



## Применение миварного подхода при создании систем поддержки принятия решений для сферы государственных услуг

© 2022, А.В. Потапова

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

### Аннотация

В настоящее время идёт активная цифровизация процессов предоставления государственных услуг и исполнения функций государственными органами власти. В сфере государственных услуг поставлена задача их проактивного предоставления, вследствие чего появляется необходимость разработки систем поддержки принятия решений для оказания услуг населению в проактивной форме и их информационного обеспечения. Такие системы должны иметь возможность адаптироваться к изменению законодательства и обладать таким механизмом логического вывода, который мог бы определять государственные услуги, полагающиеся заявителю, на основании ограниченной информации о нём. Цель работы - исследование возможности применения миварного подхода при создании подобных систем поддержки принятия решения. Описана суть миварного подхода как математического аппарата для разработки систем искусственного интеллекта, созданных путём комплексирования продукционного подхода и «сетей Петри». Рассмотрены модели и методы миварного подхода, проведён анализ моделей представления структур данных, а также методов поиска маршрута логического вывода на сети правил. Представлено технологическое и техническое описание системы поддержки принятия решений, основанной на миварном подходе. Предложены этапы построения логической сети гиперправил с мультиактивизаторами, созданной с использованием экспертных систем, и показана её реализация на примере предоставления государственных услуг.

**Ключевые слова:** продукционный подход, миварный подход, «сети Петри», миварная логическая сеть, алгоритм логического вывода, экспертная система, государственные услуги.

**Цитирование:** Потапова А.В. Применение миварного подхода при создании систем поддержки принятия решений для сферы государственных услуг // Онтология проектирования. 2022. Т.12, №2(44). С.245-262. DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-2-245-262.

**Благодарности:** автор выражает признательность членам редколлегии журнала «Онтология проектирования» за замечания и рекомендации по усовершенствованию данной статьи.

**Конфликт интересов:** автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

### Введение

Одним из ключевых направлений реализации федерального проекта «Цифровое государственное управление» является цифровая трансформация национальной системы государственного управления и сферы предоставления государственных (муниципальных) услуг [1]. Неотъемлемой составляющей цифровой трансформации сферы предоставления государственных услуг (ГУ) является проактивность. Внедрение проактивного подхода в процессы предоставления населению услуг предполагает заблаговременное уведомление граждан (организаций) о возможности получения услуги. Под проактивными понимаются услуги, предоставление которых инициируется в автоматическом режиме без участия заявителя на основании сведений, содержащихся в государственных и иных информационных системах.

В настоящее время ведётся разработка методики перевода оказания ГУ в проактивный режим, создание «умного» помощника. При разработке методики в качестве инструмента проактивности было предложено использование экспертных систем (ЭС) в системах под-

держки принятия решений (СППР) для информирования граждан о полагающихся ГУ [2]. В статье представлены результаты исследования возможности применения миварного подхода при создании СППР в сфере предоставления ГУ.

## 1 Модели и методы миварного подхода

Системы с использованием миварных технологий разработаны в таких областях как медицина, логистика, инженерия, строительство и др. [3, 4]. Так, проект для оценки сложности текстов [5] может быть использован для составления автоматизированных учебных пособий, а проект миварной ЭС для оценки объёма большого графа [6] позволяет формализовать задачи принятия решений и обработки информации в области оценки объёма графа в зависимости от его представления.

В создании интеллектуальных СППР с использованием миварного подхода можно выделить следующие модели и методы логической обработки данных.

*Миварный подход* является обобщением и развитием продукционного подхода, сетей Петри и других формализмов, применяемых для логической обработки данных [3-6].

*Продукции* в общем виде записывают в форме «Если..., то...». В такой форме можно представлять самые разнообразные правила, процедуры, формулы или сервисы.

Схемы выводов, лежащие в основе большого количества моделей достоверных рассуждений, могут быть описаны в виде некоторого дерева вывода [7]. Вершинам этого дерева соответствуют определённые утверждения  $F_i$ , а дуги определяют порядок получения новых утверждений (рисунок 1).

$F_1-F_4$  – утверждения начального яруса, истинность которых задаётся извне. Дуги, которые сходятся в зачернённые точки, образуют конъюнктивные условия вывода, а дуги, которые между собой соединены «дужкой», образуют дизъюнктивные условия вывода. Так, например, любого из утверждений  $F_1$  и  $F_2$  достаточно для доказанности  $F_5$  (логическое «ИЛИ»). Если же доказаны  $F_2$  и  $F_3$ , то  $F_6$  следует из их доказанности (логическое «И»). Дерево вывода с такими условиями переходов от вершины к вершине называется И-ИЛИ деревом, ориентация дуг в котором показывает направление вывода. Количество ярусов отражает глубину вывода (число шагов, необходимых для получения утверждений данного яруса).

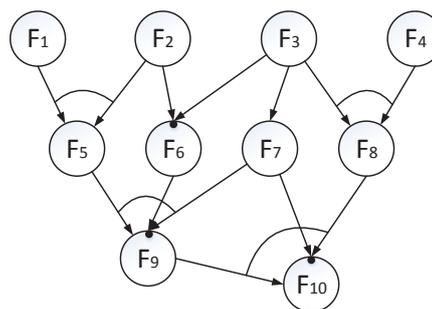


Рисунок 1 - Пример однодольного ориентированного графа "И-ИЛИ дерева"

Методы логического вывода И-ИЛИ дерева: *метод прямой волны*, в котором волна поиска путей к целевым утверждениям распространяется от начальных; *метод обратной волны*, где поиск от целевых площадок движется в направлении начальных. Различие между прямой и обратной волнами заключается в различном числе шагов при поиске логического вывода. Любой вывод носит переборный характер, что означает факториальный рост вычислительной сложности при увеличении количества правил.

Сети правил и процедур целесообразнее представлять в виде двудольных графов, получая нечто аналогичное *сетям Петри*. Граф называется двудольным, если множество его вершин может быть разбито на два непересекающихся подмножества [8] таким образом, что концы каждого ребра принадлежат разным классам [9]. Сеть Петри есть мультиграф, так как он допускает существование кратных дуг от одной вершины графа к другой. Так как дуги являются направленными, то это ориентированный мультиграф [10, 11].

Подход к единому представлению знаний и данных, при котором можно использовать и двудольные, и трёхдольные, и многодольные ( $k$ -дольные) графы для разных ПрО, называется *миварным* [12].

Адаптивный механизм логического вывода миварной логической сети строится на активной эволюционной сети гиперправил с мультиактивизаторами (ГПМ). Формируется логическая сеть ГПМ, на основе которой строится двудольный ориентированный граф, и на этом графе формируется подграф логического вывода [13]. На полученном подграфе выполняется поиск маршрута логического вывода путём анализа его связности.

Существуют следующие методы поиска маршрута на логической сети правил: метод поиска минимального разреза многополюсных сетей, который сводится к формированию нижнетреугольной матрицы и нахождению в ней минимального разреза; линейный матричный метод позволяет определить возможные маршруты логического вывода в матрице миварной сети и выбрать оптимальный [14].

## 2 Технология создания СППР, основанной на миварном подходе

Создаваемая СППР включает следующие функции: хранение любой информации с возможным изменением структуры системы логического вывода без ограничений по объёму и формам представления; автоматическое конструирование алгоритмов из модулей, сервисов или процедур на основе активной обучаемой эволюционной миварной сети правил.

### 2.1 Формирование информационной модели предметной области

Для создания интерфейса СППР использовалось программное обеспечение *Delphi2009*, все данные баз данных (БД) СППР хранятся на *PostgreSQL*-сервере.

Для описания модели данных в миварном информационном пространстве используется онтология (объекты-свойства-отношения) предметной области (ПрО) [15].

Для формирования информационной модели ПрО на уровне *PostgreSQL*-сервера были созданы БД, представленные в таблице 1.

Таблица 1 – БД для хранения данных ПрО

Таблица БД	Назначение	Логический уровень	Оси миварного пространства
dir.ot_grp	Группы типов объектов		Объекты
dir.ot_list	Множество типов объектов	Заголовки таблиц	
dir.prop_grp	Группы свойств типов объектов		Свойства
dir.prop_list	Множество свойств типов объектов	Заголовки столбцов	
ws.obj_tree	Объекты (значения типов объектов в дереве объектов)	Заголовки строк, клетки таблицы	Отношения
ws.obj_props	Свойства (значения свойств объектов в дереве объектов)	Заголовки строк, клетки таблицы	
dir.dir_tree	Объекты-справочники (значения типов объектов-справочников в дереве объектов-справочников)	Заголовки строк, клетки таблицы	
dir.dir_props	Свойства объектов-справочников (значения свойств объектов-справочников в дереве объектов-справочников)	Заголовки строк, клетки таблицы	

Логический уровень показывает соответствие таблиц множествам трёхмерного миварного пространства унифицированного представления данных [16]. Группы типов объектов и группы свойств формируются для удобства восприятия ПрО. Объекты условно разделены на объекты и объекты-справочники. Совокупность объектов в информационной базе представ-

ляет собой иерархическое дерево объектов. На физическом уровне заголовки таблиц, как и заголовки столбцов, представлены одной таблицей, в которых создаются перечни всех возможных объектов и свойств. Отношения между объектами (объект-родитель – дочерний объект) и между объектами и свойствами (объект – его свойства) представлены четырьмя таблицами. В эти же таблицы вносятся значения объектов и их свойств в конкретной точке миварного пространства [18].

## 2.2 Построение миварной логической сети гиперправил

Основную сложность при использовании ЭС составляет концептуальное, продукционное описание *ПрО* и формирование списков объектов и правил для миварных логических сетей.

Множество типов объектов (объекты и объекты-справочники) информационной модели БД могут использоваться в качестве выходных (распознаваемых) объектов логической сети ГПМ – миварной сети. В общем виде *гиперправило* представляет собой конструкцию с детерминированной операционной семантикой [16]. В качестве входных объектов миварной сети используются утверждения (таблица 2). Утверждения могут быть напрямую ассоциированы с одним или несколькими свойствами (*dir.statements\_props*) или же связаны со свойствами или объектами системы посредством ГПМ.

Таблица 2 – БД для хранения утверждений

Таблица БД	Назначение
<i>dir.statements_grp</i>	Группы утверждений (группировка множества утверждений)
<i>dir.statements_list</i>	Множество утверждений
<i>dir.statements_props</i>	Множество свойств, ассоциируемых с данным утверждением

При разработке механизма обработки данных с помощью логической сети ГПМ использовались ЭС, для обучения которых были использованы нейронная сеть Хопфилда и Байесовский классификатор [18]. Изначально ЭС создавались как сложные многоуровневые системы с целью использования одной ЭС для распознавания множества объектов. Но впоследствии были упрощены до системы, распознающей один объект, и объединены в сеть [19]. ЭС предполагалось использовать в процессах поддержки принятия решений в системах административного управления [20], в частности при предоставлении ГУ в электронном виде. Здесь ГПМ – ЭС, а логическая сеть ГПМ – сеть ЭС.

Сеть ЭС – ориентированный ациклический граф, включающий в себя односвязный список рёбер (связей) между узлами сети ЭС. Роль узла сети выполняют непосредственно ЭС и виртуальные ЭС. *Виртуальная ЭС* – специализированный узел сети ЭС, выполняющий формирование списков выводимых (принятых) и невыводимых (отвергнутых) переменных.

В сети ЭС всегда должны присутствовать виртуальные ЭС и быть «последними» в топологии сети ЭС. Структура сети ЭС представлена на рисунке 2.

Алгоритм логико-вычислительной обработки утверждений в сети ЭС представлен на рисунке 3.

1) На вход подаётся список входных переменных в виде утверждений.

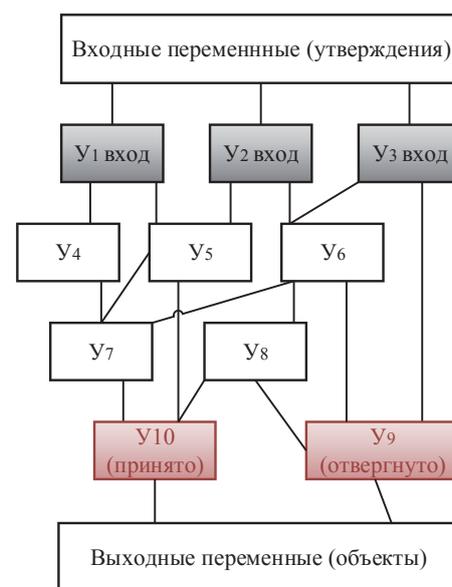


Рисунок 2 – Структура сети ЭС

- 2) Работа логической сети ГПМ начинается с обработки правил входных узлов. Таких узлов может быть несколько. Гиперправила работают таким образом, что в результате утверждения преобразуются в объекты.
- 3) Если после обработки входных узлов выводимые переменные найдены, то выполняется шаг 6. Если нет, то шаг 4. *Примечание.* Выводимая переменная может одновременно быть промежуточной, т.е. может быть использована и в других правилах.
- 4) Проверяется, является ли найденная переменная промежуточной. Если да, то переход к шагу 5. Если нет, то переменная является невыводимой и далее выполняется шаг 7.
- 5) Происходит обработка промежуточных правил сети, после чего повторяются шаги 3-4 до тех пор, пока не будут обработаны все запускаемые правила на каждом входе в сеть.
- 6) Найденные переменные помещаются в список выводимых (принятых).
- 7) Обнаруженные переменные помещаются в список невыводимых (отвергнутых).

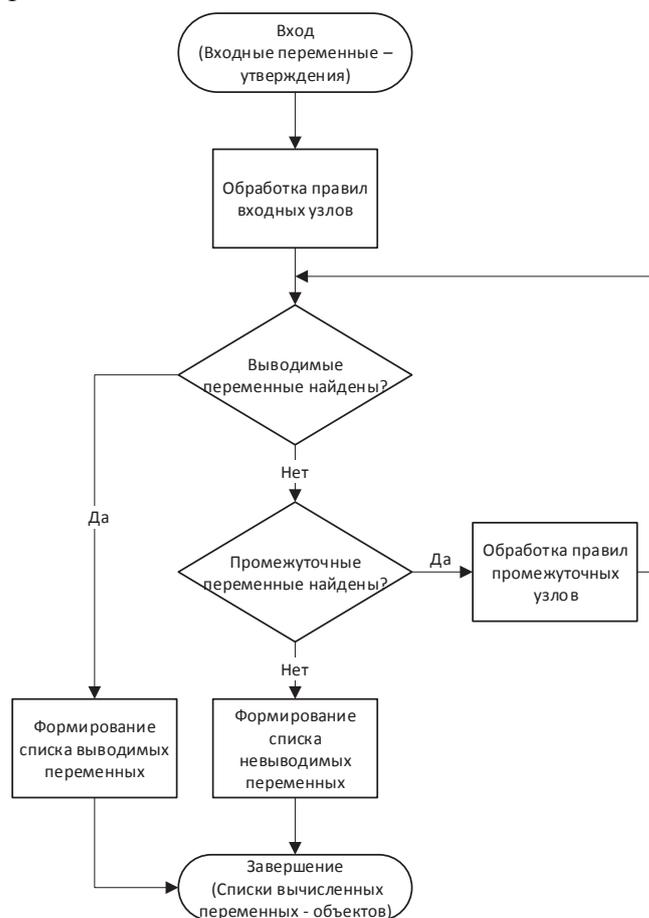


Рисунок 3 – Алгоритм логико-вычислительной обработки утверждений в сети ЭС

Представленный алгоритм логико-вычислительной обработки сети ЭС обладает линейной вычислительной сложностью логического вывода, управляемого потоком входных данных.

### 2.3 Техническая реализация СППР

Когда новая сеть ЭС сформирована, необходимо настроить механизм, с помощью которого сеть ЭС будет получать и обрабатывать данные. Для этого необходим *менеджер сети ЭС* – программный объект, обеспечивающий работу сети ЭС. С помощью *специализирован-*

ного внешнего приложения поступают задания для сети ЭС (рисунок 5). Задание для сети ЭС – сформированное пространство данных для сети ЭС.

Общее решение состоит из БД Системы, включающей сформированные сети ЭС и задания для них; приложения, обеспечивающего функционирование сети ЭС в бесперебойном режиме (см. рисунок 4). Прикладное решение – это внешнее приложение, которое формирует задания для сети ЭС.

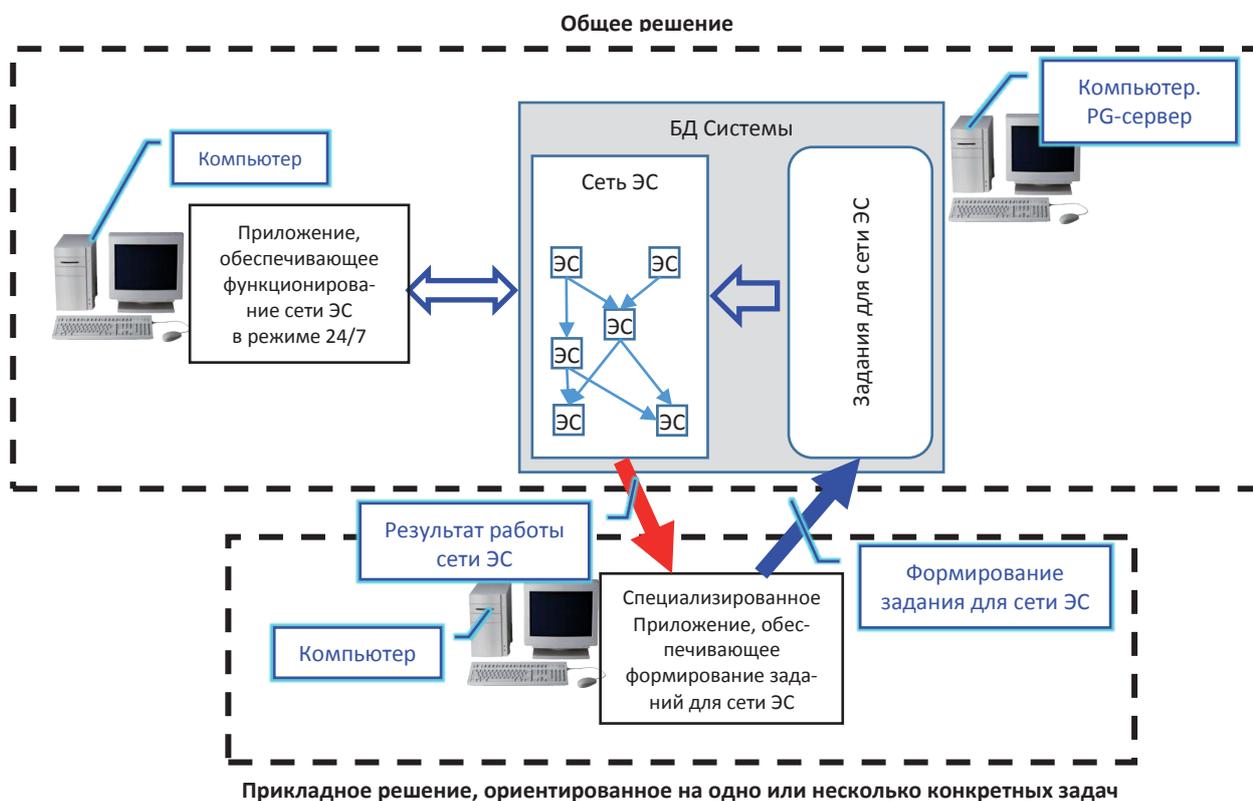


Рисунок 4 – Техническая реализация работы внешнего приложения с СППР

На рисунке 5 описан сценарий работы внешнего приложения с сетью ЭС.

Полученные из внешнего приложения данные должны быть ассоциированы с задачей, к которой привязана сеть ЭС. *Задача для сети ЭС* содержит информацию о конкретной сети ЭС, в контексте которой должны формироваться соответствующие задания для обработки данных сетью ЭС и сами данные.

В контексте задачи создаётся сессия для работы с сетью ЭС. *Сессия (сеанс)* – цикл операций, выполняемый непрерывно и обеспечивающий обработку соответствующих данных сетью ЭС в контексте задачи для сети ЭС.

Данные поступают в форме информационного пакета. *Информационный пакет (ИП)* – блок данных, которые должны быть обработаны сетью ЭС в рамках сессии. Для каждого элемента ИП выполняется приведение элемента данных к значению соответствующего утверждения. Приведённый к списку утверждений ИП активирует сессию и начинается обработка данных сетью ЭС. После окончания обработки данных сетью ЭС происходит разъединение с БД СППР и выполняется обработка полученных результатов.

Нет концептуальных ограничений на: количество внешних приложений, работающих с ЭС; количество и тип решаемых внешними приложениями задач; количество создаваемых ЭС и их сетей; количество ЭС, используемых в любой сети ЭС. Сеть ЭС автоматически «подстраивается» под решаемую внешним приложением задачу.

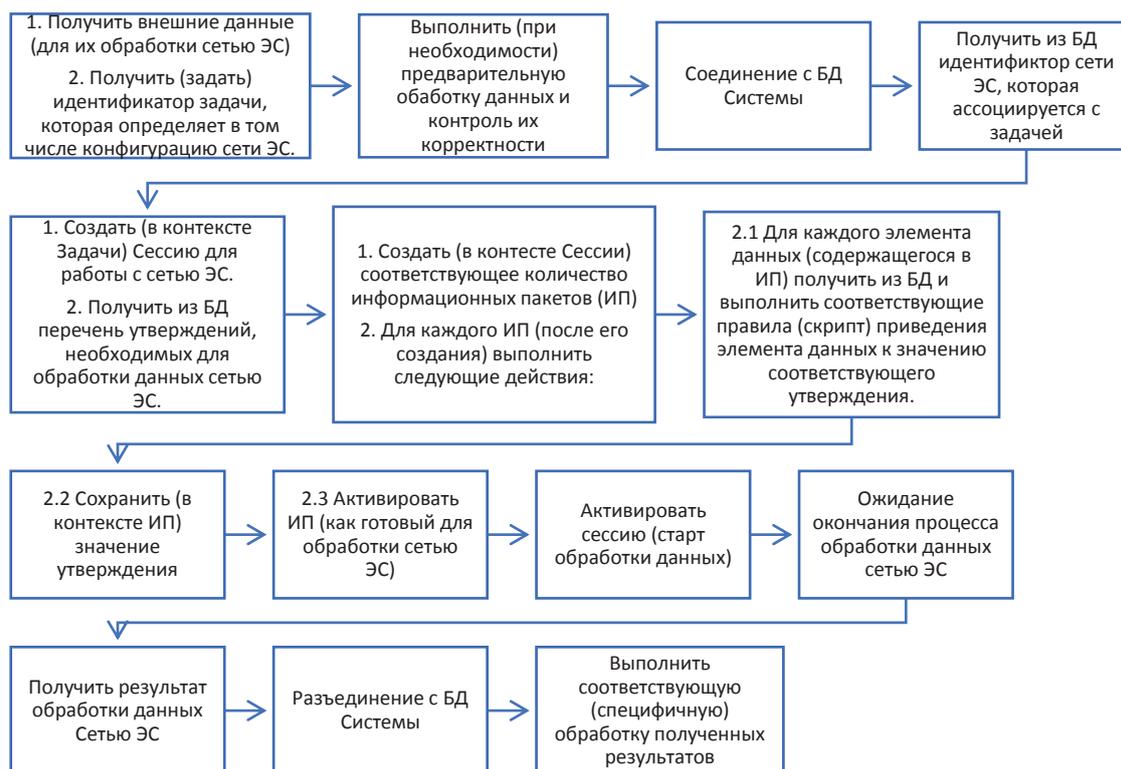


Рисунок 5 - Сценарий работы внешнего приложения с сетью ЭС.

При возникновении новых задач существующие сети ЭС в СППР могут быть применимы к новой задаче, равно как и существующие ЭС могут использоваться при создании новой сети ЭС. При необходимости можно изменить существующую конфигурацию сети и перестроить граф без перепрограммирования СППР в целом.

### 3 Этапы создание сети ЭС в СППР

На этапе 1 проводится анализ ПрО, определяется структура пространства данных и возможность построения модели ПрО на основе подхода «объект-свойство-отношение».

На этапе 2 создаётся информационная модель ПрО на основе метаданных Системы. Метаданные ИС = «Множество типов объектов» + «Множество свойств» + «Перечень видов свойств».

На этапе 3 создаются утверждения для предполагаемых ЭС, которые должны быть соотнесены со свойствами, характеризующими объект.

На этапе 4 создаётся и проводится обучение необходимого количества ЭС, которое полностью описывает ПрО. Настройка и обучение ЭС – это создание гиперправил для формирования базы знаний будущей миварной сети.

На этапе 5 происходит создание и настройка графа сети ЭС: определяются исходные ЭС, которые будут являться входными узлами сети; настраиваются связи между ЭС внутри сети.

На этапе 6 для формирования пространства данных сети ЭС создаётся конкретная задача и проводится привязка её к созданной сети. Данные по каждой задаче показывают количество сессий, в ходе которых поступают ИП с данными, ассоциированными в виде утверждений.

На этапе 7 проводится тестирование сети ЭС. Вывод результатов осуществляется в доступной для понимания пользователя форме.

#### 4 Реализация СППР на примере оказания государственных услуг

**Этап 1.** В настоящее время ГУ в электронном виде могут предоставляться с помощью портала ГУ Санкт-Петербурга. Межведомственное взаимодействие, необходимое для оказания ГУ (включая согласования, получение выписок, справок и др.), должно проходить без участия заявителя [21]. В сфере предоставления ГУ поставлена задача разработки механизма их проактивных рекомендаций на основе ограниченной информации, имеющейся о заявителе. Можно выделить следующие особенности оказания ГУ населению.

- Существуют услуги, которые могут предоставляться разным категориям заявителей или даже объединять категории. Например, существует услуга, которая объединяет условия многодетности и малообеспеченности и предоставляется только при совпадении этих условий.
- Существуют услуги, которые относящиеся к разным жизненным ситуациям (ЖС), и предоставляются широкому кругу заявителей. Например, существуют услуги, предоставляемые как малообеспеченным, так и семьям, в которых ребёнок нуждается в специальных молочных продуктах, независимо от их дохода.
- Обеспечение проактивного оповещения граждан о полагающихся им услугам происходит на основе истории получения услуг посредством Многофункционального центра (МФЦ) и Портала ГУ, то есть механизм оповещения запускается на основе результатов получения услуг. Признаком, характеризующим наступление той или иной ЖС, может быть не только услуга, по которой принято решение, но и информация, которая вносится в профиль заявителем лично и проверяется путём межведомственного взаимодействия.

Миварное пространство  $M_x$  рассматриваемой ПрО можно представить как трёхмерное пространство:  $M_x = S_x \times C_x \times R_x$ , где  $S_x$  – множество ГУ,  $C_x$  – множество критериев для получения ГУ,  $R_x$  – множество ролей заявителей ГУ.

Услуга может являться и объектом, и свойством в зависимости от контекста. Множество входов в сети ЭС позволяет распознавать выходные объекты параллельно по различным направлениям, применительно к ГУ, по таким условиям, для которых не существует единой классификации и невозможно составить однодольный граф.

**Этап 2.** Наиболее востребованные ГУ классифицированы по ЖС, в рамках которых они могут быть предоставлены. Для формирования информационной базы ПрО были выбраны 13 услуг по ЖС «Рождение ребенка».

В структуре дерева объектов созданы объекты ГУ и помещены в группу «Перечень ГУ» (рисунок 6) и перечень заявителей, которые помещены в группу «Категории заявителей/получателей» (рисунок 7).

Nп/п	Свойство	Ввод	Значение	Акт	На	Окн	Исто	Вид	св-ва
10	Количество детей	<...>	Не имеет значения	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>	Перечислимое
20	Доход семьи	<...>	Не имеет значения	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>	Перечислимое
30	Родство с ребенком	<...>	Родной или усыновленн	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>	Перечислимое
40	Возраст ребенка	<...>		<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>	Перечислимое
50	Род занятий	<...>	Не работаю	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>	Перечислимое
60	Возраст родителя	<...>	Не имеет значения	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>	Перечислимое
70	Регистрация	<...>	На территории РФ	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>	Перечислимое
80	Место постоянного проживания	<...>	РФ	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>	Перечислимое
90	Муж проходит военную службу	<...>	Не имеет значения	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>	Перечислимое
100	Особые условия	<...>	Пособие по беременнос	<input type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>	Текст

Рисунок 6 – Описание объектов-справочников перечня государственных услуг

Для объектов ГУ созданы свойства типа «Перечислимое» и свойства типа «Текст», которые являются своего рода критериями для получения услуги. Для перечислимых свойств выбирались те значения, которые имеют место для конкретной услуги, такие как количество детей, доход, место проживания и другие.

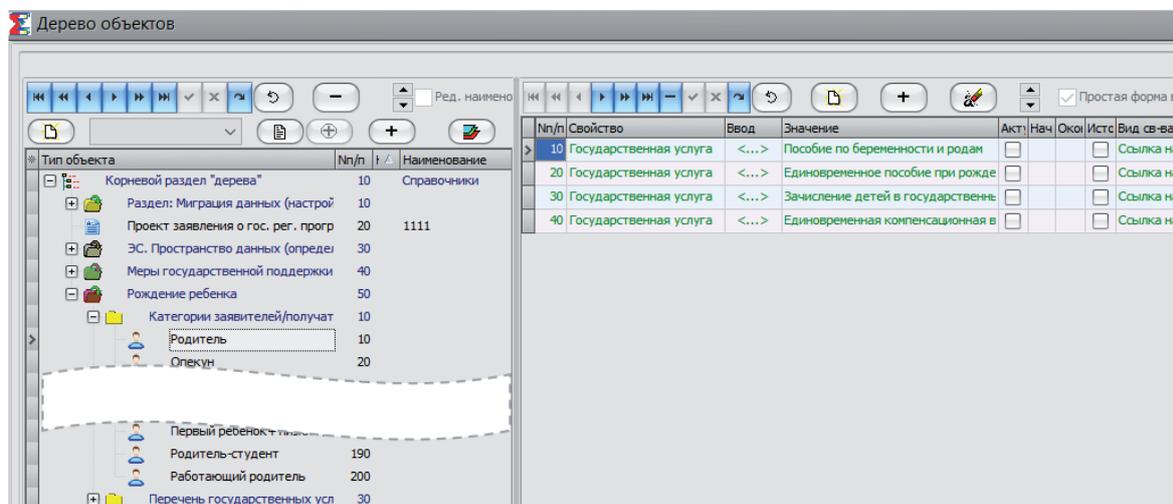


Рисунок 7 – Описание объектов категорий пользователей

В качестве категорий заявителей созданы такие типы как родитель, опекун, многодетная семья, студенческая семья и др. Им были присвоены свойства в виде пакета/набора услуг, на которые может претендовать заявитель. Свойства созданы типа «Ссылка на объект», что позволяет выбрать из перечня ГУ необходимые и привязать к заявителю.

**Этап 3.** Создание ЭС начинается с настройки множества утверждений (рисунок 8). Утверждения (для удобства) сгруппированы и представлены в виде вопросов закрытого типа.

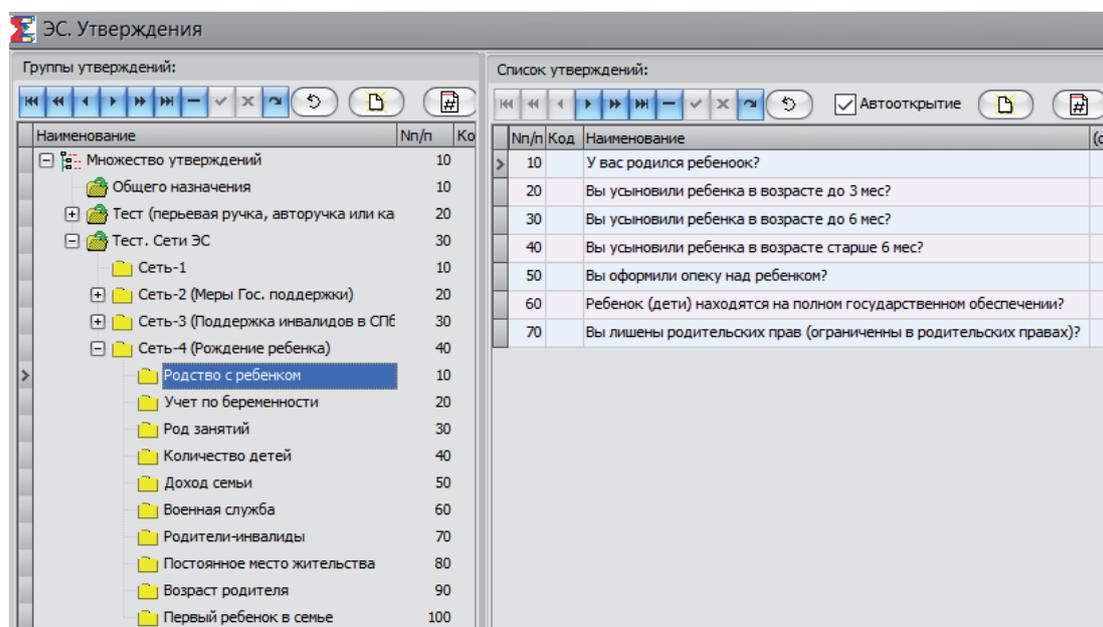


Рисунок 8 – Создание множества утверждений

Перечень утверждений в каждой конкретной группе ориентирован для использования в одной конкретной ЭС, которая будет являться узлом сети ЭС.

**Этап 4.** Созданы и обучены ЭС для сети ЭС, с помощью которых можно распознать любую из ГУ, входящих в рассматриваемую ЖС «Рождение ребёнка» (рисунок 9).

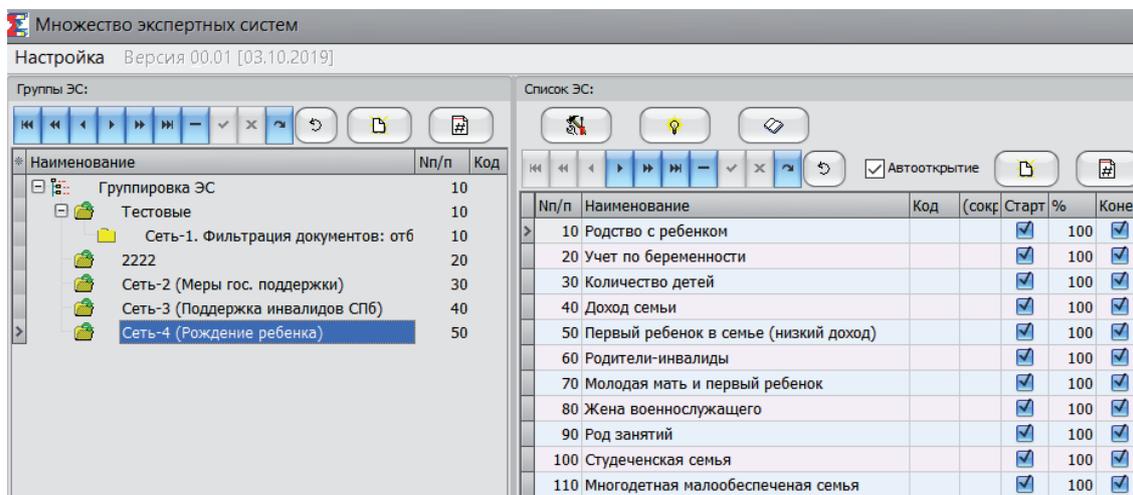


Рисунок 9 – Список ЭС в ЖС «Рождение ребёнка»

Формирование и настройка ЭС происходит следующим образом: узлы для распознавания выбираются из списка имеющихся объектов; признаки для распознавания выбираются из множества утверждений; настраивается список определяющих признаков для распознавания выбранного узла (рисунок 10).

Для перехода к обучению ЭС необходимо в режиме ввода задать для ЭС правила, а в режиме консультации - подать задание на распознавание (рисунок 11).

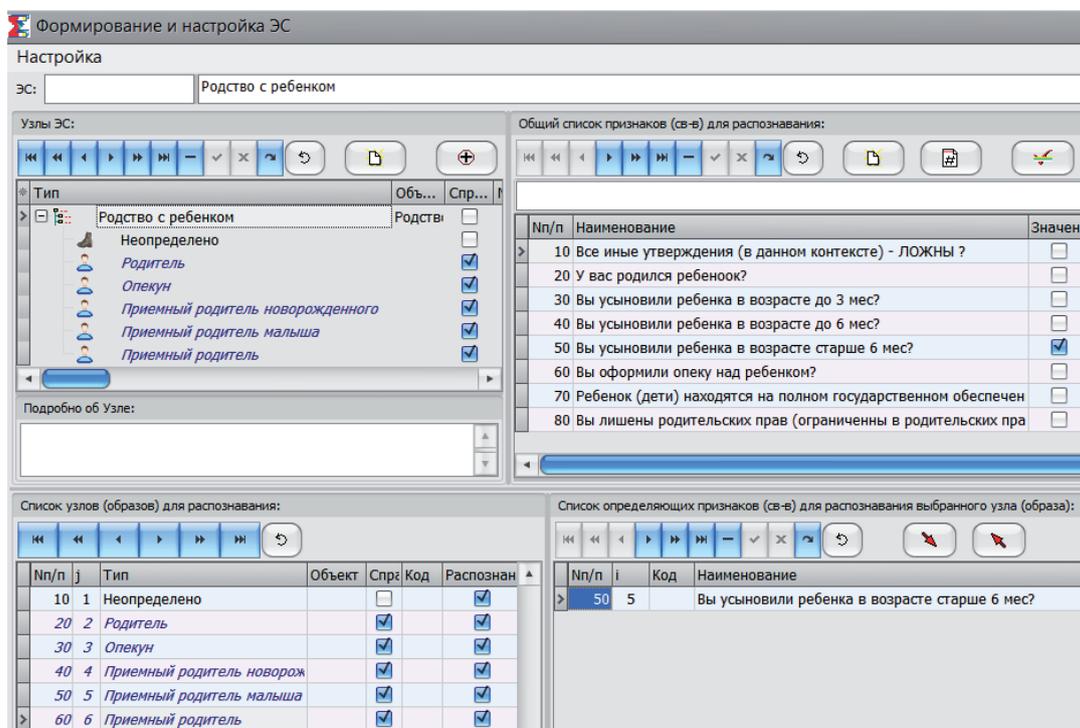


Рисунок 10– Настройка ЭС

Внизу окна программы для каждого узла  $j$  (заявителя) определяется соответствующий ему признак  $i$  (утверждение). Эффективность обучения 100% была достигнута за 13 циклов.

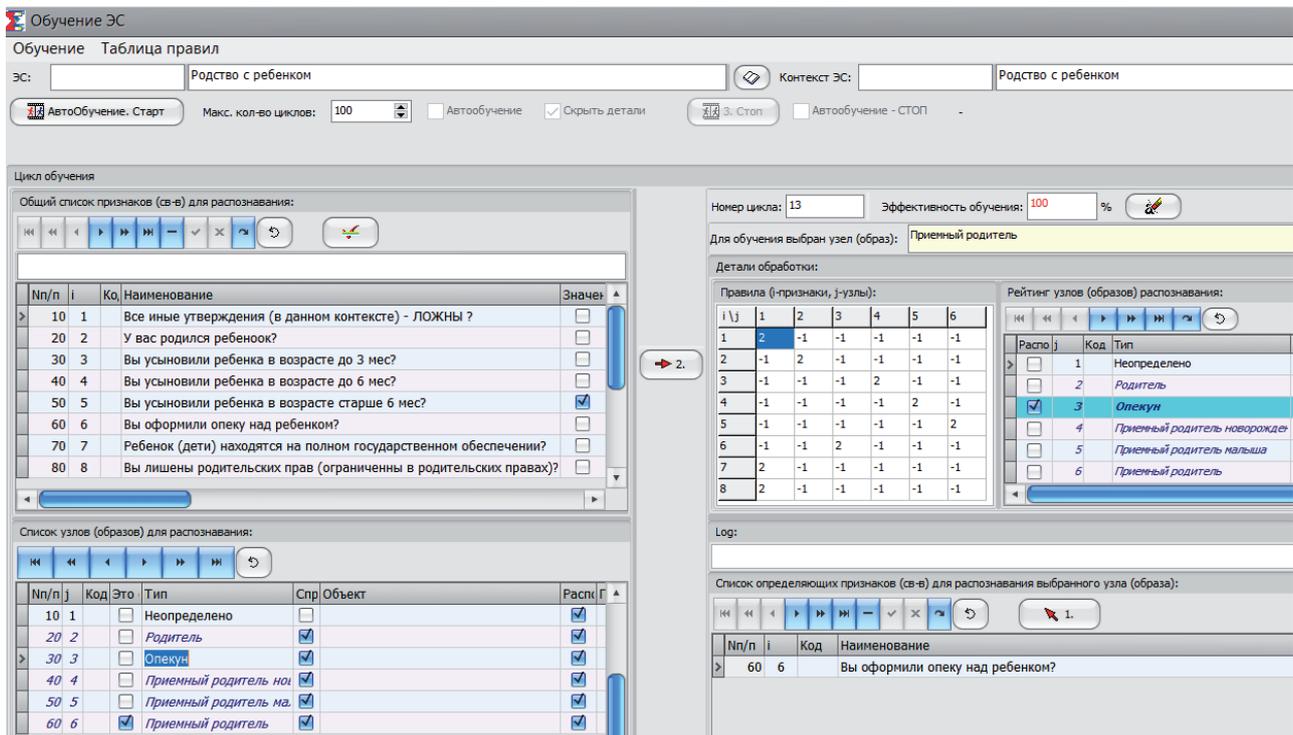


Рисунок 11 – Обучение ЭС

По завершении обучения ЭС формируется матрица правил ЭС, которая состоит из  $i$  признаков и  $j$  узлов (рисунок 12). Эта матрица в дальнейшем используется ЭС для распознавания объектов.

Матрица правил интерпретируется таким образом, что наивысший рейтинг в каждой строке матрицы определяет соотношение узлов и признаков. Так для признака  $i = 6$  наивысший рейтинг определяется на узле  $j = 3$ . То есть утверждение (признак) под пунктом 6 «Вы оформили опеку над ребенком?» соответствует заявителю (узлу) под пунктом 3 «Опекун».

**Этап 5.** После того как созданы все ЭС, которые будут использоваться в сети, осуществляется создание и настройка сети ЭС (см. рисунок 13).

В списке ЭС новой сети по умолчанию появляются две сети: «Сеть ЭС. Монитор. Отвергнутые» и «Сеть ЭС. Монитор. Принятые». Созданные ЭС добавлены в список сети и определены исходные. В данном случае начальными ЭС выбраны «Родство с ребенком», «Доход семьи» и «Родители-инвалиды».

Для каждой ЭС, включённой в список сети, необходимо открыть список узлов и исходящих связей для настройки графа сети ЭС (рисунок 14).

Когда все необходимые связи настроены, можно открыть визуальное представление графа сформированной сети ЭС (рисунок 15).

**Этап 6.** После того, когда новая сеть ЭС сформирована, необходимо настроить механизм, с помощью которого сеть ЭС будет получать и обрабатывать данные пользователей.

Для того, чтобы создать пространство данных для сети ЭС, необходимо создать новую задачу и привязать её к сети ЭС (рисунок 16).

Правила (i-признаки, j-узлы):

i \ j	1	2	3	4	5	6
1	2	-1	-1	-1	-1	-1
2	-1	2	-1	-1	-1	-1
3	-1	-1	-1	2	-1	-1
4	-1	-1	-1	-1	2	-1
5	-1	-1	-1	-1	-1	2
6	-1	-1	2	-1	-1	-1
7	2	-1	-1	-1	-1	-1
8	2	-1	-1	-1	-1	-1

Рисунок 12 – Матрица правил ЭС

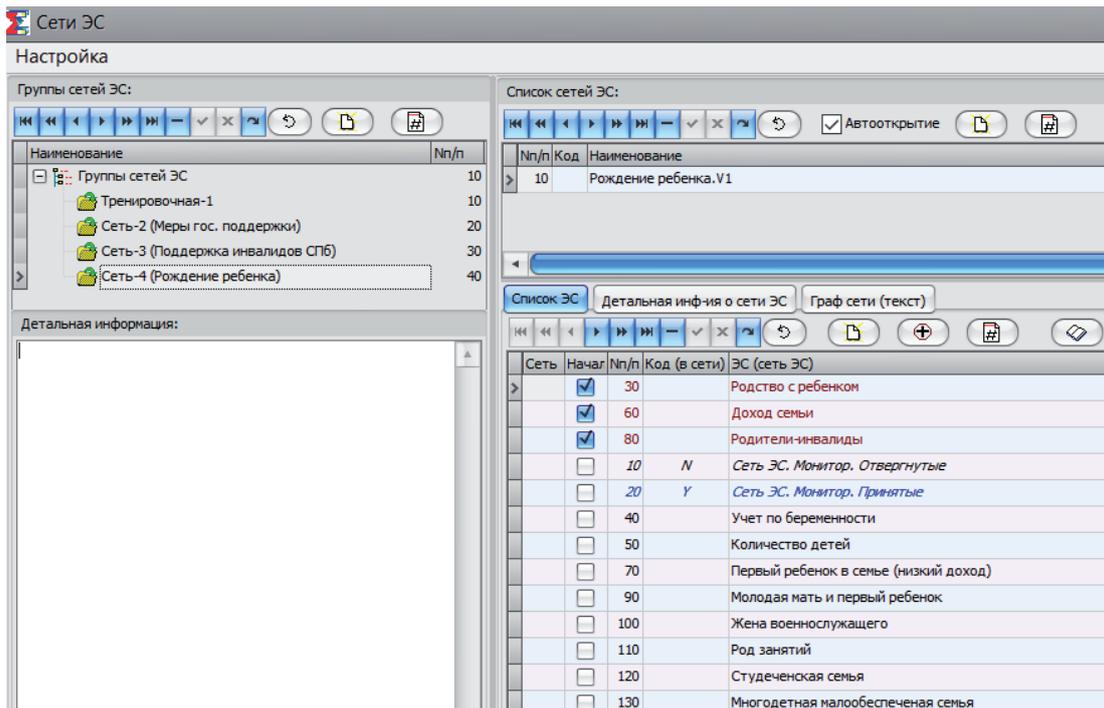


Рисунок 13 – Список сетей ЭС и входящие в нее ЭС

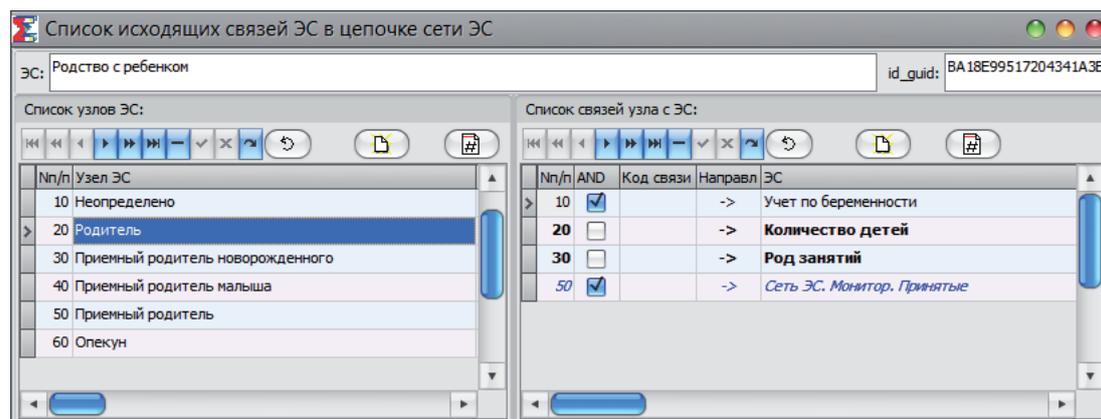


Рисунок 14 – Настройка связей в сети ЭС. Формирование графа

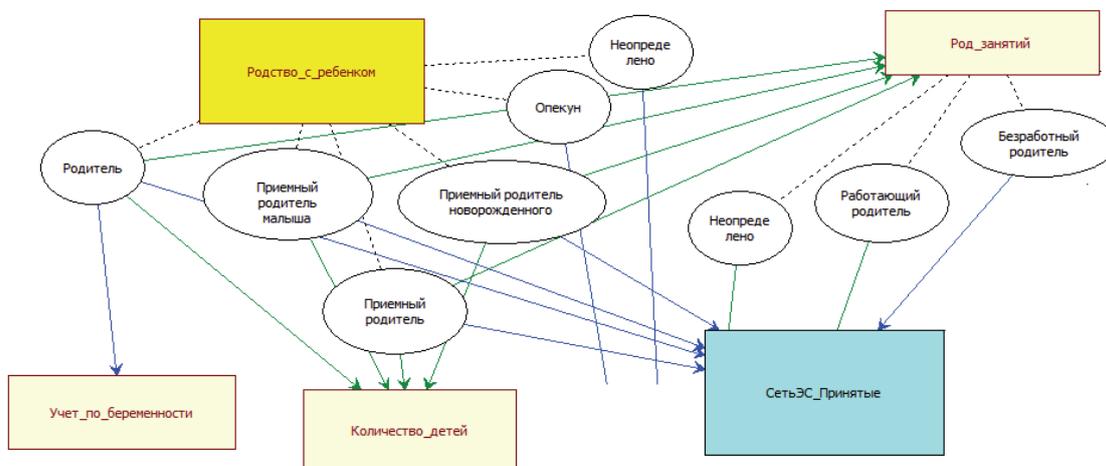


Рисунок 15 – Фрагмент графа сформированной сети ЭС

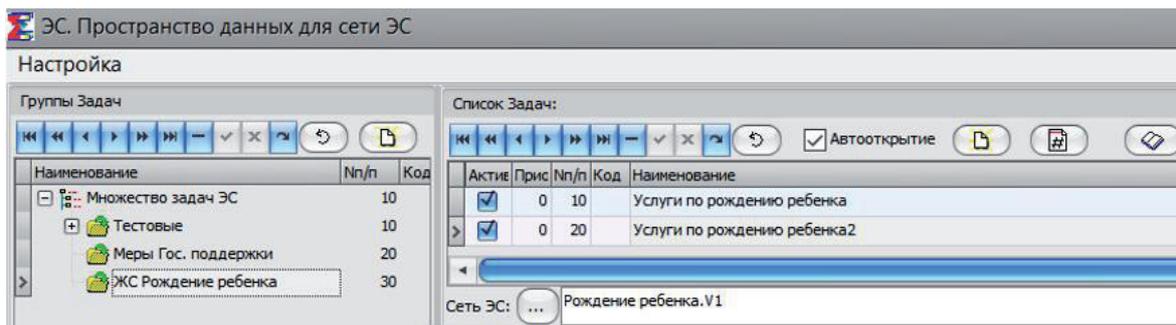


Рисунок 16 – Добавление новой задачи для сети ЭС

Когда задача к сети ЭС создана, можно сформировать анкету с вопросами. Анкета формируется автоматически, а её разделы соответствуют ЭС, входящим в сеть ЭС, привязанную к задаче. То есть, наименования разделов анкеты идентичны наименованиям ЭС, а вопросы идентичны утверждениям данной ЭС (рисунок 17).

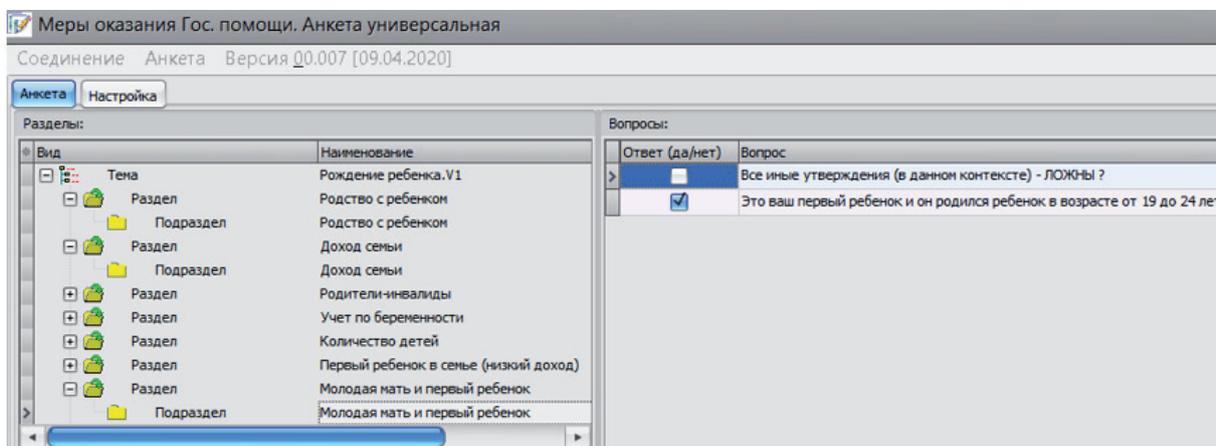


Рисунок 17 – Формирование вопросов анкеты по задаче к сети ЭС

Данные по задаче, поступавшие с помощью приложения, отображаются в окне «ЭС. Формирование пространства данных для сети ЭС» (рисунок 18).

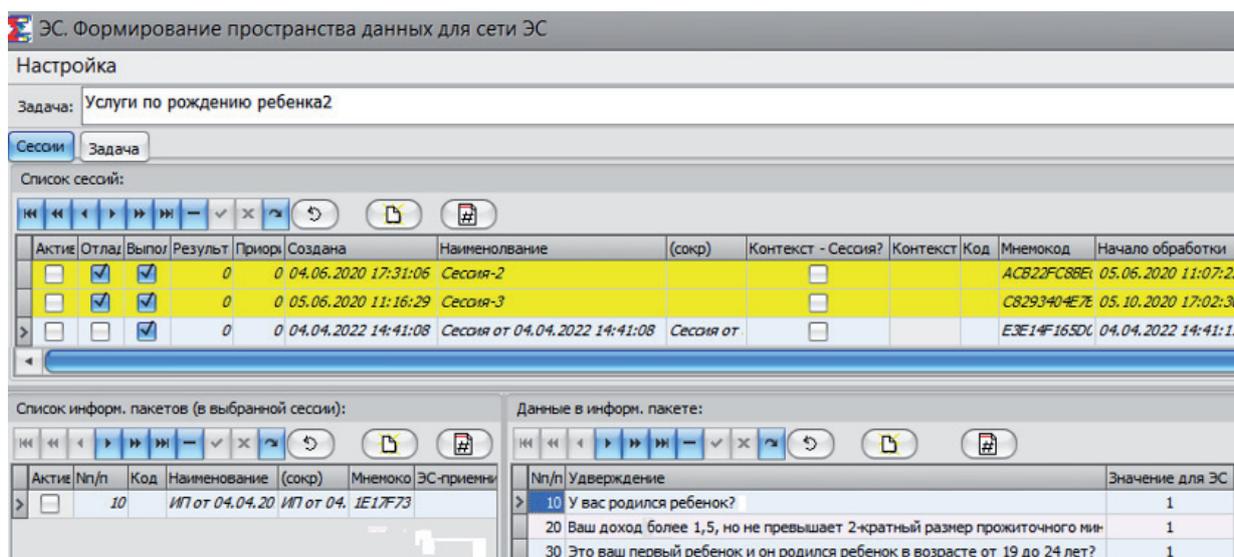


Рисунок 18 – Настройка пространства данных для конкретной задачи

ИП по Сессии-2 и Сессии-3 были созданы вручную и отмечены как отладочные. Данные по Сессии-3 поступили с помощью приложения-анкеты. На рисунке 18 раскрыты данные по этой сессии. В левом нижнем углу окна программы показаны ИП в рамках сессии, в правом нижнем углу окна – данные, входящие в ИП. Значение «1» для ЭС означает, что утверждения истинны.

**Этап 7.** Обработка и вывод полученных результатов. На рисунке 19 показан фрагмент окна приложения-анкеты со списком ГУ, полагающихся заявителю.

В анкете выбрано несколько утверждений, по которым сеть ЭС определила две категории заявителей с полагающимися им ГУ. По категории «Родитель» заявитель имеет право на четыре указанные ГУ, и по категории «Молодая мать» он может получить ещё одну ГУ.

Скрипт вывода результата в приложении настроен таким образом, что в контексте объектной модели системы выводятся объекты слева (категории заявителей) с их свойствами справа (ГУ).

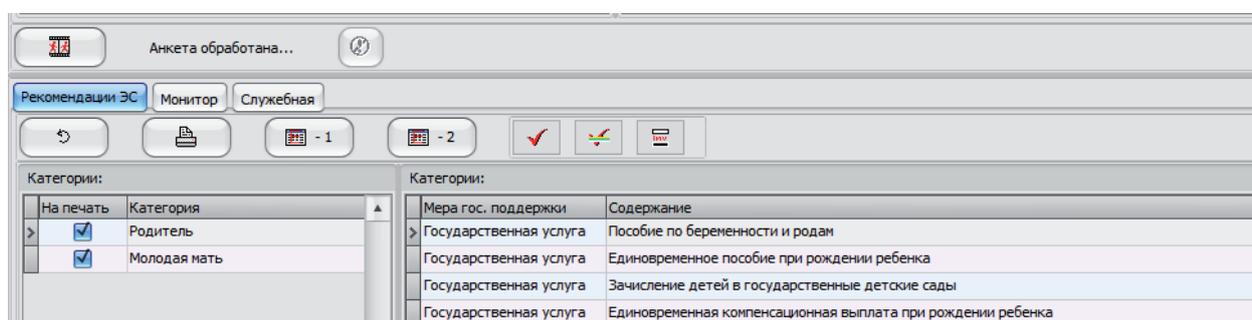


Рисунок 19 – Вывод результатов

## Заключение

Рассмотрены модели и метод миварного подхода с целью применения их при создании СППР в сфере предоставления ГУ. Показаны технологическая и техническая реализации миварного подхода для создания СППР, которая позволила создать модель ПрО по типу «Объект-Свойство-Отношение». В систему встроен функционал по созданию и обучению ЭС и формированию сетей ЭС с использованием теории графов. Сети ЭС представляют собой механизм логической обработки информации, созданный на основе активной обучаемой эволюционной миварной сети правил с линейной вычислительной сложностью логического вывода, управляемого потоком входных данных.

В работе рассмотрены особенности оказания ГУ населению, построена структура многомерного миварного пространства данной ПрО и на примере показано применение сетей ЭС для решения задачи проактивного предоставления ГУ населению.

## Список источников

- [1] Паспорт федерального проекта «Цифровое государственное управление» (утвержден Президиумом правительственной комиссии по цифровому развитию, использованию информационных технологий для повышения качества жизни и условий ведения бизнеса, протокол от 28.05.2019 № 9).
- [2] *Tibilova G.S., Ovcharenko A.V., Potapova A.V.* Proactivity and Subsidiarity as the Basic Principles of Digital Transformation of State Interaction with Citizens and Businesses. Lecture Notes in Networks and Systems. 2020. V.95. P.544-553.
- [3] *Варламов О.О.* Обзор 18 миварных экспертных систем, созданных на основе MOGAN. Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2021. № 3 (101).
- [4] *Павлова Д.А.* Миварные технологии. Применение миварных экспертных систем для решения практических задач. Современные наукоёмкие технологии. 2016. № 5 (часть 1). С.62-65.

- [5] *Адамова Л.Е., Сурикова О.В., Булатова И.Г., Варламов О.О.* Применение миварной экспертной системы для оценки сложности текстов. Известия Кабардино-Балкарского НЦ РАН. 2021. № 2(100). С.11-29.
- [6] *Лещев А.О., Лясковский М.А., Мельников К.И.* Оценка применимости векторного представления рёбер графа с целью уменьшения информационного объёма графа. Наука без границ. 2020. № 6 (46). С.67-73. <https://nauka-bez-granic.ru/№-6-46-2020/6-46-2020/>.
- [7] *Поспелов Д.А.* Моделирование рассуждений. Опыт анализа мыслительных актов. М.: Радио и связь, 1989. 184 с.
- [8] *Кук Д., Бейз Г.* Компьютерная математика: Пер. с англ. М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1990. 384 с.
- [9] *Кузнецов О.П.* Дискретная математика для инженера. 6-е изд., стер. СПб: Изд-во "Лань", 2009. 400 с.
- [10] *Питерсон Дж.* Теория сетей Петри и моделирование систем. М.: Мир, 1984.
- [11] *Котов В.* Сети Петри, М.: Наука, 1984.
- [12] *Варламов О.О.* Переход от продукций к двудольным миварным сетям и практическая реализация автоматического конструктора алгоритмов, управляемого потоком входных данных и обрабатывающего более трех миллионов правил. Междунар. конф. "Современные проблемы математики, информатики и биоинформатики". 11-14 октября 2011 г. Новосибирск: ЗАО РИЦ "Прайс-курьер", 2011. С.16-46.
- [13] *Sandu R.A.* A method of processing experimental data on the parameters of physical processes in information-measurement systems based on Mivar logical nets (англ.) Measurement Techniques. 2010-10-01. В. 6. Т.53. С.600-604. ISSN 0543-1972. DOI:10.1007/s11018-010-9548-0.
- [14] *Владимиров А.Н., Варламов О.О., Носов А.В., Потапова Т.С.* Программный комплекс «УДАВ»: практическая реализация активного обучаемого логического вывода с линейной вычислительной сложностью на основе миварной сети правил. Труды научно-исследовательского института радио. 2010. Т.1. С. 108-116.
- [15] *Самойлова М.О., Сергушин Г.С., Антонов П.Д., Хадиев А.М.* Миварные технологии в экспертных системах. Сборник тезисов докладов Национального суперкомпьютерного форума «НСКФ-2015» (г. Переславль-Залесский, 24–27 ноября 2015 г.). URL: <http://2015.nscf.ru/nauchno-prakticheskaya-konferenciya/tezisy-dokladov/>.
- [16] *Варламов О.О.* Эволюционные базы данных и знаний для адаптивного синтеза интеллектуальных систем. Миварное информационное пространство. М.: Радио и связь, 2002. 282 с.
- [17] *Потапова А.В.* Сетевое управление в адаптивных информационных системах. Системный анализ в проектировании и управлении. Сборник научных трудов XXIV Международной научной и учебно-практической конференции: в 3 ч. Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. 2020. С. 268-280.
- [18] *Потапова А.В., Тибилова Г.С., Овчаренко А.В.* Применение экспертных систем в проектировании проактивных государственных услуг. Коммуникативные стратегии информационного общества. Труды XI Международной научно-теоретической конференции. 2019. С.143-152.
- [19] *Potapova A.V., Diachenko N.V., Tibilova G.S., Ovcharenko A.V.* Designing a Network of Expert Systems for Identifying Recipients of Public Services. Lecture Notes in Networks and Systems. 2021. Т.184. P.136-148.
- [20] *Волкова В.Н., Ефремов А.А., Логинова А.В., Леонова А.Е.* Концепция формирования системы поддержки принятия решений в условиях территориально-распределенных баз данных. / В кн.: Труды 2-й Международной конференции IEEE 2017 по управлению в технических системах. CTS 2017.
- [21] *Захаров Ю.Н.* Типичные ИТ-решения, разработанные в Санкт-Петербурге в процессе реализации государственных функций и услуг. В кн.: Перспективные направления развития отечественных информационных технологий, материалы II Межрегиональной научно-практической конференции. Севастопольский государственный университет; научное изд. Б. В. Соколов. 2016. С. 35-36.

## Сведения об авторе

*Потапова Анастасия Викторовна*, 1989 г. рождения. Окончила Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения в 2014 году. Аспирант высшей школы киберфизических систем и управления Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого. В списке научных трудов 5 работ в области проектирования адаптивных информационных систем, создания интеллектуальных систем поддержки принятия решений. ORCID: 0000-0002-1231-7078; AuthorID (Scopus): 57217734070; AuthorID (РИНЦ): 1145841; [anastasia589@mail.ru](mailto:anastasia589@mail.ru).



Поступила в редакцию 7.04.2022, после рецензирования 2.06.2022. Принята к публикации 10.06.2022.



## Application of the mivar approach in creation of decision support systems for public services

© 2022, A.V. Potapova

Peter the Great St.Petersburg Polytechnic University, St. Petersburg, Russia

### Abstract

Currently, there is an active digitalization of the processes of providing public services and performing public functions by state authorities. In the field of public services, the task of their proactive provision has been set, as a result of which there is a need to develop decision-making support systems for providing services to the population in a proactive form and their information support. Such systems should be able to adapt to changes in legislation in the provision of public services, and in addition have such a logical inference mechanism that could determine the public services that an applicant is entitled to based on limited information about him. The purpose of the study was to investigate the possibility of using the mivar approach in creating such decision support systems. The essence of the mivar approach as a mathematical tool for the development of artificial intelligence systems created by combining the production approach and "Petri nets" is characterized. The model and methods of the mivar approach are considered, the analysis of models for representing data structures, as well as methods for finding the route of inference on the network of rules, is carried out. A technological and technical description of the decision support system based on the mivar approach is presented. The stages of building a logical network of hyper-rules with multiactivators created using expert systems are proposed, and its implementation is shown on the example of the provision of public services.

**Keywords:** production approach, mivar approach, "Petri nets", mivar logical network, logical inference algorithm, expert system, public services.

**Citation:** Potapova AV. Application of the mivar approach in creation of decision support systems for public services [In Russian]. *Ontology of Designing*. 2022; 12(2): 245-262. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-2-245-262.

**Acknowledgements:** the author expresses gratitude to the members of the editorial board of the journal "Ontology of Designing" for comments and recommendations on improving this article.

**Conflict of interest:** The author declares that there is no conflict of interest.

### List of figures and tables

- Figure 1 – Example of a one-sided oriented graph "And-OR tree"
- Figure 2 – Structure of the ES network
- Figure 3 – Algorithm of logical and computational processing of the ES network
- Figure 4 – Technical implementation of the external application with the System
- Figure 5 – Scenario of the external application with the ES network
- Figure 6 – Description of the reference objects of the list of public services
- Figure 7 – Description of objects of user categories
- Figure 8 – Creation of a set of statements
- Figure 9 – List of ES in the system
- Figure 10 – Setting up the ES
- Figure 11 – ES Training
- Figure 12 – ES rules matrix
- Figure 13 – List of ES networks and its ES member
- Figure 14 – Setting up connections in the ES network. Graph formation
- Figure 15 – A fragment of the graph of the formed ES network
- Figure 16 – Adding a new task for the ES network
- Figure 17 – Formation of questionnaire on the task to the ES network
- Figure 18 – Configuring the data space for a specific task
- Figure 19 – Output of results

Table 1 – Database tables for storing domain data

Table 2 – Database tables for storing claims

## References

- [1] Passport of the federal project "Digital Public Administration" [In Russian]. (Approved by the Presidium of the Government Commission on Digital Development, the use of information technologies to improve the quality of life and business conditions, Protocol No. 9 dated 28.05.2019).
- [2] **Tibilova GS, Ovcharenko AV, Potapova AV.** Proactivity and Subsidiarity as the Basic Principles of Digital Transformation of State Interaction with Citizens and Businesses. *Lecture Notes in Networks and Systems.* 2020; 95: 544-553.
- [3] **Varlamov OO.** Review of 18 mivar expert systems created on the basis of MOGAN [In Russian]. *Proceedings of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences.* 2021; 3(101).
- [4] **Pavlova DA.** Mivar technologies. Application of mivar expert systems for solving practical problems [In Russian]. *Modern high-tech technologies.* 2016; 5(Part 1): 62-65.
- [5] **Adamova LE, Surikova OV, Bulatova IG, Varlamov OO.** Application of the mivar expert system for assessing the complexity of texts [In Russian]. *Proceedings of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences.* 2021; 2(100): 11-29.
- [6] **Leshchev AO, Lyaskovsky MA, Melnikov KI.** Evaluation of the applicability of vector representation of graph edges in order to reduce the information volume of the graph [In Russian]. *Science without Borders.* 2020; 6(46): 67-73. URL: <https://nauka-bez-granic.ru/№-6-46-2020/6-46-2020/>.
- [7] **Pospelov DA.** Modeling of reasoning. The experience of analyzing mental acts [In Russian]. Moscow: Radio and Communications, 1989. 184 p.
- [8] **Cook D, Baze G.** Computer mathematics [In Russian]. Translated from English. Moscow: Nauka, Gl. ed. phys.-mat. lit., 1990. 384 p.
- [9] **Kuznetsov OP.** Discrete mathematics for an engineer [In Russian]. 6th ed., erased. St. Petersburg: Publishing House "Lan", 2009. 400 p.
- [10] **Peterson J.** Petri Net theory and system modeling [In Russian]. Moscow: Mir, 1984.
- [11] **Kotov V.** Petri Nets [In Russian]. Moscow: Nauka, 1984.
- [12] **Varlamov OO.** Transition from productions to bipartite mivar networks and practical implementation of an automatic algorithm constructor controlled by the input data flow and processing more than three million rules [In Russian]. *International Conference "Modern Problems of Mathematics, Computer Science and Bioinformatics"* dedicated to the 100th anniversary of the birth of Corresponding member of the USSR Academy of Sciences A.A. Lyapunov. Russia, Novosibirsk, Akademgorodok, October 11-14, 2011 Novosibirsk: CJSC RIC "Price-courier", 2011. P.16-46.
- [13] **Sandu RA.** A method of processing experimental data on the parameters of physical processes in information-measurement systems based on Mivar logical nets (англ.) *Measurement Techniques.* 2010-10-01. 53: 600-604. DOI:10.1007/s11018-010-9548-0.
- [14] **Vladimirov AN, Varlamov OO, Nosov AV, Potapova TS.** Software package "UDAV": practical implementation of an active trainable logical inference with linear computational complexity based on a mivar network of rules [In Russian]. *Proceedings of the Radio Research Institute.* 2010; 1: 108-116.
- [15] **Samoylova MO, Sergushin GS, Antonov PD, Khadiev AM.** Mivar technologies in expert systems [In Russian]. *Collection of abstracts of the National Supercomputer Forum "NSCF-2015"* (Pereslavl-Zalessky, November 24-27, 2015). <http://2015.nscf.ru/nauchno-prakticheskaya-konferenciya/tezisy-dokladov/>.
- [16] **Varlamov OO.** Evolutionary databases and knowledge for adaptive synthesis of intelligent systems. *Mivar information space* [In Russian]. Moscow: Radio and Communications, 2002. 282 p.
- [17] **Potapova AV.** Network-centric management in adaptive information systems. *System analysis in design and management* [In Russian]. *Collection of scientific papers of the XXIV International scientific and educational-practical conference: Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University.* 2020. P.268-280.
- [18] **Potapova AV, Tibilova GS, Ovcharenko AV.** Application of expert systems in the design of proactive public services [In Russian]. *Communication strategies of the information society. Proceedings of the XI International Scientific and Theoretical Conference.* 2019. P.143-152.
- [19] **Potapova AV, Diachenko NV, Tibilova GS, Ovcharenko AV.** Designing a Network of Expert Systems for Identifying Recipients of Public Services. *Lecture Notes in Networks and Systems.* 2021; 184: 136-148.
- [20] **Volkova VN, Efremov AA, Loginov AV, Leonova AE.** The concept of forming a decision support system in the conditions of geographically distributed databases [In Russian]. In: *Proceedings of the 2nd IEEE 2017 International Conference on Management in Technical Systems. CTS 2017.*

- [21] **Zakharov Yu.N.** Typical IT solutions developed in St. Petersburg in the process of implementing state functions and services [In Russian]. In the book: promising directions of development of domestic information technologies, materials of the II Interregional scientific and practical conference. Sevastopol State University; scientific ed. B.V. Sokolov. 2016. P.35-36.
- 

### **About the author**

**Anastasia Victorovna Potapova** (b. 1989) graduated from St. Petersburg State University of Aerospace Instrumentation in 2014. Postgraduate student of the Higher School of Cyberphysical Systems and Management of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. The list of scientific papers includes 5 works in the field of design of adaptive information systems, creation of intelligent decision support systems. ORCID: 0000-0002-1231-7078; Author ID (Scopus): 57217734070; AuthorID (RSCI) 1145841; *anastasia589@mail.ru* .

---

*Received April 7, 2022. Revised June 2, 2022. Accepted June 10, 2022.*

---