вывод, что задача создания универсального метода структурного синтеза для интеллектуальных систем поддержки принятия решений является актуальной.

Постановка задачи

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;

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:

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

где E_{ij} – j -экземпляр для i -го компонента;

M – общее количество экземпляров.

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 .

Так как в качестве математического инструментария для описания самой системы S и средства интеллектуального синтеза был выбран математический инструментарий сетей 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} . 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 [5, с. 207].

Таким образом, синтезируемую технологическую систему можно представить в виде

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

В данной работе для определения стоимости технологического процесса будем сравнивать вес метки (начальное значение равно 0), который инкрементируется в соответствии со стоимостью той или иной операции при имитационном моделировании, полученной в результате синтеза PN_i . В дальнейшем сравним это значение с заданным, разность между эндогенной переменной и эталонным значением и будет значением функции приспособленности.

Чем меньше модуль значение функции, тем ближе полученная в результате интеллектуального синтеза модель технологической системы к искомой.

Метод, предложенный в статье

В данном исследовании структура синтезируемой технологической системы остается фиксированной, однако ее следует создать.

Для этого будем использовать методологию IDEF3, которая позволит описать технологический процесс. На рисунке 1 показан пример технологического процесса выращивания озимой пшеницы с помощью технологии нулевой обработки почвы No Till (упрощенная модель процесса составлена с привлечением агрономов Белгородского ГАУ им. В. Я. Горина).

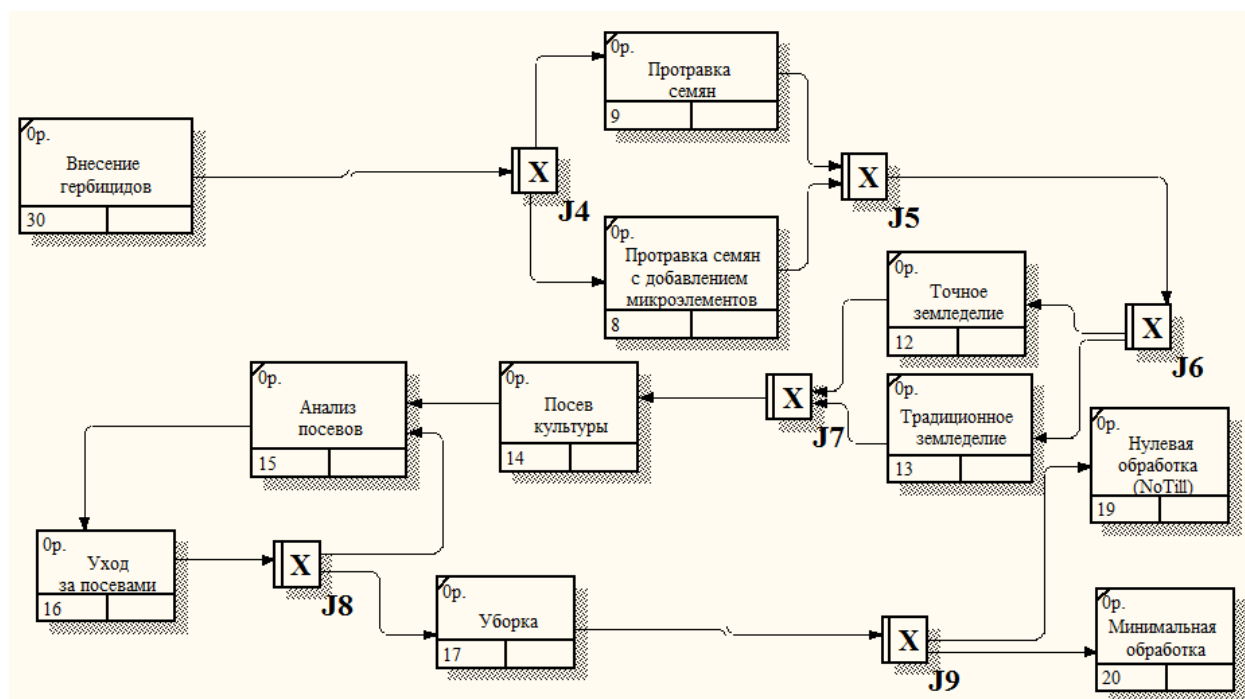


Рис. 1. Пример технологического процесса выращивания озимой пшеницы с помощью технологии нулевой обработки почвы No Till

Согласно мнению специалистов агрономов, технологический процесс выращивания озимой пшеницы является устоявшимся с учетом региональной осо-

бенности, но в нем есть разветвления, которые могут в значительной мере влиять как на качество, так и на количество урожая. Эти точки и должны быть подвер-

жены синтезу. В данной работе рассматривается возможность синтеза технологического процесса в соответствии с экономическими требованиями, поэтому для каждого процесса будет назначена стоимость его выполнения и синтез будет осуществляться на всех компонентах.

На данной диаграмме разветвления в технологическом процессе связи между элементами указаны с помощью перекрестков. Именно изменения в этих местах процесса могут влиять на эндогенные переменные системы. Взаимосвязь остальных элементов системы остается неизменной.

Моделирование компонентов и их взаимосвязь в предлагаемой модели интеллектуального структурного синтеза

осуществляется с помощью теории сетей Петри, поэтому требуется создать элементную базу моделей на выбранном математическом аппарате.

Для полноценного функционирования структуры, которая не будет подвергаться изменению, требуется создать модели перекрестков на основе сетей Петри:

- синхронные «ИЛИ», «И»;
- асинхронные «ИЛИ», «И», «Исключающее ИЛИ».

Кроме того, следует учесть, что данные перекрестки могут быть как разветвляющими (J4), так и объединяющими (J5).

На рисунке 2 показаны разработанные модели для перекрестка «ИЛИ».

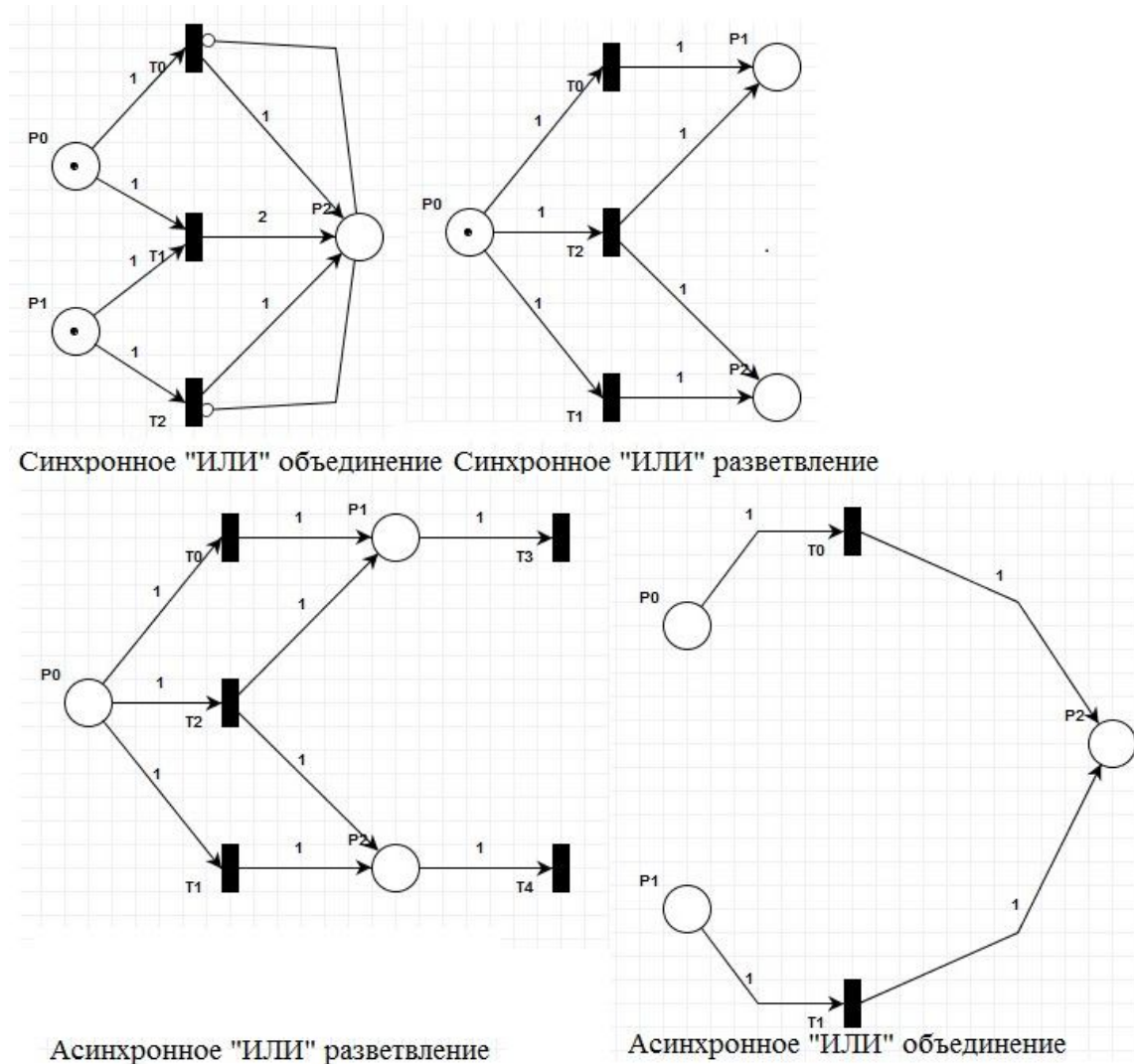


Рис. 2. Модели перекрестка «ИЛИ» на основе сетей Петри

Так как логический перекресток данного типа в методологии IDEF3 может функционировать в синхронном и асинхронном режиме, а также может выполнять функции объединения и разветвления процессов, то требуется разработать четыре модели. Работа перекрестка синхронного «ИЛИ» на объединение подразумевает, что один или несколько процессов (входящих в перекресток) должны быть закончены одновременно, асинхронное «ИЛИ» не ставит задачу одновременного окончания процессов.

При разветвлении (выход соединительных дуг из перекрестка) при синхронном «ИЛИ» один или несколько процессов запускаются одновременно, а в случае асинхронного представления один или несколько процессов запускаются, но не обязательно одновременно.

На рисунке 3 показаны разработанные модели перекрестка «И» на основе сетей Петри.

Перекресток логическое «И» также представлен четырьмя моделями. Отличие логического «И» от «ИЛИ» заключается в том, что все процессы должны быть исполнены или запущены. При синхронном представлении процессы начинаются или заканчиваются одновременно, а при асинхронном одновременность запуска процессов не обязательна.

На рисунке 4 показаны модели перекрестка «Исключающее ИЛИ». Исключающее «ИЛИ» работает только в асинхронном режиме, так как возможен запуск или окончание только одного процесса, поэтому для данного вида логического перекрестка разработано две модели на основе математического аппарата сетей Петри.

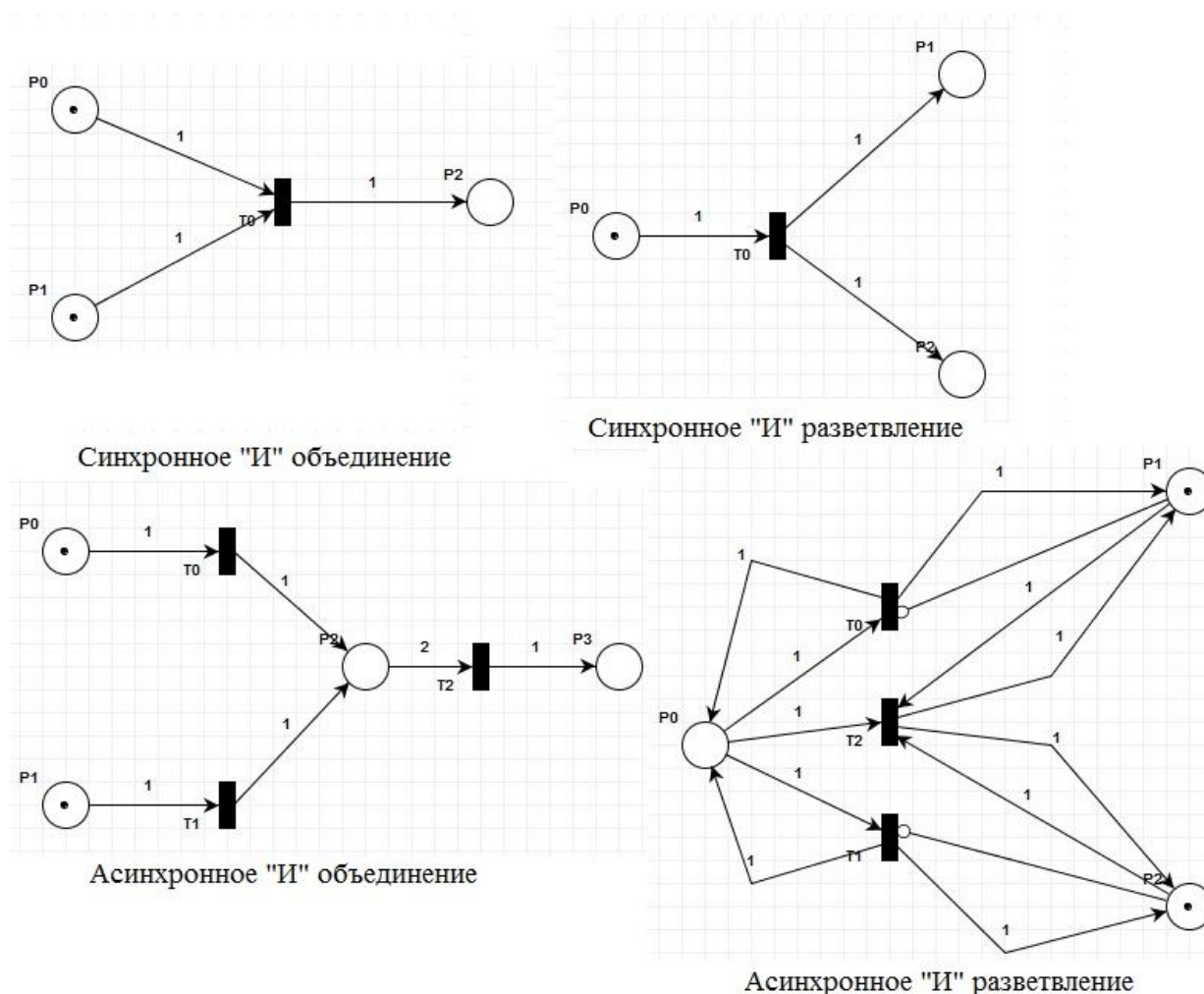


Рис. 3. Модели перекрестка «И» на основе сетей Петри

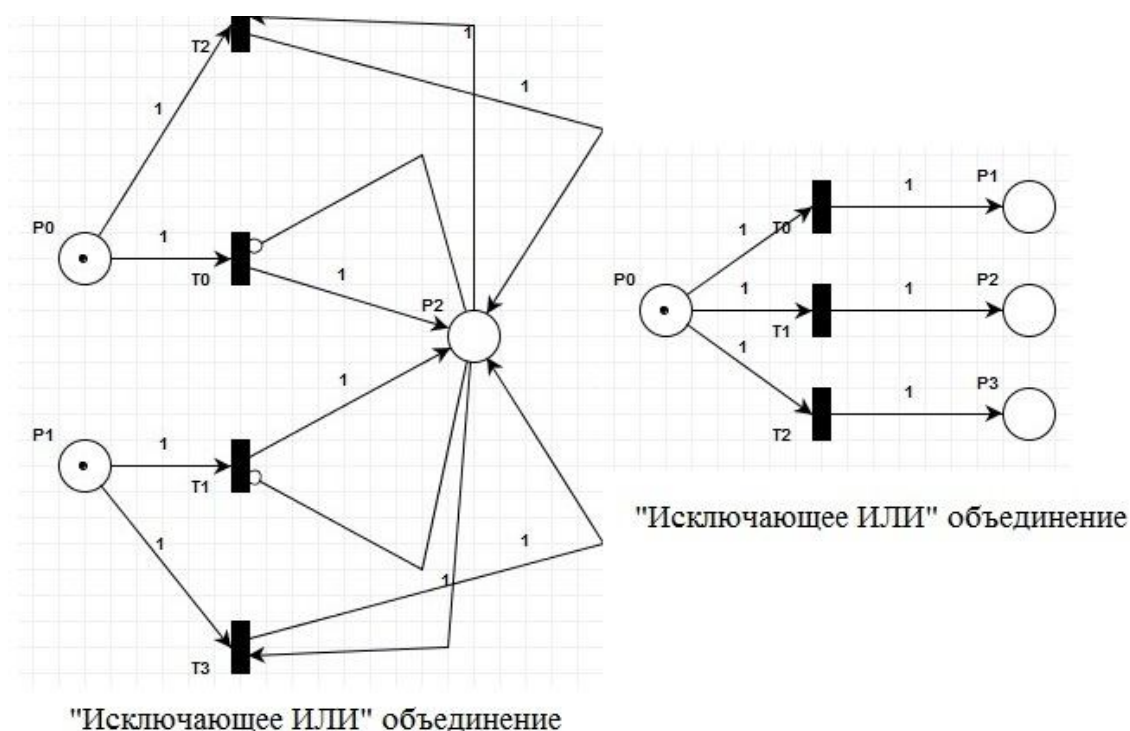


Рис. 4. Модели перекрестка «Исключающее ИЛИ» на основе сетей Петри

Кроме логических перекрестков требуется провести моделирование процессов. В зависимости от решаемой задачи модели процесса могут отличаться, так как в данной работе требуется произвести синтез технологической системы, которая будет удовлетворять затратам аграрного предприятия на процесс выращивания озимой пшеницы, следовательно, модель процесса можно представить следующим образом (рис. 5).

Перекресток T_0 изменяет предыдущий вес метки H (в начале вычислительного эксперимента значение равно 0), инкрементируя его на стоимость операции.

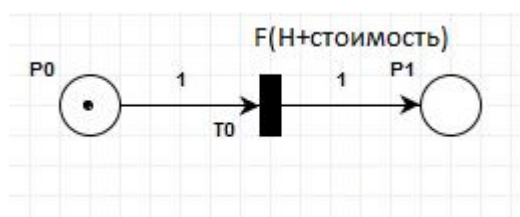


Рис. 5. Упрощенная модель технологического процесса, которая решает задачу расчета стоимости операции

После создания элементной базы следует разработать модель, которая будет отражать работу генетического алгоритма. Для описания работы генетического алгоритма предлагается использовать такое расширение сетей Петри, как вложенные сети. В данном представлении метка первого уровня является сетью. Это свойство и предлагается использовать. Каждая макрометка первого уровня разработанной модели будет представлять собой сеть Петри, которая моделирует работу синтезируемой технологической системы и является генотипом популяции.

На рисунке 6 показана модель генетического алгоритма на основе вложенных сетей Петри.

Роль операторов генетического алгоритма исполняют переходы верхнего уровня сети: переход SEL (оператор отбора), переходы $CROSS_i$ (оператор скрещивания), переходы MUT_i (оператор мутации), переход RED (оператор редукции).

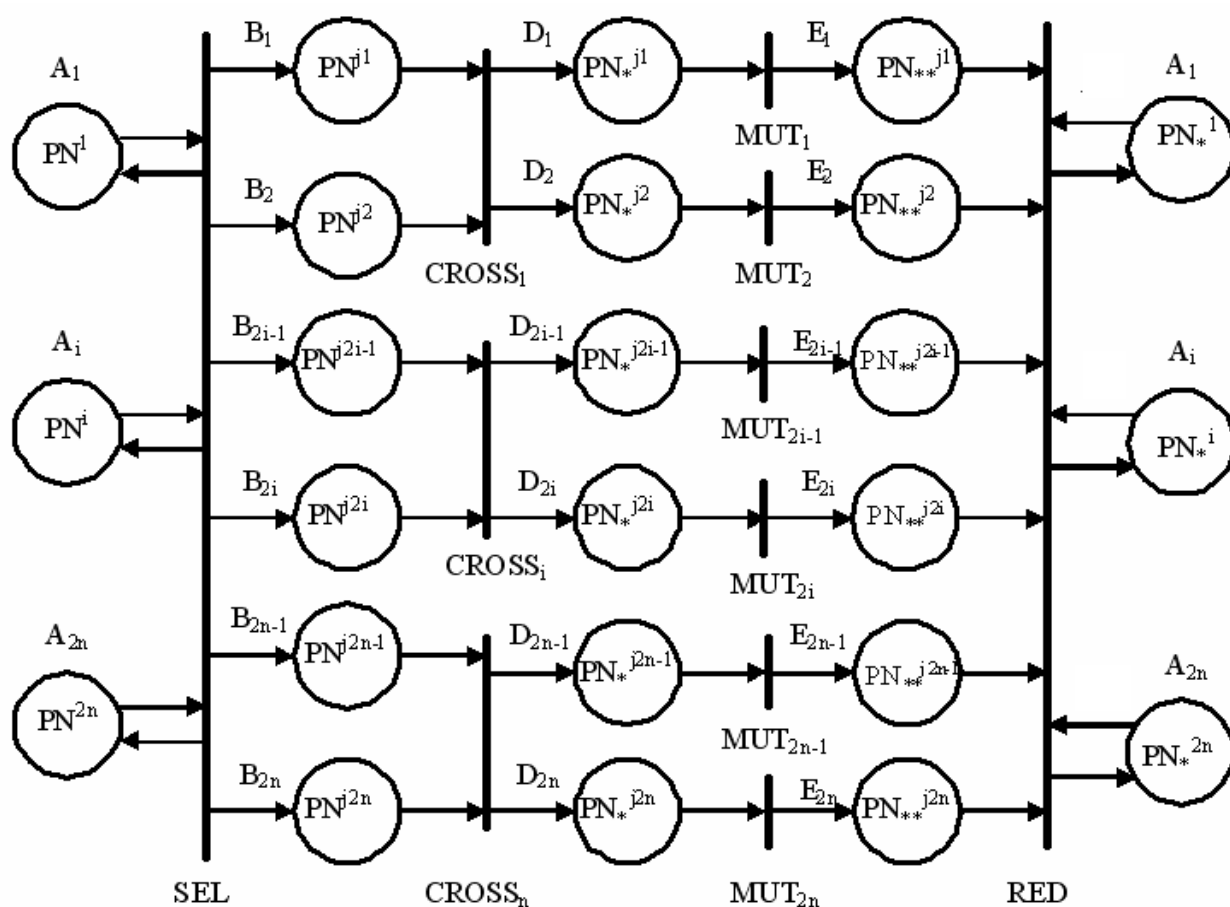


Рис. 6. Модель генетического алгоритма на основе вложенных сетей Петри

Работу операторов генетического алгоритма представляют следующим образом:

1. Оператор SEL (Select) подготавливает начальную популяцию (вычисляет функцию приспособленности, значение, меньшее или равное заданной сумме в денежном эквиваленте, которую готово затратить аграрное предприятия на выполнение технологического процесса), оценивает сгенерированные случайным образом особи и подготавливает пары для скрещивания (например, лучшие с лучшими).

2. Оператор CROSS выполняет обмен частью элементов технологической системы родителей, тем самым порождает так называемых потомков.

3. Оператор MUT выполняет замену элемента технологической системы на любой возможный.

4. Оператор RED (Reduction) выполняет оценку полученного поколения, вычисляя функцию приспособленности. Особи с худшим значением функции уничтожаются оператором, в популяции остаются только особи с лучшей функцией приспособленности, что отражает «элитарную стратегию».

Работа предложенной модели продолжается с оставшимися особями до выполнения требований останова:

1. Найдено решение.
2. Закончилось время на поиск решения.
3. Обработано определенное количество популяций.

Вычислительный эксперимент

В таблице представлены варианты стоимости каждого из процессов, которые возникают при выращивании озимой пшеницы.

№	Название операции	Условное обозначение	Стоимость, т.р.
1	Внесение гербицидов	ВГ200	200
		ВГ150	150
		ВГ300	300
2	Протравка семян	ПС0	0
		ПС500	500
		ПС700	700
3	Протравка семян с добавлением микроэлементов	ПСМ1000	1000
		ПСМ0	0
		ПСМ1500	1500
4	Точное земледелие	Точ31000	1000
		Точ3М0	0
		Точ3М1500	1500
5	Традиционное земледелие	Т3100	100
		Т3150	150
		Т30	0
6	Посев культуры	ПК500	500
		ПК600	600
		ПК700	700
7	Анализ посевов	АП200	200
		АП300	300
		АП400	400
8	Уход за посевами	УП1000	1000
		УП1050	1050
		УП1300	1300
9	Уборка	У1000	1000
		У1400	1400
		У2000	2000
10	No Till	No Till	0
11	Минимальная обработка	МО1000	1000
		МО1050	1050
		МО2000	2000

Таким образом на основании представленных компонентов и экземпляров

будет сформирована начальная популяция по следующей структуре:

< ВГ, X, Обработка семян E_{ij} , X, Вид земледелия E_{ij} , X, ПК, АП, УП E_{ij} , X,
У, Обработка почвы E_{ij} >

где X – вид перекрестка (не подвергается воздействию операторов генетического алгоритма).

Пример особи популяции:

ВГ150, X, ПС500, ПСМ 1000, X, Т3100,
Точ31000, X, ПК600, АП300, УП1050, X,
У1000, No Till

Макрометка в виде сети Петри, соответствующая представленной особи, показана на рисунке 7.

Был реализован поиск решения при требовании бюджета выращивания в 5 500 тысяч рублей.

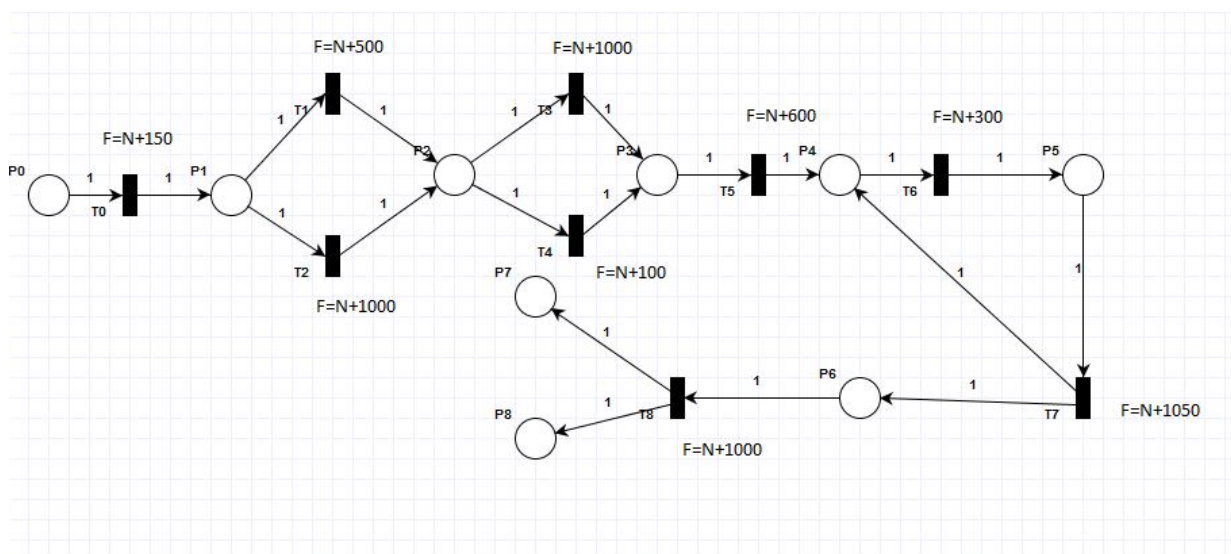


Рис. 7. Пример особи популяции на основе сетей Петри

В результате имитационного моделирования был получен ряд удовлетворяющих решений за 5 секунд:

ВГ150, X, ПС0, ПСМ 1000, X, ТЗ100,
Точ30, X, ПК600, АП300, УП1050, X,
У1000, No Till

ВГ300, X, ПС0, ПСМ 1000, X, ТЗ0,
Точ31000, X, ПК700, АП400, УП1300, X,
У1400, No Till

ВГ150, X, ПС0, ПСМ 1000, X, ТЗ0,
Точ31000, X, ПК700, АП400, УП1300, X,
У1400, No Till

Обсуждение результатов и заключение

В данной работе предложен подход к созданию нового метода синтеза технологических систем, который базируется на трех современных теориях: имитационном моделировании, теории сетей Петри и эволюционных методах. Полученные модели являются универсальным средством для синтеза дискретных систем, обладают свойством параллелизма и могут быть применены как при программной, так и при аппаратной реализации.

В статье рассматривается пример построения технологического процесса выращивания озимой пшеницы на основе предложенного подхода для анализа экономических показателей, однако возможно оценивание и таких показателей, как

экологичность, технологичность и т.д. Для этого требуется разработать библиотеку моделей элементов в нужной предметной области. Ранее данный метод был применен к задачам синтеза систем документооборота [7], синтеза вычислительной техники на базе триггерных элементов [8], а также создания роботизированного комплекса для строительной печати [9].

Стоит отметить, что предлагаемые модели дают возможность управлять процессом поиска решений путем перенастройки функционирования переходов, моделирующих работу операторов генетического алгоритма в процессе работы [10], что может в существенной мере снизить время поиска решений. Параллелизм, заложенный в суть предлагаемого метода за счет применяемых математических инструментов, может быть использован совместно с технологией GPGPU.

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

Список литературы

1. Булгаков С. С. Перспективы внедрения нейронных сетей в реализацию систем поддержки принятия решений // Молодой ученый. 2016. № 4 (108). С. 344–345.

2. Стрельцова Е. Д., Богомякова И. В., Стрельцов В. С. Модель распознающего автомата в системе поддержки принятия решений по управлению межбюджетным регулированием // Научные ведомости. Серия: История. Политология. Экономика. Информатика. 2013. № 1 (144). С. 157–163.

3. Юдицкий С. А., Магергут В. З., Чуев А. В. Бинарные сетевые дорожные карты процессов управления проектами // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2013. № 4. С. 1–9.

4. Юдицкий С. А., Магергут В. З., Чуев А. В. Моделирование потоковых систем обработки мобильных объектов на индикаторных сетях // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2015. № 5. С. 41–43.

5. Агентоцентрическое моделирование организационно-технологических систем / В. А. Игнатенко, А. Г. Бажанов, Д. А. Юдин, А. В. Чуев, С. А. Юдицкий // Системы управления, связи и безопасности. М.: Изд-во ООО "Корпорация "Интел Групп". 2016. № 2. С. 249–294.

6. Магергут В. З., Рубанов В. Г., Чуев А. С. Формализация и анализ дискретных организационно-технологических систем со структурированными агентами на индикаторных сетях: монография. Белгород: Изд-во БГТУ, 2016. 149 с.

7. Эволюционная процедура структурного и параметрического синтеза имитационных моделей систем документооборота / В. А. Ломазов, В. Л. Михайлова, Д. А. Петросов, Д. Б. Ельчанинов // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: История. Политология. Экономика. Информатика. 2013. Т. 28, № 1. С. 204.

8. Петросов Д. А. Математическая модель формирования конфигурации вычислительной техники на основе триггеров // Вестник ИжГТУ им. М. Т. Калашникова. 2009. № 3. С. 139–143.

9. Control system of robotic complex for constructions and buildings printing / A. G. Bazhanov, D. A. Yudin, V. A. Porkhalo, E. B. Karikov // Proceedings of The International Conference on Information and Digital Technologies. IEEE Xplore. Rzeszow, 2016. P. 23–31. DOI: 10.1109/DT.2016.7557145.

10. Петросов Д. А. Адаптивный структурно-параметрический синтез больших дискретных систем с заданным поведением с использованием искусственных нейронных сетей класса RAAM // Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы в XXI веке: сборник статей Международной научно-практической конференции. Белгород, 2017. С. 69–74.

Поступила в редакцию 12.04.18

UDC519.876.2

D. A. Petrosov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Belgorod Agrarian University. V. Ya. Gorina (Belgorod, Russia) (e-mail: scorpionss2002@mail.ru)

A. G. Bazhanov, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor, Belgorod State Technological University. V. G. Shukhov (Belgorod, Russia) (e-mail: all_exe@mail.ru)

INTELLIGENT STRUCTURAL SYNTHESIS OF TECHNOLOGICAL PROCESSES ON THE BASIS OF EVOLUTIONARY METHODS AND PETRI NETS THEORY

At present there is a task of developing new methods of intelligent structural and parametric synthesis of technological systems that will have the high speed and versatility of application in various subject areas. Such methods are proposed to be constructed on the basis of four modern directions: simulation, evolutionary methods, the Petri nets theory and parallel computations. Consequently, all this four directions must be united by one mathematical apparatus, which supports both software and hardware implementation. The paper considers the possibility of applying genetic algorithms to solution of the structural synthesis problem of technological processes, implying a further transition to parametric synthesis and connection of GPGPU technology (General purpose computing for graphics processing units). To describe the work of the genetic algorithm and the ele-

ment base on the basis of which the synthesis procedure will occur, it is proposed to use the mathematical apparatus of the Petri nets theory. The proposed approach is focused on the synthesis of systems with a fixed structure. To determine the structure we use a common methodology IDEF3. The application of this methodology is due to the fact that it allows to identify the points of potential branchings, which are logical intersections. To illustrate the work of genetic algorithm on the basis of embedded Petri nets we create the models of all types of intersections with IDEF3 methodology and models of the processes that occur during the cultivation of winter wheat. The simulation was carried out using the software PIPE v. 5. This is freeware which is intended for modeling the operation of Petri nets. As a result of the computational experiment we obtain the technological process models of growing winter wheat, which correspond to the specified criterion of economic benefit for a conditional agricultural enterprise.

Keywords: technological processes, simulation, Petri nets theory, genetic algorithms.

For citation: Petrosov D. A., Bazhanov A. G. Intelligent structural synthesis of technological processes on the basis of evolutionary methods and petri nets theory. Proceedings of the Southwest State University. Series: Control, Computer Engineering, Information Science. Medical Instruments Engineering, 2018, vol. 8, no. 2 (27), pp. 41–51 (in Russ.).

References

1. Bulgakov S. S. Perspektivy vnedreniya nejronnyh setej v realizaciyu sistem podderzhki prinyatiya reshenij. Molodoj uchenyj, 2016, no. 4 (108), pp. 344–345.

2. Strel'cova E. D., Bogomyagkova I. V., Strel'cov V. S. Model' raspoznavushchego avtomata v sisteme podderzhki prinyatiya reshenij po upravleniyu mezhbyudzhetnym regulirovaniem. Nauchnye vedomosti. Seriya: Istoriya. Politologiya. Ehkonomika. Informatika, 2013, no. 1 (144), pp. 157–163.

3. Yudickij S. A., Magergut V. Z., Chuev A. V. Binarnye setevye dorozhnye karty processov upravleniya proektami. Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika, 2013, no. 4, pp. 1–9.

4. Yudickij S. A., Magergut V. Z., Chuev A. V. Modelirovanie potokovyh sistem obrabotki mobil'nyh ob"ektov na indikatornyh setyah. Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika, 2015, no. 5, pp. 41–43.

5. Ignatenko V. A., Bazhanov A. G., Yudin D. A., Chuev A. V., Yudickij S. A. Agentocentricheskoe modelirovanie organizacionno-tekhnologicheskikh system. Sistemy upravleniya, svyazi i bezopasnosti. Moscow, OOO "Korporaciya "Intel Grupp" Publ., 2016, no. 2, pp. 249–294.

6. Magergut V. Z., Rubanov V. G., Chuev A. S. Formalizaciya i analiz diskretnykh organizacionno-tekhnologicheskikh sistem so

strukturirovannymi agentami na indikatornyh setyah. Belgorod, 2016. 149 p.

7. Lomazov V. A., Mihajlova V. L., Petrosov D. A., El'chaninov D. B. Ehvolucionnaya procedura strukturnogo i parametricheskogo sinteza imitacionnyh modelej sistem dokumentooborota. Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Istoriya. Politologiya. Ehkonomika. Informatika, 2013, vol. 28, no. 1, p. 204.

8. Petrosov D. A. Matematicheskaya model' formirovaniya konfiguracii vychislitel'noj tekhniki na osnove triggerov. Vestnik IzhGTU im. M. T. Kalashnikova, 2009, no. 3, pp. 139–143.

9. Bazhanov A. G., Yudin D. A., Porkhalo V. A., Karikov E. B. Control system of robotic complex for constructions and buildings printing. Proceedings of The International Conference on Information and Digital Technologies. IEEE Xplore. Rzeszow, 2016, pp. 23–31. DOI: 10.1109/DT.2016.7557145.

10. Petrosov D. A. Adaptivnyj strukturno-parametricheskij sintez bol'shih diskretnykh sistem s zadannym povedeniem s ispol'zovaniem iskusstvennyh nejronnyh setej klassa RAAM. Naukoemkie tekhnologii i intellektual'nye sistemy v XXI veke. Sbornik statej Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Belgorod, 2017, pp. 69–74.