



---

## СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ

---

УДК 004.942: 519.876.5

### ЭВОЛЮЦИОННЫЙ СИНТЕЗ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ ЗАДАННОЙ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ КОМПОНЕНТОВ

### EVOLUTIONARY SYNTHESIS OF SYSTEMS BASED ON A PRE ASSIGNED ELEMENT BASE OF COMPONENTS

**Д.А. Петросов, В.А. Ломазов, Д.А. Басавин**  
**D.A. Petrosov, V.A. Lomazov, D.A. Basavin**

*Белгородский государственный аграрный университет им. В.Я. Горина, Россия, 308503, Белгородский район,  
п. Майский, ул. Вавилова, 1  
Belgorod State Agricultural University named after V.J. Gorin, 1 Vavilova St, pos. Mayskiy, Belgorod region, 308503, Russia  
e-mail: vlomazov@yandex.ru, scorpionss2002@mail.ru, greensnow@mail.ru*

*Аннотация.* В работе проведено обоснование использования эволюционных методов в задачах структурного синтеза больших систем с заданным поведением. В рамках имитационного моделирования синтеза разработано представление процессов в виде вложенной сети Петри. Процесс структурного синтеза описан с использованием методологии IDEF0 и IDEF3. Проведены вычислительные эксперименты на базе разработанной специализированной информационной системы, подтвердившие предложенную в работе гипотезу о существовании оптимальной начальной популяции при эволюционном структурном синтезе систем при заданной элементной базе компонентов.

*Resume.* In the paper the use of evolutionary methods in problems of structural synthesis of large-scale systems with a pre assigned behavior is substantiated. As part of the simulation synthesis representation of processes in the form of a nested Petri nets is developed. The process of structural synthesis is described using IDEF0 and IDEF3 methodologies. Computational experiments based on the developed specialized information system, are confirming the hypothesis of the existence of an optimal initial population in the evolutionary synthesis of structural systems for a pre assigned element base of components.

*Ключевые слова:* структурный синтез, эволюционные методы, генетические алгоритмы, сети Петри.  
*Keywords:* structural synthesis, evolutionary methods, genetic algorithms, Petri nets.

---

Проблема разработки адекватных моделей и эффективных методов структурного синтеза систем (выбора типов компонентов и связей между ними) является актуальной для различных сфер научных исследований (например, [1-4]). При синтезе структур больших систем с большим количеством компонентов и связей важное значение имеют временные характеристики используемых алгоритмов. В рамках существующих подходов уменьшение времени поиска оптимальной (рациональной) структуры системы достигалось, как правило, за счет оптимизации по стохастическим критериям и применения параллельных вычислений. При этом дополнительные возможности повышения эффективности могут быть обеспечены за счет применения эволюционных методов синтеза, одним из которых является генетический алгоритм (ГА).

Используемое в теории ГА представление объектов в виде кортежей признаков (хромосом) с последующим применением к ним эволюционных принципов изменчивости и наследственности дает возможность уменьшить время поиска решения за счет направленного перебора. При этом на скорость работы направленного перебора можно воздействовать с помощью различных стратегий

эволюции и настройки работы генетических операторов (как в классическом так и в модернизированном генетическом алгоритме). В настоящее время эволюционные подходы применяются, как правило, для решения многоэкстремальных задач скалярной оптимизации [5-7]. Применяя ГА, требуется выполнить его адаптацию к задачам из предметной области. При этом следует использовать унифицированный математический аппарат, который будет способен моделировать работы систем из различных предметных областей. Таким математическим аппаратом предлагается использовать теорию сетей Петри (СП), который достаточно широко применяется при моделировании различных систем [8] и достаточно развит для описания самой эволюционной процедуры синтеза систем [9,10].

Адаптация ГА к задаче структурного синтеза больших систем с заданным поведением, как для систем с фиксированными межкомпонентными связями (когда генетический алгоритм ограничивается работой только с элементами системы), так и для систем с динамическими межэлементными связями (когда генетический алгоритм осуществляет структурный синтез системы, не только основываясь на работе с элементами, но и обрабатывает межэлементные связи была проведена в [11, 12] (рис. 1). Моделирование ГА осуществляется с помощью вложенных СП, где существует возможность представлять метку в виде сети. Для этого на первом уровне СП проведено моделирование работы ГА. В данной модели переходы выполняют функции операторов ГА, а позиции служат для сохранения результатов работы операторов-переходов. Метки на первом уровне сети представляют собой генотипы, которые образуют популяцию, при этом они являются моделями синтезируемой системы, над которыми выполняют работу операторы ГА, представленные в виде переходов.

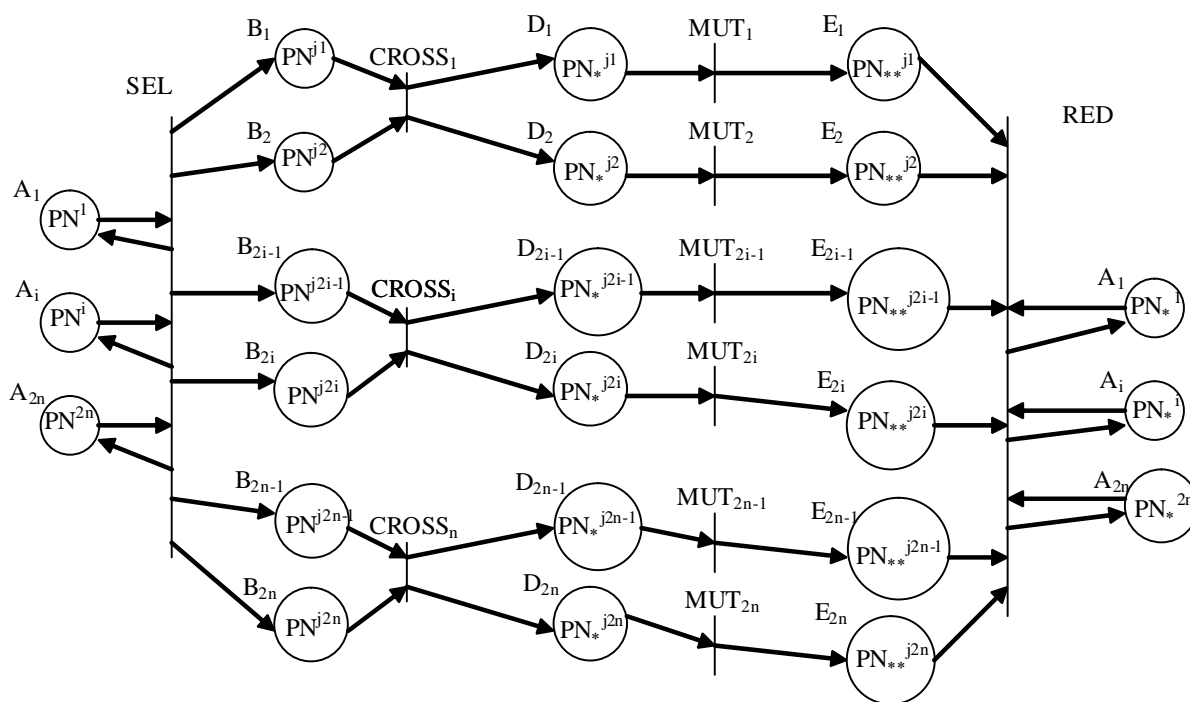


Рис. 1. Описание генетического алгоритма сетью Петри  
Fig. 1. Petri net description of genetic algorithm

Работа представленной модели выполняется следующим образом:

1. Для каждого компонента, который может входить в состав синтезируемой системы следует построить модель каждого его экземпляра с использованием математического аппарата СП.
2. Определить структуру модели синтезируемой системы структуры, определив множество переходов и соответствие.
3. Задать свойство, которым должна обладать синтезируемая дискретная система с заданным поведением, в виде пары векторов (эталонный входной и выходной).
4. Сформировать начальную популяцию.

5. Задать количество циклов работы вложенной СП и (или) условие ее останова в виде значения целевой функции.

6. Разместить начальную популяцию в начале предложенной СП.

7. Запустить вложенную СП.

8. После останова вложенной СП в позиции A1 будет находится модель дискретной системы, которая лучше всех удовлетворяет заданному свойству.

Опишем процессы, протекающие при процедуре структурного синтеза систем с использованием ГА, адаптированного к решению задач с помощью вложенных СП. Для этого будем использовать распространенные методологии описания процессов IDEF0 и IDEF3.

На рисунке 2 представлена контекстная диаграмма процесса структурного синтеза систем с заданным поведением (под поведением системы понимается способность обработать заданный входной вектор значений в выходной вектор). На основе предложенных моделей и методов для проведения процесса структурного синтеза систем с заданным поведением следует на вход процесса подать «Модели элементов системы на основе сетей Петри» и «Параметры синтеза».

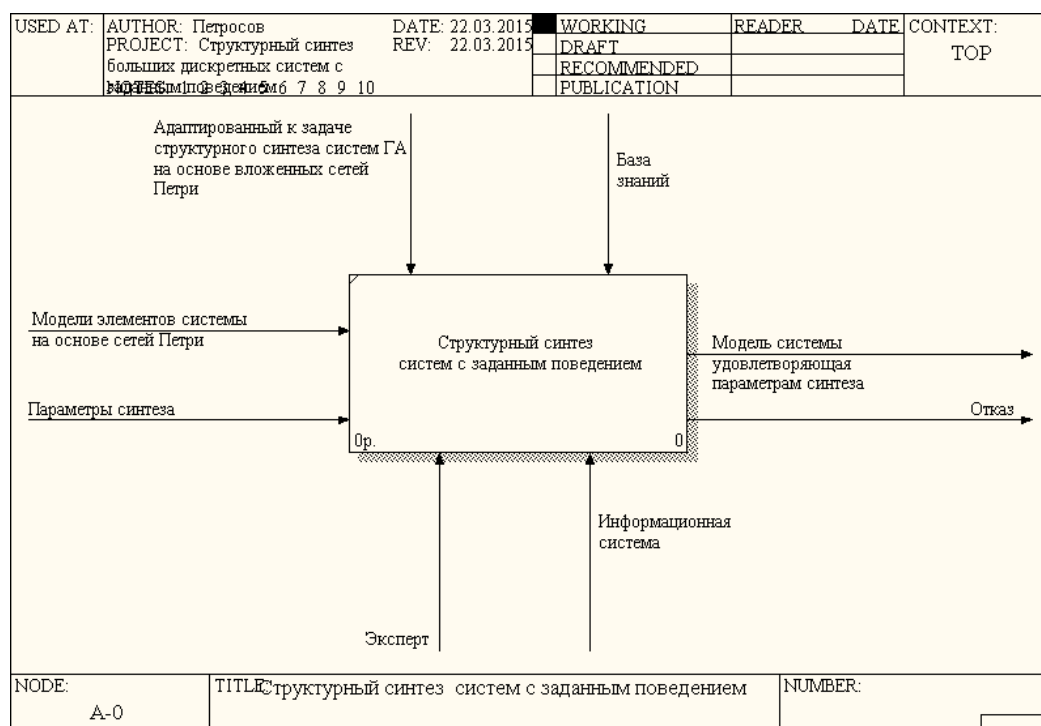


Рис. 2. Контекстная диаграмма процесса структурного синтеза систем с заданным поведением  
Fig. 2. Context diagram of the process of structural synthesis of systems with given behavior

В качестве параметров синтеза могут выступать кортежи входных и выходных эталонных векторов (поведение системы), которые должна обрабатывать синтезируемая система. Для этого в процессе в качестве управления используется «ГА, адаптированный к задаче структурного синтеза систем на основе вложенных сетей Петри» и «База знаний». В качестве механизмов, способствующих процессу синтеза системы используются «Эксперт» и «Информационная система». Результатом работы процесса могут быть «Модель системы, удовлетворяющая параметрам синтеза» или «Отказ». Появление отказа на выходе выполнения процесса «Структурного синтеза систем с заданным поведением» связано с тем, что в результате синтеза системы, базирующемся на предложенных методах и моделях (как и в других существующих методах и моделях), либо существует вероятность появления случаев, при которых найти решение не принципиально невозможно (например, синтезировать модель вечного двигателя), либо время синтеза было необоснованно ограничено экспертом, либо база моделей элементов, с которыми работает процесс, не дает возможности найти решение удовлетворяющее параметрам синтеза и т.д. Однако использование ГА позволит эксперту отобрать лучшие особи (модели синтезируемой системы), полученные в процессе синтеза, и на их базе закончить процесс синтеза самостоятельно, основываясь на собственных знаниях.

Процесс эволюционного структурного синтеза систем с заданным поведением на основе предложенных модели нуждается в более детальном рассмотрении. Для этого проведем

декомпозицию контекстной диаграммы «Структурный синтез систем с заданным поведением». Декомпозиция контекстной диаграммы структурного синтеза систем представлена на рисунке 3.

Основной процесс разбит на три составляющие: ввод параметров синтеза, автоматический синтез и анализ результатов синтеза.

Подпроцесс «Ввод параметров синтеза системы» дает возможность выполнить настройки процедуры синтеза. При этом эксперт может выбирать модели (из существующих или импортировать, например с использованием стандарта представления СП в информационных системах PNML), которые будут участвовать при поиске решения, выполнять настройку ГА. На данном этапе эксперт может руководствоваться своими знаниями в предметной области. Стоит отметить, что при разработке программных средств на основе предложенных моделей и методов существует возможность подключения теории экспертных технологий, которые также могут быть описаны с помощью математического аппарата СП и станут надстройками для предложенной модели эволюционного структурного синтеза (в настоящее время авторами ведется работа в данном направлении).

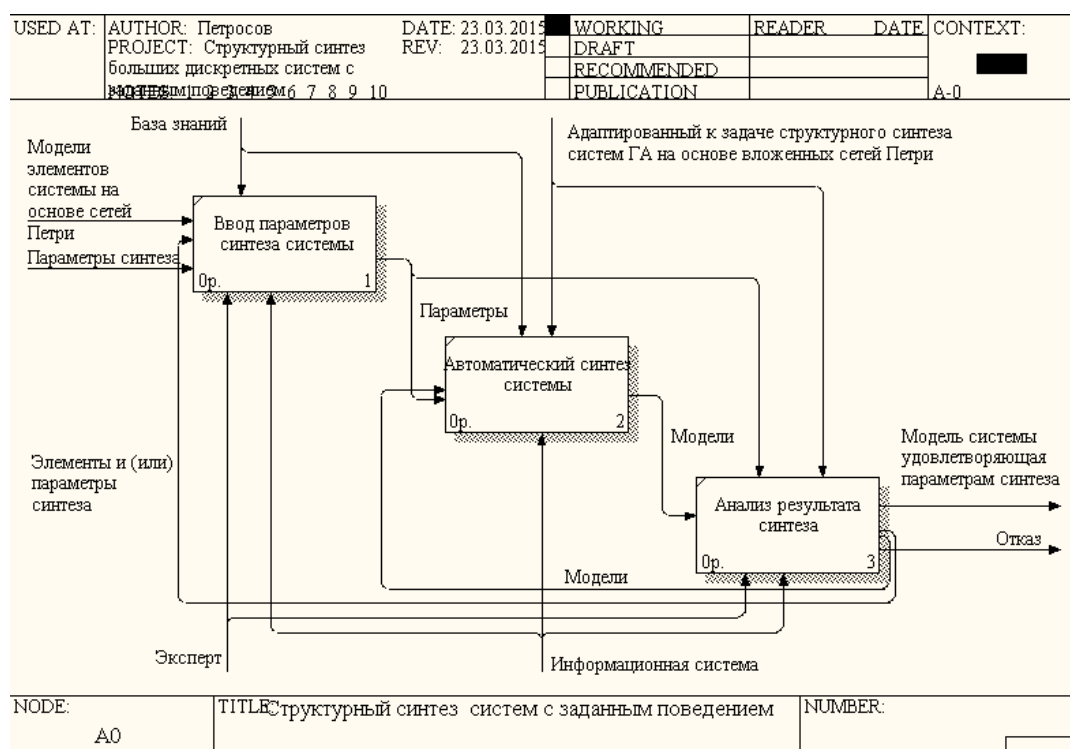


Рис. 3. Декомпозиция контекстной диаграммы структурного синтеза систем с заданным поведением

Fig. 3. Decomposition context diagrams of structural synthesis of systems with given behavior

В подпроцессе «Автоматический синтез систем» на основе переданных параметров, которые включают в себя элементную базу, настройки ГА и критерии поиска решения проходит процесс синтеза системы, удовлетворяющей выдвинутым условиям. Анализ результата синтеза проводится экспертом, который отбирает из наилучших решений такое, которое либо полностью удовлетворяет его требованиям, либо является частичным решением, найденным за отведенное время на выбранной элементной базе. Для полноты понимания подпроцесса «Автоматический синтез системы» проведем его декомпозицию. Для этого используем методологию IDEF3 (рис. 4).

В данном подпроцессе представлена работа классического генетического алгоритма (который был представлен в виде вложенной сети Петри ранее), т.е. не используется оператор инверсии, который позволяет уменьшить область поиска. Коротко работу данного подпроцесса можно объяснить следующим образом: на основе моделей элементов (описанных с использованием математического аппарата СП) происходит генерация начальной популяции, скрещивание ее особей, мутация потомков и редукция, в результате которой получается модифицированная популяция. После проверки критериев остановка либо описанный выше процесс повторяется, либо полученные модели выводятся эксперту на анализ.

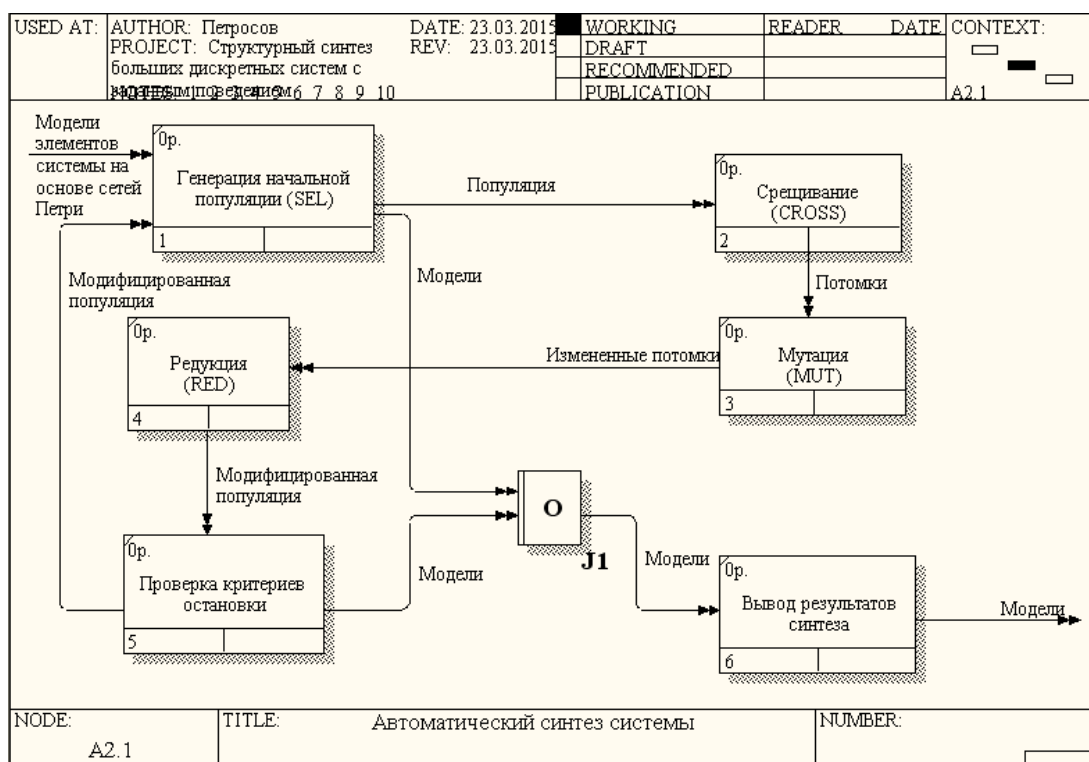


Рис. 4. Декомпозиция процесса автоматического проектирования

Fig. 4. Decomposition process of automatic design

Подпроцесс «Анализ результата синтеза», с использованием методологии IDEF3, предлагается представить следующим образом (рис. 5).

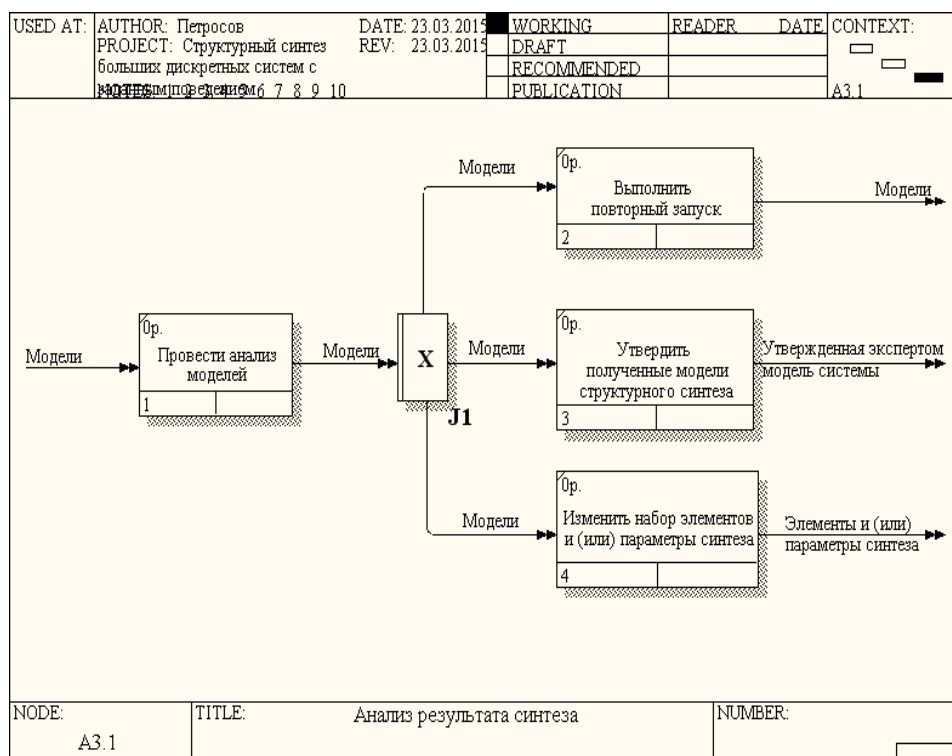


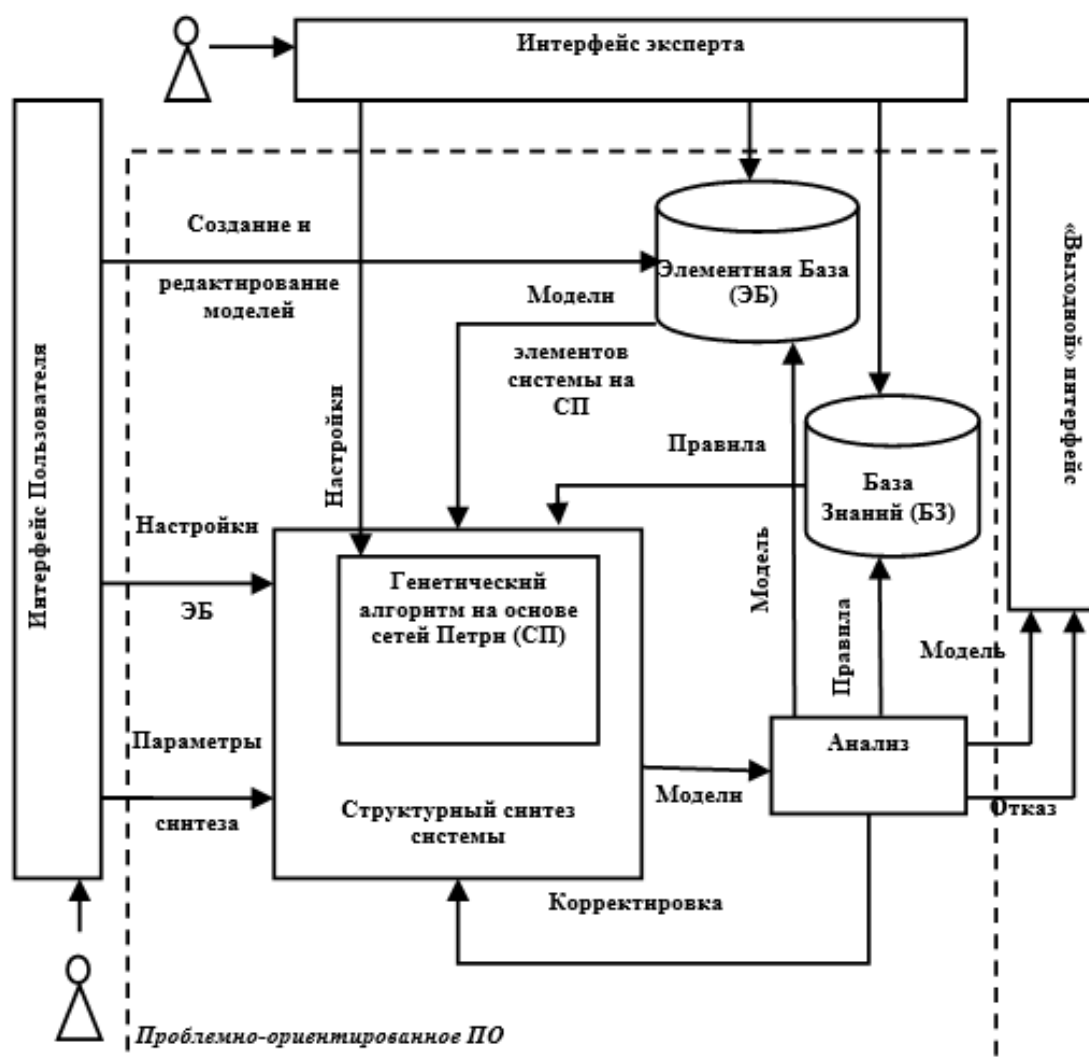
Рис. 5. Декомпозиция модели процесса анализа

Fig. 5. Decomposition of process of model analyzing

Проведенная работа по описанию процессов эволюционной процедуры структурного синтеза систем дает возможность разработать архитектуру для информационной системы (ИС), базирующейся на предложенных моделях и методах (рис. 6).

В качестве элементов памяти использовались триггера RS, D, T, для этого в были созданы модели триггеров (RS, D, T) на основе сетей Петри (рис. 7) [13].

Разработанное программного обеспечение и элементная база дала возможность проверить гипотезу о влиянии начальной популяции на время эволюционного структурного синтеза систем.



**Fig. 6.** The architecture of the information system

- чем меньше размер популяции, тем больше времени требуется на поиск решения (больше операций скрещивания и мутации).

- начиная с некоторого (достаточно большого) размера популяции на операции скрещивания и мутации уходит так много времени, что дальнейшее увеличение популяции увеличивает время поиска решения.

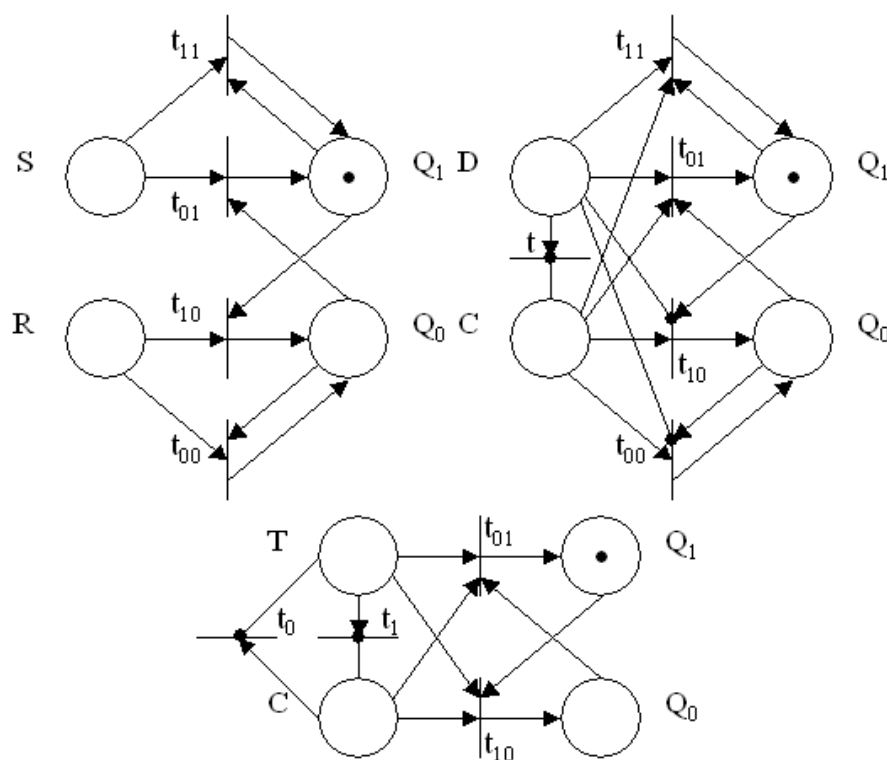


Рис. 7. Модели RS, D, T триггеров на основе сетей Петри  
 Fig. 7. Models of RS, D, T triggers based on Petri nets

Для проверки выдвинутой гипотезы были проведены вычислительные эксперименты, с помощью зарегистрированного программного продукта GAPN v 1.0. результаты нахождения первой, соответствующей критерию поиска (входной вектор 101010 и выходной вектор 011010), структуры системы 3×4 приведены в таблице.

Таблица  
 Table

Результаты экспериментов (среднее время поиска)  
 The results of experiments (average time of search)

№	Кол-во генотипов	Повторов, n	Среднее время $\bar{t}_n$ , с
1	5	4	3,251
2	6	7	2,745
3	7	4	1,236
4	8	9	0,854
5	9	25	0,512
6	10	15	0,438
7	20	33	0,375
8	30	10	0,406
9	40	22	0,421
10	100	89	0,516
11	150	94	0,703
12	200	151	0,906
13	300	157	0,875
14	400	50	1,359
15	500	74	2,328

На рисунке 8 отображен график среднего времени, требуемого, для синтеза системы размерностью 3×4 в зависимости от размеров начальной популяции генетического алгоритма.

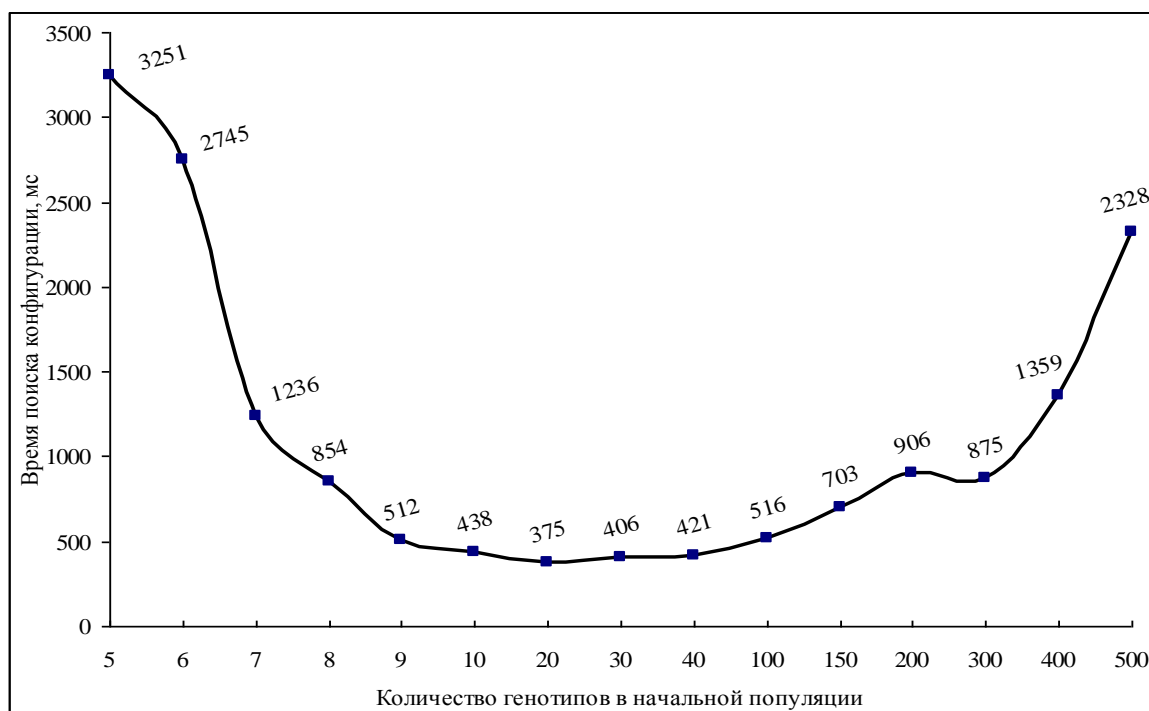


Рис. 8. Среднее время нахождения конфигурации ДО 3×4

Fig. 8. Average seek time for configuration ДО 3×4

Анализ результатов проведенных вычислительных экспериментов подтвердил выдвинутую гипотезу, что может свидетельствовать о правомочности ее использования при синтезе систем с заданной элементной базой компонентов. Это может служить обоснованием для применения эволюционных методов при решении рассмотренного круга задач. Дальнейшее развитие предложенного в работе подхода связано с его применением для конкретных предметных областей с использованием экспертной информации [14] и различных модификаций сети Петри.

*Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты № 14-07-00246, 15-07-02371)*

#### Список литературы References

1. Вовченко, А.И. Моделирование и анализ транспортных систем на основе эволюционных методов / А.И. Вовченко, В.А. Ломазов // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: История. Политология. Экономика. Информатика. 2011. Т. 18. № 7-1 (102). С. 121-125.  
Vovchenko, A.I. Modelirovanie i analiz transportnyh sistem na osnove jevolucionnyh metodov / A.I. Vovchenko, V.A. Lomazov // Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Istorija. Politologija. Jekonomika. Informatika. 2011. T. 18. № 7-1 (102). S. 121-125.
2. Жилияков, Е.Г. Селекция аддитивных функциональных моделей сложных систем/ Е.Г. Жилияков, В.И. Ломазов, В.А. Ломазов // Информационные системы и технологии. 2010. № 6. С. 66-70.  
Zhilyakov, E.G. Selekcija additivnyh funkcional'nyh modelej slozhnyh sistem/ E.G. Zhilyakov, V.I. Lomazova, V.A. Lomazov // Informacionnye sistemy i tehnologii. 2010. № 6. S. 66-70.
3. Ломазов, В.А. Применение имитационного моделирования при поиске проектного решения для многоуровневых логистических агропроизводственных систем с заданным поведением/ В.А. Ломазов, Д.А. Петросов // В сборнике: Современные тенденции в сельском хозяйстве II Международная научная Интернет-конференция: материалы конференции: в 2 томах. ИП Синяев Дмитрий Николаевич. 2013. С. 129-131.  
Lomazov, V.A. Primenenie imitacionnogo modelirovanija pri poiske proektnogo reshenija dlja mnogourovnevnyh logisticheskikh agroproduktivnyh sistem s zadannym povedeniem/ V.A. Lomazov, D.A. Petrosov // V sbornike: Sovremennye tendencii v sel'skom hozjajstve II Mezhdunarodnaja nauchnaja In-ternet-konferencija: materialy konferencii: v 2 tomah. IP Sinjaev Dmitrij Nikolaevich. 2013. S. 129-131.
4. Ломазов, В.А. 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.





Lomazov, V.A. Jevoljucionnaja procedura strukturnogo i parametricheskogo sinteza imitacionnyh modelej sistem dokumentooborota/V.A. Lomazov, V.L. Mihajlova, D.A. Petrosov, D.B. El'chaninov // Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Serija: Istorija. Politologija. Jeko-nomika. Informatika. 2013. T. 28-1. S. 204.

5. Емельянов, В.В. Теория и практика эволюционного моделирования / В.В. Емельянов, В.В. Курейчик, В. М. Курейчик. – М.: Физматлит, 2003. – 432 с.

Emel'janov, V.V. Teorija i praktika jevoljucionnogo modelirovanija / V.V. Emel'janov, V.V. Kurej-chik, V. M. Kurejchik. – М.: Fizmatlit, 2003. – 432 s.

6. Курейчик, В. М. Поисковая адаптация: теория и практика / В.М. Курейчик, Б.К. Лебедев, О.К. Лебедев. – М.: Физматлит, 2006. – 272 с.

Kurejchik, V. M. Poiskovaja adaptacija: teorija i praktika / V.M. Kurejchik, B.K. Lebedev, O.K. Le-be-dev. – М.: Fizmatlit, 2006. – 272 s.

7. Гладков, Л. А. Генетические алгоритмы: Учебное пособие / Л. А. Гладков, В. В. Курейчик, В. М. Курейчик. – М.: Физматлит, 2006. – 320 с.

Gladkov, L. A. Geneticheskie algoritmy: Uchebnoe posobie / L. A. Gladkov, V. V. Kurejchik, V. M. Ku-rejchik. – М.: Fizmatlit, 2006. – 320 s.

8. Питерсон, Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем / Дж. Питерсон. – М.: Мир, 1984. – 264 с.

Piterson, Dzh. Teorija setej Petri i modelirovanie sistem / Dzh. Piterson. – М.: Mir, 1984. – 264 s.

9. Игнатенко, В.А. Описание динамических процессов при помощи информационной сети Петри / В. А. Игнатенко, В. З. Магергут // Научные ведомости БелГУ. История, Политология, Экономика, Информатика. – 2011. – Вып. № 13. – С. 161–179.

Ignatenko, V.A. Opisanie dinamicheskikh processov pri pomoshhi informacionnoj seti Petri / V. A. Ignatenko, V. Z. Magergut // Nauchnye vedomosti BelGU. Istorija, Politologija, Jekonomika, In-formatika. – 2011. – Vyr. № 13. – S. 161–179.

10. Игнатенко, В.А. Информационная сеть Петри как инструмент для параллельной обработки алгоритмов управления / В. А. Игнатенко, В. З. Магергут // Научные ведомости БелГУ. История, Политология, Экономика, Информатика. 2011. Вып. № 19. – С. 119–126.

Ignatenko, V.A. Informacionnaja set' Petri kak instrument dlja parallel'noj obrabotki algo-ritmov upravlenija / V. A. Ignatenko, V. Z. Magergut // Nauchnye vedomosti BelGU. Istorija, Politologija, Jekonomika, Informatika. 2011. Vyr. № 19. – S. 119–126.

11. Петросов, Д.А. Адаптация генетических алгоритмов для моделирования вычислительной техники с фиксированной структурой/ Д.А. Петросов // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2011. № 3. С. 156-167.

Petrosov, D.A. Adaptacija geneticheskikh algoritmov dlja modelirovanija vychislitel'noj tehniky s fiksirovannoj strukturoj/ D.A. Petrosov // Izvestija Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Teh-nicheskie nauki. 2011. № 3. S. 156-167.

12. Петросов, Д.А. Адаптация генетического алгоритма при моделировании вычислительной техники с изменяющейся структурой и набором компонентов на основе сетей Петри / Петросов Д.А.// Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2009. № 6. С. 54-64.

Petrosov, D.A. Adaptacija geneticheskogo algoritma pri modelirovanii vychislitel'noj tehniky s izmenjajush-hejsja strukturoj i naborom komponentov na osnove setej Petri / Petrosov D.A.// Voprosy sovremennoj nauki i prak-tiki. Universitet im. V.I. Vernadskogo. 2009. № 6. S. 54-64.

13. Петросов, Д.А. Математическая модель формирования конфигурации вычислительной техники на основе триггеров / Д.А. Петросов // Вестник Ижевского государственного технического университета. 2009. № 3. С. 139-143.

Petrosov, D.A. Matematicheskaja model' formirovanija konfiguracii vychislitel'noj tehniky na osnove triggerov / D.A. Petrosov // Vestnik Izhevskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. 2009. № 3. S. 139-143.

14. Вовченко, А.И. Анализ сложных динамических систем на основе применения экспертных технологий / А.И. Вовченко, А.И. Добрунова, В.А. Ломазов, С.И. Маторин, В.Л. Михайлова, Д.А. Петросов. – Белгород: Изд-во БелГСХА, 2014. – 262 с.

Vovchenko, A.I. Analiz slozhnyh dinamicheskikh sistem na osnove primenenija jekspertnyh tehno-logij / A.I. Vovchenko, A.I. Dobrunova, V.A. Lomazov, S.I. Matorin, V.L. Mihajlova, D.A. Petrosov. – Belgorod: Izd-vo BelGSHA, 2014. – 262 s.