

УДК 004.023
<https://doi.org/10.32362/2500-316X-2022-10-4-18-26>



НАУЧНАЯ СТАТЬЯ

Проектирование модулей системной динамики в системах поддержки принятия решений

А.Б. Сорокин[@],
Л.М. Железняк,
Д.В. Супруненко,
В.В. Холмогоров

МИРЭА – Российский технологический университет, Москва, 119454 Россия

[@] Автор для переписки, e-mail: sorokin_a@mirea.ru

Резюме

Цели. При проектировании моделей системной динамики базовым конструктом стадии проектирования является представление исследуемого процесса в терминах причинно-следственной связи, состоящей из петель положительной и отрицательной обратной связи. При построении модели динамической среды возникает ряд трудностей использования обратной связи. Настоящее исследование показывает возможность проектирования модулей системной динамики для систем поддержки принятия решений на основе ситуационно-деятельностного подхода. Предполагается восполнить нехватку знаний о моделях системной динамики концептуальной моделью акта деятельности, с помощью которой может реализоваться экспертная система на основе продукционных правил. Концептуальные модели при таком аспекте применяются к человеческим рассуждениям с привязкой к определенным видам деятельности. Целью работы является исследование возможности применения ситуационно-деятельностного подхода для проектирования моделей системной динамики инфекционных заболеваний на основе частных представлений разработанной концептуальной структуры акта деятельности.

Методы. На основе синтеза двух подходов – ситуационного, предложенного Л.С. Болотовой, и системно-деятельностного, предложенного Г.П. Щедровицким, представлена концептуальная структура акта деятельности как методика ситуационно-деятельностного подхода. Анализ данной структуры приводит к построению процессуального плана и плана аналитических закономерностей. Была проверена следующая гипотеза: процессные представления описывают нотацию потоков и уровней, а аналитические закономерности реализуют дифференциальные уравнения. Для доказательства гипотезы исследовалась предметная область инфекционных заболеваний.

Результаты. На совокупности данных планов синтезирован графический образ для построения моделей системной динамики, который идентичен диаграмме потоков и уровней развития SIR-процесса. Однако задачу построения концептуальных структур следует признать нетривиальной, сложной и трудоемкой. Поэтому реализован программный комплекс следующего состава: «Оформитель», «Решатель» и «Интерпретатор». Программный инструментарий позволил визуализировать концептуальные структуры и реализовать базы знаний для экспертных моделей системной динамики, а также провести исследования на полноту и адекватность модели.

Выводы. На сегодняшний день не существует единой концептуальной структуры для проектирования экспертных систем, ситуационных и имитационных динамических моделей. Предложенный в работе метод и программный инструментарий позволяет решить данные задачи на основе ситуационно-деятельностного метода. Таким образом, осуществляется взаимодействие различных видов деятельности в экспертных

системах, тем самым подтверждается достоверность знаний в моделях системной динамики. Концептуальные структуры акта деятельности являются ядерной частью при проектировании экспертных систем, а производные процессные и аналитические представления акта деятельности являются ядерной частью при разработке модулей системной динамики.

Ключевые слова: ситуационно-деятельностный подход, концептуальная структура акта деятельности, процессные представления, аналитические представления, модели системной динамики

• Поступила: 27.12.2021 • Доработана: 15.05.2022 • Принята к опубликованию: 20.06.2022

Для цитирования: Сорокин А.Б., Железняк Л.М., Супруненко Д.В., Холмогоров В.В. Проектирование модулей системной динамики в системах поддержки принятия решений. *Russ. Technol. J.* 2022;10(4):18–26. <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2022-10-4-18-26>

Прозрачность финансовой деятельности: Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

RESEARCH ARTICLE

Designing modules of system dynamics in decision support systems

Aleksey B. Sorokin[@],
Liliya M. Zheleznyak,
Dmitry V. Suprunenko,
Vladislav V. Kholmogorov

MIREA – Russian Technological University, Moscow, 119454 Russia
[@] Corresponding author, e-mail: sorokin_a@mirea.ru

Abstract

Objectives. When creating models of system dynamics, the basic construct at the design stage is the representation of the process under study in terms of a causal relationship consisting of a positive feedback loop and a negative feedback loop. The construction of a model of a dynamic environment can experience a number of difficulties in using feedback. This work shows the possibility of designing modules of system dynamics for decision-making systems based on the situational-activity approach. The study proposes the gap in knowledge about models of system dynamics to be filled with a conceptual model of an act of activity, by means of which an expert system can be implemented based on production rules. In this context, conceptual models are applied to human reasoning with reference to certain types of activity. The objective of the study was to investigate the possibility of applying the situational-active approach to designing models of system dynamics of infectious diseases based on particular representations of the conceptual structure of the act of activity.

Methods. By synthesizing Bolotova's situational algorithm and Shchedrovitskiy's system-activity approach, the conceptual structure of the act of activity is presented as a methodology of the situational-activity approach. The analysis of this structure leads to the construction of a plan of processual structure and a plan of analytical relationships. The article proposed a hypothesis that the process representations describe the notation of flows and levels, and the analytical relationships implement differential equations. In order to prove this hypothesis, the subject area of infectious diseases was investigated.

Results. Based on the set of these plans, a graphic image was synthesized for constructing models of system dynamics, which is identical to the diagram of flows and levels of development of the SIR process. However, the problem of constructing conceptual structures is nontrivial, complex, and laborious. Therefore, the Designer–Solver–Interpreter software suite was implemented. The software tools enable a visualization of the conceptual structures and implementation of the knowledge bases for expert models of system dynamics. It also tests the completeness and viability of the model.

Conclusions. To date, there is no single conceptual structure for designing expert systems and situational and simulation dynamic models. The proposed method and software tools allow these problems to be resolved using the situational-activity method. Various types of dynamics in expert systems interact, thus confirming the reliability of knowledge in the models of system dynamics. The conceptual structures of the act of activity are the core part of designing expert systems, while the derivative process and analytical representations of the act of activity are the core part of developing modules of system dynamics.

Keywords: situational-activity approach, conceptual structure of an act of activity, process representations, analytical representations, models of system dynamics

• Submitted: 27.12.2021 • Revised: 15.05.2022 • Accepted: 20.06.2022

For citation: Sorokin A.B., Zheleznyak L.M., Suprunenko D.V., Kholmogorov V.V. Designing modules of system dynamics in decision support systems. *Russ. Technol. J.* 2022;10(4):18–26. <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2022-10-4-18-26>

Financial disclosure: The authors have no a financial or property interest in any material or method mentioned.

The authors declare no conflicts of interest.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

От достоверности и полноты данных зависит ценность принимаемых решений. При этом деятельность в среде, обусловленной высокой динамичностью, активна и предрасположена к самостоятельному выбору собственного состояния. Акты деятельности также формируют свои требования к системе принятия решений. Объекты актов деятельности в ситуациях динамически изменяющейся среды и необходимости принятия управленческого решения обусловлены своими состояниями, которые определены с точки зрения целеполагания субъекта управления. Если в системе присутствует достаточное множество действий, несущих управляющий характер, то возникает неопределенность в динамике процессов, что способствует упрощенному восприятию действительности и эмоциональному решению сложной задачи управления [1]. Возникает ситуация невозможности выявления последовательности и закономерности действий принимаемых решений. Следовательно, необходимо определить гипотезу поведения сложного объекта при множественности управляющих воздействий и на этом основании имитировать процесс изменения объекта с различными вариантами решений [2].

Имитационная модель (ИМ) определена логико-алгоритмическим описанием поведения сложного объекта и оперирует непрерывными и дискретными состояниями. Дискретная модель основывается на обычных функциональных блоках, она определена средним уровнем абстракции и реализуется на основании методологии структурного подхода (англ. structured analysis and design technique, SADT)

или методологии функционального моделирования (англ. function modeling, IDEF0). Непрерывное моделирование поддерживает все уровни абстракции и определено унифицированным языком моделирования (англ. unified modeling language, UML), главным образом диаграммами состояний и деятельности.

В ИМ присутствует направление высокого уровня абстракции, называемое системной динамикой. Процессы реального мира в системной динамике представлены в терминах информации, потоков между уровнями и накопителями, а их формальная основа – в виде уравнений темпа потока, использующих динамические процессы пространства состояний. Идея изменений посредством «петель обратных связей» является одной из важнейших в установлении структуры системной динамики. Это привело к созданию инструментов реализации диаграмм причинно-следственных связей (ПСС) с учетом обратных связей. Получаемая в процессе моделирования графическая модель, по сути, является диаграммой связей, отражающей отношения между элементами моделируемой системы как ПСС. Если изменение причины влечет за собой аналогичное изменение следствия, то такую связь называют положительной, если же при изменении причины происходит противоположное изменение следствия, то связь называют отрицательной, поэтому правильность модели главным образом зависит от верного определения роли ПСС. Этот процесс без концептуального исследования представляется трудоемким [3].

В экспертных и ситуационных системах модели представления знаний являются аналогичными. Частым инструментом ситуационного моделирования являются имитационные модели, из чего

следует, что язык ситуационного проектирования должен включать в себя определенные инструменты языков моделирования.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭТАПА ПРОЕКТИРОВАНИЯ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМНОЙ ДИНАМИКИ

В моделях системной динамики рассматривают две основные стадии. Первая из них называется «качественной», при ее реализации учитываются взаимосвязи элементов системы, а также структура самой проблемы. Здесь основополагающей конструкцией системы выступает диаграмма процесса, состоящая из положительной («+»), и отрицательной («-») обратных связей с соответствующим обозначением их полярностей (рис. 1).

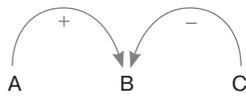


Рис. 1. Полярности связей

Вторая стадия называется «количественной». При ее реализации проводится проверка правильности и достоверности модели, а также проверка сценариев поведения системы при различных условиях [4].

Если две отрицательные связи соединены последовательно, то они образуют положительную связь. В свою очередь связи причинно-следственного типа способны образовать контур, являющийся однонаправленным и замкнутым. Он может быть либо положительной обратной связью (ПОС), либо отрицательной обратной связью (ООС).

Правила определения полярности контура связи в обобщенном виде говорят о том, что отсутствие или четное количество ПСС в нем делает его контуром ПОС, а нечетное число отрицательных ПСС – контуром ООС.

Из-за динамического характера моделируемой среды могут возникать сложности. Так, например, если система достаточно сложная, то возможно существование одновременно множества как ПОС, так и ООС, а сами причины динамических изменений среды могут быть сложно достижимы в модели. Также стоит отметить, что детерминировать необходимо лишь те ПСС, которые понятны без каких-либо дополнительных действий. Важную роль играет и объективизация обратных связей, неверно отражающих объективную реальность задачи [5].

ПСС модели позволяют определить количественный этап моделирования динамической системы, что делает их основным инструментом проектирования потоков и уровней систем. Ее элементарными единицами являются уровни, решения (функционального

типа), потоки информации, а также материальные движения (рис. 2).

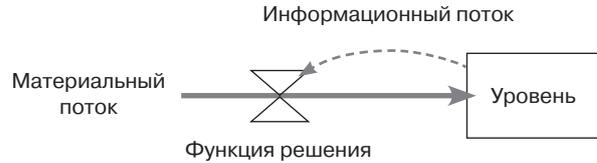


Рис. 2. Структура количественной стадии

Уровни имеют четкую зависимость от времени и обозначают некую переменную (в конкретный момент), при этом их содержимое может быть совершенно разнородным. Математически значение уровня в определенный момент времени равно сумме значения уровня в предыдущий момент времени и произведения скорости изменения значения уровня к приращению времени. Сама скорость изменения значения уровня представляет собой разность между скоростью входящего и выходящего потоков. Модель уровней представлена на рис. 3.

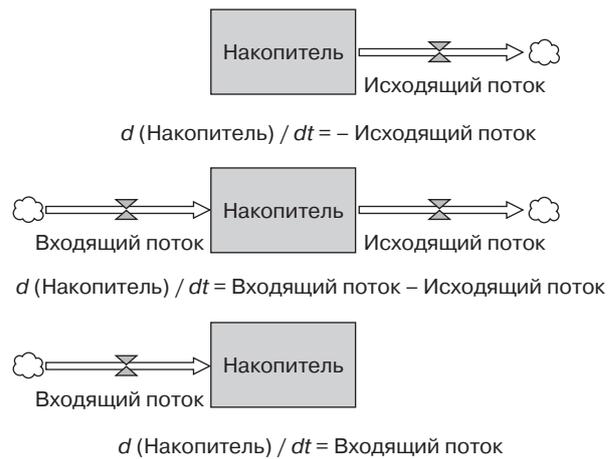


Рис. 3. Имитационная динамическая модель уровней

Если уравнения уровней позволяют определить значение какого-либо уровня в настоящий момент времени на основе его значения в предыдущий момент, то уравнения темпов имеют прогнозирующий характер, т.е. позволяют предсказать значения в следующий момент времени [6].

В задаче прогнозирования темпов важно смотреть не только на прямые, но и на косвенные факторы влияния, например, на время, а также на поток информации.

Для получения результатов из пространства решений может быть достаточно одного эксперимента, однако полномасштабное исследование окружения требует проведения некоторого набора экспериментов, в результате чего может быть обеспечена вариативность решений для лица, принимающего решения.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМНОЙ ДИНАМИКИ НА ОСНОВЕ СИТУАЦИОННО-ДЕЯТЕЛЬНОСТНОГО ПОДХОДА

Согласно методике ситуационно-деятельностного подхода необходимо выделить виды деятельности, которые существуют в сложной динамической среде, тем самым определяется граница действительности выбранной предметной области. Представим, например, динамически сложную среду «Противодействие развитию инфекционных заболеваний», в которой существует множество видов деятельности (рис. 4) [7].

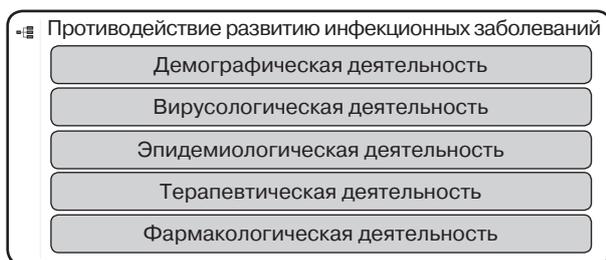


Рис. 4. Множество видов деятельности в динамической среде

Структурирование деятельности позволяет выявить ее определенные виды, что, в свою очередь, дает возможность посредством логического (формального) анализа перейти к другой деятельности в рамках выделенного вида. В созданной структуре основополагающей единицей будет акт деятельности, что не ограничивает исследователя в рамках выявления любых других единиц, зависящих от постановки целей и задач [8, 9].

Из концептуальных структур актов деятельности выделяются четыре разных содержания акта деятельности: план функциональной структуры, план процессуальной структуры, план контекста и план аналитических закономерностей [10]. Эти планы выражены в одной структуре, которая объединяет их в единое целое, что не только не создает противоречий,

но и позволяет применять их как параллельно, так и последовательно [11, 12]. В связи с вышеизложенным, основным предметом исследования настоящей статьи является план процессов и закономерностей динамической имитационной модели.

Планирование процессов обусловлено самими процессами, участвующими в них объектами, состояниями этих объектов и средствами, благодаря которым система достигает своего целевого состояния [13].

Планирование закономерностей обусловлено как множеством объектов и отношений между ними, так и свойствами объектов и соотношений между ними (рис. 5).

Реализация плана закономерностей определена следующими правилами:

- состояние объекта действия равно продукту (продукционному элементу), выраженному количественной оценкой, и ассоциируется с решением;
- свойства средств действий равны количественной оценке и ассоциированы с параметрами, определенными в структуре уравнений;
- отношения должны быть однонаправленными, а отношения типа « $a > b$ на x », « $a < b$ на x », « $a > b$ в x », « $a < b$ в x », где x – действительное число большее единицы; a и b – некоторые признаки сравнения объектов или отношений объектов предметной области, должны обозначаться с помощью соответствующих арифметических операций;
- объекты закономерностей типа «увеличить» должны обозначаться знаком плюс, типа «уменьшить» – знаком минус, «определить» – с помощью знака равенства.

Разнообразие представлений очередности арифметических операций в моделях системной динамики формируется благодаря плану определения закономерностей для дальнейшего его применения в дифференциальных уравнениях соответствующих моделей.

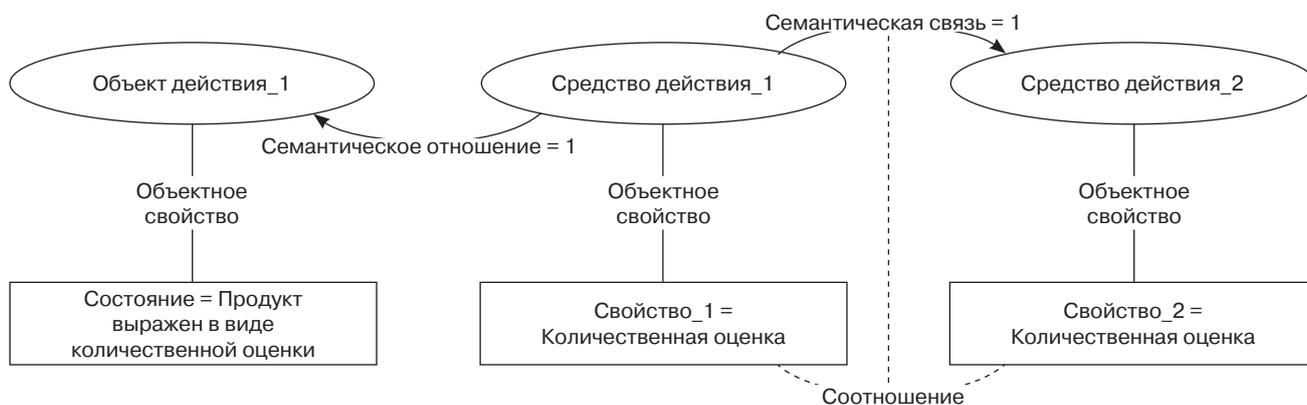


Рис. 5. Структура плана закономерностей

ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

Концептуальное моделирование предметной области (ПрО) требует от специалиста понимания методик анализа ситуаций, деятельности и процессов, протекающих в конкретной ПрО [14]. В частности, возникает спектр задач, выполнение которых возможно только с помощью программного средства, которое бы могло:

- 1) отображать концепты (как элементы знаковых систем);
- 2) проверять полноту и непротиворечивость систем;
- 3) генерировать базы знаний.

В рамках выполнения первой задачи авторами настоящей статьи было разработано приложение «Оформитель», которое выполняет следующие задачи [15]:

- создание объектов на основе стандартных геометрических фигур (примитивов);
- реализация связей между объектами;
- редактирование текста элементов модели;
- масштабирование модели.

Задачи 2 и 3 решаются посредством приложения «Малый Решатель Проблем» (МРП), разработанного специально для ситуационного анализа. МРП поддерживает следующие функции [15]:

- создание, хранение, изменение и тестирование модели, а также проверка корректности продукционных баз знаний (БЗ), состоящих из рабочей базы данных (РБД) и базы правил (БП);
- логический вывод;
- формирование отчетности об анализе проблемных и о достижении целевых ситуаций.

Функциональность МРП обусловлена его архитектурой (рис. 6).

Таким образом, можно определить следующую последовательность в работе комплекса «Оформитель + Решатель + Интерпретатор» (ОРИ): при сохранении файла в программе «Оформитель» создается XML-файл с разметкой графической модели, после чего этот файл открывается при помощи МРП и программа посредством своего программного интерфейса (англ. application programming interface, API) считывает информацию из файла и записывает ее в свою базу знаний, проверяет модель на наличие синтаксических ошибок и информирует пользователя о результате загрузки. Далее идет проверка базы знаний на полноту и непротиворечивость. В редакторах объектов, отношений, решения конфликтных ситуаций и целевой ситуации устанавливаются начальные значения, после чего в разделе «Описание/Анализ» происходит проверка ситуации.

База знаний состоит из РБД и БП, в которых содержатся элементы модели, имена правил и продукции.

Продукции имеют левую часть (предусловие) – совокупность значений свойств и отношений, необходимых для активизации правила, а также правую часть (постусловие) – совокупность значений свойств и отношений, которые эти свойства и отношения получают после выполнения правила.

По своей сути «Интерпретатор» является API-рецептором для восприятия и транслирования XML-файлов графической модели концепции предметной области. В его структуре заложены:

- парсер, который ищет в XML-разметке данные по определенным указателям (тегам);
- лексер, который переводит данные, находящиеся на местах, определенных тегами, в вид, понятный МРП.

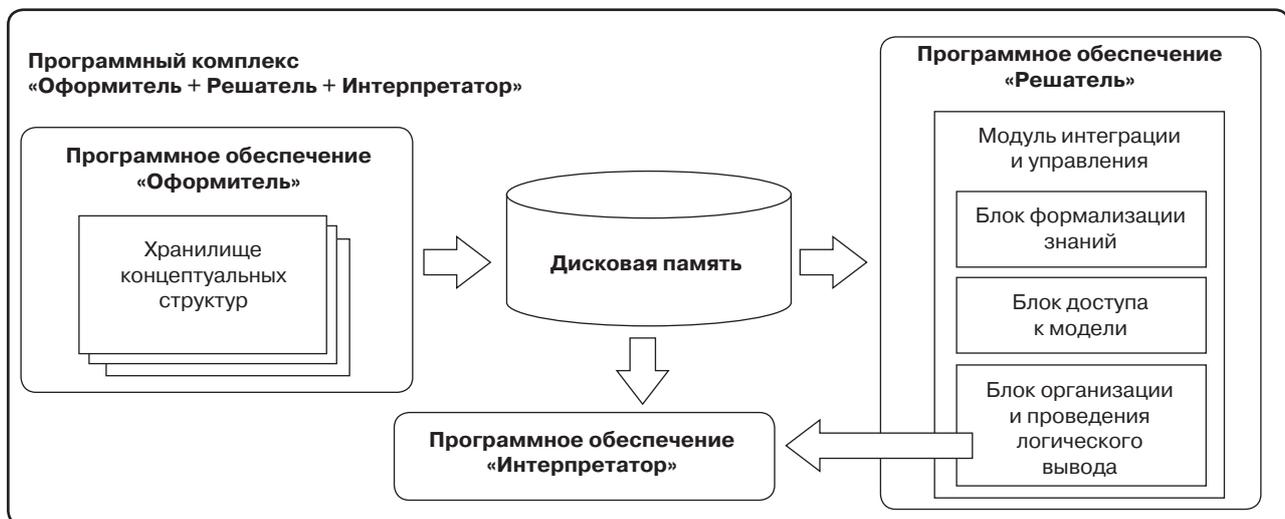


Рис. 6. Комплекс «Оформитель + Решатель + Интерпретатор» и архитектура МРП

По окончании преобразования и передачи лексегом данных начинается основной этап работы МРП. После определения начальных условий свойств объектов и отношений, начальной ситуации и стратегий управления конфликтными ситуациями реализуется логический вывод из БП в соответствии с продукционными правилами. Отчет, получаемый в результате работы МРП, позволяет понять исследователю степень правильности построенной им концептуальной модели предметной области, т.к. МРП, помимо возможности создать базовую начальную ситуацию, позволяет модифицировать ее изменением начальных и добавлением дополнительных объектов, свойств, отношений и правил.

В случае возникновения конфликтных ситуаций в моделируемой системе либо, если эти конфликты были предусмотрены исследователем, существует два основных способа их разрешения [16]:

- определение приоритетов продукционным правилам в редакторе управления правилами с последующим определением стратегии разрешения конфликтных ситуаций «по наивысшему приоритету»;
- определение иных стратегий управления конфликтными ситуациями, кроме определения приоритета, например, «приближающее к цели», «не создающий циклов» и т.п.

Оптимальным решением для конфликтов, связанных с преднамеренным их созданием при проектировании концептуальной модели, является установка приоритетов. Наивысший приоритет должен быть определен правилом, которое связано с наиболее важным фактором, например, с человеческой жизнью. Если же конфликты связаны с ошибками, допущенными на этапе проектирования, то пользователь МРП может вручную изменить продукции в редакторе правил, предусмотрев возможные ветвления при выполнении модели в условиях измененных начальных условий.

В целом рекомендуется проверять как минимум три следующие проблемные ситуации:

- 1) все условия проблемной ситуации должны соответствовать изначальной логике графической модели (не производится каких-либо изменений начальных условий);
- 2) для одного или нескольких ключевых свойств, значения которых изменяются в процессе действий модели, должны быть установлены значения, к которым они должны прийти в процессе работы (изменения состояний в соответствии с БЗ) модели, и таким образом проверить, сходится ли результат работы МРП с логикой (которую предполагал исследователь) работы модели;
- 3) для одного (или нескольких) свойств должны быть установлены такие значения, при которых логика модели нарушается либо не работает

совсем. Тем самым появляется возможность проверки корректности модели при невыполнимых и противоречивых условиях.

Таким образом, основными целями программного комплекса «ОРИ» являются [16]:

- построение концептуальной модели предметной области рассматриваемой исследователем задачи;
- перенос модели из графической модели в программную, общую для большинства актуальных приложений;
- анализ программной модели с точки зрения возможных проблемных ситуаций посредством формальной теории.

Если обобщить все вышесказанное, то «ОРИ» позволяет исследователю создать концептуальную модель изучаемой им предметной области и понять, насколько она верна и полна, т.е. работает ли логика, заложенная в модель, с точки зрения логики программ (и с точки зрения формальной теории) и предусматривает ли модель всевозможные ситуации и их последствия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Опыт и практика создания систем поддержки принятия решений (СППР) показывают, что на данный момент не существует единой концептуальной структуры базы знаний для реализации интеллектуальных модулей, а также программного обеспечения, поддерживающего ситуационно-деятельностный подход. Отсутствие подобной единой структуры указывает, что в настоящее время в области поддержки принятия решений существует как минимум одна проблема. Ситуационно-деятельностный подход делает возможным эффективное исследование сложных с точки зрения динамики систем на предмет создания имитационных моделей, моделей экспертных систем, а также иных интеллектуальных систем СППР¹.

Множество концептуальных структур определено как некий элементный состав, на синтезе которого могут быть построены интеллектуальные СППР. Исходя из того, что познание сложной динамической среды на основании концептуальных структур ситуационно-деятельностного подхода является базисом при проектировании интеллектуальных модулей, предлагается несколько направлений его развития: в качестве языка осмысления и моделирования, а также как инструментальное средство выявления базы знаний.

Вклад авторов. Все авторы в равной степени внесли свой вклад в исследовательскую работу.

Authors' contribution. All authors equally contributed to the research work.

¹ Болотова Л.С. *Системы поддержки принятия решений*. В 2 ч. Часть 1: учебник и практикум для академического бакалавриата. М.: Юрайт; 2019. 257 с.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Brehmer B. Dynamic decision making: Human control of complex systems. *Acta Psychol. (Amst.)*. 1992;81(3): 211–241. [https://doi.org/10.1016/0001-6918\(92\)90019-A](https://doi.org/10.1016/0001-6918(92)90019-A)
2. Андрианова Е.Г., Головин С.А., Зыков С.В., Лесько С.А., Чукалина Е.Р. Обзор современных моделей и методов анализа временных рядов динамики процессов в социальных, экономических и социотехнических системах. *Российский технологический журнал*. 2020;8(4):7–45. <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2020-8-4-7-45>
3. Ярыгин О.Н., Коростелев А.А. Системная динамика как основа современной управленческой компетентности. *Актуальные проблемы экономики и права*. 2014;4:196–205.
4. Forrester J.W. Information sources for modeling the national economy. *Journal of the American Statistical Association*, 1980;75(371):555–574. <https://doi.org/10.2307/2287647>
5. Sterman J.D. All models are wrong: reflections on becoming a systems scientist. *System Dynamics Review*. 2002;18(4):501–531. <https://doi.org/10.1002/sdr.261>
6. Gonzalez C. Learning to make decisions in dynamic environments: Effects of time constraints and cognitive abilities. *Hum. Factors*. 2004;46(3):449–460. <https://doi.org/10.1518/hfes.46.3.449.50395>
7. Nakamura G.M., Cardoso G.C., Martinez A.S. Improved susceptible–infectious–susceptible epidemic equations based on uncertainties and autocorrelation functions. *R. Soc. Open Sci.* 2020;7(2):191504. <https://doi.org/10.1098/rsos.191504>
8. Гаврилова Т.А. Онтологический подход к управлению знаниями при разработке корпоративных систем автоматизации. *Новости искусственного интеллекта*. 2003;2:24–30.
9. Верхотурова Ю.С. Модель предметной области на языке описания онтологий. *Вестник Бурятского государственного университета. Математика, информатика*. 2013;9:63–68.
10. Щедровицкий Г.П. Методологический смысл оппозиции натуралистического и системоделятельного подходов. *Вопросы методологии*. 1991;2:143–154.
11. Rodrigues da Silva A. Model-driven engineering: A survey supported by the unified conceptual model. *Comput. Lang. Syst. Struct.* 2015;43:139–155. <https://doi.org/10.1016/j.cl.2015.06.001>
12. Ganter B., Obiedkov S. *Conceptual exploration*. Berlin, Heidelberg: Springer; 2016. 315 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-49291-8>
13. Tan R.P., Zhang W.D., Chen S.Q., Yang L.H. Emergency decision-making method based on case-based reasoning in heterogeneous information environment. *Control and Decision*. 2020;35(8):1966–1976.
14. Chen D.-Y., Zhao H., Zhang X. Semantic mapping methods between expert view and ontology view. *J. Softw.* 2020;31(9):2855–2882.
15. Сорокин А.Б., Смольянинова В.А. Концептуальное проектирование экспертных систем поддержки принятия решений. *Информационные технологии*. 2017;23(9):634–641.

REFERENCES

1. Brehmer B. Dynamic decision making: Human control of complex systems. *Acta Psychol. (Amst.)*. 1992;81(3): 211–241. [https://doi.org/10.1016/0001-6918\(92\)90019-A](https://doi.org/10.1016/0001-6918(92)90019-A)
2. Andrianova E.G., Golovin S.A., Zyko S.V., Lesko S.A., Chukalina E.R. Review of modern models and methods of analysis of time series of dynamics of processes in social, economic and socio-technical systems. *Rossiiskii tekhnologicheskii zhurnal = Russian Technological Journal*. 2020;8(4):7–45 (in Russ.). <https://doi.org/10.32362/2500-316X-2020-8-4-7-45>
3. Yarygin O.N., Korostelev A.A. Systemic dynamics as the basis of modern managerial competence. *Aktual'nye problemy ekonomiki i prava = Actual Problems of Economics and Law*. 2014;4:196–205 (in Russ.).
4. Forrester J.W. Information sources for modeling the national economy. *Journal of the American Statistical Association*, 1980;75(371):555–574. <https://doi.org/10.2307/2287647>
5. Sterman J.D. All models are wrong: reflections on becoming a systems scientist. *System Dynamics Review*. 2002;18(4):501–531. <https://doi.org/10.1002/sdr.261>
6. Gonzalez C. Learning to make decisions in dynamic environments: Effects of time constraints and cognitive abilities. *Hum. Factors*. 2004;46(3):449–460. <https://doi.org/10.1518/hfes.46.3.449.50395>
7. Nakamura G.M., Cardoso G.C., Martinez A.S. Improved susceptible–infectious–susceptible epidemic equations based on uncertainties and autocorrelation functions. *R. Soc. Open Sci.* 2020;7(2):191504. <https://doi.org/10.1098/rsos.191504>
8. Gavrilova T.A. Ontological approach to knowledge management in the development of corporate automation systems. *Novosti iskusstvennogo intellekta = News of Artificial Intelligence*. 2003;2:24–30 (in Russ.).
9. Verkhoturova Yu.S. Model of the subject domain in the language of ontology description. *Vestnik Buryatskogo gosudarstvennogo universiteta. Matematika, informatika = BSU Bulletin. Mathematics, Informatics*. 2013;9:63–68 (in Russ.).
10. Shchedrovitskii G.P. The methodological meaning of the opposition of the naturalistic and system-activity approach. *Voprosy metodologii*. 1991;2:143–154 (in Russ.).
11. Rodrigues da Silva A. Model-driven engineering: A survey supported by the unified conceptual model. *Comput. Lang. Syst. Struct.* 2015;43:139–155. <https://doi.org/10.1016/j.cl.2015.06.001>
12. Ganter B., Obiedkov S. *Conceptual exploration*. Berlin, Heidelberg: Springer; 2016. 315 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-49291-8>
13. Tan R.P., Zhang W.D., Chen S.Q., Yang L.H. Emergency decision-making method based on case-based reasoning in heterogeneous information environment. *Control and Decision*. 2020;35(8):1966–1976.
14. Chen D.-Y., Zhao H., Zhang X. Semantic mapping methods between expert view and ontology view. *J. Softw.* 2020;31(9):2855–2882.
15. Sorokin A.B., Smol'yaninova V.A. Conceptual design of expert systems of support of decision. *Informatsionnye tekhnologii = Information Technologies*. 2017;23(9): 634–641 (in Russ.).

16. Sorokin A.B., Brazhnikova E.V., Zheleznyak L.M. Designing a knowledge base for the development of intelligent models based on the conceptual structure of activity act. *J. Phys.: Conf. Ser.* 2020;1615:012023. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1615/1/012023>
16. Sorokin A.B., Brazhnikova E.V., Zheleznyak L.M. Designing a knowledge base for the development of intelligent models based on the conceptual structure of activity act. *J. Phys.: Conf. Ser.* 2020;1615:012023. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1615/1/012023>

Об авторах

Сорокин Алексей Борисович, к.т.н., доцент, доцент кафедры вычислительной техники Института информационных технологий ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78). E-mail: sorokin_a@mirea.ru. SPIN-код РИНЦ 1731-3838, <http://orcid.org/0000-0002-7230-6266>

Железняк Лилия Михайловна, старший преподаватель кафедры вычислительной техники Института информационных технологий ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78). E-mail: zheleznyak@mirea.ru. <http://orcid.org/0000-0002-8204-639X>

Супруненко Дмитрий Викторович, старший преподаватель кафедры вычислительной техники Института информационных технологий ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78). E-mail: suprunenko@mirea.ru. <http://orcid.org/0000-0002-2328-8604>

Холмогоров Владислав Владиславович, ассистент кафедры вычислительной техники Института информационных технологий ФГБОУ ВО «МИРЭА – Российский технологический университет» (119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, д. 78). E-mail: Hvv13@mail.ru. <http://orcid.org/0000-0002-5309-2661>

About the authors

Aleksey B. Sorokin, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Computer Technology Department, Institute of Information Technologies, MIREA – Russian Technological University (78, Vernadskogo pr., Moscow, 119454 Russia). E-mail: sorokin_a@mirea.ru. RSCI SPIN-code 1731-3838, <http://orcid.org/0000-0002-7230-6266>

Liliya M. Zheleznyak, Senior Lecturer, Computer Technology Department, Institute of Information Technologies, MIREA – Russian Technological University (78, Vernadskogo pr., Moscow, 119454 Russia). E-mail: zheleznyak@mirea.ru. <http://orcid.org/0000-0002-8204-639X>

Dmitry V. Suprunenko, Senior Lecturer, Computer Technology Department, Institute of Information Technologies, MIREA – Russian Technological University (78, Vernadskogo pr., Moscow, 119454 Russia). E-mail: suprunenko@mirea.ru. <http://orcid.org/0000-0002-2328-8604>

Vladislav V. Kholmogorov, Assistant, Computer Technology Department, Institute of Information Technologies, MIREA – Russian Technological University (78, Vernadskogo pr., Moscow, 119454 Russia). E-mail: Hvv13@mail.ru. <http://orcid.org/0000-0002-5309-2661>