

УДК 004.942+004.891.2+330.46+519.711.3

UDC 004.942+004.891.2+330.46+519.711.3

**РЕАЛИЗАЦИЯ НЕКОТОРЫХ МЕТОДОВ СИСТЕМОЛОГИИ В КОМПЬЮТЕРНОЙ ПОДДЕРЖКЕ ПРИНЯТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ**

**REALIZATION OF SOME SYSTEM-LOGICAL METHODS IN COMPUTER DECISION SUPPORT**

Гусев Александр Алексеевич  
магистрант 2 курса  
*Кубанский государственный университет,  
Краснодар, Россия*  
[alexandrgsv@gmail.com](mailto:alexandrgsv@gmail.com)

Gusev Alexander Alexeyevich  
2<sup>nd</sup> year master student  
*Kuban State University, Krasnodar, Russia*  
[alexandrgsv@gmail.com](mailto:alexandrgsv@gmail.com)

В статье представлена авторская программная реализация концепции целенаправленных систем Дж. Клира для поддержки принятия решений с позиций системологии в программной среде автора AimDSS, дан краткий обзор базовых положений системологии, приведен обзор практических разработок в области программных систем, реализующих методы системологии

In the article, the author's computer realization of Klir's concept of goal-oriented systems for system-logical decision support in the author's program system AimDSS is presented, a short review of basic concepts and principles of Systemology is given, a review of practical developments in the field of computer systems realizing systemological methods is done

Ключевые слова: ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ, КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННЫЕ СИСТЕМЫ, СИСТЕМОЛОГИЯ, СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД, УНИВЕРСАЛЬНЫЙ РЕШАТЕЛЬ СИСТЕМНЫХ ЗАДАЧ

Keywords: DECISION SUPPORT, COMPUTER SIMULATION, GOAL-ORIENTED SYSTEMS, SYSTEMOLOGY, SYSTEM APPROACH, GENERAL SYSTEMS PROBLEM SOLVER

**1. Введение**

Системология – научное направление, развиваемое Джорджем Клиром, профессором Центра Интеллектуальных Систем Университета Штата Нью-Йорк, США ставящее своей целью формализацию семантики и логики общесистемных понятий для определения иерархической классификации систем, позволяющую на основе этой классификации и параллельно с ней строить классификацию системных задач и методов их решения на компьютере, не зависящих от конкретной предметной области [10].

Центральное место в работах Клира занимают описания систем с поведением и структурированных систем, которыми через процедуры абстрагирования между выделенными Клиром эпистемологическими уровнями представления данных моделируются системы реального мира, с целью, в том числе, предсказания их развития, выделения и управления

факторами, влияющими на него. *Актуальность* и управленческая ценность предложенной Клиром системной методологии заключается в том, что методы системологии могут использоваться в поддержке принятия решений в различных предметных областях, в том числе при решении слабоструктурированных задач, что является главным требованием к информационным системам поддержки принятия решений (ИСППР) [6].

За десятилетия, прошедшие с момента выхода в 1985 г. англоязычного издания первой книги Клира об Универсальном решателе системных задач (УРСЗ) – гипотетической информационной системе, реализующей методы системологии, достаточно большое количество ученых и педагогов (François E. Cellier, Félix Castro, Àngela Nebot, Швецова Н.А. и др.), представляющих различные области знания использовали предложенный Клиром взгляд на автоматизацию решения системных задач в своих работах.

Однако, отмечая практические программные реализации, можно говорить лишь об очень ограниченном применении принципов УРСЗ в разработке реальных информационных систем, нереализованности аппарата поддержки принятия решений, заложенного Клиром в концепцию УРСЗ.

*Объектом* исследования Гусева А.А., выполняемого в Кубанском государственном университете под руководством к.ф-м. наук, доц. Швецовой Н.А., является реализация методов системологии Клира в компьютерной поддержке принятия решений.

*Предметом* исследования является аппарат *целенаправленных систем*, формализующих связь между управленческой целью пользователя и поведением управляемой системы при реализации различных управленческих альтернатив.

*Целью* исследования является программная реализация аппарата целенаправленных систем в рамках разрабатываемой Гусевым А.А. программной системы AimDSS.

В *задачи* исследования входит изучение состояния использования методов системологии Клира в реальных информационных системах, уточнение математического аппарата целенаправленных систем, программная реализация математического аппарата целенаправленных систем и разработка интерфейса пользователя.

Статья состоит из введения, обзора состояния исследований в области практической реализации методов системологии, раздела постановки и решения задачи исследования, описания условий использования решения и заключения.

## **2.Состояние исследований в области практической реализации методов системологии.**

Перед рассмотрением практических реализаций методов системологии другими исследованиями и разработчиками, приведем основные понятия системологии Клира и предложенной им гипотетической информационной системы УРСЗ.

Системы, с которыми оперирует УРСЗ, организованы в иерархию эпистемологических уровней. Данная иерархия опирается на несколько элементарных понятий: *исследователь* (наблюдатель) и его среда, *исследуемый* (наблюдаемый) *объект* и его среда и *взаимодействие* между исследователем и объектом.

Самый нижний уровень в этой иерархии, обозначаемый как уровень 0, это *система, различаемая исследователем как система*. На данном уровне исследователь выбирает способ, каким он хочет взаимодействовать с исследуемым объектом. В большинстве случаев этот выбор не вполне произволен. По крайней мере частично он определяется *целью*

исследования, условиями исследования, а также имеющимися знаниями, относящимися к данному исследованию. В структуре УРСЗ система эпистемологического уровня 0 определена через множество переменных, множество потенциальных состояний (значений), выделяемых для каждой переменной, и некий операционный способ описания смысла этих состояний в терминах проявлений соответствующих атрибутов данного объекта. Для определенных на этом уровне систем используется термин *исходная система*, указывающий на то, что подобная система является, по крайней мере потенциально, источником эмпирических данных. При этом системы, в которых переменные разделены на входные и выходные, называются *направленными*; системы, в которых такое разделение не задано, называются *нейтральными*.

На других более высоких эпистемологических уровнях системы отличаются друг от друга уровнем знаний относительно переменных соответствующей исходной системы. В системах более высокого уровня используются все знания соответствующих систем более низких уровней и, кроме того, содержатся дополнительные знания, недоступные низшим уровням. Таким образом, исходная система содержится во всех системах более высоких уровней.

После того как исходная система дополнена данными, т.е. действительными состояниями основных переменных при определенном наборе параметров, мы рассматриваем новую систему (исходную систему с данными) как определенную на эпистемологическом уровне 1. Системы этого уровня называются *системами данных*.

Более высокие эпистемологические уровни содержат знания о некоторых инвариантных параметрах характеристиках отношений рассматриваемых переменных, посредством которых можно генерировать данные при соответствующих начальных или граничных условиях.

Генерируемые данные могут быть точными (детерминированными) или приближительными в каком-то определенном смысле (стохастическими, нечеткими).

Поскольку задачей параметрически инвариантного ограничения является описание процесса, при котором состояния основных переменных могут порождаться по множеству параметров при любых или граничных условиях, системы уровня 2 называются *порождающими системами*.

На эпистемологическом уровне 3 системы, определенные как порождающие системы (или иногда системы более низкого уровня), называются *подсистемами* общей системы. Эти подсистемы могут соединяться в том смысле, что они могут иметь некоторые общие переменные или взаимодействовать как-то иначе. Системы этого уровня называются *структурированными системами*.

На эпистемологическом уровне 4 системы состоят из набора систем, определенных на более низком уровне, и некоторой инвариантной параметрам *метахарактеристики* (правила, отношения, процедуры), описывающей изменения в системах более низкого уровня. Требуется, чтобы системы более низкого уровня имели одну и ту же исходную систему и были определены на уровне 1, 2, или 3. Определенные таким образом системы называются *метасистемами*.

На уровне 5 допускается, что метахарактеристика может изменять множество параметров согласно инвариантной параметрам характеристике более высокого уровня или мета-метахарактеристике. Такие системы называются *мета-метасистемами* или *метасистемами второго порядка*. Аналогично определяются метасистемы более высоких порядков.

*Цель* системы можно определить различными способами. В соответствии с принятым в УРСЗ общим подходом цель системы

находится «в руках» пользователя. Это значит, что для заданной системы произвольного эпистемологического уровня, определенной ее первичными свойствами, ассоциируемая с системой цель – это конкретное ограничение ее первичных или вторичных свойств, которое при данных обстоятельствах пользователь считает предпочтительным.

Таким образом, данная система может рассматриваться с точки зрения различных целей. В некоторой степени система удовлетворяет любой цели. Эта степень, называемая *характеристикой системы относительно цели*, может быть измерена (в некотором смысле) близостью действительных и желаемых проявлений тех свойств системы, которые предусмотрены целью. Обычно она определяется в терминах соответствующей функции, называемой *характеристической функцией*. Этот факт подсказывает тривиальный способ определения целенаправленных систем: система рассматривается как *целенаправленная* тогда и только тогда, когда ее характеристика относительно заданной цели больше некоторого заданного порога – обычно 0,5 или более.

Отмечая практические реализации принципов УРСЗ, можно говорить о применении лишь ограниченного числа методов системологии Клира на практике.

В основном результаты были достигнуты в развитии методологии FIR (Fuzzy Inductive Reasoning), восходящей к SAPS (System Approach Problem Solver) – программной системе для решения задач на основе системного подхода, разработанной Hugo Uyttenhove в рамках его докторской диссертации в университете штата Нью-Йорк под руководством Дж. Клира в 1979.

SAPS получила развитие в 80-е и 90е гг., перейдя от закрытой программной системы, ориентированной на решение ограниченного числа предварительно определенных задач к достаточно универсальному

средству качественного моделирования, основанного на применении нечеткой логики, после оснащения Donghui Li модулями для работы с которой в 1990, методология приобрела современное название FIR [7].

Методология FIR, активно развиваемая такими последователями Клира, как François E. Cellier, Félix Castro, Àngela Nebot, Francisco Mugica и др., направлена на качественное и имитационное моделирование слабоструктурированных систем с использованием нечеткой логики для ускорения вычислений [1]. Методология FIR (рисунок 1) состоит из 4 главных процессов: fuzzification (перекодирование), качественное моделирование (поиск оптимальной маски), качественная симуляция (предсказание) и defuzzification (регенерация), что примерно соответствует уровню порождающих систем с поведением в терминах системологии Клира.

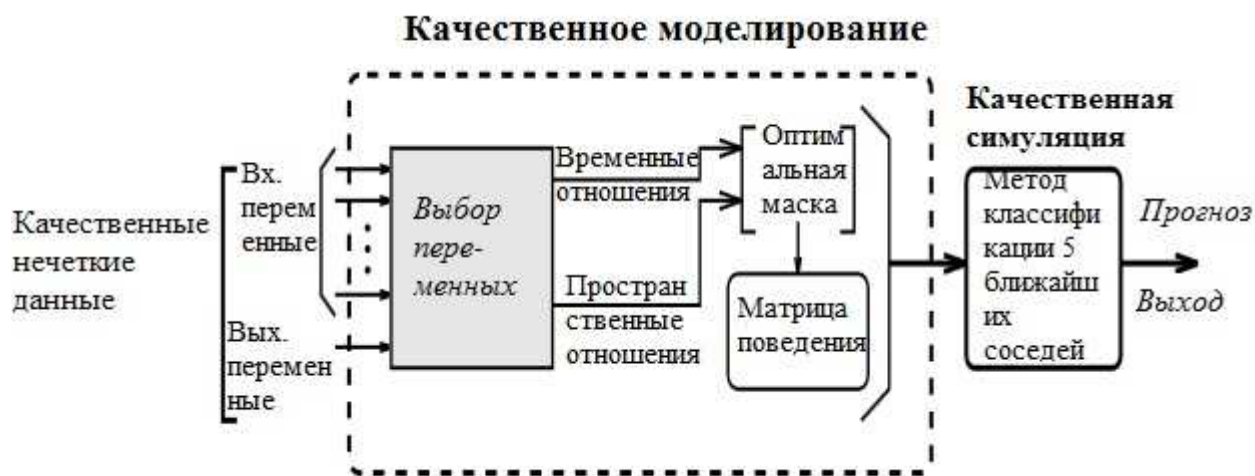


Рисунок 1. Методология FIR.

Отмечается, что глобальная оптимизационная стратегия FIR предотвращает удержание оптимизационного алгоритма в локальном оптимуме, что так характерно для других алгоритмов, не предназначенных, в отличие от FIR, для работы с слабоструктурированными нелинейными системами, что подтверждается хорошими результатами применения FIR в моделировании биологических

объектов, в проектировании экспертных систем обнаружения бортовых неисправностей и рулевого управления [5][8][9].

В качестве платформы для программной реализации FIR разработчиками была выбрана среда математического моделирования MathWorks MATLAB, к которой инструментарий FIR поставляется в виде отдельного Toolbox, доступного (в ранней редакции) для свободной загрузки на странице Cellier [3]. Актуальная редакция компонента FIR Toolbox для Matlab может быть получена по запросу у Angela Nebot <angela@lsi.upc.edu>.

FIR Toolbox для MATLAB реализует 4 главных процесса методологии FIR через функции `rescode` (перекодирование), `mexfortmask` (поиск оптимальной маски), `forecast` (предсказание) и `regenerate` (регенерация), расположенные в одноименных .mexw64-файлах (текстовое описание форматов функций помещено в одноименные .m-файлы). Аргументами этих функций являются матрицы данных моделируемых систем или матрицы, производные от них. Также Antoni Escobet разработана более дружественная, диалоговая версия компонента, под названием Visual-FIR [2], главное графическое окно которой приведено на рисунке 2.

Visual FIR может быть также получен по запросу у Angela Nebot.

Нельзя не отметить, что FIR Toolbox и Visual-FIR требуют установки на компьютер пользователя довольно дорогостоящей системы MathWorks Matlab, даже если иной функционал этой математической платформы пользователю не требуется.



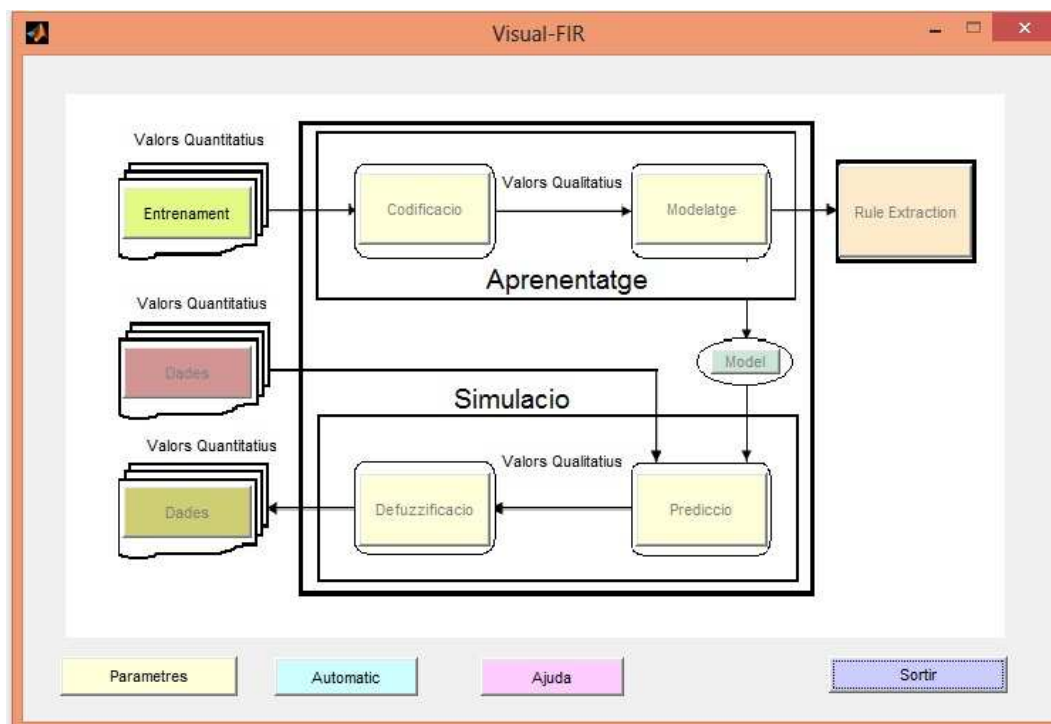


Рисунок 2. Visual-FIR для Matlab.

### 3. Постановка и решение задачи

Рассматривая возможность применения методов системологии в построении информационных систем поддержки принятия решений, необходимо указать на *программную нереализованность механизма формализации управленческой цели пользователя и оценки управляемой системы на предмет близости ее наблюдаемого поведения к управленческой цели.*

При решении этой задачи в разрабатываемой Гусевым А.А. программной системе AimDSS методологической базой подобной формализации выступает концепция *целенаправленных систем*, предложенная Клиром [4]. При этом, под *целью* понимается заданная пользователем вероятностная *целевая функция поведения*  $f(c)$ , относительно которой оценивается *приведенная функция поведения*  $f(c)$  управляемой системы (заданной множеством наблюдаемых состояний  $c \in C$ ) при реализации  $i$ -ой управленческой альтернативы.

*Управленческая альтернатива* в общем случае представляет собой расширение управляемой системы на некоторое множество *переменных принятия решения*.

Приведенная функция поведения  ${}^i f(c)$  управляемой системы строится на основе расширенной функции поведения  ${}^i f'(c, z)$  системы при реализации варианта  $i$ , которая определена на расширенном множестве состояний  $\{c \in C, z \in Z\}$ , образуемом в результате добавления в систему переменных принятия решения. При этом отдельная приведенная вероятность  ${}^i f(c_i)$  рассчитывается по формуле:

$${}^i f(c_i) = \sum_k {}^i f'(c_i, z_k) \quad (1)$$

Расстояние  $\delta(*, i)$  между  $i$ -ой приведенной функцией поведения и целевой функцией оценивается по формуле Хэмминга:

$$\delta(*, i) = \sum_{c \in C} |{}^* f(c) - {}^i f(c)| \quad (2)$$

Степень целенаправленности  $\omega(*, i)$  управляемой системы при реализации альтернативы  $i$  определяется по формуле:

$$\omega(*, i) = 1 - \frac{\delta(*, i)}{2} \quad (3)$$

Сеанс работы пользователя с системой AimDSS повторяет восхождение по иерархии эпистемологических уровней систем, предложенных Клиром: от исходной системы к системе данных, порождающей системе с поведением, целенаправленной системе.

На этапе задания исходной системы пользователь определяет наименование (рисунок 3) и свойства управляемой системы (объекта), которые подлежат исследованию (рисунок 4).

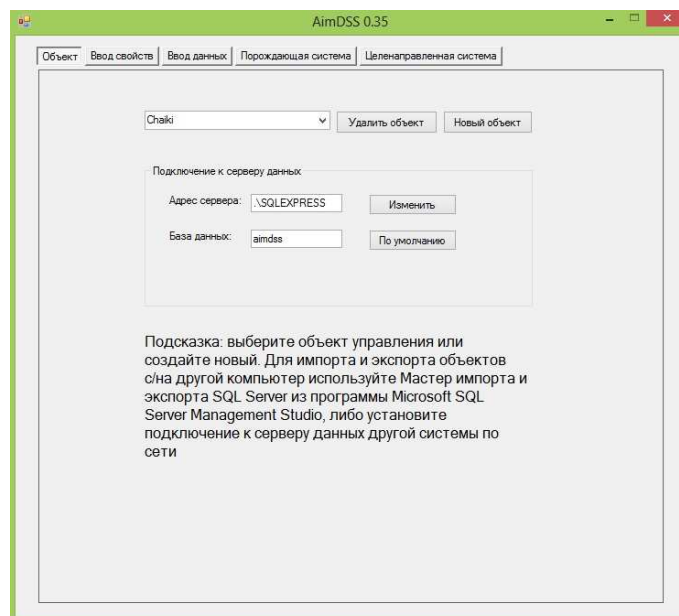


Рисунок 3. Задание наименования управляемой системы (объекта исследования).

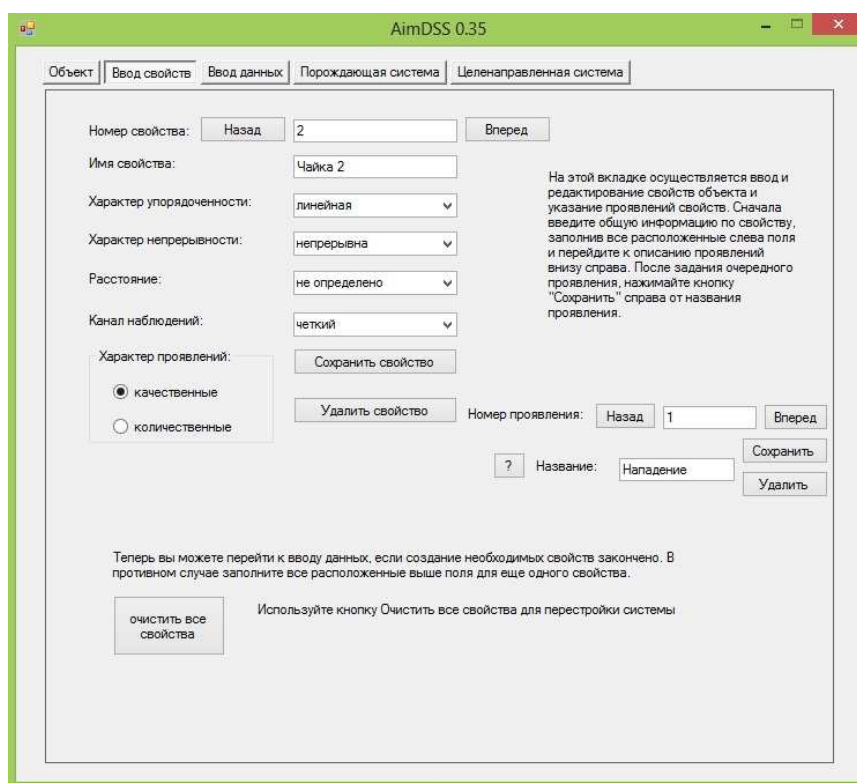


Рисунок 4. Задание свойств управляемой системы.

При задании свойств управляемой системы, существует возможность выбора характера упорядоченности (линейная, частичная, отсутствует), непрерывности (дискретна, непрерывна), расстояния (определено, не определено) на множестве проявлений данного свойства, а также канала

наблюдений (четкий, нечеткий), использованного для регистрации проявлений данного свойства.

На этапе задания порождающей системы с поведением (рисунок 5) пользователь определяет маску, используемую для формирования выборки данных по выборочным переменным  $s_1 \dots s_n$ . При этом существует возможность как ручного выбора маски, с автоматической оценкой величины порождающей нечеткости, так и автоматического подбора системой оптимальной осмысленной маски заданного уровня сложности, при движении по матрице данных слева направо или справа налево.

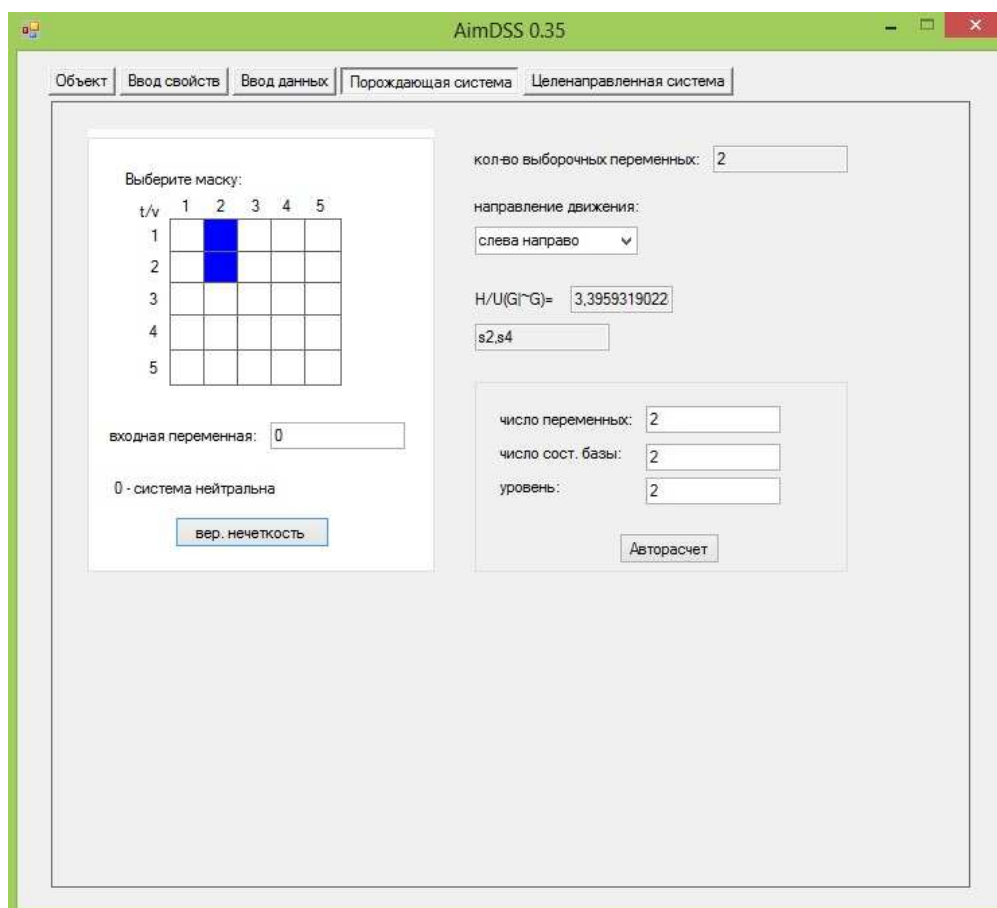


Рисунок 5. Интерфейс ручного, либо автоматического задания порождающей системы с поведением в AimDSS.

Компоненты, необходимые для работы с целенаправленной системой находятся на одноименной вкладке, подразделяющейся в свою очередь на две вложенные вкладки: «Цель» и «Управленческие альтернативы».

На вкладке «Цель» (рисунок 6) пользователь задает желаемые комбинации проявлений свойств системы, именуемые «целевыми требованиями» с указанием желаемой частоты (в диапазоне  $[0...1]$ ) возникновения такого состояния системы. Совокупность всех целевых требований определяет управленческую цель пользователя.

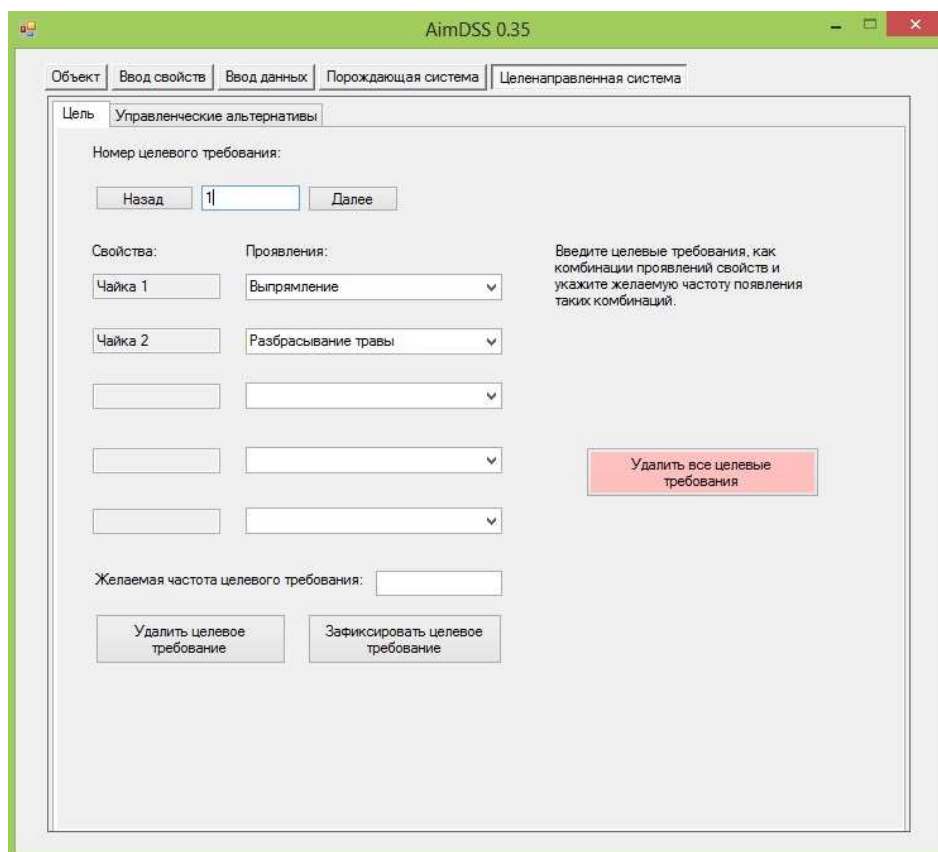


Рисунок 6. Интерфейс задания целевых требований пользователя.

Вкладка «Управленческие альтернативы» в свою очередь подразделяется на две вкладки. На вкладке «Переменные принятия решения» (рисунок 7) пользователь фактически доопределяет множество свойств управляемой системы через некоторое множество новых свойств или переменных принятия решения. Процесс спецификации этих свойств аналогичен рассмотренному выше этапу определения свойств исходной системы.

Вкладка «Данные и оценка управленческой альтернативы» (рисунок 8) предназначена для ввода новых состояний системы, соответствующих

рассматриваемой управленческой альтернативе, а также для оценивания расстояния до цели и степени целенаправленности управленческой альтернативы по формулам (2) и (3) соответственно.

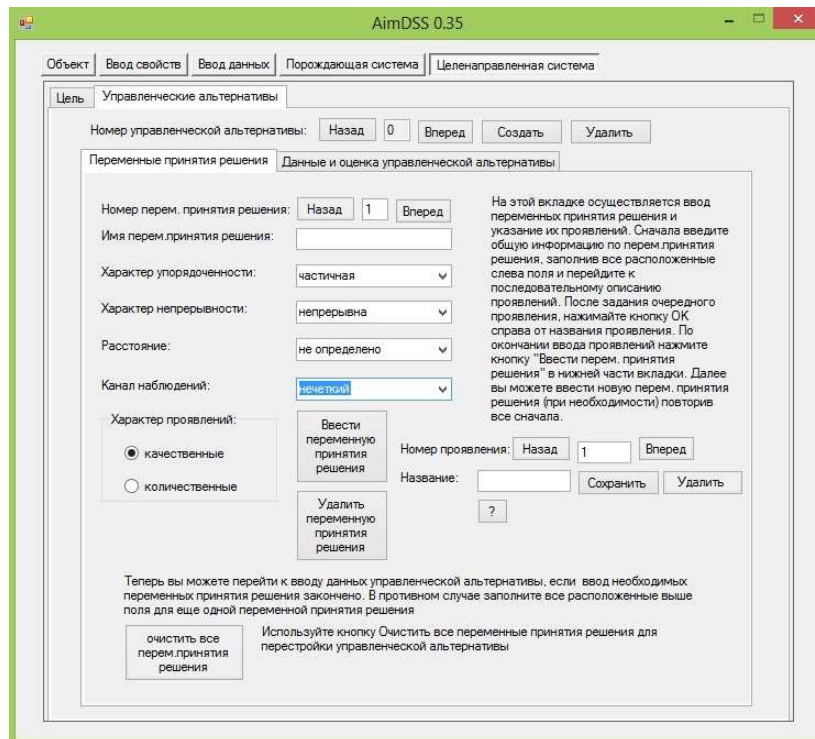


Рисунок 7. Интерфейс описания переменных принятия решения.

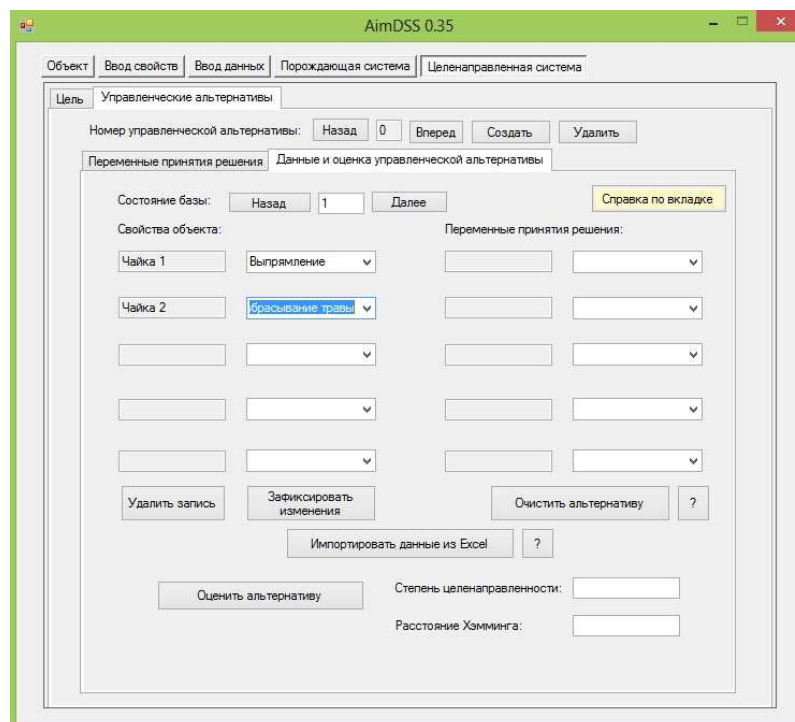


Рисунок 8. Интерфейс оценки целенаправленности управленческой альтернативы

#### **4. Условия использования**

Система AimDSS реализована на языке C# в среде Microsoft Visual Studio 2012. Для корректной работы системы необходим компьютер с операционной системой Microsoft Windows 7 или выше, платформой .NET Framework 4.5 или выше и сервером баз данных Microsoft SQL Server Express 2012.

Отметим, что платформа .NET Framework и редакция SQL Server Express распространяются бесплатно с сайта компании Microsoft.

Для эффективного применения системы AimDSS на текущем этапе ее реализации пользователь должен обладать базовыми познаниями в области системологии и архитектуры УРСЗ, которые могут быть получены из книги Дж.Клира «Системология. Автоматизация решения системных задач» [10].

#### **5. Заключение**

Главным результатом исследования является реализация аппарата целенаправленных систем для поддержки принятия решений с позиций системологии Дж.Клира в программной среде Гусева А.А. AimDSS.

В процессе исследования было изучено состояние использования методов системологии Клира в информационных системах, уточнен математический аппарат целенаправленных систем; была произведена программная реализация математического аппарата целенаправленных систем и разработан интерфейс пользователя.

Пользователь системы AimDSS получает возможность оценить те или иные управленческие альтернативы относительно цели управления, при этом используются исключительно данные о наблюдаемом поведении системы, без требования к знанию о внутренней структуре управляемой системы.

В самом общем случае, AimDSS позволяет автоматически рассмотреть серию экспериментов, организованных в разных условиях, на предмет выбора тех условий (переменных принятия решения), которые наиболее оптимальны относительно заданной исследователем цели (целевого поведения системы), что открывает возможность применения AimDSS, в частности, в естественнонаучных приложениях, экономике и педагогике, где востребована автоматизация поиска набора условий, ведущих к достижению заранее заданного результата, при отсутствии знаний о внутренней структуре системы, в которой проводится эксперимент.

Существенным недостатком используемого подхода является ограничение на количество свойств управляемой системы, которыми может оперировать AimDSS – приемлемое время вычисления обеспечивается при количестве свойств не более 6, что оставляет пространство для дальнейшей оптимизации алгоритма. Укажем, что подобное ограничение может быть снято также за счет использования структурированных систем (по Клиру), а не систем с поведением в основе целенаправленной системы, при этом большее число параметров может быть разбито на группы по 6 параметров, описывающих отдельные подсистемы структурированной системы. Работа над уточнением области применимости и программной реализацией аппарата структурированных систем проводится в Кубанском государственном университете доц. Швецовою Н.А. и аспиранткой Синельниковой Т.И. [11][12]. В целом, формализм Клира позволяет вводить и иные, нежели вероятностные, меры описания поведения объекта на эпистемологических уровнях, превосходящих порождающие системы с поведением, что делает возможным дальнейшее совершенствование AimDSS с расширением сферы ее применимости на всё более сложные объекты в различных предметных областях.



Также актуальным является оснащение AimDSS функциональностью прогнозирования поведения управляемых систем и оценки целенаправленности прогноза поведения системы, что может быть реализовано, в частности, с помощью метода k-ближайших соседей.

Среди интерфейсных особенностей AimDSS остается востребованным расширение спектра форматов входных данных, добавление и развитие возможности визуализации результатов проводимого AimDSS автоматизированного исследования.

### Литература

1. Cellier F.E. FIR: MATLAB Toolbox for Qualitative Modeling and Simulation of Ill-defined Systems by Means of Fuzzy Inductive Reasoning - URL: [http://www.inf.ethz.ch/personal/cellier/Res/Soft/FIR\\_engl.html](http://www.inf.ethz.ch/personal/cellier/Res/Soft/FIR_engl.html).

Дата обращения: 26.04.2014

2. Escobet, A., A. Nebot, and F.E. Cellier (2004), Visual-FIR: A New Platform for Modeling and Prediction of Dynamical Systems, Proc. SCSC'04, Summer Computer Simulation Conference, San Jose, California, pp.229-234

3. FIR, Fuzzy Inductive Reasoning Toolbox – URL: <http://www.inf.ethz.ch/personal/fcellier/Soft/FIR.zip>.

Дата обращения: 26.04.2014

4. Gusev A.A., Shvetsova N.A. The design of a goal-oriented information system for decision support. // Topical areas of fundamental and applied research IV. Vol.1. - North Charleston, USA, 2014. – pp. 134-137

5. Josep M. Mirats Tur and Rafael M. Huber Garrido. Fuzzy Inductive Reasoning Model-Based Fault Detection Applied to a Commercial Aircraft. SIMULATION 2000 75: 188

6. Keen P.G.W., Scott Morton M. S. Decision support systems : an organizational perspective. Reading, Mass.: Addison-Wesley Pub. Co., 1978.

7. Li D., Cellier F.E. (1990). Fuzzy Measures in Inductive Reasoning, Proc. Winter Simulation Conference, New Orleans, LA, pp.527-538.

8. Mugica F. and Cellier F. Automated synthesis of a fuzzy controller for cargo ship steering by means of qualitative simulation. In Proc. ESM'94, European Simulation MultiConference, pages 523-528, Barcelona, Spain, 1994

9. Nebot A, Cellier FE, Vallverd M. Mixed quantitative/qualitative modeling and simulation of the cardiovascular system. Comput Methods Programs Biomed. 1998 Feb;55(2):127-55.

10. Клир Дж. Системология. Автоматизация решения системных задач. - М.: Радио и связь, 1990. - 544 с.

11. Швецова Н.А. СИСТЕМОЛОГИЯ В ОБРАЗОВАНИИ // Современные наукоемкие технологии. – 2008. – № 6 – стр. 93-94. URL: [www.rae.ru/snt/?section=content&op=show\\_article&article\\_id=4886](http://www.rae.ru/snt/?section=content&op=show_article&article_id=4886) (дата обращения: 18.09.2014).

12. Швецова Н.А., Синельникова Т.И. Инструментальное средство для создания структурированных систем // Современное состояние и приоритеты развития фундаментальных наук в регионах: Материалы VIII Всероссийской науч. конф. молодых учёных и студентов. – Краснодар: Просвещение-Юг, 2011. – С. 136–138.

### References

1. Cellier F.E. FIR: MATLAB Toolbox for Qualitative Modeling and Simulation of Ill-defined Systems by Means of Fuzzy Inductive Reasoning - URL: [http://www.inf.ethz.ch/personal/cellier/Res/Soft/FIR\\_engl.html](http://www.inf.ethz.ch/personal/cellier/Res/Soft/FIR_engl.html).
2. Escobet, A., A. Nebot, and F.E. Cellier (2004), Visual-FIR: A New Platform for Modeling and Prediction of Dynamical Systems, Proc. SCSC'04, Summer Computer Simulation Conference, San Jose, California, pp.229-234
3. FIR, Fuzzy Inductive Reasoning Toolbox – URL: <http://www.inf.ethz.ch/personal/fcellier/Soft/FIR.zip>.
4. Gusev A.A., Shvetsova N.A. The design of a goal-oriented information system for decision support. // Topical areas of fundamental and applied research IV. Vol.1. - North Charleston, USA, 2014. – pp. 134-137
5. Josep M. Mirats Tur and Rafael M. Huber Garrido. Fuzzy Inductive Reasoning Model-Based Fault Detection Applied to a Commercial Aircraft. SIMULATION 2000 75: 188
6. Keen P.G.W., Scott Morton M. S. Decision support systems : an organizational perspective. Reading, Mass.: Addison-Wesley Pub. Co., 1978.
7. Li D., Cellier F.E. (1990). Fuzzy Measures in Inductive Reasoning, Proc. Winter Simulation Conference, New Orleans, LA, pp.527-538.
8. Mugica F. and Cellier F. Automated synthesis of a fuzzy controller for cargo ship steering by means of qualitative simulation. In Proc. ESM'94, European Simulation MultiConference, pages 523-528, Barcelona, Spain, 1994
9. Nebot A, Cellier FE, Vallverd M. Mixed quantitative/qualitative modeling and simulation of the cardiovascular system. Comput Methods Programs Biomed. 1998 Feb;55(2):127-55.
10. Klir Dzh. Sistemologija. Avtomatizacija reshenija sistemnyh zadach. - M.: Radio i svjaz', 1990. - 544 pp
11. Shvetsova N.A. SISTEMOLOGIIJa V OBRAZOVANII // Sovremennye naukoemkie tehnologii. – 2008. – № 6 – pp. 93-94. URL: [www.rae.ru/snt/?section=content&op=show\\_article&article\\_id=4886](http://www.rae.ru/snt/?section=content&op=show_article&article_id=4886).
12. Shvetsova N.A., Sinel'nikova T.I. Instrumental'noe sredstvo dlja sozdanija strukturirovannyh sistem // Sovremennoe sostojanie i prioritety razvitija fundamental'nyh nauk v regionah: Materialy VIII Vserossijskoj nauch. konf. molodyh uchjonyh i studentov. – Krasnodar: Prosveshhenie-Jug, 2011. – pp. 136–138.